
SUBMISSION 16

Analisa Daya Listrik Optimum Model *Screw Turbine 2 Blade* Sebagai Penggerak Generator Listrik

Jamaludin

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah, Tangerang

ABSTRAK

Akibat dari krisis energi yang terjadi di dunia, terutama akibat keterbatasan bahan bakar minyak yang mengakibatkan mengurangi ketersediaan listrik, maka diadakanlah penelitian-penelitian untuk membuat Pusat Tenaga Listrik Mikrohidro (PLTMH) dengan memanfaatkan bermacam tipe turbin air. Salah satu dari tipe turbin yang sangat berpotensi untuk pembangkit listrik mikrohidro pada sungai-sungai di Indonesia adalah Turbin Screw (Archimedean Turbine). Hasil penelitian dengan menggunakan rancangan rangkaian listrik model Turbin Screw dan daya listrik yang dihasilkan pada pengujian berbeban, secara umum dengan menggunakan model turbin ulir dengan jarak pitch $1,2R_0$ memberikan daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan model turbin ulir dengan jarak pitch $2R_0$ dengan daya generator sebesar 4,68 watt dan efisiensi sebesar 19,56194 %. Pitch $1,2R_0$ menunjukkan daya tertinggi sebesar 6,58 watt pada sudut kemiringan poros 30° dan efisiensi tertinggi pada pitch $1,2R_0$ dengan sudut kemiringan poros 30° yaitu sebesar 84% tanpa pengujian beban. Efisiensi generator adalah hasil pembagian dari daya generator dan daya turbin yang didapat dari hasil pengukuran. Pada pengujian model turbin ulir, semakin besar pembebanan lampu yang diberikan, maka putaran generator juga akan semakin berkurang

Keywords : **Turbine Screw, daya listrik, rangkaian listrik, perancangan**

Pendahuluan

Latar Belakang Masalah

Pembangunan PLTA berkapasitas kecil akhir-akhir ini menjadi perhatian dunia termasuk negara-negara maju. Pembagian PLTA dengan kapasitas kecil pada umumnya adalah sebagai berikut:

- PLTA Mikro < 100 kW
- PLTA Mini 100-999 kW
- PLTA Kecil 1000-10.000 kW

Salah satu sebab bagi negara-negara maju memperhatikan pembangunan PLTA berkapasitas kecil ini adalah harga minyak OPEC yang terus meningkat pada waktu yang lalu, disamping bertambahnya kebutuhan listrik. Sampai sekarang ini, pembangkitan listrik dengan tenaga air merupakan pembangkitan yang paling ekonomis, sehingga potensi tenaga air perlu dimanfaatkan. Di negara-negara maju pun potensi tenaga air Mikro/Mini belum dimanfaatkan, sedangkan untuk daerah-daerah terpencil pembangkitan listrik dengan PLTA Mikro/Mini masih lebih menguntungkan dibandingkan dengan menghubungkan daerah ini dengan hantaran tegangan tinggi dari sentral-sentral listrik yang besar. Di Indonesia sendiri salah satu program pemerintah adalah listrik masuk desa. Untuk desa terpencil di daerah pegunungan, pembangunan PLTA Mikro merupakan salah satu jawaban atas program pemerintah tersebut karena menghubungkan desa ini dengan hantaran tegangan tinggi tidaklah ekonomis.

Screw Turbin (Archimedean Screw) dalam hal ini salah satu alternatif pusat listrik tenaga mikrohidro yang sangat berpotensi untuk sungai-sungai di Indonesia. Jika ditinjau dari segi investasi, pembangunan pusat listrik tenaga mikrohidro hanya memerlukan biaya yang kecil. Hal inilah yang mendukung kami untuk merancang pembangkit listrik mikrohidro sebagai salah satu cara agar krisis energi listrik dapat dihindari dan aktivitas kehidupan dapat berjalan seperti biasa. Di lapangan pada umumnya tenaga air yang dapat diketahui hanya harga head dan debitnya saja, dimana di setiap tempat memiliki harga head dan debit yang berbeda-beda. Tujuan perancangan, pembuatan, dan pengujian *screw* turbin ini adalah agar daya listrik keluaran yang dihasilkan dapat semaksimal mungkin sehingga mampu memenuhi kebutuhan listrik di daerah tersebut.

Dengan kemajuan teknik, tinggi $H = 1-1,5$ m dapat digunakan dan kapasitas *screw* turbin dapat dibuat 4-5 kW.

Lokasi yang dipilih dalam penelitian ini adalah saluran irigasi di Kp. Kadu Kampeng RT. 007 RW. 003 Ds. Cimanuk Kec. Cimanuk Kabupaten Pandeglang, Banten kode pos: 42271. *Screw* turbin ini direncanakan akan dapat menghasilkan daya sebesar 80 Watt dimana *screw* turbin yang digunakan berjenis jarak pitch $A = 2R_o$ dan $1,2 R_o$ dengan menggunakan sebuah generator listrik sebagai pembangkit daya serta menggunakan sistem rangkaian listrik.

Selain perancangan, pembuatan dan pengujian *screw* turbin itu sendiri hal lain yang tidak kalah pentingnya adalah selalu menghitung daya yang dihasilkan *screw* turbin tersebut. Dalam penelitian ini, saya selaku peneliti akan membahas daya listrik optimum model *screw* turbin dengan jarak pitch $A = 2 R_o$ dan $1,2 R_o$. Dimana daya ini dihasilkan generator listrik yang diputar oleh poros. *Screw* turbin memiliki kemiringan sudut yang bervariasi dimulai dari 25° sampai 35° . Sehingga akan dipaparkan proses pembangkitan daya ini dimulai dari kemiringan 25° hingga diperoleh hasil maksimum yang diinginkan.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses desain dari *screw* turbin ini untuk menghasilkan daya listrik yang optimum
2. Berapa daya listrik optimum model *screw* turbin 2 blade dengan jarak pitch $\Lambda = 2 R_o$ dan $1,2 R_o$ terhadap kemiringan sudut 25° , 30° , dan 35°

Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah dalam penelitian ini peneliti membatasi pembahasan yang akan dibahas yaitu mengenai rangkaian listrik dan daya listrik optimum model *screw* turbin 2 blade dengan jarak pitch $A = 2 R_o$ dan $1,2 R_o$ pada kemiringan 25° , 30° , dan 35° .

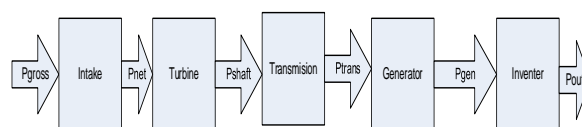
Tujuan Penelitian

- 1) Menguji daya listrik optimum model *screw* turbin 2 blade dengan jarak $A = 2 R_o$ dan $1,2 R_o$ pada kemiringan sudut dari 25° , 30° , dan 35° , sebagai penggerak generator listrik.
- 2) Meningkatkan penggunaan berbagai jenis alat ukur dalam proses penelitian daya listrik optimum model *screw* turbin 2 blade dengan jarak $A = 2 R_o$, $1,2 R_o$
- 3) Meningkatkan pemahaman Peneliti dalam membuat rangkaian listrik tentang sistem mesin konversi energi dalam hal ini *screw* turbin dengan menggunakan media generator listrik

Cara Kerja *Screw Turbine*

Proses perubahan energi pada *screw turbine* hingga menjadi energi listrik yaitu dimana energi yang berasal dari energi potensial yang terdapat pada air dan perubahan tekanan yang terjadi pada sudu mengakibatkan sudu berputar dan memutar poros, sehingga terjadi perubahan energi kinetik juga energi tekanan menjadi energi mekanik. Selanjutnya daya dari poros ditransmisikan ke generator yang nantinya diubah menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator nantinya didistribusikan ke konsumen melalui inverter.

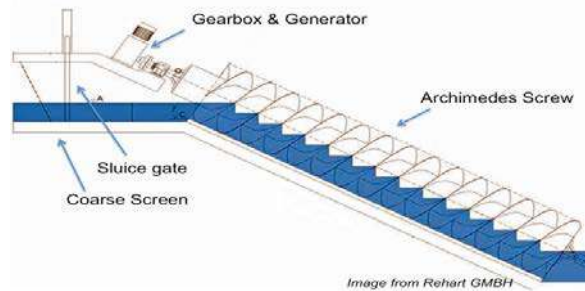
Blok diagram konversi energi ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1 Blok diagram konversi energi

Adapun prinsip kerja dari *screw* turbin ini dimana tekanan dari air melalui bilah-bilah sudu turbin mengalami penurunan kecepatan air akibat adanya hambatan dari bilah-bilah sudu turbin, maka tekanan ini akan memutar turbin dan menggerakkan generator listrik dimana sebelumnya daya putaran poros ditransmisikan melalui *gearbox*.

Prinsip kerja dari *screw turbine* secara umum dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini.



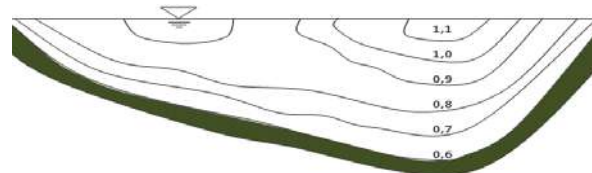
Gambar 2 Prinsip kerja *screw* turbin

Klasifikasi Kecepatan Air

Karakteristik kecepatan air di sungai tidak jauh berbeda dengan karakteristik kecepatan air di suatu saluran. Karena aliran di sungai pada umumnya adalah turbulen seperti halnya aliran di saluran, maka debit aliran melalui saluran terbuka dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Q = A V \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (1)$$

Untuk garis-garis distribusi kecepatan (isovel) pada suatu alur sungai ditunjukkan pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3 Distribusi kecepatan (isovel) suatu penampang sungai alamiah
Sumber : (Maryono, 2005).

Tabel 1 Perbandingan V_m / V_o , untuk menentukan besarnya kecepatan rata-rata.

Jenis Material dasar Sungai	V_m / V_o ,
	mak
Batuan kricak halus sampai menengah	0,83
Batuan kricak besar kasar	0,71
Lempengan kasar	0,40-0,52
Batuan kricak dengan rumput-rumputan	0,46-0,75
Batuan kricak kasar dengan batu-batu besar	0,58-0,70
Batuan kricak sangat besar	0,62
Lempung berpasir	0,65-0,83

Kecepatan aliran melalui saluran terbuka dapat dihitung dengan beberapa rumus berikut:

$$Q = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2; \quad V_r = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

$$V = C\sqrt{RI} \quad (3)$$

$$C = k_{st} \cdot R^{1/6} \quad (4)$$

$$V = k_{st} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (5)$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (6)$$

$$\text{Dimana : } k_{st} = \frac{1}{n} \quad (7)$$

Koefisien Chezy dapat dinyatakan dengan koefisien Manning dengan persamaan $C = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}}$ (8)

dimana n adalah nilai koefisien Manning yang merupakan fungsi dari bahan dinding saluran. Pada umumnya tipe aliran melalui saluran terbuka adalah turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif lebih besar. Aliran melalui saluran terbuka akan turbulen apabila bilangan Reynolds $Re \geq 4000$, dan laminar apabila $Re \leq 2000$. Untuk saluran melalui pipa pada gambar debit aliran dapat ditentukan dengan rumus:

$$Q = AV = A \frac{1}{2} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Daya Generator

Generator yang akan digunakan pada penelitian ini adalah Alternator dengan kecepatan putar (rpm) yang disesuaikan dengan kecepatan putar turbin (rpm) yang akan diuji.

Adapun daya generator dapat dihitung dengan persamaan :

$$Pg = V_L \cdot I_L \cos \Phi \text{ (watt)} \quad (10)$$

Dimana : Pg = daya generator (W)
 V_L = tegangan (V)
 I_L = arus (A)
 $\cos \Phi$ = faktor daya

Kecepatan Putaran Turbin

Semenjak generator dan turbin digabungkan, rata-rata kecepatan putar turbin sama dengan kecepatan putar generator, dinyatakan sebagai:

$$N_t = \frac{60f}{p} \quad (11)$$

Dimana : N_t = kecepatan putaran (rpm)
 f = frekwensi (Hz)
 p = jumlah pasang kutub generator

jadi kecepatan putaran turbin ditentukan oleh kecepatan putaran generator. Kecepatan spesifik dari turbin dinyatakan sebagai berikut:

$$N_s = \frac{N_t \sqrt{P}}{h^{\frac{5}{4}}} \quad (12)$$

Dengan : N_s = kecepatan spesifik (rpm)

Energi dan Availabilitas

Energi adalah sesuatu yang bersifat abstrak yang sukar dibuktikan tetapi dapat dirasakan adanya. Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja (*energy is the capability for doing work*).

Availabilitas adalah kemampuan sistem untuk menghasilkan kerja yang berguna (*availability is an ability of a system to produce a useful effect*). Jadi keberadaan availabilitas lebih realistis, mudah dibuat dan dapat dirasakan kegunaannya. Menurut hukum Termodinamika Pertama, energi bersifat kekal. Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, tetapi dapat dikonversi dari satu bentuk energi ke bentuk energi yang lain. Sedang availabilitas adalah kemampuan suatu sistem untuk menghasilkan suatu pengaruh yang berguna bagi kebutuhan manusia secara positif.

Metode Penelitian

Dalam bab ini akan dibahas mengenai prosedur penelitian dimulai dari perancangan, pembuatan alat, serta pengujian alat, sehingga didapatkan analisa hasil yang akan digunakan sebagai kesimpulan dari daya listrik optimum model *Screw Turbine 2 blade*. Pada gambar 3.1 menunjukkan blok diagram dari penelitian yang akan dilakukan pada sistem rancang bangun turbin ulir.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat dan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah meliputi:

1. Pipa galvanis
2. Plat baja
3. Poros
4. Bantalan (Bearing)
5. Puli (Pulley)
6. Sabuk (V-Belt)
7. Mesin pemotong baja (gergaji besi)
8. Mesin las
9. Mesin bubut
10. Alat bantu perbengkelan, seperti: palu, tang kunci pas, kunci inggris, obeng dan lain sebagainya.
11. Flowmeter untuk mengukur kecepatan air
12. Tachometer untuk mengukur kecepatan putaran turbin
13. Multimeter untuk mengukur arus dan tegangan yang dihasilkan
14. Lampu listrik ukuran daya 3,5 watt untuk pembebanan
15. Kabel listrik

Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, sebagai langkah awal dilakukan studi literatur maupun survey lapangan, selanjutnya dilakukan perancangan desain seluruh turbin (panjang, diameter dalam, head, debit dan luas saluran) dengan menggunakan *vernier calliper* (jangka sorong), kemudian dihitung dimensi turbin. Setelah desain sesuai selanjutnya desain tersebut digambar menggunakan software Autocad dan pembuatan bentuk turbin. Setelah turbin dibuat dan dipasang tahapan selanjutnya adalah menguji setiap model turbin kembali sampai diperoleh hasil yang sesuai.

Langkah selanjutnya adalah pembuatan pembangkit daya listrik dengan menggunakan GENERATOR, pembuatan pembangkitan daya listrik dilakukan untuk melihat hasil uji daya optimum setelah masuk ke rangkaian listrik. Pengujian rangkaian menggunakan beberapa alat ukur diantaranya Flowmeter, Tachometer dan Multimeter yang digunakan untuk mengukur arus dan tegangan ke konsumen yang hasilnya dapat dilihat secara digital berupa angka. Jika hasil pengukuran yang terbaca oleh display sudah identik dengan multimeter digital, maka rangkaian listrik dan turbin sudah sesuai.

Berikutnya adalah pendesainan rangkaian listrik pada papan panel rangkaian dengan 3 buah lampu, rangkaian yang dibuat digunakan untuk menampilkan hasil pembangkitan arus listrik yang dihasilkan dari generator tersebut maupun pembangkitan arus lainnya serta menampilkan nyala lampu yang akan digunakan untuk memonitoring pembebanan dan kerja dari generator dan turbin. Rangkaian listrik yang dibuat tentu saja harus dapat mengalirkan arus searah kurang lebih mendekati dari hasil yang sebenarnya. Arus listrik ini juga akan disertai tegangan yang akan menampilkan pemakaian beban oleh lampu. Setelah rangkaian listrik selesai dibuat kemudian dilakukan instalasi dan penyambungan dengan dinamo generator menggunakan kabel agar tidak terjadi kesalahan saat lampu dihidupkan, sebagai pengatur tegangan digunakan penyearah arus dan lampu sebagai beban.

Setelah rangkaian listrik dapat berjalan dengan baik maka dilanjutkan dengan perakitan seluruh komponen ke dalam chassis turbin yang digabungkan dengan *gearbox* dan sistem pemindah tenaga. Langkah selanjutnya adalah pemasangan puli (*Pulley*) pada V-Belt yang dilakukan untuk uji coba mensinkronisasikan putaran yang dalam keadaan asli menggunakan generator, beban lampu, puli (*Pulley*) dan V-belt.

HASIL PENELITIAN DAN ANALISA PEMBAHASAN

Pada bab empat ini akan dibahas hasil dan analisa dari pengujian arus, tegangan dan frekuensi dari sistem screw turbin ini. Pengukuran ketiga jenis daya menggunakan sistem pengambilan data melalui alat ukur.

Tabel 2 Data Daya, Kecepatan putaran turbin dan generator untuk $\Lambda = 2 R_0$

Sudut (°)	Jumlah Lampu	V _L (Volt)	I _L (Amp.)	P _g (Watt)	N _t (rpm)	η _g (rpm)
25	0	4,6	1,3	5,98	315	615
	1	3,7	1,1	4,07	310	605
	2	2,6	0,9	2,34	306	590
	3	1,6	0,8	1,28	303	575
30	0	4,1	1,3	5,33	295	595
	1	3,2	1,2	3,84	290	580
	2	2,4	0,9	2,16	288	560
	3	1,5	0,7	1,05	285	555
35	0	3,7	1,3	4,81	257	570
	1	2,8	1,1	3,08	246	560
	2	1,9	0,8	1,52	229	540
	3	1,1	0,6	0,66	208	535

Data Daya, Kecepatan putaran turbin dan generator Untuk $\Lambda = 2 R_0$

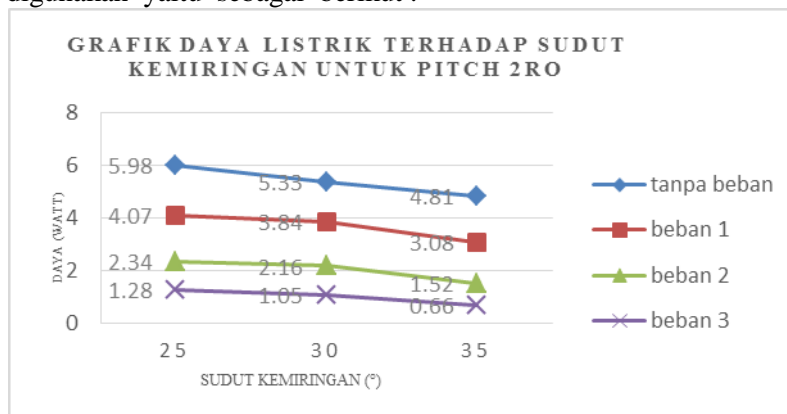
Dimana : V_L = tegangan listrik (Volt)

I_L = arus listrik (Ampere)

N_t = kecepatan putaran turbin (rpm)

N_g = kecepatan putaran generator (rpm)

Analisa perhitungan data hasil pengujian di atas dapat ditampilkan ke dalam bentuk grafik untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada daya generator dan kemiringan poros turbin terhadap jumlah beban lampu yang digunakan yaitu sebagai berikut :



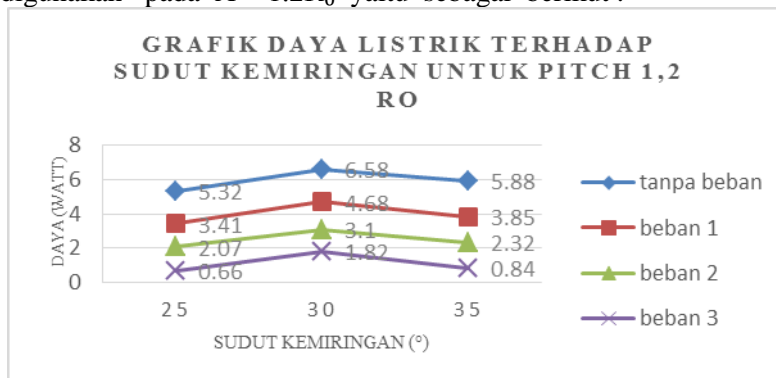
Gambar 5 Grafik daya dan sudut kemiringan poros turbin terhadap jumlah beban lampu pada $\Lambda = 2R_0$

Grafik di atas menunjukkan bahwa unjuk kerja terbaik model turbin ulir yang menghasilkan daya output generator paling besar terjadi pada sudut kemiringan 30° . Dari sudut $25^\circ - 30^\circ$ daya generator naik dan turun setelah sudut kemiringan lebih besar dari 30° ($\Theta > 30^\circ$).

Tabel 3 Data Daya, Kecepatan putaran turbin dan generator untuk $\Lambda = 1,2 R_0$

Sudut (°)	Jumlah lampu	V _L (Volt)	I _L (Amp.)	P _g (Watt)	N _t (rpm)	N _g (rpm)
25	0	3,8	1,4	5,32	352	725
	1	3,1	1,1	3,41	344	665
	2	2,3	0,9	2,07	331	540
	3	1,1	0,6	0,66	323	525
30	0	4,7	1,4	6,58	387	785
	1	3,9	1,2	4,68	382	770
	2	3,1	1	3,1	367	765
	3	2,6	0,7	1,82	356	745
35	0	4,2	1,4	5,88	349	690
	1	3,5	1,1	3,85	329	585
	2	2,9	0,8	2,32	318	505
	3	1,4	0,6	0,84	303	475

Analisa perhitungan data hasil pengujian di atas dapat ditampilkan ke dalam bentuk grafik untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada daya generator dan kemiringan poros turbin terhadap jumlah beban lampu yang digunakan pada $\Lambda = 1,2R_0$ yaitu sebagai berikut :



Gambar 6 Grafik daya dan sudut kemiringan poros turbin terhadap jumlah beban lampu pada $\Lambda = 1,2R_0$

Grafik di atas menunjukkan bahwa unjuk kerja terbaik model turbin ulir yang menghasilkan daya output generator paling besar terjadi pada sudut kemiringan 30° juga. Dari perhitungan data hasil pengujian di atas dapat dianalisa bahwa putaran di poros generator terhadap jumlah beban lampu, dimana semakin besar pembebanan lampu yang diberikan, maka putaran poros generator juga akan semakin berkurang. Dengan berkurangnya putaran poros generator maka tegangan yang dihasilkan juga semakin berkurang sesuai penambahan beban lampu. Hal ini dapat diilustrasikan pada tenaga yang digunakan untuk memutar rotor adalah roda sepeda. Jika roda berputar, maka kumparan atau magnet ikut berputar.

Analisa daya dan efisiensi hasil pengujian di setiap penambahan beban lampu pada masing-masing pitch terhadap sudut kemiringan poros

Dari data yang diperoleh dari hasil pengujian di lapangan, dapat diketahui efisiensi generator di setiap penambahan beban lampu pada masing-masing pitch dengan menggunakan persamaan yaitu :

$$\eta = \frac{\text{daya output}}{\text{daya input}} \times 100\% \text{ atau } \eta_g = \frac{P_g}{P_t} \times 100\% \quad (13)$$

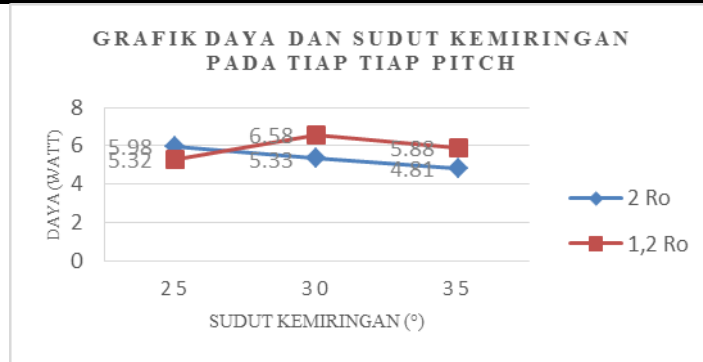
Data daya (P_g) dan efisiensi (η_g) generator di setiap penambahan beban lampu pada masing-masing pitch terhadap sudut kemiringan poros dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini:

Tabel 4 Data daya dan efisiensi hasil pengujian di setiap penambahan beban lampu pada masing-masing pitch terhadap sudut kemiringan poros

Tabel 4 Data daya dan efisiensi generator hasil pengujian tanpa lampu

No	Pitch	Sudut (°)	P_g (W)	P_t (W)	T (Nm)	η_g (%)
1	2 Ro	25	5,98	0,00	0,00	
2		30	5,33	0,00	0,00	
3		35	4,81	0,00	0,00	
4	1,2 Ro	25	5,32	0,00	0,00	
5		30	6,58	0,00	0,00	
6		35	5,88	0,00	0,00	

Analisa perhitungan data hasil pengujian di atas dapat ditampilkan ke dalam bentuk grafik untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada daya dan efisiensi hasil pengujian pada masing-masing pitch terhadap sudut kemiringan poros turbin pada Gambar 4.3 dan untuk data daya turbin dapat dilihat pada lampiran.



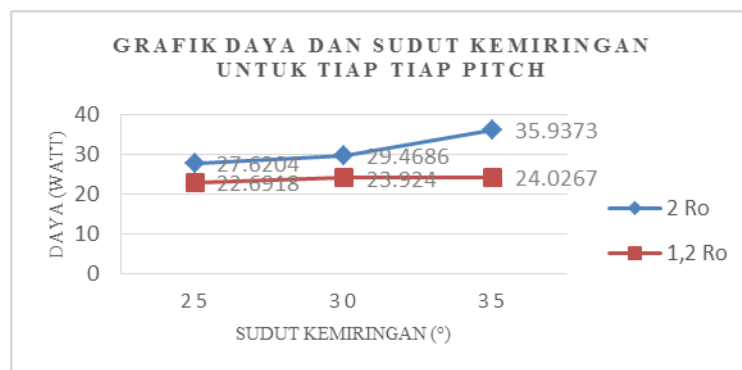
Gambar 7 Grafik daya dan efisiensi pada masing-masing pitch terhadap sudut kemiringan poros tanpa lampu

Dari grafik di atas dapat dianalisa bahwa pada pitch $1,2R_0$ menunjukkan daya tertinggi sebesar 6,58 watt pada sudut kemiringan poros 30° dan efisiensi tertinggi pada pitch $1,2R_0$ dengan sudut kemiringan poros 30° yaitu sebesar 84%, dimana perbandingan pengukuran daya generator dan daya turbin kecil, sehingga didapatkan nilai efisiensi yang besar.

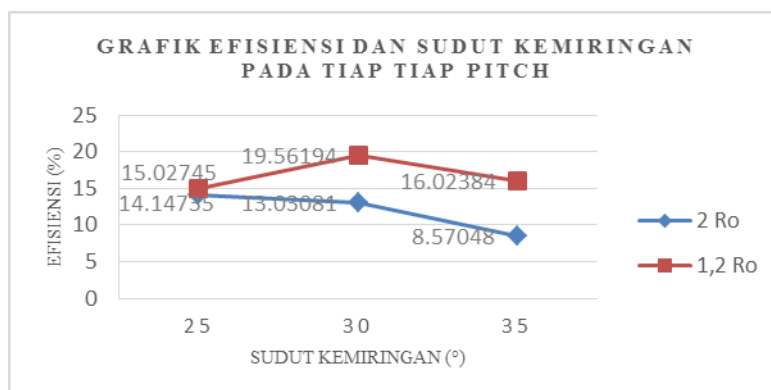
Tabel 5. Data daya dan efisiensi generator hasil pengujian satu lampu

No	Pitch	Sudut (°)	P_g (W)	P_t (W)	T (Nm)	η_g (%)
1	2 Ro	25	4,07	27,6204	0,9810	14,14735
2		30	3,84	29,4686	0,9810	13,03081
3		35	3,08	35,9373	0,9810	8,57048
4	1,2 Ro	25	3,41	22,6918	0,9810	15,02745
5		30	4,68	23,9240	0,9810	19,56194
6		35	3,85	24,0267	0,9810	16,02384

Grafik dari data di atas dapat dilihat pada gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8 Grafik daya dan efisiensi pada masing-masing pitch terhadap sudut kemiringan poros dengan satu lampu



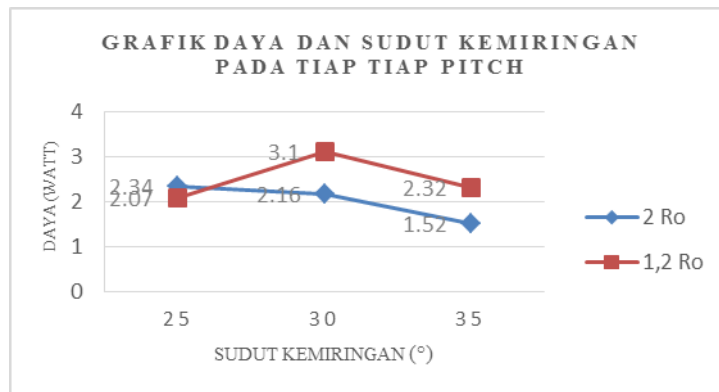
Gambar 9 Grafik daya dan efisiensi pada masing-masing pitch terhadap sudut kemiringan poros dengan satu lampu

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa pada pitch $2R_0$ memiliki daya generator dan efisiensi tertinggi pada sudut 35° , dengan daya generator sebesar 4,68 watt dan efisiensi sebesar 19,56194 %.

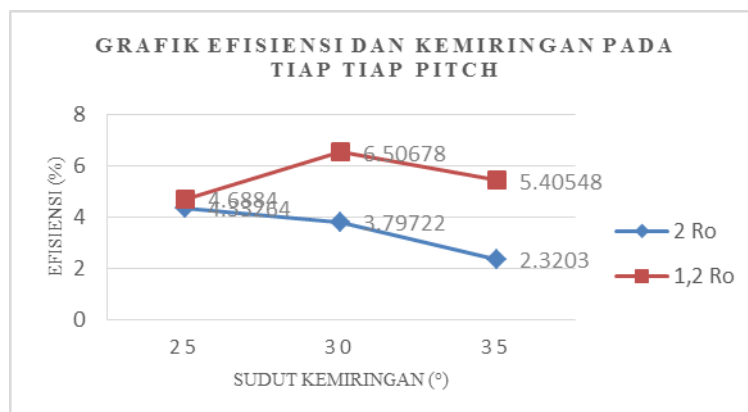
Tabel 6. Data daya dan efisiensi generator hasil pengujian dua lampu

No	Pitch	Sudut (°)	P_g (W)	P_t (W)	T (Nm)	η_g (%)
1	2 Ro	25	2,34	54,0086	1,9620	4,33264
2		30	2,16	56,8836	1,9620	3,79722
3		35	1,52	65,5086	1,9620	2,32030
4	1,2 Ro	25	2,07	44,1515	1,9620	4,68840
5		30	3,1	47,6426	1,9620	6,50678
6		35	2,32	42,9194	1,9620	5,40548

Grafik dari data di atas dapat dilihat pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10 Grafik daya dan efisiensi pada masing-masing pitch terhadap sudut kemiringan poros dengan dua lampu



Gambar 11 Grafik daya dan efisiensi pada masing-masing pitch terhadap sudut kemiringan poros dengan dua lampu

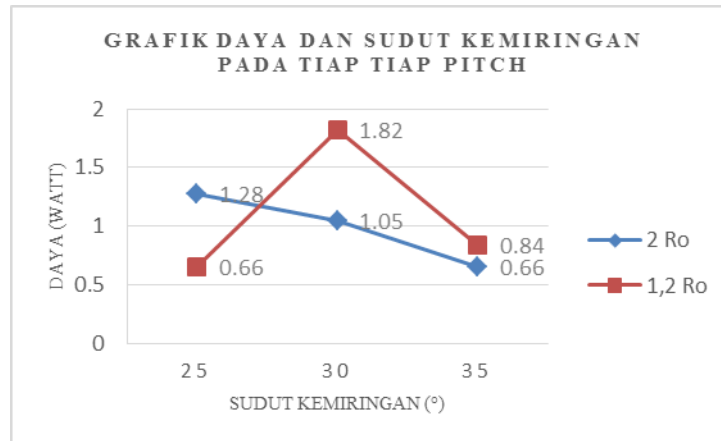
Dari grafik di atas menunjukkan bahwa pada pitch $1,2R_0$ memiliki daya generator tertinggi pada sudut 30° , dimana masing-masing daya generator sebesar 3,1 watt serta efisiensi sebesar 6,50678%. Dari grafik efisiensi dan sudut kemiringan tiap-tiap pitch, terlihat bahwa pada pitch $1,2R_0$ menunjukkan efisiensi tertinggi pada sudut 30° . Hal ini sama dengan hasil ukur tanpa lampu. Jadi hasil pengukuran di atas masih terdapat kesalahan-kesalahan pengukuran pada saat pengambilan data di lapangan.

Tabel 7 Data daya dan efisiensi generator hasil pengujian tiga lampu

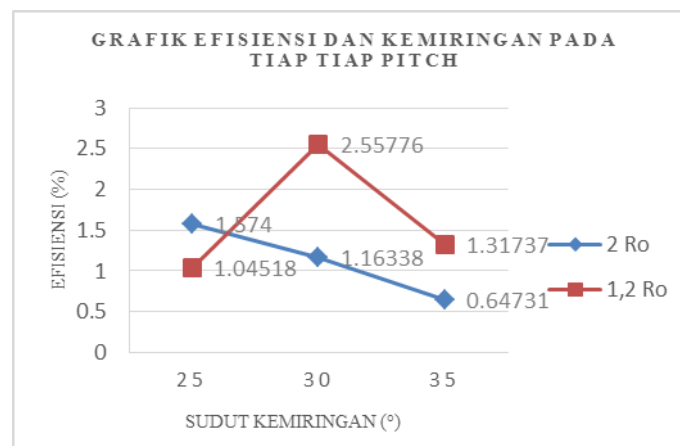
No	Pitch	Sudut (°)	P_g (W)	P_t (W)	T (Nm)	η_g (%)
----	-------	-----------	-----------	-----------	--------	--------------

1	2 Ro	25	1,28	81,3210	2,9430	1,57400
2		30	1,05	90,2540	2,9430	1,16338
3		35	0,66	101,9593	2,9430	0,64731
4	1,2 Ro	25	0,66	63,1470	2,9430	1,04518
5		30	1,82	71,1559	2,9430	2,55776
6		35	0,84	63,7630	2,9430	1,31737

Grafik dari data di atas dapat dilihat pada Gambar 12 di bawah ini



Gambar 13 Grafik daya dan efisiensi pada masing-masing pitch terhadap sudut kemiringan poros dengan tiga lampu



Gambar 13 Grafik daya dan efisiensi pada masing-masing pitch terhadap sudut kemiringan poros dengan tiga lampu

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa pada pitch $1,2R_0$ memiliki daya generator dan efisiensi tertinggi pada sudut 30° , dengan daya generator sebesar 1,82 watt dan efisiensi sebesar 2,55776%

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Pada setiap penambahan variasi kemiringan poros, masing-masing model turbin ulir cenderung menunjukkan karakteristik yang sama yaitu mengalami peningkatan daya dari kemiringan poros 25° hingga 30° , namun daya yang dihasilkan kemudian menurun dari kemiringan poros 30° hingga 35° . Daya dan Efisiensi tertinggi yang diperoleh dari masing-masing jarak pitch model turbin ulir dua blade adalah pada kemiringan poros 30° . Semakin besar kecepatan putaran generator, maka semakin besar gaya yang bekerja pada sabuk-puli. Begitu juga dengan torsi (momen puntir), semakin besar daya generator, maka torsi yang ditimbulkan juga semakin besar.
2. Pada pengujian berbeban, secara umum model turbin ulir dengan jarak pitch $1,2R_0$ memberikan daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan model turbin ulir dengan jarak pitch $2R_0$ dengan daya

generator sebesar 4,68 watt dan efisiensi sebesar 19,56194 %. Pitch $1,2R_0$ menunjukkan daya tertinggi sebesar 6,58 watt pada sudut kemiringan poros 30^0 dan efisiensi tertinggi pada pitch $1,2R_0$ dengan sudut kemiringan poros 30^0 yaitu sebesar 84% tanpa pengujian beban. Efisiensi generator adalah hasil pembagian dari daya generator dan daya turbin yang didapat dari hasil pengukuran. Pada pengujian model turbin ulir, semakin besar pembebanan lampu yang diberikan, maka putaran generator juga akan semakin berkurang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Alois, Koller. 1986. "Rangkaian Arus Listrik". Jakarta: PT Intermedia, 2016.
- [2]. Bard. N. 2007. "River Dart Country Park Archimedes Screw System Performance Assessment. (Artikel). Mannpower Consulting Ltd.
- [3]. Daryanto. "Teknik Pengerjaan Listrik". Ed. 1 Cet. 3, Jakarta: Bumi Aksara, 2006.
- [4]. ESHA. (2005) State of the Art of Small Hydropower in EU-25 Brussels: European Small Hydropower Association.
- [5]. Haryono, A., Gunawan, S., dan Hansen, M. 2007. Potensi Tenaga Pasang Surut sebagai Alternatif Pembangkit Tenaga Listrik Menggunakan Model Waduk Penampung Air di Bengkulu. Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia BPPT/ANY, 5 (5).
- [6]. Kadir, Abdul. "Pembangkit Tenaga Listrik". Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), 1996.
- [7]. Mahmood Nahvi dan Joseph A. Edminister. 2004. "Rangkaian Listrik". Jakarta: Penerbit Erlangga
- [8]. Pudjanarso, Astu. Djati Nursuhud. "Mesin Konversi Energi". Ed. III, Yogyakarta: Andi
- [9]. Satriyo, Puguh Adi, ST. Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Untuk Daerah Terpencil. Puslitbang Iptekhan Balitbang Dephan.

SUBMISSION 26

Pemetaan Bahan Baku dan Analisis Teknoekonomi Biodiesel dari Kelapa Sawit

Tri Yuni Hendrawati^{1,*} dan Anwar Ilmar Ramadhan²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta, Indonesia

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Kenaikan harga bahan bakar minyak (BBM) secara langsung berakibat pada naiknya biaya transportasi, biaya produksi industri dan pembangkitan tenaga listrik. Biodiesel salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan, tidak mempunyai efek terhadap kesehatan yang dapat dipakai sebagai bahan bakar kendaraan bermotor dapat menurunkan emisi bila dibandingkan dengan minyak diesel. Tujuan penelitian ini adalah melakukan pemetaan bahan baku dan analisis teknoekonomi produksi biodiesel dari minyak kelapa sawit. Metode penelitian yang digunakan untuk pemetaan bahan baku dengan pengolahan data kuantitatif dari data sekunder dan pemilihan profitasnya dengan AHP. Berdasarkan analisis AHP dan kondisi obyektif maka hasil pemilihan bahan baku biodiesel yang potensial berdasarkan prioritas terbaik di tingkat Nasional adalah kelapa sawit. Hasil analisis teknoekonomi layak dari sisi kelayakan finansial pada kapasitas produksi biodiesel sawit sebesar 100.000 ton/tahun atau 300 ton/hari. Dengan tingkat konversi 98%, jumlah CPO yang dibutuhkan oleh pabrik biodiesel ini adalah sebanyak 102.041 ton/tahun atau 306 ton/hari. Kebutuhan CPO sebesar itu disuplai dari kebun sawit dengan luasan 19.254 ha. Kebutuhan investasi Rp 312.281.574.733,-, dengan kriteria kelayakan Net B/C (*Benefit/Cost*) 1,51; IRR (*Internal Rate of Return*) lebih besar dari 12% yaitu 23,26%; NPV (*Net Present Value*) positif Rp 180.442.308.382,-; *Pay Back Period* (PBP) pada tahun ke 6,66 tahun dan HPP (Harga Pokok Produksi) biodiesel sebesar Rp 6.938,- /kg \cong Rp 6.938,- /liter. Dengan HPP sebesar Rp 6.938,- /kg ditetapkan harga jual biodiesel sawit sebesar Rp 8.000,-/kg.

Kata kunci—*teknoekonomi; biodiesel; sawit; AHP; HPP*

1. PENDAHULUAN

Pengembangan bioenergi di dalam negeri merupakan hal yang mendesak untuk direalisasikan. Ketersediaan energi fosil dalam negeri yang semakin menipis menjadikan pengembangan bioenergi merupakan prioritas utama yang harus dilakukan demi terjaganya kesinambungan ketersediaan energi dalam negeri. Sebagai negara agraris di kawasan tropis, Indonesia memiliki berbagai jenis sumber bahan baku nabati yang dapat diolah menjadi biofuel. Namun demikian dari sekian banyak potensi sumber bahan baku nabati yang ada, baru beberapa tumbuhan saja yang sudah dimanfaatkan untuk keperluan komersial seperti kelapa sawit, kelapa, kacang-kacangan, tebu, aren dan singkong. Sementara sebagian besar tanaman yang lain belum termanfaatkan, bahkan belum pernah digali potensinya [1,2].

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak bumi di dunia namun sampai saat ini masih mengimpor bahan bakar minyak (BBM) untuk mencukupi kebutuhan bahan bakar minyak di sektor transportasi dan energi. Kenaikan harga minyak mentah dunia akhir-akhir ini memberi dampak yang besar pada perekonomian nasional, terutama dengan adanya kenaikan harga BBM. Kenaikan harga BBM secara langsung berakibat pada naiknya biaya transportasi, biaya produksi industri dan pembangkitan tenaga listrik. Dalam jangka panjang impor BBM ini akan makin mendominasi penyediaan energi nasional apabila tidak ada kebijakan pemerintah untuk melaksanakan penganeekaragaman energi dengan memanfaatkan energi terbarukan dan lain-lain. Biodiesel salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan, tidak mempunyai efek terhadap kesehatan yang dapat dipakai sebagai bahan bakar kendaraan bermotor dapat menurunkan emisi bila dibandingkan dengan minyak diesel [3,4].

Biodiesel terbuat dari minyak nabati yang berasal dari sumber daya yang dapat diperbaharui. Beberapa bahan baku untuk pembuatan biodiesel antara lain kelapa sawit, kedelai, bunga matahari, jarak pagar, tebu dan beberapa jenis tumbuhan lainnya [5,6]. Dari beberapa bahan baku tersebut di Indonesia yang punya prospek

* Corresponding author: yuni.hendrawati@ftumj.ac.id

untuk diolah menjadi biodiesel adalah kelapa sawit dan jarak pagar, tetapi propek kelapa sawit lebih pesat untuk pengolahan secara besar-besaran . Sebagai tanaman industri kelapa sawit telah tersebar hampir di seluruh wilayah Indonesia, teknologi pengolahannya sudah mapan. Dibandingkan dengan tanaman yang lain seperti kedelai, bunga matahari, jarak pagar dan lain lain yang masih mempunyai kelemahan antara lain sumbernya sangat terbatas dan masih diimpor (kedelai & bunga matahari), jarak pagar masih dalam taraf penelitian skala laboratorium untuk budidaya dan pengolahannya, sehingga dapat dikatakan bahwa kelapa sawit merupakan bahan baku untuk biodiesel yang paling siap dan potensial. Dalam program pengembangan biodiesel berbahan baku kelapa sawit, maka perkebunan kelapa sawit sangat menjanjikan terutama dalam mengangkat keterpurukan perekonomian nasional, selain manfaat yang dirasakan oleh masyarakat petani kelapa sawit yang menggantungkan hidupnya dari hasil panen (Tandan Buah Segar) TBS, industri biodiesel, juga pemanfaatan biodiesel akan dapat mengurangi atau menghentikan impor minyak solar yang berakibat berkurangnya pembelanjaan luar negeri. Biodiesel dibuat melalui suatu proses kimia yang disebut transesterifikasi (*transesterification*) dimana reaksi antara senyawa ester (CPO/minyak kelapa sawit) dengan senyawa alkohol (*methanol*). Proses ini menghasilkan dua produk yaitu metil esters (biodiesel) dan gliserin (pada umumnya digunakan untuk pembuatan sabun dan lain produk) [7].

Tujuan penelitian ini adalah melakukan pemetaan bahan baku dan analisis teknoekonomi produksi biodiesel dari minyak kelapa sawit.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan data primer dan sekunder dengan daerah survey Jabodetabek. Pengumpulan data secara instansional ke BPS, Kementerian ESDM dan Kementerian Pertanian. Pengolahan data dilakukan dengan metode deskriptif kualitatif dan kuantitatif dalam pemetaan potensi bahan baku biodiesel. Untuk menentukan proritas pemetaan bahan baku digunakan metode AHP [8]. Untuk pemilihan jenis tanaman yang potensial dikembangkan sebagai bahan baku biodiesel maka kriteria yang dipertimbangkan adalah kemudahan budidaya, dukungan infrastruktur, dukungan masyarakat setempat, kebijakan pemerintah, ketersediaan bahan baku, nilai ekonomis, dukungan teknologi, aspek pasar dan pemasaran. Pada analisis AHP ini akan dilakukan survei pada responden nasional dan dilakukan juga prioritas secara nasional untuk bahan baku Biodiesel. Pada analisis teknoekonomi dilakukan analisis aspek teknis teknologis, aspek finansial digunakan metode kelayakan finansial dalam penentuan kelayakannya [9]. Tabel 1 berikut ini menunjukkan standar mutu biodiesel yang dikeluarkan pemerintah Indonesia. Persyaratan kualitas biodiesel disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Persyaratan kualitas biodiesel menurut SNI-04-7182-2006 [10]

Parameter dan satuannya	Batas nilai	Metode uji	Metode setara
Massa jenis pada 40 oC, kg/m ³	850 – 890	ASTM D 1298	ISO 3675
Viskositas kinematik pada 40 oC, mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0	ASTM D 445	ISO 3104
Angka setana	min. 51	ASTM D 613	ISO 5165
Titik nyala (mangkok tertutup), oC	min. 100	ASTM D 93	ISO 2710
Titik kabut, oC	maks. 18	ASTM D 2500	-
Korosi bilah tembaga (3 jam, 50 oC)	maks. no. 3	ASTM D 130	ISO 2160
Residu karbon, %-berat, dalam contoh asli dalam 10 % ampas distilasi	Maks. 0,05 (maks 0,03)	ASTM D 4530	ISO 10370
Air dan sedimen, %-vol.	maks. 0,05	ASTM D 2709	-
Temperatur distilasi 90 %, oC	maks. 360	ASTM D 1160	-
Abu tersulfatkan, %-berat	maks. 0,02	ASTM D 874	ISO 3987

Parameter dan satuannya	Batas nilai	Metode uji	Metode setara
Belerang, ppm-b (mg/kg)	maks. 100	ASTM D 5453	prEN ISO 20884
Fosfor, ppm-b (mg/kg)	maks. 10	AOCS Ca 12-55	FBI-A05-03
Angka asam, mg-KOH/g	maks. 0,8	AOCS Cd 3-63	FBI-A01-03
Gliserol bebas, %-berat	maks. 0,02	AOCS Ca 14-56	FBI-A02-03
Gliserol total, %-berat	maks. 0,24	AOCS Ca 14-56	FBI-A02-03
Kadar ester alkil, %-berat	min. 96,5	dihitung*)	FBI-A03-03
Angka iodium, g-I ₂ /(100 g)	maks. 115	AOCS Cd 1-25	FBI-A04-03
Uji Halphen	Negative	AOCS Cb 1-25	FBI-A06-03

*) berdasarkan angka penyabunan, angka asam, serta kadar gliserol total dan gliserol bebas; rumus perhitungan dicantumkan dalam FBI-A03-03

Asumsi-asumsi lain yang digunakan dalam perhitungan analisis finansial diantaranya adalah jam operasi per tahun 8000 jam (3 shift), kapasitas olah efektif 100%, hasil samping produk berupa gliserin yang dapat dijual, dan nilai kurs Rp 10.000/US\$. Paramater lain yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Asumsi Perhitungan Analisis Finansial Pabrik Biodiesel Sawit

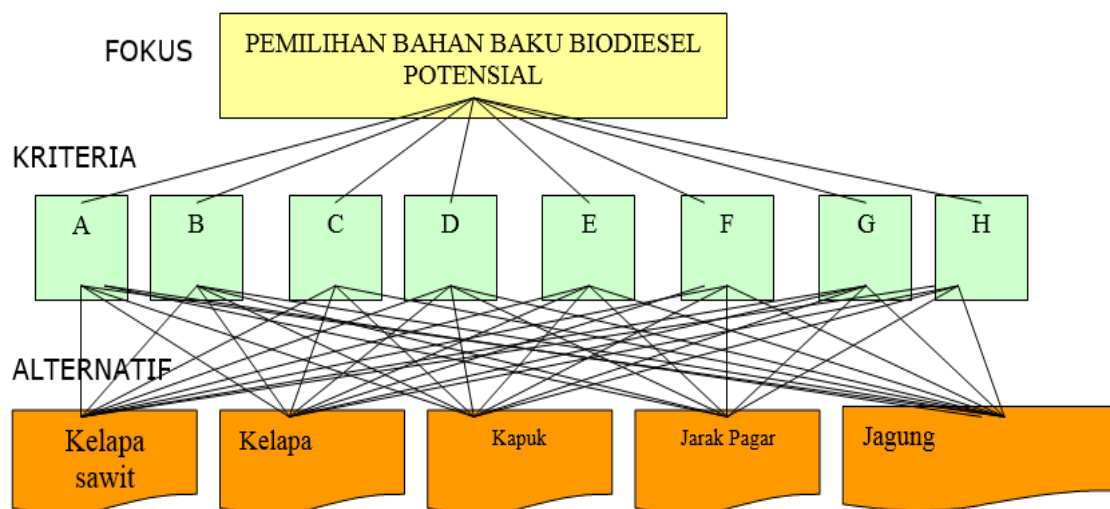
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Operasional Pabrik		
	Jam operasi per hari (3 shift)	24	jam
	Jam operasi per tahun	8.000	jam
	Hari kerja dalam satu tahun	333	hari
	Hasri kerja dalam satu bulan	28	hari
2	Efektivitas kapasitas olah actual	100%	
	Kapasitas olah efektif	102.041	ton CPO/tahun
	Produksi biodiesel	100.000	ton/tahun
	Produksi gliserin	2.041	ton/tahun
3	Keuangan		
	Kurs	10.000	Rupiah/US\$
	Debt Equity Ratio		
	a. Pinjaman bank	70%	
	b. Modal sendiri	30%	
	Tingkat suku bunga	12%	per tahun
	Umur proyek	15	tahun
4	Bahan baku dan Kimia		
	CPO	550	US\$/ton
	Metanol	5.500.000	Rp/Ton
		450	US\$/ton
		4.500.000	Rp/ton
	Katalis (30% Na Methylate in metahanol)	978	US\$/ton
		9.780.000	Rp/ton
	Phosporic acid	326	US\$/ton
		3.260.000	Rp/ton
	Bleaching earth	217	US\$/ton
		2.170.000	Rp/ton
	Hydrochloric acid (37%)	272	US\$/ton
		2.720.000	Rp/ton
	Caustic solution	217	US\$/ton
		2.170.000	Rp/ton
5	Utilitas dan konsumsi		
	Steam	43.478	Rp/ton produk
	Listrik	29.272	Rp/ton produk
	Air proses	20.859	Rp/ton produk
	Lain-lain	1.470	Rp/ton produk

No	Uraian	Nilai	Satuan
6	Biaya lain		
	Pemeliharaan pabrik	5%	dari nilai investasi fisik
	Administrasi kantor	1%	dari nilai penjualan
	Asuransi	2,5%	dari nilai investasi fisik
	Lab/Quality Control & HRD	0,5%	dari nilai penjualan
	Biaya packaging & Pemasaran	2%	dari nilai penjualan
	Biaya jasa lainnya	1,50%	dari nilai penjualan
7	Harga produk		
	Biodiesel	800	US\$/ton
	Gliserol	300	US\$/ton
		8.000.000	Rp/ton
		3.000.000	Rp/ton

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kriteria AHP yang dipertimbangkan dalam memilih jenis tanaman yang potensial dikembangkan sebagai bahan baku biodiesel adalah kemudahan budidaya, dukungan terhadap keamanan pangan, dukungan infrastruktur dan masyarakat setempat, kebijakan Pemerintah, ketersediaan bahan baku, nilai ekonomis, dukungan teknologi, aspek pasar dan pemasaran. dalam pemilihan bahan baku biodiesel potensial digunakan metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)*.

Hierarki pemilihan bahan baku biodiesel yang potensial dikembangkan disusun dalam tiga tingkatan. Pertama fokus, yaitu pemilihan bahan baku biodiesel potensial. Kedua kriteria, yaitu kemudahan budidaya, dukungan terhadap keamanan pangan, dukungan infrastruktur dan masyarakat setempat, kebijakan pemerintah, ketersediaan bahan baku, nilai ekonomis, dukungan teknologi, aspek pasar dan pemasaran. Tingkat ketiga adalah alternatif, yaitu kelapa sawit, jarak, kelapa, kapuk, nyamplung. Lima Komoditas di atas diambil berdasarkan data BPS tahun 2017. Hirarki pengambilan keputusan dan hasil analisis pengolahan data pemilihan bahan baku Biodiesel potensial menggunakan metode AHP selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hirarki pemilihan bahan baku biodiesel potensial Nasional

Keterangan :

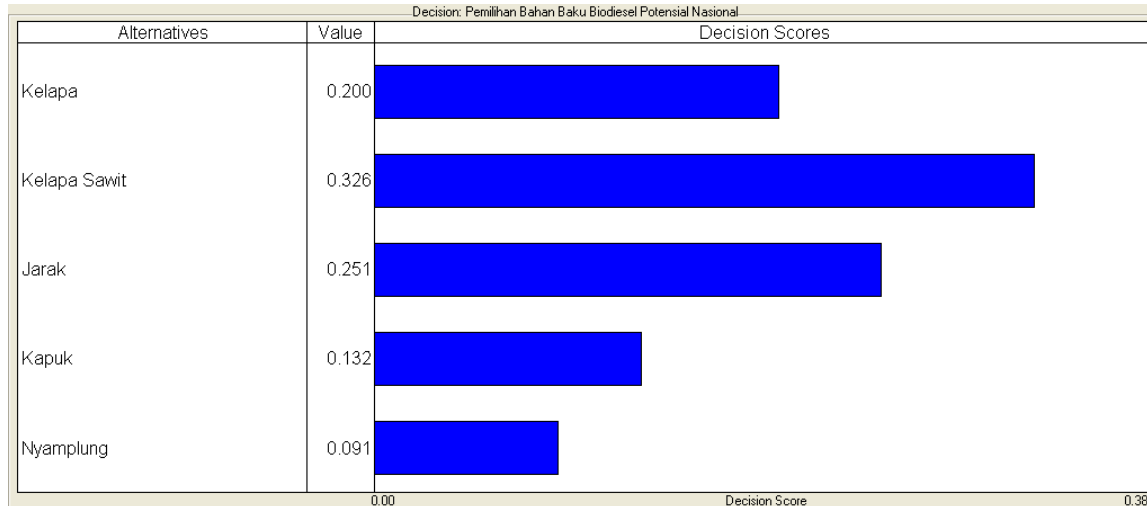
Fokus : Pemilihan Bahan Baku Biodiesel Potensial

Kriteria:

- A = Kemudahan budidaya
- B = Dukungan terhadap keamanan pangan
- C = Dukungan infrastruktur dan masyarakat setempat
- D = Kebijakan Pemerintah dan kompetensi Daerah
- E = Ketersediaan bahan baku
- F = Nilai ekonomis

- G = Dukungan teknologi
H = Aspek pasar dan pemasaran

Berdasarkan kriteria dilakukan pengolahan dengan CDP maka hasil pemilihan bahan baku biodiesel yang potensial berdasarkan prioritas terbaik di tingkat nasional adalah kelapa sawit, jarak, kelapa, kapuk, nyamplung dan dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 2 Hasil Analisis AHP dengan CDP untuk pemilihan bahan baku biodiesel potensial tingkat Nasional

Pada aspek teknis teknologi modifikasi kimia yang paling mudah dilakukan untuk mengubah minyak nabati mentah dan bahan baku nabati lain menjadi bahan bakar nabati yang berberat-molekul lebih kecil, kekentalannya hampir sama dengan minyak diesel/solar, dan berangka setana besar adalah via pengolahan yang disebut transesterifikasi dengan alkohol-alkohol sederhana seperti metanol dan etanol. Proses ini menghasilkan ester alkil asam-asam lemak (atau biodiesel ester alkil) sebagai produk utama dan gliserin sebagai produk-ikutan yang berharga serta mudah dipisahkan. Karena metanol lebih murah daripada etanol maupun alkohol-alkohol sederhana lainnya, maka metanol merupakan alkohol yang paling banyak digunakan dalam transesterifikasi dan produk utamanya, ester metil asam-asam lemak (FAME, *Fatty Acids Methyl Ester*, atau biodiesel ester metil), adalah yang paling populer sehingga biasa disebut singkat "biodiesel". Bahan bakar ini dapat langsung digunakan dalam mesin-mesin diesel biasa, baik dalam bentuk murni maupun dalam bentuk campuran dengan solar. Dalam hal rekayasa terhadap bahan bakar untuk motor diesel yang terbuat dari minyak nabati maupun minyak hewani, hampir seluruh negara telah mengembangkannya mulai dari skala laboratorium sampai skala industri. Bahkan saat ini telah banyak standard yang menetapkan batasan kualitas bahan bakar tersebut. Suatu teknologi pembuatan biodiesel hanya akan punya peluang untuk bisa diterima guna diterapkan dalam praktek komersial, jika teknologi tersebut mampu menghasilkan produk akhir biodiesel yang memenuhi persyaratan mutu yang berlaku di wilayah pemasaran biodiesel tersebut.

Dari aspek pasar dan pemasaran harga bahan bakar di pasar internasional terus meningkat akibat krisis energi. Untuk mengatasi masalah melonjaknya harga minyak dunia dan menipisnya cadangan minyak bumi, sudah saatnya dikembangkan sumber energi alternatif terbarukan dari sumber daya alam hayati. Peluang pasar biodiesel diantaranya yaitu untuk konsumsi internal, pemenuhan pasar domestik serta pemenuhan pasar ekspor. Konsumsi internal akan terus meningkat seiring dengan pendirian pabrik baru ataupun peningkatan kapasitas produksi pabrik yang sudah ada. Saat ini sudah terdapat sekitar 250 pabrik CPO dengan total kapasitas sekitar 10.000 ton TBS/jam, kebutuhan biodiesel secara internal diperkirakan mencapai 0,325 juta liter per tahun.

Untuk pasar domestik, jika substitusi solar dengan biodiesel sebanyak 5% tercapai maka peluang pasar yang terbuka untuk jangka menengah adalah sekitar 1,3 juta kilo liter per tahun sampai dengan tahun 2025. Peluang biodiesel untuk mengisi pasar ekspor cukup terbuka. Hal ini dibantu dengan adanya diversifikasi di negara-negara maju melalui biofuel apalagi bahan baku untuk biofuel di Indonesia cukup melimpah bila dibandingkan dengan negara-negara Eropa. Peluang pasar biodiesel semakin terbuka sekarang ini mengikuti

semakin tingginya harga bahan bakar fosil. Kenaikan harga bahan bakar fosil setelah Pepres No. 5/2005 mencapai lebih dari 100% baik untuk premium, solar maupun minyak tanah. Bahkan solar dan minyak tanah kenaikannya mencapai lebih dari 200%.

Pada aspek finansial dalam suatu kelayakan usaha dapat memberikan informasi mengenai kriteria kelayakan industri secara finansial, proyeksi kebutuhan dana ketika suatu industri akan didirikan, proyeksi keadaan keuangan suatu industri ketika industri itu sudah berproduksi, dan hal-hal lain ditinjau dari segi finansial [9]. Industri yang akan dianalisis kelayakan dari segi finansialnya adalah industri biodiesel. Industri biodiesel yang dianalisis yaitu industri biodiesel berbahan baku minyak sawit (CPO) kapasitas 100.000 ton/tahun.

Penentuan kapasitas produksi biodiesel berdasarkan ketersediaan bahan baku yang ada saat ini dan skala ekonomis untuk pabrik skala menengah besar. Analisis finansial yang disajikan dalam menghitung kelayakan industri biodiesel meliputi kebutuhan biaya investasi, modal kerja, biaya bahan baku, biaya tenaga kerja, biaya umum, biaya operasional, laba rugi, arus kas serta kajian terhadap parameter kelayakan investasi. Dalam perhitungan aspek finansial ini asumsi-asumsi umum yang digunakan adalah (1). Kredit investasi dan modal kerja dalam bentuk rupiah, (2). Seluruh barang yang diproduksi habis terjual dan pembayaran hasil penjualan dilakukan pada tahun itu juga. (3). Berbagai kombinasi harga untuk seluruh item dianggap konstan selama dilakukan pengkajian. (4). Umur proyek ditetapkan selama 15 tahun. (5). Tingkat suku bunga pinjaman adalah 12 persen/tahun, (6). Perbandingan antara modal sendiri dengan modal pinjaman (*debt equity ratio*) adalah 30% modal sendiri dan 70% modal pinjaman. (7). Penyusutan dihitung dengan menggunakan metode garis lurus, dengan nilai sisa (*salvage value*) untuk semua peralatan adalah 10 persen. (8). Lama pembangunan pabrik dan uji coba produksi adalah 1 tahun dan dihitung sebagai tahun ke-0. Kapasitas produksi tahun pertama adalah 50%. Kapasitas produksi pada tahun kedua adalah 90%, tahun-tahun selanjutnya kapasitas produksi adalah 100%. (9). Situasi dan kondisi politik dan keamanan di Indonesia stabil dan kondusif.

Kapasitas produksi biodiesel sawit ditetapkan sebesar 100.000 ton/tahun atau 300 ton/hari. Dengan tingkat konversi 98%, jumlah CPO yang dibutuhkan oleh pabrik biodiesel ini adalah sebanyak 102.041 ton/tahun atau 306 ton/hari. Kebutuhan CPO sebesar itu disuplai dari kebun sawit dengan luasan 19.254 ha. Kapasitas produksi, kebutuhan bahan baku dan luasan budidaya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Kapasitas produksi, kebutuhan bahan baku dan luasan budidaya

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kapasitas produksi biodiesel	100.000	ton/tahun
		8.333	ton/bulan
		300	ton/hari
2	Konversi CPO menjadi biodiesel	98%	
		102.041	ton/tahun
			ton/bulan
3	CPO yang dibutuhkan	306	ton/hari
		8.503	ton/bulan
		23,45%	
4	Konversi TBS menjadi CPO	435.142,07	ton TBS/tahun
		36.262	ton TBS/bulan
		1.305	ton TBS/hari
5	TBS yang dibutuhkan	22,6	ton TBS/hektar/tahun
		19.254	ha/tahun
		1.605	ha/bulan
6	Produktivitas lahan	58	ha/hari
7	Kebutuhan luasan lahan sawit		

Dana investasi yang dibutuhkan untuk pendirian pabrik biodiesel sawit meliputi investasi tetap, bunga selama masa konstruksi atau *Interest During Construction (IDC)*, dan modal kerja. Investasi tetap terdiri dari biaya persiapan, lahan dan bangunan, serta mesin peralatan. Investasi tetap ditambah dengan kontingensi dan PPN dihitung sebagai biaya proyek. IDC adalah biaya bunga dari hasil pinjaman bank selama pendirian pabrik. Modal kerja adalah modal awal yang dikeluarkan untuk keperluan pengadaan

bahan dan utilitas, tenaga kerja, biaya umum dan biaya operasional untuk menjalankan usaha untuk waktu tertentu. Total kebutuhan dana investasi yang diperlukan adalah sebesar Rp 312.281.574.733 (Tabel 4).

Tabel 4 Perkiraan Biaya Investasi dan Modal Kerja Pabrik Biodiesel Sawit

No	Deskripsi	Jumlah (Rp)
I	Investasi tetap	
	Persiapan	400.000.000
	Lahan dan Bangunan	9.800.000.000
	Mesin dan Peralatan	159.861.702.128
	<i>Investasi tetap</i>	<i>170.061.702.128</i>
	<i>Kontingensi (5%)</i>	<i>8.503.085.106</i>
	<i>PPN (10%)</i>	<i>17.856.478.723</i>
	Biaya Proyek	196.421.265.957
II	IDC	10.999.590.894
III	Modal kerja	104.860.717.882
	Total Investasi	312.281.574.733

Kebutuhan dana investasi ini akan disediakan melalui pinjaman dari bank dan modal sendiri. Perbandingan antara pinjaman bank dengan modal sendiri (*debt equity ratio*) adalah 70% : 30%. Dari total kebutuhan biaya investasi yang merupakan pinjaman bank adalah Rp 218.597.102.313,- dan yang merupakan modal sendiri adalah sebesar Rp 93.684.472.420,- dengan tingkat suku bunga pinjaman sebesar 12% per tahun.

Biaya operasional merupakan biaya yang diperlukan untuk menjalankan kegiatan pabrik. Biaya operasional pabrik terdiri dari biaya bahan dan utilitas, biaya tenaga kerja, biaya umum dan biaya penyusutan. Total kebutuhan biaya operasional industri biodiesel sawit pada kapasitas penuh adalah sebesar Rp 706.920.133.499,- per tahun. Secara rinci, kebutuhan biaya operasional industri biodiesel ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Biaya Operasional Pabrik Biodiesel Sawit

No	Uraian	Tahun 1 (Rp)	Tahun 2 (Rp)	Tahun 3 (Rp)	Tahun 4-15 (Rp)
1	Biaya bahan dan utilitas biodiesel	318.547.492.681	573.385.486.825	637.094.985.361	637.094.985.361
2	Biaya tenaga kerja	3.731.000.000	3.731.000.000	3.731.000.000	3.731.000.000
3	Biaya umum	34.881.594.947	51.001.594.947	55.031.594.947	55.031.594.947
4	Biaya penyusutan	11.062.553.191	11.062.553.191	11.062.553.191	11.062.553.191
	Total	368.222.640.819	639.180.634.963	706.920.133.499	706.920.133.499

Proyeksi rugi laba dihitung untuk mengetahui tingkat profitabilitas suatu usaha yang akan dijalankan. Profitabilitas usaha ini dilihat dari rugi/laba yang timbul akibat kegiatan operasional pabrik. Arus kas terdiri dari uraian pemasukan dan pengeluaran yang terjadi selama berlangsungnya proses produksi dan penjualan selama umur proyek berlangsung. Pada akhir tahun pertama dengan total produksi 50% dari kapasitas terpasang sudah diperoleh laba operasi sebesar Rp 5.982.012.333,-. Tahun kedua dengan total produksi 90% dari kapasitas terpasang diperoleh laba operasi sebesar Rp 43.215.560.204,- dan tahun ketiga dengan total produksi 100% dari kapasitas terpasang diperoleh laba operasi sebesar Rp 53.442.055.002,-.

Salah satu kriteria penentuan keputusan untuk merealisasikan suatu proyek adalah dengan berdasarkan perhitungan kriteria kelayakan investasi. Adapun kriteria investasi yang digunakan dalam aspek finansial ini meliputi B/C Ratio, NPV, IRR, PBP, dan HPP. Kriteria kelayakan investasi pabrik biodiesel sawit dengan kapasitas 100.000 ton/tahun adalah Net B/C (*Benefit/Cost*) 1,51; IRR (*Internal Rate of Return*) lebih besar dari 12% yaitu 23,26%; NPV (*Net Present Value*) positif Rp 180.442.308.382,-; *Pay Back Period* (PBP) pada tahun ke 6,66 tahun dan HPP (Harga Pokok Produksi) biodiesel sebesar Rp 6.938,- /kg \cong Rp 6.938,- /liter. Dengan HPP sebesar Rp 6.938,- /kg ditetapkan harga jual biodiesel sawit sebesar Rp 8.000,-/kg.

Analisis sensitivitas dilakukan untuk melihat seberapa jauh proyek dapat dilaksanakan mengikuti perubahan harga bahan baku dan harga jual biodiesel. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan kenaikan harga bahan baku 4% dengan harga jual tetap dan penurunan harga jual biodiesel sebesar 3,5% tanpa perubahan harga bahan baku serta kenaikan harga bahan baku sebesar 2% dan penurunan harga jual sebesar 2% pada proyek industri biodiesel masih memberikan hasil yang layak. Kriteria kelayakan dan analisis sensitivitas industri biodiesel sawit disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Kriteria Kelayakan dan Analisis Sensitivitas Industri Biodiesel Sawit

Variabel yang Berubah	Basic		Perubahan	
∓ Harga Bahan Baku	0%	4%	0%	2,0%
∓ Harga Jual Biodiesel	0%	0%	-3,5%	-2,0%
∓ Harga Bahan Baku per ton (Rp)	5.500.000	5.720.000	5.500.000	5.610.000
∓ Harga Jual Biodiesel per ton (Rp)	8.000.000	8.000.000	7.720.000	7.840.000
Kriteria Kelayakan				
Net B/C	1,51	1,06	1,01	1,00
IRR	23,26%	15,85%	14,71%	14,60%
NPV (Rp x 1000)	180.442.308	65.230.964	48.425.560	47.215.374
PBP (tahun)	6,66	10,90	11,71	11,79
HPP (Rp/Ton)	6.938.145	7.155.013	6.924.536	7.038.803
HPP (Rp/kg)	6.938	7.155	6.925	7.039

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut

- Berdasarkan analisis AHP dan kondisi obyektif maka hasil pemilihan bahan baku biodiesel yang potensial berdasarkan prioritas terbaik di tingkat Nasional adalah kelapa sawit, jarak, kelapa, kapuk, nyamplung.
- Dari hasil analisis teknoekonomi aspek teknis teknologis, pasar pemasaran dan finansial menunjukkan hasil layak. Dari sisi kelayakan finansial pada kapasitas produksi biodiesel sawit sebesar 100.000 ton/tahun atau 300 ton/hari. Dengan tingkat konversi 98%, jumlah CPO yang dibutuhkan oleh pabrik biodiesel ini adalah sebanyak 102.041 ton/tahun atau 306 ton/hari. Kebutuhan CPO sebesar itu disuplai dari kebun sawit dengan luasan 19.254 ha. Kebutuhan investasi Rp 312.281.574.733,-, dengan kriteria kelayakan Net B/C (*Benefit/Cost*) 1,51; IRR (*Internal Rate of Return*) lebih besar dari 12% yaitu 23,26%; NPV (*Net Present Value*) positif Rp 180.442.308.382,-; *Pay Back Period* (PBP) pada tahun ke 6,66 tahun dan HPP (Harga Pokok Produksi) biodiesel sebesar Rp 6.938,- /kg \cong Rp 6.938,- /liter. Dengan HPP sebesar Rp 6.938,- /kg ditetapkan harga jual biodiesel sawit sebesar Rp 8.000,-/kg.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima Kasih kepada LPPM Universitas Muhammadiyah Jakarta atas Pendanaan dalam skema Hibah Penelitian Kompetitif LPPM UMJ SK Rektor UMJ Nomor 124 tahun 2018 dan Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UMJ atas fasilitas yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ditjen EBTKE, *Statistik Energi Baru dan Terbarukan 2015*, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta (2015).
- Tatang H. Soerawidjaja, 5 November 2016, "Jalan Lurus Menuju Ke Penggantian Minyak Bumi", Seminar Nasional I-Challenge (*Indonesia Chemical Engineering Event*) Proses dan Teknologi Pendayagunaan Sumber Daya Alam Indonesia, Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur (2016)
- Balaraju. M, P. Nikhitha, K. Jagadeeswaraiyah, K. Srilatha, P.S. Sai Prasad, N. Lingaiah., *Acetylation of Glycerol to Synthesize Bioadditives over niobic acid Supported* (2010)
- Ferreira. P, I.M. Fonseca, A.M. Ramos, J. Vital, J.E. Castanheiro., *Esterification of Glycerol With Acetic Acid*. Over

-
- Dodecamolybdophosphoric acid Encaged in USY Zeolite (2009)
 5. Ferreira. P, I.M. Fonseca, A.M. Ramos, J. Vital, J.E. Castanheiro., Acetylation of Glycerol Over Heteropolyacids Supported On Activated Carbon (2011)
 6. Jagadeeswaraiiah.K, M. Balaraju, P.S. Sai Prasad, N. Lingaiah., Selective Esterification of Glycerol to Bioaddives Over Heteropoly Tungstate Supported On Cs-containing Zirconia Catalysts (2010)
 7. Liao. Xiaoyuan, Yulei Zhu, Sheng-Guang Wang, Hongmei Chen, Yongwang Li., Theoretical Elucidation of acetylating Glycerol With Acetic Acid and Acetic Anhydride (2010)
 8. Saaty TL, *Pengambilan Keputusan Bagi Para Pemimpin: Proses Hirarki Analitik untuk Pengambilan Keputusan dalam Situasi Yang Kompleks*. Setiono L, penerjemah; Jakarta: Pustaka Binaman Presindo. Terjemahan (1993)
 9. Soeharto, *Manajemen Proyek Industri (Persiapan, Pelaksanaan dan Pengelolaan)*. Erlangga, Jakarta (1990)
 10. Badan Standarisasi Nasional, SNI-04-7182-2006 (2006)

SUBMISSION 32

Analisis Kinerja Motor Matic 110cc Dengan Menggunakan Campuran Bahan Bakar Pertalite dan Bioetanol

I Gede Eka Lesmana¹, Rovida Camalia H², Ruddy Domas

^{1,2} Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

³ Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

Abstrak. Bio etanol merupakan salah satu bahan bakar alternative berbasis alkohol yang ada. Berdasarkan penelitian sebelumnya tentang bio etanol yang dilakukan Endra Kurniawan^[2] dengan judul Uji Kinerja Mesin 4 Langkah Berbahan Bakar Bioethanol Dari Limbah Pabrik Wafer Gresik Sebagai Campuran Premium didapatkan peningkatan daya dan merujuk kepada buku putih penelitian dan teknologi bidang sumber energi baru dan terbarukan untuk mendukung keamanan ketersediaan energi tahun 2025 kemenristek, pemanfaatan bio etanol merupakan salah satu bagian energi terbarukan, sehingga peneliti melakukan penelitian bahan bakar campuran pertalite dan bio etanol yang terbuat dari tetes tebu dengan kandungan 94.3 persen alkohol. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen, bertujuan untuk mengetahui kinerja mesin dan emisi gas buang terhadap sepeda motor Honda Beat 110cc dengan berbahan bakar pertalite dan campuran bahan bakar pertalite dan bio etanol tetes tebu. Campuran bahan bakar yang digunakan adalah E0,E10,E20,E30. Analisis data menggunakan teknik deskriptif. Pada penelitian ini bahan bakar pertalite digunakan pada motor uji, dan diuji terlebih dahulu diatas *dynamometer*, setelah itu dilakukan pencampuran bio etanol dan pertalite dengan komposisi E10,E20 DAN E30 dan diuji pada motor uji diatas *dynamometer*. Hasil pengujian daya dan Torsi buang kemudian dianalisis. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan campuran bahan bakar pertalite dan bio etanol menghasilkan kenaikan torsi dan daya, hal ini terbukti dengan Torsi optimal tertinggi dicapai bahan bakar E30 dengan 7.8 Nm dan daya efektif optimal dicapai bahan bakar E30 dengan 5.51 kW.

Kata kunci—*bioetanol; saccharomyces cerevisiae; tetes tebu; uji kerja mesin*

1. PENDAHULUAN

Bio Etanol merupakan salah satu bahan bakar alternatif berbasis alkohol, bio etanol dibuat dengan cara fermentasi dan penyulingan dari tanaman seperti jagung, gandum ataupun tebu. Bio etanol dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar yang ada. Dimana pada Penggunaannya Bio etanol dapat dicampurkan dengan persentase tertentu. Pada beberapa penelitian, penggunaan campuran bahan bakar dengan menggunakan Bio etanol menunjukkan peningkatan daya dan torsi pada alat uji yang digunakan.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Syahril Machmud [1] dengan judul Pengaruh Variasi Unjuk Derajat Pengapian Terhadap Kerja Mesin, didapatkan peningkatan nilai prestasi mesin dibanding derajat pengapian standar.

Menurut penelitian yang dilakukan Endra Kurniawan [2] dengan judul Uji Kinerja Mesin 4 Langkah Berbahan Bakar Bioethanol Dari Limbah Pabrik Wafer Gresik Sebagai Campuran Premium, didapatkan peningkatan torsi dan daya. Dimana dengan penggunaan biopremium E15 didapatkan peningkatan daya menjadi 2,89kgf/m pada putaran 2000 rpm dan daya efektif menjadi 8,31 PS pada putaran 3500 rpm. Dapat dikatakan dengan menggunakan campuran bioetanol terjadi kenaikan daya dan torsi

Merujuk kepada buku putih penelitian dan teknologi bidang sumber energi baru dan terbarukan untuk mendukung keamanan ketersediaan energi tahun 2025 kemenristek [4] pemanfaatan bioetanol merupakan salah satu bagian dari energi terbarukan yang bisa dipertimbangkan untuk dikembangkan sebagai pengganti dari peran energi lain seperti batu bara, gas alam, minyak bumi, yang diperkirakan akan habis. Maka dari itu diperlukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan Bio etanol

Berdasarkan penjabaran dari latar belakang diatas, maka peneliti melakukan penelitian analisis kinerja motor matic 110 cc dengan menggunakan bahan bakar pertalite dan bio etanol 94.3%, untuk mengetahui pengaruh dari campuran bio etanol dan pertalite terhadap torsi dan daya sepeda motor.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui pengaruh campuran bahan bakar pertalite dan bioetanol terhadap unjuk kerja motor uji
2. Mengetahui karakteristik bioetanol yang terbuat dari tetes tebu

2. METODE PENELITIAN

a. Tempat Pengujian

Untuk Pengujian karakteristik Bioetanol dilakukan di Laboratorium Sucofindo, dan untuk tes uji kerja dan gas buang dilakukan di Bengkel Bintang Racing Team di Sentul

b. Variabel Pengujian

Variabel bebas atau variabel yang mempengaruhi atau menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat dalam penelitian ini adalah bahan bakar E0 (pertalite murni), bahan bakar E5 (campuran bahan bakar 5% bioetanol dan 95% pertalite), bahan bakar E15 (campuran bahan bakar 15% bioetanol dan 85% pertalite dan bahan bakar E25 (campuran 25% bioetanol dan 75% pertalite).

Sedangkan variabel kontrol atau variable yang dikendalikan dalam penelitian ini adalah Yamaha Mio 125 cc, range putaran dari 5000 rpm – 9000 rpm dan pengujian dilakukan dengan beban penuh (*full open throttle valve*).

Untuk variabel terikat pada penelitian ini meliputi torsi dan daya efektif mesin

c. Prosedur Pengujian

- 1) *Pengujian Kinerja Mesin* : Hal pertama yang dilakukan sebelum dilakukan pengujian adalah persiapan terhadap bahan bakar yang telah dicampur sesuai dengan variabel bebas yang telah ditentukan. Setelah itu persiapan pada sepeda motor yaitu melepas *cover body* sepeda motor bagian tengah supaya mempermudah proses pendinginan mesin. Tahap selanjutnya menaikkan sepeda motor pada *chasis dynamometer* dan ikat dengan tali pengikat.

Siapkan peralatan pendukung seperti, *blower* pendingin, sensor putaran mesin, alat penghitung kecepatan putar. Setelah itu hidupkan *software dynojet chasis dynamometer* lalu masukkan data sepeda motor pada *software* tersebut lalu pilih range putaran mesin disesuaikan dengan variable kontrol yang telah ditentukan.

- 2) *Pengujian torsi, daya dan gas buang* : pada tahap ini mesin kendaraan dihidupkan hingga suhu 80°C diikuti dengan menghidupkan *blower* pendingin. Lalu mengkondisikan putaran *idle* 1400-100 rpm. Buka *throttle valve* hingga putaran mesin 5000 rpm lalu tekan tombol *switch* untuk melakukan perekaman data. Lakukan akselerasi dari 5000 rpm sampai dengan didapatkan putaran maksimal 9000 rpm dengan rentang 500 rpm. Setelah selesai tekan tombol *switch* untuk mengakhiri perekaman data. Lalu menurunkan putaran mesin hingga *idle*. Lakukan penyimpanan data dan mencetak hasil pengujian. Lakukan percobaan tersebut berulang sesuai dengan variabel bebas yang telah ditentukan.
- 3) *Akhir pengujian* : biarkan mesin pada putaran *idle*, lalu matikan *blower* pendingin, *chasis dynamometer* dan yang terakhir matikan mesin kendaraan.

d. Analisis Data

Analisis data dapat dilakukan dengan metode deskriptif, yaitu dengan mendeskripsikan atau menggambarkan secara sistematis, faktual dan akurat mengenai data/hasil yang diperoleh selama pengujian. Data hasil penelitian yang diperoleh dimasukkan kedalam tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Selanjutnya dijelaskan dengan kalimat sederhana sehingga mudah dipahami untuk mendapatkan jawaban dari permasalahan yang diteliti.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

e. Hasil Uji Karakteristik Bioetanol

Pengujian karakteristik bioetanol dilakukan di laboratorium sucofindo Cibitung, dimana sampel diambil sebanyak 1 liter dan menggunakan ASTM (*The American Society For Testing Material*)

Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

Tabel 1 Parameter dan Hasil Pengujian

<i>Parameter</i>	<i>Satuan</i>	<i>Hasil</i>	<i>Metode</i>
<i>Densiti 25°C</i>	<i>kg/L</i>	<i>0.8013</i>	<i>ASTM D4052-15</i>
<i>Viskositas Kinematik 25°C</i>	<i>cSt</i>	<i>1.652</i>	<i>ASTM D445-15</i>
<i>Pour Point</i>	<i>°C</i>	<i>-69</i>	<i>ASTM D97-16</i>
<i>Water Content</i>	<i>%wt</i>	<i>5.66</i>	<i>ASTM D1064-04</i>
<i>Flash Point PMcc</i>	<i>°C</i>	<i>5</i>	<i>ASTM D93-16a</i>
<i>Caloric Value, Gross</i>	<i>BTU/lb</i>	<i>9952</i>	<i>ASTM D240-14</i>
<i>Ethanol</i>	<i>% Vol</i>	<i>94.34</i>	<i>GasChromatography</i>

f. Hasil Pengujian Kinerja Mesin

Hasil pengujian performa mesin dari campuran bahan bakar pertalite dan bioetanol tetes tebu dengan menggunakan sepeda motor Honda Beat 110 cc yang meliputi torsi dan daya mesin adalah sebagai berikut :

Tabel 2 Hasil Pengujian Torsi

<i>RPM</i>	<i>Torsi (Nm)</i>			
	<i>E0</i>	<i>E10</i>	<i>E20</i>	<i>E30</i>
<i>5000</i>	<i>5.15</i>	<i>4.61</i>	<i>4.47</i>	<i>5.22</i>
<i>5500</i>	<i>7.72</i>	<i>7.86</i>	<i>7.52</i>	<i>7.86</i>
<i>6000</i>	<i>7.59</i>	<i>7.72</i>	<i>7.66</i>	<i>7.79</i>
<i>6500</i>	<i>7.59</i>	<i>7.72</i>	<i>7.59</i>	<i>7.66</i>
<i>7000</i>	<i>7.05</i>	<i>7.11</i>	<i>7.32</i>	<i>7.38</i>
<i>7500</i>	<i>6.50</i>	<i>6.78</i>	<i>6.91</i>	<i>7.11</i>
<i>8000</i>	<i>6.10</i>	<i>6.37</i>	<i>6.37</i>	<i>6.44</i>
<i>8500</i>	<i>5.22</i>	<i>5.62</i>	<i>5.62</i>	<i>5.62</i>
<i>9000</i>	<i>4.67</i>	<i>5.01</i>	<i>5.08</i>	<i>5.01</i>

Tabel 3 Hasil Pengujian Daya Mesin

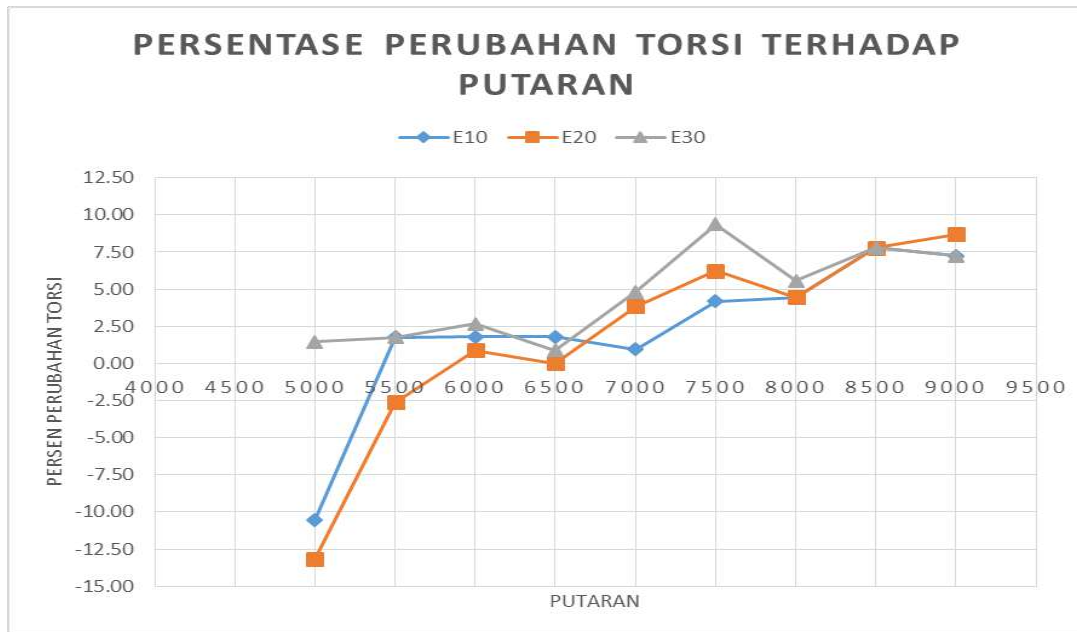
RPM	Power kW)			
	E0	E10	E20	E30
5000	2.85	2.55	2.59	2.89
5500	4.50	4.61	4.31	4.65
6000	4.88	4.91	4.91	4.99
6500	4) 5.25	5.33	5.25	5.33
7000	5) 5.21	5.25	5.33	5.40
7500	6) 5.18	5.36	5.48	5.51
8000	7) 5.10	5.33	5.40	5.48
8500	8) 4.80	5.06	5.06	5.06
9000	9) 4.43	4.76	4.80	4.73

g. Analisa Pengujian Kinerja Mesin

Dari data Hasil pengujian performa torsi dan daya yang terdapat pada tabel 2 dan 3, kemudian diambil persentase perubahannya dan dibuat dalam bentuk grafik seperti berikut :

Tabel 3 Persentase Perubahan Torsi

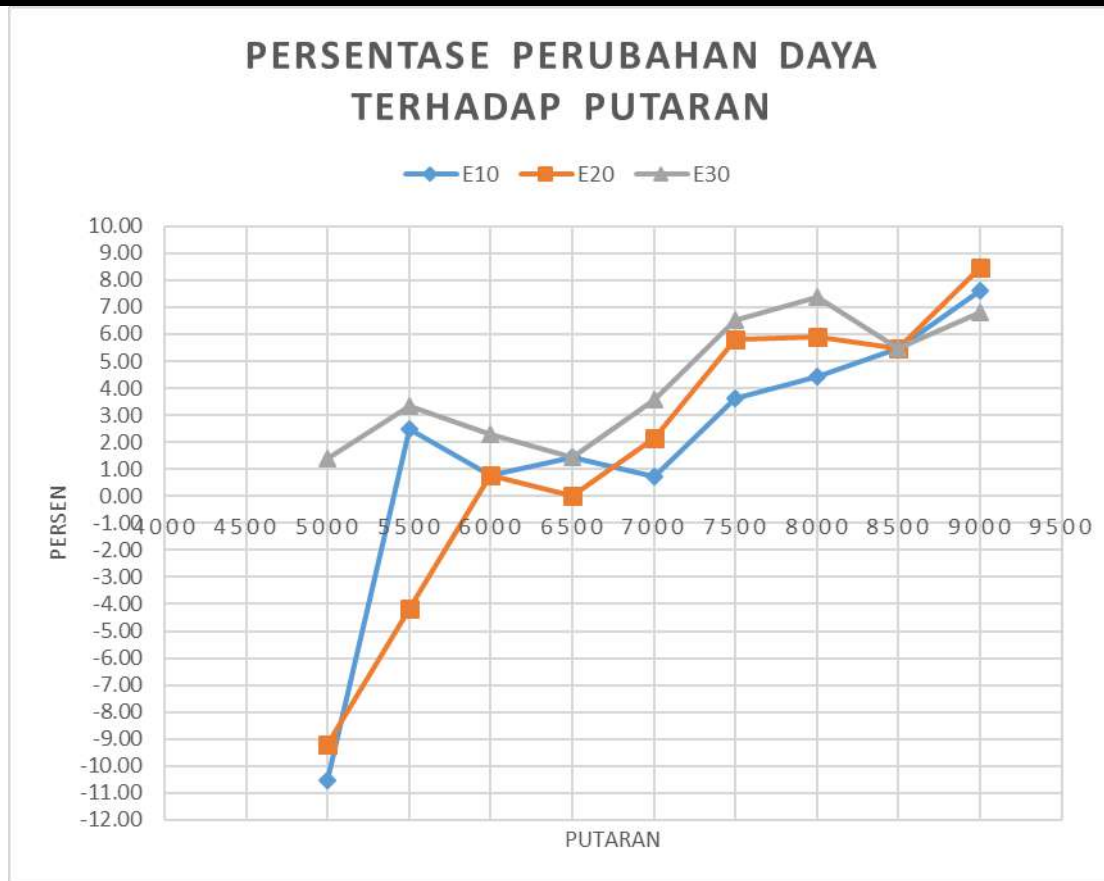
Putaran (rpm)	Torsi (N.m)				Perubahan Torsi (ΔT)		
	E0	E10	E20	E30	E10	E20	E30
5000	5.15	4.61	4.47	5.22	-10.53	-13.16	1.45
5500	7.72	7.86	7.52	7.86	1.75	-2.63	1.75
6000	7.59	7.72	7.66	7.79	1.79	0.89	2.68
6500	7.59	7.72	7.59	7.66	1.79	0.00	0.89
7000	7.05	7.11	7.32	7.38	0.96	3.85	4.81
7500	6.50	6.78	6.91	7.11	4.17	6.25	9.38
8000	6.10	6.37	6.37	6.44	4.44	4.44	5.56
8500	5.22	5.62	5.62	5.62	7.79	7.79	7.79
9000	4.67	5.01	5.08	5.01	7.25	8.70	7.25
Rata-rata					2.16	1.79	4.62



Gambar 1 Grafik Persentase Perubahan Torsi

Tabel 4 Persentase Perubahan Daya

Putaran (rpm)	Daya Efektif (kW)				Perubahan Daya ($\Delta P\%$)		
	E0	E10	E20	E30	E10	E20	E30
5000	2.85	2.55	2.59	2.89	-10.53	-9.21	1.40
5500	4.50	4.61	4.31	4.65	2.50	-4.17	3.33
6000	4.88	4.91	4.91	4.99	0.77	0.77	2.31
6500	5.25	5.33	5.25	5.33	1.43	0.00	1.43
7000	5.21	5.25	5.33	5.40	0.72	2.16	3.60
7500	5.18	5.36	5.48	5.51	3.62	5.80	6.52
8000	5.10	5.33	5.40	5.48	4.41	5.88	7.35
8500	4.80	5.06	5.06	5.06	5.47	5.47	5.47
9000	4.43	4.76	4.80	4.73	7.63	8.47	6.78
<i>Rata-rata</i>					1.78	1.69	4.24



Gambar 2 Grafik Persentase Perubahan Daya

Berdasarkan tabel 3 dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan torsi pada penggunaan campuran pertalite dan bioethanol, dimana kenaikan rata rata tertinggi ada pada E30 dengan 4.62%, kemudian E10 dengan 2.16% dan E20 sebesar 1.79%. Untuk kenaikan torsi tertinggi E0 7.59 Nm pada putaran 6000 rpm, Sedangkan torsi tertinggi pada E10 7.72 Nm pada putaran 6000 dan E20 sebesar 7.66 pada putaran 6000 dan E30 sebesar 7.79 pada putaran 6000 rpm.

Sedangkan dari tabel 4 dapat dilihat kenaikan rata rata todayarsi, dimana kenaikan rata rata daya terbesar ada pada E30 sebesar 4.28% dan E10 sebesar 1.78% dan E20 sebesar 1.69. Sedangkan untuk daya tertinggi E0 ada pada putaran 6500 rpm yaitu sebesar 5.25 kW, untuk E10 berada pada putaran 7500 rpm yaitu sebesar 5.36 kW dan pada E20 daya terbesar yaitu sebesar 5.48 kW pada putaran 7500 sedangkan untuk E30 daya terbesar 5.51 pada putaran 7500 rpm

4. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

1. Penggunaan campuran bioetanol pada bahan bakar pertalite dan bio etanol dengan komposisi E10, E20, dan E30 dapat meningkatkan Torsi, dimana kenaikan Torsi berurutan pada E30 sebesar 7.86 Nm atau sebesar 1.75%, E10 sebesar 7.86 Nm atau 1.75% dan E20 sebesar 7.66 Nm atau penurunan 0.7% dan daya terbesar pada E30 sebesar 5.51 kW, E20 sebesar 5.48 kW dan E10 sebesar 5.36
2. Penggunaan bioetanol tetes tebu yang dicoba mengandung kandungan etanol 94.34% volume, mengandung kandungan air 5.66% wt, density 25°C sebesar 0.8013 kg/L dan pour point -69°C

b. Saran

1. Hendaknya dilakukan penelitian mengenai efisiensi dari campuran bioetanol dan bahan bakar
2. Pada penelitian selanjutnya selanjutnya agar dapat menggunakan kadar etanol diatas 95%

DAFTAR PUSTAKA

1. Machmud, Syahril, Pengaruh Variasi Unjuk Derajat Pengapian Terhadap Kerja Mesin, **Jurnal Teknik Mesin**, Universitas Janabrada, Yogyakarta, 2014.
2. Kurniawan, Endra, Uji Kinerja Mesin 4 Langkah Berbahan Bakar Bioethanol Dari Limbah Pabrik Wafer Mix Snack Wringin Anom Gresik Sebagai Campuran Premium, **Jurnal Teknik Mesin**, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, 2014.
3. Nababan, Hotlan, Studi Kinerja Mesin Otto Menggunakan Bahan Bakar Bensin dan Etanol 96%, **Jurnal Teknik Mesin**, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2013.
4. Anonim, **Buku Putih Penelitian Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025**, Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia, Jakarta, 2006.
5. Arismunandar, Wiranto, **Penggerak Mula Motor Bakar Torak**, Penerbit Institut Teknologi Bandung, Bandung, 1994
6. Toyota, **Toyota Astra Training Manual**, Jakarta, 1996
7. KEMEN LH NO.05 TAHUN 2006

SUBMISSION 37

Perancangan Sistem Biodigester Untuk Bahan Bakar Biogas Rumah Hemat dan Mandiri Energi di Indonesia

Ir. Eka Maulana, MMT¹, Muhammad Arif Herniko²

¹Universitas Pancasila, Fakultas Teknik, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12640, Indonesia

²Universitas Pancasila, Fakultas Teknik, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12640, Indonesia

Abstrak. Sampah merupakan masalah mendasar dan dibutuhkan perhatian yang cukup serius untuk masalah ini di Indonesia. Penanggulangan sampah di Indonesia terkendala oleh kurangnya penampungan sampah di TPA (Tempat Pembuangan Akhir) akibat meningkatnya produksi sampah di Indonesia dan menumpuk. Jika di biarkan lambat laun TPA tidak mampu menampung sampah tersebut. Sedangkan untuk di rumah tangga, masih banyak warga yang membakar sampah dan menimbulkan polusi udara. Maka diperlukan rancangan alat pengolah sampah yang bersifat zero waste. Energi alternatif yang berasal dari sampah dirancang untuk mengurangi kesulitan warga dalam memasak sehari-hari. Demikian juga energi alternatif ini dapat mengurangi masalah kelangkaan LPG di wilayah Indonesia. Teknologi yang telah ada untuk proses pengolahan sampah ini menjadi gas adalah mengubahnya menjadi biogas melalui proses anaerobic digestion untuk kemudian digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak. *Anaerobic digestion* terjadi pada sistem di Biodigester. Prinsip pengolahan sampah pada Biodigester adalah dengan membusukkan sampah organik menggunakan bakteri anaerob pada suhu pembentukan mesophilic (30-40°C). Hasil dari proses pembusukkan tersebut berupa gas Metana, serta padatan (slurry) yang dapat digunakan untuk kompos. Hasil dari perancangan didapatkan dengan hasil perancangan varian nomor 1. Volume dan dimensi Biodigester akan disesuaikan sesuai kebutuhan rumah tangga di Indonesia. Selain itu output alat ini digunakan sebagai pakan ikan dan untuk pupuk tanaman hidroponik.

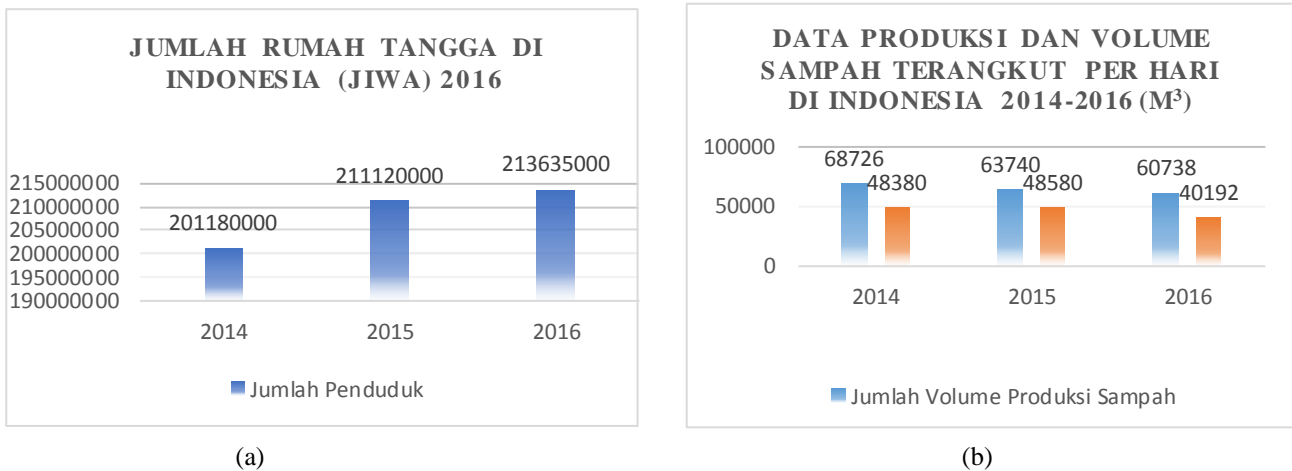
Kata kunci— Perancangan; Biodigester; Anaerobic Digestion

1. PENDAHULUAN

Pada masa sekarang ini Indonesia merupakan salah satu negara terluas didunia dengan total luas negara 5.193.250 km² (mencakup daratan dan lautan). Hal ini menempatkan Indonesia sebagai negara terluas ke-7 didunia setelah Rusia, Kanada, Amerika Serikat, China, Brasil dan Australia. Dibandingkan dengan luas negara-negara di Asia, Indonesia berada diperingkat ke-2. Jika dibandingkan dengan negara-negara di Asia Tenggara, Indonesia menempatkan dirinya sebagai negara terluas di Asia Tenggara. Indonesia merupakan salah satu Negara terpadat di dunia dan menempati urutan ke 4 dengan jumlah warga Negara sekitar 258.705.000 jiwa menurut sumber dari BPS tahun 2016 [3]. Semakin banyaknya warga Negara Indonesia tersebut, mempunyai dampak potensi produksi sampah di Indonesia semakin meningkat. Apabila hal tersebut dibiarkan begitu saja, sampah tersebut akan menjadi masalah serius di seluruh wilayah Indonesia.

Potensi masalah sampah yang dihadapi oleh Indonesia dapat terjadi akibat penumpukan sampah yang berkelanjutan setiap harinya. Data volume sampah yang dihasilkan dan data sampah terangkut dapat dilihat pada Gambar 1.b.

Berikut merupakan jumlah rumah tangga, dan data volume sampah terangkut di wilayah Indonesia:



Gambar 1 Grafik : (a) Jumlah Rumah Tangga Indonesia [3]; (b) Data Jumlah Produksi Sampah Indonesia [1] [2]

Jika diambil data sesuai BPS (Badan Pusat Statistik) [2] bahwa per orang menghasilkan 3 kg sampah per hari, maka total sampah yang dihasilkan pada tahun 2022 adalah sekitar 138.952.479 kg per hari.

Dilihat dari data di atas, bahwa produksi sampah yang ada di Indonesia mengalami kenaikan setiap tahunnya. Hal ini tentu saja akan membuat Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPA) tidak akan sanggup lagi menampung jumlah sampah yang akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk.

Sistem pengolahan sampah dengan konsep zero waste adalah sistem pengolahan sampah yang tidak menghasilkan sampah kembali disaat output hasil pengolahan tersebut. Sehingga jumlah volume sampah organik akan semakin berkurang. Untuk itu, akan dibuatkan sistem pengolahan sampah sebagai energi alternatif tenaga sampah dengan konsep zero waste untuk dikawasan rumah tangga.

Energi alternatif yang akan dirancang dapat digunakan untuk mengurangi kesulitan warga untuk memasak. Karena pasokan gas LPG oleh Pertamina kurang mencukupi di wilayah Indonesia, sehingga terjadi kelangkaan gas LPG. Rata-rata pemakaian gas LPG pada rumah tangga di wilayah Indonesia baru sekitar 72,38% pada tahun 2016. Selain itu masih banyak warga yang menggunakan kayu bakar sebagai bahan bakar utama memasak. Bahan bakar lainnya yang masih banyak digunakan untuk memasak adalah minyak tanah, arang, dan lainnya.

Untuk itu diperlukan sebuah energi alternatif tenaga sampah dengan konsep *zero waste* untuk membantu masalah kelangkaan LPG tersebut.



Gambar 2 Grafik Persentase Rumah Tangga Menurut Bahan Bakar Memasak di Indonesia 2016 [2]

Teknologi yang telah ada untuk proses pengolahan sampah organik menjadi gas dengan konsep zero waste adalah dengan mengubahnya menjadi biogas melalui proses *anaerobic digestion* untuk kemudian digunakan sebagai bahan bakar biogas untuk memasak. *Anaerobic digestion* merupakan suatu proses pengolahan biologis yang mengembalikan nilai produk, energi, dan nutrisi dari sampah organik menjadi bentuk yang dapat digunakan.

Prinsip pengolahan pada Biodigester adalah dengan membusukan sampah organik menggunakan bakteri anaerob pada suhu pembentukan mesophilic (30°C-40°C) dengan suhu optimal adalah pada 37°C. Proses pembusukan (retention time) berkisar antara 4-14 hari. Hasil dari proses pembusukan tersebut berupa gas Metana, Karbon dioksida, Hidrogen Sulfida (CH₄, CO₂, H₂S) serta padatan (*slurry*) yang dapat digunakan sebagai kompos.

Biodigester yang akan dirancang adalah untuk kebutuhan bahan bakar memasak pada rumah tangga di Indonesia. Biodigester ini dirancang agar membantu warga yang belum mendapat pasokan gas LPG dari pemerintah akibat kondisi geografis rumahnya yang sulit dijangkau, agar di setiap rumah dapat memiliki sumber energi atau bahan bakar mandiri dan hemat energi.

Untuk input menggunakan sampah organik dari rumah tangga. Sampah input tersebut di cacah menggunakan blender yang menyatu dengan sistem Biodigesternya. Selain itu hasil Biodigester berupa kompos cair dan padat. Kompos padat dapat digunakan untuk pakan ikan, sedangkan kompos cair dapat digunakan untuk pupuk tanaman hidroponik.

2. METODE PERANCANGAN

Perancangan merupakan kegiatan awal dari usaha merealisasikan suatu produk yang kebutuhannya sangat dibutuhkan oleh masyarakat. Setelah perancangan selesai maka kegiatan yang menyusul adalah pembuatan produk. Kedua kegiatan tersebut dilakukan dua orang atau dua kelompok orang dengan keahlian masing-masing, yaitu perancangan dilakukan oleh tim perancang dan pembuatan produk oleh kelompok pembuat produk.

Metode perancangan Pahl and Beitz dipilih karena kemudahan dalam mengaplikasikan metode yang ada dan juga proses-proses yang digunakan didalam kegiatan perancangan tidak terlalu banyak.

Pahl dan Beitz mengusulkan cara merancang produk sebagaimana yang dijelaskan dalam bukunya; *Engineering Design : A Systematic Approach*. Cara merancang Pahl dan Beitz tersebut terdiri dari 4 kegiatan atau fase, yang masing-masing terdiri dari beberapa langkah: [5]

1. Perencanaan Proyek dan Penjelasan Tugas

Tugas fase ini adalah menyusun spesifikasi produk yang mempunyai fungsi khusus dan karakteristik tertentu yang memenuhi kebutuhan masyarakat. Produk ini dengan fungsi khusus dan karakteristik tertentu tersebut merupakan olahan hasil survei bagian pemasaran atau atas permintaan segmen masyarakat. Fase pertama tersebut perlu diadakan untuk menjelaskan secara lebih detail sebelum produk tersebut dikembangkan lebih lanjut.

2. Perancangan Konsep Produk

Berdasarkan spesifikasi produk hasil fase pertama, dicarilah beberapa konsep produk yang dapat memenuhi persyaratan-persyaratan dalam spesifikasi tersebut. Konsep produk tersebut merupakan solusi dari masalah perancangan yang harus dipecahkan.

Beberapa alternatif konsep produk dapat ditemukan. Konsep produk biasanya berupa gambar skets atau gambar skema yang sederhana, tetapi telah memuat semua. Beberapa alternatif konsep produk kemudian dikembangkan lebih lanjut dan setelah dievaluasi. Evaluasi tersebut haruslah dilakukan beberapa kriteria khusus seperti kriteria teknis, kriteria ekonomis dan lain-lain. Konsep produk yang tidak memenuhi persyaratan-persyaratan dalam spesifikasi produk, tidak diproses lagi dalam fase-fase berikutnya, sedangkan dari beberapa konsep produk yang memenuhi kriteria dapat dipilih solusi yang terbaik. Mungkin terjadi, ditemukan beberapa konsep produk terbaik yang dikembangkan lebih lanjut pada fase-fase berikutnya.

3. Perancangan Bentuk (Embodiment Design)

Pada fase perancangan bentuk ini, konsep produk “diberi bentuk”, yaitu komponen-komponen konsep produk yang dalam gambar skema atau gambar skets masih berupa garis atau batang saja, kini harus diberi bentuk, sedemikian rupa sehingga komponen-komponen tersebut secara bersama menyusun bentuk produk, yang dalam gerakannya tidak saling bertabrakan sehingga produk dapat melakukan fungsinya. Konsep produk yang sudah digambarkan pada preliminary layout, sehingga dapat diperoleh beberapa preliminary layout. [5].

4. Perancangan Detail

Pada fase perancangan detail, maka susunan komponen produk, bentuk, dimensi, kehalusan permukaan, material dari setiap komponen produk ditetapkan. Demikian juga kemungkinan cara pembuatan setiap produk sudah dijajagi dan perkiraan biaya sudah dihitung. Hasil akhir fase ini adalah gambar rancangan lengkap dan spesifikasi produk untuk pembuatan; kedua hal tersebut disebut dokumen untuk pembuatan produk. [5]

3. BIOGAS

a. Tentang Biogas

Secara garis besar bahan baku yang diperlukan adalah biomassa (residu makhluk hidup), mikroorganisme, dan air. Produk utama dari biogas ini adalah gas metana dan pupuk organik. Gas metana telah dikenal luas sebagai bahan ramah lingkungan, karena dapat terbakar sempurna sehingga tidak menghasilkan asap yang berpengaruh buruk terhadap kualitas udara. Karena sifatnya tersebut, gas Metana merupakan gas yang bernilai ekonomis tinggi dan dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan mulai dari memasak, hingga penggerak turbin pembangkit listrik tenaga uap. Biogas adalah gas yang mudah terbakar (*flammable gas*) yang diperoleh dari penguraian senyawa-senyawa organik dalam biomassa sebagai akibat aktivitas mikroorganisme (fermentasi) pada kondisi tanpa udara (*anaerobic*). Kandungan utama biogas adalah gas Metana (CH_4) dan Karbon Dioksida (CO_2). Sebagian kecil adalah gas Hidrogen Sulfida (H_2S), Nitrogen (N_2), Hidrogen (H_2) dan Oksigen (O_2). Kehadiran gas Metana yang besar ini membuat biogas mudah terbakar dan dapat dipakai sebagai sumber energi untuk memasak, penerangan, bahkan pada skala besar dapat menghasilkan energi listrik.

Biogas ini juga menghasilkan produk samping berupa lumpur organik yang dapat diolah menjadi pupuk kompos. Pengolahan dilakukan dengan cara memisahkan cairan (bisa digunakan sebagai pupuk cair) dengan padatan melalui proses penyaringan. Kemudian padatannya dikeringkan dan ditambahkan bahan-bahan lain untuk mencapai komposisi senyawa kompos yang diinginkan.

Tabel 1 Komposisi Biogas [6]

Komponen	Prosentase
Metana (CH_4) Karbon dioksida (CO_2)	55 - 75
Nitrogen (N_2)	25 - 45
Hidrogen (H_2)	0 - 0,3
Hidrogen sulfida (H_2S)	1 - 5
Oksigen (O_2)	0 - 3
	0,1 - 0,5

Mekanisme pembentukan biogas sampah organik sayur-sayuran dan buah-buahan seperti layaknya kotoran ternak adalah substrat terbaik untuk menghasilkan biogas. Proses pembentukan biogas melalui pencernaan anaerobik merupakan proses bertahap, dengan tiga tahap utama, yakni hidrolisis, asidogenesis, dan metanogenesis.

Parameter - parameter ini harus dikontrol dengan cermat supaya proses pencernaan anaerobik dapat berlangsung secara optimal. Beberapa kondisi optimum proses produksi biogas yaitu:

Tabel 2 Kondisi Optimum Produksi Biogas [7].

Parameter	Kondisi Optimum
Suhu	35°C
Derajat Keasaman	7 - 7,2
Nutrien Utama	Karbon dan Nitrogen
Nisbah Karbon dan Nitrogen	20/1 sampai 30/1
Sulfida	< 200 mg/L
Logam-logam Berat Terlarut	< 1 mg/L
Sodium	< 5000 mg/L
Kalsium	< 2000 mg/L
Magnesium	< 1200 mg/L
Amonia	< 1700 mg/L

Begitupun dengan nutrisi, apabila rasio C/N tidak dikontrol dengan cermat, maka terdapat kemungkinan adanya nitrogen berlebih (terutama dalam bentuk amonia) yang dapat menghambat pertumbuhan dan aktivitas bakteri. Berdasarkan keterangan tentang potensi biogas dari sampah sayuran, maka dapat ditunjukkan hubungan antara aktivitas manusia kaitannya dengan penggunaan biogas dengan jumlah volume biogas yang digunakan seperti yang terlihat pada tabel dibawah ini.

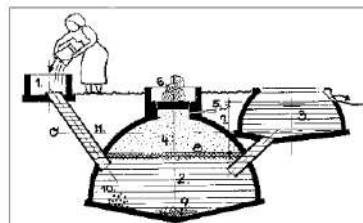
Tabel 3 Hubungan Antara Aktivitas Manusia dengan Volume Biogas yang digunakan[7]

Aktivitas	Volume Gas
Memasak untuk keluarga yang jumlahnya 5 - 6 orang	1 - 2 m ³ /hari
Memasak air dengan kapasitas tangki 100 liter	3 m ³ /hari
Menyalakan 1 lampu	0,1 - 0,15 m ³ /jam
Mengoperasikan mesin dengan kekuatan 2 tenaga kuda	0,9 m ³ /jam

b. Digester

Dari segi konstruksi, digester dibedakan menjadi :

Fixed dome. Digester ini memiliki volume tetap sehingga produksi gas akan meningkatkan tekanan dalam reaktor (digester). Karena itu dalam konstruksi ini gas yang terbentuk akan segera dialirkan ke pengumpul gas di luar reaktor.



Gambar 3 Fixed Dome Biogas

Keunggulan :

Fixed dome biogas memiliki harga konstruksi yang murah, part yang tidak bergerak, part besi tidak bergerak, Karenanya memiliki umur panjang (20 tahun atau lebih), konstruksi bawah tanah, memberikan perlindungan pada musim dingin dan menyimpan tempat serta menciptakan lapangan pekerjaan untuk penduduk lokal.

Kekurangan :

Konstruksi sering bukan gaslight (porositas dan retak), tekanan gas berfluktuasi secara substansial dan seringkali sangat tinggi, suhu digesternya rendah. Konstruksi kubah tetap hanya bisa direkomendasikan dimana konstruksi dapat diawasi oleh teknisi biogas berpengalaman.

4. ANALISIS DAN HITUNGAN

Tempat dilaksanakan penelitian ini adalah di wilayah Indonesia. Tepatnya adalah di lingkungan rumah tangga yang masih sulit mendapatkan pasokan LPG dari pemerintah. Untuk kebutuhan memasak yang menggunakan gas pada lingkungan keluarga meliputi: memasak air minum, memasak sayur, memasak nasi, memasak air untuk mandi dan lain-lain.

Untuk menentukan proses pada fase kebutuhan, yaitu melakukan wawancara secara langsung kepada calon pengguna *Biodigester*, dalam hal ini yaitu anggota rumah tanggan di kawasan Depok, Jawa Barat.

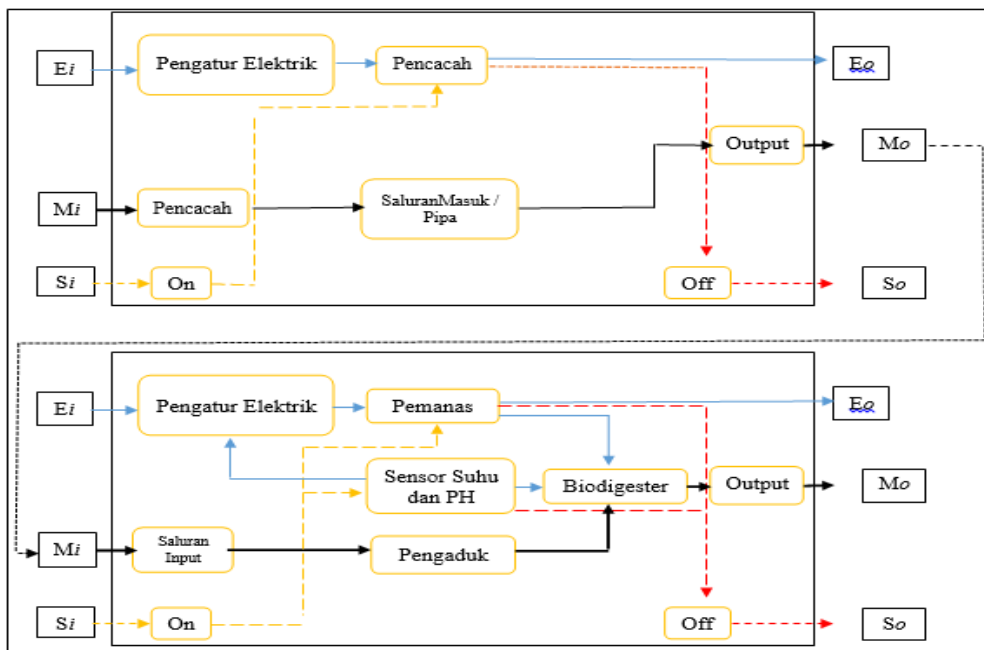
Wawancara dilakukan secara langsung kepada anggota rumah tangga yang merupakan salah satu calon pengguna *Biodigester* rumah tangga.

Identifikasi Kebutuhan Berdasarkan hasil wawancara:

Tabel 4 Identifikasi Kebutuhan

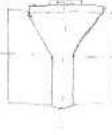





NO	Pernyataan Kebutuhan	Interprestasi Kebutuhan	Tingkat Kepentingan
1	Mampu Mengolah Sampah Organik Dengan Proses Anaerobik <i>Digestion</i>	Menggunakan sistem pengolahan sampah organik yang kedap udara	☆☆☆
2	Pemasangan dan Instalasi yang Mudah	Menggunakan Jenis Reaktor Biogas yang Sederhana	☆☆☆
3	Perawatan dan Perbaikan yang mudah	Menggunakan Sistem dan Instalasi pengolah sampah yang mudah dirawat dan diperbaiki	☆☆
4	Mudah Dioperasikan	Kontrol sistem yang sederhana agar mudah di gunakan.	☆☆☆
5	Tahan Cuaca dan Bencana	Konstruksi dan Pemasangan yang kuat dan tahan terhadap bencana	☆☆
6	Biaya Pembuatan Murah	Menggunakan sistem manual tanpa motor dan material yang kuat dan murah	☆☆

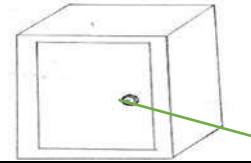
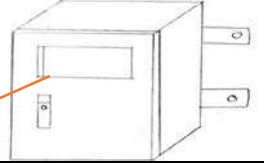


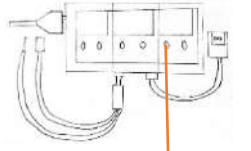
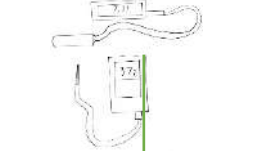
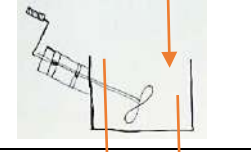
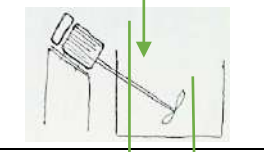
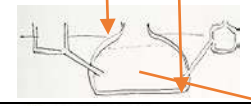

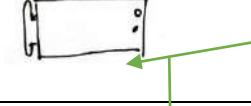


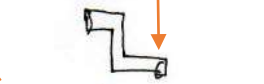
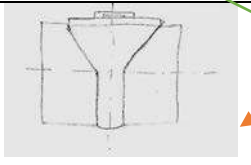
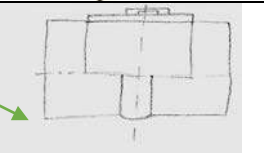
Diagram fungsi adalah langkah untuk menentukan gambaran sistem yang akan dipakai pada proses perancangan reaktor biodigester.



Gambar 4 Diagram Fungsi

Tabel 5 *Marphological Chart*

No	Sub Fungsi	Solusi A	Gambar	Solusi B	Gambar
1.	Input	Corong		Lubang	
2.	Pencacah	3 Blade		4 Blade	
3.	Saluran Masuk	Pipa Elbow Biasa		Pipa Bentuk Leher Angsa	

4.	Pengatur Mekanik-Elektrik	Bahan Stainless Steel		Bahan Fiberglass	
5.	Pemanas	Electric Heater		Heat Exchanger	
6.	Sensor Suhu dan PH	Menyatu		Terpisah	
7.	Pencampur	Manual		Otomatis	
8.	Biodigester	Fixed Dome		Floating Dome	
9.	Posisi Biodigester	Vertikal		Horizontal	
10.	Saluran Keluar	Pipa Elbow Biasa		Pipa Bentuk Leher Angsa	
11.	Output	Corong		Lubang	

→ : Varian 1

→ : Varian 2

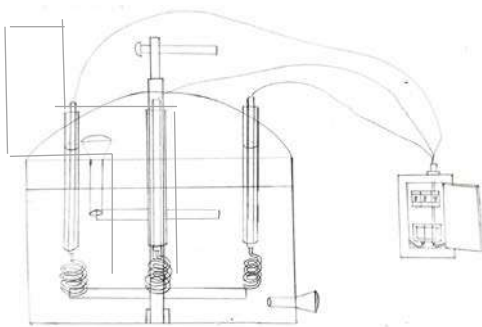
Setelah ditentukan pohon keputusan desain yang sesuai dengan kebutuhan, maka akan dibuat keputusan desain yang dibuat seperti di bawah ini :

Tabel 6 Keputusan Desain

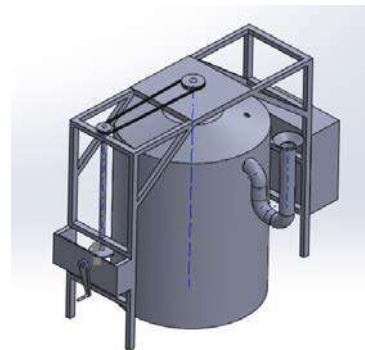
NO	KRITERIA	BOBOT	VARIAN 1		VARIAN 2	
			nilai	bobot nilai	Nilai	bobot nilai
1	Komponen Kedap Udara	0,15	4	0,6	3	0,45
2	Penyambung Kedap Udara	0,1	4	0,4	2	0,2
3	Instalasi Sederhana	0,1	4	0,4	3	0,3
4	Bahan Mudah Ditemukan	0,15	3	0,45	4	0,6
5	Mudah dalam Perbaikan	0,1	4	0,4	3	0,3
6	Spare part Mudah Didapat	0,1	4	0,4	3	0,3
7	Mudah Dilepaskan	0,1	4	0,4	3	0,3
8	Mudah Dipasangkan	0,1	4	0,4	3	0,3
9	Konstruksi Kokoh	0,05	4	0,2	3	0,15
10	Material Kuat	0,05	4	0,2	4	0,2
TOTAL		1	39	3,85	31	3,1

Berdasarkan Keputusan Desain di atas, maka varian yang terpilih adalah varian nomor 1 dengan total nilai 3,85. Berikut ini adalah cara kerja dan sketsa gambar varian nomor 1 :

- a) Saluran masuk (input) berbentuk corong dengan tutup, membantu proses pemasukan campuran sampah organik;
- b) Pencacah menggunakan 4 blade
- c) Saluran masuk menggunakan pipa bentuk leher angsa
- d) Box pengatur mekanikal-elektrikal terbuat dari fiberglass;
- e) Untuk menjaga agar proses tetap pada suhu optimum pembusukan, maka dilakukan pemanasan pada digester dengan menggunakan *electric heater*;
- f) Alat pencampur secara manual (digerakan dengan tenaga manusia) digunakan untuk mencampur sampah organik cacah dengan air dan bakteri anaerob;
- g) Sampah organik cacah yang telah tercampur dimasukkan ke dalam tangki digester tipe fixed dome (penutup tangki tetap)
- h) Posisi Biodigester Horizontal
- i) Saluran keluar menggunakan pipa bentuk leher angsa
- j) Saluran keluar (output) berbentuk corong dengan tutup.



(a)



(b)

Gambar 5 : (a) Varian Terpilih ; (b) *Assembly* Tabung

Dalam perancangan digester, perlu data yang dibutuhkan untuk mengetahui berapa kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan air untuk memasak. Diasumsikan data untuk air seperti tabel dibawah ini :
Data yang akan dirancang:

Tabel 7 Spesifikasi Air (H₂O)

<i>Density</i>	1 [g/cm ³]
<i>Boiling Point</i>	100 [C]
<i>Specific Heat Capacity (Cp)</i>	4,184 [J/kg°C]

Perhitungan kalor yang dibutuhkan untuk memasak air dengan kapasitas teko air 5 liter atau 5 [kg] dengan asumsi satu orang perlu 2 liter air selama sehari. Asumsi jika di rumah ada 5 orang anggota keluarga berarti 10 liter air sehari. Kapasitas teko 5 liter. Untuk kebutuhan memasak sayur dibutuhkan 2 liter air perhari. Memasak air minimal 30 menit. Waktu untuk 1 kali memasak air = 30 menit
Total waktu untuk memasak 30 menit x 4 = 120 menit = 7200s. Perhitungannya adalah:

$$Q \text{ total} = Q_1 + Q_2 \quad (1)$$

$$Q_1 = m \times C_{\text{Pair}} \times (T_1 - T_0) \quad (2)$$

$$= 1569 \text{ [J]} = 1,569 \text{ [kJ]}$$

Per hari butuh 10 L / 10 [kg]:

$$= 1,569 \text{ [kJ]} \times 2$$

$$= 3,138 \text{ [kJ]}$$

$$Q_2 = 627,6 \text{ [J]} = 0,628 \text{ [kJ]}$$

$$Q \text{ total} = Q_1 + Q_2 \quad (1)$$

$$= 3,138 \text{ [kJ]} + 0,628 \text{ [kJ]}$$

$$= 3,766 \text{ [kJ]}$$

Keterangan:

- Q_{total} = Kalor total yang dibutuhkan dalam memasak per hari [kJ]
 Q₁ = Untuk memasak air
 Q₂ = Untuk memasak sayur dan nasi
 M = Massa [Kg]
 C_{pair} = Kalor jenis air [4,184 J/Kg°C]
 T = Temperatur [°C]
 T₀ = 25 [°C]
 T₁ = 100 [°C]

Rata-rata per orang menghasilkan sampah per hari = 3 kg / hari. Asumsi hasil sampah rumah tangga dengan jumlah anggota keluarga lima orang = 15 kg / hari

Perhitungan jumlah dari *total solid* (TS) *volatile solid* (VS) dan produksi biogas dalam proses *anaerobic digestion*

Tabel 9 Potensi TS, VS dan Produksi Biogas Sampah Organik [27]

Jenis Bahan [kg]	TS [%]	VS dalam TS [%]	Produksi Biogas [M ³ /kg TS]
Sampah Organik	27,7	74,1	0,676

Berdasarkan Tabel 9 tersebut diatas, maka persamaan untuk menghitung TS, VS dan produksi biogas adalah sebagai berikut:

$$TS = 27,7\% \times Q \dots\dots\dots (3)$$

$$VS = 74,1\% \times TS \dots\dots\dots (4)$$

$$VBS = 0,676 \times VS \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

Q = Potensi sampah [kg/hari]

TS = *Total solid* [kg/hari]

VS = *Volatile solid* [kg/hari]

VBS = *Volume* produksi biogas [m³/hari]

Perhitungan jumlah dari *total solid* (TS) *volatile solid* (VS) dan Produksi Biogas Berdasarkan Tabel 8 potensi sampah harian rumah tangga sebagai bahan baku biogas adalah: Q = 15 [kg / hari]

Perhitungan jumlah gas metan yang dihasilkan berdasarkan jumlah *volatile solid* (VS) untuk 1 [kg] campuran sampah organik adalah seperti pada tabel berikut:

Tabel 10 Potensi TS, VS dan Produksi Biogas Sampah Organik

Produksi Biogas (m ³ /hari)	Jumlah Gas Metan (%)
VBS	60

Berdasarkan Tabel IV.10 tersebut diatas, persamaan untuk menghitung gas metan adalah:

$$VGM = 60\% \times VBS \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

VGM = *Volume* gas metan (m³/hari)

VBS = *Volume* produksi biogas (m³/hari)

Hasil perhitungan potensi energi dari biogas dengan bahan baku sampah organik di kawasan rumah tangga secara lengkap disajikan pada Tabel 11 berikut:

Tabel 11 Hasil perhitungan kapasitas biogas

No	Jenis Proses Perhitungan	Hasil Perhitungan
1.	Potensi sampah organik (Q)	15 [kg/ hari]

2.	Perhitungan jumlah dari <i>total solid</i> (TS)	4,20 [kg]
3.	Perhitungan jumlah dari <i>volatile solid</i> (VS)	3,120 [kg]
4.	Perhitungan jumlah <i>volume</i> produksi biogas (VBS)	2,110 [m^3]
5.	Perhitungan jumlah volume gas metan (VGM)	1,266 [m^3]

Sebuah rumah tangga, biasanya membutuhkan 1-2 m^3 biogas per hari untuk memasak. Sehingga dari produksi gas metan tersebut cukup untuk memenuhi keperluan satu keluarga.

Sedangkan komposisi campuran air dan sampah organik adalah untuk mendapatkan padatan 8%, padatan mengacu pada jumlah [kg] ts (*total solid*). Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, *total solid* yang dihasilkan adalah sebesar 4,20 [kg]. Sehingga bahan baku sampah (sampah organik + air) untuk mendapatkan padatan 8% adalah:

$$4,20 \text{ [kg]} = 8\% \times Q \text{ (bahan Baku)}$$

$$Q = 52,5 \text{ [kg]}$$

Di tentukan waktu digestifikasi adalah 33 hari, lalu dapat ditentukan volume kerja digester, dimana volume kerja digester merupakan penjumlahan volume ruangan digestifikasi (V_f) dan volume penyimpanan (V_{gs}) yaitu:

Volume kerja digester = $V_{gs} + V_f$ dimana $V_{gs} + V_f = Q \times \text{HRT}$ (waktu digestifikasi), maka:

$$V_{gs} + V_f = Q \times \text{HRT}$$

$$= 52,5 \text{ Kg/hari} \times 33 \text{ hari}$$

$$= 1732,5 \text{ Kg (untuk } 1000 \text{ Kg} = 1 \text{ m}^3)$$

$$= 1,733 \text{ [m}^3]$$

Dimensi Biodigester

BRC menjelaskan Dimensi Geometris dari Biodigester *cylindrical shape* [4]

Untuk stabilitas struktur dan kinerja yang efisien, Biodigester kubah tetap dinyatakan dengan korelasi berikut:

Tabel 12 Korelasi Biodigester Kubah Tetap

For volume	For geometrical dimensions
$V_c \leq 5\% V$	$D = 1,3078 \times V^{1/3}$
$V_s \leq 15\% V$	$V_1 = 0,0827 D^3$
$V_{gs} + V_f = 80\% V$	$V_2 = 0,05011 D^3$
$V_{gs} = V_H$	$V_3 = 0,3142 D^3$
$V_{gs} = 0,5 (V_{gs} + V_f + V_s) K$	$R_1 = 0,725 D$
Where K = Gas production rate per m^3 digester volume per day.	$R_2 = 1,0625 D$
For Bangladesh K = 0.4	$f_1 = D/5$
$m^3/m^3d.$	$f_2 = D/8$
	$S_1 = 0,911 D^2$
	$S_2 = 0,8345 D^2$

Dari korelasi dimensi geometri di atas, dihasilkan perhitungan di bawah ini :

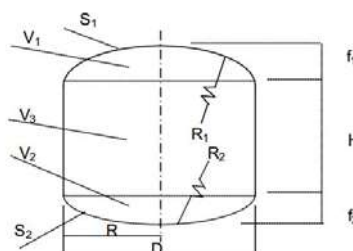
$$V = 1,733 \text{ m}^3 / \text{hari.}$$

$$\begin{aligned} D &= 1,3078 \times V^{1/3} \\ &= 1,308 \times (1,733)^{1/3} \\ &= 1,572 \text{ [m]} \end{aligned} \quad (7)$$

Menghitung Tinggi efektif digester (H)

Dengan melakukan pendekatan dengan volume tabung, maka:

$$V_3 = 1/4 \times 3,142 \times D^2 \times H$$



Gambar 6 Dimensi Geometris Biodigester
Tabel 13 Nilai dimensi rancangan biodigester

Dimensi	Nilai
V ₁	0,322 [m ³]
V ₂	0,195 [m ³]
V ₃	1,221 [m ³]
R ₁	1,140 [m]
R ₂	1,671 [m]
f ₁	0,315 [m]
f ₂	0,197 [m]
S ₁	2,252 [m]
S ₂	2,063 [m]
H	0,630 [m]

$$\begin{aligned} \text{Jadi, volume total} &= V_1 + V_2 + V_3 \\ &= 0,322 + 0,195 + 1,221 \\ &= 1,738 \text{ [m}^3\text{]} \end{aligned} \quad (8)$$

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Pengerjaan perancangan sistem biodigester ini tentu tidak lepas dari pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan *paper* ini. Terutama kepada dosen pembimbing penulis. Untuk itu penulis berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pengerjaan *paper* perancangan ini. Karena atas bantuan pihak-pihak tersebut, *paper* ini dapat di selesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Statistik, Badan Pusat. “*Statistik Lingkungan hidup indonesia 2016*”. Badan Pusat Statistik. (2016)
- [2] Statistik, Badan Pusat. “*Statistik Lingkungan hidup indonesia 2017*”. Badan Pusat Statistik. (2017)
- [3] Statistik, Badan Pusat. “*Statistik indonesia 2017*”. Badan Pusat Statistik. (2017)
- [4] BRC, “*Design of biogas plant*”. (2000)
- [5] Phal, Beitz. “*Engineering Design : A systematic Approach*”, (2013)
- [6] Mayasari, H. D., Riftanto, I. M., Aini, L. N., & Ariyanto, M. R.. “*Pembuatan biodigester dengan uji coba kotoran sapi sebagai bahan baku*”. Program Studi DIII Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. (2010)
- [7] Santoso A.A., “*Produksi Biogas Dari Limbah Rumah Makan Melalui Peningkatan Suhu Dan Penambahan Urea Pada Perombakan Anaerob*”. Program Studi S1 Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta. (2010)

SUBMISSION 49

Pemanfaatan Kandang Ternak Terpadu Sebagai Sumber Energi Terbarukan dari Biogas dan *Photovoltaic* untuk Masyarakat di Desa Terpencil

Muhammad Irsyad^{1,*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, 35145, Bandar Lampung, Indonesia

Abstrak. Energi listrik sudah menjadi kebutuhan yang tidak terelakkan dalam kehidupan manusia, namun masih ada masyarakat yang belum menikmati manfaat energi listrik khususnya di desa terpencil. Untuk memenuhi kebutuhan listrik dan meningkatkan rasio elektrifikasi perlu dibangun pembangkit listrik dari energi terbarukan berbasis potensi daerah. Potensi energi di desa terpencil yang bisa dikembangkan diantaranya bersumber dari kotoran ternak, matahari, air, dan angin. Pengembangan peternakan masyarakat dengan sistem kandang terpadu dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas dari kotorannya dan energi listrik dari penggunaan photovoltaic pada atap. Penelitian ini mendisain pembangkit energi listrik dari energi terbarukan berbasis biogas dan photovoltaic. Rancangan pembangkit listrik untuk satu kelompok masyarakat dengan jumlah 20 rumah, dengan masing-masing rumah dialiri listrik 45 W dan fasilitas umum sebesar 190 W. Untuk waktu penggunaan dari jam 18:00 WIB – 06:00 WIB dengan beban bervariasi diperoleh konsumsi energi total adalah 8,36 kWh per hari. Kebutuhan energi ini dapat dipenuhi oleh sistem pembangkit listrik yang bersumber dari biogas dari 7 ekor sapi dan 18 buah PV kapasitas 100Wp. Energi listrik yang dihasilkan oleh genset berbahan bakar biogas 2 Hp per hari adalah 5,52 kWh. Sedangkan PV setiap hari dapat menghasilkan energi listrik sebesar 4,43 kWh. Dengan memaksimalkan pemasangan PV pada atap diperoleh energi listrik total per hari sebesar 18,54 kWh untuk setiap kandang.

Kata kunci— *kandang ternak terpadu, biogas, photovoltaic, energi terbarukan, desa terpencil*

1. PENDAHULUAN

Rasio elektrifikasi rata-rata Indonesia setiap tahun terus meningkat. Pada tahun 2016 rasio elektrifikasi sudah mencapai 91,16%, seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Namun untuk daerah di luar Jawa rasio elektrifikasi masih dibawah rata-rata Indonesia. Hal ini disebabkan karena banyak perkampungan masyarakat di daerah terpencil. Pada daerah tersebut masyarakat tinggal secara berkelompok di areal pertanian/perekebunan, baik di daerah perbukitan, kaki gunung maupun di tepi hutan. Jarak antar perkampungan sangat jauh dan biasanya juga sangat jauh dari jaringan listrik PLN yang sudah ada. Kondisi ini sangat menyulitkan pemerintah atau PLN untuk membangun jaringan ke masing-masing kelompok masyarakat tersebut karena biaya membangun jaringan sangat besar dan tidak sebanding dengan jumlah pelanggan yang akan menggunakan. Kondisi ini bisa berlangsung lama apabila tidak ada sumber energi listrik yang lain. Pemenuhan kebutuhan listrik bagi daerah terpencil biasanya menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), namun biaya operasionalnya sangat tinggi karena mahalnya harga bakar akibat biaya transportasi. Oleh karena itu diperlukan pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan berdasarkan potensi daerah setempat seperti: biogas, matahari, angin, air dan biomasa.

Daerah pedesaan yang terpencil memiliki potensi dalam bidang pertanian. Ketersediaan lahan yang cukup luas sangat potensial menghasilkan komoditi pertanian. Selain itu dengan adanya limbah pertanian, rumput dan tumbuhan lainnya yang dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak, maka usaha peternakan juga sangat potensial untuk dikembangkan. Secara umum peternakan masih merupakan usaha sampingan masyarakat pedesaan. Ternak bagi masyarakat merupakan tabungan yang dapat digunakan pada saat membutuhkan. Model peternakan masih skala kecil dengan jumlah ternak 1 – 3 sapi, atau 2 – 5 kambing dengan posisi kandang berada dekat rumah. Alasan keamanan merupakan salah satu penyebab kandang dibangun dekat rumah pemilik ternak. Namun disisi lain hal ini dapat berpengaruh terhadap kebersihan, kesehatan dan

* Corresponding author: muhammad.irsyad@eng.unila.ac.id

keindahan lingkungan. Apabila kandang ternak dibuat terpadu menjadi satu kandang bersama, maka lingkungan menjadi bersih dan sehat serta mudah dalam menjaga keamanan.



Gambar 1. Rasio elektrifikasi di Indonesia tahun 2016 [1]

Kotoran ternak merupakan salah satu bahan baku yang dapat diolah menjadi energi dalam bentuk biogas. Biogas ini dapat dimanfaatkan masyarakat untuk keperluan sehari-hari seperti kompor, penerangan, maupun bahan bakar genset untuk menghasilkan listrik.

Selain potensi biogas dari kotoran ternak, desa terpencil memiliki potensi energi matahari. Indonesia merupakan negara tropis memiliki intensitas cahaya matahari yang cukup tinggi dengan rata-rata harian 4,8 kW/m² dengan durasi menerima penyinaran sekitar 8 - 10 jam/hari [2]. Sel surya atau photovoltaic (disingkat PV) dapat dimanfaatkan untuk merubah energi surya menjadi energi listrik.

Biogas dan energi matahari dapat menjadi sumber energi utama untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat di desa terpencil. Energi listrik yang dihasilkan kedua sumber ini dapat digabung dalam sistem *smart grid* atau digunakan secara terpisah. Untuk memanfaatkan kedua potensi ini di desa terpencil perlu dilakukan kajian dengan melakukan perancangan sistem pembangkit listrik dari kedua sumber energi ini. Penelitian ini menghitung kebutuhan energi listrik minimal masyarakat perhari. Berdasarkan kebutuhan ini dirancang kandang ternak dengan kebutuhan ternak minimal dan pemasangan PV minimal di atapnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Energi terbaru merupakan solusi bagi desa terpencil untuk dapat menikmati energi listrik. Dua potensi yang memungkinkan dapat dikembangkan adalah kotoran ternak untuk menghasilkan biogas dan sinar matahari untuk menghasilkan energi listrik menggunakan PV. Hasil kajian dan potensi kedua sumber energi ini diuraikan pada bahasan berikut ini.

a. Biogas dari Kotoran Ternak

Kotoran ternak dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas dengan menggunakan reaktor biogas. Teknologi ini sudah lama dikembangkan dan sudah umum digunakan. Sistem ini juga memiliki teknologi yang sederhana sehingga sangat mudah untuk dioperasikan masyarakat umum. Potensi kotoran ternak dan biogas yang dapat dihasilkan cukup besar seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Produksi kotoran dan biogas berdasarkan jenis ternak [3]

Kotoran	Kg/hari	Produksi Gas Per Kg Kotoran (m ³)
Sapi	10 – 25	0.023 – 0.040
Kerbau	10 – 25	0.023 – 0.040
Kambing	1.13	-
Ayam	0.18	0.065 – 0.116
Manusia	0,25 – 0,4	0.020 – 0.028

Bahan bakar utama yang terkandung dalam biogas adalah gas *methane*. Selain gas *methane* ada beberapa senyawa lain yang terkandung di dalamnya seperti diperlihatkan pada Tabel 2. Peningkatan kualitas biogas dapat dilakukan dengan cara pemurnian. Senyawa yang dapat dikurangi jumlahnya adalah CO₂ dan H₂S. Senyawa CO₂ dapat dikurangi dengan menggunakan karbon aktif dan zeolite. Dari hasil penelitian menunjukkan persentase CO₂ dapat diturunkan menjadi 20%. Sedangkan H₂S dapat diturunkan menggunakan geram baja karbon. H₂S mengeluarkan bau yang kurang sedap. Dengan penggunaan geram baja karbon ini biogas tidak berbau lagi.

Tabel 2. Komposisi senyawa kimia yang terkandung dalam biogas [4]

Senyawa	Simbol	Persentase
Methane	CH ₄	50- 70
Karbon dioksida	CO ₂	30 - 40
Hidrogen	H ₂	5 - 10
Nitrogen	N ₂	1 - 2
Kandungan air	H ₂ O	0.3
Hidrogen sulfat	H ₂ S	Sisa

Ada beberapa parameter yang perlu diketahui dalam pengoperasiannya yakni: rasio campuran kotoran ternak dan air, rasio C/N, pH campuran, dan temperatur campuran. Rasio kotoran dan air adalah 1:1. Rasio C/N adalah 25 -30. pH campuran kotoran dan air berkisar antara 6,8 – 8,5. Sedangkan temperatur dalam reaktor biogas berkisar antara 27 °C – 37°C [5].

Dimensi reaktor biogas yang dibuat terkandung dengan produksi kotoran setiap hari atau dari jumlah ternak yang dimiliki. Pada Tabel 3 diperlihatkan ukuran reaktor biogas berdasarkan jenis dan jumlah ternak.

Tabel 3. Ukuran reaktor biogas berdasarkan jenis dan jumlah ternak [6]

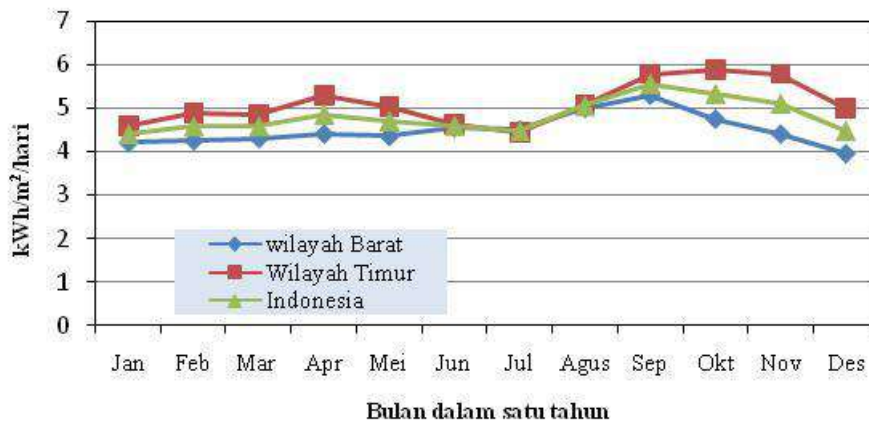
Jumlah ternak	Ukuran unit biogas			
	4,6 m ³	8 m ³	12 m ³	16 m ³
Sapi perah	2 ekor	3 ekor	5 ekor	7 ekor
Sapi pedaging	3 ekor	5 ekor	12 ekor	18 ekor
Kerbau	2 ekor	3 ekor	8 ekor	13 ekor
Babi	15 ekor	15 ekor	25 ekor	38 ekor

Nilai kalori dari 1 m³ biogas adalah sekitar 6 kWh yang setara dengan setengah liter minyak diesel/minyak tanah, yang dapat dimanfaatkan :memasak makanan 3 kali untuk 4 orang ($8,3 \times 10^{-5}$ m³/s dengan tekanan 75 mmH₂O), penerangan lampu petromak 7 jam ($6,4 \times 10^{-5}$ m³/s dengan tekanan 45 mmH₂O), menjalankan genset 2 Hp selama 1 jam dan menghasilkan listrik setara 1.25 kWh [7].

Sistem *smart micro grid* digunakan pada pembangkit listrik dari energi terbarukan berfungsi menggabungkan energi listrik dari berbagai sumber dan mengontrol penggunaan. Penggunaan *inverter bidirectional* pada sistem *smart micro grid* sangat membantu mengatur penggunaan dan penyimpanan energi. Apabila input energi lebih besar dibandingkan penggunaan maka sebagian akan dimanfaatkan untuk mengisi baterai. Sedangkan apabila input lebih kecil dibandingkan penggunaan maka kekurangan energi disuplai dari baterai [8, 9]. Manajemen penggunaan energi dapat dilakukan dengan pengaturan secara manual.

b. Potensi Photovoltaic di Indonesia

Indonesia terletak di jalur katulistiwa sehingga mendapatkan penyinaran matahari yang relatif sama sepanjang tahun. Selain itu intensitas matahari relatif tinggi sepanjang tahun dengan radiasi matahari rata-rata per hari di atas 4,8 kW/m², seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Radiasi matahari global Indonesia [10]

Kondisi ini sangat menguntungkan dalam penggunaan *photovoltaic*. Sistem ini dapat dioperasikan sepanjang tahun dengan fluktuasi produksi energi yang dihasilkan sedikit. Produksi energi berkurang pada saat musim hujan karena sinar matahari terhalang awan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan kajian perancangan kandang ternak terpadu untuk menghasilkan energi terbarukan berupa biogas dari kotoran ternak dan energi listrik dari PV untuk desa terpencil. Dalam perancangan ini jumlah rumah satu kelompok masyarakat adalah 20 rumah. Konsumsi energi listrik setiap rumah dihitung untuk memperoleh daya minimum yang dibutuhkan setiap rumah untuk penerangan. Pada siang hari diasumsikan masyarakat tidak menggunakan energi listrik. Jumlah ternak sapi disimulasikan untuk mendapatkan energi minimal yang dibutuhkan. Produksi biogas dihitung berdasarkan jumlah sapi dan kemudian dihitung energi listrik yang dihasilkan setiap harinya. Dari data ini dihitung ukuran kandang, sehingga diperoleh luas atap yang bisa digunakan untuk PV. Luas atap yang dipasang PV ditentukan dari kebutuhan energi yang harus disuplai oleh PV.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perancangan pembangkit listrik, diawali dengan perhitungan kebutuhan energi tiap rumah. Untuk masyarakat pedesaan kebutuhan utama energi listrik adalah untuk penerangan. Untuk meminimalkan penggunaan daya listrik dipilih lampu *Light Emitting Diode* disingkat dengan LED. Kebutuhan listrik untuk setiap rumah adalah seperti diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kebutuhan energi listrik setiap rumah

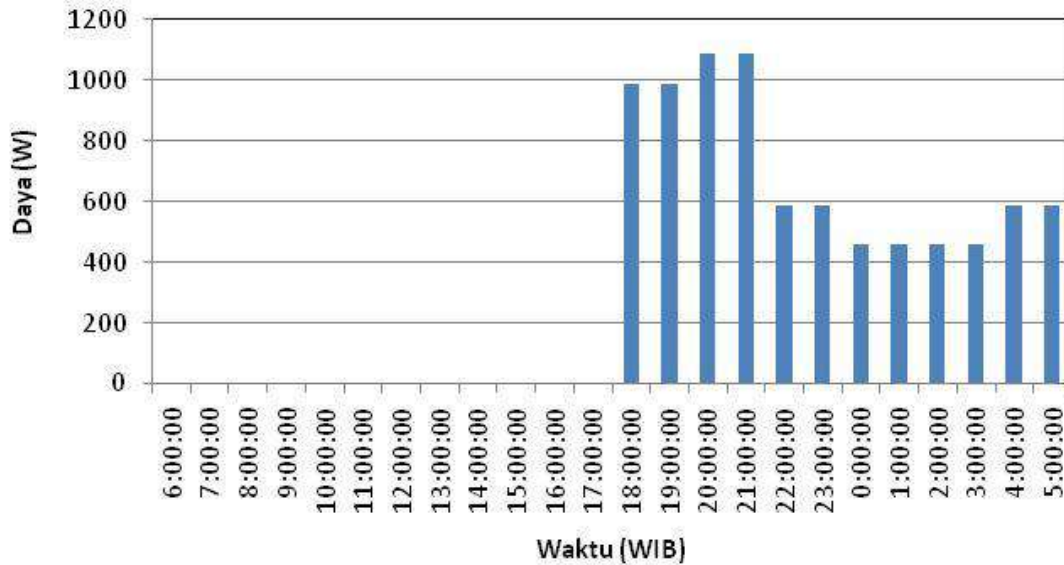
Ruangan	Lampu	Jumlah	Waktu penggunaan	Total (W)
Teras	5 W	1	18:00 – 06:00	5
Ruang tamu	10 W	1	18:00 – 22:00	10
Ruang keluarga	10 W	1	18:00 – 22:00	13
	3 W	1	18:00 – 06:00	
Kamar tidur	3 W	3	18:00 – 06:00	9
Dapur	5 W	1	18:00 – 22:00 04:00 – 06:00	5
Kamar mandi	3 W	1	18:00 – 06:00	3
Total daya minimal yang dibutuhkan				45

Selain penggunaan untuk masing-masing rumah energi listrik digunakan untuk fasilitas umum yakni: rumah ibadah, pos ronda, dan lampu jalan. Distribusi penggunaan daya diperlihatkan pada tabel 5. Penggunaan energi listrik secara penuh dari jam 18:00WIB – 06:00 WIB adalah lampu untuk penerangan jalan dan pos ronda.

Tabel 5. Kebutuhan energi listrik fasilitas umum

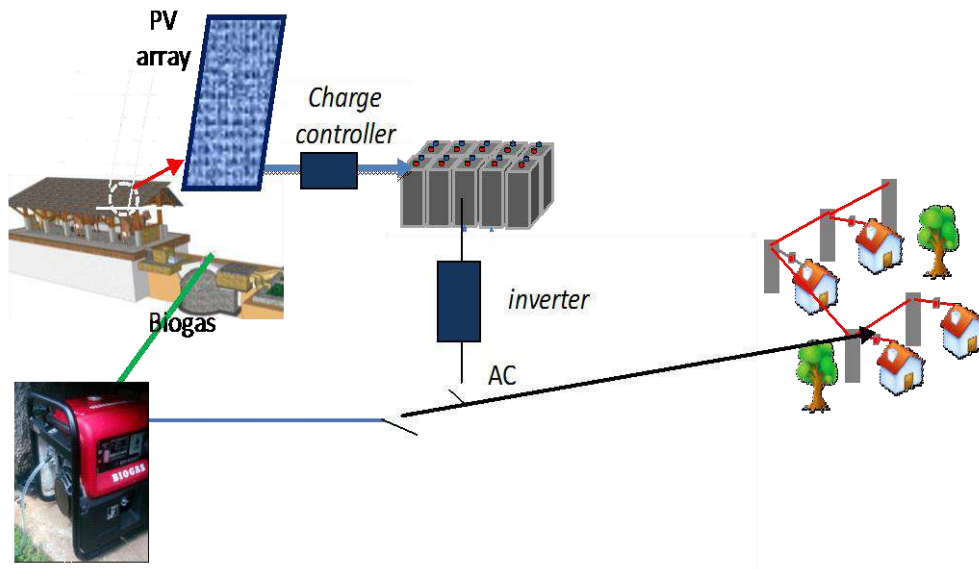
Ruangan	Lampu	Jumlah	Waktu penggunaan	Total (W)
Rumah ibadah	30 W	1	18:00 – 20:00 04:00 – 06:00	30
Pos ronda Lampu Televisi (TV)	10 W	1	18:00 – 06:00	110
	100 W	1	20:00 – 24:00	
Lampu penerangan	10 W	5	18:00 – 06:00	50
Total daya minimal yang dibutuhkan				190

Dari tabel 4 dan Tabel 5 diperoleh distribusi penggunaan daya listrik total untuk satu kampung setiap jamnya, seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Penggunaan energi listrik puncak adalah pada jam 20:00 WIB – 22:00 WIB. Setelah jam 22:00 WIB listrik masih digunakan untuk TV dan penerangan di depan rumah dan jalan. Pada jam 4:00 kebutuhan listrik sedikit meningkat karena masyarakat sudah mulai beraktifitas kembali. Kebutuhan energi listrik yang kontiniu dari jam 18:00 WIB – 06:00 WIB adalah 460 W. Sedangkan total kebutuhan energi listrik minimal untuk 20 rumah tersebut setiap hari adalah 8,36 kWh.



Gambar 3. Distribusi kebutuhan energi harian

Kebutuhan energi listrik harian ini akan disuplai dari energi listrik yang dihasilkan oleh genset berbahan bakar biogas dan dari PV yang sudah disimpan dalam baterai. Perancangan kandang terpadu adalah berdasarkan kebutuhan energi dengan sistem *off grid*. Suplai energi dilakukan secara terpisah antara genset dan PV, seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Suplai dari genset dipilih untuk kebutuhan dari 18:00 WIB – 22:00 WIB, yakni 4,16 kWh, dengan daya 1,2 kW. Sedangkan kebutuhan energi listrik dari jam 22:00 WIB – 06:00 WIB adalah dari baterai yang diisi oleh PV pada siang hari



Gambar 4. Sistem *off grid* pembangkit listrik PV dan biogas

Jumlah ternak sapi minimal yang dibutuhkan untuk sistem *off grid* adalah 7 ekor. Perhitungan energi listrik yang dihasilkan diperlihatkan pada Tabel 6. Dengan kapasitas produksi biogas ini setiap hari dapat menyimpan energi 5% sebagai cadangan.

Tabel 6. Energi listrik dari kotoran sapi

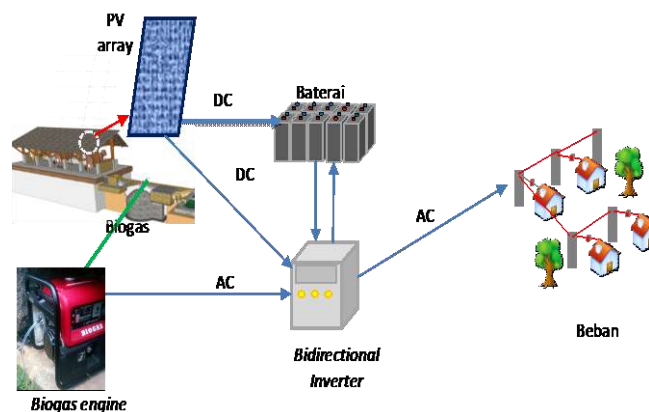
Uraian	Jumlah ternak sapi	
	1 ekor	7 ekor
Jumlah kotoran per /hari (kg)	20	140
Volume biogas (m ³)	0,6	4,8
Energi listrik yang dihasilkan per hari (kWh)	0,75	5,25
Waktu genset 2 Hp dapat digunakan per hari (jam)	0,6	4,2

Untuk memenuhi kebutuhan dari jam 22:00 WIB – 06:00 WIB diperoleh energi listrik dari PV yang dipasang di atap kandang seperti diperlihatkan pada Tabel 7. Luas kandang untuk 7 ekor sapi potong dihitung berdasarkan ukuran standar untuk satu ekor sapi potong 1,5 m x 2 m [11]. PV yang dipasang adalah 100 Wp dengan ukuran panjang 1,085 m dan lebar 0,65 m [12]. Asumsi efisiensi PV yang digunakan adalah 7% dan berada dalam range efisiensi PV 6% - 20% [13].

Tabel 7. Energi listrik dari PV

Uraian	Besar
Kebutuhan energi per hari (kWh)	4,2
Jumlah ternak sapi (ekor)	7
Luas atap kandang yang bisa dipasang PV 100 Wp (m ²)	39,55
Total energi dari atap PV per hari (kWh)	13,29
Jumlah total PV 100 Wp yang bisa dipasang	54
Jumlah PV minimal yang dibutuhkan	18
Total energi dari atap PV minimal per hari (kWh)	4.43

PV dengan jumlah 18 buah tersebut dipasang di atap kandang berjejer dalam satu baris. Untuk memenuhi peningkatan kebutuhan, penduduk dapat mengembangkan pemasangan PV pada baris kedua dan ketiga dengan penambahan per hari sebesar 8,86 kWh, sehingga satu kandang untuk 7 ekor sapi dapat menghasilkan total energi per hari sebesar 18,54 kWh.



Gambar 5. Pembangkit Listrik pada kandang terpadu dengan sistem *hybrid grid*

Pembangkit listrik pada kandang terpadu ini dapat dipasang dalam bentuk *hybrid grid* yang terhubung pada *inverter*, seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Sistem ini dapat dibuat *smart grid* dengan menggunakan pengaturan *on/off* untuk suplai energi secara otomatis. Keuntungan penggunaan sistem ini adalah, kelebihan energi dapat disimpan, dan tegangan listrik relatif stabil. Namun penggunaan sistem ini membutuhkan investasi lebih besar.

5. KESIMPULAN

Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat desa terpencil dapat memanfaatkan kandang terpadu untuk pembangkit listrik dari biogas dan *photovoltaic*. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik 20 rumah per hari sebesar 8,36 kWh dengan jam pemakaian dari 18:00 WIB – 06:00 WIB dibutuhkan 7 ekor sapi dan 18 buah PV 100Wp. Energi listrik yang dihasilkan oleh genset berbahan bakar biogas 2 Hp per hari adalah 5,52 kWh. Sedangkan PV dapat menghasilkan energi listrik perhari sebesar 4,43 kWh. Dengan memaksimalkan pemasangan PV pada atap diperoleh total energi listrik perhari sebesar 18,54 kWh untuk setiap kandang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Laporan Kinerja Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Tahun 2016
- [2] M. Irsyad, M. D. Susila, M. Hartanto, Pengaruh Pemasangan Photovoltaic pada Dinding Bangunan Terhadap Temperatur Ruangan, Prosiding Seminar Nasional – XII Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri Kampus ITENAS, Bandung, 23 – 28 (2013).
- [3] A. C. Adityawarman, Salundik, C. Lucia, 2015, Pengolahan Limbah Ternak Sapi Secara Sederhana di Desa Pattalassang Kabupaten Sinjai Sulawesi Selatan, Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan, **03**, 3, 171 – 177 (2015).
- [4] T. Al-Seadi, D. Rutz, H. Prassl, M. Köttner, T. Finsterwalder, S. Volk, R. Janssen, Biogas Handbook, University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark (2008)
- [5] T. W. Widodo, Teknologi Biogas dan Aplikasinya untuk Masyarakat Pedesaan. Makalah disampaikan Pada Temu Komunikasi Dan Praktek Pemecahan Masalah Sektor Peternakan. Jakarta: Badan Litbang Partanian Departemen Pertanian (2007).
- [6] D. Fadli, M. Irsyad, M. D. Susila, Kaji Eksperimental Sistem Penyimpanan Biogas dengan Metode Pengkompresian dan Pendinginan pada Tabung Gas Sebagai Bahan Bakar Pengganti Elpij, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, **1**, 4., 42 – 48 (2013)
- [7] Suyitno, A. Sujono, Dharmanto, Teknologi Biogas: Pembuatan, Operasional, dan Pemanfaatan, Graha Ilmu, Yogyakarta (2010)
- [8] D. Novitasari, Y. S. Indartono, J. E. Harjono, M. Irsyad, T. D. Rachmildha, I. K. Reksowardojo, Study of Micro Grid Hybrid System of Photovoltaic and Diesel Engine, MATEC Web of Conferences, **70**. 03001, 1 – 5 (2016)
- [9] D. Novitasari, Y. S. Indartono, T. D. Rachmidha, I. K. Reksowardojo, M. Irsyad, Design and Optimization of Smart Grid System Based on Renewable Energy in Nyamuk Island, Karimunjawa District, Central Java, AIP Conference Proceedings, **1818**, 020036, 1 – 6 (2017)
- [10] A. Prastawa, R. Dalimi, A. Rezavidi, Single Hidden Layer Artificial Neural Network Technique for Solar Energy Potential Prediction in Indonesia, Iseco Journal of Science and Technology, **10**, 17, 2 – 10 (2014)
- [11] F. Sukmawati, Kaharudin, Petunjuk Praktis Perkandangan Sapi, Kementerian Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian NTB (2010)
- [12] Panel Surya 100 WP Shinyoku Polycrystalline, <http://panelsuryajakarta.com/panel-surya-100-wp-shinyoku-polycrystalline/>
- [13] S. Dubey, J. N. Sarvaiya, B. Seshadri, Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World – A Review, Energy Procedia, **33**, 311 – 321 (2013)

SUBMISSION 54

Analisis Pengujian Sepeda Motor Listrik 3 kW Pada Jalan Mendatar dan Menanjak

Eko Prasetyo¹, Dahmir Dahlan¹, dan Raditya Nur Fadhlil^{1*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta, 12640

Abstrak. Kebutuhan akan kendaraan berbasis elektrik yang mampu menggantikan secara penuh peran kendaraan berbahan bakar fosil sebagai alat transportasi menuntut terciptanya kendaraan listrik yang memiliki kehandalan tinggi dalam kekuatan baterai, efisiensi energi, kecepatan, dan daya. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan melakukan uji jalan sepeda motor listrik 3 kW dengan menggunakan Motor Brushless DC 48 Volt 3000 Watt, Controller 48 V, Baterai 48 V 30 Ah dan Handle Gas 48 V, serta bertujuan untuk mengetahui konsumsi daya sepeda motor listrik melalui pengujian dinamis dengan kecepatan bervariasi pada medan jalan mendatar dan menanjak. Nilai parameter saat pengujian yang didapat berupa arus listrik serta tegangan yang diukur dengan tang amper dan multitester. Data yang didapat berupa daya pada pengujian jalan mendatar dengan kecepatan 15 km/jam, 30 km/jam, 45 km/jam sebesar 500,76 W, 841,75 W, 1287,4 W, sedangkan pada jalan menanjak dengan variasi kecepatan yang sama dayanya sebesar 879,4 W, 1141,9, 1593,9 W. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan, berdasarkan pengujian eksperimental bahwa kondisi medan jalan dan besarnya kecepatan sepeda motor listrik mempengaruhi besarnya daya. Semakin tinggi kecepatan, daya yang dibutuhkan semakin besar, dan kondisi jalan menanjak membutuhkan daya yang lebih besar dibanding jalan mendatar.

Kata kunci—*sepeda motor listrik, pengujian dinamis, daya*

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini sebagian besar masyarakat menggunakan kendaraan bermotor sebagai salah satu moda transportasi dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Hal ini berdampak pada penggunaan bahan bakar yang akan meningkat dan membuat cadangan minyak bumi akan semakin menipis. Disamping itu tingginya pemakaian kendaraan bermotor menyebabkan polusi yang dapat mempengaruhi kualitas udara disekitarnya dan akan memberikan dampak negatif bagi lingkungan.

Salah satu solusi untuk mengurangi dampak yang terjadi yaitu dengan membuat kendaraan yang ramah lingkungan dan dapat beroperasi tanpa menggunakan bahan bakar fosil atau minyak bumi. Sepeda motor listrik merupakan salah satu kendaraan yang dapat beroperasi menggunakan bahan bakar alternatif, yaitu dengan energi listrik.

Sepeda motor listrik membutuhkan daya yang cukup agar dapat berjalan dengan baik, besarnya daya dapat dipengaruhi oleh kondisi medan jalan dan kecepatan saat sedang berjalan, oleh sebab itu perlu dilakukan pengujian dinamis untuk mengetahui kinerja sepeda motor listrik pada jalan mendatar dan menanjak dengan variasi kecepatan, serta pengaruhnya terhadap daya sepeda motor listrik.

A. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh kondisi medan jalan terhadap daya sepeda motor listrik 3 kW?
2. Bagaimana pengaruh besarnya kecepatan terhadap daya sepeda motor listrik 3 kW?

Tujuan Penelitian

B. Dalam penelitian ini memiliki beberapa tujuan utama, yaitu sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh kondisi medan jalan terhadap daya sepeda motor listrik 3 kW
2. Menganalisis pengaruh besarnya kecepatan terhadap daya sepeda motor listrik 3 kW

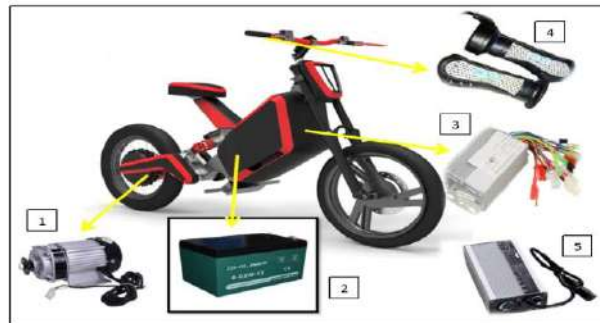
*Corresponding author: radityanurfadhli@gmail.com

2. LANDASAN TEORI

a. Sepeda Motor Listrik

Sepeda motor listrik adalah kendaraan tanpa bahan bakar minyak yang digerakkan oleh dinamo atau motor listrik dengan bersumber energi pada baterai[4]. Dibawah ini merupakan komponen sepeda motor listrik dibutuhkan:

1. Motor Penggerak
2. Baterai
3. Controller
4. Handle gas
5. Charger



Gambar 1 Komponen utama sepeda motor listrik [7]

b. BLDC (Brushless Direct Current Motor)

Pada penelitian ini motor listrik yang digunakan yaitu *Brushless* DC motor berjenis Mid Drive/Disk Motor, sebuah motor listrik yang dikenal dengan pemasangannya yang terletak tidak langsung ke roda atau velg, namun menggunakan gear dan rantai sebagai transmisi untuk meneruskan tenaga / putaran mesin.[3]



Gambar 2 Brushless direct current motor [7]

c. Baterai Lithium-Ion

Komponen yang berfungsi untuk menyimpan sumber energi listrik dan mendistribusikan energi listrik tersebut ke sistem untuk menggerakkan sepeda motor listrik.[3]



Gambar 3 Baterai [8]

d. Controller

Komponen yang menjadi otak dalam kelistrikan semua kendaraan listrik, digunakan untuk mengontrol aliran energi listrik ke motor.[3]



Gambar 4 Controller [7]

e. Menghitung Daya Sepeda Motor Listrik

Daya yang dihasilkan sepeda motor listrik dipengaruhi oleh kondisi medan jalan, berikut parameter penting yang digunakan :

1. Gaya Percepatan

Pada setiap kendaraan sepeda motor listrik yang akan hendak merubah kecepatan, membutuhkan gaya yang akan menyebabkan perubahan seperti persamaan hukum ketiga Newton yaitu, seperti berikut :

$$F_{la} = ma \quad (1)$$

Dimana : F_{la} = Gaya percepatan (Newton)
 m = massa (kg)
 a = Percepatan (m/s^2)

2. Gaya Menggelinding (*Rolling Resistance*)

Gaya menggelinding merupakan gesekan pada roda yang berhubungan dengan jalan. Pada saat sepeda motor akan berakselerasi akan menghasilkan hambatan gelinding terhadap medan jalan yang dilalui. Sehingga secara umum pernyataan ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$F_m = \mu_m mg \quad (2)$$

Dimana : F_m = Gaya menggelinding (Newton)

μ_m = Koefisien menggelinding
 m = massa (kg)
 g = Gravitasi bumi (m/s^2)

3. Gaya Aerodinamis (*Aerodynamic Force*)

Gaya aerodinamis juga mempengaruhi dalam kestabilan sebuah kendaraan sepeda motor listrik yang hendak melaju dengan kecepatan tinggi dan sedikit berpengaruh ketika kendaraan melaju dengan kecepatan rendah.

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho AC_d V^2 \quad (3)$$

Dimana : F_{ad} = Gaya aerodinamis

ρ = Densitas dari udara
 A = Luas penampang body dilihat dari pandangan depan sepeda motor listrik (m^2)
 C_d = Koefisien gaya aerodinamis
 V = Kecepatan (m/s)

4. Gaya Menanjak (*Hill Climbing Force*)

Gaya yang dibutuhkan oleh sepeda motor listrik ini pada saat kondisi menanjak dengan konsisi kemiringan sudut tertentu, dapat mempengaruhi konsumsi energi listrik. Gaya yang dibutuhkan untuk kondisi menanjak suatu medan jalan yang memiliki sudut kemiringan tertentu berbanding lurus dengan massa dari sepeda motor listrik. Secara umum pernyataan ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$F_{me} = mgsin\phi \quad (4)$$

Dimana : F_{me} = Gaya menanjak (Newton)

m = Massa (kg)
 g = Kecepatan gravitasi bumi (m/s^2)
 $\sin\phi$ = Sudut kemiringan

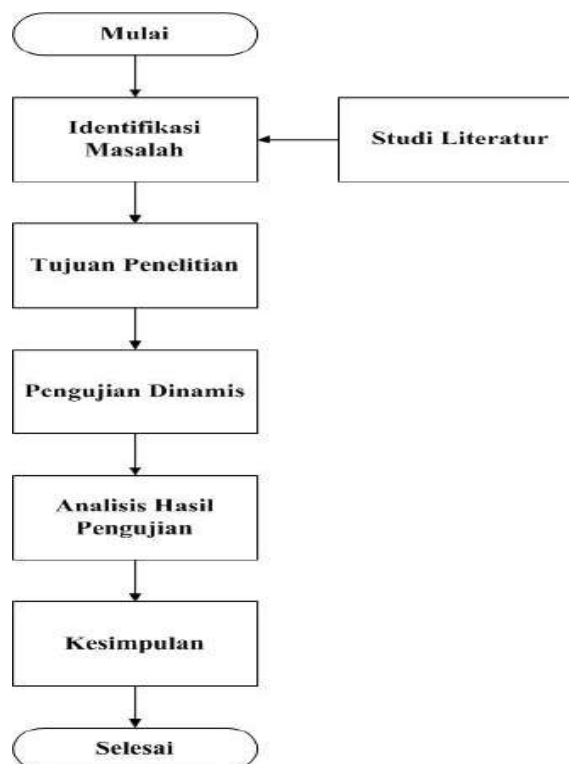
Daya total yang dikeluarkan pengendara sepeda motor listrik merupakan penjumlahan dari semua gaya yang diatas dikali dengan kecepatannya. Secara umum pernyataan ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\text{Daya total} = (F_{Ia} + F_m + F_{ad} + F_{me}).V \quad (5)$$

Dimana : V = Kecepatan sepeda motor listrik (m/s)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimental dengan melakukan uji jalan di jalan mendatar dan menanjak dengan variasi kecepatan. Data yang diperoleh dari hasil pengujian berupa tegangan, kuat arus dan daya. Setelah itu dilakukan analisis terhadap data yang telah didapatkan untuk menjawab tujuan penelitian yang telah dibuat. Adapun diagram alir penelitian dapat dijelaskan oleh gambar dibawah ini:



Gambar 5 Diagram alir penelitian

a. Alat Dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut :

1. Bahan penelitian ini yaitu sepeda motor listrik dengan gambar dan spesifikasi pada Tabel 1



Gambar 6 Sepeda motor listrik

Tabel 1 Spesifikasi Sepeda Motor Listrik

Spesifikasi Sepeda Motor Listrik	
Motor Listrik	BLDC (Mid Drive) 3 kW
Baterai Li-Ion	48 V 30 Ah
Controller	VEC48Vdc

2. Alat Penelitian

Alat penelitian ini digunakan untuk memudahkan dalam memperoleh data pada saat uji jalan berlangsung. Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

- a) Tang ampere, untuk mengukur besarnya arus



Gambar 7 Tang Ampere

- b) Multitester, untuk mengukur besarnya tegangan



Gambar 8 Multitester

- c) Water pas dan busur, untuk mengukur derajat kemiringan jalan menanjak



Gambar 9 water pas & busur

b. Metode Uji Jalan

1. Pengujian Mendatar

Pengujian sepeda motor listrik pada jalan mendatar dilakukan dengan variasi kecepatan 15 km/jam, 30 km/jam, 45 km/jam dengan waktu tempuh selama 1 menit. Pada setiap variasi kecepatan pengujian dilakukan sebanyak 3 kali. Dari pengujian ini, data yang didapat yaitu arus (A) dan tegangan (V).

2. Pengujian Menanjak

Pengujian sepeda motor listrik jalan menanjak pada kemiringan 20° dilakukan dengan variasi kecepatan 15 km/jam, 30 km/jam, 45 km/jam. Pada setiap variasi kecepatan pengujian dilakukan sebanyak 3 kali. Dari pengujian ini, data yang didapat yaitu arus (A) dan tegangan (V).

4. HASIL PENELITIAN

a. Pengujian Jalan Mendatar

Setelah melakukan pengujian berdasarkan metode yang sudah dijelaskan, berikut ini merupakan tabel data hasil pengujian yang sudah dirata-rata dari setiap variasi kecepatan :

Tabel 2 Data pengujian jalan mendatar

NO	KECEPATAN	ARUS (I)	TEGANGAN (V)	DAYA (W)
1	15 km/jam	10,4	48,15	500,76
2	30 km/jam	18,2	46,25	841,75
3	45 km/jam	30,5	42,21	1287,4

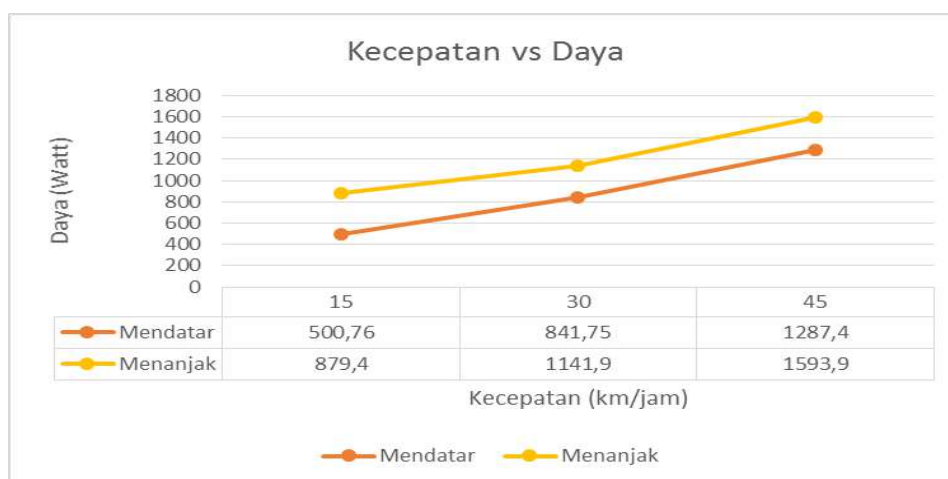
b. Pengujian Jalan Menanjak

Setelah melakukan pengujian berdasarkan metode yang sudah dijelaskan, berikut ini merupakan table data hasil pengujian yang sudah dirata2 dari setiap variasi kecepatan :

Tabel 3 Data pengujian jalan menanjak

NO	KECEPATAN	ARUS (I)	TEGANGAN (V)	DAYA (W)
1	15 km/jam	19,7	44,64	879,4
2	30 km/jam	26,8	42,61	1141,9
3	45 km/jam	40,6	39,56	1593,9

c. Analisis Hasil Pengujian



Gambar 10 Grafik Kecepatan vs Daya

Berdasarkan grafik diatas dapat dianalisis, adanya perbedaan nilai daya antara kondisi jalan menanjak dan juga mendatar di berbagai variasi kecepatan. Pada kedua kondisi, daya terus mengalami peningkatan seiring bertambahnya kecepatan, terlihat daya terbesar pada terjadi saat melewati jalan menanjak dengan kecepatan 45 km/jam. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh kondisi jalan terhadap daya, dimana pada jalan menanjak daya yang dibutuhkan lebih besar daripada jalan mendatar, karena sesuai dengan parameter yang terdapat pada landasan teori, untuk mendapatkan daya dibutuhkan nilai gaya menanjak, sehingga hasilnya akan lebih

besar dibanding saat melalui jalan mendatar. Kemudian, semakin tinggi kecepatan, daya yang dibutuhkan juga akan semakin besar.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

- a. Kondisi medan jalan berpengaruh terhadap besarnya daya yang dibutuhkan sepeda motor listrik, seperti pada pengujian yang telah dilakukan, saat melalui jalan menanjak daya lebih besar dibanding jalan mendatar.
- b. Tingginya kecepatan juga mempengaruhi besarnya daya, jika kecepatan naik maka daya sepeda motor listrik juga akan naik, dan sudah ditunjukkan pada data hasil pengujian saat kecepatan 15 km/jam, 30 km/jam, dan 45 km/jam.

DAFTAR PUSTAKA

1. Efficiency, B. O. (2004). *Energy Efficiency In Electrical Utilities (Vol. III)*. India.
2. Fernandez, R. J. (2010). *Electrical Vehicle Base On Standart Industrial Component*. Granada .
3. Satria, A. W. (2012). *Analisis Konsumsi Energi Menggunakan Profil Kecepatan Pada Kendaraan Listrik*. Depok: Universitas Indonesia.
4. Sutrisna, A. (2014). *Analisa Konsumsi Energi Pada Sepeda Motor Listrik*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
5. Vogel, C. (2009). *Build Your Own Motorcycle*. United States: The McGraw-Hills Companies, INC.
6. Wildi, T. (2006). *Electrical Machine Drives and power Systems*. Unites States of America.

SUBMISSION 63

Analisa Efisiensi Daya Pada Sistem Pengkondisian Udara Menggunakan HRV (*Heat Recovery Ventilation*)

I Gede Eka Lesmana, Anggi Raras Tuti

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta

Abstrak. Efisiensi energi pada sistem pengkondisian udara ini memanfaatkan udara balik dari unit AC yang menghasilkan udara dingin untuk ruang yang akan dikondisikan. Udara dingin yang dihasilkan ini sebagian akan digunakan untuk daur ulang. Daur ulang udara ini mencampurkan udara segar dan udara balik dari unit AC. Udara segar bertemperatur 34°C , sehingga beban kerja unit AC menjadi berat. Untuk menurunkan beban kerja pada unit AC ini maka udara segar akan dicampur dengan udara balik dari unit AC. Udara balik dari unit AC bertemperatur 12°C . Sehingga ketika dicampur temperatur udara nya menjadi $30,1^{\circ}\text{C}$. Karena udara segar yang masuk ke unit AC turun, maka beban kerja unit juga akan turun. Sehingga konsumsi daya nya juga akan turun. Sebelum dicampur, konsumsi daya nya adalah $100,4\text{ kW}$, dan setelah menggunakan sistem HRV (*Heat Recovery Ventilation*) konsumsi daya nya adalah $90,3\text{ kW}$. Maka apabila sistem pengkondisian udara menggunakan HRV maka konsumsi daya nya akan turun 10%.

Kata kunci—*Air Conditiong; HRV System (Heat Recovery Ventilation); Power Efficiency*

1. PENDAHULUAN

Harga energi yang tinggi sejak tahun 1970 telah menjadi suatu faktor penting yang merangsang timbulnya tantangan baru untuk meningkatkan efisiensi yang merupakan suatu hal yang sulit dilakukan, sekarang mendapat perhatian serius yang sering kali diukur secara ekonomis. Sistem pengkondisian udara pada umumnya hanya menggunakan suplai udara dari udara ventilasi dari luar, kemudian masuk ke unit AC. Setelah masuk ke unit AC, udara akan di distribusikan ke ruangan yang akan dikondisikan. Udara ventilasi dari luar mempunyai temperatur yang tinggi yaitu diatas 30°C . Sehingga beban kerja unit AC menjadi berat dan konsumsi listrik nya akan menjadi tinggi juga. Dalam analisa ini akan memodifikasi sistem pengkondisian udara, yaitu memanfaatkan udara balik yang diambil dari udara suplai. Udara balik ini akan kita daur ulang dengan mencampurkan udara ventilasi dari luar yang memiliki temperatur 34°C dan udara balik dari udara suplai yang memiliki temperatur 12°C . Ketika udara tersebut bercampur temperaturnya akan menjadi $30,1^{\circ}\text{C}$. Karena udara yang masuk kedalam unit menjadi $30,1^{\circ}\text{C}$, maka beban kerja dari unit juga akan turun. Sehingga konsumsi listrik nya pun akan lebih turun. Dalam analisa ini akan membandingkan kedua sistem tersebut dan seberapa efisien sistem pengkondisian udara menggunakan HRV (*Heat Recovery Ventilation*).

2. METODOLOGI PENELITIAN

a. Data yang didapat

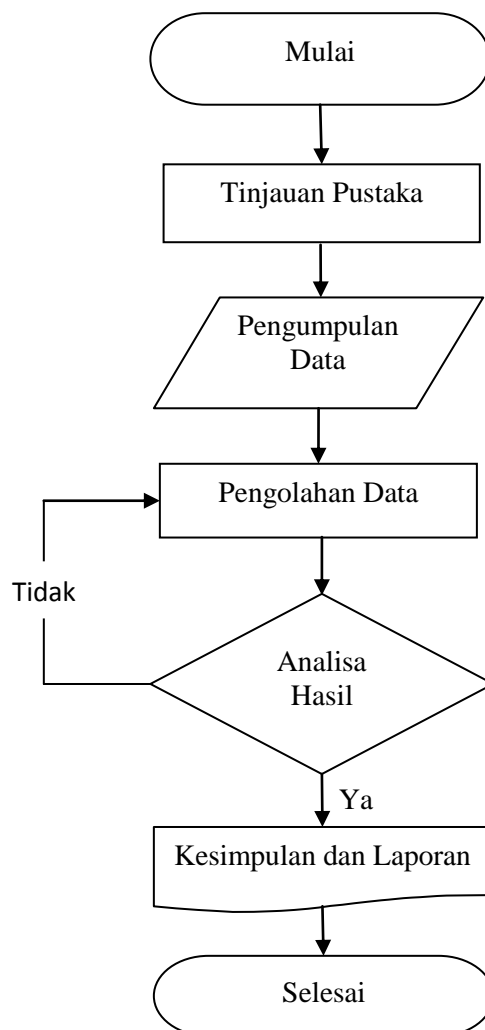
- Lampu yang digunakan dalam ruangan yang dikondisikan menggunakan tipe *linear suspended*. Lampu linear yang digunakan adalah 20 Watt . Total panjang lampu dalam ruangan adalah 7 meter , dan ada 4 titik lampu.
- Peralatan listrik yang digunakan dalam ruangan tersebut:
 - Komputer 8 buah : 2720 Watt (masing-masing 340 Watt)
 - Laptop 10 buah : 1500 Watt (masing-masing 150 Watt)
 - Mesin Fotocopy : 1400 Watt
 - Server 2 buah : 700 Watt (masing-masing 350 Watt)
 - Kulkas 1 buah : 120 Watt
 - Dispenser 1 buah : 450 Watt (pemanas dan pendingin)

- Jumlah penghuni dalam ruangan yang dikondisikan yaitu 18 orang (5 orang wanita dan 13 orang pria)

b. Cara Pengambilan Data

- Salah satu thermometer dibalut dengan kain basah pada bagian bawah untuk mengukur temperatur bola basah.
- Setelah prosedur (a) dilakukan, letakan thermometer bola basah dan kering pada luar ruangan.
- Letakan anemometer diluar ruangan.
- Nilai temperatur dan kecepatan angin dilihat setiap satu jam, kemudian dicatat.

c. Bagan Alir Penelitian



Tahapan Metodologi Perancangan

3. PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA

Dari data yang telah kita dapat, kita akan menghitung:

a. Koefisien perpindahan panas (U)

Koefisien perpindahan panas (U) adalah fungsi dari hambatan-hambatan thermal dan merupakan ukuran nilai dari jumlah panas yang melalui benda (material) persatuan luas derajat suhu. Nilai koefisien perpindahan panas (U) tergantung dari jenis material (*thermal resistance*). Maka kita dapat menghitung koefisien panas, dan didapat:

- Koefisien panas dinding yang berbatasan dengan udara luar yaitu $3,4584 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$
- Koefisien panas dinding yang berbatasan dengan ruangan yang tidak dikondisikan yaitu $2,7403 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$
- Koefisien panas lantai yaitu $1,8756 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$
- Koefisien panas pintu yaitu $0,9679 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$
- Koefisien panas atap yaitu $3,6159 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$

b. Perhitungan Beban Pendingin

i) Beban Eksternal

- Beban kalor melalui dinding yang terkena langsung sinar matahari yaitu 2029,3 Watt
- Beban kalor melalui dinding yang tidak terkena sinar matahari langsung yaitu 3759,88 Watt
- Beban kalor melalui lantai yaitu 3454,9 Watt
- Beban kalor melalui pintu yaitu 33,263 Watt
- Beban kalor melalui kaca yaitu 308,1705 Watt

ii) Beban Internal

- Beban lampu yaitu 100,8 Watt
- Beban penghuni atau orang dibagi menjadi dua, beban pendinginan sensibel penghuni yaitu 1299,375 Watt dan beban pendinginan laten penghuni yaitu 1063,125 Watt
- Beban pendinginan peralatan elektronik yaitu 2067 Watt

iii) Beban pendingin Total

- Beban total pendingin eksternal yaitu 11635,44 Watt
- Beban total pendinginan sensibel yaitu 15102,61 Watt
- Beban total pendinginan laten yaitu 16165,74 Watt
- Beban total pendinginan yaitu 31267,74 Watt

c. Perhitungan Kebutuhan Volume Udara

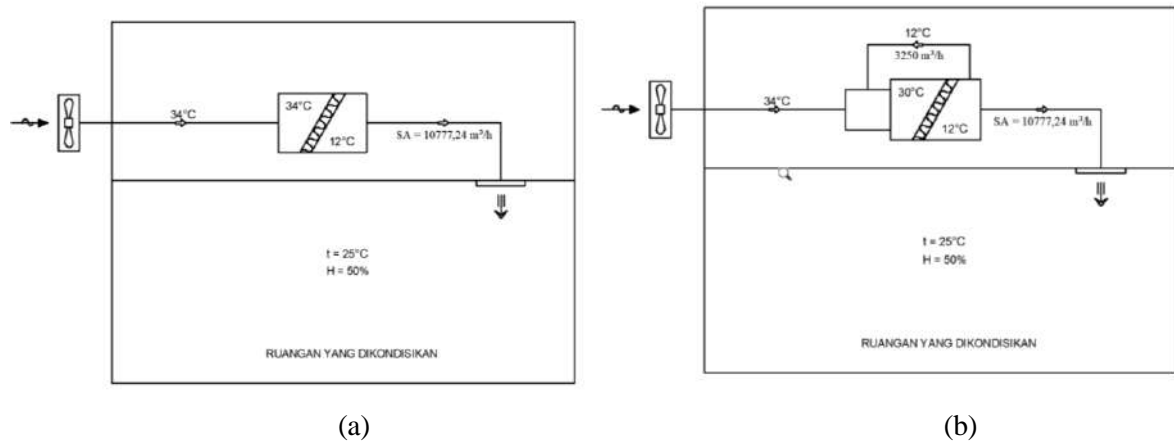
Volume udara suplai berdasarkan kebutuhan ruangan yaitu $1077,24 \text{ m}^3/\text{h}$

d. Analisa

Pada analisa ini data-data sudah kita dapat kan dan sudah kita hitung, maka kita harus menghitung untuk udara balik yang akan kita campur dengan udara segar, sehingga temperatur udara segar yang masuk ke unit AC akan turun. Dari hasil pengambilan data dan perhitungan data, maka didapatkan:

- Temperatur udara segar yaitu 34°C
- Temperatur udara didalam ruangan yang dikondisikan yaitu 25°C
- Temperatur udara yang keluar dari fan coil yaitu 12°C
- Volume udara suplai untuk ruangan yaitu $10777,24 \text{ m}^3/\text{h}$
- Volume udara balik dapat kita asumsikan yaitu $3250 \text{ m}^3/\text{h}$
- Entalpi 1 yaitu 30 kJ/kg, berdasarkan suhu udara setelah keluar dari fan coil unit yaitu 12°C
- Entalpi 2 yaitu 105 kJ/kg, berdasarkan suhu udara segar yaitu 34°C
- Entalpi 3 yaitu 51 kJ/kg, berdasarkan suhu udara dalam ruangan yaitu 25°C
- Entalpi 4 yaitu 87,5 kJ/kg, berdasarkan suhu udara campuran yaitu $30,1^\circ\text{C}$
- Beban pendinginan campuran yaitu 170,662 kW
- Beban pendinginan udara segar yaitu 193,986 kW
- *Cooling capacity* udara campuran yaitu 181439,24 Watt
- *Cooling capacity* udara segar yaitu 204763,24 Watt
- *Cooling capacity* untuk pemilihan unit untuk udara yang sudah dicampur yaitu 190511 Watt
- *Cooling capacity* untuk pemilihan unit udara segar yaitu 215001 Watt
- *Power consumption* untuk sistem pengkondisian udara yang menggunakan HRV yaitu 90,3 kW
- *Power consumption* untuk sistem pengkondisian udara 100,4 kW
- Efisiensi daya yang didapat yaitu 10%

Perbandingan diagram sistem pengkondisian udara yang standart dengan sistem pengkondisian udara menggunakan HRV (*Heat Recovery Ventilation*).



Gambar 1. Sistem pengkondisian udara (a) diagram sistem pengkondisian udara (b) diagram sistem pengkondisian udara menggunakan HRV (*Heat Recovery Ventilation*)

Pada gambar 1a yaitu sistem pengkondisian udara dapat dilihat bahwa udara segar atau udara ventilasi dari luar langsung masuk ke unit, udara segar dengan temperatur 34°C masuk ke unit AC kemudian unit akan menghasilkan udara suplai untuk ruangan yang dikondisikan. Apabila menggunakan sistem tersebut maka *cooling capacity* yang dibutuhkan yaitu 215 kW dan daya yang dibutuhkan adalah $100,4\text{ kW}$.

Pada gambar 1b yaitu sistem pengkondisian udara yang menggunakan HRV (*Heat Recovery Ventilation*) dimana udara segar atau udara ventilasi dari luar dicampur dengan udara balik. Udara balik ini memanfaatkan udara suplai yang sebagian kita gunakan untuk daur ulang. Temperatur udara segar yaitu 34°C akan dicampur dengan udara balik yang bertemperatur 12°C . Hasil dari percampuran udara tersebut $30,1^{\circ}\text{C}$. *Cooling capacity* yang dibutuhkan yaitu $190,5\text{ kW}$ dan daya yang dibutuhkan adalah $90,3\text{ Kw}$.

Maka efisiensi daya yang kita dapat apabila kita menggunakan sistem pengkondisian udara yang menggunakan HRV (*Heat Recovery Ventilation*) yaitu 10% .

4. KESIMPULAN

- Beban pendingin ruangan yang dikondisikan adalah $31267,74\text{ Watt}$
- Temperatur udara campuran antara udara balik dan udara segar yaitu $30,1^{\circ}\text{C}$ dan volume udara balik adalah $3250\text{ m}^3/\text{h}$
- Beban kerja unit pendingin setelah menggunakan sistem HRV (*Heat Recovery Ventilation*) adalah $181,439\text{ kW}$.
- Efisiensi daya yang di dapat pada sistem pengkondisian udara menggunakan HRV (*Heat Recovery Ventilation*) adalah $10,1\%$.

DAFTAR PUSTAKA

- Jerold W. Jones, Wilbert F. Stoecker, dan Supratman Hara, *Refrigrasi dan Pengkondisian Udara* (Terjemahan), Erlangga. Jakarta (1996)
- H. Saito, W Arismunandar, *Penyegaran Udara* (Terjemahan), PT. Pradnya Paramita, Jakarta (1991)
- Bernard D. Wood, Zulkifli Harahap, *Penerapan Termodinamika*, Erlangga, Jakarta (1982)
- J.P. Holman, E Jasjfi, *Perpindahan Kalor* (Terjemahan), Erlangga, Jakarta (1997)
- Carier, *Handbook of Air Conditioning System Design*, McGraw-Hill Book Company, New York (1965)
- SNI, *ASHRAE Handbook, Tata Cara Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara Pada Bangunan Gedung*, Jakarta (2001-1997)

SUBMISSION 78

Desain Reaktor Biodigester untuk Pembangkit Listrik Kapasitas 0,6 MW

Eka Maulana, Dwi Rahmalina, Much. Ihsan Fadillah, La Ode M. Firman, Sorimuda Harahap, dan Agri Suwandi
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Srengseng Sawah, Jagakarsa, 12640 Jakarta

Abstrak. Penelitian ini membahas mengenai penentuan dimensi dari reaktor biodigester untuk pembangkit listrik kapasitas 0.6 MW dan mengetahui jumlah sampah organik yang dibutuhkan. Metode yang dilakukan adalah dengan menentukan berapa jumlah gas *methane*, *total solid* dan *volatile solid* yang diperlukan untuk menghasilkan energi listrik, dan menentukan dimensi reaktor dengan mempertimbangkan beban mekanis seperti tekanan dan tegangan yang terjadi di dalam reaktor. Hasil dari penelitian ini adalah Reaktor biodigester menggunakan tipe *fixed dome* dengan konstruksi di atas tanah yang dibuat dari material *stainless steels*. Reaktor memiliki dimensi diantaranya diameter 4,81 m, tinggi 3,49 m dan tebal 4 mm, jumlah sampah organik yang dibutuhkan sebesar 39,83 m³/hari dan jumlah kebutuhan gas *methane* sebesar 1566,5 m³/hari.

Kata kunci: Sampah organik, Reaktor Biodigester, Dimensi

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan masalah bagi masyarakat, untuk itu diperlukan pengolahan sampah dengan konsep *zero waste*. Salah satunya menggunakan teknologi biodigester. Biodigester adalah sebuah tempat untuk menghasilkan biogas dengan menggunakan bakteri anaerob untuk mengurai sampah organik. Jumlah sampah organik yang ada di kabupaten Tegal pada tahun 2015 sebesar 22% (211,22 m³/hari) dari total seluruh sampah yang ada yaitu 960,09 m³/hari[1]. Sampah yang dikelola di TPA Penujah masih menggunakan teknologi *open dumping*. *Open dumping* merupakan sistem pembuangan paling sederhana dimana sampah dibuang begitu saja dalam sebuah tempat pembuangan akhir tanpa pengolahan lebih lanjut. Untuk itu sampah organik akan diubah menjadi biogas dengan menggunakan biodigester untuk dikonversi menjadi energi listrik kapasitas 0,6 MW.

Selama proses penguraian sampah organik secara anaerob, komponen nitrogen berubah menjadi amonia, komponen belerang berubah menjadi H₂S, dan komponen fosfor berubah menjadi *orthophosphates*. Beberapa komponen lain seperti kalsium, magnesium, atau sodium berubah menjadi jenis garam[2]. Dalam pembentukan biogas yang baik, reaktor biodigester harus memenuhi beberapa syarat seperti lingkungan yang anaerob, temperatur biodigester paling tinggi 65°C, derajat keasaman pH diantara 6,6-7, kebutuhan nutrisi, kadar padatan, pengadukan dan pengaruh *starter*. Komposisi biogas bervariasi tergantung dari mana asal proses anaerobik yang terjadi. Bila proses pembentukannya terjadi dengan proses gas *landfill* yang memiliki konsentrasi *methane* sekitar 50%, sedangkan bila menggunakan sistem pengolahan limbah maju dapat menghasilkan biogas dengan komposisi 55-75 % CH₄[3]. Hasil dari 1 kg gas metan setara dengan 6,13 x 10⁷ J, sedangkan 1 kWh setara dengan 3,6 x 10⁶ J. Untuk massa jenis gas metan adalah 0,656 kg/m³ sehingga 1 m³ gas metan menghasilkan energi listrik sebesar 11,17 kWh.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Guyup Mahrhdian Dwi Putra, dkk[4]. Reaktor biogas dibuat secara portabel untuk limbah kotoran ternak sapi yang di buat dari bahan plastik dan *fiber glass* dengan diameter 52 cm dan tinggi 92 cm. menghasilkan volume biogas 2,721 m³/ 37 hari dengan rata-rata pembentukan gas sebesar 0,074 m³/hari. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Sari dan Puji Widodo[5]. Biogas dibuat jenis *fixed dome*, konstruksi berada di dalam tanah yang dibuat dari material fiber dengan diameter 0,477 m dan tinggi 2,33 m. Menghasilkan produksi biogas mencapai 3,334 m³/hari. Penelitian kali ini bertujuan untuk menentukan

dimensi reaktor biodigester untuk pembangkit listrik 0,6 MW dengan memperhatikan beberapa faktor diantaranya kebutuhan gas metan, kebutuhan *volatile solid* dan *total solid*, menentukan kebutuhan sampah organik, dan memilih material yang digunakan. Dalam pembuatan reaktor biodigester, pemilihan material juga merupakan faktor yang penting.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan dimensi reaktor dan kebutuhan sampah organik untuk pembangkit listrik kapasitas 0,6 MW. Reaktor ini akan menggunakan jenis *fixed dome* dengan konstruksi diatas tanah.

A. Kebutuhan Sampah Organik

Dalam menentukan kebutuhan biogas dan jumlah sampah yang dibutuhkan untuk pembangkit listrik kapasitas 0,6 MW, maka di perlukan beberapa persamaan untuk menentukan berapa jumlah sampah yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik.

Tabel 1 Hasil Pengujian Produksi Biogas [6]

Sampah Organik	Volume (Ton)	Total Solid		Volatile Solid		Biogas	
		(%)	(kg)	(%)	(kg)	(m ³ /kg)	(m ³)
Sampah Perkotaan							
Sampat padat organik	907	27,7	251.279	74,1	186.168	0,676	125.850
Padatan Bio	4.500	5,1	229.500	71,1	163.175	0,320	52.216

Perhitungan Energi Listrik

$$El = V_{CH_4} \times H_{\text{metan}} \times \eta_{el} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Perhitungan Jumlah TS, VS, Biogas

$$TS = 27,7\% \times P_{so} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$VS = 74,1\% \times TS \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$Vb = 0,676 \times VS \quad \dots\dots\dots(4)$$

Perhitungan Jumlah Gas Metana

$$V_{gm} = 60\% \times Vb \quad \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

P_{so} : Sampah organik (kg)

TS : *Total solid* (kg)

VS : *Volatile solid* (kg)

Vb : Volume biogas (m³)

V_{gm} : Jumlah gas metan (m³)

B. Dimensi Reaktor Biodigester

Untuk menentukan dimensi ukuran dari reaktor biodigester, maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan volume sampah yang dibutuhkan perhari untuk menentukan dari dimensi ukuran reaktor.[7]

$$D = 1,3078 \times V^{1/3} \quad \dots\dots\dots (6)$$

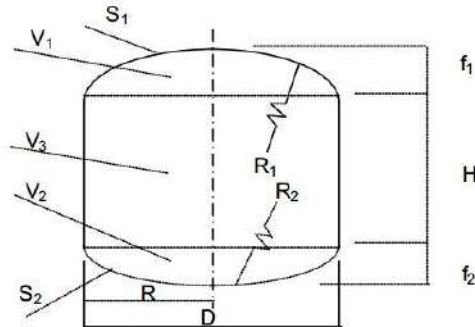
Keterangan

D : Diameter (m)

V : Volume biodigester (m³)

Tabel 2 Dimensi Reaktor Biodigester[7]

Dimensi	Rumus Dimensi	Dimensi	Rumus Dimensi
V_1	$0,0827 \times D^3 \dots(7)$	f_1	$D/5 \dots(12)$
V_2	$0,05011 \times D^3 \dots(8)$	f_2	$D/8 \dots(13)$
V_3	$0,3142 \times D^3 \dots(9)$	S_1	$0,911 \times D^2 \dots(14)$
R_1	$0,725 \times D \dots(10)$	S_2	$0,8345 \times D^2 \dots(15)$
R_2	$1,0625 \times D \dots(11)$	Vtotal	$V_1 + V_2 + V_3 \dots(16)$



Gambar 1. Dimensi Reaktor[7]

C. Tekanan di dalam reaktor

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui tekanan yang disebabkan oleh *slurry* dan gas metan yang terdapat didalam reaktor.

$$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} + \rho gh \dots\dots\dots (17)$$

Keterangan:

- P_{gas} : Tekanan Biogas (N/m^2).
- P_{atm} : Tekanan udara luar ($101,325 \text{ N/m}^2$).
- ρ : Massa Jenis (kg/m^3)
- g : Gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$).
- h : Perbedaan tinggi air (m).

D. Tegangan pada Dinding reaktor

Untuk menentukan tegangan yang terjadi di dalam reaktor, maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (18)$$

Keterangan:

- σ : Tegangan (MPa).
- F : gaya (N).
- A : Luas penampang (m^2).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Total kapasitas listrik yang direncanakan adalah 0,6 MW, diasumsikan generator digunakan selama 10 jam dengan efisiensi listrik generator sebesar 38,1 %. Faktor konversi dari 1 m^3 gas metan setara dengan $11,17 \text{ kWh/m}^3$. Sehingga jumlah gas metan yang dibutuhkan adalah $1409,85 \text{ m}^3$. Dengan diasumsikan terjadi kebocoran gas sebesar 10%, maka jumlah gas metan yang dibutuhkan menjadi $1566,5 \text{ m}^3/\text{hari}$. Dibawah ini adalah hasil dari jumlah gas metan, *volatile solid*, *total solid* dan sampah organik yang dibutuhkan.

Tabel 3 Perhitungan Kebutuhan Sampah Organik

No	Data yang dicari	Hasil
1.	Perhitungan potensi Energi listrik (El)	6000 kWh/hari
2.	Perhitungan jumlah gas metan (VGM)	1566,5 m ³ /hari
3.	Perhitungan jumlah volume produksi biogas (Vb)	2610,6 m ³ /hari
4.	Perhitungan jumlah dari <i>Volatle Solid</i> (Vs)	3861,83 kg/hari
5.	Perhitungan jumlah dari <i>Total Solid</i> (Ts)	5211,65 kg/hari
6.	Perhitungan sampah organik yang dibutuhkan (Pso)	19160,48 kg/hari
7.	Perhitungan volume sampah organik yang dibutuhkan (V) (dimana ρ sampah organik = 481 kg/m ³)	39,83 m ³ /hari

Dalam menentukan dimensi reaktor biodigester, maka hal yang perlu dilakukan adalah menentukan volume biodigester. Volume ini terdiri dari volume sampah organik dengan volume air dengan perbandingan 1:1. Volume biodigester sebesar 79,66 m³. Untuk menjaga sumber energi listrik jika terjadi kerusakan maka reaktor diasumsikan dapat bertahan selama 5 hari kedepan. Volume biodigesternya menjadi 398,3 m³.

Setelah mendapatkan volume biodigester, untuk menghitung diameter dapat menggunakan persamaan (6), maka diameternya sebesar 9,62 m. karena biodigester direncanakan dibangun dengan 2 buah maka diamaternya menjadi 4,81 m. dibawah ini adalah hasil perhitungan dari dimensi reaktor biodigester.

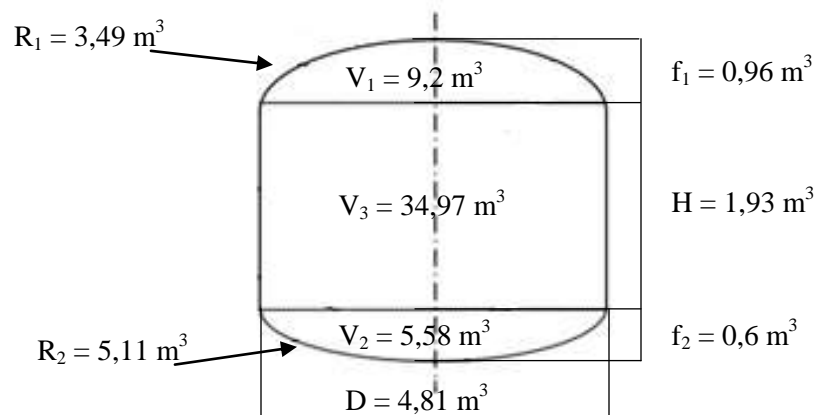
Tabel 4 Dimensi Reaktor Biodigester

Dimensi	Rumus Dimensi	Nilai	Dimensi	Rumus Dimensi	Nilai
V ₁	0,0827 x D ³	9,2 m ³	f ₁	D/5	0,96 m
V ₂	0,05011 x D ³	5,58 m ³	f ₂	D/8	0,60 m
V ₃	0,3142 x D ³	34,97 m ³	S ₁	0.911 x D ²	21,1 m ²
R ₁	0,725 x D	3,49 m	S ₂	0.8345 x D ²	19,3 m ²
R ₂	1,0625 x D	5,11 m	Vtotal	V ₁ + V ₂ + V ₃	49,75 m ³

Menentukan nilai H dengan menggunakan rumus volume tabung, sehingga:

$$V \text{ tabung } (V_3) = \frac{1}{4} \pi D^2 H$$

$$H = 1,93 \text{ m}$$



Gambar 2. Hasil Dimensi Reaktor

Setelah mendapatkan dimensi reaktor, maka dapat ditentukan tekanan dan tegangan yang terjadi di dalam reaktor dengan menggunakan persamaan (17) dan (18).

Tabel 5
Tekanan di dalam Reaktor

Dicari	Rumus	Nilai
Tekanan Operasi	-	1 atm (101,32 N/m ²)
Tekanan Hidrostatik	$\rho_{slurry} g H_L$	19.468,34 N/m ²
Tekanan kerja Absolut	$P_{operasi} + P_{Hidrostatik}$	19.569,66 N/m ²
Tekanan Desain	$1,1 \times P_{kerja Absolut}$	21.526,63 N/m ²

Tabel 6
Gaya pada Dinding Reaktor

Dicari	Rumus	Nilai
Luas penampang reaktor (A)	$2 \pi R H$	29,15 m ²
Gaya pada dinding (F)	P.A	627,5 kN

Gaya yang terjadi pada dinding reaktor sebesar 627,5 kN, maka dapat ditentukan tegangan yang terjadi pada dinding reaktor. Tebal pelat diasumsikan tebalnya 4 mm.

Tabel 7
Tegangan pada Dinding Reaktor

Dicari	Rumus	Nilai
Luas penampang dinding (A)	Panjang x tebal	29,18 m ²
Tegangan pada dinding (σ)	F/A	81,28 MPa
Tegangan Maksimum	$\sigma \times safety factor$	162,56 MPa

Tegangan yang terjadi pada reaktor adalah 162,56 MPa, sehingga material sesuai dengan reaktor biodigester adalah *stainless steel* karena mengandung kromium dan nikel yang berfungsi menjaga reaktor dari sifat korosi yang disebabkan oleh pH rendah, *Hydrogen sulfide*, *Carbon dioksida* dan air.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa kebutuhan produksi biogas untuk pembangkit listrik kapasitas 0,6 MW sebesar 2610,6 m³/hari dan kebutuhan sampah organik perhari sebesar 39,83 m³/hari. Dimensi dari reaktor biodigester adalah diameter 4,81 m, tinggi 3,49 m dan tebal 4 mm. Untuk penelitian selanjutnya dapat ditingkat dengan menentukan material reaktor berdasarkan parameter yang dibutuhkan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Badan Pusat Statistik Kabupaten Tegal. *Kabupaten Tegal Dalam Angka 2017*. Tegal. (2017).
- [2]. Suyitno, Sujono, A., & Dharmanto. *Ilmu Biogas*. Yogyakarta: Graha Ilmu. (2010).
- [3]. Wahyuni, S. *Biogas Energi Alternatif Pengganti BBM Gas dan Listrik*. Jakarta Selatan: AgroMedia Pustaka. (2013).
- [4]. Sari, A., & Widodo, P. Perancangan dan Penerapan Instalasi Biogas Skala Kecil di Ciamis. *Prosiding Seminar Nasional*, 415-423. (2015).

- [5]. D, G. M., A, S. H., Priyati, A., S, D. A., & M, S. A. Rancang Bangun Reaktor Biogas Tipe Portable dari Limbah Kotoran Ternak Sapi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*. (2017).
- [6]. McDonald, T., Achari, G., & Abiola, A. Feasibility of increased biogas production from the co-digestion of agricultural, municipal, and agro-industrial wastes in rural communities. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 263-273. (2008).
- [7]. Muthupandi, K. *Design of Biogas Plant*. Bangalore. (2007).

SUBMISSION 85

Analisis Kinerja Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Uap Skala Laboratorium yang Memanfaatkan Kalor Hasil Pembakaran Proses Pirolisis

D.L Zariatn, Iqbal Ramadhian P, dan Rifki Khairul Azzaam
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

ABSTRAK. Pada proses pirolisis, terdapat kalor hasil pembakaran yang terbuang percuma atau energi panas terbuang dan dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sebuah prototipe pembangkit listrik tenaga uap skala laboratorium yang memanfaatkan energi panas dari proses pirolisis. Setelah itu akan dilakukan analisis kinerja PLTUSL, dengan cara mengukur daya listrik yang dihasilkan. Cara kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap Listrik Skala Laboratorium ini adalah pemanfaatan energi kalor yang terbuang, energi kalor ini berasal dari pembakaran sampah di incenerator atau tungku pembakar sampah, dengan menggunakan sampah (serbuk kayu) 2.42 kg. Sampah tersebut dimasukkan ke dalam tungku pembakar (incenerator). Sampah dibakar dan menghasilkan energi panas untuk mendidihkan air di dalam ketel uap. Perubahan kecepatan uap menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar turbin. Turbin yang terhubung ke generator inilah yang selanjutnya akan memutar generator untuk menghasilkan listrik 9 volt dan 14.4 watt.

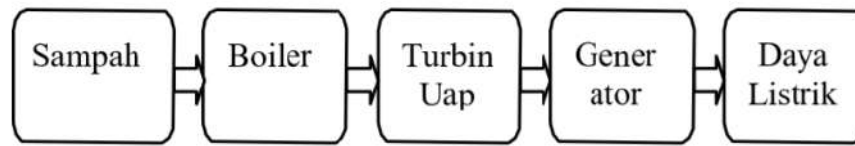
Kata Kunci : *Proses Pirolisis, PLTU, Incenerator.*

1. PENDAHULUAN

Saat ini permintaan listrik di Indonesia terus bertambah, maka dari itu harus dibarengi dengan naiknya pertumbuhan generator di Indonesia. Dengan jumlah penduduk kurang lebih 250 juta jiwa, Indonesia masih hanya mengandalkan pasokan listrik sebesar 35,33 GW. Sangat timpang jika dibandingkan dengan Malaysia yang berpenduduk sekitar 29 juta jiwa namun pasokan listriknya sebesar 28,4 GW. Pasokan listrik Singapura masih jauh memimpin lebih tinggi rasionya dengan jumlah penduduk kurang lebih 5,3 juta jiwa dan pasokan listrik 10,49 GW. [1] Persoalan sampah di perkotaan tak kunjung selesai. Tingginya kepadatan penduduk membuat konsumsi masyarakat pun tinggi. Di sisi lain, lahan untuk menampung sisa konsumsi atau sampel terbatas. Persoalan semakin bertambah. Sampah konsumsi warga perkotaan itu ternyata banyak yang tidak mudah terurai, terutama plastik. Semakin menumpuknya sampah plastik menimbulkan pencemaran serius.

Karena kebutuhan energi listrik yang besar dan pasokan energi fosil yang menurun, maka dibutuhkan energi penghasil listrik selain dari energi fosil yaitu energi Uap Panas. Uap panas tersebut membutuhkan kalor yang sangat tinggi temperaturnya. Pada penelitian kali ini akan dibuat Pembangkit Listrik Tenaga Uap Skala Laboratorium (PLTUSL). Energi kalor berasal dari hasil pembakaran incenerator pada proses pirolisis. Penelitian sebelumnya yang sudah ada adalah Pengelolaan dan Pemanfaatan Sampah Menggunakan Teknologi Incenerator, dengan incinerator dibagian bawah dan boiler dibagian atas. [2] Penelitian ini memanfaatkan energi kalor dari pembakaran di Incenerator untuk pemanasan air menjadi uap panas. Penelitian sebelumnya berikutnya adalah Teknologi Pemanfaatan Batubara Untuk Menghasilkan Batubara Cair, Pembangkit Tenaga Listrik, Gas Metana Dan Briket Batubara [4]. Berdasarkan rancangan dan pembuatan dari Yudea, maka tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis kinerja PLTUSL ini dengan cara mengambil data tegangan, arus, dan temperatur setiap 5 menit pada channel kalor. Lalu dilakukan perhitungan dengan data yang didapatkan untuk mendapat hasil keluaran daya listrik PLTUSL

Sesuai dengan pembangkitnya, PLTU adalah suatu pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi bahan bakar seperti minyak residu, batubara, cangkang kelapa sawit, gas alam atau sampah untuk memanaskan uap secara berulang-ulang. PLTU terdapat banyak sekali peralatan, mulai dari, ketel uap, turbin uap, generator, trafo, dan masih banyak lagi dengan jenis yang berbeda-beda. Bahan bakar untuk pemanasan ketel uap ada yang menggunakan sampah dengan pembakaran di Incenerator atau tungku pembakar sampah.



Gambar 1. Siklus Kerja PLTU Memakai Incenerator [3]

Konstruksi meliputi ketel uap, turbin uap, kondensator dan pompa sirkulasi (*feed water pump*). Uap dihasilkan oleh bagian ketel pada suhu dan tekanan yang tinggi. Uap ini kemudian dipanaskan kembali di pemanas lanjut sehingga temperatur uap naik sampai melebihi temperatur jenuhnya (saturasi). Uap yang super panas ini memasuki turbin dan menghasilkan daya listrik. [3]

Analisis kinerja ini adalah menghitung hasil output dari PLTUSL yang dibuat. Dari PLTUSL yang dibuat kinerja yang dihasilkan apakah maksimal atau tidak dan sesuai target atau tidak. Akan dilakukan beberapa kali pengujian untuk mengetahui kinerja dari PLTUSL menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P = V \times I$$

Dimana :

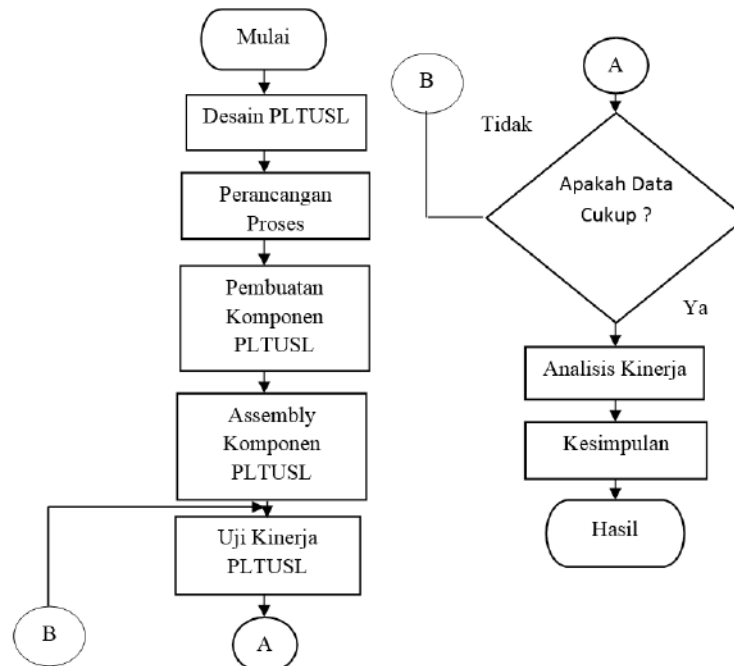
P = Daya listrik dengan satuan *watt* (W)

V = Tegangan listrik dengan satuan *Volt* (V)

I = Arus listrik dengan satuan *Ampere* (A)

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dibuat sesuai dengan isi fase proses manufaktur pembuatan komponen dan perakitan dan hasil dari analisis kinerja benda kerja. Proses manufaktur pembuatan komponen dan perakitan serta analisis kinerja mempunyai alur kerja yang dapat dijelaskan melalui Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. UJI EKSPERIMENTAL

Dalam pengujian ekperimental Pembangkit Listrik Tenaga Uap Skala Laboratorium (PLTUSL) akan diukur temperatur yang terjadi, hasil minyak dari proses pirolisis yang dihasilkan, arus listrik dan tegangan listrik yang didapatkan. Pengujian ini menggunakan alat ukur temperatur tembak, multitester, timbangan digital. Berikut ini adalah uji eksperimental yang dilakukan :

- a. Mengukur berat sampah yang dibutuhkan dan Memasukkan Sampah.



a.



b.

Gambar 3. a. Pengukuran Berat Sampah Serbuk Kayu, b. Pengukuran Berat Sampah Plastik

Pengukuran berat sampah ini dimaksudkan untuk mengetahui berapa berat sampah yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya listrik dan minyak pirolisisnya. Berat total sampah kayu yang sudah diukur adalah 2,42 kg, berat total sampah plastik yang diukur adalah 0,96 kg. sampah plastik dimasukkan secara bertahap lewat *hopper* sebagai bahan bakar untuk pembakaran di incenerator lalu sampah plastik dimasukkan ke dalam *inlet* pembakaran plastik.



a.



b.

Gambar 4. a. *Hopper* Sampah Serbuk Kayu, b. *Inlet* Sampah Plastik

b. Mengukur Temperatur Pada *Channel*



Gambar 5. Alat Ukur Temperatur

Mengukur temperatur dimaksudkan untuk mengetahui temperatur pada tunnel dan bisa mengetahui air pada instalasi PLTUSL sudah menjadi uap air apa belum. Pengukuran dilakukan setiap 5 menit sekali.

c. Mengukur Hasil Keluaran Listrik



Gambar 6. Multitester

Untuk mengukur hasil keluaran listrik digunakan alat *multitester*. Pengukuran ini dilakukan ketika suhu di tunnel sudah minimal 80°C agar air yang didalam instalasi PLTUSL menjadi uap air dan bisa menggerakkan generator. Besaran yang diukur adalah tegangan dan arus listrik yang dihasilkan.

d. Mengukur hasil minyak pirolisis



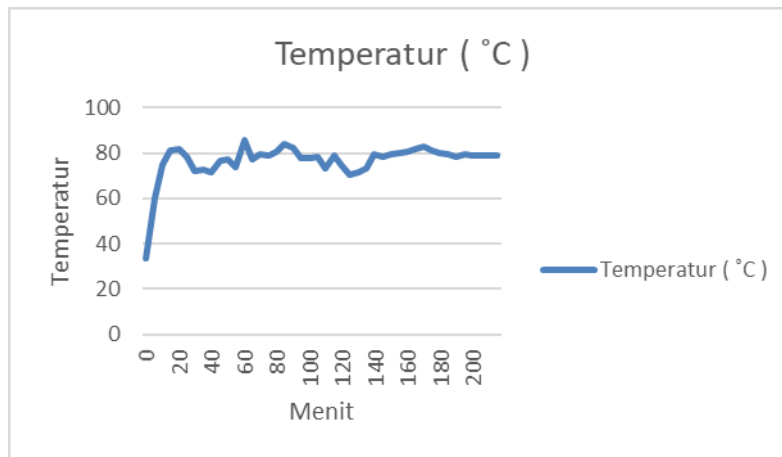
Gambar 7. Hasil Minyak Pirolisis

Hasil minyak pirolisis adalah hasil dari pembakaran sampah plastik yang sudah dimasukkan sebelumnya, minyak hasil proses pirolisis keluar ketika suhu hasil pembakaran di incenerator mencapai 500°C . Plastik yang menguap ketika dibakar akan dikondensasikan lalu jadilah minyak pirolisisnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

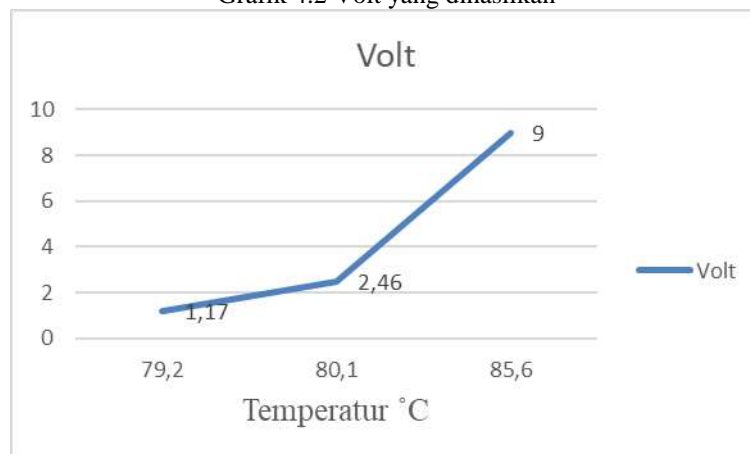
Di dalam hasil dan pembahasan akan dibahas hasil dari pengambilan data yang sudah dibahas sebelumnya, lalu akan ditampilkan hasil dan grafik dari data yang sudah didapatkan. Hasil-hasilnya adalah sebagai berikut :

Grafik 4.2 Temperatur dan Waktu



Dari data dan grafik yang didapatkan terlihat naik dan turun temperatur setiap 5 menit. Hal tersebut terjadi karena proses pembakaran di incenerator kurang maksimal, kurangnya suplai oksigen ke tungku pembakaran menjadi proses pembakaran menjadi tidak maksimal. Karena itu temperatur di *Channel* untuk proses pemanasan di PLTUSL menjadi tidak stabil.

Grafik 4.2 Volt yang dihasilkan



Dari grafik diatas didapatkan *volt* yang dihasilkan ada pada temperatur 79,2°C, 80,1°C, 85,6°C. Temperatur tersebut adalah temperatur pada *channel* kalor. Jadi temperatur air yang terdapat didalam instalasi bisa sampai temperatur melebihi dari 100°C. *Volt* yang dihasilkan berdasarkan grafik diatas semakin tinggi temperatur dari *channel* kalor semakin tinggi *volt* yang dihasilkan. Dari *volt* yang dihasilkan terdapat data arus yang didapatkan yaitu 0,23 A, 0,49 A, dan 1,8 A. Dari data tegangan dan arus yang dihasilkan didapatkan daya listrik yang dihasilkan dari perhitungan Berikut ini :

$$P = V \times I$$

Dimana :

P : Daya listrik (w)

V : Tegangan Listrik (V)

I : Arus Listrik (A)

Berdasarkan rumus diatas maka perhitungan untuk mendapatkan daya listrik adalah sebagai berikut :

- $P = V \times I$

$$P = 1,17 \times 0,23 = 0,27 \text{ watt}$$

- $P = V \times I$
 $P = 2,46 \times 0,49 = 1,21 \text{ watt}$
- $P = V \times I$
 $P = 9 \times 1,8 = 14,4 \text{ watt}$

Tabel 4.1 Hasil Output PLTUSL

Temperatur (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (w)
79,1	1,17	0,23	0,27
80,1	2,46	0,49	1,21
85,6	9	1,8	14,4

5. KESIMPULAN

Dari berdasarkan pengujian dan data-data yang didapatkan analisis kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTUSL) dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Volt yang dihasilkan dari PLTUSL ini adalah pada temperatur 79,1°C, 80,1°C, dan 85,6°C. Hasil voltnya adalah sebagai berikut :
 - 1,17 V
 - 2,46 V
 - 9 V
2. Temperatur pada channel kalor PLTUSL setiap 5 menitnya naik turun dikarenakan kurangnya suplai oksigen di dalam incenerator membuat proses pembakaran menjadi kurang maksimal.
3. Daya listrik yang dihasilkan didapatkan dari data tegangan dan arus lalu diperhitungkan dengan rumus $P = V \times I$ didapatkan hasil daya listrik PLTUSL sebagai berikut :
 - 0,27 watt
 - 1,21 watt
 - 14,4 watt

DAFTAR PUSTAKA

1. <http://bem.ft.ugm.ac.id/2017/02/09/krisis-dan-kebutuhan-listrik-indonesia/>
2. Salmawanty Tansa, Bambang Panji Asmara, Ade Irawaty Tolago, Yasin Mohamad (2015). Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa).
3. Budiman Arif.2001.Modifikasi Desain dan Uji Unjuk Kerja Alat Pembakar Sampah (Incinerator) Tipe Batch.Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB.
4. Sodikin Mandala Putra (2011). Teknologi Pemanfaatan Batubara Untuk Menghasilkan Batubara Cair, Pembangkit Tenaga Listrik, Gas Metana Dan Briket Batubara.

SUBMISSION 86

Desain Reaktor Biodigester untuk Pembangkit Listrik Kapasitas 0,6 MW

Eka Maulana, Dwi Rahmalina, Much. Ihsan Fadillah*, La Ode M. Firman, Sorimuda Harahap, dan Agri Suwandi
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Srengseng Sawah, Jagakarsa, 12640 Jakarta

Abstrak. Kebutuhan akan energi listrik di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya. Kebutuhan akan energi listrik ini dipengaruhi oleh penambahan jumlah penduduk dan kemajuan perkembangan teknologi, namun pada sisi lain produksi sampah di Indonesia pun juga semakin meningkat. Seiring pertumbuhan sampah yang meningkat pirolisis mulai akrab digunakan untuk mengubah sampah menjadi minyak plastik yang dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar solar. Hal ini dilakukan bertujuan untuk membantu menangani masalah sampah dan juga kebutuhan akan bahan bakar. Namun dari reaktor pirolisis tersebut terdapat panas hasil pembakaran plastik yang cukup besar dan terbuang begitu saja. Maka dari itu panas ini akan dimanfaatkan dan diubah menjadi energi listrik. Pada penelitian ini akan di jelaskan tentang bagaimana merancang dari pembangkit itu sendiri, dimulai dari indentifikasi kebutuhan, pembuatan konsep, pemilihan konsep, pemberian bentuk konsep, perancangan detail, serta analisa dari aliran fluida pada turbin uap ini. Sistem kerja dari pembangkit listrik tenaga uap ini yaitu dengan memanfaatkan energi kalor terbuang dari reaktor pirolisis yang kemudian akan di tangkap oleh *heat exchanger* yang kemudian akan memanaskan air didalamnya dan air tersebut akan berubah menjadi uap untuk menggerakkan turbin. Turbin inilah yang akan menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik. Dari hasil seleksi pemilihan varian yang telah dilakukan didapatkan bahwa hasil total pembobotan untuk varian 1 adalah sebesar 3,28 dan varian 2 sebesar 3,6. Dan hasil perhitungan nilai keseluruhan varian konsep dari varian 1 adalah 0,273 sedangkan varian 2 adalah sebesar 0,3, maka varian 2 merupakan varian terpilih dengan hasil bobot yang lebih tinggi dibandingkan dengan varian 2. Data dari hasil analisis sistem yang telah dilakukan didapatkan bahwa temperatur keluaran uap yang paling tinggi adalah 161.86531°C.

Kata kunci- *Insenerator, PLTU, Pirolisis*

1. PENDAHULUAN

Ketergantungan umat manusia terhadap pemanfaatan energi listrik dari waktu ke waktu terus meningkat, sehingga tidak bisa dipungkiri lagi bahwa listrik sudah termasuk ke dalam kebutuhan pokok yang tidak mungkin diabaikan. Namun disisi lain pertumbuhan produksi sampah semakin meningkat setiap tahunnya. Dari data di Kementerian Negara Lingkungan Hidup (KNLH) tahun 2008 menyebutkan, Indonesia menghasilkan sampah sebanyak 38,5 juta ton/tahun. Pulau Jawa menjadi penyumbang terbesar dengan menghasilkan 21,2 juta ton/tahun sampah disusul oleh Pulau Sumatera yang menghasilkan 8,7 juta ton/tahun. Total keseluruhan sampah tersebut berasal dari sampah pemukiman (perumahan, apartemen, dan lain-lain) dan sampah non-pemukiman (industri, rumah sakit, institusi dan lain-lain). [1]

Demi membantu menangani masalah tersebut reaktor pirolisis mulai akrab digunakan untuk merubah plastik menjadi minyak plastik yang bisa di gunakan sebagai campuran untuk bahan bakar. Namun pada reaktor pirolisis terdapat panas yang terbuang begitu saja dan tidak ada pemanfaatan lebih lanjut, dan suhu yang terbuang pun cukup tinggi yaitu 221°C.

* Corresponding author: ichsan_fadillah29@yahoo.com

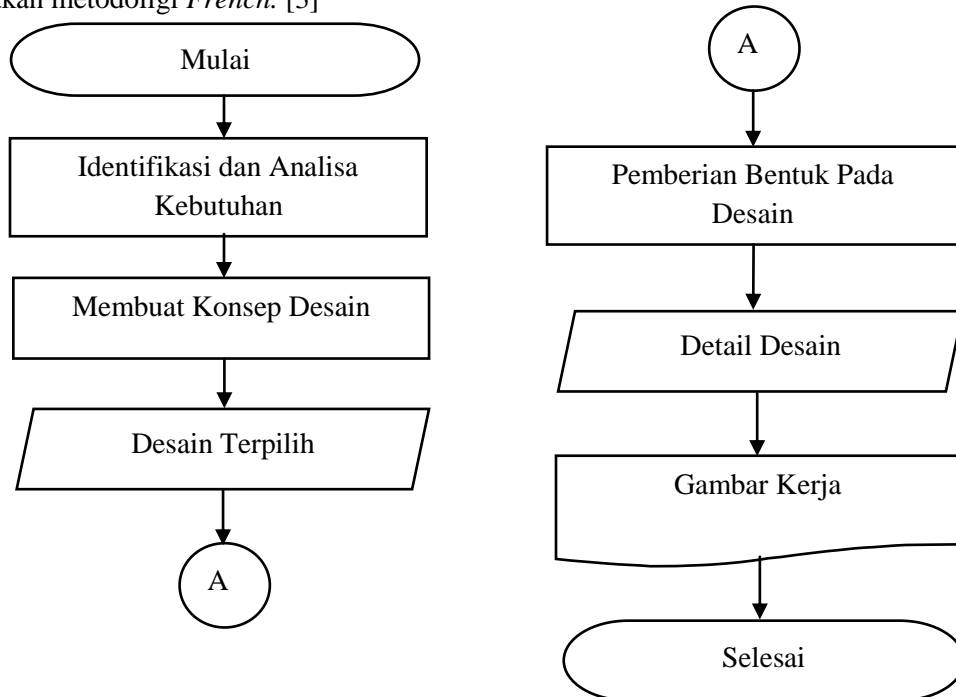
Maka dari itu demi memanfaatkan energi panas yang terbuang dari reaktor pirolisis ini akan dirancang pembangkit listrik tenaga uap mikro yang memanfaatkan panas terbuang dari proses pembakaran reaktor pirolisis tersebut. Pada penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yaitu Realisasi Pembangkit Mini Tenaga Sampah oleh Biyan Aqsha, Ir. Sarwoko M.Sc, dan Ekki Kurniawan S.T.M.Sc di Universitas Telkom pada tahun 2015 telah dihasilkan pembangkit listrik dengan tekanan uap sebesar 20 Psi dan didapatkan tegangan sebesar 23.1 V, dan daya rata-rata yang dihasilkan adalah sebesar 0,079 W [2]. Maka dari itu penelitian ini pembangkit dibuat dengan menggunakan konsep seperti PLTUSL pada umumnya dimana terdapat *heat exchanger*, turbin, dan generator. Namun perancangan PLTUSL dikondisikan agar bisa memanfaatkan panas terbuang yang kemudian diterima oleh *heat exchanger* untuk memanaskan air yang akan diubah menjadi uap. Perancangan juga dilakukan dengan menyesuaikan bentuk saluran panas buang pada reaktor pirolisis. Hasil dari penelitian ini adalah berupa desain perancangan pembangkit listrik tenaga uap yang memanfaatkan energi panas terbuang hasil pembakaran proses pirolisis. Berikut adalah skema dari PLTUSL yang akan dirancang.



Gambar 1 Skema PLTU

2. Metodologi Perancangan

Berikut ini akan dijelaskan bagaimana tahapan-tahapan dalam perancangan pembangkit listrik tenaga uap mikro yang memanfaatkan energi panas terbuang hasil pembakaran proses pirolisis dengan menggunakan metodologi *French*. [3]



Gambar 2 Metode french

Identifikasi kebutuhan data diperlukan sebagai dasar utama untuk kebutuhan perancangan seperti apa yang akan di lakukan. Identifikasi berikut dilakukan pada bagian *exhaust channel* reaktor pirolisis yang akan di gunakan ukuran panjangnya sebagai dasar ukuran panjang perancangan PLTUSL.



Gambar 3 *Channel*

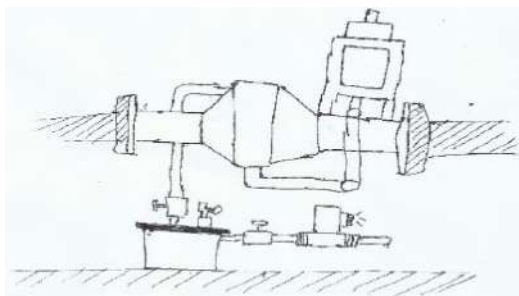
Didapatkan data pengukuran pada *Channel*:

Panjang	= 500 mm	Ketebalan Plat <i>Channel</i>	= 2 mm
Lebar	= 100 mm	Baut	= M10
Tinggi	= 130 mm		

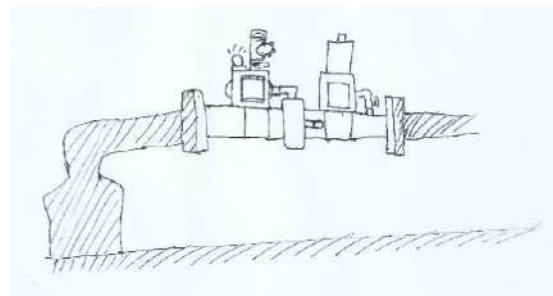
3. Hasil dan Pembahasan

A. Perancangan

Perancangan dilakukan berdasarkan identifikasi kebutuhan yang sudah didapatkan untuk digunakan sebagai landasan dalam penelitian ini. Dari identifikasi kebutuhan dan pembuatan konsep desain dasar telah didapatkan 2 varian alat yang kemudian akan diseleksi yaitu pada gambar 3 yang merupakan sketsa dari varian 1 dan varian 2.



Varian 1
(a)



Varian 2
(b)

Gambar 4 Konsep varian

Setelah terbentuk varian dari konsep desain, pembobotan dilakukan untuk menentukan nilai varian mana yang lebih baik. Pada tabel 1 dan tabel 2 merupakan tabel kriteria evaluasi pembobotan

Tabel 1 Kriteria Evaluasi Pembobotan Varian 1

No	Kriteria Evaluasi	B	Parameter	Varian 1		
				A	P	HB
1	Dapat Menghasilkan Arus Listrik	0,2	Kinerja	Baik	4	0,8
2	Dimensi Panjang Alat Sesuai Dengan Channel	0,2	Desain	Baik	3	0,6
3	Tahan Panas	0,2	Kinerja	Cukup	4	0,8
4	Kuat	0,15	Kinerja	Baik	4	0,6
5	Mudah Diproduksi	0,12	Kinerja	Cukup	2	0,24
6	Hemat Biaya Produksi	0,08	Konsumsi	Cukup	3	0,24
JUMLAH HASIL BOBOT (HB)						3,28

Tabel 2 Kriteria Evaluasi Pembobotan Varian 2

No	Kriteria Evaluasi	B	Parameter	Varian 1		
				A	P	HB
1	Dapat Menghasilkan Arus Listrik	0,2	Kinerja	Baik	4	0,8
2	Dimensi Panjang Alat Sesuai Dengan Channel	0,2	Desain	Baik	4	0,8
3	Tahan Panas	0,2	Kinerja	Cukup	4	0,8
4	Kuat	0,15	Kinerja	Baik	4	0,6
5	Mudah Diproduksi	0,12	Kinerja	Cukup	3	0,36
6	Hemat Biaya Produksi	0,08	Konsumsi	Cukup	3	0,24

JUMLAH HASIL BOBOT (HB)	3,6
-------------------------	-----

Untuk menentukan nilai keseluruhan varian konsep (*determining overall weighing value/OWV*) untuk menentukan *rating* varian diatas digunakan rumus sebagai berikut:

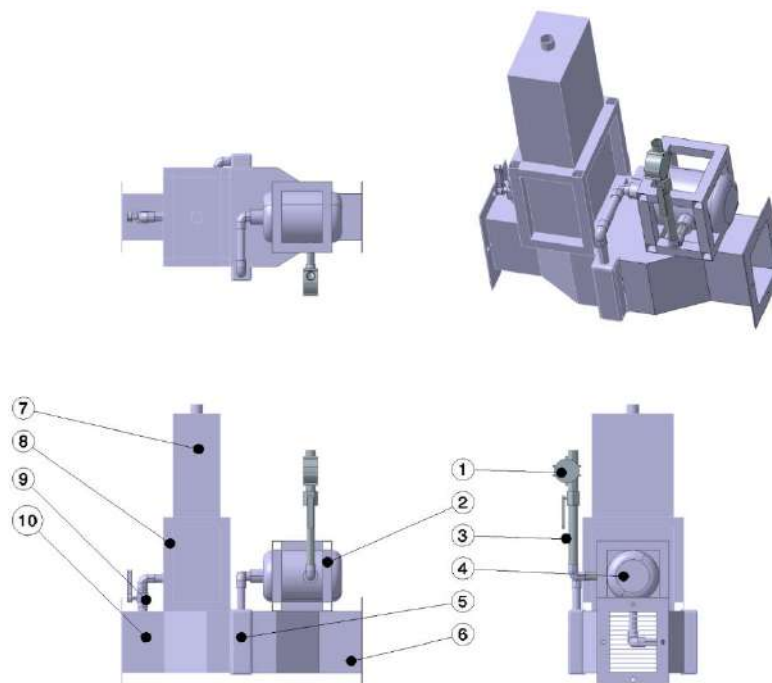
$$WRJ = \frac{owv_j}{V_{MAX} \cdot \sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

Nilai akhir:

$$\text{Varian 1} = WRJ = \frac{3,28}{2 \times 6} = 0,273$$

$$\text{Varian 2} = WRJ = \frac{3,6}{2 \times 6} = 0,3$$

Didapatkan dari evaluasi pembobotan hasilnya adalah varian 2 memiliki nilai yang lebih baik dari varian 1. Dan berikut pada Gambar 4 merupakan bentuk 3d dari varian terpilih.



Gambar 5 Bentuk Varian

Keterangan :

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 1. Generator | 6. Channel 2 |
| 2. Dudukan <i>Vessel</i> | 7. Tabung Inlet Air |
| 3. Pipa | 8. Dudukan Tabung Inlet Air |
| 4. <i>Vessel</i> (Tabung Uap) | 9. Valve (Katup) |
| 5. Radiator | 10. Channel 1 |

Rencana Perancangan

Material Channel	= Stainless Steel - Grade 304 (UNS S30400)
Tekanan perancangan	= 5 bar
Diameter luar pipa	= 3/8" (16 mm)
Material Pipa	= Stainless Steel - Grade 304 (UNS S30400)

B. Perhitungan Beban Ijin Sambungan

Perhitungan beban ijin sambungan dilakukan untuk menyatakan berapa total beban yang diijinkan pada baut M10 yang digunakan oleh alat ini.

Perhitungan Berat Keseluruhan PLTUS

Volume Tabung Inlet

$$V = p \times l \times t \quad (2)$$

$$V = 0,169 \text{ m} \times 0,098 \text{ m} \times 0,398 \text{ m}$$

$$V = 0,06591 \text{ m}^3$$

Massa Air

$$m = \rho V \quad (3)$$

$$m = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,06591 \text{ m}^3$$

$$m = 6,591 \text{ kg}$$

Gaya Air

$$F = m \times g \quad (4)$$

$$F = 6,591 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_A = 64,65771 \text{ N}$$

Gaya PLTUS

Ukuran massa PLTUS yang telah diukur adalah 11,19 kg maka:

$$F = m \times g$$

$$F = 11,19 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{PLTUS} = 109,7739 \text{ N}$$

Total Gaya

Total berat adalah berat air dijumlahkan dengan berat PLTUS

$$F_{Total} = F_A + F_{Total}$$

$$F_{Total} = 64,65771 \text{ N} + 109,7739 \text{ N}$$

$$F_{Total} = 174,43161 \text{ N}$$

Gaya maksimal yang dapat diterima oleh baut

Baut yang digunakan adalah baut M10 dengan *property class* 4,6 dengan tegangan tarik ijin sebesar $\sigma_t = 400 \text{ Mpa}$.

$$P = \frac{\pi}{4} \times (dc)^2 \times \sigma_t \times n \quad (5)$$

$$P = \frac{3,14}{4} \times (8,160)^2 \times 400 \text{ Mpa}$$

$$P = 167263,0272 \text{ N}$$

Sambungan baut dikatakan aman sebab beban yang diterima baut (beban alat) adalah sebesar 174,43161 N. Sedangkan beban maksimal yang dapat diterima oleh baut adalah 167263,0272 N.

C. Perancangan Pipa

Pada perancangan pipa, ukuran desain perancangan pipa adalah menggunakan pipa dengan diameter luar pipa adalah 3/8" (17.10 mm) dan menggunakan material yang sama dengan material *channel* yaitu *stainless steel - grade 304*. Pemilihan material disesuaikan dengan *channel* karena memiliki kondisi yang sama. Rincian perancangan pipa dapat dilihat sebagai berikut.

$$\text{Diameter perancangan pipa} = \frac{3}{8} \text{ } \emptyset = 17.10 \text{ mm}$$

$$\text{Tekanan perancangan} = 5 \text{ Bar} = 0.5 \text{ Mpa}$$

Perhitungan Ketebalan Ijin Pipa

Perhitungan ketebalan ijin pipa dilakukan untuk menentukan berapa tebal yang diijinkan pada perancangan berdasarkan diameter luar perancangan pipa dan tekanan perancangan pipa.

Diketahui:

$$P = 0,5 \text{ Mpa}$$

$$T = 500 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 932 \text{ } F$$

$$E = 1,00 \text{ (Tabel A-3 ASME B31.1-2016) [4]}$$

$$y = 0,5 \text{ (Tabel 104.1.2 (A) ASME B31.1-2016) [4]}$$

$$A = 0.010 \text{ "}$$

$$= 0.254 \text{ mm}$$

Dari Tabel A-3 ASME B31.1-2016 tegangan ijin maksimum (S) untuk temperature 932 F adalah[4]:

$$S = 10,6 \text{ kSi}$$

$$1 \text{ kSi} = 6.894 \text{ MPa}$$

$$S = 10,6 \text{ kSi}$$

$$= 10,6 \times 6.89475908677537$$

$$= 73.084 \text{ MPa}$$

Maka ketebalan ijin pipa untuk tekanan:

$$t_m = \frac{P \times D_o}{2(S \times E + P \times y)} + A \quad (6)$$

$$t_m = \frac{0,5 \text{ MPa} \times 17.15 \text{ mm}}{2(73.084 \text{ MPa} \times 1 + 0,5 \text{ MPa} \times 0,5)} + 0.254 \text{ mm}$$

$$t_m = 0.3124 \text{ mm}$$

Hasil dari perhitungan ketebalan minimum pipa yang diijinkan untuk material stainless steel 304 dengan tekanan perancangan 0,5 Mpa adalah sebesar 0.3124 mm. Total pipa yang ada pada

PLTUS berjumlah 8 potong pipa, dimana 5 pipa memiliki ulir pada kedua ujungnya dan 2 pipa hanya berulir pada salah satu sisinya saja. Ukuran pipa dapat dilihat pada tabel IV-8 dan IV-9, dimana tabel IV-8 merupakan pipa dengan ulir pada kedua ujungnya, dan tabel IV-9 adalah pipa dengan ulir hanya pada satu sisinya saja. Untuk gambar detailnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 3 Ukuran pipa dengan ulir 2 sisi

Panjang	Jumlah	Kedalaman Ulir
97,25 mm	2	15 mm
137,5 mm	1	15 mm
78,75 mm	1	15 mm
54.75 mm	1	15 mm
154.75 mm	1	15 mm

Tabel 4 Ukuran pipa dengan ulir 1 sisi

Panjang	Jumlah	Kedalaman Ulir
52.75 mm	1	15 mm
36.75 mm	1	15 mm

D. Analisis Sistem

Analisis sistem dilakukan dengan menggunakan software *Solidworks 2018 64 bit*, pada *notebook Lenovo Ideapad 310* dengan spesifikasi *processor Intel Core i5-7200U 2.7 GHz (4 CPU)*, kapasitas *memory 12288MB RAM*, dan *VGA card Nvidia GeForce 920MX 2010MB VRAM*. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar hasil temperatur keluaran yang dihasilkan oleh PLTUSL dengan data input sebagai berikut:

Air Masuk :

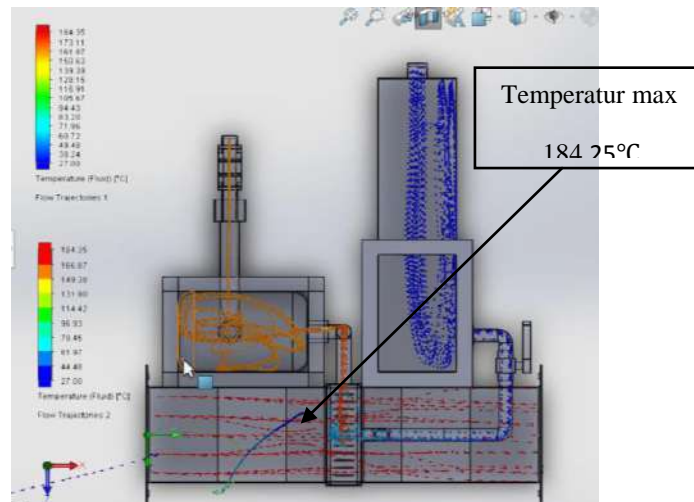
$$V = 2,616 \text{ m/s}$$

$$P = 3423,69 \text{ Pa}$$

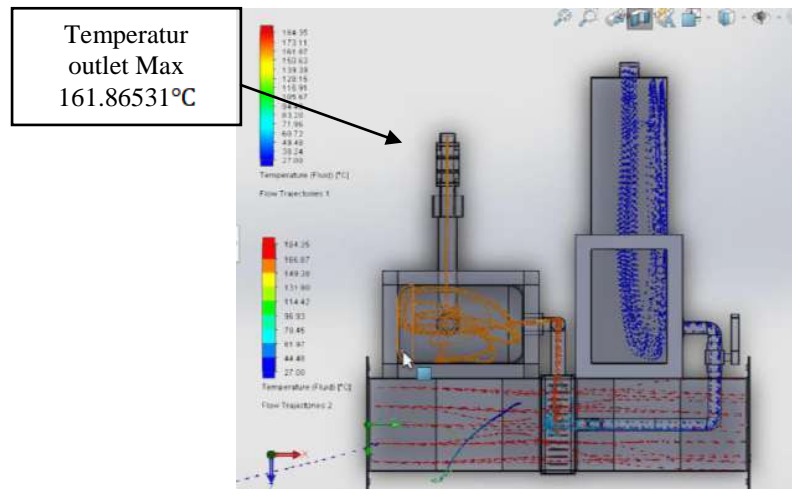
$$T = 33.3^\circ\text{C} \text{ (temperatur awal benda)}$$

Udara Hasil Pembakaran :

$$T = 520 \text{ (temperatur pembakaran maksimal yang pernah di uji coba sebelumnya)}$$



Gambar 6 Temperatur maksimum pada sistem



Gambar 7 Temperatur maksimum pada outlet

Hasil data yang didapatkan pada analisis sistem temperatur maksimum yang bisa di capai pada pada sistem adalah 184,25°C. Untuk temperatur keluaran (*output*) maksimal yang bisa di capai sistem 161.86531°C.

4. Kesimpulan

Dari perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Skala Laboratorium (PLTUSL) yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa.

1. Perancangan varian 2 merupakan varian terpilih hasil dari evaluasi pembobotan yang sudah dilakukan dengan nilai
2. Pembebanan pada sambungan baut dinyatakan aman sebab beban yang mampu di terima oleh baut adalah sebesar 167263,0272 N dan beban PLTUSL adalah sebesar 174,43161 N.
3. Data dari hasil analisis sistem yang telah dilakukan didapatkan bahwa temperatur keluaran uap yang paling tinggi adalah 161.86531°C.

Daftar Pustaka

1. Anton Budioko. Studi Pengolahan Sampah Organik Dengan Metode *Refuse Derived Fuel (RDF)* Sebagai Bahan Bakar Alternatif Dengan Penambahan Kalsium Oksida (CaO). Yogyakarta. Universitas Gajah Mada, 2014.
2. Biyan Aqsha, Ir. Sarwoko M.Sc, Ekki Kurniawan S.T.M.Sc. Realisasi Pembangkit Listrik Mini Tenaga Sampah. Bandung, Universitas Telkom, 2015.
3. French, Michael J. *Conceptual Design For Engineer*. Springer. London. 1990.
4. ASME. ASME B31.1 Power Piping New York : Three Park Avenue, 201

SUBMISSION 12

Analisi Performa Mesin Menggunakan Bahan Bakar *Pertalite*, *Pertamax*, *Pertamax Turbo* Terhadap Daya Dan Torsi Pada *Honda Beat eSP*

Wegie Ruslan, I Gede Eka Lesmana, Krisna Kurnia Nugraha
Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Indonesia

Abstrak. Dinamometer adalah suatu alat (mesin) yang digunakan untuk mengukur torsi, daya, dan kecepatan putaran dari suatu mesin kendaraan bermotor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai torsi dan daya yang dihasilkan dari jenis bahan bakar pertalite, pertamax, dan pertamax turbo pada mesin kendaraan sepeda motor Honda Beat ESP yang diproduksi pada tahun 2016 pada kecepatan putaran tertentu, yaitu dimulai dari 4.500 rpm sampai 7.500 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kecepatan putaran 6000 rpm nilai torsi yang dihasilkan sebesar 5,3 N-m pertalite dengan kandungan nilai oktan 90, 5,3 N-m untuk pertamax dengan kandungan nilai oktan 92, 5,8 N-m untuk pertamax turbo dengan nilai oktan 98. Kemudian nilai daya akan bergerak naik seiring dengan kenaikan kecepatan putaran. Pada Kecepatan putaran 6.000 rpm dan 7.500 rpm, untuk bahan bakar pertamax menghasilkan nilai daya maksimal yaitu sebesar 7,6 kW, sedangkan untuk bahan bakar pertalite dan pertamax menghasilkan nilai daya maksimal yaitu sebesar 7,3. Selain nilai oktan dari bahan bakar minyak, nilai kompresi mesin, kecepatan putaran (rpm) juga sangat berpengaruh terhadap fluktuasi nilai torsi dan daya (power), pada kecepatan putaran 4500 rpm nilai torsi dan daya mencapai angka maksimal.

Kata Kunci: *Nilai kompresi mesin, nilai oktan, torsi, daya, RPM, dyno test, Honda Beat ESP*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Meningkatnya jumlah kebutuhan hidup di Indonesia menyebabkan bahan bakar minyak yang dipilih sesuai dengan penghasilan masyarakat. Bahan bakar minyak yang utama digunakan kendaraan di Indonesia. Hasil pengolahan bahan bakar indonesia banyak yang dihasilkan, salah satu yang sering dipakai kendaraan indonesia yaitu bahan bakar kendaraan Pertalite, Pertamax, Pertamax Turbo ^[2].

Masyarakat pada umumnya menggunakan bahan bakar minyak premium yang disubsidi dari APBN oleh pemerintah karena harganya yang relatif murah. Bahan bakar minyak Pertalite berwarna hijau yang jernih, pertamax berwarna biru jernih, Pertamax Turbo berwarna merah jernih. Pertalite, Pertamax, Pertamax Turbo yang dipasarkan oleh pertamina. Pertalite, Pertamax, Pertamax Turbo memiliki angka oktan atau Research Octane Number (RON), yakni Pertalite 90, Pertamax 92, Pertamax Turbo 98.

Selain itu, faktor lainnya dapat disebabkan oleh harga bahan bakar minyak yang semakin tinggi, sehingga keinginan setiap pengendara akan menginginkan yang lebih hemat dan efisien. Juga faktor yang

sangat berpengaruh adalah permasalahan kondisi performa mesin. Pengujian performa menggunakan dynotest. Mesin pada kendaraan Honda Beat Tahun 2017 berkompresi tinggi yaitu 9,5:1. Mesin yang berkompresi tinggi harus diimbangi dengan penggunaan bahan bakar.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang dipaparkan, maka permasalahan yang di ambil dari penelitian ini sebagai berikut :

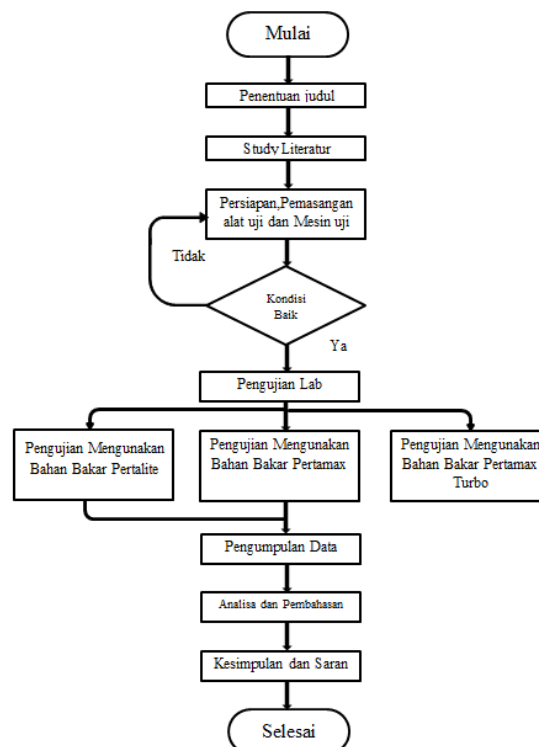
1. Apa pengaruh nilai oktan dari bahan bakar pertalite, pertamax dan pertamax turbo terhadap daya dan torsi pada mesin ?
2. Bagaimana perubahan daya dan torsi pada mesin ketika menggunakan pertalite, pertamax dan pertamax turbo?

1.3. Batasan Masalah

Analisa performa pada mesin menggunakan pertalite, pertamax dan pertamax turbo digunakan untuk mengetahui daya dan torsi Honda Beat. Adapun batasan-batasan masalah pada analisa ini, antara lain:

1. Tidak menganalisa efisiensi bahan bakar.
2. Tidak menganalisa emisi gas buang.
3. Tidak mengkaji analisa ekonomi.

2.HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN



Gambar 2.1. Diagram Alur Penelitian

Keterangan diagram alir metodologi penelitian:

1. Penentuan Judul Penentuan judul dilakukan untuk menentukan topik dan materi apa yang akan dibahas dalam penelitian ini.
2. Studi pustaka Studi literatur dilakukan untuk mencari materi dan teori yang berhubungan dengan penelitian ini dan memudahkan dalam menentukan proses yang akan dilakukan selama penelitian. Materi yang dibutuhkan antara lain pengertian motor bakar bensin, komposisi gas buang kendaraan, bahan bakar dan lain-lain.
3. Persiapan dan Pemasangan Alat dan Mesin Uji Mempersiapkan alat uji yaitu sepeda motor Honda Beat 110 cc tahun 2017 untuk melakukan pengujian, setelah melakukan persiapan dan pemeriksaan selanjutnya melakukan penyetingan pada alat uji. Komponen utama untuk melakukan pengujian dipersiapkan, yaitu menyiapkan Dinamometer, memasang tali pengikat. Dan juga komponen lainnya seperti menyiapkan stopwatch dan bahan bakar pertalite, pertamax dan pertamax turbo.
4. Kondisi Alat dan Mesin Uji Baik Setelah melakukan penyetingan, mesin dihidupkan dan dianalisa apakah mesin dalam kondisi baik atau tidak. Jika tidak, maka perlu dilakukan setting ulang atau servis pada alat uji atau kembali lagi ke tahap persiapan alat uji.
5. Pelaksanaan Pengujian di Laboratorium Pengambilan data dilakukan dengan cara melakukan pengujian terhadap mesin dengan bahan bakar premium dengan variasi putaran mesin 4500, 5000, 5500, 6000, 6500, 7000 dan 7500 rpm.
6. Pengujian ini diulangi lagi dengan bahan bakar pertalite, pertamax dan pertamax turbo dengan variasi putaran mesin 4500, 5000, 5500, 6000, 6500, 7000 dan 7500 rpm.
7. Pengambilan Data Data dari gas buang dan daya torsi yang dihasilkan alat uji diambil dari data yang ditampilkan pada display Dinamometer.
8. Pengolahan Data dan Pembahasan Mengolah data-data yang sudah didapatkan dengan mengacu pada materi yang terdapat pada referensi dan menampilkan data-data tersebut dalam bentuk grafik dan tabel yang dibuat dalam penulisan laporan.
9. Kesimpulan dan Saran Mengambil kesimpulan dari keseluruhan proses pengujian yang dilakukan dan menjawab tujuan dari penelitian ini. Memberikan saran yang dibutuhkan untuk melengkapi kekurangan pada pengujian yang telah dilakukan.

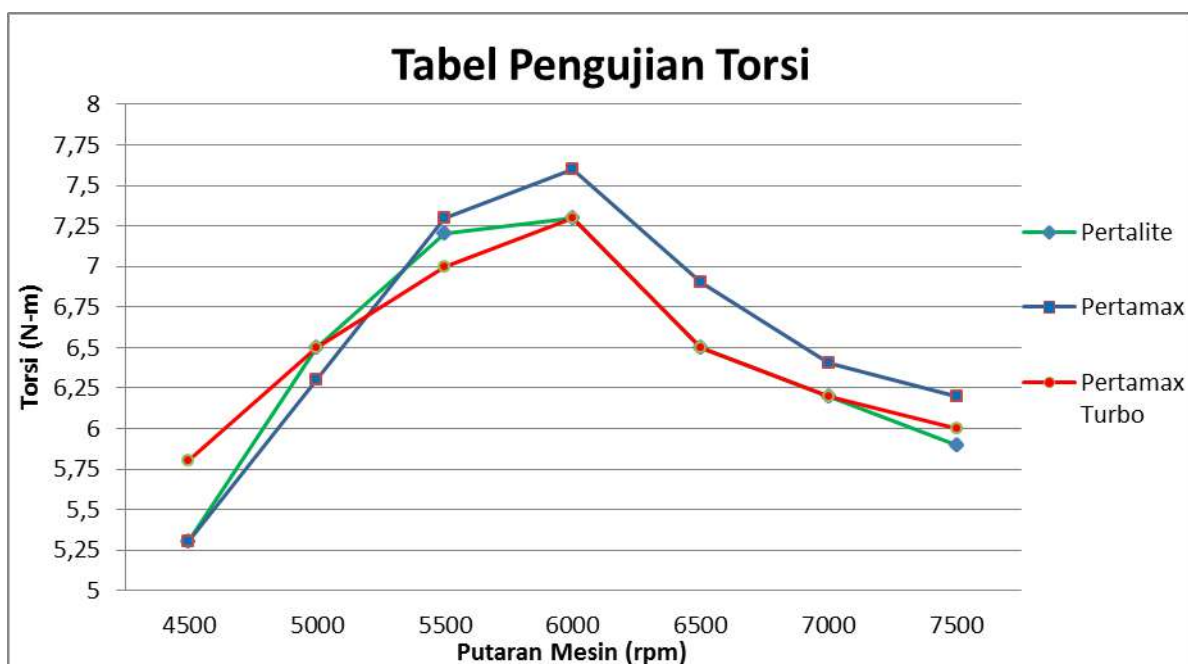
Performa mesin merupakan prestasi mesin yang berhubungan erat dengan daya mesin (torsi) yang dihasilkan serta daya guna mesin. Ferguson (1986) mengemukakan bahwa performa mesin sangat dipengaruhi oleh ukuran mesin, angka kompresi, suhu dan tekanan udara di sekitarnya, proses pembakaran

dan kualitas bahan bakar. Hasil pengujian penggunaan jenis bahan bakar untuk kendaraan Honda Beat dengan angka kompresi mesin sebesar 9.5 : 1

Hasil pengujian penggunaan bahan bakar terhadap torsi seperti yang terlihat pada tabel 1, yaitu sebagai berikut :

Tabel 1 : hasil pengujian analisis torsi

No.	Putaran Mesin (rpm)	Pengujian Menggunakan Bahan Bakar		
		Pertalite	Pertamax	Pertamax Turbo
		Torsi (N-m)	Torsi (N-m)	Torsi (N-m)
1	4500	5,3	5,3	5,8
2	5000	6,5	6,3	6,5
3	5500	7,2	7,3	7
4	6000	7,3	7,6	7,3
5	6500	6,5	6,9	6,5
6	7000	6,2	6,4	6,2
7	7500	5,9	6,2	6



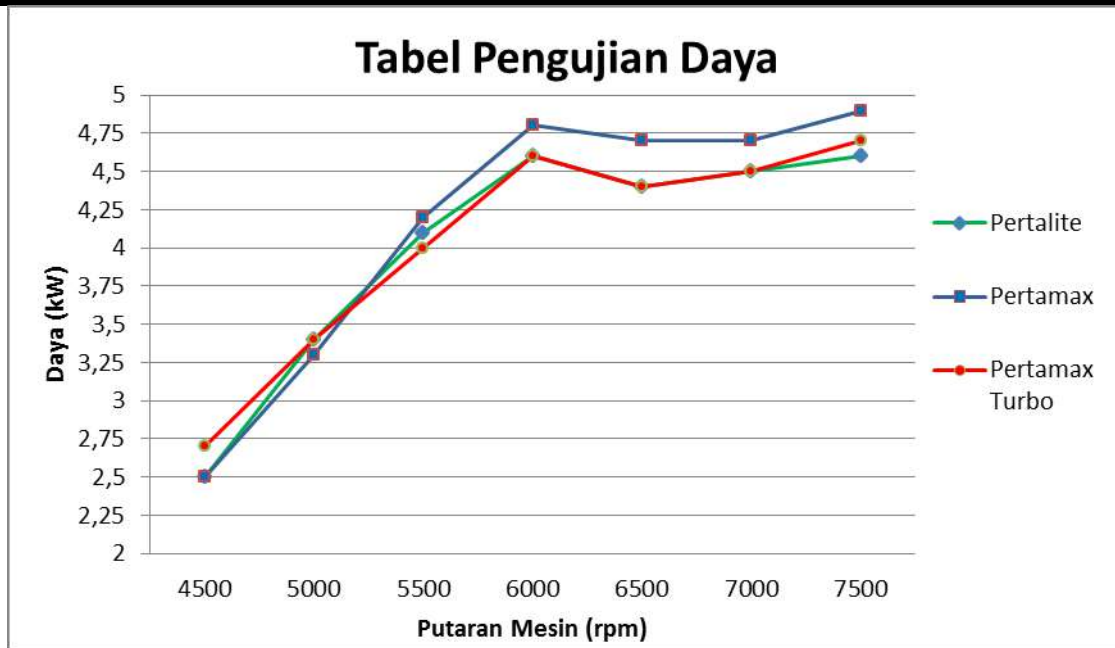
Gambar 2.2 Grafik Perbandingan Torsi dengan Bahan Bakar Premium, Pertamax dan Pertamax Turbo

Dari tabel 1 terlihat bahwa pada putaran 4.500 rpm torsi yang dihasilkan untuk jenis BBM pertalite sebesar 4,3 kW, bahan bakar pertamax sebesar 5 N-m, dan bahan bakar pertamax turbo sebesar 4,5 N-m, nilai torsi tersebut semakin menaik seiring dengan naiknya putaran mesin yaitu pada putaran 6.000 rpm nilai torsi menjadi 7,3 N-m untuk pertalite, 7,6 N-m untuk pertamax, dan 7,3 untuk pertamax turbo. Kemudian turun pada putaran 7.500 rpm, nilai torsi sebesar 5,9 N-m untuk bahan bakar pertalite, 6,2 N-m untuk bahan bakar pertamax dan 6 N-m untuk bahan bakar pertamax turbo.

Bervariasinya nilai torsi tersebut disebabkan karena adanya perbedaan kandungan nilai oktan pada ketiga jenis BBM. Artinya semakin tinggi nilai oktan, bahan bakar tersebut akan lebih tahan terhadap temperatur yang disebabkan oleh tekanan pada ruang bakar sehingga tidak terbakar sendiri (detonasi) sebelum terkena percikan bunga api dari busi.

Tabel 2 : hasil pengujian analisis daya (Power)

No.	Putaran Mesin (rpm)	Pengujian Menggunakan Bahan Bakar		
		Pertalite	Pertamax	Pertamax Turbo
		Daya (kW)	Daya (kW)	Daya (kW)
1	4500	2,5	2,5	2,7
2	5000	3,4	3,3	3,4
3	5500	4,1	4,2	4
4	6000	4,6	4,8	4,6
5	6500	4,4	4,7	4,4
6	7000	4,5	4,7	4,5
7	7500	4,6	4,9	4,7



Gambar 2.3 Grafik Perbandingan Daya dengan Bahan Bakar Premium, Pertamax dan Pertamax Turbo

Dari tabel 2 terlihat bahwa pada putaran 4.500 rpm daya (power) yang dihasilkan untuk jenis bahan bakar peralite sebesar 2,5 kW, bahan bakar pertmax sebesar 2,5kW, dan bahan bakar pertamax turbo sebesar 2,7kW, nilai daya tersebut semakin menaik seiring dengan naiknya putaran (rpm) yaitu pada putaran 6.000 rpm nilai daya menjadi 4,6 kW untuk peralite, 4,8 kW untuk pertamax, dan 4,6 kW untuk pertamax turbo. Kemudian nilainya turun di pada putaran 6.500 – 7.000 rpm dan naik kembali pada putaran 7500 rpm yang memiliki nilai daya sebesar 4,6 kW untuk bahan bakar peralite, 4,9 kW untuk bahan bakar pertamax, dan untuk bahan bakar pertamax turbo nilainya sebesar 4,7 kW.

3. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

Daya tertinggi di dapat pada putaran 7.500 rpm menggunakan bahan bakar pertamax dengan nilai oktan 92 dengan daya yang di hasilkan 4,9 kW. Sedangkan nilai daya daya yang dihasilkan pada putaran 7.500 menggunakan bahan bakar peralite 4,6 kW dan daya yang di hasilkan menggunakan pertamax turbo yaitu 4,7 kW. Torsi yang di hasilkan pada putaran 7.500 rpm menggunakan bahan bakar pertamax sebesar 6,2 N-m lebih tinggi daripada peralite dan pertamax turbo, sedangkan pada putaran 7500 rpm torsi yang di hasilkan peralite sebesar 5,9 N-m dan pertamax turbo 6 N-m. Bahan bakar pertamax lebih bagus di gunakan pada honda beat dengan nilai kompresi 9,5:1.

b. Saran

Pada pengujian selanjutnya lebih baik memisahkan grafik antara daya dan torsi pada hasil pengujian dan juga pada pengujian selanjutnya lebih baik di tambah perhitungan konsumsi bahan bakar serta melakukan pengujian emisi gas buang yang di hasilkan masing-masing bahan bakar yang di gunakan.

DaftarPustaka

1. KeputusanDirektur Jendral Minyak dan Gas Bumi.Nomor : 3674K/24/DJM/2006. tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin yang Dipasarkan di dalam Negeri.
2. Raharjo, Winarno Dwi dan Karnowo. 2008. Mesin Konversi Energi. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
3. Rosid. 2015. Analisis Proses Pembakaran Sistem Injection pada Sepeda Motor dengan Menggunakan Bahan Bakar Premium dan Pertamina. Jurnal Teknologi. 7/2: 86-92.
4. Soenarta, Nakoela dan Sochi Furuhamu. 1995. Motor Serba Guna. Jakarta : Pradnya Paramita.
5. Suprpto.2004. Bahan Bakar dan Pelumas.Buku Ajar.Jurusan TeknikMesin UNNES :Semarang.

SUBMISSION 13

ANALISIS KINERJA DAN PERFORMANSI MESIN *EXCAVATOR PC200-8 KOMATSU*

Wegie Ruslan , Ikhwan Lazuardy,
Teknik Mesin Universitas Pancasila, Indonesia

ABSTRAK. Pada belakangan ini banyaknya kebutuhan dan penggunaan mesin alat berat di dunia industri pertambangan dan konstruksi. Alat berat merupakan salah satu mesin yang menggunakan sistem mesin diesel. Penggunaan bahan bakar solar pada mesin diesel menggunakan konsumsi bahan bakar yang banyak, karena mesin diesel membutuhkan tenaga yang besar saat pengoperasiannya. Maka diperlukanya pemantauan seberapa besar kah performa mesin yang dihasilkan dan seberapa besar kah efisien penggunaan bahan bakar pada mesin diesel dengan menggunakan putaran mesin sebagai acuan penghitungan.. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai laju konsumsi bahan bakar, kebutuhan spesifik bahan bakar, torsi mesin, daya mesin, dan daya efektif mesin yang dihasilkan pada mesin komatsu PC200-8. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada hasil pengujian laju konsumsi bahan bakar dan laju konsumsi bahan bakar spesifik yang efisien pada putaran 2042,84 rpm sebesar 0,0026 ℓ/s untuk laju konsumsi bahan bakar dan sebesar 0,094 ℓ/kWh untuk kebutuhan bahan bakar spesifik, untuk daya mesin dan daya efektif paling maksimum pada putaran 1970,19 dengan hasil sebesar 116.672,20 Watt untuk daya mesin dan 105.411,68 Watt untuk daya efektif, dan untuk torsi mesin paling maksimum dihasilkan pada putaran 1477,91 rpm dengan hasil sebesar 532,38 Nm. Pada penelitian ini putaran mesin sangat berpengaruh terhadap perubahan dari nilai laju konsumsi bahan bakar, kebutuhan spesifik bahan bakar, torsi mesin, daya mesin, dan daya efektif mesin.

Kata Kunci: Laju Konsumsi Bahan Bakar, Kebutuhan Bahan Bakar Spesifik, Torsi, Daya, Daya Efektif, Putaran Mesin, Komatsu PC200-8

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada belakangan ini banyaknya kebutuhan dan penggunaan mesin alat berat di dunia industri pertambangan dan konstruksi. Alat berat merupakan salah satu mesin yang menggunakan sistem mesin diesel. Motor Diesel adalah jenis motor bakar torak yang biasanya disebut Motor Pembakaran Kompresi (Compression Ignition Engine). Pembakaran yang terjadi dalam ruang bakar dilakukan dengan cara menyempromatkan bahan bakar ke dalam silinder motor yang terisi dengan udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi, sebagai akibat dari proses kompresi[1]. Penggunaan bahan bakar solar pada mesin diesel menggunakan konsumsi bahan bakar yang banyak, karena mesin diesel membutuhkan tenaga yang besar saat pengoperasiannya. Dengan banyak nya aktifitas berat dan regulasi mengenai emisi gas buang yg dihasilkan maka unit alat berat membuat pembaruan dan peningkatan dari segi sistem gas buang yaitu dengan cara menambahkan komponen elektrik yang pengontrolan kerjanya menggunakan ECU (*Electronic Control Unit*) agar konsumsi bahan bakar lebih efisien dan irit, sehingga gas buang yang dikeluarkan lebih ramah lingkungan. Maka diperlukanya pemantauan seberapa besar kah performa mesin yang dihasilkan dan seberapa besar kah efisien penggunaan bahan bakar pada mesin diesel dengan menggunakan putaran mesin sebagai acuan penghitungan. Sesuai uraian yang telah dipaparkan dirumuskan permasalahan bahwa seberapa besar laju konsumsi bahan bakar dan kebutuhan bahan bakar spesifik pada putaran mesin yang bervariasi, seberapa besar daya mesin dan daya efektif yang dihasilkan dengan putaran mesin yang bervariasi, seberapa besar torsi yang dihasilkan dari putaran mesin yang bervariasi. Yang bertujuan untuk untuk mengetahui laju konsumsi bahan bakar dan kebutuhan bahan bakar spesifikasi pada putaran bervariasi, mengetahui daya efektif yang berhubungan dengan konsumsi bahan bakar, Untuk mengetahui torsi yang dihasilkan mesin pada putaran bervariasi. Dengan batasan masalah yang dijadikan objek adalah Mesin Komatsu PC200-8, Putaran mesin yang

bervariasi (1.477,91 rpm, 1.583,08 rpm, 1.970,19 rpm, 1.871,15 rpm, 2.042,84 rpm, 2.058,50 rpm), bahan bakar yang di gunakan solar, hasil akhir dari pengujian konsumsi bahan bakar solar yang terpakai akan di buat dalam tabel dan grafik

2. LANDASAN TEORI

A. Mesin PC200-8 Komatsu

Mesin PC200-8 Komatsu merupakan sebuah mesin diesel yang sistem bahan bakarnya dikontrol secara elektrik menggunakan *ECU* (*Electronic Control Unit*). Mesin SAA6D107E-1 Komatsu digunakan sebagai sumber tenaga pada unit *Excavator*.

Mesin PC200-8 Komatsu terdapat *head assembly* yang memiliki satu buah *inlet valve* dan satu buah *exhaust valve* pada masing-masing silinder. Masing-masing silinder memiliki sebuah *piston cooling jet* yang terpasang pada *cylinder block*. *Piston cooling jet* menyembrotkan oli pelumas kepermukaan bawah piston yang bertujuan untuk mendinginkan *piston*. *Crankshaft* pada mesin memiliki tujuh *main journal* dimana end play dibatasi dengan *thrust washers* yang berlokasi pada kedua sisi dari *center main bearing*[2].

Cylinder liner pada Komatsu Engine D85ESS-2 termasuk jenis *dry cylinder liner* atau biasa disebut dengan jenis liner kering. *Cylinder liner* terpasang secara fit pada *cylinder block*. Sistem pendingin mesin menggunakan pompa sentrifugal yang digerakan oleh sebuah *gear* dan terhubung oleh putaran gear pada *gear group*[2].

B. Mesin Diesel

Mesin diesel di kategorikan dalam motor bakar torak dan mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Prinsip kerja mesin diesel adalah merubah energi kimia menjadi energi mekanis. Energi kimia di dapatkan melalui proses reaksi kimia yaitu pembakaran dari bahan bakar (solar) dan *oksidiser* (udara) di dalam silinder (ruang bakar). Pembakaran pada mesin diesel terjadi karena kenaikan temperatur campuran udara dan bahan bakar akibat kompresi torak hingga mencapai temperatur nyala. Pada saat langkah kompresi, sebelum torak mencapai TMA (Titik Mati Atas) bahan bakar disemprotkan kedalam silinder dalam bentuk kabut. Proses penyalaan untuk pembakaran pun terjadi, pada saat udara di dalam silinder sudah bertemperatur tinggi. Syarat terjadinya pembakaran yaitu ada 3 unsur, yakni: ada udara, ada bahan bakar dan adanya panas. Persyaratan ini dapat dipenuhi apabila digunakan perbandingan kompresi yang cukup tinggi berkisar 12-25, maka tekanan udara yang di kompressikan akan mencapai 26 – 40 kg/cm² dan suhunya mencapai 500 - 700o C. [3].

C. Torsi

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja, besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energy yang di dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya[4], dan untuk penghitungan terhadap torsi dapat dihitung dengan perumusan:

$$T = \frac{P \times 60}{2 \times \pi \times n} \text{ (Nm)} \quad (1)$$

Keterangan :

T = Torsi benda berputar (N.m)

P = Daya Mesin (kW)

n = Putaran mesin (Rpm)

D. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Konsumsi bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumption* (SFC) adalah parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah mesin, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu[5]. SFC atau konsumsi bahan bakar spesifik dapat ditentukan dengan rumus:

$$Sfc = \frac{mf}{P} \text{ (kg / kWh)} \quad (2)$$

Keterangan :

Sfc = Efisiensi Spesifik Bahan Bakar (kg/kWh)

m_f = Pemakaian bahan Bakar (kg/h)
 P = Daya Mesin (kW)

E. Daya

Daya mesin adalah hubungan kemampuan mesin untuk menghasilkan torsi maksimal pada putaran tertentu. Daya menjelaskan besarnya output kerja mesin yang berhubungan dengan waktu, atau rata-rata kerja yang dihasilkan oleh mesin[4].

$$P = \frac{2 \times \pi \times n \times T}{60 \times 746} (Hp) \quad (3)$$

Keterangan :

P = Daya mesin (Hp)

T = Torsi mesin (N.m)

n = Putaran mesin (rpm)

F. Daya Efektif (Ne)

Besarnya daya efektif (Ne) akan tergantung dari besarnya torsi dan putaran yang terjadi. Hal ini dapat dilihat dari persamaan berikut [6] :

$$Ne = \frac{T \times n}{716,2} (PS) \quad (4)$$

Keterangan :

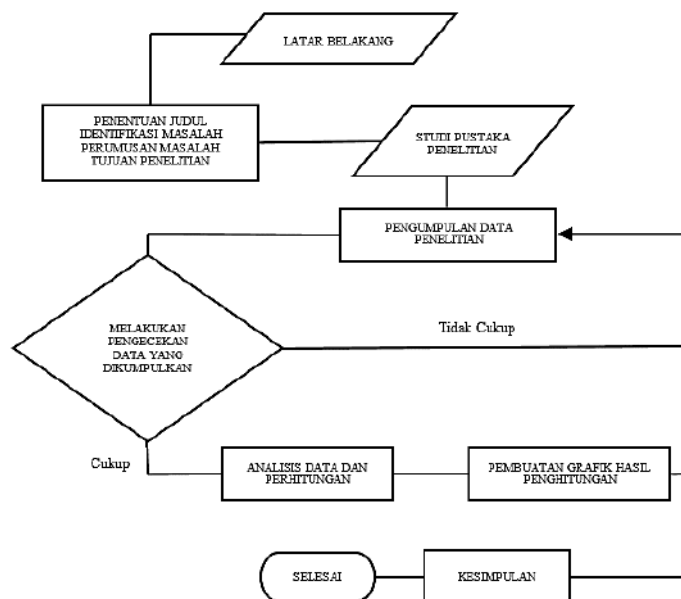
Ne = Daya mesin efektif (PS)

T = Torsi mesin (Nm)

n = Putaran mesin (rpm)

3. METEDOLOGI PENELITIAN

A. Flowchart Analisis



Gambar 1 Flowchart analisis

B. Alat dan Bahan

1. Alat

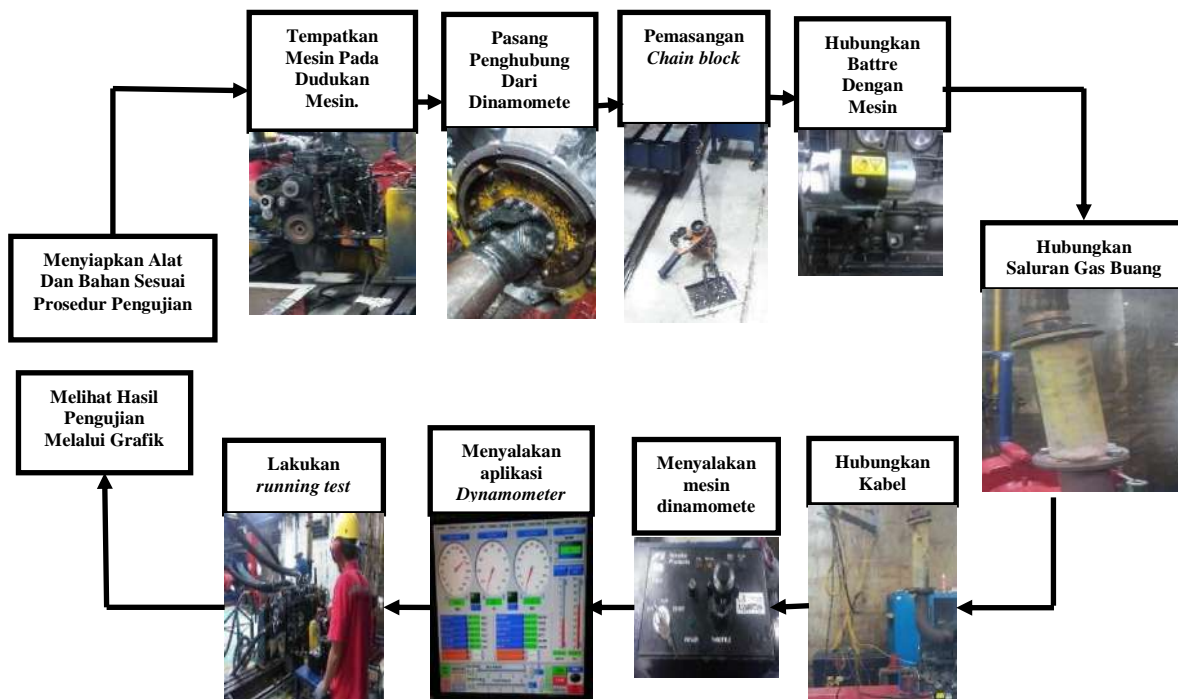
Alat yang digunakan pada pengujian ini adalah :

- Mesin SAA6D107E-1 Komatsu
- Mesin Dynamometer Taylor
 - Daya : 2.000 hp (1.491 kW)
 - Torsi : 6.434 ft-lb (8.723 N)
 - Kecepatan : 4.000 rpm
 - Penggunaan Air : 145 gpm (9.11 Ps)
 - Torsional Coupling : 160,7 ft2 · lb
 - Berat Pengiriman : 2.634 lb (1.195 kg)
 - Rotasi : Dapat dioperasikan di kedua arah rotasi
- Chain block
- Engine stand

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam pengujian adalah performa dari mesin SAA6D107E-1 yang dipengaruhi dari putaran mesin. Putaran mesin yang diamati dalam pengujian ketika posisi putaran mesin tinggi, menengah, dan rendah .

C. Prosedur Pengujian



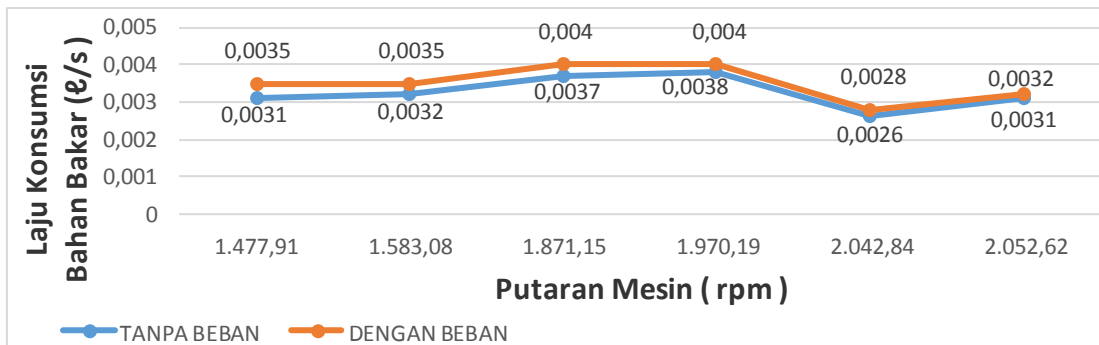
Gambar 3 Prosedur pengujian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

Hasil dari penelitian ini adalah data penelitian yang berupa laju konsumsi bahan bakar , laju konsumsi bahan bakar spesifik (Sfc), Daya efektif (Ne), Daya Motor (P), Torsi (T), Sebagai perbandingan menggunakan

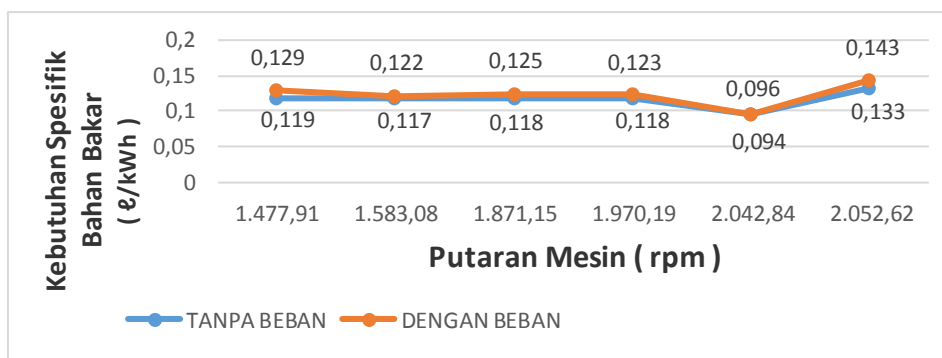
Rpm mesin pada putaran 1.477,91 rpm, 1.583,08 rpm, 1.871,15 rpm, 1.970,19 rpm, 2.042,84 rpm, dan 2.052,62 rpm.

Hasil pengujian laju konsumsi bahan bakar seperti yang terlihat pada Gambar 4, yaitu sebagai berikut :



Gambar 4 Hasil pengujian laju konsumsi bahan bakar

Pada grafik dan tabel diatas menunjukkan hubungan antara putaran mesin dengan konsumsi bahan bakar. Pemakaian bahan bakar pada mesin komatsu PC200-8 menurun pada putaran mesin 2.042,84 rpm dan pada putaran mesin 2.042,84 rpm menunjukkan pemakaian bahan bakar yang paling minim dan irit , dan pemakaian bahan bakar paling banyak atau paling tinggi terdapat pada putaran mesin 1.970,19 rpm pada saat kondisi mesin tidak diberikan beban ataupun diberikan beban. Tetapi pada saat kondisi diberikan beban maka akan pemakaian bahan bakar akan lebih besar dari pada saat kondisi tidak diberi beban,karen pada saat diberi beban daya akan semakin bertambah yang dimana membutuhkan konsumsi bahan bakar yang lebih.



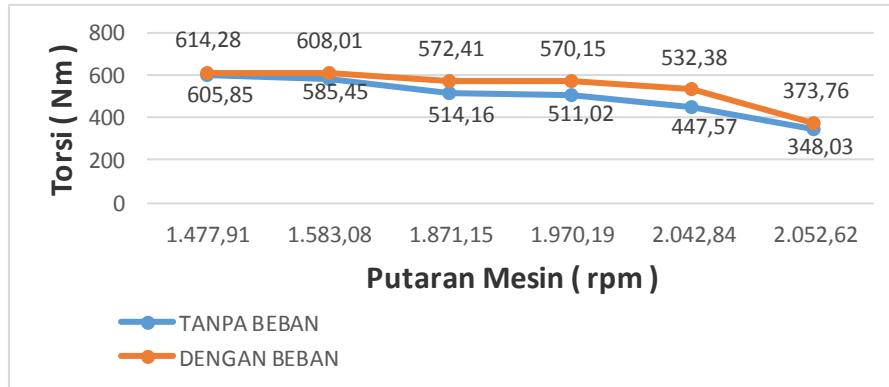
Hasil pengujian laju spesifik bahan bakar seperti yang terlihat Gambar 5, yaitu sebagai berikut :

Gambar 5 Hasil laju spesifik bahan bakar (Sfc)

Karena Sfc sebagai parameter yang biasa di pakai sebagai ukuran ekonomis pemakai bahan bakar yang di gunakan per detik untuk setiap daya yang di hasilkan. Maka pada tabel dan grafik diatas dapat dilihat bahwa hasil Sfc atau penggunaan bahan bakar yang paling ekonomis terjadi pada saat putaran mesin 2.042,84 rpm dengan jumlah 0,094 £/kWh saat mesin menghasilkan daya sebesar 99.506,19 Watt saat mesin tidak diberikan beban,jika mesin diberikan beban maka pada putaran 2.042,84 rpm maka akan menggunakan bahan bakar sebesar 0,096 £/kWh dan pada saat daya mesin menghasilkan tenaga sebesar 112.794,56 Watt.

Pada kondisi ini pemakaian bahan bakar pada saat mesin tidak diberi beban akan lebih sedikit karena mesin tidak menghasilkan daya sebesar pada saat mesin diberikan beban.

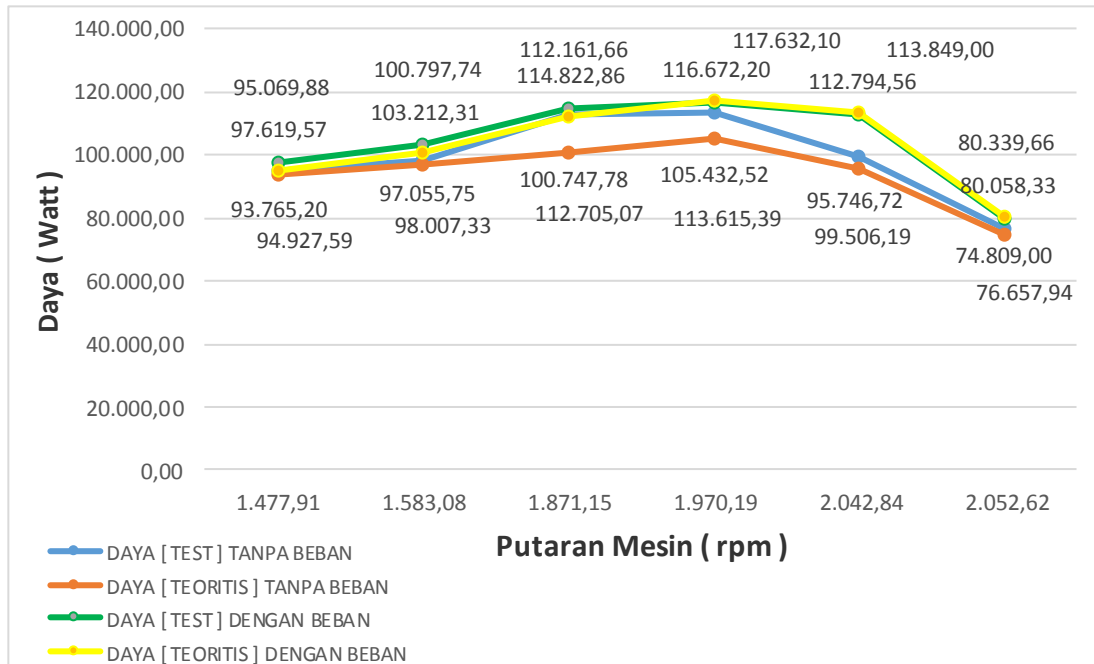
Hasil dari pengujian torsi mesin seperti yang terlihat pada Gambar 6, yaitu sebagai berikut :



Gambar 7 Hasil pengujian torsi mesin (T)

Pada tabel dan grafik diatas memperlihatkan bahwa torsi mesin mencapai torsi yang maksimal saat putaran mesin 1.477,91 rpm dengan torsi sebesar 614,28 Nm dengan konsumsi bahan bakar 0,0035 ℓ/s dan mesin mencapai torsi yang paling rendah pada saat posisi putaran mesin mencapai 2.052,62 rpm dengan torsi sebesar 373,76 Nm dengan konsumsi bahan bakar 0,0040 ℓ/s .

Dengan kata lain bisa dikatakan bahwa jika dilihat dari hasil tabel dan grafik diatas dinyatakan bahwa hubungan antara putaran mesin berbanding terbalik, jika putaran mesin semakin tinggi maka torsi akan semakin rendah dan jika putaran mesin semakin rendah maka torsi mesin akan semakin tinggi.



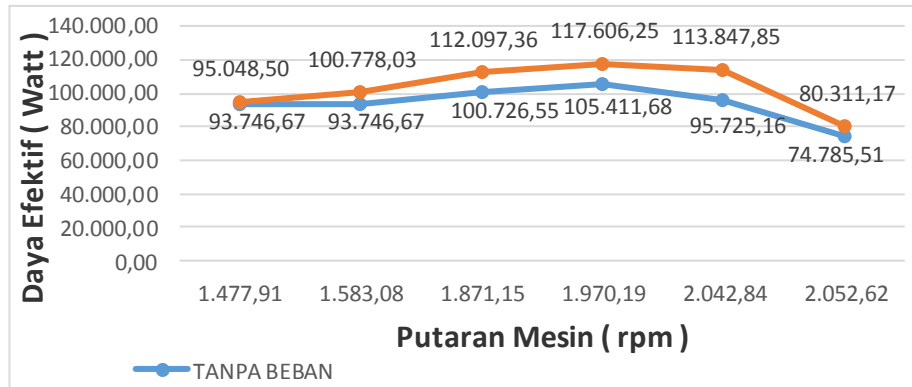
Hasil dari pengujian daya mesin seperti yang terlihat pada Gambar 7, yaitu sebagai berikut :

Gambar 7 Hasil pengujian daya mesin (P)

Pada Gambar 7 diatas membuktikan bahwa daya maksimum yang dihasilkan dari mesin tersebut adalah pada saat putaran mesin 1.871,15 rpm dengan daya yang dihasilkan sebesar 113.615,39 Watt dengan jumlah konsumsi bahan bakar sebesar 0,0036 ℓ/s pada saat mesin tidak diberikan beban, sedangkan pada saat mesin diberikan beban maka daya maksimum didapat sebesar 116.672,20 Watt dengan jumlah konsumsi bahan bakar 0,0037 ℓ/s . Pada tabel dan grafik diatas juga membuktikan bahwa daya mesin yang didapat dari hasil pengujian mesin dan penghitungan

rumus teoritis memiliki perbedaan yang tidak signifikan. Serta penghitungan daya mesin dengan rumus teoritis yang dihitung masih masuk kedalam toleransi daya mesin pada spesifikasi mesin Komatsu PC200-8 yang membuktikan bahwa hasil pengujian memberikan hasil yang benar terhadap performa mesin berdasarkan perhitungan teoritis.

Hasil dari pengujian daya efektif seperti yang terlihat pada Gambar 8, yaitu sebagai berikut :



Tabel 9 Hasil pengujian daya efektif (Ne)

Pada Gambar 8 diatas menunjukkan bahwa pada kerja mesin PC200-8 Komatsu daya efektif mesin paling maksimum yang dihasilkan ketika putaran mesin mencapai 1.970,19 rpm dengan daya efektif sebesar 105.411,68 Watt dengan jumlah konsumsi bahan bakar 0,0036 ℓ/s pada saat mesin tidak diberikan beban, dan 117.606,25 Watt dengan jumlah konsumsi bahan bakar 0,0040 ℓ/s pada saat diberikan beban. Sedangkan daya efektif yang dihasilkan dari mesin paling minimum atau paling rendah terjadi pada saat putaran mesin mencapai 2.052,62 rpm dengan daya efektif 74.785,51 Watt dengan jumlah konsumsi bahan bakar 0,0029 ℓ/s , dan 80.311,17 Watt dengan jumlah konsumsi bahan bakar 0,0032 ℓ/s .

Pada kondisi tidak ada beban mesin menghasilkan performa yang lebih rendah dibandingkan saat diberikan beban, karena pada saat tidak diberi beban mesin tidak akan bekerja lebih maksimal dikarenakan tidak adanya beban sehingga mesin tidak dapat bekerja secara maksimal seperti ketika mesin mendapatkan beban.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisis dan pembahasan pengaruh putaran mesin terhadap performa mesin pada saat kondisi tidak diberikan beban dan diberikan beban, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Putaran mesin sangat berpengaruh terhadap seberapa besar dan optimalkah performa mesin pada saat kondisi mesin tidak diberikan beban dan pada saat diberikan beban.
2. Nilai konsumsi bahan bakar dan kebutuhan bahan bakar spesifik yang lebih efisien terjadi pada putaran mesin 2.042,84 rpm sebesar 0,0026 ℓ/s dan 0,094 ℓ/kWh untuk mesin dalam kondisi tidak ada beban, untuk mesin diberikan beban sebesar 0,0028 ℓ/s dan 0,096 ℓ/kWh .
3. Nilai torsi yang lebih optimal terjadi pada putaran mesin 1.477,91 rpm sebesar 605,85 Nm untuk mesin dalam kondisi tidak ada beban, sedangkan untuk mesin diberikan beban sebesar 614,28 Nm.
4. Nilai daya dan daya efektif yang lebih optimal terjadi pada putaran mesin 1.970,19 rpm sebesar 113.615,39 Watt dan 105.411,68 Watt untuk mesin dalam kondisi tidak ada beban, untuk mesin diberikan beban sebesar 117.632,10 Watt dan 117.606,25 Watt.
5. Mesin akan bekerja lebih optimal ketika mesin diberikan beban dibandingkan ketika mesin bekerja tidak diberikan beban.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Sambando Muksin, *Kajian Pemakaian Bahan Bakar Pada Motor Diesel Generator Mak Di Pltd Gunung Patti Semarang Jawa Tengah*, 1 (2014)
2. Komatsu America Corp., *Shop Manual Komatsu 107E-1 Series Engine*, Amerika, 3 (2006)
3. Purwo Yulianto, Arief Muliawan, *Pengaruh Variasi Putaran Mesin Terhadap Daya Pada Engine Cummins Ktta 38 C, Bontang*, 24 (2016)
4. Rudi Rukayadi, *Analisa Sistem Bahan Bakar Pada Wheel Loader Xcmg Zl 50 Gn*, Surakarta, 3-4 (2015)
5. Sugeng Mulyono, Gunawan, Budha Maryanti, *Pengaruh Penggunaan dan Perhitungan Efisiensi Bahan Bakar Premium dan Pertamina Terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar Bensin*, Balikpapan, 31 (2013)
 6. I Made Mara, Made Wirawan, Towilan Ma'bud, *Pengaruh Ignition Timing Dengan Bahan Bakar Lpg Terhadap Unjuk Kerja Mesin Bensin Empat Langkah Satu Silinder*, Mataram, 3 (2014)

SUBMISSION 17

Analisis Pengaruh Waktu Pengapian untuk Bahan Bakar Pertalite terhadap Kinerja Motor Honda Beat Karburator

Wegie Ruslan, I Gede Eka Lesmana, dan Rohmi Safitri

Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Indonesia

Abstrak. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi derajat pengapian terhadap kinerja atau performa mesin otto atau *spark ignition engine* pada motor bakar 4 *stroke*. Performa kerja motor bakar dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti sistem pengapian dan bahan bakar. Seiring dengan masa pakai motor yang cukup lama, perlu dilakukan pemeriksaan performa kerja motor. Karena dengan semakin lama masa pakai maka memperbesar kemungkinan terjadinya ketidaksesuaian pada waktu pengapian standar. Performa kerja motor dapat ditingkatkan melalui berbagai cara. Salah satunya dengan penyetelan sudut pengapian. Pengujian kinerja motor dilakukan dengan menggunakan dinamometer untuk mengetahui daya dan torsi kendaraan. Variabel bebas yang digunakan dalam pengujian yaitu variasi sudut pengapian 14° , 16° , dan 18° BTDC. Bahan bakar yang digunakan selama pengujian adalah pertalite RON 90. Pengujian tidak mengubah standar bukaan katup bahan bakar, baik sudutnya ataupun durasi bukaannya. Pengujian dilakukan dengan menggeser posisi tanda penyesuai rotor magnet, dimajukan 2 dan 4 derajat. Pada putaran 4500 rpm didapatkan torsi 5,75 Nm pada sudut pengapian 14° dan 18° BTDC, serta 6,0 Nm pada 16° BTDC. Untuk torsi terbesar didapatkan pada putaran 6.000 rpm, dengan nilai 7,40 Nm pada sudut standar 14° BTDC. Sedangkan pada sudut 16° dan 18° BTDC didapatkan torsi terbesar pada putaran 5.500 rpm sebesar 7,12 Nm dan 7,0 Nm. Daya poros efektif pada putaran 4500 rpm sebesar 2,71 kW pada 14° dan 18° BTDC, sedangkan pada 14° BTDC sebesar 2,83 Kw. Sudut terbesar pada putaran 7.500 14° BTDC adalah 5,18 kW dan untuk pemajuan sudut 2 derajat dan 4 derajat berturut-turut yaitu 16° dan 18° BTDC menghasilkan daya 5,10 dan 5,06 kW pada putaran 7.500 rpm. Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan torsi dan daya yang lebih tinggi untuk nilai rpm yang sama yaitu pada putaran 4.500 rpm untuk sudut pengapian 16° BTDC sebesar 0,25 Nm dan 0,12 kW. Sedangkan peningkatan nilai rpm yang sama pada pemajuan sudut pengapian menunjukkan adanya tren penurunan nilai daya dan torsi untuk sampel motor matic yang diuji tanpa mengubah jenis dan nilai oktan bahan bakar.

Kata kunci—*ignition timing; daya; torsi; motor matic.*

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada sistem pembakaran dalam atau *Internal Combustion Engine* (ICE), performa kinerja sepeda motor dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain sistem pengapian (*ignition system*) dan kualitas bahan bakar. Kualitas penggunaan bahan bakar harus disesuaikan dengan spesifikasi mesin kendaraan untuk menghasilkan kinerja yang optimal. Semakin tinggi spesifikasi rasio kompresi yang dimiliki oleh mesin maka semakin tinggi nilai oktan bahan bakar yang dibutuhkan.^[1] Jika nilai oktan bahan bakar lebih rendah dari standar yang dibutuhkan mesin, maka akan terjadi detonasi (*knocking*) pada saat pembakaran dan performa motor menurun.

Penelitian tentang pengaruh variasi derajat pengapian terhadap efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar telah dilakukan oleh Nanlohy pada tahun 2012. Penelitian tersebut menggunakan mesin 125 cc Honda Kharisma SI dan dilakukan pada kondisi setengah bukaan katup dengan variasi derajat pengapian dari 9° , 12° , dan 15° sebelum TMA (BTDC). Dari penelitian tersebut diketahui bahwa efisiensi termal tertinggi diperoleh pada derajat pengapian 9° BTDC. Sedangkan *Specific Fuel Consumption* (SFC) terendah juga diperoleh pada derajat pengapian 9° BTDC.^[2] Sistem pengapian digunakan untuk menghasilkan arus listrik bertegangan tinggi untuk selanjutnya menghasilkan bunga api guna melakukan pembakaran terhadap campuran bahan

bakar dan udara di dalam silinder ruang bakar dengan waktu pengapian yang telah ditentukan pada akhir langkah kompresi.

Untuk mengetahui pengaruh sudut pengapian terhadap kinerja motor bensin dari jenis matic, oleh karena itu pada penelitian ini penulis melakukan uji performa mesin dengan pengubahan sudut pengapian. Penelitian bertujuan untuk menganalisis apakah ada pengaruh variasi derajat pengapian terhadap kinerja mesin, yaitu daya dan torsi pada mesin bensin 4 tak. Sampel uji yang digunakan berupa unit sepeda motor Honda Beat CW karburator dengan spesifikasi rasio kompresi 9,2:1 berjenis bahan bakar pertalite dengan *Research Octane Number* (RON) 90. Sudut pengapian yang diuji antara lain sudut pengapian standar bawaan pabrik yaitu 14 derajat, sudut pengapian dimajukan 2 derajat (16 derajat BTDC) dan sudut pengapian dimajukan 4 derajat (18 BTDC).

B. Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir ini antara lain, untuk mengetahui, meneliti dan menganalisis peningkatan atau penurunan daya dan torsi pada variasi waktu pengapian yang telah ditentukan pada rentang pemajuan 2 dan 4 derajat dengan bahan bakar pertalite RON 90. Kemudian untuk mengetahui pengaruh daya dan torsi terhadap performa kerja mesin.

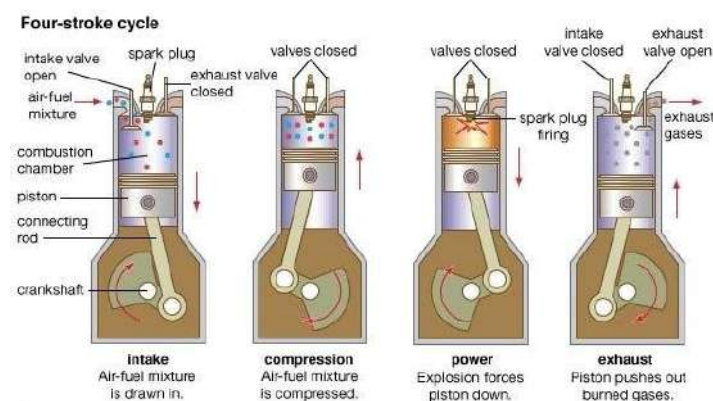
2. LANDASAN TEORI

A. Motor Bakar Bensin 4 Langkah

Motor bakar 4 langkah adalah mesin yang melakukan dua kali putaran poros engkol atau 4 kali langkah bolak balik piston untuk menghasilkan satu kali usaha.

Adapun siklus kerja motor bensin 4 langkah adalah sebagai berikut:

- 1) Proses *intake* campuran bahan bakar terjadi ketika piston bergerak dari titik mati TMA ke TMB. Pada saat itu, intake valve atau katup hisap bahan bakar terbuka dan menyalurkan gas campuran bahan bakar dan udara ke dalam ruang bakar.
- 2) Lalu pada tahap berikutnya terjadi kompresi, yaitu piston bergerak dari TMA ke TMB dan menekan volume gas bahan bakar sehingga ruang bakar memampat dan tekanan sekitar menjadi meningkat. Sebelum mencapai TMA, busi memercikkan bunga api yaitu pada beberapa derajat sebelum TMA.
- 3) Terjadi ledakan yang menimbulkan daya atau tenaga pada piston. Pada saat terjadi ledakan, kondisi *intake valve* dan *exhaust valve* adalah tertutup. Piston kembali bergerak dari TMA ke TMB.
- 4) Pada saat *exhaust valve* terbuka, piston bergerak dari TMA menuju TMB karena adanya penurunan tekanan dalam ruang bakar sehingga volume ruang bakar kembali meningkat seperti saat proses *intake*. Untuk selanjutnya siklus berulang dalam melakukan pembakaran (Gambar 1).



Gambar 1 Skema Kerja Motor Bensin 4 Langkah

B. Bahan Bakar Pertalite RON 90

Research octane number (RON, angka oktan) adalah kombinasi linear n-Heptana (nilai oktan = nol) dan iso-Oktana (angka oktan=100). Campuran 10 persen n-heptana dengan 90 persen iso-oktana akan

menghasilkan bahan bakar dengan nilai oktan 90. Pertalite dapat digunakan pada kendaraan dengan rasio kompresi 9 sampai dengan 10,1.^[3]

C. Sistem Pengapian

Sistem Pengapian adalah sistem yang menghasilkan bunga api, bertujuan untuk melakukan pembakaran gas campuran bahan bakar dan udara yang ada di dalam ruang pembakaran dengan waktu pengapian (*ignition timing*) yang sudah ditentukan. Diperlukan tegangan listrik yang cukup tinggi agar tercapai loncatan bunga api pada busi, yaitu antara 5.000 volt sampai lebih dari 10.000 volt.

Berikut ini adalah komponen-komponen yang diperlukan untuk terciptanya bunga api pada saat awal pembakaran:^[4]

1) Magnet

Magnet ditempatkan pada roda penerus yang dipasangkan pada poros engkol. Inti besi ditempatkan sebagai stator. Magnet berputar bersama-sama dengan putaran poros engkol dan antara inti besi dengan magnet terdapat celah kecil. Karena perputaran magnet ini akan menimbulkan listrik dalam lilitan primer pada inti besi. Akibat gerakan cam titik kontak akan terbuka maka akan terjadi arus listrik tegangan tinggi yang memungkinkan terjadinya loncatan bunga api pada busi.

2) Busi (*Spark Plug*)

Pada sistem pengapian, terdapat komponen pemicu terjadinya bunga api yaitu busi. Busi adalah alat untuk menghidupkan mesin khususnya seperti motor. Tegangan tinggi yang akan di keluarkan diantara elektroda tengah (elektroda positif) dan elektroda sisi (elektroda negatif) busi berupa percikan bunga api. Tujuan adanya busi adalah untuk mengalirkan pulsa atau arus tegangan tinggi dari tutup (terminal) busi ke bagian elektroda tengah ke elektroda sisi melewati celah udara dan kemudian berakhir ke masa (*ground*).

3) Koil Pengapian

Koil pengapian berfungsi untuk menaikkan tegangan rendah dari baterai yang berkisar 6 Volt menjadi 10.000-12.000 Volt. Koil diperlukan untuk menghasilkan loncatan bunga api yang kuat pada celah busi di dalam sistem pengapian.

4) CDI

Capacitive Discharge Ignition (CDI) merupakan sebuah perangkat elektronik sebagai pengatur waktu pengapian dan kelistrikan yang terdapat pada sebuah sepeda motor dan berperan membaca sensor yang mengatur waktu pengapian yang terdapat pada mesin, lalu diolah secara digital dalam CDI. Hasil pemrosesan CDI berupa output yang akan mengatur sistem pengapian untuk melakukan pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar *engine*. Sensor pengatur *timing* pengapian terdapat pada bagian ruang magnet engine. Sensor berupa pulser (*pick-up coil*) akan membaca tonjolan (*trigger magnet*) yang terdapat pada sisi luar pelat dudukan (*sitting*) magnet. Magnet yang terhubung dengan poros engkol (*crankshaft*) akan berputar menyesuaikan putaran mesin. Semakin tinggi putaran mesin, maka semakin tinggi pula putaran magnet yang akan berpengaruh pada pembacaan pulser terhadap tonjolan sisi luar *sitting plate* magnet. CDI mengandalkan pulser, di mana pulser ini memberi sinyal berdasarkan putaran magnet. Sinyal itu dikirim ke CDI, yang kemudian memerintahkan busi untuk menembak. Dalam CDI, sinyal pulser diterima dioda penyearah arus, lalu ditahan resistor dan diterima beberapa kapasitor, sebelum dilepas ke koil yang kemudian diteruskan ke busi.

D. Ignition Timing

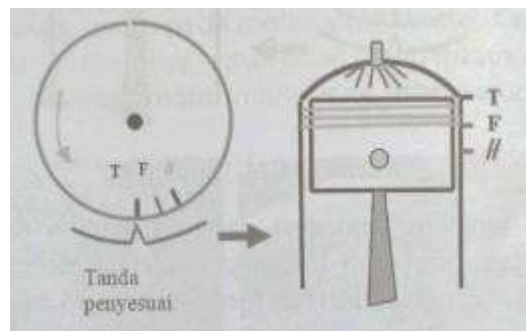
Setelah gas campuran bahan bakar dibakar oleh bunga api, maka diperlukan waktu tertentu bagi bunga api untuk merambat di dalam ruang bakar. Sehingga menyebabkan terjadinya sedikit kelambatan antara awal pembakaran dengan pencapaian tekanan pembakaran maksimum. Dengan demikian, agar diperoleh output maksimum pada *engine* dengan tekanan pembakaran mencapai titik tertinggi (sekitar 10° setelah TMA), periode perlambatan api harus diperhitungkan pada saat menentukan *ignition timing* untuk memperoleh output mesin yang semaksimal mungkin. Akan tetapi karena diperlukan waktu untuk perambatan api, maka campuran udara-bahan bakar harus dibakar sebelum TMA. Proses tersebut dikenal dengan *ignition timing*. Loncatan bunga api terjadi sesaat sebelum torak mencapai titik mati atas (TMA) sewaktu langkah kompresi. Saat loncatan api biasanya dinyatakan dalam derajat sudut engkol sebelum torak mencapai TMA.

Sudut pengapian dapat diartikan sebagai waktu dimana percikan bunga api terjadi pada busi atau dapat dikatakan sebagai saat awal pembakaran, yaitu beberapa derajat sebelum titik mati atas (TMA) pada akhir langkah kompresi. Pada saat terjadinya percikan bunga api pada busi maka harus ditentukan dengan tepat

campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar dengan sempurna, sehingga dapat diperoleh hasil performa mesin yang maksimal. Untuk dapat menghasilkan daya maksimum dari suatu operasi maka hendaknya pengapian diatur dengan tepat sehingga tekanan gas maksimum terjadi pada saat torak berada disekitar 15° sampai 20° engkol sesudah TMA. Bila pengapian terjadi terlalu awal maka gas sisa yang belum terbakar, terpengaruh oleh pembakaran yang masih berlaku dan pemampatan masih berjalan, akan terbakar sendiri.

Menurut Marsudi, pada umumnya penyetelan waktu pengapian dapat dilakukan, salah satunya dengan cara mengatur posisi penempatan tanda penyesuai (TP) pada rotor, antara lain: ^[5]

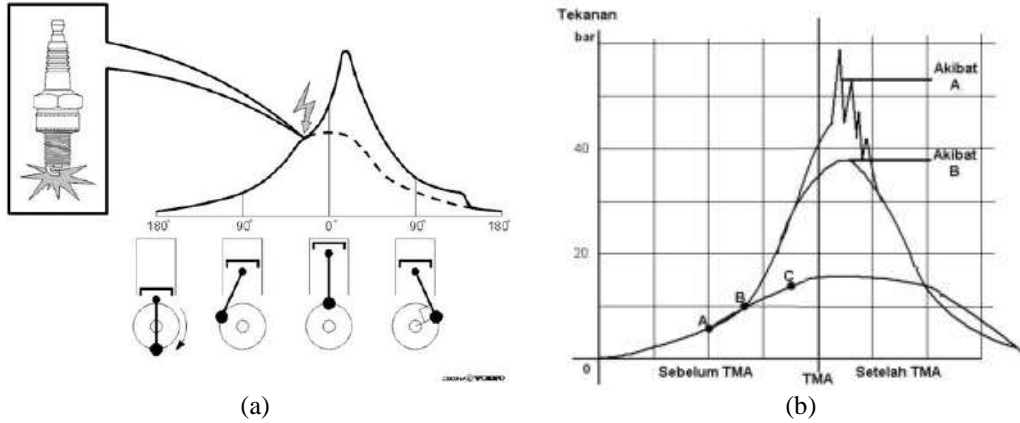
- 1) Tanda T (*Top*), yaitu tanda dalam posisi torak pada kedudukan TMA.
- 2) Tanda F (*Firing*), yaitu motor dalam keadaan terjadi proses pembakaran di mana busi mula memercikkan bunga api (*firing*).
- 3) Tanda //, yaitu tanda pada saat motor terjadi proses pembakaran yang disesuaikan dengan keadaan motor (bergantung pada kecepatan putar). Kalau dalam keadaan stasioner, maka proses pembakaran terjadi pada saat tanda penyesuai tepat pada tanda F. Sedangkan pada kecepatan putar yang lebih tinggi, posisi piston mulai bergeser mendekati tanda //.



Gambar 2 Tanda-tanda pada Rotor (T, F, //)

Pada pembakaran sempurna setelah penyalaan dimulai, api dipercikkan oleh busi dan menyebar ke seluruh arah dalam rentang waktu yang sebanding dengan 20 derajat sudut engkol atau lebih untuk membakar gas campuran sampai mencapai tekanan maksimum. Kecepatan api umumnya kurang dari 10 sampai 30 meter per-detik. Panas pembakaran dari TMA diubah dalam bentuk kerja dengan efisiensi yang tinggi. Kelambatan waktu akan menurunkan efisiensi. Hal ini disebabkan rendahnya tekanan akibat penambahan volume dan waktu penyebaran api yang terlalu lambat.

Bila Proses pembakaran dimulai dari awal sebelum TMA atau menjauhi TMA (Gambar 3a), tekanan hasil pembakaran meningkat, sehingga gaya dorong piston meningkat (kerja piston menuju gas pada ruang bakar). Jika proses sudut penyalaan dimundurkan mendekati TMA, maka tekanan hasil pembakaran maksimum lebih rendah, bila dibandingkan tekanan hasil pembakaran maksimum pada sudut penyalaan dimulai normal (Gambar 3b). Hal ini dikarenakan, pada saat sudut penyalaan terlalu dekat dengan TMA, pada saat busi memercikkan bunga api dan api mulai merambat, gerakan piston sudah melewati TMA sehingga volume ruang bakar mulai membesar. Sehingga walaupun terjadi kenaikan tekanan hasil pembakaran, sebagian telah diubah menjadi perubahan volume ruang bakar. Efek yang terjadi adalah kecilnya kerja ekspansi yang diterima oleh piston. ^[4]



Gambar 3 Saat Percikan Api Busi (a) dan Perbedaan Waktu Pengapian (b)

E. Torsi

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja, jadi torsi adalah suatu energi. Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya. Apabila suatu benda berputar dan mempunyai besar gaya sentrifugal sebesar F dalam satuan Newton, dan benda berputar pada porosnya dengan jari-jari sebesar b dalam satuan meter. Adapun perumusan dari torsi didapatkan dalam satuan Newton meter (Nm) adalah sebagai berikut :

$$T = F \cdot b \dots\dots\dots(1)$$

Di mana :

- T : Torsi (Nm)
- F : Gaya sentrifugal dari benda yang berotasi (N)
- b : Jarak benda ke titik pusat rotasi (m)

F. Daya

Daya mesin adalah kemampuan mesin dalam menghasilkan torsi maksimal pada putaran tertentu. Daya dapat dihitung dengan satuan kiloWatt (kW) mempunyai hubungan erat dengan torsi. Daya adalah hasil perkalian antara torsi dan jumlah putaran mesin dalam satuan rpm. Sehingga daya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$W_b = 2\pi \cdot N \cdot T \dots\dots\dots(2)$$

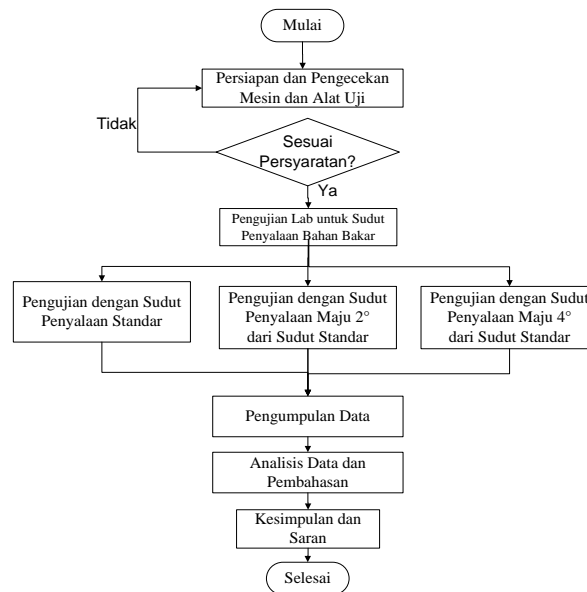
Di mana :

- W_b : Daya poros (kW)
- N : Putaran mesin (rpm)
- T : Torsi (Nm)

3. METODE PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Pelaksanaan penelitian diawali dengan persiapan mesin dan peralatan pengujian. Mesin yang dipakai pada penelitian ini adalah sepeda motor empat tak. Sedangkan bahan bakar yang digunakan adalah pertalite. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian.

B. Mesin dan Peralatan Pengujian

Alat pengujian yang dipersiapkan adalah 3 jenis posisi magnet yaitu magnet dengan posisi standar (bawaan kendaraan), magnet dengan posisi derajat pengapian dimajukan 2 derajat dan magnet dengan posisi derajat pengapian dimajukan 4 derajat. Dalam penelitian ini, mesin yang digunakan adalah sepeda motor Honda Beat tipe karburator dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Tipe Mesin: 4 Langkah, SOHC, 2 Klep, pendinginan udara
- Diameter x Langkah : 50 x 55 mm
- Volume Silinder : 108 cc
- Perbandingan Kompresi : 9,2 : 1
- Daya maksimum : 8,22 PS/ 8000 rpm
- Torsi maksimum : 8,32 Nm/ 5500 rpm
- Sistem pengapian : CDI

Untuk pengujian unjuk kerja mesin dilaksanakan di Sportisi Motorsport, dengan peralatan: Dynotester, untuk mengukur daya dan torsi dari mesin.

C. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan 3 jenis posisi magnet yaitu magnet pada posisi standar dengan sudut pengapian 14 derajat, penggeseran posisi magnet untuk pengapian dimajukan 2 derajat menjadi 16 derajat BTDC dan penggeseran posisi magnet untuk pengapian dimajukan 4 derajat menjadi 18 derajat BTDC.

Untuk memperoleh data pengujian, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Letakkan motor di atas dynotester dengan posisi roda belakang di atas roller.
- 2) Nyalakan mesin sampai pada putaran idle. Setelah putaran ideal didapatkan, selanjutnya tarik gas motor dari kondisi idle menjadi putaran 4.500 rpm dengan melihat monitor dinotester sampai pada putaran rpm tertinggi, yaitu 8.000 rpm.
- 3) Lepaskan gas setelah mencapai putaran maksimum. Pada pengujian ini akan didapat daya dan torsi sebagai fungsi dari putaran mesin. Data daya dan torsi akan tersimpan di komputer.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

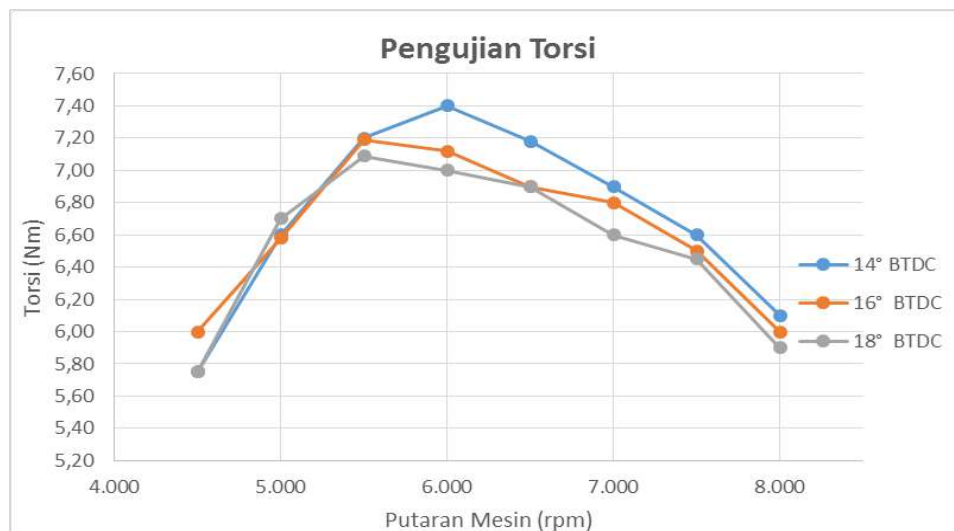
A. Torsi

Berdasarkan penelitian dengan uji eksperimental variasi sudut pengapian motor Honda Beat 108 cc CW Karburator yang dilakukan di Laboratorium Sportisi Motor Sport Rawamangun, didapatkan data torsi sebagai berikut:

Tabel 1 Torsi vs Putaran pada Variasi Derajat Pengapian

Putaran Mesin (rpm)	Torsi (Nm)		
	Sudut Standar (14° BTDC)	Maju 2° (16° BTDC)	Maju 4° (18° BTDC)
4.500	5,75	6,20	5,75
5.000	6,60	6,58	6,50
5.500	7,20	7,01	6,90
6.000	7,35	7,20	7,00
6.500	7,20	7,00	6,80
7.000	6,90	6,90	6,70
7.500	6,70	6,60	6,50
8.000	6,20	6,20	6,00

Pada table 1, untuk sudut pengapian standar 14° BTDC, didapatkan torsi maksimum terbesar 7,40 Nm pada putaran 6.000 rpm. Sedangkan pada sudut pengapian yang dimajukan dua derajat dari sudut pengapian standar, yaitu pada 16° BTDC didapatkan torsi maksimum sebesar 7,19 Nm pada putaran 5.500 rpm. Sementara pada sudut pengapian yang dimajukan 4 derajat, yaitu pada 18° BTDC didapatkan torsi maksimum sebesar 7,09 Nm pada putaran 5.500 rpm. Sehingga melalui perbandingan torsi dari ketiga sudut pengapian dengan putaran mesin yang sama, didapatkan penurunan nilai torsi seiring dengan majunya sudut pengapian.



Gambar 1 Grafik Torsi vs Putaran Mesin.

Grafik menunjukkan hasil pencapaian torsi pada motor bensin dengan variasi sudut pengapian 14°, 16°, dan 18° BTDC menggunakan bahan bakar pertalite. Berdasarkan tabel dan grafik di atas, terlihat bahwa nilai torsi meningkat sampai titik maksimum pada putaran 6.000 rpm. Namun, pada putaran 6.500 rpm sampai dengan 8.000 rpm terjadi penurunan torsi pada ketiga variasi sudut pengapian. Torsi tertinggi dicapai pada putaran 6.000 rpm dengan sudut pengapian standar 14° BTDC dengan nilai torsi sebesar 7,4 Nm. Pada putaran awal, torsi akan mengalami peningkatan nilai, dikarenakan beban yang semakin bertambah. Namun pada titik tertentu, yaitu pada putaran 6.000 rpm torsi mencapai puncak tertinggi untuk selanjutnya akan mengalami penurunan torsi seiring dengan bertambahnya kecepatan putar hingga mencapai putaran 8.000

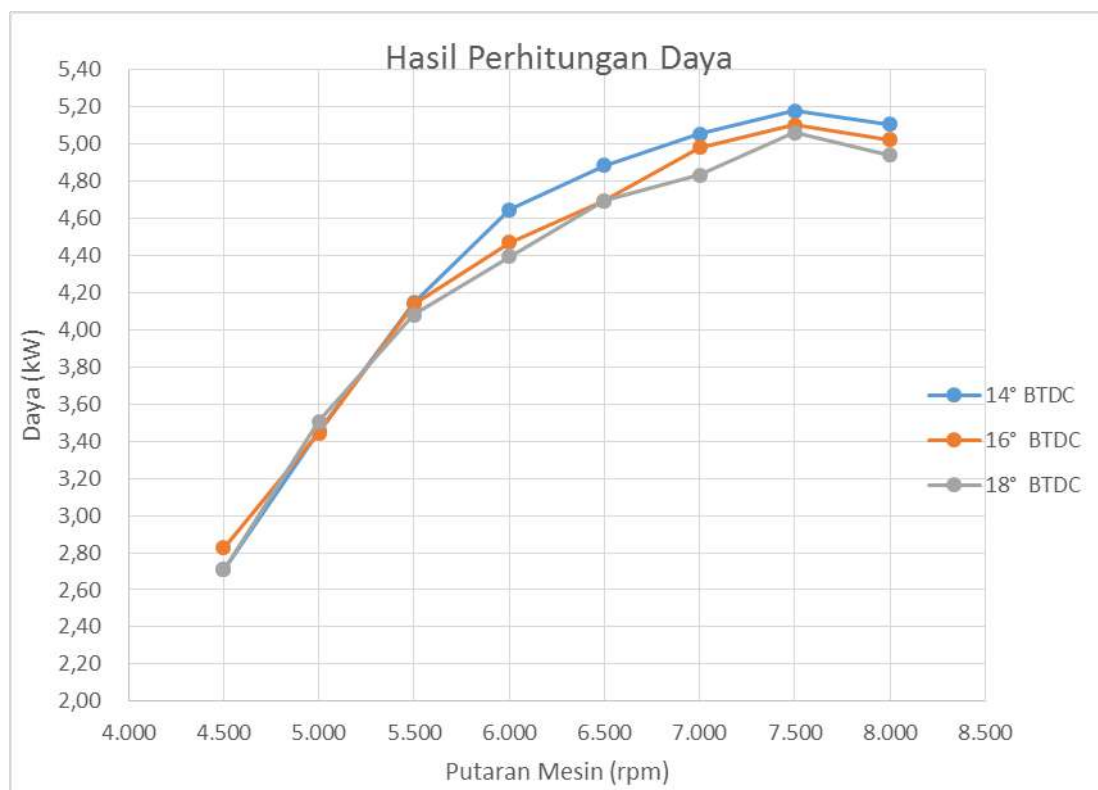
rpm. Hal tersebut terjadi karena pada putaran 6.000 rpm sampai dengan 8.000 rpm gaya dorong di atas piston cenderung mengalami penurunan. Menurunnya gaya dorong di atas piston tersebut disebabkan oleh memburuknya kualitas isian silinder. Semakin cepat putaran mesin maka piston ikut bergerak semakin cepat pula. Hal ini membuat waktu pengisian bahan bakar dan udara semakin singkat, sehingga membuat campuran udara yang terisi ke dalam silinder semakin sedikit. Oleh karena itu pembakaran yang terjadi menghasilkan gaya dorong di atas piston cenderung menurun. Asupan udara yang berkurang ataupun bahan bakar yang terlalu cepat terbakar dapat di atasi dengan menggunakan bahan bakar dengan nilai oktan yang lebih tinggi.

B. Daya

Berdasarkan hasil perhitungan dengan rumus, didapatkan nilai daya sebagai berikut:

Tabel 1 Daya vs Putaran pada Variasi Derajat Pengapian.

Putaran Mesin (rpm)	Daya (kW)		
	Sudut Standar (14° BTDC)	Maju 2° (16° BTDC)	Maju 4° (18° BTDC)
4.500	2,71	2,92	2,71
5.000	3,45	3,44	3,40
5.500	4,14	4,04	3,97
6.000	4,62	4,52	4,40
6.500	4,90	4,76	4,63
7.000	5,06	5,06	4,91
7.500	5,26	5,18	5,10
8.000	5,19	5,19	5,02



Gambar 5 Grafik Daya vs Putaran Mesin

Berdasarkan grafik, sudut pengapian pada sudut standar 14 derajat BTDC memiliki nilai kurva daya yang lebih tinggi di antara lainnya. Hal tersebut disebabkan, karena pada perubahan sudut pengapian dengan memajukan 2 dan 4 derajat dari sudut standarnya yaitu pada sudut 14 dan 18 derajat, mengakibatkan bahan bakar pertalite lebih cepat terbakar lebih dahulu sebelum sempat melakukan siklus pembakaran (*ignition*). Sehingga power yang didapatkan tidak semaksimal pada sudut standar 14 derajat BTDC. Daya tertinggi didapatkan pada putaran mesin 7.500 rpm pada sudut standar 14 derajat BTDC yaitu sebesar 5,26 kW. Antara putaran 4.000-7.500 rpm terjadi peningkatan daya hingga daya tertinggi pada 7.500 rpm. Hal ini disebabkan nilai daya tertinggi tidak dapat diperoleh pada saat putaran awal seperti halnya pada nilai torsi. Dikarenakan, pada saat putaran awal hingga menengah dibutuhkan daya untuk membantu menghasilkan torsi mesin yang lebih besar untuk menggerakkan piston. Namun, pada saat putaran 7.500 rpm ke atas, daya menurun secara perlahan. Hal tersebut dikarenakan nilai daya akan kembali menurun pada saat mencapai putaran yang semakin tinggi, karena pada saat tersebut nilai daya diserap oleh komponen di dalam mesin yang mengalami gesekan antar komponen dan mendapat tekanan tinggi antar komponennya sehingga nilai daya berkurang dan mengalami penurunan pada saat putaran tinggi.

5. KESIMPULAN

Torsi maksimal didapatkan pada sudut pengapian standar, yaitu 14 derajat sebelum TMA dengan nilai sebesar 7,35 Nm pada putaran 6.000 rpm. Dan daya maksimal didapatkan pada sudut pengapian standar 14 derajat sebelum TMA dengan nilai sebesar 5,26 kW pada putaran 7.500 rpm. Seiring dengan dimajukannya sudut pengapian, terjadi penurunan daya dan torsi. Hal ini disebabkan oleh pergerakan piston yang semakin cepat sehingga waktu pengisian campuran bahan bakar dan udara semakin singkat dan campuran udara yang terisi ke dalam silinder semakin sedikit. Oleh karena itu bahan bakar lebih cepat habis terbakar dan membutuhkan lebih banyak asupan bahan bakar untuk pembakaran. Asupan udara yang berkurang ataupun bahan bakar yang terlalu cepat terbakar dapat disarankan dengan mengganti bahan bakar dengan nilai oktan yang lebih tinggi. Sehingga pada sudut pengapian maju 16 dan 18 derajat sebelum TMA daya dan torsi tidak dapat mencapai titik maksimal yang mampu didapatkan pada sudut normal untuk putaran tinggi, kecuali dengan disertai penggantian jenis oktan bahan bakar dan atau pengaturan sudut bukaan katup.

DAFTAR PUSTAKA

1. Gurnito Ahmad, *Pengaruh Ignition Timing Mapping Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Engine SINJAI 650 CC Berbahan Bakar Pertalite RON 90*. Jurnal Teknik ITS **Vol. 5**, No. 1, ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print), Surabaya, (2016).
2. H.Y. Nanlohy, *Perbandingan Variasi Derajat Pengapian terhadap Efisiensi Termal dan Konsumsi Bahan Bakar Otto Engine Be50*. Jurnal Dinamika **Vol. 3**, No. 2, ISSN : 2085-8817. Kendari (2012).
3. Keputusan Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi. Dirjen Migas Nomor: 313.K/10/DJM.T/2013. Tentang Standard dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Pertalite.
4. Syahril Mahmud, Untoro Budi Suro, Leydon Sitorus, *Analisis Variasi Derajat Pengapian terhadap Kinerja Mesin*.
5. Marsudi, Buku Pintar Teknisi Otodidak Sepeda Motor Matic. Penerbit Andi. Yogyakarta, (2016).
6. Wiranto Aris Munandar, *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*, Penerbit ITB, Bandung, (2005)

SUBMISSION 19

Perhitungan Daya Dan Efisiensi Thermal Pada Mobil *Mercedes Benz* Menggunakan *Turbocharger*

Wegie Ruslan, Nely Toding Bunga, dan Septian Wahyu Saputra
Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Indonesia

Abstrak. Turbocharger merupakan suatu komponen yang digunakan pada kendaraan bermotor untuk meningkatkan daya dari motor dengan melakukan penambahan rapat massa udara yang lebih banyak dibandingkan dengan cara pengisian biasa. Turbocharger memanfaatkan tekanan gas buang untuk memutar turbin yang kemudian menghasilkan energi untuk memutar kompresor yang berfungsi untuk membantu memasukan udara ke dalam ruang bakar. Dengan memasang perangkat tersebut, diharapkan daya dari motor akan meningkat dan lebih efisien. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui, meneliti, dan menganalisis daya dan efisiensi thermal yang terjadi pada mesin bensin 4 langkah Mercedes Benz C200 dengan teknologi turbocharger. Dari hasil analisis ini, dapat diketahui peningkatan nilai daya dan efisiensi thermal yang dihasilkan oleh mesin bensin 4 langkah Mercedes Benz C200 dengan teknologi turbocharger.

Kata kunci: *Turbocharger, daya, efisiensi thermal, mesin bensin 4 langkah*

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Turbocharger merupakan salah satu contoh perkembangan teknologi yang dihasilkan oleh industri – industri otomotif. *Turbocharger* memanfaatkan tekanan tersebut untuk memutar turbin yang kemudian menghasilkan energi untuk memutar kompresor yang berfungsi untuk membantu memasukan udara ke dalam ruang bakar. Lalu pada saat mesin dalam putaran tinggi konsumsi udara dalam ruang bakar, pada umumnya sering terlambat atau kurang padat. Hal ini disebabkan karena terlalu sedikit waktu yang diberikan untuk memasukan udara dari luar ke dalam ruang bakar. Oleh karena itu, *turbocharger* dapat membantu proses pemasukan udara ke dalam ruang bakar sehingga akan membuat kerja motor lebih efektif dan efisien.

Sebelumnya, dilakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh penggunaan *turbocharger* pada mesin diesel Toyota Fortuner tipe 2KD-FTV VN Turbo Intercooler^[6]. *Turbocharger* banyak digunakan pada mesin diesel, hal ini karena pada mesin bensin yang menggunakan *turbocharger* haruslah merendahkan rasio kompresi yang menurunkan efisiensi mesin ketika beroperasi pada tenaga rendah. Kerugian ini tidak ada dalam mesin diesel dengan *turbocharger* yang dirancang khusus. Namun seiring perkembangan dunia otomotif, *turbocharger* mulai banyak digunakan oleh mesin bensin dan mampu bersaing dengan *turbocharger* pada mesin diesel.

Maka dari itu penulis melakukan pengujian mengenai mesin bensin Mercedes Benz C200 yang dilengkapi dengan *turbocharger*. Dari hasil analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, diharapkan mampu memberikan pemahaman dan pengetahuan baru mengenai peningkatan daya dan efisiensi thermal yang terjadi akibat pengaruh penggunaan *turbocharger* pada motor bensin 4 langkah, khususnya pada motor bakar Mercedes Benz C200.

B. Tujuan

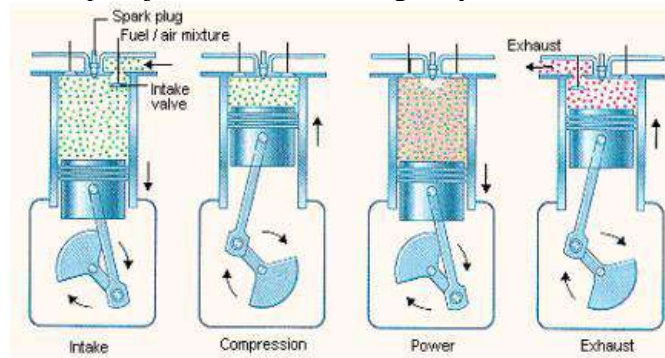
Tujuan yang ingin dicapai dalam analisis ini adalah untuk mengetahui, meneliti, dan menganalisis besaran peningkatan daya tiap siklusnya serta efisiensi thermal pada mesin menggunakan teknologi *turbocharger*. Kemudian untuk mengetahui pengaruh efisiensi thermal pada nilai konsumsi bahan bakar.

2. DASAR TEORI

A. Mesin Bensin

Motor bensin termasuk dalam kategori *Internal Combustion Engine* (ICE) yaitu motor dengan proses pembakaran atau perubahan energi panas dilakukan di dalam mesin itu sendiri dan tempat terjadinya proses pembakaran itu disebut ruang bakar. Yang menjadi ciri utama dari motor bensin atau motor penyalan api

atau disebut juga *Spark Ignition Engine* yaitu proses pembakaran bahan bakar yang terjadi di dalam ruang silinder pada volume tetap. Prinsip kerja motor bensin 4 langkah yaitu:



Gambar 1 Skema Gerakan Motor Bensin 4 Langkah

1) Proses 0 → 1 : Langkah hisap (*Intake*)

Pada langkah hisap campuran udara – bahan bakar dari karburator atau *injector* (pada sistem injeksi) terhisap masuk ke dalam silinder dengan gerak turun piston, dari titik mati atas ke titik mati bawah. Fluida kerja dianggap sebagai gas ideal dengan γ konstan. Proses dianggap berlangsung dengan tekanan konstan.

2) Proses 1 → 2 : Langkah kompresi (*Compression*)

Pada langkah kompresi, katup hisap dan katup buang dalam keadaan tertutup. Selanjutnya piston bergerak ke atas, dari titik mati bawah ke titik mati atas. Akibatnya campuran udara – bahan bakar terkompresi. Proses ini menyebabkan terjadinya kenaikan temperatur dan tekanan pada campuran tersebut, karena volumenya semakin kecil. Campuran udara – bahan bakar yang terkompresi ini menjadi campuran yang sangat mudah terbakar. Proses kompresi dianggap berlangsung secara isentropik.

Proses 2 → 3 : Langkah pembakaran volume konstan

Pada saat piston hampir mencapai titik mati atas, loncatan nyala api listrik diantara kedua elektroda busi diberikan ke campuran udara – bahan bakar terkompresi sehingga sesaat kemudian campuran udara – bahan bakar ini terbakar. Akibatnya terjadi kenaikan temperatur dan tekanan yang drastis. Proses pembakaran ini dianggap sebagai proses pemasukan panas (kalor) pada volume konstan.

3) Proses 3 → 4 : Langkah kerja/ekspansi (*Expansion*)

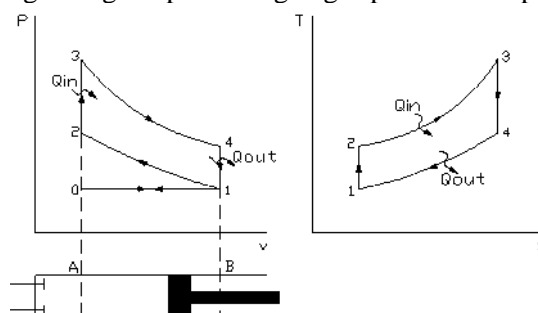
Pada langkah kerja/ekspansi, kedua katup masih pada posisi tertutup. Gas pembakaran yang terjadi memberikan tekanan yang mampu mendorong piston untuk kembali dari titik mati atas ke titik mati bawah. Dengan Bergeraknya piston menuju titik mati bawah, maka volume gas pembakaran di dalam silinder semakin bertambah dan mengakibatkan temperatur dan tekanan gas turun. Proses ekspansi ini dianggap berlangsung secara isentropik,

4) Proses 4 → 1 : Langkah buang volume konstan (*Exhaust*)

Saat piston telah mencapai titik mati bawah, katup buang terbuka secara otomatis sedangkan katup hisap masih pada posisi tertutup. Langkah ini dianggap sebagai langkah pelepasan kalor gas pembakaran yang terjadi pada volume konstan.

Proses 1 → 0 : Langkah buang tekanan konstan

Selanjutnya piston bergerak kembali dari titik mati bawah ke titik mati atas. Gas pembakaran didesak keluar melalui katup buang (saluran buang) dikarenakan Bergeraknya piston menuju titik mati atas. Langkah ini dianggap sebagai langkah pembuangan gas pembakaran pada tekanan konstan.



Gambar 2 Diagram P-v Dari Siklus Ideal Motor Bensin 4 Langkah

B. Performansi Mesin

Efisiensi thermal ideal didefinisikan sebagai panas yang berguna terhadap panas yang masuk, sehingga :

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \dots\dots\dots(1)$$

Di mana :

η_{th} = Efisiensi thermal

W_{net} = Daya tiap siklus (kJ)

Q_{in} = Panas yang masuk (kJ/kg)

Pada langkah pembakaran dianggap sebagai proses pemasukan panas (kalor) pada volume konstan. Pada langkah ini terjadi kenaikan temperatur dan tekanan yang drastis. Sehingga pemasukan panas dapat diketahui dengan :

$$Q_{2-3} = Q_{in} = m_f Q_{HV} \eta_c \dots\dots\dots(2)$$

$$Q_{in} = m_m C_v (T_3 - T_2) \dots\dots\dots(3)$$

Di mana :

Q_{HV} = Heating value (kJ/kg)

C_v = Panas jenis pada volume konstan (kJ/kg.K)

η_c = efisiensi pembakaran, diasumsikan sempurna ($\eta_c=1$)

T_3 = Temperatur akhir pengisian panas (K)

T_2 = Temperatur pada titik 2 (K)

m_m = Massa gas campuran (kg/siklus)

Sedangkan daya tiap siklus merupakan hasil penjumlahan dari usaha yang dilakukan tiap langkahnya.

$$W_{net} = W_{3-4} + W_{1-2} \dots\dots\dots(4)$$

$$W_{3-4} = m_m C_v (T_3 - T_4) \dots\dots\dots(5)$$

$$W_{1-2} = m_m C_v (T_1 - T_2) \dots\dots\dots(6)$$

Di mana :

W_{3-4} = Daya pada siklus 3-4 (kJ)

W_{1-2} = Daya pada titik 1-2 (kJ)

T_1 = Temperatur udara masuk (K)

T_4 = Temperatur akhir ekspansi (K)

Temperatur dapat diketahui dengan perbandingan langkah kompresi atau ekspansi.

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{k-1} \dots\dots\dots(7)$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{k-1} \dots\dots\dots(8)$$

Di mana:

V_1 = Volume pada titik 1 (m³)

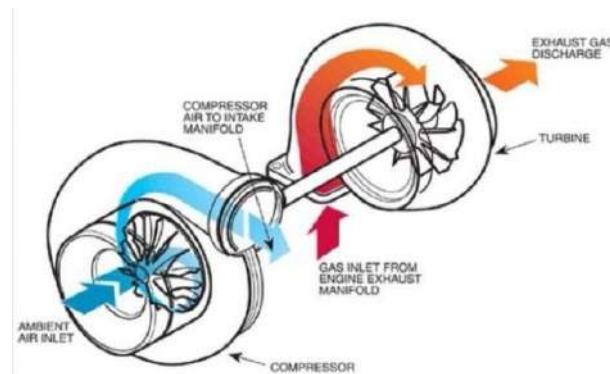
V_2 = Volume pada titik 2 (m³)

k = Kalor spesifik ratio, dengan $k = \frac{C_p}{C_v}$

Perhatikan bahwa efisiensi siklus otto udara standar hanya merupakan fungsi angka kompresi, sehingga ada kecenderungan untuk mempertinggi angka kompresi. Secara umum pembakaran didefinisikan sebagai reaksi kimia atau persenyawaan bahan bakar oksigen (Q_2) sebagai oksidan dengan temperatur yang lebih besar dari titik nyala, Mekanisme pembakaran sangat dipengaruhi oleh keadaan dari keseluruhan proses pembakaran di mana atom – atom dari komponen yang dapat bereaksi dengan oksigen yang dapat membentuk produk berupa gas ^[3].

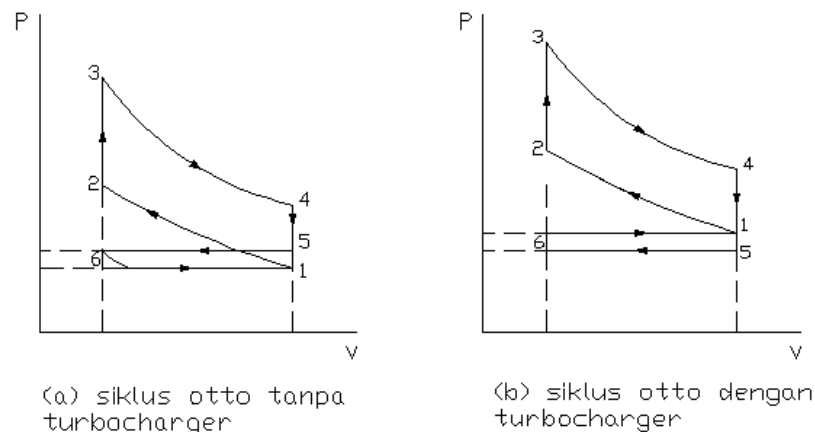
C. Turbocharger

Turbocharger merupakan sebuah kompresor sentrifugal yang mendapat daya dari turbin yang sumber tenaganya berasal dari gas buang mesin. Biasanya digunakan pada mesin pembakaran dalam untuk meningkatkan keluaran tenaga dan efisiensi mesin dengan meningkatkan tekanan udara yang memasuki ruang bakar mesin saat proses pembakaran. *Turbocharger* ditemukan oleh seorang insinyur Swiss, Alfred Büchi. Patennya tentang *turbocharger* diaplikasikan pada tahun 1905. Lokomotif dan kapal bermesin diesel dengan *turbocharger* mulai terlihat tahun 1920an.



Gambar 3 Sistem Turbocharger

Turbocharger merupakan salah satu sistem induksi paksa (*force induction system*). *Turbocharger* mengkompresi udara yang mengalir dalam ruang bakar. Udara dikompresikan dengan tujuan agar kerapatan udara menjadi renggang sehingga banyak udara yang dapat dimasukkan ke ruang bakar. Semakin banyak udara yang masuk, maka bahan bakar yang masuk pun akan semakin bertambah. Akibatnya, daya *output* yang dihasilkan akan semakin besar. Untuk mendapatkan udara tambahan ini, *turbocharger* menggunakan tekanan gas buang hasil pembakaran dari ruang bakar untuk menggerakkan (memutar) turbin yang dihubungkan langsung dengan poros ke kompresor. Sehingga apabila turbin berputar, maka kompresor akan berputar pula. Temperatur turbin sangat tinggi karena terletak pada saluran pembuangan gas bertemperatur tinggi.



Gambar 4 (a) Diagram p-v mesin otto (b) Diagram p-v mesin otto menggunakan *turbocharger*

Dalam siklus mesin menggunakan *turbocharger* ini, proses hisap dan buang tidak terjadi penggunaan daya yang berasal dari pembakaran. Oleh karena itu daya yang disimpan tiap siklus oleh mesin akan bertambah pula.

$$W_{6-1} = P_1 (V_1 - V_2) \dots\dots\dots(9)$$

$$W_{6-5} = P_1 (V_1 - V_2) \dots\dots\dots(10)$$

$$W_{net} = W_{3-4} + W_{1-2} + W_{6-1} + W_{5-6} \dots\dots\dots(11)$$

Di mana :

W_{6-1} = Kerja proses hisap (kJ)

W_{5-6} = Kerja proses buang (kJ)

3. METODOLOGI PENELITIAN

A. Metodologi Penelitian

Adapun metodologi penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Identifikasi masalah
Menjelaskan & mendeskripsikan permasalahan, menentukan judul, latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, serta tujuan dilakukannya penelitian.
- 2) Studi Pustaka
Melakukan studi dan mengumpulkan data guna penelitian berdasarkan referensi berupa literatur seperti buku, jurnal, ataupun hasil penelitian – penelitian yang telah dilakukan sebelumnya
- 3) Studi Lapangan
Melakukan studi & penelitian secara langsung dilapangan ataupun laboratorium untuk mendapatkan data – data yang dibutuhkan dalam melakukan analisis berdasarkan hasil penelitian di laboratorium tersebut dengan objek uji secara langsung.
- 4) Pengumpulan Data
Merangkul data – data yang dibutuhkan dalam analisis dan pembahasan dari hasil proses studi pustaka dan studi lapangan.
- 5) Analisis Data dan Perhitungan Efisiensi
Pengolahan data dilakukan untuk mengetahui pengaruh dan perubahan secara teoritis dengan merujuk pada referensi teori dan menampilkan hasil perhitungan dalam bentuk grafik dan tabel yang dibuat dalam penulisan laporan.
- 6) Tabel dan Kurva Perbandingan Daya dan Efisiensi Thermal
Bentuk *output* dari hasil proses analisis data dan perhitungan efisiensi yang dilakukan setelah pengujian. *Output* dibuat sederhana dan semenarik mungkin agar mudah dibaca dan dipahami.
- 7) Kesimpulan dan Saran
Kesimpulan diambil dari keseluruhan proses pengujian yang dilakukan dengan menjawab tujuan dari penelitian ini. Saran diberikan guna melengkapi kekurangan yang ada pada pengujian kendaraan.

B. Alat

Berikut ini akan dijelaskan mengenai peralatan yang digunakan pada proses pengujian :

- 1) Mesin Uji
Mesin bakar yang digunakan dalam pengujian ini adalah mesin bensin mobil Mercedes Benz tipe C200 *engine* 274 tahun 2015. Berikut ini merupakan spesifikasi mobil Mercedes Benz tipe C200 *engine* 274 tahun 2015 dan gambar mesin uji seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 5 Mesin Uji

Mesin	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipe : 4-langkah <i>in-line</i>, DOHC, dilengkapi <i>Turbocharger</i> ▪ Kelas : 1991cc ▪ Daya Tenaga : 135 kW (184 HP) / 5500 rpm ▪ Torsi : 300 Nm / 1200-4000 rpm ▪ Diameter x Langkah : 83 x 92 mm ▪ Perbandingan Kompresi : 9,8:1 ▪ Bahan Bakar : Bensin
Peforma	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Akselerasi 0-100 km/j : 7,5 detik ▪ Kecepatan maksimum : 237 km/j ▪ Konsumsi Bahan Bakar : 5,9-5,3 Liter / 100 km

2) Mercedes Star Diagnostic Compact 3

Mercedes Star Diagnostic Compact 3 adalah alat bantu berupa pemindai dengan sistem komputer yang digunakan oleh Mercedes Benz. Alat ini dapat digunakan untuk membaca konfigurasi aktual pada setiap sistem, aliran data – data sensor secara langsung, mengaktifkan sensor, melakukan pemindaian *online* dan pemindaian secara *offline*. Pemindai ini terdiri dari perangkat keras dan Xentry yang merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk memecahkan masalah di Mercedes Benz. Adapun cakupan diagnostik yang dapat di pindai oleh sistem ini, yaitu:

- a. Membaca dan *re-setting* diagnostik masalah kode (DTC)
- b. *Real-time* pembacaan data dinamis
- c. Penuh komponen kliring aktivasi dan *re-setting* nilai adaptasi
- d. Coding dari semua mesin, sasis, bodi, dan instrumentasi modul
- e. Konfigurasi tombol
- f. Prosedur untuk pemasangan aksesoris Mercedes Benz melalui cincin D2B dan PALING bus
- g. Total ASSYST & ASSYST dan kontrol (*Active Service System*) untuk informasi tentang sejarah layanan papan
- h. DAS: antarmuka ringkas dan operasi langsung menggunakan komputer wintel untuk dapat membaca kode dan pengujian pada sistem mobil dengan cepat dan akurat.
- i. WIS: Menampilkan seluruh pandangan diagram pengkabelan dalam metode mobil, diagram lokasi komponen dan pemeliharaan.

C. Prosedur Pengujian

1) Persiapan Pengujian

Yang harus diperhatikan dan dilakukan sebelum pengujian antara lain:

- a) Memakai alat perlindungan diri yang diperlukan dalam pengujian dengan baik dan benar.
- b) Cek kondisi dan area pengujian mesin.
- c) Cek kondisi mesin seperti bahan bakar, oli, dan air radiator yang harus sesuai dengan batas kebutuhan mesin.
- d) Tersedia pemadam api di lokasi: untukantisipasi apabila terjadi kebakaran

2) Langkah Pengujian Performa Mesin

Pengujian performa mesin ini bertujuan untuk mengetahui besaran nilai temperatur dan tekanan udara pada saat proses pemasukan bahan bakar. Langkah-langkah yang sesuai prosedur tersebut adalah sebagai berikut:

a. Menyiapkan alat dan bahan sesuai prosedur pengujian.

b. Melakukan pengecekan pada mesin uji dan area pengujian

Sebelum melakukan pengujian, pastikan mesin uji dan area pengujian bersih dan terhindar dari alat – alat yang dapat menimbulkan bahaya. Pastikan kondisi mesin uji seperti bahan bakar, oli, dan air radiator dalam kondisi yang bagus.



Gambar 6 Pengecekan kondisi kendaraan

c. Menghubungkan *connector star diagnostic* pada mesin uji

d. Membuka *software* dan memilih tipe kendaraan atau mesin

Setelah terhubung, buka *software* Xentry pada *hardware* Mercedes Star Diagnostic Compact 3. Xentry merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk memecahkan masalah di Mercedes Benz. Lalu pilih tipe kendaraan dan atau tipe mesin yang akan diuji. Kemudian *software* akan mencari data mengenai kendaraan dan mesin yang dipilih sebagai bahan referensi kondisi normal kendaraan.



Gambar 7 Tampilan *software* Xentry dan pemilihan tipe mobil

e. Melakukan pemindaian

Kemudian berikan perintah pada *software* untuk melakukan pemindaian secara *online*. Perintah ini dilakukan untuk mengambil data aktual pada kendaraan dan mesin.

f. Memilih jenis pengujian yang akan dilakukan

g. Mencetak data hasil uji coba

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Pengujian

Berikut data hasil pengujian yang telah dilakukan:

Tabel 1. Data Hasil Pengujian

Mobil	Mercy C200
Jenis Bahan Bakar	Pertamax
HHV (kJ/kg)	44245,8
Putaran Mesin (rpm)	803,1
Tekanan Udara Masuk (kPa)	99,908
Temperatur Udara Masuk (°C)	32,5
Lambda (λ)	0,91

B. Data Hasil Perhitungan

Berikut adalah hasil analisis perhitungan daya tiap siklus dan efisiensi thermal mesin bakar dengan menggunakan *turbocharger*:

Tabel 2. Data Hasil Perhitungan

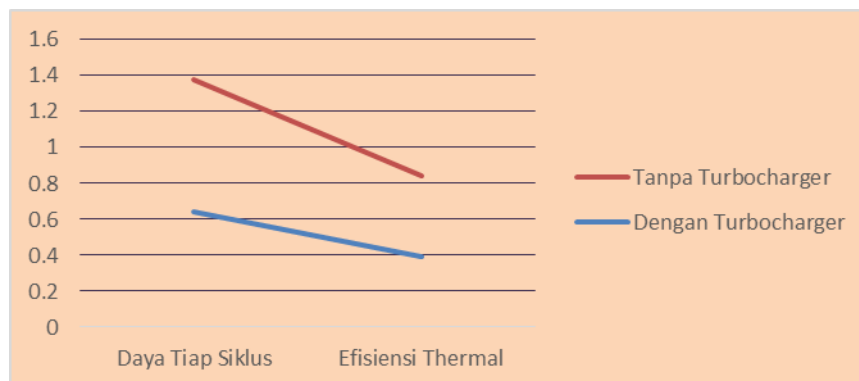
Volume Total	$5,486 \times 10^{-4} \text{ m}^3$
Panas Jenis Volume Konstan	$0,718 \text{ kJ/kg.K}$
Air Fuel Ratio	16,85
Massa Gas Campuran	$6,622 \times 10^{-4} \text{ kg}$
Temperatur di titik 2	$761,21 \text{ K}$
Daya di titik 1 dan 2	$-0,217 \text{ kJ}$
Panas Masuk	$1,642 \text{ kJ}$
Temperatur di titik 3	$3008,12 \text{ K}$
Temperatur di titik 4	$1207,27 \text{ K}$
Daya di titik 3 dan 4	$0,856 \text{ kJ}$
Panas keluar	$0,429 \text{ kJ}$
Daya saat proses buang	$0,05 \text{ kJ}$
Daya saat proses hisap	$0,05 \text{ kJ}$

Sehingga didapatkan nilai,

Tabel 3. Daya dan Efisiensi Thermal

Item	Tanpa Turbocharger	Dengan Turbocharger
Daya Tiap Siklus	$0,639 \text{ kJ}$	$0,739 \text{ kJ}$
Efisiensi Thermal	38,92%	45,01%

C. Analisa



Gambar 8 Grafik Perbandingan Daya Tiap Siklus dan Efisiensi Thermal

Dari grafik gambar 8, dapat dianalisis bahwa penggunaan *turbocharger* mampu meningkatkan daya yang dihasilkan tiap siklus oleh mesin dari sebelumnya tanpa turbocharger 0,639 kJ menjadi 0,739 kJ karena menggunakan *turbocharger*. Hal ini terjadi karena pada mesin dengan *turbocharger*, gas sisa pembuangan dimanfaatkan kembali untuk mengerjakan kompresi yang membantu proses hisap sehingga daya pada proses

buang dapat disimpan. Peningkatan daya juga dapat disebabkan karena peningkatan tekanan udara dan bahan bakar yang ada di ruang bakar pada saat langkah hisap. Peningkatan tekanan awal ini akan meningkatkan kerapatan campuran udara dan bahan bakar. Jika kerapatan campuran gas meningkat maka energi hasil pembakaran juga akan meningkat.

Kemudian akibat dari peningkatan daya pada mesin, maka efisiensi thermal pada mesin juga meningkat. Namun dapat dilihat, jika dibandingkan dengan grafik mesin tanpa *turbocharger*, efisiensi thermal pada mesin dengan *turbocharger* mengalami penurunan yang lebih besar. Efisiensi thermal merupakan efisiensi pemanfaatan panas dari bahan bakar untuk diubah menjadi tenaga mekanis. Variabel lain yang mempengaruhi efisiensi thermal adalah nilai konsumsi bahan bakar. Maka dapat disimpulkan nilai konsumsi bahan bakar spesifik semakin besar, maka efisiensi thermal akan semakin kecil. Waktu pembakaran yang singkat dan semakin besarnya nilai konsumsi bahan bakar spesifik, maka semakin banyak bahan bakar yang tidak dapat dimanfaatkan atau dengan kata lain semakin banyak bahan bakar yang terbuang sia-sia.

5. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan diatas, adapun kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut:

- Daya yang dihasilkan tiap siklus pembakaran meningkat, dari sebelumnya tanpa *turbocharger* 0,639 kJ menjadi 0,739 kJ akibat penggunaan *turbocharger*.
- Efisiensi thermal yang dihasilkan pada mesin tanpa *turbocharger* 38,92% sedangkan pada mesin dengan *turbocharger* adalah 45,01%.
- Peningkatan daya mesin juga dipengaruhi oleh beberapa faktor lain diantaranya, nilai kalor bahan bakar, tekanan udara masuk, dan temperatur udara masuk.
- Penggunaan bahan bakar pada mesin dengan *turbocharger* lebih efektif dibandingkan dengan mesin tanpa *turbocharger*.

1. DAFTAR PUSTAKA

- Ferguson, R. F., *Internal Combustion Engine : Applied Thermodynamics*, (John Wiley & Sons, New York, 1986).
- Wibawa, Ngurah Putra., *Mesin Pembakaran*, (Jurusan Teknik Mesin, Denpasar: Universitas Udayana, 2004).
- Sharma, S. P., *Fuel & Combustion*, (McGraw Hill Book Co, New York, 1978).
- Philip Kristanto, Willyanto., Hartadi, Rully., *Analisa Turbocharger Pada Motor Bensin Daihatsu Tipe CB-23*, (Jurnal Teknik Mesin Vol. 3, Surabaya: Universitas Kristen Petra, 2001).
- Rosid., *Analisa Proses Pembakaran Pada Motor Bensin 113.5 cc Dengan Simulasi Ansys*, (Jurnal Teknologi Program Studi Teknik Mesin, Karawang: Universitas Singaperbangsa, 2016).
- Ginting, Andi Setiawan., Hazwi, Mulfi., *Analisa Performansi Pada Mobil Toyota Fortuner Mesin Diesel Tipe 2KD-FTV VN Turbo Intercooler*, (Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik, Medan: Universitas Sumatera Utara, 2014).
- Pandini, Intan Essy., Arief, Irfan Syarif., *Analisa Teknis Perancangan Turbin Pada Turbocharger Menggunakan CFD*, (Jurnal Teknik ITS Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November, 2015).
- Badrawada, I Gusti Gde., *Pengaruh Perubahan Sudut Pengapian Terhadap Prestasi Mesin Motor 4 Langkah*, (Jurusan Teknik Mesin, Yogyakarta: IST Akprind, 2008).
- Janna, William S., *Engineering Heat Transfer Second Edition*, (CRC Press LCC, Florida, 2000).

SUBMISSION 31

Analisis Penghematan Konsumsi Listrik pada AC Ruangan dengan Menggunakan Refrigeran R-290 (*Propane*) Sebagai Pengganti R-32

Widodo, Fatkur R

Dosen Politeknik Enjinering Indorama

Abstrak Dengan adanya pelarangan penggunaan bahan pendingin yang mengandung *Ozone Depleting Potential* (ODP) dan yang dapat menimbulkan terjadinya Pemanasan Global yang biasa disebut dengan *Global Warming Potential* (GWP) sesuai Peraturan Menteri Perindustrian Nomor: 41/M-Ind/Per/5/2014 tentang Larangan Penggunaan HCFC (*Hydro Chluoro Fluoro Carbon*) dan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 13 Tahun 2012 Tentang Penghematan Pemakaian Energi Listrik dengan jelas menyatakan bahwa seluruh bangunan gedung kantor pemerintah baik di pusat maupun daerah harus melaksanakan program Penghematan Energi Listrik pada sistem Tata Udara (*Air Conditioning Sistem*), sistem tata cahaya dan peralatan pendukung lainnya. Ditinjau dari karakteristik bahan pendingin yang dimiliki oleh refrigeran R-32 (*Difluoromethana*) yang mengandung unsur Non ODP dan GWP: 675 sedangkan refrigeran R-290 (*Propane*) tidak mengandung unsur ODP dan memiliki GWP: <4. Pada penelitian ini tekanan kerja refrigeran R-32 dipilih pada 115 Psig sedangkan R-290: 75 Psig. Dengan menggunakan refrigeran R-290 sebagai pengganti R-32 pada unit AC-Split, ada beberapa perubahan perilaku dan Standar Operasional Prosedur pengerjaan dikarenakan R-290 merupakan refrigeran kelompok A2 yang memiliki sifat mudah terbakar pada batas volume dan ambang batas yang sudah ditentukan. Dari hasil pengujian dan pengambilan data selanjutnya dilakukan perhitungan, analisis dan diperoleh performa sebagai berikut: Suhu maksimal pendinginan yang diperoleh dengan menggunakan R-32 rata-rata: 19.1°C dan dengan R-290: 19.0°C, COP R-32: 4.9 dan R-290 : 6.3 sedang kuat arus listrik dengan R-32 : 3.5 Amper dan R-290 : 2.3 Amper jadi penghematan konsumsi listrik dapat mencapai 34.3%.

Kata kunci: *Turbocharger, daya, efisiensi thermal, mesin bensin 4 langkah*

PENDAHULUAN

Refrigeran sintetik yang digunakan pada sektor refrigerasi sebagian besar masih mengandung bahan yang dapat merusak lingkungan yaitu *chloro* dan *fluoro* yang keduanya dapat berpotensi meningkatkan nilai ODP (Ozon Depleting Potensial) dan GWP (Global Warming Potensial) apabila keluar ke udara bebas menimbulkan kerusakan pada lapisan ozon dan pemanasan global. Refrigeran R-32 termasuk refrigeran non ODP tetapi memiliki GWP : 675 setara dengan (CO₂ : 0.5) sedangkan R-290 (propan) memiliki ODP : 0 dan GWP: <4 l. Refrigeran R-290 sudah banyak digunakan diberbagai negara pada unit AC komersial, *showcase*, *cold storage*, refrigerasi industry dan chiller. Sehingga Refrigeran ini memiliki potensi sebagai refrigeran yang bersama dengan R-290 sebagai pengganti refrigeran sintetik R-32, R-22, R-410A dan lainnya.

Refrigeran ini mulai tahun 1930 sudah digunakan di beberapa negara kurang lebih ±40 negara yang telah menggunakan R-290 untuk disektor mesin pendingin. Sejalan dengan Program Penghematan Energi yang dicanangkan Pemerintah sejak diterbitkannya Instruksi Presiden Nomor 02 Tahun 2008 dan Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor 33/M-IND/PER/4/2007 tentang "Larangan Memproduksi Bahan Perusak Lapisan Ozon serta Memproduksi Barang yang menggunakan Bahan Perusak Lapisan Ozon", Dua faktor penting yaitu hemat energi dan ramah lingkungan tersebut mendorong masyarakat dan dunia usaha / industri, untuk melakukan retrofit dari penggunaan refrigerant sintetik (freon) menjadi MC (refrigerant hydrocarbon) pada mesin pendingin dengan harapan dapat melakukan penghematan penggunaan listrik dan ikut berpartisipasi secara aktif untuk menjaga kelestarian alam. Refrigeran jenis R-290 ini belum banyak di gunakan pada mesin pendingin yang beredar di Luar Negeri.

Dengan pertimbangan aspek ekonomis, lingkungan dan hemat energi, penggunaan R-290 yang sudah diimplementasikan diberbagai negara berkembang dan maju, sehingga penggunaan propylene sudah demikian populer di beberapa negara di luar negeri. Dengan pertimbangan sifat-sifat termodinamika yang

dimiliki oleh R-290 Untuk itu riset propylene (R-290) sebagai pengganti R-32 ini memiliki peluang cukup besar sebagai pengganti refrigeran untuk konversi (retrofitting)R-32.

Tujuan dari kajian dan penelitian yang dilakukan adalah :

- Untuk mengetahui karakteristik aplikasi dari refrigeran R-32 dan R-290 .
- Melakukan pengambilan data kinerja R-32 terhadap R-290 dengan pengujian pada kondisi ambien temperatur sama.
- Membuat analisis hasil data pengujian kinerja refrigeran R-32 dan R-290.

Cakupan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Penelitian yang dilakukan menggunakan unit AC split dengan R-32 yang terpasang pada ruangan kerja.
- Ruangan yang dikondisikan adalah ruang kerja tertutup dengan luas 600cm x 600cm x 300cm
- Kapasitas pendinginan unit AC 3.7 kW (13,000 Btuh).

Metodologi penelitian yang kami lakukan adalah :

- Pelaksanaan penelitian diawali dengan desk research (studi literatur terkait refrigerant hidrokarbon, R-290, R-32, AC split, dan referensi hasil riset lainnya dll.)
- Penelitian dilakukan dengan pengukuran untuk pengambilan data pada unit AC split yang telah terpasang dengan menggunakan Refrigeran R-32 terlebih dahulu selanjutnya dengan diganti dengan refrigeran R-290.
- Preparasi pada AC split yang sebelumnya R-32, mengikuti prosedur sesuai untuk menggunakan refrigerant hidrokarbon (*recovery, vacuum*, dll.)
- Pengambilan data dilakukan secara berulang dalam kondisi yang sama dengan sebelumnya untuk mendapatkan hasil pengukuran yang valid.
- Melakukan pengolahan data hasil pengukuran R-32 dan R-290 dalam bentuk tabel dan grafik
- Melakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil pengambilan data yang diperoleh (R-32)

TINJAUAN PUSTAKA

Refrigeran R-32 memiliki senyawa (CH_2F_2) dengan titik didih -51.6 masuk dalam kategori refrigeran mampu nyala dalam batas LFL (*lower flammability Limit* :13% dan UFL (*upper flammability Limit*) : 33%, titik nyala sendiri : 530°C .ODP :0 dan GWP : 675 masuk kelompok A2L tidak beracun *middle flammability*. Kelompok refrigeran senyawa halokarbon diturunkan dari hidrokarbon (HC) yaitu metana (CH_4), etana (C_2H_6), atau dari propana (C_3H_8) dengan mengganti atom-atom hidrogen dengan unsur-unsur halogen seperti khlor (Cl), fluor (F), atau brom (Br). Jika seluruh atom hidrogen tergantikan oleh atom Cl dan F maka refrigeran yang dihasilkan akan terdiri dari atom khlor, fluor dan karbon. Refrigeran ini disebut refrigeran *chlorofluorocarbon* (CFC). Jika hanya sebagian saja atom hidrogen yang digantikan oleh Cl dan atau F maka refrigeran yang terbentuk disebut *hydrochlorofluorocarbon* (HCFC). Refrigeran halokarbon yang tidak mengandung atom khlor disebut *hydrofluorocarbon* (HFC). Refrigeran yang mempunyai banyak atom Cl cenderung beracun, atom F ditambahkan agar senyawa menjadi stabil dan senyawa yang mempunyai banyak atom Cl akan mempunyai NBP (*normal boiling point*) yang lebih tinggi. Sedangkan meningkatnya jumlah atom F cenderung menurunkan NBP senyawa yang terbentuk[1].

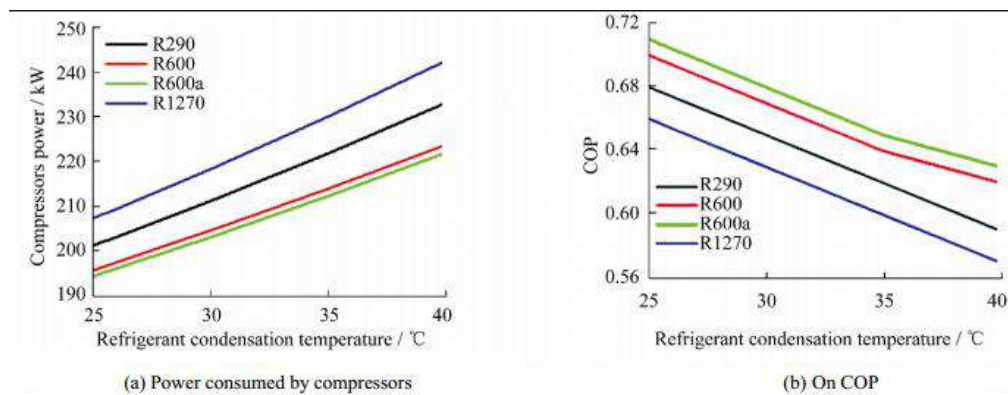
Ada beberapa persyaratan refrigeran secara umum : memiliki tekanan kerja yang tidak terlalu tinggi, memiliki tekanan suction yang tidak terlalu rendah, memiliki konduktivitas termal tinggi, titik didih yang rendah, tidak beracun, Non ODP, GWP rendah, dapat bercampur dengan oli, harganya murah, ramah terhadap lingkungan.

Refrigeran Hidrokarbon R-290 ini memiliki unsur kimia C_3H_8 yang memiliki purity $>99.5\%$ Non ODP dan memiliki GWP < 2 . Refrigeran ini memiliki titik didih : -42.1° tetapi memiliki titik nyala sendiri : 460°C , LFL : 2.5% UFL : 10.1% memiliki tekanan pada fase uap : 8.3 Bar. Dibawah ini adalah grafik perbandingan temperatur terhadap tekanan untuk beberapa jenis refrigeran. Refrigeran R-290 memiliki tekanan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan R-410a dan R-22[2] .

Tabel.1 Karakteristik refrigeran R-32 dengan R-290

No	Properties	R-32	R-290
1	Atmospheric Lifetime Year	5	Less Than 1
2	G.W.P (CO ₂ =0.5)	675	4
3	O.D.P (R-12=1.0)	0	0
4	Oil Compatibility	Synthetics	Both
5	Component Changes or wear	No	No
6	Potensial corrosion	No	No
7	Toxic thermal Decomposition	None	None
8	Long Term Health Effects	None	None
9	Short Term Health Risks	None	None
10	Leak Detection		Hydrocarbon
11	Boiling Point (f)	-51.6	-42.1
12	Critical Temp (°C)	78.4	205
13	Flammability Limits (%)	LEL : 13% , UEL : 33%	LEL : 2,2 % , UEL : 9,5%
14	Auto ignition Temp (°C)	530°C	480 °C
15	Relative Vapour density (Air =1)	2.1	1,56
16	Vapor pressure (25 °C)	1,701 kPa	551 kPa
17	Melting Point	-136 °C	-187,7 °C

Properties refrigeran dilihat dari COP dan kapasitas pendinginan yang dimiliki oleh macam-macam refrigeran : R-290 dapat dilihat pada gambar dibawah ini[2] :



Gambar 1. (a) Grafik konsumsi daya listrik terhadap jenis refrigeran (b) Grafik COP terhadap suhu kondensasi untuk refrigeran hidrokarbon.

Tabel. 2 Nilai ODP, GWP dan Kelas Safety untuk beberapa refrigeran

Refrigerant	Formula	NBP (°C)	CT (°C)	GWP	Flammability	Safety class	
Natural Inorganic	R717	NH ₃	-33.3	132.3	0	No	B1
	R744	CO ₂	-56.5*	31.0	1	No	A1
Natural HCs	R290	C ₃ H ₈	-42.1	96.7	20	Higher	A3
	R1270	C ₃ H ₆	-47.7	92.4	3	Higher	A3
	R600a	C ₄ H ₁₀	-11.7	134.7	3	Higher	A3
HFCs	R152a	C ₂ H ₄ F ₂	-24.1	113.3	140	Lower	A2
	R32	CH ₂ F ₂	-51.7	78.1	650	Mild	A2L
HFOs	R1234yf	C ₃ H ₂ F ₄	-29.5	99.7	4	Mild	A2L
	R1234ze	C ₃ H ₂ F ₄	-19.0	109.4	6	Mild	A2L

Note: NBP - Normal boiling point; CT - Critical temperature; *Triple point

Pemilihan refrigeran yang mempunyai sifat termodinamika yang tepat biasanya dilakukan berdasarkan temperatur refrigerasi/pendinginan yang diperlukan dan tekanan kerja yang tidak terlalu tinggi atau terlalu rendah. Misalnya untuk pengkondisian udara 5°C, lemari es -10 s/d 2°C, cold storage -25°C, lemari pembeku daging atau ikan -40°C. Untuk tiap aplikasi tersebut dipilih refrigeran dengan sifat-sifat termal yang baik seperti kalor laten, konduktivitas termal dan panas jenis yang besar, viskositas yang rendah, dsb.

Dengan mengetahui tekanan dan temperatur jenuh refrigeran, maka dapat diketahui apakah suatu refrigeran beroperasi pada kisaran tekanan dan temperatur yang sama dan dapat saling menggantikan. Dari kurva gambar 2.1 dibawah dapat dilihat bahwa kurva R-12 berimpit dengan R-134a dan R-152a. Dengan demikian refrigeran R-134a dan R-152a dapat menggantikan refrigeran R-12. dari kurva ini pula dapat diprediksi bahwa campuran R-32 yang bertekanan tinggi dengan R134a yang bertekanan lebih rendah dapat dihasilkan refrigeran untuk menggantikan R-22. Berbagai kombinasi campuran refrigeran bertekanan tinggi dan rendah dapat dilakukan untuk menggantikan refrigeran yang tekanannya berada di antara kedua tekanan refrigeran2 yang dicampur[2].

Sifat mampu nyala ditentukan oleh komposisi campuran udara-refrigeran dan titik nyala dari refrigeran tersebut. Berdasarkan kemudahan terbakarnya refrigeran dibagi menjadi tiga kelas yaitu kelas 1, kelas 2 dan kelas 3, sesuai yang tertera pada SNI. Refrigeran yang mempunyai titik nyala di atas 750°C dianggap tidak mudah terbakar karena temperatur nyalanya sudah melebihi temperatur leleh material komponen refrigerasi. Refrigeran kelompok ini termasuk kelas 1. Refrigeran dengan titik nyala di bawah 750° dan batas bawah lebih besar dari 3.5% volume (campuran dalam udara), maka refrigeran ini termasuk refrigeran kelas 2. Sedangkan jika batas bawah penyalaan kurang dari 3.5% maka refrigeran tersebut masuk kelas 3. Berdasarkan SNI tingkat racun dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok A yaitu refrigeran tak beracun dan kelompok B refrigeran beracun. Refrigeran dikatakan tidak beracun jika mempunyai LC₅₀ (Lethal Concentration 50%) lebih besar dari 10,000 ppm, sedangkan refrigeran dianggap beracun jika LC₅₀ lebih kecil dari 10,000 ppm[3].

Mesin Pendingin AC- Split adalah suatu mesin pendingin yang digunakan sebagai penyegar ruangan mesin pendingin ini didesain menjadi dua bagian utama yaitu indoor dan outdoor unit, dihubungkan oleh instalasi pemipaan dengan panjang disesuaikan kapasitas pendinginan dari AC tersebut. Secara konstruksi dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



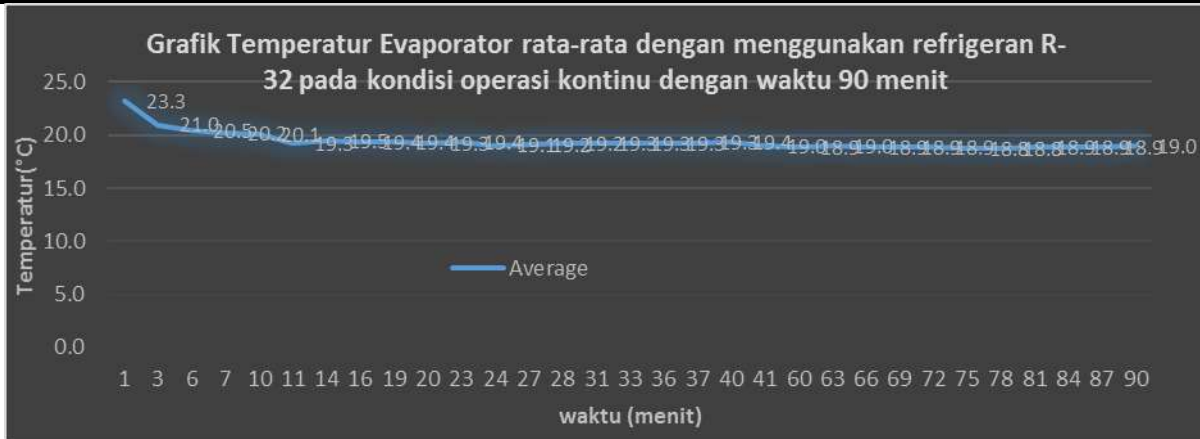
Gambar.2 Unit AC Split

Data hasil pengukuran temperatur udara evaporator dengan kondisi operasi kontinu sampai pada kondisi stabil sesuai dengan variasi tabel dibawah ini:



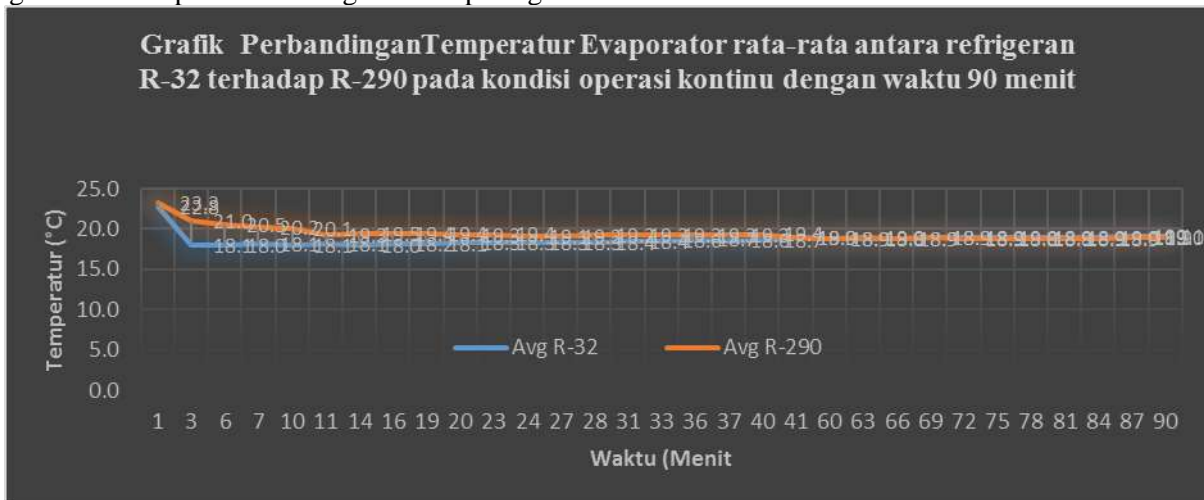
Gambar.3 Grafik hasil rata-rata temperatur udara evap kondisi operasi kontinu refrigeran R-32

Dengan cara yang sama pada saat unit menggunakan R-290 setelah dilakukan proses retrofit (penggantian bahan pendingin) selanjutnya dilakukan pengambilan data pada saat unit bekerja stabil. Data yang dicatat adalah sama seperti saat AC menggunakan R-290. Grafik rata rata temperatur blower evaporator pada kondisi operasi kontinu dengan refrigeran R-290.



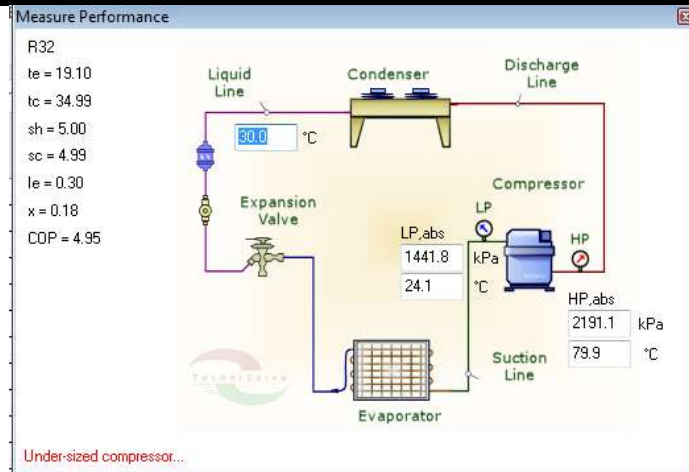
Gambar .4 Grafik temperatur rata rata blower evaporator kondisi operasi kontinu dengan refrigeran R-290.

Grafik perbandingan temperatur rata-rata blower evaporator kondisi operasi kontinu antara refrigeran R-32 dengan R-290 dapat dilihat dengan detail pada gambar 6 dibawah ini :

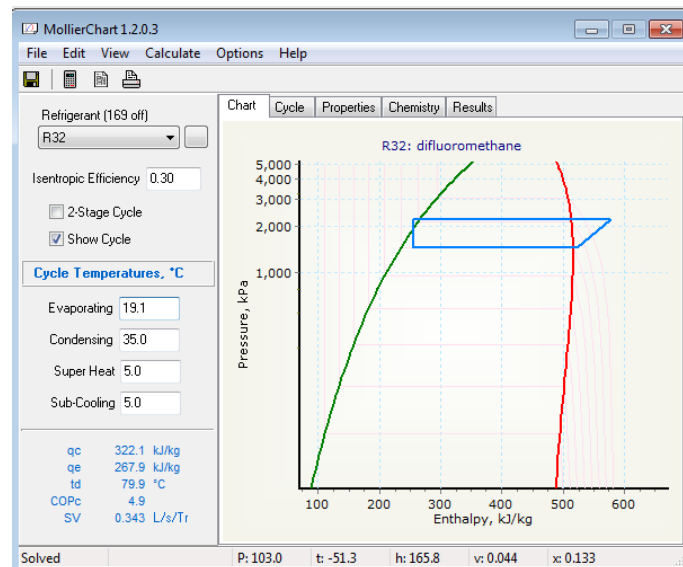


Gambar 5 Grafik temperatur rata-rata blower evaporator kondisi operasi kontinu dengan refrigeran R-32 vs R-290

Dalam melakukan perhitungan dengan menggunakan Software aplikasi “ *MollierChart*” Dengan software tersebut dapat diketahui : nilai-nilai kalor Kerja kompresi, Efek refrigerasi, COP(Coefficient of Performance). Dalam pengujian dilakukan dengan memvariasikan tekanan suction untuk masing-masing refrigeran. Tekanan suction dengan menggunakan R-32: 115 Psig temperature evaporator : 19.1 °C temperatur kondensor : 35°C.

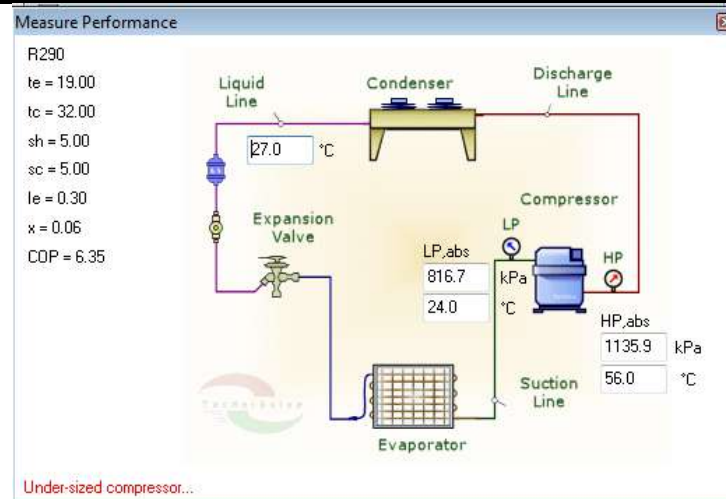


Gambar 6 Hasil Kinerja untuk masing-masing komponen pada tekanan suction : 115 psig, temperatur evap : 19.1°C dan Temperatur Kond. : 35°C dengan R-32

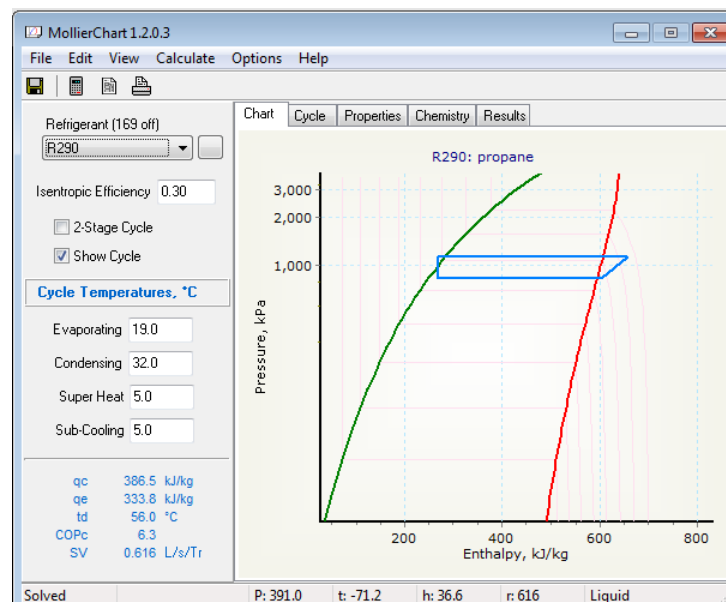


Gambar 7 Hasil kinerja tekanan dan entalpi pada kondisi tekanan suction : 115 psig, temperatur evap : 19.1°C dan temperatur Kondensor : 35°C dengan R-32

- Tekanan suction dengan menggunakan R-290: 75 Psig temperatur evaporator: 19.0 °C temperatur kondensor : 32°C.



Gambar 8 Hasil kinerja untuk masing-masing komponen pada tekanan suction : 75 psig, temperatur evap : 19.0°C dan Temperatur Kondensor : 32°C dengan R-290



Gambar 9 Hasil kinerja tekanan dan entalpi pada kondisi tekanan suction : 75 psig, temperatur evap : 19.0°C dan temperatur Kondensor : 32°C dengan R-290

Setelah dilakukan pengambilan data selanjutnya akan dilakukan analisis kinerja dari masing-masing bagian dan komponen utama sesuai dengan referensi dari diagram kompresi uap dan mengacu pada teori sistem refrigerasi kompresi uap. Analisis yang akan dilakukan adalah :

- Pada komponen kompresor (tekanan suction, discharge, rasio kompresi, amper starting dan running).
- Pada komponen Kondensor (proses kondensasi, suhu kondensor dan entalphi/kalor pada proses kondensasi).
- Pada pipa kapiler (proses ekspansi, kalor dan entalpi pada proses ekspansi).
- Pada evaporator suhu evap, fungsi sensor, kalor/entalphi evaporasi).
- Kinerja sistem pendingin (efek refrigerasi, kerja kompresi, kalor kondensasi, kalor Ekspansi, COP, efisiensi konsumsi listrik).

Pada kinerja kompresor terjadi penurunan tekanan dari 115 Psig menjadi 75 Psig dari efek penurunan tekanan ini kompresor menjadi lebih ringan kerjanya dibandingkan dengan menggunakan R-32. Hal ini akan mempengaruhi konsumsi listrik dan membuat kompresor menjadi lebih awet.

Tabel 1 Hasil kinerja R-32 dan R-290 (*propane*)

Parameter	R-32	R-290(Propane)	Keterangan
Tekanan Suction (Psig)	115	75	40 Psig
Tekanan Discharge (Psig)	400	180	220 Psig
Rasio kompresi	3.5	2.4	1.1
Temperatur Evaporator (°C)	19.1	19.0	0.1°C
Efek refrigerasi (kJ/kg)	267.9	333.8	53.9 kJ/kg
Kerja kompresi (kJ/kg)	54.7	52.98	1.98 kJ/kg
COP	4.9	6.3	1.4
Kuat Arus Listrik (Amper)	3.5	2.3	hemat 34.3 %

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan dapat kami simpulkan sebagai berikut :

- Pencapaian pendinginan rata-rata pada blower evaporator di daerah indoor unit untuk R-32 : 19.1°C dan R-290 19.0°C , 0.1°C lebih rendah.
- Coefficient of performance* (COP) untuk R-32 : 4.9 dan R-290 : 6.3, 1.4 lebih tinggi.
- Perbedaan konsumsi listrik dilihat melalui kuat arusnya terdapat selisih : 1.2 dari R-32 : 3.5 dan R-290 : 2.3 jadi dapat menurunkan konsumsi listrik sebesar : 34.3%.
- Untuk menjaga kestabilan lingkungan atmosfer sangat dibutuhkan penggunaan refrigeran Non ODP dan GWP.

DAFTAR PUSTAKA

- Arora, C. P, Refrigeration and Air Conditioning, Mc.Graw-Hill International Editions, Second Edition, 2001.
- SNI-06-6500-2000, Refrigeran: Penggunaan pada Instalasi Tetap
- ASHRAE HANDBOOK, REFRIGERATION, System and Application, 1994

SUBMISSION 33

Pemanfaatan Tetes Tebu untuk Pembuatan Bioetanol sebagai Campuran Bahan Bakar Sepeda Motor 125 cc

I Gede Eka Lesmana, Rovida Camalia H, Antonius Rizki A. Sulistyio
Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

Abstrak. Cadangan energi fosil semakin hari semakin berkurang, sedangkan kebutuhan BBM terus meningkat. Untuk mencukupi kebutuhan bahan bakar yang terbarukan nantinya, dapat dikembangkan bahan bakar alternatif, salah satunya adalah gasohol. Oleh karena itu pengembangan dan penelitian tentang bioetanol yang merupakan bahan campuran gasohol sangat diperlukan. Bioetanol yang diproduksi dari bahan dasar yang mengandung glukosa, yaitu limbah tetes tebu (molases). Produksi bioetanol dengan menggunakan metode fermentasi menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae*, metode destilasi untuk memisahkan air dan alkohol hingga menghasilkan bioetanol dengan kadar alkohol yang diinginkan. Kemudian dari hasil produksi bioetanol dilakukan penelitian pada sepeda motor Yamaha Fino 125 cc dengan bahan bakar Pertalite dan campuran bioetanol E5, E15 dan E25. Untuk mendapatkan hasil yang akurat, penelitian dilakukan di atas *chasis dynamometer*. Dimana dari hasil penelitian diharapkan dapat diketahui torsi dan daya mesin. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa penggunaan campuran bahan bakar pertalite dan bioetanol menghasilkan kenaikan torsi dan daya pada sepeda motor hal ini terbukti dengan Torsi tertinggi dicapai campuran bahan bakar E25 dengan 8.76 Nm pada putaran 6000 rpm dan daya mesin sebesar 6.33 kW pada putaran 8000 rpm.

Kata kunci—*bioetanol; saccharomyces cerevisiae; tetes tebu; uji kerja mesin*

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan Rencana Induk Penelitian Universitas Pancasila yang mengacu pada Rencana Strategis Universitas Pancasila berisikan rencana penelitian unggulan untuk mendukung agenda riset nasional. Penelitian unggulan tersebut meliputi pengembangan teknologi obat-obatan berbahan alami, pengembangan energi baru dan terbarukan dan pengembangan teknologi transportasi *city car* yang efisien dan ramah lingkungan. Pada kesempatan ini, penelitian yang akan dilakukan adalah mengenai pengembangan energi baru dan terbarukan dengan topik riset yang diambil adalah bioetanol.

Sesuai buku putih penelitian, pengembangan dan penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi bidang sumber energi baru dan terbarukan untuk mendukung keamanan ketersediaan energi tahun 2025 Kemenristek [1] pemanfaatan bioetanol merupakan bagian dari 5% target pembangunan, peran energi lainnya seperti energi batu bara, gas alam, minyak bumi, nuklir dan panas bumi yang akan habis sehingga penyediaan energi keterbauran nasional perlu dipertimbangkan untuk dapat dikembangkan. Kebijakan ini sangat beralasan mengingat bahan baku untuk pembuatan bioethanol di Indonesia yang besar dan jumlah pemanfaatan bioetanol yang masih sangat terbatas. Disebutkan di dalam *road map* pengembangan bioetanol tahap ketiganya, antara tahun 2016 – 2025, penggunaan gasohol sudah harus dilakukan untuk transportasi umum di seluruh wilayah Indonesia.

Langkah ini tentu membutuhkan dukungan kegiatan dan sarana penelitian yang memadai. Berbagai penelitian produksi bioetanol telah dilakukan, Hargono dkk [2] yang membahas tentang pembuatan bioetanol grade bahan bakar dari bahan baku umbi gadung melalui proses fermentasi dan destilasi-dehidrasi, Fenty Nurtyastuti Eka Pertiwi dkk [3] yang membahas tentang produksi etanol dari tetes tebu oleh *Saccharomyces cerevisiae* pembentuk flok (NRRL – Y 256), Siti Lusi Arum Sari dkk [4] yang membahas tentang produksi bioetanol dari jerami padi (*Oryza sativa*) melalui hidrolisis asam dan fermentasi dengan *Saccharomyces cerevisiae*, dan N. Nurhayati dkk [5] yang membahas tentang produksi bioetanol oleh *Saccharomyces cerevisiae* FNCC 3210 pada media molases dengan kecepatan agitasi dan aerasi yang berbeda.

Penelitian yang membahas tentang analisa campuran bahan bakar dan bioetanol juga telah banyak dilakukan seperti penelitian yang dilakukan oleh Devanda Bayu Prasetyo dkk [6] yang membahas tentang

pemakaian gasohol sebagai bahan bakar pada kendaraan bermotor, Ruri Octaviani, dkk [7] yang membahas tentang pengaruh penambahan bioetanol terhadap konsentrasi emisi gas buang HC, CO dan CO₂ pada motor 2 langkah.

Untuk memfokuskan pembahasan pada penelitian ini maka ruang lingkup pembahasannya adalah sebagai berikut :

1. Produksi bioetanol dari tetes tebu dengan metode fermentasi dengan ragi *saccharomyces cerevisiae* dan metode destilasi.
2. Kendaraan yang digunakan pada pengujian adalah Yamaha Fino 125 cc.
3. Campuran bahan bakar yang digunakan adalah 5% bioetanol dan Peralite, 15% bioetanol dan Peralite serta 25% bioetanol dan Peralite.
4. Pengujian dilakukan pada *chasis dynamometer*.

Adapun tujuan yang ingin didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui cara pembuatan/produksi bioetanol.
2. Mengetahui pengaruh campuran bahan bakar peralite dan bioetanol terhadap daya dan torsi sepeda motor

2. METODE PENELITIAN

a. Produksi bioetanol

Bahan

Ragi *Saccharomyces cerevisiae*, tetes tebu (molases), air.

Alat

Tabung erlenmeyer 1000 ml & 250 ml, sumbat karet, selang silikon, pemanas, labu destilasi, kondensor leibig, gelas ukur, selang karet, dasar statif, batang statif, termometer, corong gelas.

Persiapan Tetes Tebu

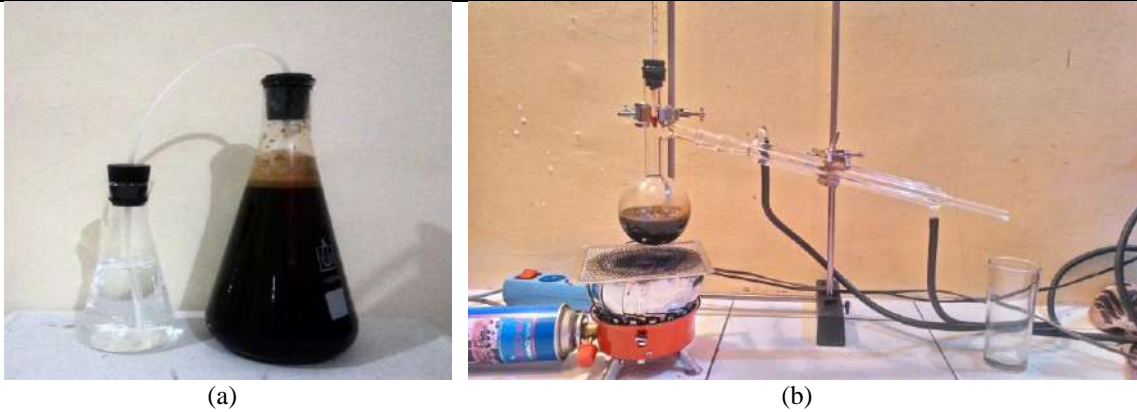
Tetes tebu diencerkan dengan penambahan air yang bertujuan untuk menurunkan kandungan gula dalam tetes tebu menjadi 15% kemudian dipanaskan pada suhu 90°C selama 5 menit guna mempercepat pelarutan gula dalam air.

Proses Fermentasi

Dalam tabung erlenmeyer 1 liter terdapat 15% larutan tetes tebu dan 85% air lalu ditambahkan ragi sebanyak 22 gram. Pada tabung erlenmeyer 250 ml diisi dengan air. Untuk menjaga proses fermentasi dalam keadaan anaerob tabung ditutup dengan sumbat karet. Pada erlenmeyer 1 liter, selang tidak ditenggelamkan pada larutan sedangkan pada erlenmeyer 250 ml selang ditenggelamkan. Rangkaian fermentasi seperti terlihat pada Gambar 1 (a). Indikator bahwa proses fermentasi berlangsung adalah adanya gelembung udara CO₂ yang keluar pada erlenmeyer 250ml. Apabila sudah tidak keluar gelembung udara, maka proses fermentasi telah selesai.

Proses Destilasi

Metode destilasi dilakukan untuk memisahkan air dengan alkohol yang telah terbentuk pada proses fermentasi. Proses destilasi dapat dilakukan berkali-kali sampai dengan mendapat kadar alkohol yang diinginkan. Prinsip kerja destilasi adalah perbedaan titik didih antara air dan alkohol. Titik didih air adalah 100°C dan titik didih alkohol adalah 78°C. Dengan menjaga suhu pemanasan berkisar 78°C maka yang menguap adalah alkohol. Alkohol yang menguap selanjutnya didinginkan pada pipa kondensor sehingga didapatkan alkohol yang telah dimurnikan. Rangkaian destilasi seperti terlihat pada Gambar 1 (b).



Gambar 1 : (a) Rangkaian fermentasi; (b) Rangkaian destilasi

b. Pengujian pada Kendaraan

Tempat Pengujian

Pengujian mesin dilakukan di Bengkel Bintang Racing Team Sentul, Bogor.

Variabel Penelitian

Variabel bebas atau variabel yang mempengaruhi atau menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat dalam penelitian ini adalah bahan bakar E0 (pertalite murni), bahan bakar E5 (campuran bahan bakar 5% bioetanol dan 95% pertalite), bahan bakar E15 (campuran bahan bakar 15% bioetanol dan 85% pertalite dan bahan bakar E25 (campuran 25% bioetanol dan 75% pertalite).

Sedangkan variabel kontrol atau variable yang dikendalikan dalam penelitian ini adalah Yamaha Fino 125 cc, range putaran dari 5000 rpm – 9500 rpm dan pengujian dilakukan dengan beban penuh (*full open throttle valve*).

Untuk variabel terikat pada penelitian ini meliputi torsi dan daya mesin

c. Prosedur Penelitian

1) *Pengujian Kinerja Mesin* : Hal pertama yang dilakukan sebelum dilakukan pengujian adalah persiapan terhadap bahan bakar yang telah dicampur sesuai dengan variabel bebas yang telah ditentukan. Setelah itu persiapan pada sepeda motor yaitu melepas *cover body* sepeda motor bagian tengah supaya mempermudah proses pendinginan mesin. Tahap selanjutnya menaikkan sepeda motor pada *chasis dynamometer* dan ikat dengan tali pengikat.

Siapkan peralatan pendukung seperti, *blower* pendingin, sensor putaran mesin. Setelah itu hidupkan *software dynojet chasis dynamometer* lalu masukkan data sepeda motor pada *software* tersebut lalu pilih range putaran mesin disesuaikan dengan variable kontrol yang telah ditentukan.



Gambar 2 : (a) Pengikatan sepeda motor pada *chasis dynamometer* ; (b) Pemasangan sensor

- 2) *Pengujian torsi dan daya mesin* : pada tahap ini mesin kendaraan dihidupkan hingga suhu 80°C diikuti dengan menghidupkan *blower* pendingin. Buka *throttle valve* hingga putaran mesin 5000 rpm lalu tekan tombol *switch* untuk melakukan perekaman data. Lakukan akselerasi dari 5000 rpm sampai dengan didapatkan putaran maksimal 9500 rpm. Setelah selesai tekan tombol *switch* untuk mengakhiri perekaman data. Lalu menurunkan putaran mesin hingga idle. Lakukan penyimpanan data dan mencetak hasil pengujian. Lakukan percobaan tersebut berulang sebanyak 5 kali pengulangan pada masing-masing variabel bebas yang telah ditentukan.



Gambar 3 : Pengujian sepeda motor pada *chasis dynamometer*

- 3) *Akhir pengujian* : biarkan mesin pada putaran *idle*, lalu matikan *blower* pendingin, *chasis dynamometer* dan yang terakhir matikan mesin kendaraan.

d. Analisis Data

Analisis data dapat dilakukan dengan metode deskriptif, yaitu dengan mendeskripsikan atau menggambarkan secara sistematis, faktual dan akurat mengenai data/hasil yang diperoleh selama pengujian. Data hasil penelitian yang diperoleh dimasukkan kedalam tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Selanjutnya dijelaskan dengan kalimat sederhana sehingga mudah dipahami untuk mendapatkan jawaban dari permasalahan yang diteliti.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Produksi Bioetanol

Proses fermentasi berlangsung selama 14 hari (2 minggu) hal ini ditandai dengan berhentinya gelembung udara (gas CO₂) yang keluar. Setelah itu dilanjutkan proses pemurnian alkohol dengan metode destilasi. Proses pemurnian tersebut berlangsung beberapa kali hingga didapatkan kadar alkohol 90%. Hasil pemurnian alkohol dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kondisi bahan baku, lama dan suhu pemanasan pada proses Destilasi

Tahap Destilasi	Bahan Olah		Suhu Tangki penguapan (°C)	Lama Pemanasan (jam)	Destilasi	
	Volume (ml)	Kadar Etanol (%)			Volume (ml)	Kadar etanol (%)
1	1000	0	95	3	800	15
2	800	15	92-95	4	650	35
3	650	35	87-92	5	500	48
4	500	48	85-87	5	400	60
5	400	60	82-85	5	220	78
6	220	78	78-82	6	110	89

Pengujian tersebut didasarkan pada tiap 1000 ml larutan yang telah difermentasi. Dari 1000 ml tersebut dihasilkan kadar etanol 89% dari 6 tahapan proses destilasi.

a. Hasil pengujian pada sepeda motor

Hasil pengujian performa mesin dari campuran bahan bakar Pertalite dan bioetanol tetes tebu dengan menggunakan sepeda motor Yamaha Fino 125 cc yang meliputi torsi dan daya mesin adalah sebagai berikut :

1) Hasil pengujian daya mesin

Tabel 2 Hasil pengujian daya mesin

Putaran (rpm)	Daya (kW)			
	E0	E5	E15	E25
5000	3.95	4.07	4.20	3.61
5500	4.82	4.67	4.65	4.51
6000	5.12	5.15	5.27	5.28
6500	5.49	5.52	5.63	5.67
7000	5.72	5.81	5.86	5.91
7500	5.73	5.85	5.95	6.03
8000	5.91	6.03	6.16	6.33
8500	5.88	5.98	6.11	6.28
9000	5.55	5.67	5.76	5.87
9500	5.01	5.16	5.30	5.36

2) Hasil pengujian torsi

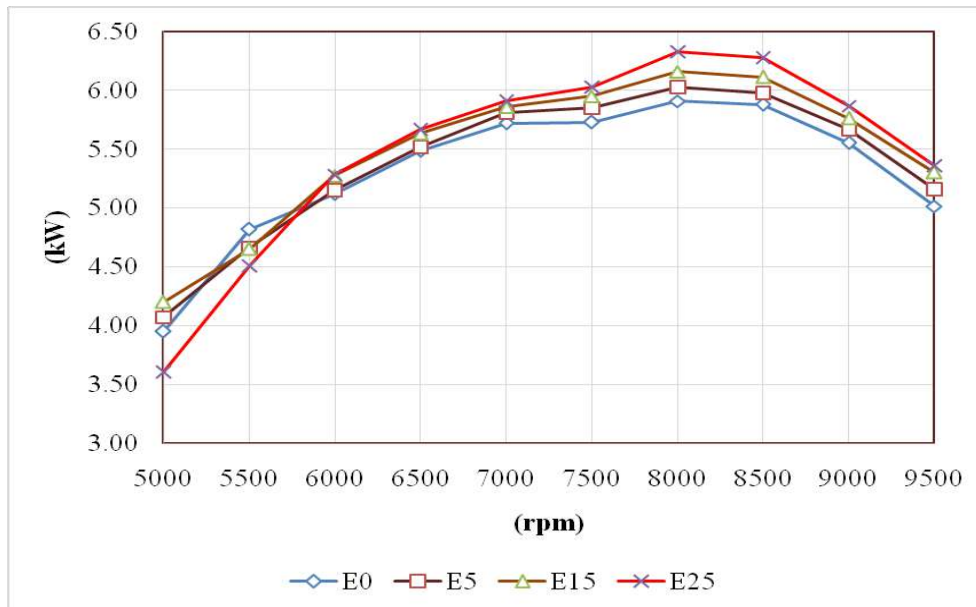
Tabel 3 Hasil Pengujian Torsi

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)			
	E0	E5	E15	E25
5000	7.64	7.44	7.62	6.54
5500	8.04	8.12	8.00	7.62
6000	8.10	8.23	8.39	8.76
6500	8.02	8.05	8.26	8.35
7000	7.73	7.86	7.96	8.02
7500	7.24	7.45	7.53	7.72
8000	7.13	7.24	7.32	7.22
8500	6.79	6.77	6.92	6.96
9000	5.95	6.05	6.19	6.20
9500	5.15	5.22	5.36	5.37

b. Analisa hasil pengujian

1) Analisa hasil pengujian daya mesin

Dari data pada Tabel 2 apabila dikonversi menjadi grafik, maka dihasilkan grafik seperti di bawah ini :



Gambar 4 Grafik perbandingan daya mesin terhadap putaran

Dari grafik pada Gambar 4 : dapat dilihat bahwa daya meningkat pada setiap penambahan kecepatan putaran, namun pada titik tertentu daya akan menurun. Rata-rata daya maksimal dihasilkan pada putaran 8000 rpm. Pada bahan bakar Pertalite murni (E0) menghasilkan daya maksimal sebesar 5.91 kW, pada bahan bakar E5 menghasilkan daya maksimal sebesar 6.03 kW, pada bahan bakar E15 menghasilkan daya maksimal sebesar 6.16 kW dan pada bahan bakar E25 menghasilkan daya maksimal sebesar 6.33 kW. Dari data tersebut didapatkan bahwa daya maksimal yang dihasilkan dari bahan bakar E25 pada putaran 8000 rpm.

Untuk mengetahui besarnya presentase atau perbandingan antara Pertalite murni (E0) dengan bahan bakar campuran (Ex) maka, dari data yang dihasilkan pada Tabel 2, kemudian dihitung perubahan dayanya, sebagai contoh diambil nilai perubahan E5 terhadap E0 pada putaran 5000 rpm, berikut contoh perhitungannya :

$$\begin{aligned} \Delta E5\% &= \frac{\text{Daya E5} - \text{Daya E0}}{\text{Daya E0}} \times 100\% \\ \Delta E5\% &= \frac{4.07 - 3.95}{3.95} \times 100\% \\ \Delta E5\% &= \frac{0.09}{3.95} \times 100\% \\ \Delta E5\% &= 0.03037 \times 100\% \\ \Delta E5\% &= 3.04\% \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan tersebut, apabila dihitung pada campuran bahan bakar yang lain pada masing-masing putaran maka dihasilkan data seperti pada Tabel 4 :

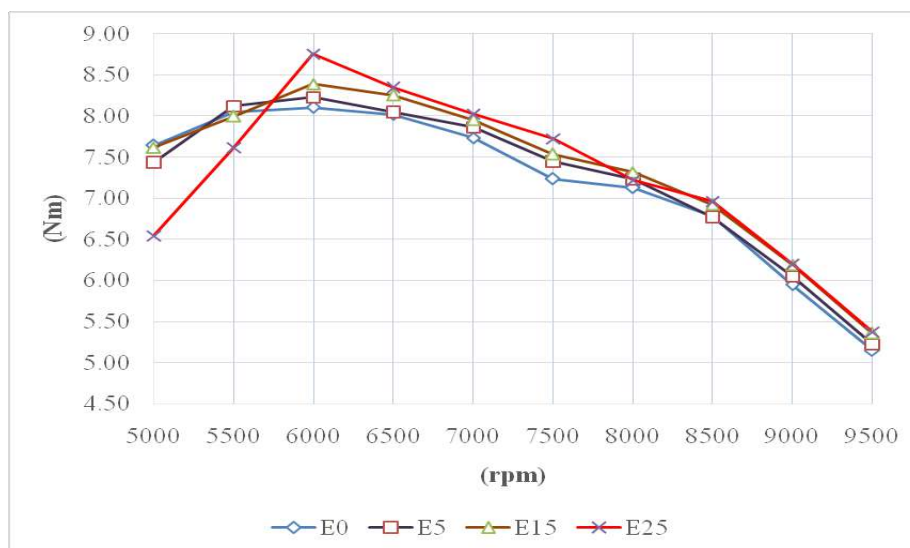
Tabel 4 Hasil Perhitungan Perubahan Daya

Putaran (rpm)	Daya (kW)				Perubahan Daya ($\Delta\%$)		
	E0	E5	E15	E25	E5	E15	E25
5000	3.95	4.07	4.20	3.61	3.04	6.34	-8.66
5500	4.82	4.67	4.65	4.51	-3.18	-3.49	-6.44
6000	5.12	5.15	5.27	5.28	0.67	3.02	3.17
6500	5.49	5.52	5.63	5.67	0.60	2.65	3.34
7000	5.72	5.81	5.86	5.91	1.65	2.44	3.36
7500	5.73	5.85	5.95	6.03	2.09	3.80	5.24
8000	5.91	6.03	6.16	6.33	2.08	4.24	7.16
8500	5.88	5.98	6.11	6.28	1.66	3.95	6.76
9000	5.55	5.67	5.76	5.87	2.13	3.76	5.65
9500	5.01	5.16	5.30	5.36	2.93	5.77	6.97
Rata-rata					1.37	3.25	2.65

Pada Tabel 4 dapat dilihat, bahwa secara umum terdapat peningkatan pada pemakaian bahan bakar dengan campuran bioetanol. Pada bahan bakar E5 nilai rata-rata peningkatannya adalah 1.37%, untuk bahan bakar E15 terdapat rata-rata peningkatan 3.25%, sedangkan pada bahan bakar E25 terdapat rata-rata peningkatan 2.65%.

2) Analisa hasil pengujian torsi

Dari data pada Tabel 3 apabila dikonversi menjadi grafik, maka dihasilkan grafik seperti di bawah ini :



Gambar 5 Grafik perbandingan torsi terhadap putaran

Dari grafik pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa kenaikan torsi terjadi antara putaran 5000 rpm sampai 6000 rpm, setelah itu terjadi penurunan torsi. Torsi maksimal dihasilkan pada putaran 6000 rpm, bahan bakar Pertalite murni (E0) menghasilkan torsi maksimal sebesar 8.10 Nm, bahan bakar E5 menghasilkan torsi sebesar 8.23 Nm, bahan bakar E15 menghasilkan torsi sebesar 8.39 Nm dan pada bahan bakar E25 menghasilkan torsi sebesar 8.76 Nm. Dari data tersebut didapatkan hasil bahwa daya maksimal dihasilkan dari bahan bakar E25 pada putaran 6000 rpm.

Untuk mengetahui besarnya presentase atau perbandingan antara Pertalite murni (E0) dengan bahan bakar campuran (Ex) maka, dari data yang dihasilkan pada Tabel IV-6, kemudian dihitung perubahan dayanya, sebagai contoh diambil nilai perubahan E25 terhadap E0 pada putaran 5000 rpm, berikut contoh perhitungannya :

$$\begin{aligned}\Delta E25\% &= \frac{Torsi E25 - Torsi E0}{Torsi E0} \times 100\% \\ \Delta E25\% &= \frac{6.54 - 7.64}{7.64} \times 100\% \\ \Delta E25\% &= \frac{-1.1}{7.64} \times 100\% \\ \Delta E25\% &= -0.1439 \times 100\% \\ \Delta E25\% &= -14.41\%\end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan tersebut, apabila dihitung pada campuran bahan bakar yang lain pada masing-masing putaran maka dihasilkan data seperti pada Tabel 5 :

Tabel 5 Hasil Perhitungan Perubahan Torsi

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)				Perubahan Torsi ($\Delta\%$)		
	E0	E5	E15	E25	E5	E15	E25
5000	7.64	7.44	7.62	6.54	-2.67	-0.36	-14.41
5500	8.04	8.12	8.00	7.62	0.95	-0.57	-5.31
6000	8.10	8.23	8.39	8.76	1.54	3.56	8.06
6500	8.02	8.05	8.26	8.35	0.37	2.92	4.10
7000	7.73	7.86	7.96	8.02	1.65	2.88	3.76
7500	7.24	7.45	7.53	7.72	2.97	4.10	6.73
8000	7.13	7.24	7.32	7.22	1.53	2.67	1.34
8500	6.79	6.77	6.92	6.96	-0.20	2.00	2.61
9000	5.95	6.05	6.19	6.20	1.78	4.07	4.30
9500	5.15	5.22	5.36	5.37	1.43	4.07	4.33
Rata-rata					0.94	2.53	1.55

Dari Tabel 5 dapat dilihat, bahwa secara umum terdapat peningkatan pada pemakaian bahan bakar dengan campuran bioetanol. Pada bahan bakar E5 nilai rata-rata peningkatannya adalah 0.94%, untuk bahan bakar E15 terdapat rata-rata peningkatan 2.53%, sedangkan pada bahan bakar E25 terdapat rata-rata peningkatan 1.55%.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

1. Penggunaan campuran bioetanol pada bahan bakar Pertalite dapat meningkatkan torsi, hal ini ditunjukkan dari hasil pengujian yang menunjukkan adanya peningkatan torsi pada setiap penambahan komposisi campuran. Dari hasil pengujian torsi maksimal dihasilkan oleh bahan bakar E25 dengan torsi sebesar 6.44 Nm pada putaran 6000 rpm.
2. Penggunaan campuran bioetanol pada bahan bakar Pertalite juga dapat meningkatkan daya mesin, hal ini ditunjukkan dari hasil pengujian yang menunjukkan adanya peningkatan daya mesin pada setiap penambahan komposisi campuran. Dari hasil pengujian daya maksimal dihasilkan oleh bahan bakar E25 dengan daya sebesar 6.33 kW pada putaran 8000 rpm.

b. Saran

1. Pada tahap produksi bioetanol sebaiknya ditambahkan satu metode lagi yaitu metode dehidrasi baik dengan menggunakan mineral zeolit maupun menggunakan silica gel supaya dapat dihasilkan kadar etanol yang lebih tinggi.
2. Pada penelitian ini penulis menggunakan pemanas berupa kompor gas portabel, untuk mendapatkan suhu yang lebih stabil penulis menyarankan untuk menggunakan pemanas yang dapat diatur suhunya dengan lebih stabil.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, Buku Putih Penelitian Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi 2025, Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia, Jakarta, (2006).
2. Hargono, Agnes Kinanthi Nugraheni, Lazuardy R. Zakaria., Pembuatan Bioetanol Grade Bahan Bakar dari Bahan Baku Umbi Gadung melalui Proses Fermentasi dan Distilasi-Dehidrasi, *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, Vol. 2 No. 3, hal 163-169, (2013).
3. Fenty Nurtyastuti Eka Pertiwi, Agustin Krisna Wardani, Produksi Etanol dari Tetes Tebu oleh *Saccharomyces cerevisiae* Pembentuk Flok (NRRL – Y 265), *Agritech*, Vol. 33 No. 2, (2013).
4. Siti Lusi Arum Sari, Sri Kusumastuti Hayuningtyas, Sunarto, Produksi Bioetanol dari Jerami Padi (*Oryza sativa*) melalui Hidrolisis Asam dan Fermentasi dengan *Saccharomyces cerevisiae*, *Bioteknologi 11 (1): 1-4*, ISSN: 0216-6887, (2014).
5. N. Nurhayati, Iga Vivin Noorvita, J. Jayus. Produksi Bioetanol oleh *Saccharomyces cerevisiae* FNCC 3210 pada Media Molases dengan Kecepatan Agitasi dan Aerasi yang Berbeda, *Jurnal Agroteknologi* Vol. 10 No. 02, (2016).
6. Devanta Bayu Prasetyo, Fajar Patriayudha, Pemakaian Gasohol sebagai Bahan Bakar pada Kendaraan Bermotor, (2009).
7. Ruri Octaviani, Moh Irsyad, Iman Kartolaksono Reksowardjojo, Pengaruh Penambahan Bioetanol terhadap Konsentrasi Emisi Gas Buang HC, CO dan CO₂ pada Motor 2 Langkah, *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 16 No. 2, (2010).

SUBMISSION 38

Desain Desalinasi Air Laut Berbentuk Piramida dan Berbasis Energi Surya

Budhi Muliawan Suyitno, I Gede Eka Lesmana, Ikhsan Widantara
Universitas Pancasila, Fakultas Teknik, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12640, Indonesia

Abstrak. Indonesia adalah negara kepulauan yang dikelilingi oleh laut, begitu banyak air yang melimpah akan tetapi masih terdapat daerah yang sulit air untuk keperluan air tawar atau air minum. Melimpahnya sinar matahari yang menyinari kepulauan Indonesia hampir sepanjang tahun dapat digunakan sebagai sumber energi. Bentuk pemanfaatan sumber daya matahari adalah upaya memanfaatkan energi matahari untuk memproduksi air tawar dengan memanfaatkan energi panas dari matahari untuk penyulingan air laut. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat alat desalinasi air laut yang dapat digunakan untuk penjernihan atau pemurnian air dengan memanfaatkan energi matahari dan melakukan uji kinerja alat yang dirancang. Perancangan alat terdiri dari kotak distiller dengan plat absorber dan kain yang terdapat didalamnya. Penelitian ini berkonsentrasi dalam kemampuan desalinasi dalam menyerap energi kalor matahari dan penggunaan energi kalor tersebut dalam proses kondensasi guna memproduksi air tawar. Radiasi dari sinar matahari akan memancarkan panas melalui akrilik kemudian dipancarkan pada kain hitam sehingga menjadi uap dan terkondensasi menjadi air tawar. Alat yang dirancang berukuran 600 mm × 500 mm dengan bentuk piramida. Dalam perancangan alat yang dipilih adalah berbentuk piramida karena bisa menyerap matahari dari berbagai sudut tanpa harus memperhitungkan kemiringan.

Kata kunci—Desalinasi, Piramida, Air Tawar.

1. 1. PENDAHULUAN

Semakin meningkatnya populasi, semakin besar pula kebutuhan akan air minum. Sehingga ketersediaan air bersih pun semakin berkurang. Seperti yang disampaikan Jacques Diouf, Direktur Jenderal Organisasi Pangan dan Pertanian Dunia (FAO), saat ini penggunaan air di dunia naik dua kali lipat lebih dibandingkan dengan seabad silam, namun ketersediaannya justru menurun. Akibatnya, terjadi kelangkaan air yang harus ditanggung oleh lebih dari 40 persen penduduk bumi. Kondisi ini akan kian parah menjelang tahun 2025 karena 1,8 miliar orang akan tinggal di kawasan yang mengalami kelangkaan air secara absolut. Kekurangan air telah berdampak negatif terhadap semua sektor, termasuk kesehatan. Tanpa akses air minum yang higienis mengakibatkan 3.800 anak meninggal tiap hari oleh penyakit.

Dengan jumlah penduduk mencapai lebih 200 juta, kebutuhan air bersih di Indonesia menjadi semakin mendesak. Kecenderungan konsumsi air diperkirakan terus naik hingga 15-35 persen per kapita per tahun. Sedangkan ketersediaan air bersih cenderung melambat (berkurang) akibat kerusakan alam dan pencemaran. Menurut LIPI, kebutuhan air untuk industri akan melonjak sebesar 700% pada 2025. Untuk perumahan naik rata-rata 65% dan untuk produksi pangan naik 100%. Pada tahun 2000, untuk berbagai keperluan di Pulau Jawa diperlukan setidaknya 83,378 miliar meter kubik air bersih. Sedangkan potensi ketersediaan air, baik air tanah maupun air permukaan hanya 30,595 milyar.

Desalinasi yang berdasarkan energi terbarukan ialah tipe desalinasi secara langsung, yakni hanya melibatkan energi radiasi matahari. Metode ini dapat dikatakan efisien karena dalam operasionalnya hanya menggunakan energi yang bersumber pada matahari dan tidak diperlukan energi listrik sebagai energi tambahan sehingga kita dapat menghemat pemakaian energi listrik. Selain itu, sumber energi yang berasal dari energi matahari memiliki kuantitas yang tidak terbatas dan tersedia secara terus menerus.

Perancangan teknologi desalinasi yang memanfaatkan sumber energi matahari secara efisien dan memiliki harga terjangkau untuk masyarakat sangatlah diperlukan. Proses penelitian desalinasi ini telah diteliti oleh para peneliti sebelumnya dengan menggunakan metode plat datar dengan tipe kaca maupun akrilik dengan tipe penutup miring. Dari penelitian tersebut ada beberapa hal yang harus dioptimalkan, maka dari itu pada penelitian ini akan menguji desalinasi air laut menggunakan bentuk cover piramida, untuk menghasilkan air bersih yang lebih optimal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

a. Desalinasi

Desalinasi adalah proses pemisahan yang digunakan untuk mengurangi kandungan garam terlarut dari air garam hingga level tertentu sehingga air dapat digunakan. Proses desalinasi yang umum diketahui dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu dengan menggunakan energi thermal atau energi panas, menggunakan membran, dan menggunakan energi baru terbarukan.



1) Gambar 2.1 Input, proses, dan output utama desalinasi energi surya

b. Perpindahan Kalor

Cara perpindahan kalor yang terjadi antar zat dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Perpindahan kalor bergerak dari zat yang temperaturnya lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah sampai mencapai keadaan setimbang[5].

c. Konduksi

Perpindahan kalor konduksi, panas berpindah dari zat padat ke zat padat lain. Konduksi memiliki persamaan :

$$q = -k \times A \times \left(\frac{\Delta T}{\Delta x}\right) \quad (1)$$

Dimana,

q = laju perpindahan panas (*Watt*)

$-k$ = konduktivitas panas (W/mK)

A = luas perpindahan panas (m^2)

ΔT = perbedaan temperatur (K)

Δx = jarak (m)

d. Konveksi

Perpindahan kalor konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitarnya. Konveksi memiliki persamaan :

$$q = h \times A \times \Delta T \quad (2)$$

Dimana,

h = koefisien konveksi material (W/m^2K)

A = luas penampang permukaan (m^2)

ΔT = perbedaan temperatur (K)

e. Radiasi

Radiasi merupakan perpindahan kalor yang terjadi tanpa melalui perantara. Contoh sederhananya adalah perpindahan kalor dari matahari ke bumi melalui ruang hampa di sistem tata surya. Persamaan radiasi yaitu :

$$q = e \times \sigma \times A \times \Delta T^4 \quad (3)$$

Dimana,

e = emisifitas permukaan

σ = konstanta Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ Watt}/m^2K^4$)

A = luas penampang permukaan (m^2)

ΔT = perbedaan temperatur (K)

f. Kalor

Banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikkan atau menurunkan suhu suatu benda bergantung pada:

- massa benda (m)
- Jenis benda atau kalor jenis benda (c)
- Perubahan suhu (ΔT)

Sehingga secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = m \times c \times (T_2 - T_1) \quad (4)$$

Dimana :

Q = kalor yang dibutuhkan (J)

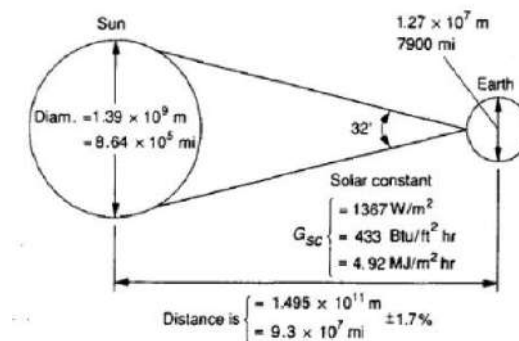
m = masa benda (kg)

c = kalor jenis (J/kgK)

ΔT = perubahan suhu ($^{\circ}C$)

g. Radiasi Matahari

Jarak eksentrisnya dari lintasan bumi adalah jarak antara matahari dan bumi dengan variasi 1,7%. Dari hasil pengukuran astronomi didapat jarak rata-rata bumi-matahari adalah $1,495 \times 10^{11}$ m dengan sudut kecenderungan matahari 320. Radiasi yang diemisikan oleh matahari dan ruang angkasa yang berhubungan dengannya ke bumi menghasilkan intensitas radiasi matahari yang hampir konstan di luar atmosfer bumi. Konstanta matahari (G_{sc}) adalah energi dari matahari per unit waktu yang diterima pada satu unit luasan permukaan yang tegak lurus arah radiasi matahari pada jarak rata-rata matahari-bumi di luar atmosfer. World Radiation Center (WRC) mengambil nilai konstanta matahari (G_{sc}) sebesar 1367 W/m^2 dengan ketidakpastian sebesar 1% [6].



2) Gambar 2.2 Hubungan antara matahari dan bumi

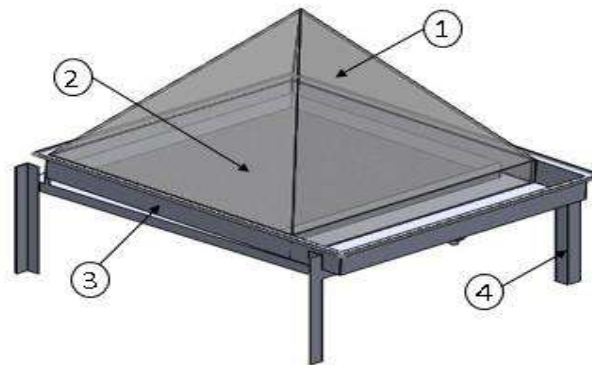
h. Efisiensi

Dari volume air yang dihasilkan, kita dapat menentukan efisiensi air dengan menggunakan 2 cara, yaitu membandingkannya dengan jumlah air laut keseluruhan, dan membandingkannya dengan jumlah air murni yang terkandung dalam air laut [3].

$$Efisiensi = \frac{Volume\ keluar}{Volume\ Masuk} \times 100\%$$

3. METODE PENELITIAN

a. a. Rancangan Alat Uji



3) Gambar 3.1 Alat Desalinasi Air Laut Tenaga Surya

Keterangan Gambar:

1. Cover akrilik piramida
2. Kain penyerap
3. Kotak desalinasi
4. Rangka kaki

b.b. Prinsip Kerja

Pada prinsipnya desalinasi air tenaga surya bekerja sebagai berikut: Air baku ditempatkan dalam suatu wadah tertutup, bagian atas ditutup bahan transparan/tembus cahaya yang mempunyai kemiringan tertentu. Energi surya akan menembus bahan transparan dan akan masuk ke dalam ruangan tertutup dibawahnya, sehingga panas terkumpul dalam ruangan tersebut dan menyebabkan air didalamnya menguap. Uap yang terjadi mengembun pada bagian dalam dari penutup transparan karena ada perbedaan suhu dengan udara luar. Embun tersebut kemudian mengalir pada sepanjang permukaan penutup transparan dan ditampung oleh kanal pada ujung bawah penutup transparan.

Di dalam penelitian ini untuk pengukuran data pada alat dipasang termokopel untuk mengetahui temperatur di lingkungan luar, temperatur absorber, temperatur kondenser, temperatur akrilik, dan temperatur di dalam alat desalinasi.

3. 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mempermudah melakukan analisa maka data hasil pengujian dan perhitungan digambarkan dalam bentuk grafik. Pada penelitian ini penulis mengambil data volume air selama 6 hari. Dari pengambilan data air ini, didapat data sebagai berikut :

4) Tabel 4.1 Hasil Pengujian Alat Desalinasi Berbentuk Plat Datar

Volume Air Masuk	Volume Air Tersuling
3 liter	374,7 ml
4 liter	554,3 ml
6 liter	815,8 ml

5) Tabel 4.2 Hasil Pengujian Alat Desalinasi Berbentuk Piramida

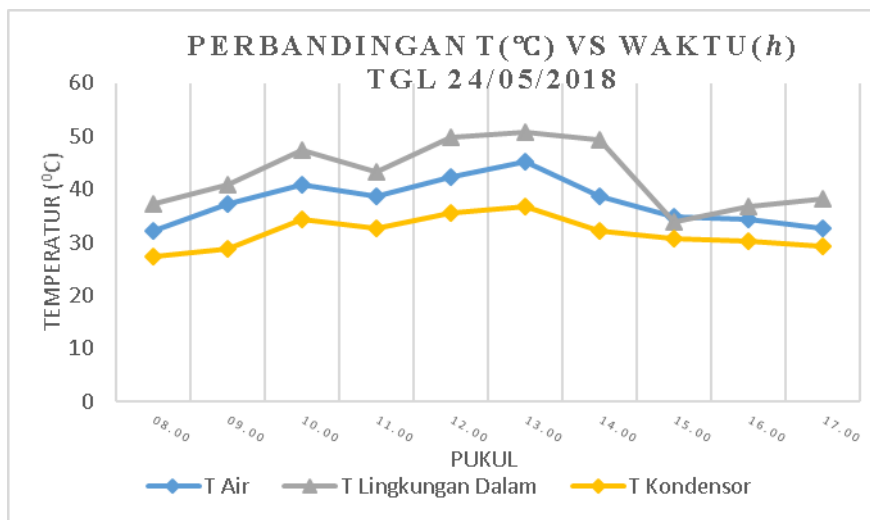
Volume Air Masuk	Volume Air Tersuling
3 liter	435 ml
4 liter	650 ml

6 liter	1250 ml
---------	---------

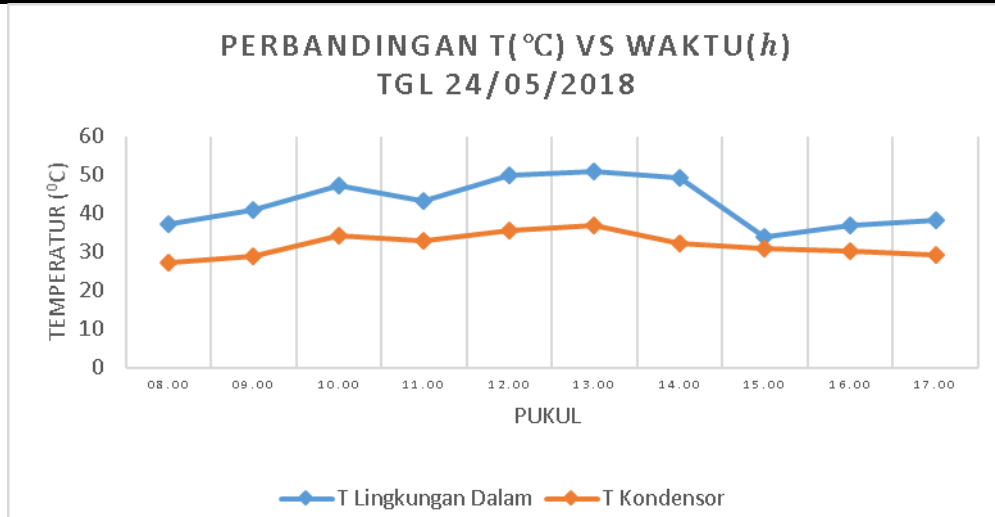
Dari data diatas adalah volume air yang masuk dan volume air yang tersuling selama 6 hari masa pengujian alat. Selain merekam volume air yang dihasilkan dari alat, distribusi temperature juga direkam pada penelitian ini. Berikut ini adalah salah satu data penelitian distibusi temperatur terhadap alat desalinasi yang telah dilakukan selama 6 hari penelitian.

6) Tabel 4.3 Data Pengujian Temperatur Air Dan Temperatur Cover Pada Tanggal 24 Mei 2018 Terhadap Alat Uji Desalinasi

No	Pukul	T_c	T_w	I_T	h_{fg}
		($^{\circ}\text{C}$)	($^{\circ}\text{C}$)	(W/m^2)	(kJ/kg)
1	08.00	27,25	32,25	460,80	2425,17
2	09.00	28,75	37,25	470,08	2412,06
3	10.00	34,25	40,75	505,30	2404,90
4	11.00	32,75	38,75	495,51	2409,67
5	12.00	35,5	42,25	513,57	2401,31
6	13.00	36,75	45,25	521,95	2394,14
7	14.00	32,25	38,75	492,27	2409,67
8	15.00	30,75	34,75	482,67	2419,23
9	16.00	30,25	34,25	479,50	2420,23
10	17.00	29,25	32,25	473,20	2424
Rata-rata		31,775	37,7	489,49	2412,038



7) Gambar 4.1 Grafik Distribusi Temperatur Alat Pada Tanggal 24 Mei 2018



8) Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Temperatur Lingkungan Dalam Dan Temperatur Kondensor Tanggal 24 Mei 2018

Pada Gambar 4.1, dapat dilihat distribusi temperatur pada alat desalinasi ini mengalami kenaikan dan penurunan pada tiap waktunya disebabkan cuaca yang dapat berubah-ubah tiap jamnya. Untuk data temperatur pada tanggal 24 Mei 2018 temperatur maksimum didapat 45,25 (°C) pukul 13.00 WIB dan temperatur minimum pada waktu ke-10 adalah 32,25 (°C) pada kondensor.

Pada Gambar 4.2, dapat dilihat bahwa sejak waktu ke-1 (pukul 08.00) pengambilan data, energi kalor matahari sudah mempengaruhi alat desalinasi solar still. Hal ini terbukti dari suhu lingkungan dalam yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondensor, fenomena ini mengindikasikan bahwa telah ada energy panas (kalor) matahari yang terkumpul didalam ruang kotak desalinasi.

4. 5. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisa data hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap alat desalinasi air laut berbasis tenaga surya.

- Dari hasil pengujian alat dalam waktu 1 hari distiller dapat menghasilkan air dengan volume rata-rata air bersih yang dihasilkan 510 (mL) untuk volume air laut yang masuk sebanyak 3 (L), volume rata-rata air bersih yang dihasilkan 650 (mL) untuk volume air laut yang masuk sebanyak 4,5 (L), dan volume rata-rata air bersih yang dihasilkan 1250 (mL) untuk volume air laut yang masuk sebanyak 6 (L). Hasil dari penelitian ini lebih banyak menghasilkan air bersih dibandingkan penelitian sebelumnya yang menggunakan cover datar.
- Karena bentuk piramida ini menerima cahaya dari sinar matahari lebih banyak dan dari sudut manapun sehingga hasil air bersih yang dihasilkan lebih banyak dan lebih efisien dari bentuk datar.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mulyanef, et al. Pengolahan Air Laut Menjadi Air Bersih Dan Garam Dengan Destilasi Tenaga Surya. Universitas Bung Hatta, Sumatera Barat. (2014).
- [2] Said, Muhammad, et al. Rancang bangun alat pemurni air laut menjadi air minum menggunakan sistem piramida air (green house effect) bagi masyarakat pulau dan pesisir di kota Makassar. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, Sulawesi Selatan. (2016).
- [3] Hasanah, Fatyya. Desalinasi Berbasis Tenaga Surya Untuk Menghasilkan Air Tawar. Universitas Indonesia, Depok. (2016).
- [4] Mulyanef, et al. (2012). *Kaji Eksperimental Untuk Meningkatkan Performasi Destilasi Surya Basin Tiga Tingkat Menggunakan Beberapa Bahan Penyimpan Panas*. Univeritas Bung Hatta, Sumatera Barat
- [5] P, Incropera.. *Fundamental of Heat Transfer and Mass Transfer 6th ed.* John Wiley & Sons. (2006)
- [6] Duffie John A., William A. Beckman. *Solar Engineering of Thermal Processes 4th*. John Wiley & Sons. (2013)

SUBMISSION 39

Analisa Perhitungan Pompa Untuk Kebutuhan Sirkulasi Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Di Pt X

Ir. Rudi Hermawan. MM., MT, Erlanda Augupta Pane, STP., M.si, Handika Nur Faisal

Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

Abstrak

Pada PT X terdapat sistem pengolahan air limbah yang digunakan untuk mengolah limbah dari hasil buangan produksi, tetapi belum ada pompa yang akan digunakan sirkulasi untuk mempercepat proses homogenisasi air limbah pada kolam *Aerasi*. Pada kenyataannya di lapangan belum ada data-data sekunder untuk menentukan spesifikasi pompa tersebut. Tujuan analisa ini adalah untuk mendapatkan kapasitas pompa yang sesuai dengan sistem pada instalasi pengolahan air limbah, dengan penerapan rumus-rumus yang berhubungan dengan sistem pemipaan dan perhitungan pompa. Sistem pemipaan yang dihitung adalah sistem pemipaan dari kolam *Membran Bio Reaktor* dan *Aerasi*. Dalam menentukan jenis dan spesifikasi pompa yang akan digunakan pada sistem sirkulasi tersebut adalah debit air yang dibutuhkan, untuk menentukan kapasitas komponen seperti diameter pipa dan instalasi pemipaannya. Berdasarkan hasil perhitungan, spesifikasi pompa yang diperlukan adalah 40 x 32A2 – 50,75, dan pompa tersebut tidak akan mengalami masalah kavitasi karena nilai *NPSHa* (*Net Positive Suction Head Available*) > *NPSHr* (*Net Positive Suction Head Required*).

Kata kunci-komponen; pengolahan limbah cair; instalasi pengolahan air limbah; sistem pemipaan; pompa sentrifugal; aliran fluida; head pompa; spesifikasi pompa.

1. PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumber kehidupan makhluk hidup di dunia. Sifat alami aliran air adalah mengalir dari tempat tinggi ke tempat rendah. Untuk mengoptimalkan aliran air limbah agar memenuhi kebutuhan pada proses pengolahan limbah, maka diperlukan sistem pemipaan dan pompa yang sesuai, serta efisien. Pada kenyataan dilapangan, belum terdapat data-data sekunder karena tidak adanya alat pengukuran debit air, hal ini juga bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kenyataan efisiensi pada sistem pengolahan limbah tersebut.

a. Sistem Pemipaan

Sistem pemipaan adalah suatu sistem jaringan pipa yang terpasang pada suatu rangkaian yang mempunyai fungsi untuk menyalurkan fluida. Komponen dalam sistem pemipaan meliputi pipa, flange, fitting, pembautan, gasket, valve, dan bagian-bagian dari komponen-komponen yang bertekanan. Berikut komponen sistem pemipaan:

Pipa

Pipa yaitu didefinisikan sebagai lingkaran panjang dari logam, metal, kayu dan seterusnya, yang berfungsi untuk mengalirkan fluida (air, gas, minyak dan cairan lain) dari suatu tempat ke tempat lain sesuai dengan kebutuhan yang dikehendaki.

Nominal Pipe Size (NPS)

Nominal Pipe Size (NPS) adalah penanda ukuran pipa berdimensi. Hal ini menunjukkan standar ukuran pipa, *Diameter Nominal (DN)* merupakan penanda ukuran pipa berdimensi dalam satuan metrik

Flange

Flange adalah sebuah mekanisme, yang menyambungkan antar elemen pemipaan. Fungsi *flange*, agar elemen tersebut lebih mudah dibongkar-pasang tanpa mengurangi kegunaan untuk mengalirkan fluida pada pressure yang tinggi.

Valve

Valve atau katup, adalah sebuah alat untuk mengatur aliran fluida dengan menutup, membuka atau menghambat laju aliran fluida, contoh katup adalah kran air.

Fitting

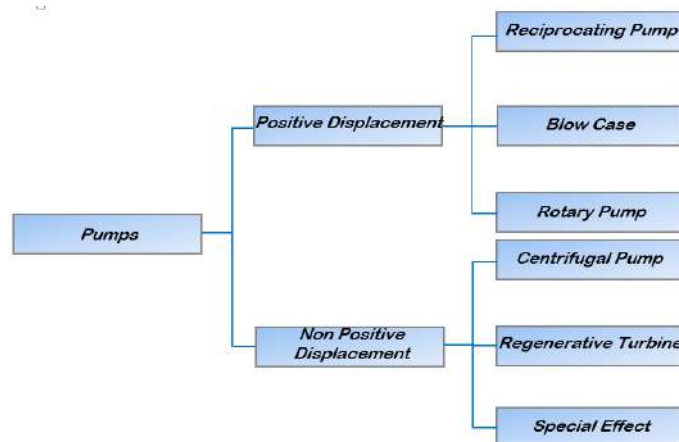
Fitting adalah salah satu komponen pemipaan yang memiliki fungsi untuk merubah, menyebarkan, membesar atau mengecilkan aliran. *Fitting* merupakan salah satu pemain utama dalam sistem pemipaan.

b. Pompa

Pompa adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara mengalirkan fluida. Kenaikan tekanan cairan tersebut dibutuhkan untuk mengatasi hambatan-hambatan selama pengaliran. Satu sumber umum mengenai terminologi, definisi, hukum, dan standar pompa adalah *Hydraulic Institute Standarts* dan telah disetujui oleh *American National Standards Institute (ANSI)* sebagai Standar Internasional.

Klasifikasi Pompa

Klasifikasi pompa berdasarkan tipe didefinisikan oleh *Hydraulic Institute*.



Gambar 1 Klasifikasi pompa

Pompa Sentrifugal (*Centrifugal Pump*)

Pompa Sentrifugal merupakan pompa non positive displacement yang menggunakan gaya sentrifugal untuk menghasilkan head yang digunakan untuk memindahkan zat cair.

Sifat Aliran Fluida Pada Pipa

a. Aliran Laminer

Aliran fluida jenis ini akan terjadi apabila kecepatan fluida yang mengalir melalui pipa rendah, maka gerakan alirannya akan konstan (*steady*) baik besarnya maupun arahnya pada sembarang titik. Aliran laminer dapat diketahui dari perhitungan *Reynold Number*.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (1)$$

Dimana:

ρ = *Density* fluida (kg/m³)

V = Kecepatan aliran fluida (m/detik)

D = Diameter pipa (m)

μ = Viskositas kinematik (m²/detik)

ν = Viskositas kinematik (m²/detik)

b. Aliran Turbulen

Aliran ini terjadi apabila kecepatan fluida tinggi, aliran tidak lagi steady namun bervariasi baik besar maupun arahnya pada sembarang titik. Aliran akan bersifat turbulen jika hasil perhitungan *Reynold Number* (Re) diatas 4000 ($Re > 4000$, aliran turbulen).

Head Instalasi

Head pompa adalah energi per-satuan berat fluida yang diberikan oleh pompa sehingga fluida tersebut dapat mengalir dari suction ke discharge. Head pompa disini meliputi:

□ Head Statis, meliputi:

○ *Pressure Head*: Merupakan energi yang terdapat pada fluida akibat perbedaan tekanan antara suction dengan discharge.

○ *Elevation Head*: Disebabkan oleh adanya perbedaan ketinggian dari permukaan fluida di suction dengan permukaan fluida di discharge dengan sumbu pompa sebagai acuannya.

Besarnya *elevation head* adalah:

$$H_a = H_d - H_s \quad (2)$$

Dimana:

H_d = Head discharge (m)

H_s = Head suction (m)

○ Suction Lift

Suatu instalasi pipa suction dimana permukaan fluida terletak dibawah sumbu pompa.

Besarnya *elevation head* adalah:

$$H_a = H_d + H_s \quad (3)$$

□ Head Dinamis

Head dinamis merupakan head pompa yang terdiri dari:

○ Velocity Head

Merupakan head yang disebabkan oleh adanya perbedaan kecepatan fluida di suction dengan di discharge.

○ Head Loss

Head Loss adalah suatu kerugian aliran yang terjadi sepanjang saluran pipa, baik itu pipa lurus, belokan, saringan, katup dan sebagainya. *Head Loss* digolongkan menjadi dua, yaitu:

- *Head Loss Mayor*

Merupakan suatu kerugian aliran yang disebabkan oleh adanya gesekan antara fluida dengan dinding saluran pipa lurus. Besarnya *Head Loss Mayor* dapat dihitung menggunakan persamaan *Darcy-Weysbah* sebagai berikut:

$$h_{L1} = f \cdot L \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (4)$$

Dimana:

f = Koefisien kerugian gesek

L = Panjang pipa (m)

D = Diameter dalam pipa (m)

V = Kecepatan aliran fluida (m/detik)

g = Percepatan gravitasi (m/detik²)

Besarnya koefisien gesek (f) dapat diketahui dari jenis aliran yang terjadi. Untuk aliran laminar, besarnya koefisien gesek (f) dapat dihitung dengan persamaan (5):

$$f = \frac{64}{Re} \quad (5)$$

Untuk aliran turbulen, besarnya koefisien gesek (f) dapat dihitung dengan persamaan *Darcy*. Rumus ini berlaku atas dasar kerugian head untuk panjang pipa ratusan meter.

$$f = 0,020 + \frac{0,0005}{D} \quad (6)$$

Dimana:

D = diameter dalam pipa (m)

Dapat juga dicari melalui *Moody Diagram* dengan menarik garis harga Re diplotkan harga *Relative Roughness* : $\frac{e}{D}$

- *Head Loss Minor*

Kerugian aliran yang disebabkan oleh adanya gesekan yang terjadi pada komponen tambahan (aksesoris) seperti *elbow*, katup, *fitting*, dan lain sebagainya sepanjang jalur perpipaan. Besarnya *Head Loss Minor* tergantung dari koefisien tahanan (f) aksesoris yang digunakan

$$H = f \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (7)$$

Dimana:

f = Koefisien kerugian gesek

V = Kecepatan Aliran Fluida (m/detik)

g = Percepatan gravitasi (m/detik²)

Head Total Instalasi

Merupakan pejumlahan dari head statis dengan *head dinamis*. *Head* ini menyatakan besarnya kerugian yang harus diatasi oleh pompa dari seluruh komponen-komponen yang ada.

Head total instalasi dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$H_{tot} = H_a + \Delta h_p + h_l + \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (8)$$

Dimana:

- H_{tot} = Head total pompa (m)
 H_a = Head statis total (m)
 Δh_p = Perbedaan tekanan yang bekerja pada permukaan air (m)
 A = Berbagai kerugian head pipa, katup, belokan, sambungan, dll (m)
 $V^2/2g$ = Head kecepatan keluar (m)
 G = Percepatan gravitasi 9.81 (m/detik²)

e. Kavitasasi

Kavitasasi adalah gejala menguapnya zat cair yang mengalir, karena tekanannya berkurang sampai dibawah tekanan uap jenuhnya sehingga akan timbul gelembung-gelembung uap zat cair. Jika pompa dijalankan terus-menerus dalam keadaan kavitasasi, akan menyebabkan kerusakan terhadap area impeler, sehingga pada akhirnya terjadi erosi. Turunnya performa, timbulnya suara dan getaran, serta rusaknya pompa merupakan kerugian-kerugian dari timbulnya kavitasasi.

Net Positive Suction Head (NPSH)

Head isap positif net (NPSH) merupakan ukuran dari head suction terendah yang memungkinkan bagi cairan untuk tidak mengalami kavitasasi. Ada dua macam NPSH, yaitu:

- Net Positive Head Available (NPSH_A), NPSH_A dapat dirumuskan:

$$h_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_v}{\gamma} - h_s - \Sigma H_L \quad (9)$$

Dimana:

- H_{sv} = NPSH yang tersedia
 $\frac{P_a}{\gamma}$ = Tekanan absolut diatas permukaan cairan pada suction reservoir kolom
 $\frac{P_v}{\gamma}$ = Tekanan uap cairan yang di pompa pada temperatur pemompaan
 H_s = Head isap statis (m kolom air)
 ΣH_L = Head loss pada pipa isap (m kolom air)

- Net Positive Head Require ((NPSH_R), NPSH_R dapat dirumuskan:

$$H_{svn} = \sigma \times H_n \quad (10)$$

Dimana:

- H_{svn} = NPSH yang dibutuhkan (m)
 σ = Koefisien kavitasasi
 H_n = Head total (m)
 Agar pompa tidak mengalami kavitasasi NPSH_A harus lebih besar dari pada NPSH_R

Kapasitas Aliran Air

Jumlah air yang mengalir dalam satuan volume perwaktu. Besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m³/detik). Manfaat yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas pompa yang efisien untuk kebutuhan sirkulasi air limbah.

2. METODE PENELITIAN

Sistematika penelitian ini digambarkan dalam diagram alir berikut:



Gambar 2 Diagram alir

a. Teknik Pengumpulan Data

Teknik yang dilakukan untuk melakukan penelitian ini adalah:

- Penelitian Kepustakaan (*Library Research*)
Mempelajari berbagai buku yang menjadi referensi khususnya dalam sistem pemipaan dan analisa pemilihan pompa, baik yang ada dalam perusahaan maupun mata kuliah sehingga diperoleh teori-teori pendukung yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
- Penelitian Lapangan
Kegiatan ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi sebenarnya perhitungan instalasi serta peralatan yang akan digunakan. Dengan didampingi pembimbing lapangan, diharapkan ada komunikasi dua arah yang dapat memberikan gambaran secara jelas dan terperinci dalam memperoleh data-data yang diperlukan untuk melakukan analisa perhitungan.
- Diskusi
Metode ini dimaksudkan untuk mengarahkan dalam penyelesaian laporan dan memberikan masukan dalam menentukan langkah-langkah untuk melakukan analisa. Metode ini dilakukan bersama pembimbing dan rekan-rekan penulis supaya mencapai hasil yang maksimal.

b. Tempat Pengambilan Data

Tempat pengambilan data dan waktu penelitian dilakukan pada:

- Tempat : PT X
- Waktu : Februari 2018-Mei 2018

c. Analisa Data

Analisa data yang dipakai menggunakan metode sebagai berikut:

- Perhitungan teoritis
- Perhitungan teoritis dibandingkan dengan aktual dilapangan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Kebutuhan Sirkulasi Aliran Air Limbah

Sesuai dengan permintaan dan hasil analisa dari Tim Lab Pengolahan Limbah, maka ditentukan debit yang dibutuhkan untuk sirkulasi air limbah adalah $0,00138888 \text{ m}^3/\text{s}$.

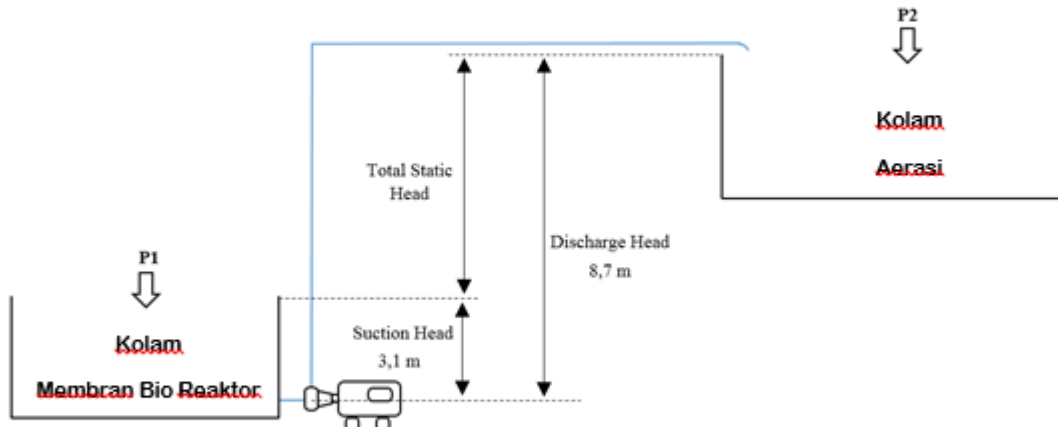
b. Kapasitas Kolam Air Limbah

Berdasarkan survei lapangan, volume kolam air limbah adalah sebagai berikut:

- Kolam Aerasi = 90 m³
- Kolam Membran Bio Reaktor = 120 m³

c. Perhitungan Instalasi Sistem Pemipaan

Dari hasil survei di lapangan, didapat instalasi seperti berikut ini:



Gambar 3 Head Total Pompa

d. Perhitungan Diameter Pipa

Perencanaan diameter pipa ini, untuk kecepatan aliran V, kecepatan aliran V= 1.0 m/detik, sehingga didapat diameter pipa sebagai berikut:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \tag{11}$$

Dimana:

- D = Diameter dalam pipa (m)
- Q = Kapasitas aliran (m³/detik)
- V = Kecepatan aliran (m/detik)

- Q = Kapasitas aliran (m³/detik)
- V = Kecepatan aliran (m/detik)

Sehingga: $D = \sqrt{\frac{4 \times 0,00138888}{\pi \times 1,0}} = 0,04206269$ m = 1,65 inch

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,00138888}{\pi \times 1,0}} = 0,04206269 \text{ m} = 1,65 \text{ inch}$$

Dengan menyesuaikan pipa yang terpasang, maka diameter nominal (DN) pipa yang digunakan = 2 inch dan ukuran nominal pipa (NPS) = 50 dengan inside diameter (ID) = 52,5 mm = 0,0525 m (Standard Pipe Schedule 40 ASTM A53). Maka kecepatan aliran dalam pipa sebenarnya adalah:

$$v = \frac{4Q}{\pi ID^2} = \frac{4 \times 0,00138888}{\pi \times 0,0525^2} = 0,641 \text{ m/detik}$$

Tabel 1 Perhitungan Head Loss Pipa Hisap (Suction Pipe)
Pipa Hisap (Suction Pipe)

No	Head Loss	Panjang (m) / Jumlah (pcs)	Rumus	f (Koefisien Gesek)	H _f (m)	H _f Total (m)
1	Gesekan pada pipa (Ø 2 inch)	1 m	$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$	$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{1000 \cdot 0,0508 \cdot 0,345}{0,001} = 173.841$ $f = 0,019$	0,0128	0,0128
2	Gate valve	1 pcs	$H_f = f \cdot \frac{V^2}{2g}$	$f = 0,19$	0,0039	0,0039
3	Katup hisap (saringan)	1 pcs	$h_f = \frac{(V_1)^2}{2g}$	$f = 2,04$	0,0426	0,0426
Total						0,0593

Tabel 2 Perhitungan Head Loss Pipa Buang (Discharge Pipe)
Pipa Hisap (Suction Pipe)

No	Head Loss	Panjang (m) / Jumlah (pcs)	Rumus	f (Koefisien Gesek)	H _f (m)	H _f Total (m)
1	Gate valve	1 pcs	$h_f = f \cdot \frac{V^2}{2g}$	$f = 0,19$ (2001,354)	0,0039	0,0039
2	Gesekan pada pipa (Ø 2 inch)	23,8 m	$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$	$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{1000 \cdot 0,345 \cdot 0,0508}{0,001} = 173.841$ $f = 0,019$	0,01281	0,30508
3	Belokan pipa (elbow 90°)	3 pcs		$f = 0,15$	0,0031	0,0093
4	Check valve	1 pcs	$h_f = f \cdot \frac{V^2}{2g}$	$f = 2,5$	0,0522	0,0522
Total						0,37048
Total Head Loss (H₁)						0,42978

e. Perhitungan Kebutuhan Pompa

□ Head Total

Untuk menghitung head total pompa digunakan rumus sebagai berikut:

$$H_{tot} = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{V^2}{2g}$$

□ Head Statis Total (Suction Head)

$$h_a = h_d + h_s$$

□ Head Loss

Pada sistem pemipaan Head Loss yang diukur adalah sebagai berikut:

- Head Kerugian Dalam Pipa
- Head Kerugian Pembesaran & Pengecilan Pipa
- Head Kerugian Pada Belokan
- Head Kerugian Pada Percabangan Tee Head Kerugian Pada Valve (Gate, Check)

- Head Kerugian Pada Strainer

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, maka Head Total Yang Terjadi:

$$H_{tot} = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{V^2}{2g}$$

$$H_{tot} = 6,7 + 0 + 0,42978 + \frac{0,641^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$= 7,15000 \text{ m}$$

1. Pemilihan Pompa

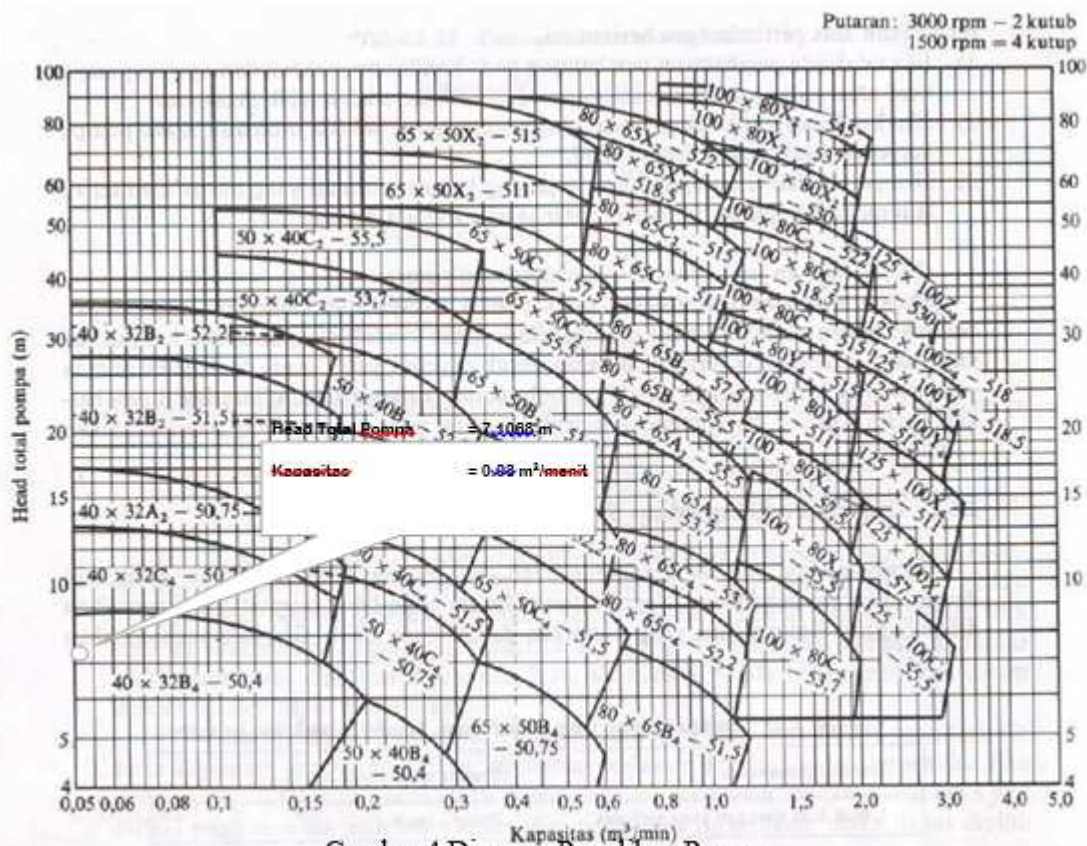
Diketahui:

$$Q = 0,00138888 \text{ m}^3/\text{detik} = 0,0833328 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$H_{tot} = 7,15000 \text{ meter}$$

Ditentukan Diagram Pemilihan Pompa standar mana dipakai pompa dengan spesifikasi seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Pompa yang dipilih adalah: 40 x 32B₄ – 50,4. Arti kode tersebut adalah:

- 40 = Diameter isap (40 mm)
- 32 = Diameter buang (32 mm)
- B = Type rumah
- Jumlah katub = 4, katub 4 = 1500Rpm
- 5 = Frekuensi (50 Hz)
- Daya motor = 0,4 kW (=0,536409 HP)



Gambar 4 Diagram Pemilihan Pompa

Perhitungan NPSH

NPSH perlu dihitung untuk mengetahui apakah pompa berpotensi mengalami kavitasi. Syarat kerja pompa agar tidak mengalami kavitasi adalah NPSH yang tersedia sebagai berikut:

- o NPSH yang diperlukan

H_{sv} (NPSH yang tersedia)

$$H_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{P_v}{\gamma} - h_i - h_{fs}$$

Dimana:

- H_{sv} : NPSH yang tersedia (m)
- P_a : Tekanan pada permukaan cairan (1 atm = 10332,274 kgf/m²)
- P_v : Tekanan uap jenuh (25° = 322,85 kgf/m²)
- γ : Berat jenis air (1000 kgf/m³)
- h_s : Head isap statis (1 m)
- h_{fs} : Kerugian head dalam pipa isap (0,0593 m)

$$H_{sv} = \frac{10332,274 \text{ kgf/m}^2}{1000 \text{ kgf/m}^3} + \frac{322,85 \text{ kgf/m}^2}{1000 \text{ kgf/m}^3} - (2) - 0,0593 \text{ m}$$

H_{svn} (NPSH yang diperlukan)

$$H_{svn} = \sigma \times H_n$$

$$Q = \text{Kapasitas } 0,0833328 \text{ m}^3/\text{menit } Q^{0,5}$$

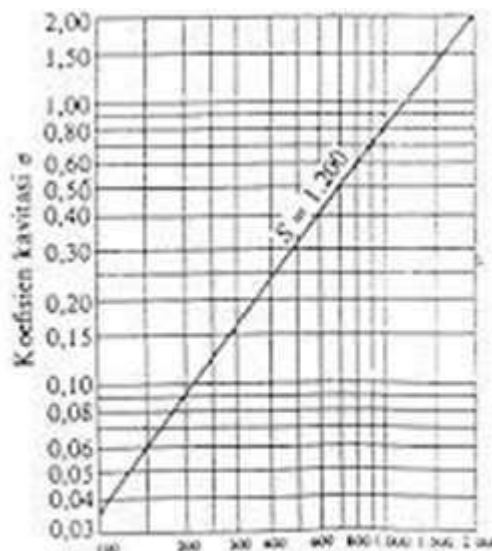
$$n_s = n \times (Q^{0,5}/H_n^{0,75})$$

$$= 1500 \times (0,0833328^{0,5}/7,15068^{0,75})$$

$$= 98,85$$

Nilai besaran σ (koefisien kavitasi)

Karena $n_s = 98,85 < 100$, maka $\sigma = 0,03$



Gambar 5 Grafik n_s & koefisien kavitasi

$$H_{svn} = 0,03 \times 7,15068 \text{ m} = 0,21452 \text{ m}$$
$$NPSH_a = (9,5957 \text{ m}) > NPSH_r (0,21452 \text{ m})$$

Sehingga pompa tersebut dapat bekerja dengan baik tanpa mengalami kavitasi

4. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil perhitungan sistem pemipaan air limbah yang ada di PT X maka, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Total Head Loss yang terjadi pada sistem pemipaan tersebut sebesar 0,42978 m.
- Berdasarkan hasil perhitungan, spesifikasi pompa yang sesuai untuk pemipaan tersebut adalah 40 x 32B₄ – 50.4. Yang artinya sebagai berikut:
 - 40 = Diameter isap (40 mm)
 - 32 = Diameter buang (32 mm)
 - B = Type rumah
 - Jumlah katub = 4, katub 4 = 1500Rpm
 - 5 = Frekuensi (50 Hz)
 - Daya motor = 0,4 kW (=0,536409 HP)
- Head total hasil perhitungan sebesar 7,15068 m.
- NPSH_a yang tersedia (9,5957 m) > NPSH_r yang dibutuhkan (0,21452 m), sehingga pompa dapat bekerja tanpa mengalami kavitasi

b. Saran

Berdasarkan hasil perhitungan sistem dan pompa di atas, penulis memberikan saran bahwa:

- Untuk mengantisipasi adanya pemeliharaan berkala atau adanya kerusakan pada pompa, maka harus ada 2 pompa, dengan 1 pompa sebagai pengganti atau cadangan.
- Dalam pemilihan pompa, harus memperhitungkan sistem pemipaan, perhitungan pompa, dan kerugian yang terjadi pada setiap komponen, sehingga dapat mengetahui head total pompa yang dibutuhkan.
- Dengan hasil laporan tugas akhir ini, diharapkan bisa menjadikan referensi untuk mendesign sistem pemipaan, perhitungan kebutuhan pompa, untuk memilih pompa yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Tahara Haruo., Sularso., Pompa dan Kompresor. Jakarta: PT. Pradaya Paramita. 2000.
Dietzel, Fritz., Turbin Pompa dan Kompresor. Jakarta: Erlangga. 1996.
Sirawan Yudi., Sistem Pemipaan Surabaya: Universitas Negeri Surabaya
ASTM A53 Grade A and B Standard Pipe Schedule 40.

SUBMISSION 42

Penurunan Hambatan Pada Model Uji *Reverse Ahmed Body* Akibat Pengaruh Pemasangan Aktuator Jet Sintetik Jenis Kaviti Setengah Bola

Ramon Trisno, Dika Indrawan

Universitas Pancasila, Fakultas Teknik, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12640, Indonesia

Abstrak. Dengan meningkatnya volume kendaraan yang terjadi saat ini yang berdampak langsung terhadap peningkatan konsumsi bahan bakar, berbagai riset dilakukan untuk melakukan penghematan penggunaan bahan bakar pada kendaraan, salah satunya dengan mengurangi gaya drag aerodinamika. Penelitian ini merupakan kajian dasar pengembangan dari pengontrolan separasi aliran turbulen yang merupakan fenomena aerodinamik desain bodi kendaraan yang bertujuan untuk menganalisa pengaruh pemasangan aktuator jet sintetik pada model uji *reverse Ahmed Body* terhadap penurunan *drag*.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode komputasional menggunakan *software CFD Fluent 18.2*. Langkah awal yang dilakukan yaitu dengan menentukan titik separasi pada bagian belakang benda uji pada kecepatan *freestream* 11,1 m/s, 13,9 m/s, 16,7 m/s yang akan digunakan untuk posisi pemasangan aktuator jet sintetik berbentuk kaviti setengah bola. Langkah kedua yaitu dengan melakukan perbandingan data hasil simulasi pada model uji tanpa menggunakan aktuator dan dengan menggunakan aktuator dengan frekuensi eksitasi antara 90 Hz – 130 Hz. Langkah ketiga yaitu menghitung nilai penurunan drag yang terjadi pada model uji akibat pemasangan aktuator jet sintetik.

Hasil Penelitian menunjukkan adanya pengaruh penurunan drag pada kecepatan *freestream* 11,1 m/s dan frekuensi 90 Hz terjadi penurunan *drag* sebesar 15,7 %. Pada kondisi ini aktuator jet sintetik memiliki performa yang paling baik dibandingkan dengan kondisi yang lainnya.

Kata kunci: CFD, aerodinamika, *reverse ahmed body*.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dengan meningkatnya pengguna kendaraan saat ini yang akan berdampak langsung terhadap meningkatnya konsumsi bahan bakar yang mengakibatkan semakin menipisnya cadangan bahan bakar yang ada di dunia, para peneliti dan industri otomotif saat ini bersaing meningkatkan teknologi-teknologi untuk meningkatkan penghematan bahan bakar dan ramah lingkungan. Salah satu upaya untuk melakukannya yaitu dengan mengurangi gaya *drag* aerodinamis kendaraan dengan mengatur separasi aliran yang terjadi sepanjang bentuk kendaraan.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengurangi gaya hambat yang terjadi pada kendaraan dengan menggunakan metode *blowing*, *suction*, maupun *jet synthetic* akan tetapi dari beberapa penelitian tersebut belum mendapatkan hasil yang cukup signifikan terhadap penurunan drag pada model uji.

Maka dari itu penulis melakukan pengujian mengenai pengaruh penurunan *drag* akibat pemasangan aktuator jet sintetik dengan bentuk kaviti setengah bola dengan menggunakan metode simulasi menggunakan *software CFD Fluent 18.2*. Dari hasil analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, diharapkan mampu memberikan pemahaman dan pengetahuan baru mengenai pengaruh penurunan *drag* akibat pemasangan aktuator jet sintetik dengan bentuk kaviti setengah bola.

A. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam analisis ini adalah:

- a. Menganalisa pengaruh kontrol aktif aliran berupa syntetic jet actuator terhadap gaya drag aerodinamis pada model *bluff body reversed Ahmed Body*.
- b. Menganalisa drag coefficient pada saat sebelum dan sesudah dipasang *synthetic jet actuator*.
- c. Menganalisa pengaruh frekwensi yang dikenakan pada jet sintetik actuator terhadap penurunan CD.
- d. Menganalisa pengaruh perubahan kecepatan freestream terhadap penurunan CD pada model *bluff body reversed Ahmed Body* dengan dilengkapi *syntetic jet actuator*.

1. DASAR TEORI

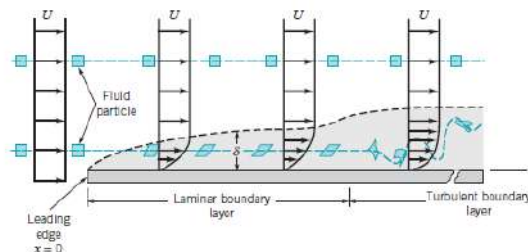
A. Drag

Drag adalah besarnya gaya yang bergerak di atas sebuah objek yang memiliki posisi sejajar dengan aliran bebas. *Drag* pada suatu benda diakibatkan oleh dua hal yaitu gesekan antara fluida dengan permukaan benda dan beda tekanan. *Drag* karena gesekan disebut hambatan gesek (*friction drag*) yang tergantung pada besar permukaan yang bersentuhan dengan fluida, tegangan geser, viskositas, gradien kecepatan, kekasaran permukaan dan *streamline body*. Sedangkan *drag* dengan beda tekanan disebut *form drag* tergantung pada bentuk, ukuran, distribusi tekanan, *wake* (olakan), bilangan Reynolds dan *bluff body* dari benda yang dikenakan aliran.

$$C_{D,P} = \frac{P - P_o}{\frac{1}{2} \rho U^2 o} \dots\dots\dots [1]$$

B. Lapisan Batas

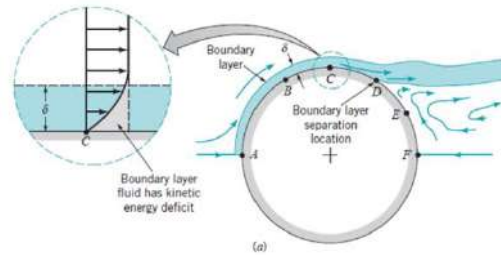
Konsep lapisan batas pertama kali dikemukakan pada tahun 1904 oleh Ludwig Prandtl, seorang ahli aerodinamika Jerman. Analisa gerak aliran fluida umumnya dapat dibagi menjadi dua bagian yang pengaruh gesekannya besar yaitu di daerah lapisan batas dan di luarnya adalah aliran yang tanpa pengaruh gesekan. Secara definisi, lapisan batas adalah sebuah lapisan yang terbentuk pada benda yang terendam dalam fluida dimana pada lapisan tersebut efek viskos sangat penting dan di luar lapisan tersebut fluida bersifat inviscid. Inviscid merupakan aliran fluida yang tidak mengalami gesekan, konduktifitas panas, atau difusi massa (Anderson, J.D, 2001)



Gambar 1 Distorsi dari partikel fluida ketika mengalir di dalam lapisan batas (Munson, 2002)

C. Separasi Aliran

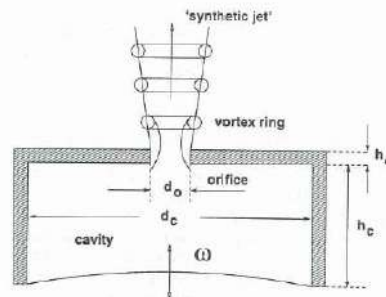
Separasi aliran merupakan bentuk efek viskos dari fluida, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6, karena adanya efek viskos, fluida pada titik c di permukaan silinder kehilangan energi kinetik, sehingga tidak memiliki momentum yang cukup untuk mengalir dalam lapisan batas menuju f. Ketika kontur permukaan suatu benda berubah secara drastis, aliran fluida pada kondisi tertentu tidak mampu untuk bergerak mengikuti kontur tersebut dan mengalami separasi aliran. Separasi aliran menyebabkan munculnya daerah olakan yang memiliki tekanan rendah sehingga menimbulkan gaya *drag*. Adanya daerah tekanan rendah ini menyebabkan perbedaan tekanan antara bagian depan dan bagian belakang model kendaraan, yang merupakan kontribusi utama dari keseluruhan *drag* (Bruneau C.H, 2010).



Gambar 2 separasi aliran yang terjadi pada silinder (Munson, 2002)

a. Mekanis Synthetic Jet Actuator

Jet sintetik ini terbentuk dari perpaduan rangkaian vortex yang ditimbulkan oleh getaran harmonik sebuah diafragma yang berfungsi sebagai dinding sebuah cavity. Jika amplitudo getaran cukup besar, separasi aliran terjadi di sekitar orifis yang berfungsi sebagai saluran keluar masuk aliran fluida. Dengan demikian suatu lapisan geser akan terbentuk antara fluida yang keluar dan fluida di sekelilingnya. Getaran membran secara periodik ini membuat fluida udara yang terdapat di dalam kaviti ikut bergerak. Fluida tersebut dipaksa untuk melewati dua fase, yaitu *blowing* dan *suction*. Proses ini menyebabkan aliran fluida yang keluar dari *orifice* berbentuk *vortex ring* (Gambar 2.7). lapisan geser ini kemudian menggelling membentuk cincin *vortex* (pada nosel jet lingkaran) atau pasangan *vortex* (pada nosel jet slot).



Gambar 3 separasi aliran yang terjadi pada silinder (Munson, 2002)

b. Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational Fluid Dynamic atau yang disingkat sebagai CPD merupakan suatu cara untuk menganalisa karakteristik dari fluida dalam suatu sistem tertentu dengan menggunakan perhitungan secara numerik pada komputer. CFD memiliki tiga prinsip dasar dalam melakukan perhitungan secara numerik. Prinsip dasar tersebut adalah prinsip dasar tersebut adalah teori kekekalan energi, kekekalan momentum, dan kontinuitas massa.

c. Tahapan Simulasi CFD

Pada penggunaan CFD terdapat tahapan yang harus dilakukan, yaitu Tahap Pre-Processing, Tahap CFD Solver, dan Tahap Post-Processing.

a. Tahap Pre-Processing

Pada tahapan ini yang dilakukan adalah memasukan parameterparameter yang ada pada permasalahan ke dalam program CFD dengan penyesuaian input yang diberikan, sehingga CFD dapat dapat menyelesaikan permasalahan tersebut.

b. Tahap CFD Solver

Pada tahap ini seluruh parameter yang sudah dimasukan ke dalam program CFD akan dilakukan perhitungan dengan cara iterasi. Iterasi yang dilakukan dapat dikatakan berhasil apabila hasil iterasi yang dikeluarkan adalah konvergen, bila hasil yang dikeluarkan adalah divergen maka ada kesalahan input yang dilakukan pada tahap pre-processing.

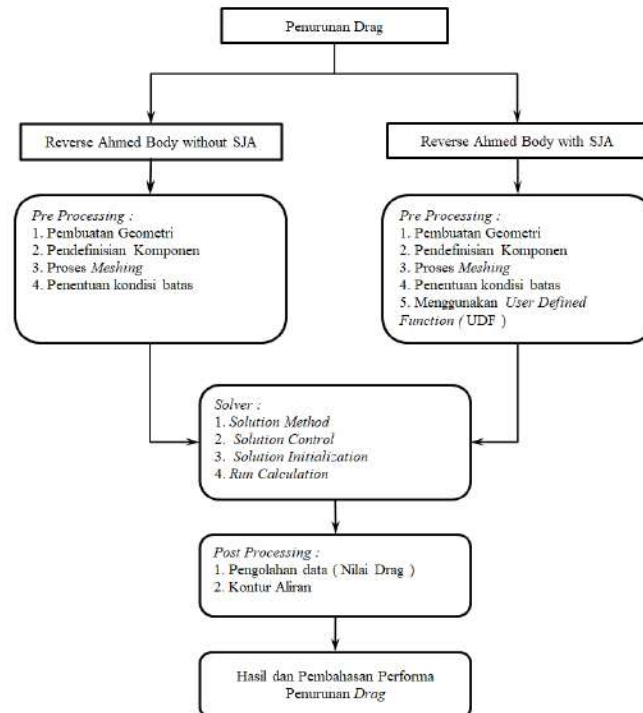
c. Tahap Post-Processing

Pada tahapan terakhir adalah tahapan post-processing, dimana pada tahapan ini hal yang dilakukan adalah melihat hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap CFD solver. Hasil yang dikeluarkan dalam tahap ini dapat dilihat dengan beberapa bentuk, yaitu X-Y Plot, Vector Plot, Kontur Plot, Report, dan Animasi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

D. Metodologi Penelitian

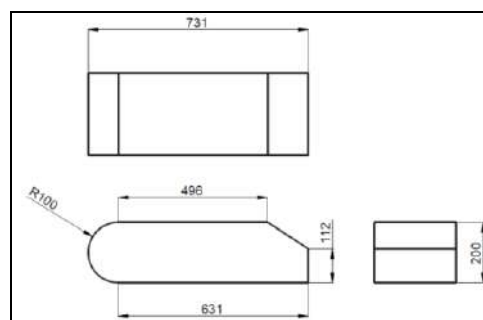
Adapun metodologi penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 4 Flow Chart Penelitian

E. Model Uji

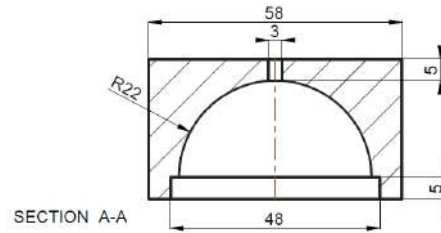
Model yang digunakan untuk penelitian ini menggunakan *reverse ahmedbody* dengan skala 70% dari ukuran asli. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan ukuran *windtunnel* yang tersedia di lapangan pada laboratorium uji. Bentuk serta ukuran *reverse ahmed body* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 3.2 Model Uji

F. Kaviti

kaviti yang digunakan adalah kaviti bentuk setengah bola. Lebar *orifice* atau output aliran dari kaviti ini yaitu selebar 3 mm, kemudian diameter membran yang digetarkan adalah 48 mm, dengan diameter luar 58 mm. Kaviti ini nantinya akan diberikan frekuensi tertentu agar dapat bergetar. Pada penelitian ini gelombang yang digunakan adalah jenis quard dengan beberapa frekuensi, yaitu: 90Hz, 100Hz, 110Hz, 120Hz dan 130Hz. Getaran kaviti tersebut pada akhirnya akan memberikan efek *suction* dan *blowing* pada aliran udara yang melewatinya. Berikut gambar bentuk kaviti yang akan di gunakan:



Gambar 5 Jenis diameter kaviti setengah bola

G. User Defined Function

User defined Function merupakan suatu rumus yang ditentukan sendiri oleh pengguna *software*. Ini dilakukan karena keterbatasan kemampuan *software* untuk dalam menyediakan seluruh formula sesuai dengan kebutuhan pengguna. Dalam hal ini rumus digunakan untuk menentukan gerakan yang dilakukan oleh Sintetik Jet aktuator agar dapat disimulasikan pada *software*. Pada penelitian ini *UDF* yang digunakan adalah *UDF* gelombang quad dengan frekuensi 90 Hz s/d 130Hz.

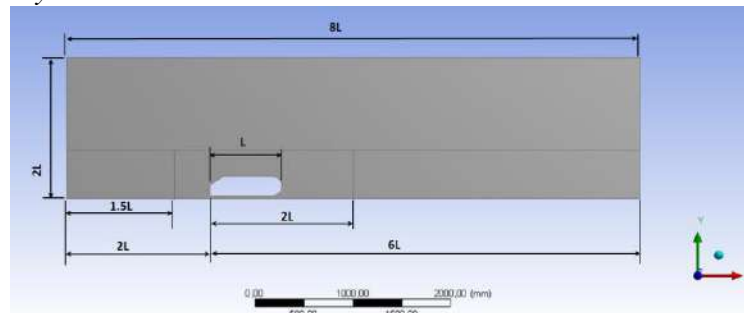
H. Tahapan Pengujian

Pada proses pengujian dengan metode komputasional dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Computational Fluid Dynamics (CFD) yaitu Ansys 18.2 Fluent. Adapun tahapantahapan yang dilakukan dalam metode ini dengan menggunakan perangkat lunak CFD tersebut adalah sebagai berikut :

1. Pre-Processing

Pada tahap *pre-processing* adalah tahapan proses yang paling berpengaruh dalam proses simulasi sehingga pada tahap ini harus benar dalam memodelkan geometri benda. Secara umum proses *pre-processing* di bagi menjadi tiga tahapan proses, yaitu:

a. Pembuatan *Geometry*



Gambar 6 Geometri model Uji

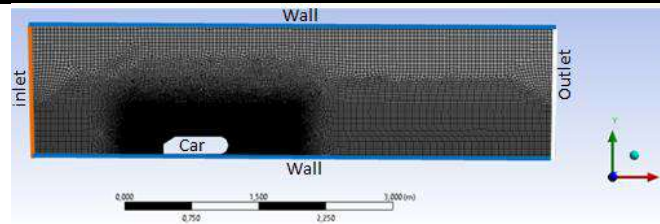
b. Pembuatan *Meshing*.

Berikut ini parameter-parameter yang digunakan untuk proses pembuatan *meshing*.

Tabel 1. Parameter Meshing

No.	Item	Parameter
1	Relevance Center	Fine
2	Smoothing	High
3	Transition	Slow
4	Minimum size	12.251
5	Maximum size	245,02
6	Growth Size	1.04
7	Nodes and Element	14282 and 71229
8	Inflation Option	Smooth transistion
9	Pitch Tolerance	1.1026 mm
10	Defaturing Tolerance	0.612560

c. Pendefinisian *Boundary Condition*



Gambar 7 Pendefinisian *boundary condition*

2. *Solver* :

Pada tahap *post-processing* adalah tahapan proses memulai simulasinya. Simulasi ini harus menyetting parameter-parameter yang digunakan. Parameter yang digunakan pada penelitian ini meliputi: *General, Models, Materials, Operation Conditions, Boundary conditions, Solution, Report Definitions, Initialize, Run Calculation*.

Tabel 2. Parameter-parameter tahap *solver*.

General :	
- Type	: Pressure Based
- Velocity Formulation	: Absolute
- Time	: Transient
- Unit	: Length (mm)
Models :	
- Viscous Model	: K-epsilon (2 eqn)
- K-epsilon Model	: Realizable
- Near Wall Treatment	: Non-Equilibrium Wall Function
Boundary Condition	
- Velocity Specification Method	: Magnitude and Direction
- Velocity Magnitude	: 11,1 m/s; 13,9 m/s; 16,7 m/s (constant) UDF Quad (90 Hz, 100 HZ, 110 Hz, 120 Hz, : 130 Hz)
- Turbulent Intensity	: 1%
Reference Value :	
- Fluida	: Udara
- Density	: 1,184 kg/m ³
- Length	: 731 mm
Solution Method :	
- Pressure Velocity Coupling	: Coupled
- Turbulent Kinetic Energy	: Second Order Upwind
- Turbulent Disipation Rate	: Second Order Upwind
Solution Control :	
- Flow Courant Number	: 50
- Explicit Relaxation Factors	: Momentum : 0,25 : Pressure : 0,25
- Turbulent Viscosity	: 0,8
Solution Initialization :	
- Initialization Method	: Hybrid Initialization
Run Calculation :	
- Time Step Size (s)	: 0,001 (1000 data/s)
- Number of Time Steps	: 500 data
- Max Iteration / Time Step	: 100

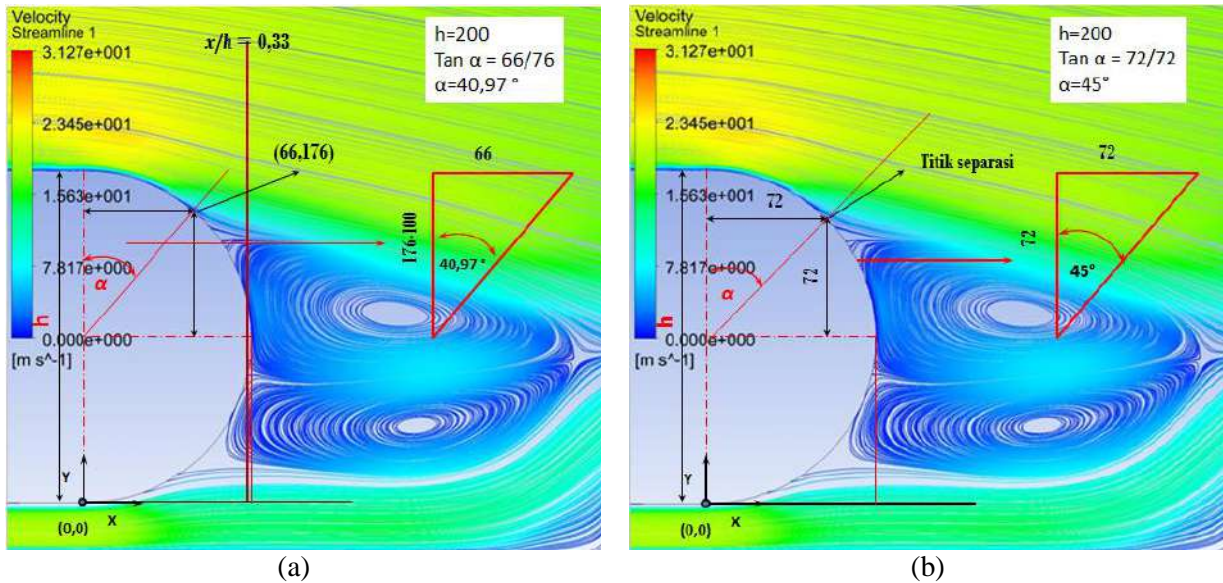
3. *Post-Processing*

Merupakan penampilan hasil setelah dilakukan iterasi. Hasil tersebut berupa data kuantitatif dan kualitatif.

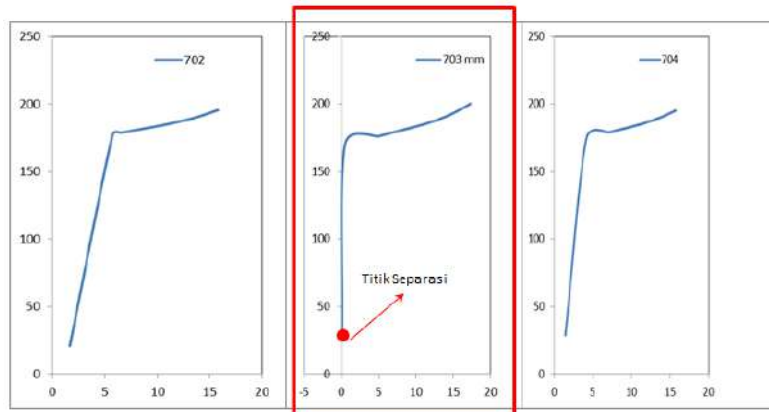
3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

I. Penentuan Titik Separasi

Untuk menentukan titik separasi, perlu dilakukan beberapa tahapan yang harus dilakukan, yaitu dengan melihat secara visual dimana aliran mulai berpisah dari permukaan benda uji seperti yang ditunjukkan gambar 4 (a), kemudian melakukan pengecekan ulang titik separasi dengan melakukan pengukuran kecepatan pada posisi sekitar titik separasi yang telah ditentukan sebelumnya, titik separasi ditentukan pada titik dimana kecepatan sama dengan nol atau paling mendekati nol seperti yang terlihat pada gambar 4.2. penentuan titik separasi dilakukan pada kecepatan 11,1 m/s dengan hasil titik separasi yang didapat yaitu pada sudut 45° .



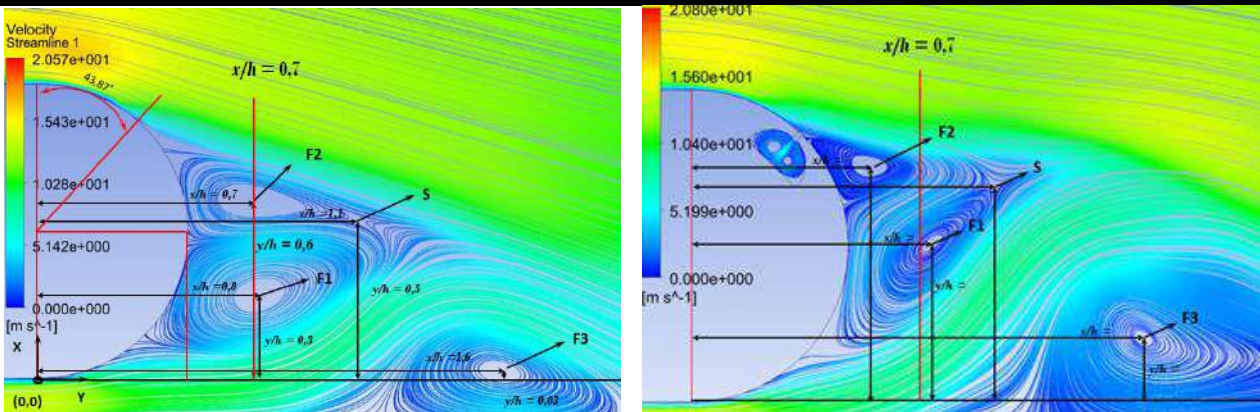
Gambar 8 (a) Penentuan titik separasi berdasarkan visualisasi (b) Penentuan titik separasi berdasarkan nilai kecepatan pada streamline kecepatan freestream 11,1 m/s



Gambar 9 Penentuan titik separasi berdasarkan pengecekan penurunan kecepatan pada kecepatan freestream 11,1 m/s

J. Pengukuran daerah olakan (wake)

Pengukuran daerah olakan dilakukan pada kecepatan 16 m/s pada model uji dengan menggunakan aktuator jet sintetik dan tanpa aktuator jet sintetik dengan menggunakan aktuator berbentuk kaviti setengah boladan diameter orifis 3 mm.



Gambar 10 (a) Medan aliran kecepatan tanpa aktuator (b) medan aliran kecepatan menggunakan aktuator yang terjadi di belakang model uji pada kecepatan freestream 11,1 m/s tanpa aktuator jet sintetik.

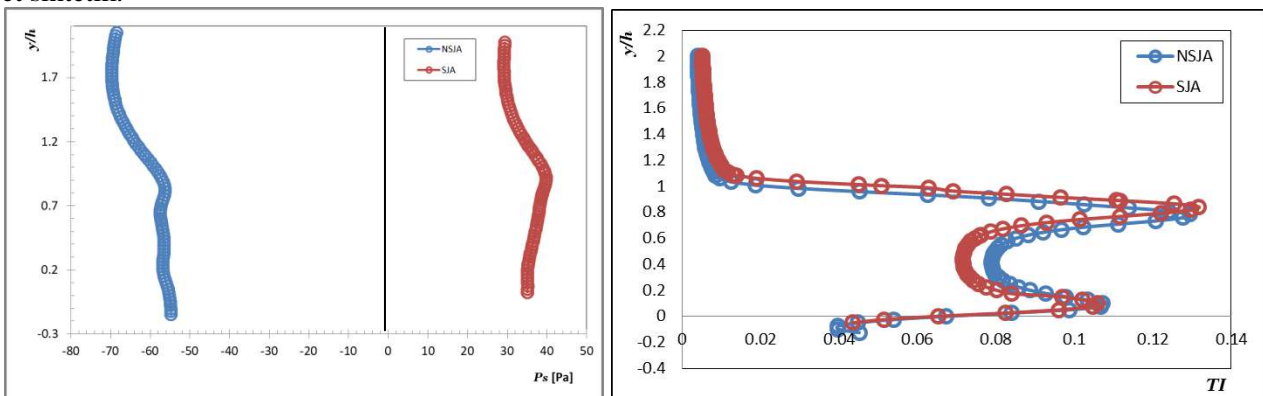
Gambar 10 (a) menunjukkan medan aliran tanpa menggunakan aktuator jet sintetik dan gambar 10 (b) menunjukkan medan aliran dengan menggunakan aktuator jet sintetik, untuk mengidentifikasi adanya pengurangan daerah olakan dilakukan pengukuran terhadap titik pusat gaya F1, F2, F3, dan saddle point. Dari gambar 10 (a) dan 10 (b) menunjukkan adanya penyempitan daerah olakan dengan mendekatnya titik F1, F2 dan F3 serta *saddle point*, dengan detail posisi penurunan terdapat pada tabel 3.

Tabel 3. Posisi titik F1, F2, F3 dan S, dengan dan tanpa aktuator jet sintetik B-3 kecepatan 11.1 m/s

Aktuator	x F1	y F1	x F2	y F2	x F3	y F3	x S	y S
Tanpa SJA	0.8	0.3	0.7	0.6	1.6	0.03	1.1	0.5
SJA B-3	0.8	0.5	0.6	0.8	1.5	0.2	1.0	0.7

K. Perbandingan Tekanan statik dan Intensitas turbulensi pada kondisi tanpa aktuator dan menggunakan aktuator

Pengukuran tekanan statik dan intensitas turbulensi dilakukan pada kecepatan 16,7 m/s pada model uji tanpa aktuator dan model uji menggunakan aktuator. Pengukuran ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan yang terjadi setelah dilakukan pemasangan aktuator. Dari gambar 11 (a) dan gambar 11 (b) terlihat perbedaan nilai yang dihasilkan antara hasil tanpa menggunakan aktuator dan hasil yang menggunakan aktuator. Pada titik $y/h = 0,2$, nilai tekanan statik yang dihasilkan pada model uji tanpa aktuator = -56.67 Pa, dan naik menjadi 35.01 Pa pada model uji yang menggunakan aktuator. Kemudian untuk nilai intensitas turbulensinya terjadi penurunan dari 0,088 menjadi 0,079. Dengan kenaikan nilai tekanan statik dan penurunan intensitas turbulensi menandakan bahwa dengan adanya pemasangan aktuator jet sintetik.



Gambar 11 (a) Grafik tekanan statik (b) grafik intensitas turbulensi di belakang model uji terhadap penggunaan aktuator jet sintetik (SJA) pada posisi $x/h = 1$

L. Pengaruh Pemasangan Aktuator terhadap Penurunan Drag Coefficient (ΔCD)

Setelah dilakukan beberapa identifikasi pengaruh yang terjadi terhadap perubahan pada medan aliran, besarnya nilai statik dan intensitas turbulensi, langkah selanjutnya adalah menganalisa nilai penurunan *drag* yang terjadi dengan menggunakan rumus berikut:

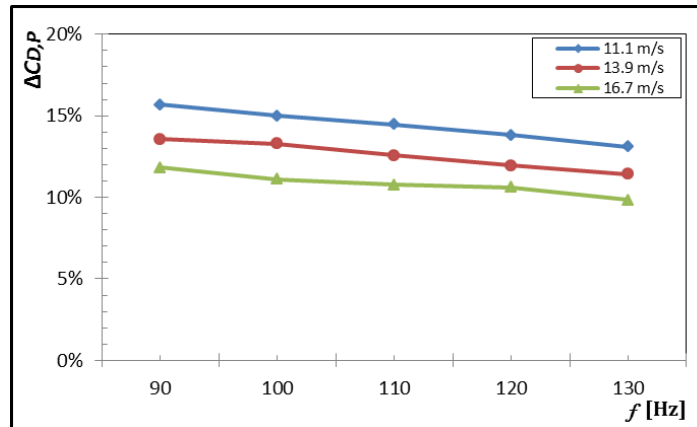
$$\Delta C_{D,P} = \frac{(CD,NS - CD,SJ)}{CD,NS} \times 100\% \quad \dots\dots\dots [2]$$

Dimana:

$\Delta C_{D,P}$ = Nilai penurunan drag

CD,NS = Nilai *drag coefficient* non aktuatot jet sintetik

CD,SJ = Nilai *drag coefficient* aktuatot jet sintetik



Gambar 12 Grafik perhitungan penurunan *drag coefficient* (ΔCD)

Gambar 12 menunjukkan nilai penurunan *drag coefficient* pada kecepatan 11,1 m/s, 13,9 m/s, 16,7 m/s dan besarnya gelombang eksitasinya yaitu 90 Hz – 130 Hz. Penurunan nilai *drag coefficient* (ΔCD) terbesar terjadi pada kecepatan 11,1 m/s dan besar gelombang eksitasinya 90 Hz dengan nilai penurunan yang terjadi yaitu 15,68 %. Jika dilihat dari garafik pada gambar 12, dengan semakin rendahnya kecepatan dan semakin kecilnya besar gelombang akan berpengaruh pada semai kn besarnya nilai penurunan gaya hambat yang terjadi. Untuk hasil detailnya dapat dilihat pada tael 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan penurunan *drag coefficient* (ΔCD)

Aktuator	Jenis Gelombang	Kecepatan (m/s)	Besarnya Gelombang (Hz)				
			90	100	110	120	130
B-3	Quad	11.1	15.68%	15.01%	14.46%	13.82%	13.09%
B-3	Quad	13.9	13.57%	13.13	12.56%	11.94%	11.42%
B-3	Quad	16.7	11.82%	11.10%	10.78%	10.60%	9.83%

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi yang telah digambarkan diatas, dengan melakukan pemasangan *aktuator jet sintetik* dengan jenis kaviti setengah bola dan diameter orifis 3 mm dapat dapat menurunkan nilai *drag coefficient* (ΔCD) dengan nilai koefisien penurunan tertinggi yaitu pada kecepatan 11,1 m/s dengan input gelombang quad sebesar 90 HZ dengan nilai ΔCD yaitu 15,68 %. Besarnya kecepatan dan gelombang yang diberikan akan berpengaruh terhadap nilai penurunan *drag coefficient* yang terjadi, dimana semakin kecilnya nilai kecepatan dan gelombangnya akan berpengaruh terhadap semakin besarnya nilai penurunan *drag* yang terjadi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ramon Trisno, Kontrolaktif Jet Sintetik Pada Aplikasi Aerodinamika Kendaraan, **Disertasi** Teknik Mesin Universitas Indonesia, Depok 2018.
- [2] Marga Yogatama, Pengaruh Pemasangan Jet Sintetik Aktuator Terhadap Penurunan Drag Hambatan (*Drag Reduction*) melalui metode simulasi, **Skripsi Tugas Akhir** Teknik Mesin Universitas Pancasila, Jakarta 2018.

-
- [3] Andre Grivanzy, Analisa Pengaruh Control Aktif Aliran Berupa Blowing Terhadap Drag Aerodinamika Model *Reversed Ahmed Body*, **Skripsi Tugas Akhir** Teknik Mesin Universitas Indonesia, Jakarta Juni 2011.
- [4] Munson, Bruce R., Donald F. Young, Theodore H. Okishi. (2002) : *Fundamentals of Fluid Mechani*. New York: John Wiley & Sons inc.
- [5] Hucho, Wolf-Heinrich et all. (1987). *Aerodynamics of Road Vehicles from Fluid Mechanics to Vehicle Engineering*. Great Britain: Butterworth – Heinemann Ltd.

SUBMISSION 44

Pengaruh Kontrol Aktif Aktuator Jet Sintetik Dengan Kaviti Berbentuk Kerucut Terhadap Penurunan Hambatan (*Drag*) Aerodinamika Pada Model Uji *Reverse Ahmed Body*

Ramon Trisno^{1*}, Moh Tarum N. Umam².

¹Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat, Indonesia 16424

² Departemen Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640

ramontrisno@gmail.com , nazirulumam@gmail.com

ABSTRAK Salah satu bidang yang menghasilkan gas rumah kaca adalah bidang transportasi. Emisi yang dihasilkan transportasi ada diangka 14% dan diprediksikan akan terus meningkat. Oleh karena itu berbagai riset dilakukan untuk menghemat konsumsi bahan bakar, salah satunya adalah dengan mengurangi *drag* aerodinamik pada kendaraan. Untuk mengurangi *drag* aerodinamik pada kendaraan perlu adanya pengaturan aliran separasi. Penelitian ini merupakan kajian dasar pengembangan dari pengontrolan aliran separasi turbulen yang merupakan suatu fenomena aerodinamik pada desain bodi kendaraan. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh pemasangan aktuator jet sintetik terhadap penurunan *drag* aerodinamika kendaraan. Penelitian dilakukan dengan metode komputasional menggunakan *software CFD* (Fluent 18.2) dengan model uji *reverse ahmed body*. Pengujian dilakukan dengan memfokuskan pada aktuator jet sintetik dengan kaviti berbentuk kerucut dan diameter orifis 3 mm, pada 3 (tiga) kecepatan aliran yang berbeda yaitu 11,1 m/s, 13,9 m/s dan 16,7 m/s, serta eksitasi frekwensi aktuator jet sintetik yang digunakan yaitu pada *range* 90 Hz s/d 130 Hz dengan jenis gelombang *quard*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setelah menggunakan kontrol aktif aktuator jet sintetik pada model uji *reverse ahmed body* dapat mengurangi hambatan (*drag*) aerodinamika, dengan hasil maksimal diperoleh pada kecepatan 11,1 m/s pada frekwensi 90 Hz yaitu sebesar 12% ($\Delta C_D = 0.189$).

Kata kunci: aktuator jet sintetik, reverse ahmed body, vortex ring, frekwensi, gelombang, drag, aliran separasi, CFD.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

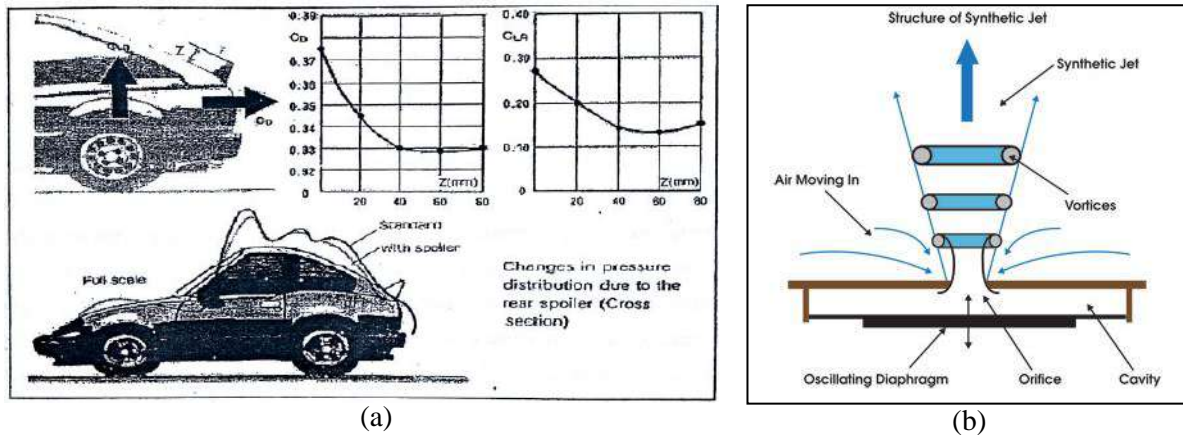
Pemansan global merupakan salah satu permasalahan utama dalam beberapa tahun belakangan ini. *Internasional Agency in World Energy Outlook 2007*, menyimpulkan bahwa emisi gas dengan efek rumah kaca akan meningkat 57% pada tahun 2030[1]. Adanya efek rumah kaca ini memberikan pengaruh yang sangat buruk terhadap lingkungan dan iklim global. Aktivitas manusia memberikan dampak yang cukup besar terhadap emisi gas dengan efek rumah kaca ini. Salah satu aktivitas manusia yang menyebabkan permasalahan tersebut adalah dalam bidang transportasi. Peningkatan jumlah kendaraan secara signifikan akan berbanding lurus dengan peningkatan konsumsi bahan bakar dan akan mengakibatkan polusi serta pencemaran udara. Di lain pihak, perkembangan teknologi berbanding terbalik dalam hal pemanfaatan energi secara efektif dan efisien, termasuk dalam pemakaian energi di bidang transportasi.

Berkaitan dengan hal tersebut, riset-riset terkini di bidang aerodinamika kendaraan, dilakukan dengan sudut pandang desain yang efisien dan mampu memberi dampak penghematan bahan bakar. Karena alasan ini, aerodinamika kendaraan darat telah dipelajari secara eksperimenta dan numerik oleh banyak peneliti.

Untuk mengurangi hambatan aerodinamika, jika ditinjau dari dinamika fluida, maka metode yang dapat dilakukan adalah dengan cara: memodifikasi aliran secara lokal, memindahkan atau menunda posisi separasi, atau mengurangi berkembangnya zona sirkulasi dibagian belakang dari struktur pusaran yang terseparasi (*separated swirling structure*) [2].

Metode-metode tersebut dapat dilakukan dengan mengontrol aliran di dekat dinding dengan atau tanpa pemberian energi tambahan dengan menggunakan kontrol aktif atau pasif [2]. Penggunaan sistem-sistem pasif dalam kontrol aliran sampai sejauh ini lebih populer karena alasan biaya yang lebih murah. Dalam prakteknya, kontrol aliran dapat dilakukan jika distribusi tekanan pada dinding dapat dimodifikasi

dengan tepat dibagian belakang dan pada kaca belakang (*rear window*) mobil dengan menggunakan berbagai jenis perangkat, seperti pemakaian *spoiler* atau *fin*, yang dapat mengubah geometri aliran secara lokal seperti diilustrasikan pada gambar 1.1(a) di bawah ini.



Gambar 1.1 (a) Pengaruh penggunaan spoiler di belakang *rear window* pada pengurangan hambatan aerodinamik
(b) Sketsa jet sintetik yang dibentuk oleh aktuatur dalam *cavity* dengan saluran keluar *orifice*

Kebutuhan akan pengurangan gaya *drag* yang lebih efektif mendorong pada perancangan otomotif yang lebih kreatif dalam mengembangkan model kontrol aktif yang inovatif. Metode kontrol aktif memungkinkan untuk memodifikasi topologi aliran tanpa merubah bentuk dari kendaraan. Beberapa penelitian yang telah dilakukan seperti: kontrol aktif hisapan (*suction*) yang diletakkan pada bagian atas dari jendela belakang (*rear window*) mampu menghilangkan separasi pada geometri mobil *fastback* yang disederhanakan dimana pengurangan *drag* aerodinamis diperoleh 17% [3]. Hal serupa juga dilakukan [3], dimana kontrol aktif aliran yang digunakan adalah tiga kombinasi penempatan *suction* dan *blowing* pada bagian belakang dari *Ahmed model*, menghasilkan pengurangan *drag* terbaik sebesar 13%. Selain itu penelitian secara numerik dilakukan oleh Kuota and Gillieron (2009) dengan menggunakan kontrol aktif *synthetic jet* yang ditempatkan pada bagian atas jendela belakang *Ahmed model* dimana pengurangan *drag* diperoleh sebesar 13%. Kontrol aktif *synthetic jet* di iluistrasikan seperti pada gambar.1.1(b) di atas.

Berdasarkan uraian tersebut diatas dan hasil penelitian yang telah dilaporkan oleh banyak peneliti, masih memberikan ruang untuk melakukan riset tentang penerapan kontrol aktif aliran yang dapat menghasilkan pengurangan *drag* pada aerodinamika kendaraan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh pemasangan kontrol aktif aktuatur jet sintetik dengan bentuk kaviti kerucut terhadap penurunan hambatan (*drag reduction*) aerodinamika pada model uji *reverse ahmed body* dengan membandingkan antara pengujian menggunakan dan tidak menggunakan aktuatur jet sintetik.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Drag Aerodinamika

Drag adalah besarnya gaya yang bergerak di atas sebuah objek yang memiliki posisi sejajar dengan aliran bebas. *Drag* pada suatu benda diakibatkan oleh dua hal yaitu gesekan antara fluida dengan permukaan benda dan beda tekanan. *Drag* karena gesekan disebut hambatan gesek (*friction drag*) yang tergantung pada besar permukaan yang bersentuhan dengan fluida, tegangan geser, viskositas, gradien kecepatan, kekasaran permukaan dan *streamline body*. Sedangkan *drag* dengan beda tekanan disebut *form drag* tergantung pada bentuk, ukuran, distribusi tekanan, *wake* (olakan), bilangan *Reynolds* dan model uji dari benda yang dikenakan aliran.

Gaya *drag* (hambatan) diekspresikan sebagai hasil kali koefisien *drag*, tekanan dinamis arus bebas dan luas karakteristik yang dapat dituliskan dalam bentuk sebagai berikut [3], *Drag* di rumuskan sebagai berikut:

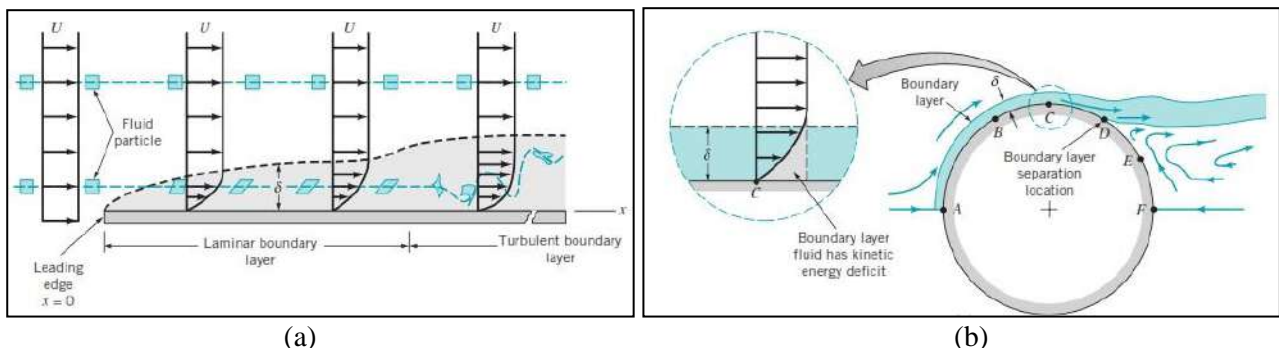
$$C_{D,p} = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U^2 A} \quad [2.1]$$

Dimana:

F_D	= gaya drag	(N)
ρ	= massa jenis udara	(kg/m ³)
U	= kecepatan aliran udara	(m/s)
A	= luas daerah yang mengalami geseran	(m ²)

2.2. Lapisan Batas

Lapisan batas adalah daerah yang melingkupi permukaan aliran, dimana tepat di bawah lapisan batas terdapat hambatan akibat pengaruh gesekan fluida dan tepat di atas lapisan batas aliran fluida adalah tanpa hambatan, sehingga untuk menganalisa pengaruh gesekan fluida, penting untuk diketahui konsep tentang lapisan batas tersebut.



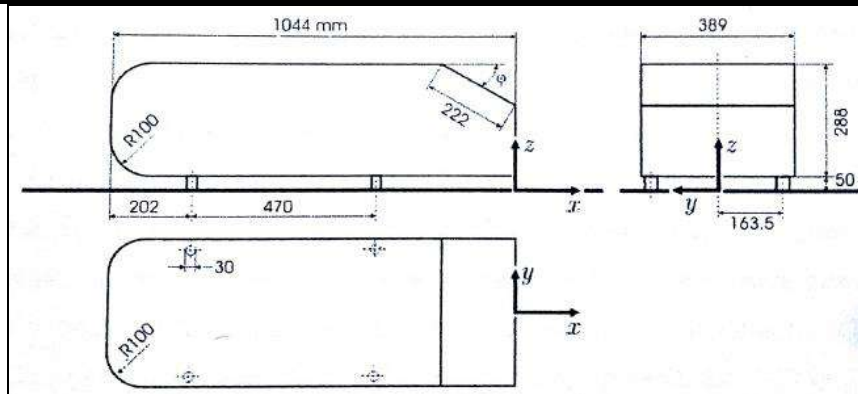
Gambar 2.1. (a) Distorsi dari partikel fluida ketika mengalir di dalam lapisan batas (b) separasi aliran yang terjadi pada silinder [3]

2.3 Sparasi Aliran

Separasi aliran merupakan bentuk efek *viskos* dari fluida, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1(b), karena adanya efek *viskos*, fluida pada titik D di permukaan silinder kehilangan energi kinetik, sehingga tidak memiliki momentum yang cukup untuk mengalir dalam lapisan batas menuju E. Titik D adalah titik dimana separasi aliran terjadi. Diluar titik C menuju D terjadi aliran balik karena perbedaan kecepatan yang tinggi antara daerah olakan dengan lapisan batas [3].

2.4 Model Ahmed Body

Kompleksitas yang tercakup dalam desain mobil karena adanya sejumlah besar aksesoris dan perangkat yang membentuk geometri mendorong kajian yang intensif secara komputasi dalam memodifikasi medan aliran sebelum dilakukan pengujian secara eksperimental. Banyak penelitian menggunakan model *Ahmed body* sebagai referensi model paling umum untuk mobil berjenis *bluff body* karena bentuknya yang cukup sederhana namun diyakini dapat mencapai tingkat akurasi yang memadai pada simulasi aliran dengan mempertahankan fitur yang relevan, penting dan praktis dari *body* mobil tersebut.



Gambar 2.2 Model uji *reverse ahmad body* (Ahmed et al, 1984)

2.5 Mekanis Aktuator Jet Sintetik

Mekanisme jet sintetik dihasilkan oleh sebuah aktuator jet sintetik (*Synthetic Jet Actuator/SJA*). Secara teknik, aktuator ini adalah peralatan yang memerlukan input *massa netto nol* (*zero mass input*), namun menghasilkan output momentum tidak nol (*non zero momentum output*). Jet sintetik ini terbentuk dari perpaduan rangkaian *vortex* yang ditimbulkan oleh getaran harmonik sebuah diafragma yang berfungsi sebagai dinding sebuah cavity, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1(b) di atas.

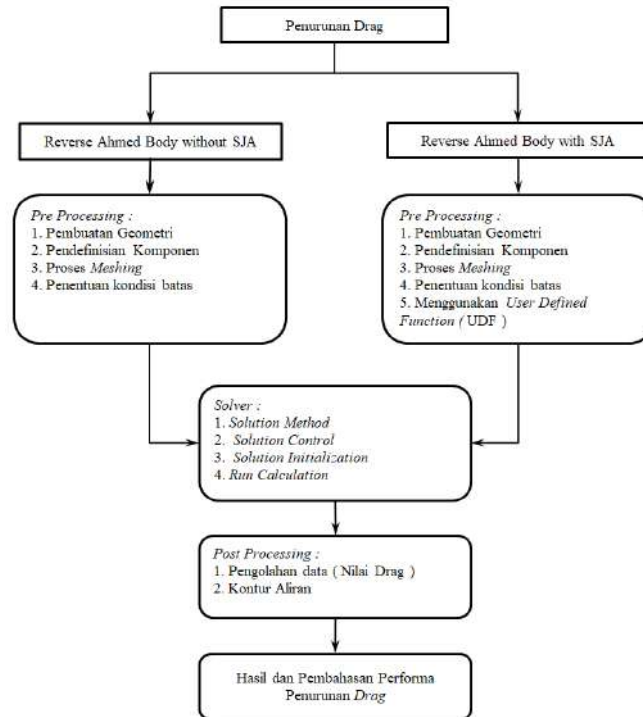
2.6 Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational Fluid Dynamic atau yang disingkat sebagai CFD merupakan suatu cara untuk menganalisa karakteristik dari fluida dalam suatu sistem tertentu dengan menggunakan perhitungan secara numerik pada komputer. CFD memiliki tiga prinsip dasar yaitu teori kekekalan energi, kekekalan momentum, dan kontinuitas massa.

Pada masa kini, CFD sudah menjadi salah satu pendekatan yang dilakukan dalam mencari jawaban pada suatu permasalahan *engineering*, terutama dalam bidang mekanika fluida dan perpindahan panas. Proses pada *computational fluid dynamic* ada tiga yaitu: *pre-processing*, *solver* & *post processing*.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan mengikuti diagram alir penelitian yang disajikan pada gambar 3.1.

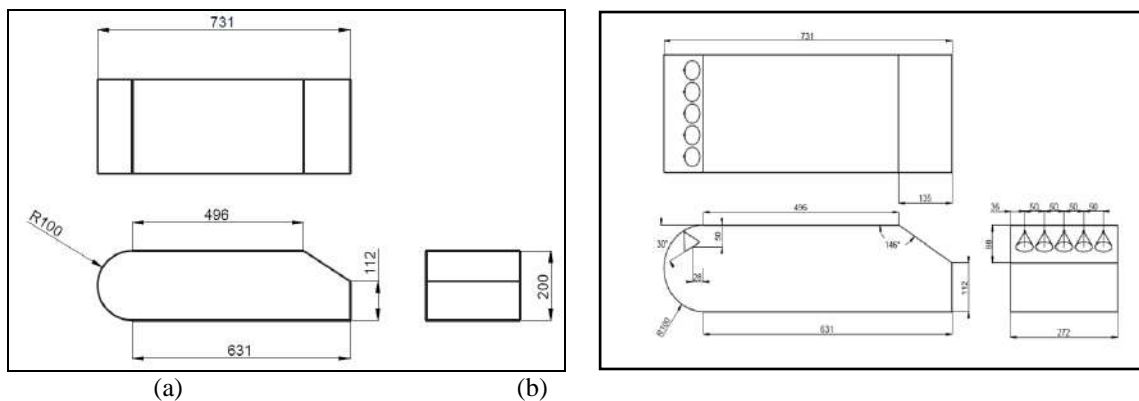


Gambar 3.1. Flow Chart Penelitian

4. TAHAPAN PENELITIAN

4.1 Pembuatan model ahmed body

Dalam penelitian ini akan diambil dua simulasi, yaitu dengan model uji *reverse ahmed body* tanpa dan menggunakan aktuator jet sintetis. Kaviti yang digunakan adalah bentuk kerucut dengan diameter orifis 3 mm.



Gambar 4.1. (a) Ahmad Body Non Synthetic Jet Actuator (b) Ahmad Body With Synthetic Jet Actuator

4.2 Tahapan Simulasi

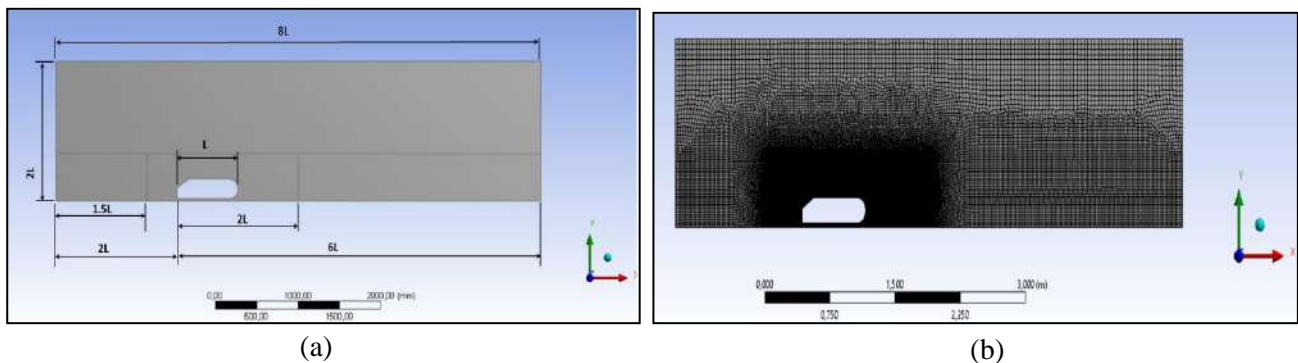
4.2.1 Pre-Processing CFD

a. Geometry

Geometri yang digunakan pada metode komputasional ini menggunakan model uji *ahmed body* model 2D, Domain yang digunakan pada metode dapat dilihat pada gambar 4.2 (a) di bawah ini:

b. Meshing

Meshing dilakukan dengan menggunakan tipe *cell* atau *grid* untuk simulasi 2 (dua) dimensi dan tidak berstruktur, yaitu tipe *mesh tetrahedron*. Parameter yang digunakan yaitu seperti pada tabel 4.2 (b).



Gambar 4.2. (a) *Geometry* (b) *Meshing*

c. *Setup*

Berfungsi untuk melakukan analisa gambar yang telah dilakukan proses *meshing* sebelumnya.

4.2.2 Solver

Setelah seluruh parameter dan kondisi batas sudah ditentukan, maka akan lanjut kepada tahap *solver*. Pada tahap ini akan ditentukan metode pemecahan yang akan digunakan oleh CFD untuk dapat memecahkan simulasi CFD tersebut dengan akurat. Penentuan yang dilakukan ada pada penentuan metode dari solusi dan juga kontrol dari perhitungan yang akan dilakukan untuk mendapatkan sebuah solusi.

4.2.3 Post-Processing

Pada tahapan *post-processing* yang akan dilakukan adalah melihat hasil dari perhitungan iterasi yang sudah dilakukan pada tahap *solver*. Dari hasil yang didapatkan akan dilakukan analisa komprehensif dari distribusi kecepatan, tekanan dan koefisien *drag* (C_D) yang terdapat pada model uji *reverse ahmed body* baik ketika tanpa menggunakan ataupun saat digunakan aktuator jet sintetik.

5. Hasil Penelitian

5.1 *Uncertainty Data Penelitian*

Uncertainty (ketidakpastian dari pengukuran kuantitatif) tidak dilaporkan sebagai nilai tunggal tetapi dengan suatu rentang nilai yang diperkirakan nilai benar berada didalam nilai tersebut. Hasil pengukuran yang bervariasi mencerminkan penyimpangan yang disebabkan oleh faktor kinerja alat, metode pengukuran, kondisi lingkungan, dan sebagainya. *Uncertainty* bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kebenaran dalam mengambil banyaknya data (N). Untuk menghitung nilai *uncertainty* pada penelitian ini memakai persamaan yang ada dibawah ini berlaku untuk tingkat kepercayaan 95% atau maksimum nilai *error* data 5%, yaitu:

$$\sigma_x = \frac{2Sx}{\sqrt{N}} \quad [5.1]$$

Sedangkan untuk menentukan persentase tingkat ketidakpastian pengukuran (U_N), dapat dilakukan dengan persamaan dibawah ini :

$$U_N = \frac{\sigma_x}{x} \chi 100\% \quad [5.2]$$

Dimana:

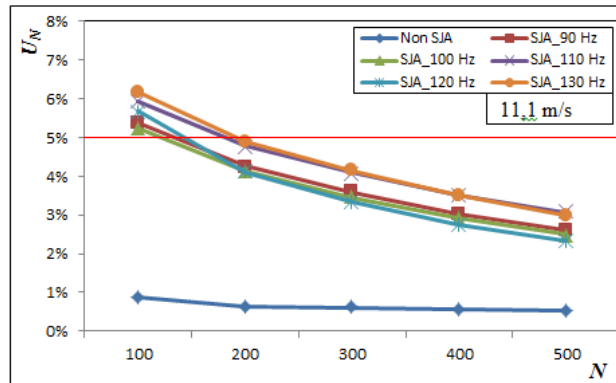
σ_x = Standar deviasi populasi

Sx = Standar deviasi sampel

x = data rata - rata

Berdasarkan hasil perhitungan *uncertainty* yang telah didapatkan dari pengolahan data sebanyak 500 data telah memberikan nilai *uncertainty* nya rata-rata untuk model uji tanpa aktuar jet sintetik sebesar U_N 0.6% sedangkan uji menggunakan aktuator jet sintetik berada pada $U_N < 2,7\%$ sesuai pada gambar 5.1. Jadi

dengan mengambil jumlah data sebanyak 500 data telah memenuhi syarat tingkat kepercayaan data.



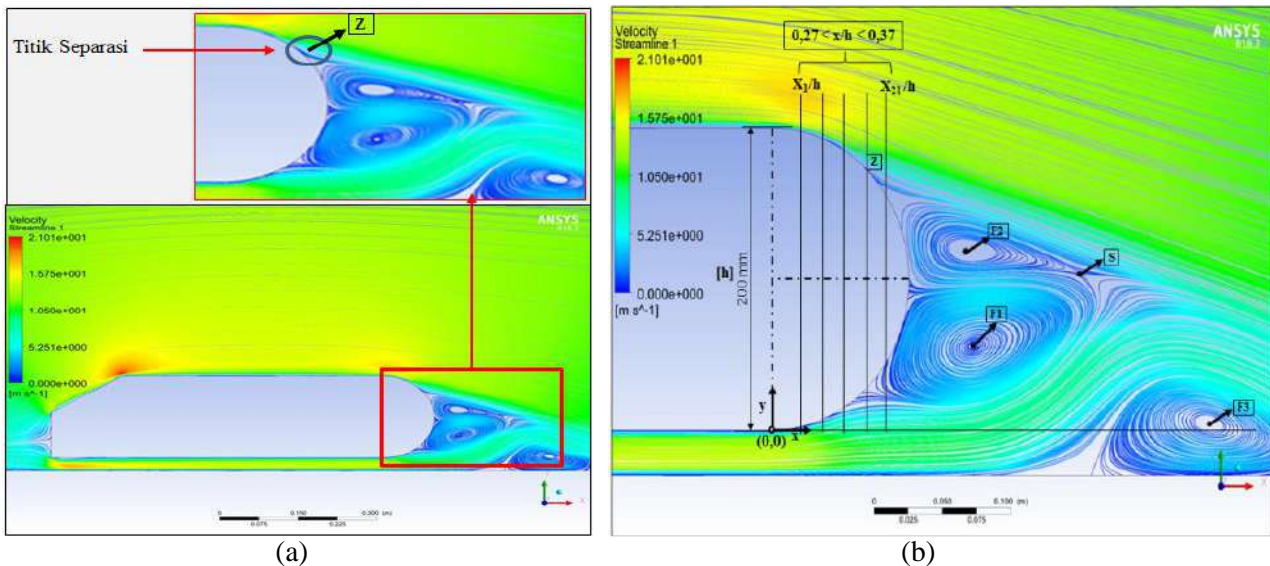
Gambar 5.1 Uncertainty data

5.3 Menentukan Titik Separasi

Untuk menentukan titik separasi dilakukan dua tahapan yaitu tahap pertama dengan cara visualisasi dan kemudian dilanjutkan dengan tahap kedua yaitu dengan cara menentukan titik (x,y) dari nilai *velocity* yang terkecil.

5.3.1 Tahap Visualisasi

Pada tahapan ini, cara menentukan titik separasi adalah dengan melihat secara visual dari simulasi medan aliran *freestream* yang terjadi pada model uji *ahmad body*. Titik separasi dilihat pada bagian belakang model uji seperti pada Gambar 5.2 (a) dimana titik separasi ditunjukkan oleh titik Z, yaitu titik perpisahan aliran *freestream* dengan permukaan model uji *ahmad body*. Titik Z tersebut akan dijadikan acuan *range* untuk meneliti lebih lanjut pada tahap kedua.



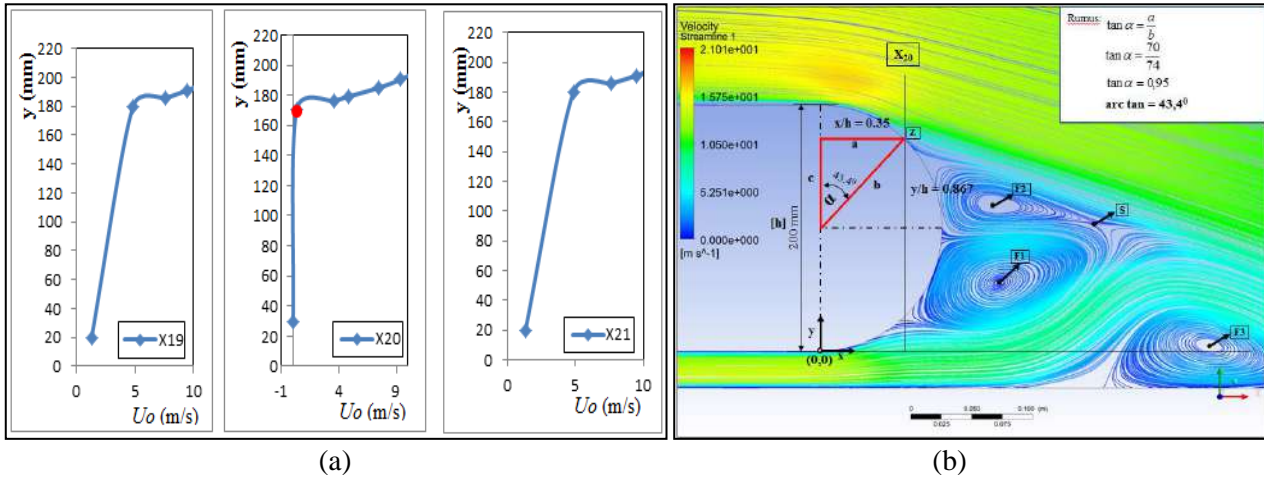
Gambar 5.2 (a) Stream line (b) titik range velocity x/h kecepatan 11,1 m/s pada model *ahmad body* Non SJA

Dari gambar 5.2 (a) letak titik Z berada pada koordinat $x/h = 0.34$ dan $y/h = 0.869$, titik tersebut merupakan dugaan sementara titik separasi pada kecepatan 11,1 m/s. Untuk memastikan titik tersebut adalah titik separasi maka dilakukan pengujian tahap kedua berdasarkan nilai *velocity* terkecil.

Kemudian dibuat titik – titik acuan dengan *range* yang sudah di tentukan yaitu $0,27 < x/h < 0,37$. Untuk mempermudah dalam penulisan maka setiap titik diberi inisial mulai dari $X_1/h, X_2/h, X_3/h, \dots, X_{21}/h$, dimana ($X_1/h = 0,27$) dan ($X_{21}/h = 0,37$). Setiap titik ditarik garis lurus terhadap sumbu Y (vertikal) seperti pada gambar diatas 5.2 (b).

5.3.2 Tahapan Nilai Velocity

Pada gambar 5.3 (a) tersebut menunjukkan bahwa semakin besar atau kecil titik x/h tidak mempengaruhi semakin kecilnya nilai *velocity*, Karena nilai *velocity* dipengaruhi oleh perubahan lapisan alir. Pada hal ini yang mendekati keakuratan adalah titik x_{20}/h dimana grafik yang terbentuk mendekati garis nol yaitu 0.3314 m/s, hal tersebut memenuhi syarat ciri - ciri titik separasi yaitu: terbentuknya awal mula aliran yang ditandai dengan nilai *velocity* yang rendah (mendekati nol).



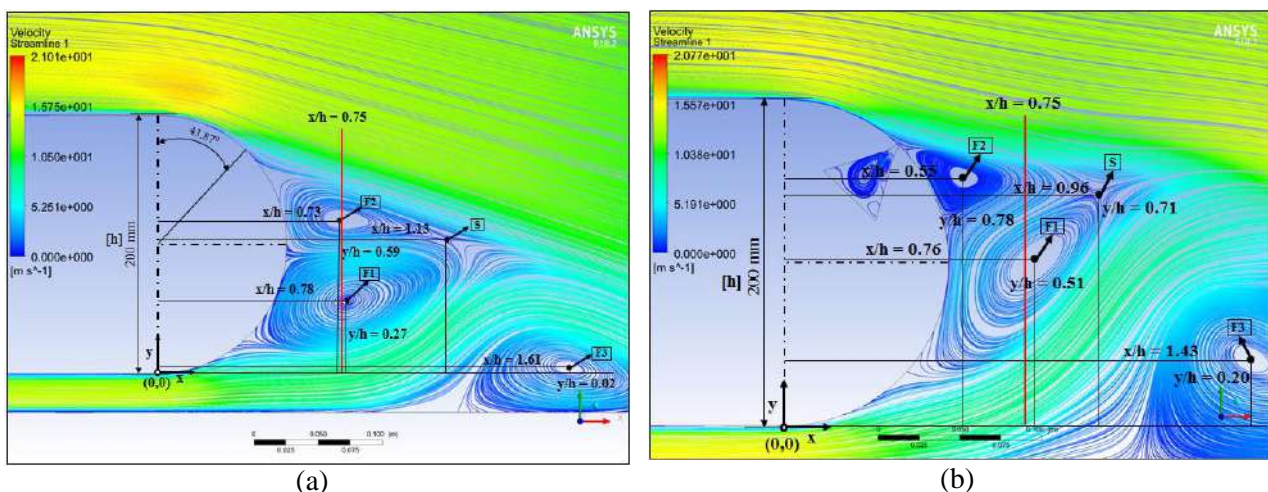
Gambar 5.3 (a) Titik *velocity* x_{19} , x_{20} dan x_{21} (b) Titik separasi pada kecepatan 11,1 m/s

Pada Gambar 5.3 (b). diatas menunjukan titik separasi (Z) di bidang lengkung model uji *ahamd body* pada kecepatan 11,1 m/s memiliki sudut kemiringan sebesar 43.4° . Untuk mempermudah pembuatan model uji maka sudut titik separasi ini ditetapkan sebesar sebesar $43.4^\circ \pm 0,5^\circ$ vertikal kelengkungan bidang belakang model uji. Untuk kecepatan 13,9 m/s dan 16,7 m/s dilakukan perhitungan yang sama. Hasilnya adalah kecepatan 13.9 m/s dan 16.7 m/s masing – masing memiliki titik sudut separasi sebesar 36.9° m/s dan 33.59° m/s. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Titik separasi (Z) terletak semakin keatas pada bidang lengkung di belakang model uji jika kecepatan *freestream*-nya semakin besar, sehingga separasi lebih cepat terjadi.

5.4 Pengaruh Pemasangan Aktuator Jet Sintetik

5.4.1 Perbandingan Medan Aliran

Alat kontrol aliran yang dipasang pada pengujian ini diletakkan pada bagian belakang model uji dimana titik semburannya terletak pada titik separasi mulai terjadi (titik Z) pada Gambar 5.3(b). Pada gambar 5.4 ini terlihat ada 3 (tiga) daerah titik pusat aliran balik pada bagian bawah (F1), pada bagian atas (F2) dan bagian jauh dari kelengkungan model uji (F3) serta terbentuknya *saddle point* (S) yang mengindikasikan berakhirnya zona resirkulasi.



Gambar 5.4. Medan aliran (a) tanpa aktuator jet sintetis (b) menggunakan aktuator jet sintetis pada kecepatan 11,1 m/s frekwensi 90 Hz

Fenomena gambar 5.4 menandakan bahwa terjadinya dua titik pusat aliran balik menyebabkan adanya dua daerah sirkulasi sehingga olakan yang terjadi pada bagian belakang model uji akan berkurang. Salah satu penyebab penurunan *drag* pada kendaraan disebabkan oleh pengurangan olakan dan terbentuknya daerah resirkulasi di belakang aliran. Hal tersebut dibuktikan dengan posisi titik pusat aliran balik F1, F2 dan F3 bergeser, sebagai contoh yaitu: model uji yang menggunakan alat kontrol aktif aktuator jet sintetis menggeser titik F1, pada kondisi tanpa menggunakan alat kontrol dari $x/h = 0.78$ bergerak mendekati model uji pada $x/h = 0.76$ dan sedikit bergerak keatas dari posisi $y/h = 0.27$ ke posisi $y/h = 0.51$. Akibatnya separasinya berkurang, sehingga menurunkan *wake* yang terjadi. Karena penurunan *wake* inilah gaya hambat (C_D) yang pada model uji menjadi berkurang.

Hal ini dapat dikatakan bahwa, secara keseluruhan daerah olakan yang terjadi di belakang model ini berkurang dengan adanya penggunaan alat kontrol jenis aktuator jet sintetis, sehingga menyebabkan terjadinya penurunan *drag* pada model uji. Tabel 5.1 menunjukkan perbandingan titik pusat aliran balik tanpa dan menggunakan aktuator jet sintetis.

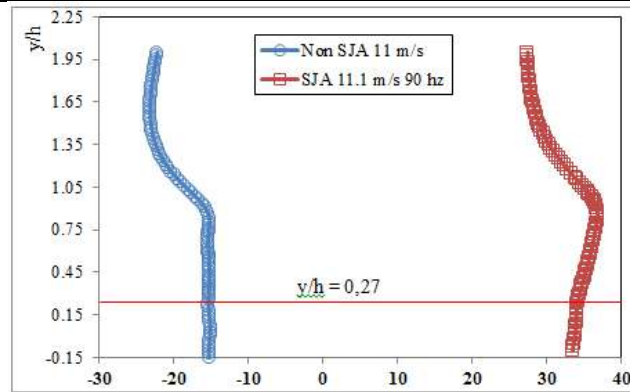
Tabel 5.1. Perbandingan Posisi titik F1, F2, F3 dan S tanpa dan menggunakan Aktuator Jet Sintetis

Model Uji	v (m/s)	f (Hz)	Gelombang	Titik Koordinat							
				x_{F1}/h	x_{F2}/h	x_{F3}/h	y_{F1}/h	y_{F2}/h	y_{F3}/h	x_S/h	y_S/h
Non SJA	11,1	-	-	0.78	0.73	1.61	0.27	0.59	0.02	1.13	0.51
	11,1	90	Quard	0.76	0.55	1.43	0.51	0.76	0.20	0.96	0.71
	11,1	100	Quard	0.76	0.54	1.41	0.52	0.77	0.20	0.94	0.72
SJA	11,1	110	Quard	0.75	0.54	1.41	0.51	0.77	0.21	0.92	0.75
	11,1	120	Quard	0.75	0.52	1.39	0.52	0.79	0.20	0.89	0.75
	11,1	130	Quard	0.75	0.52	1.39	0.52	0.79	0.20	0.89	0.75

5.4.2 Perbandingan Medan Aliran

Pada Gambar 5.5 terlihat bahwa tekanan statik yang ditimbulkan oleh model uji yang menggunakan aktuator jet sintetis (SJA) lebih besar dibandingkan dengan model uji yang tidak menggunakan SJA. Posisi titik yang dipilih untuk membandingkan anatar model uji yang menggunakan dan tidak menggunakan aktuator jet sintetis yaitu pada titik $y/h = 0.27$. Dari hasil perhitungan dengan metode interpolasi untuk mendapatkan titik akurat didapat bahwa tekanan statis tanpa aktuator sebesar (-15,296 Pa), dan tekanan dengan menggunakan aktuator sebesar (menjadi 34,368 Pa) naik sebesar (19.072 Pa) atau 125%. Akibatnya, kenaikan tekanan yang ditimbulkan oleh SJA di belakang model uji ini akan mengurangi daya isap terhadap model uji karena adanya daerah sirkulasi yang bertekanan rendah.

Kenaikan tekanan di belakang model uji inilah yang mengakibatkan berkurangnya gaya hambat terhadap model uji. Jika berkurangnya gaya hambat maka koefisien *drag* -nya juga akan berkurang, sehingga ada penurunan *drag* karena penggunaan aktuator ini.

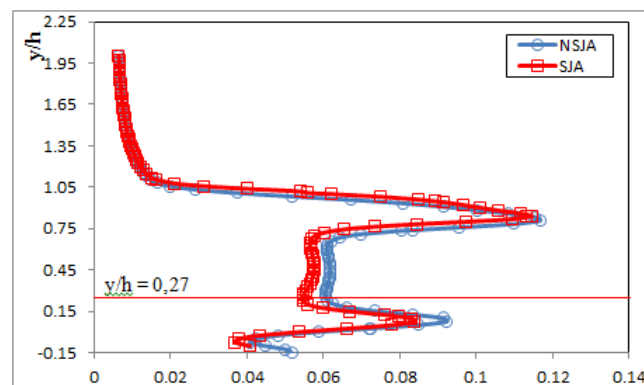


Gambar 5.5 Perbandingan tekanan statis pada model tanpa dan menggunakan SJA pada posisi $x/h = 0.75$

5.4.3 Perbandingan Turbulensi

Pada gambar 5.6 menunjukkan perbandingan nilai turbulensi, dimana posisi titik yang dipilih untuk menentukan nilai turbulensi yaitu pada titik $y/h = 0.27$. Dari hasil perhitungan dengan metode interpolasi untuk mendapatkan titik akurat didapat nilai intensitas turbulensi tanpa aktuator sebesar 0.562 sedangkan nilai intensitas turbulensi menggunakan aktuator sebesar 0.543, nilai turun sebesar 3% (0.019).

Penurunan intensitas turbulensi ini terjadi disekitar daerah aliran balik F1, sehingga daerah aliran balik F1 ini semakin berkurang dengan adanya aliran udara yang berasal dari aktuator jet sintetik. Pengurangan daerah aliran balik F1 ini dapat menyebabkan penurunan *wake*, sehingga dengan adanya penurunan *wake* ini akan mengakibatkan penurunan *drag*.

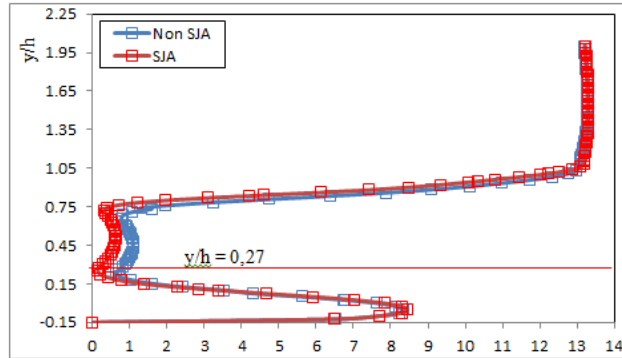


Gambar 5.6 Perbandingan intensitas turbulen pada model tanpa dan menggunakan SJA pada posisi $x/h = 0.75$

5.4.4 Perbandingan Kecepatan udara

Pada gambar 5.7 terlihat besarnya perbedaan kecepatan aliran udara di daerah *wake* antara model uji yang tidak menggunakan aktuator dengan model uji yang menggunakan aktuator. Posisi titik yang dipilih sebagai untuk menentukan nilai turbulensi yaitu pada titik $y/h = 0.27$. Dari hasil perhitungan dengan metode interpolasi untuk mendapatkan titik akurat didapat nilai kecepatan udara *downstream* tanpa aktuator sebesar 0.1036 m/s dan kecepatan udara *downstream* menggunakan aktuator menjadi 0.0879 m/s turun sebesar 15% (0.0157).

Penurunan udara *downstream* ini terjadi di sekitar daerah aliran balik F1, sehingga daerah aliran balik F1 ini semakin berkurang dengan adanya aliran udara yang berasal dari aktuator jet sintetik. Pengurangan daerah aliran balik F1 ini dapat menyebabkan penurunan *wake*, sehingga dengan adanya penurunan *wake* ini akan mengakibatkan penurunan *drag* bagi model uji.



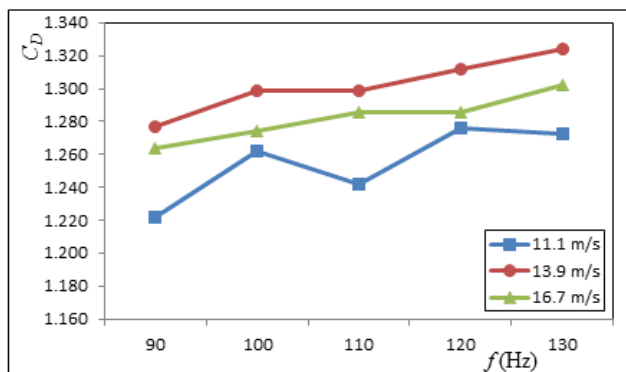
Gambar 5.7. Perbandingan kecepatan udara *downstream* pada model tanpa dan menggunakan SJA dengan kecepatan $U_o = 11.1 \text{ m/s}$ pada $y/h = 0.75$.

5.4.5 Nilai Drag Reduction

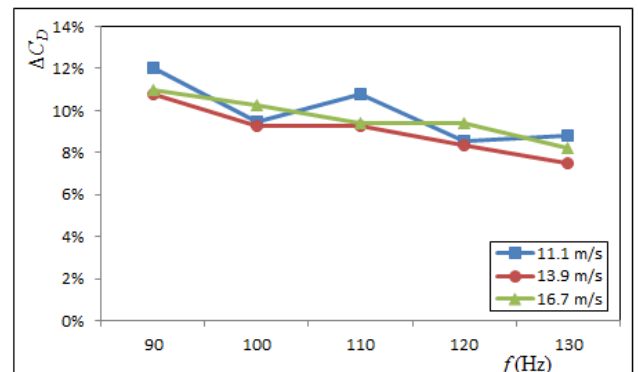
Dari hasil penelitian yang dilakukan pada model uji *ahamd body* tanpa aktuator jet sintetis dan menggunakan aktuator jet sintetis diuji pada kecepatan yang berbeda dan frekwensi eksitas yang berbeda pula, dibuktikan bahwa adanya penurunan nilai koefisien *drag* seperti data Gambar 5.8. Hal tersebut terjadi karena beberapa faktor yang telah dijelaskan seperti: medan aliran, nilai tekanan statik, turbulensi dan kecepatan *freestrem* yang mengalami perubahan setelah menggunakan aktuator jet sintetis .

Dari data Gambar 5.8.(a) menunjukkan bahwa rata nilai *drag* terkecil yaitu pada kecepatan 11.1 m/s frkuwensi 90 Hz dengan nilai C_D 1.222 . Untuk rata nilai C_D disetiap kecepatan adalah kecepatan *freestrem* 11.1 m/s (1.255), kecepatan *freestrem* 13.9 m/s (1.302) dan kecepatan *freestrem* 16.7 m/s (1.282).

Setelah dibandingkan antara tanpa dan menggunakan aktuator jet sintetis menunjukkan bahwa adanya penurunan *drag reduction*. Nilai *drag reduction* ditampilkan seperti pada Gambar 5.8 (b). Pada pengujian setiap kecepatan dan frekwensi yang digunakan mengalami *drag reduction*, nilai *reduction* terbesar pada kecepatan 11.1 m/s dengan frekwensi 90 Hz yaitu sebesar 12% ($\Delta C_D = 0.189$). Hasil ini membuktikan bahawa adanya penurunan hambatan (*drag reduction*) pada model uji *ahmad body* setelah menggunakan aktuator jet sintetis.



(a)



(b)

Gambar 5.8. (a) Nilai koefisien *drag* pada model uji menggunakan aktuator jet sintetis (b) Prosentase *drag reduction*

Tabel 5.2. Prosentase nilai *Drag Reduction*

Model Uji	Kecepatan (m/s)	Gelombang	Frekwensi				
			90 Hz	100 Hz	110 Hz	120 Hz	130 Hz
SJA	11.1	Quard	12%	9%	11%	9%	9%
	13.9	Quard	11%	9%	9%	8%	8%
	16.7	Quard	11%	10%	9%	9%	8%

6. KESIMPULAN

Dari data hasil penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa setelah dilakukan pemasangan kontrol aktif aktuator jet sintetik dengan kaviti berbentuk kerucut (diameter orifes 3 mm) pada model uji *reverse ahmad body* menunjukkan bahwa adanya penurunan hambatan (*drag reduction*) aerodinamika, dengan hasil paling maksimal diperoleh pada kecepatan 11,1 m/s pada frekwensi 90 Hz yaitu sebesar 12% ($\Delta C_D = 0.189$).

DAFTAR PUSTAKA

1. IEA, 2007, World Energy Outlook 2007, *Executive Summary, China and India insights, International Energy Agency IEA*, ISBN : 978-92-64-02730-5
2. Roumeas M., Gillieron P., and Kuorta A., 2009, *Drag Reduction by Flow Separation Control on a Car after Body*, International Journal for Numerical Method in Fluids, **60**, pp. 1222 – 1240
3. Munson, Bruce R., Donald F. Young, Theodore H. Okishi. (2002) *Fundamentals of Fluid Mechani*. New York: John Wiley & Sons inc.
4. Yogatama, Marga, *Pengaruh Pemasangan Jet Sintetik Aktuator Pada Model Ahmedbody Terbalik Terhadap Penurunan Hambatan (Drag Reduction) Melalui Metode Simulasi*, **Skripsi**, Teknik Mesin Universitas Pancasila, Jakarta, 2017.
5. Trisno, Ramon, *Kontrol Aktif Jet Sintetik Pada Aplikasi Aerodinamika Kendaraan*, **Disertasi** Teknik Mesin Universitas Indonesia, Depok, 2018.

SUBMISSION 47

Studi Eksperimen Pemanfaatan Gas Suar (Flare Gas) Menghasilkan Daya Listrik 15 kW

Nafsan Upara^{1,*}, Eko Prasetyo¹, dan Dian Sri S²

¹Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila, Srengseng Sawah, Jagakarsa 12640 Jakarta

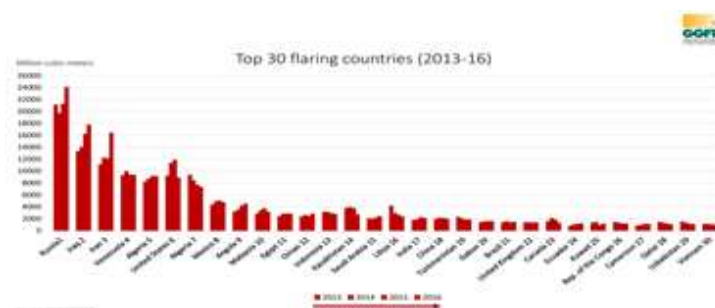
²Production, Operation & Maintenance Services Div., PT. Elnusa, Tbk

Abstrak. Industri minyak dan gas bumi di Indonesia memiliki gas suar (flare gas) mencapai 200 MMCFD (Million Metrics Standard Cubic Feet of Gas per Day), saat ini penanganan gas suar (flare gas) dilakukan dengan cara dibuang ke udara dan atau di bakar. Gas yang dibuang ke udara dan di bakar adalah salah satu penyebab masalah lingkungan yang paling menantang yang dihadapi dunia. Saat ini dunia sedang menghadapi pemanasan global sebagai salah satu masalah utamanya. Masalah ini menyebabkan peningkatan emisi CO₂, CH₄ dan gas rumah kaca lainnya di atmosfer dan memberi pencemaran pada lingkungan dan juga menyebabkan terganggunya kesehatan. Dua pendekatan yang dapat diikuti untuk mengurangi dampak akibat pembakaran atau pembuangan gas suar ke udara, yang pertama adalah mengurangi gas suar dengan memperbaiki proses dan yang kedua menggunakan atau pemanfaatan kembali gas suar. Penelitian ini merupakan studi eksperimen bertujuan untuk mencari solusi menerapkan pendekatan kedua yaitu pemanfaatan gas suar sebagai konversi energi. Pemanfaatan gas suar dimulai dengan mengukur komposisi kimia yang terdapat pada gas suar yang keluar dari sumur minyak dan gas, menyalurkan gas suar sejumlah rata-rata 8,1 Mcfd (Million cubic feet of gas per day) melalui peralatan konversi energi : pipe penyalur gas suar dari sumur masuk ke fuel treatment system, fuel feeding dan gas engine kemudian menggerakkan generator yang terhubung dengan electric transmission system yang tersedia pada generator tenaga gas Mores 100 kVa menghasilkan kurang lebih daya listrik 15,3 kW.

Kata kunci— *Daya listrik; Gas suar; Pemanfaatan gas suar; Peralatan konversi energi*

1. PENDAHULUAN

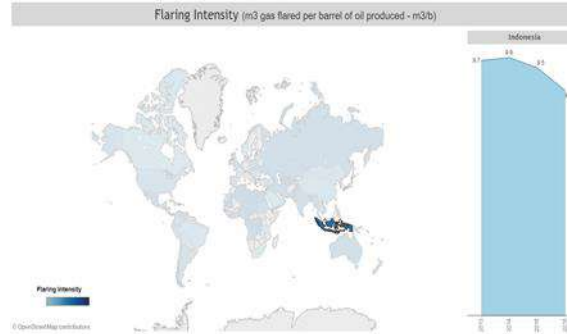
Pembakaran gas yang dilakukan berasal dari sumur minyak, pabrik pengolahan hidrokarbon atau kilang, baik sebagai sarana pembuangan atau sebagai tindakan pengamanan untuk mengurangi tekanan [1], telah diakui saat ini sebagai masalah utama terhadap pencemaran lingkungan.



Gambar 1 30 Negara terbesar Pembakaran Gas [2]

Bank Dunia [2] melaporkan bahwa antara 150 hingga 170 miliar m³ gas dibakar atau dibuang setiap tahun, nilainya sekitar USD 30,6 miliar, setara dengan seperempat dari konsumsi gas Amerika Serikat atau 30% dari konsumsi gas Uni Eropa setiap tahun. Indonesia menurut Bank Dunia menempatkan pada ranking ke 13 dunia menghasilkan pembakaran gas (*gas flaring*) pada tahun 2016 sebanyak 2.766 mcm (*million cubic metre*) [3], dengan intensitas pembakaran (*flaring intensity*) gas suar di bidang perminyakan Indonesia dari tahun 2013 sampai dengan 2016 sebesar 9,7 - 8,6 m³/b (m³ gas yang dibakar per barrel dari minyak yang dihasilkan) sebagaimana diperlihatkan pada gambar 2.

* Corresponding author: uparanafsan@gmail.com



Gambar 2 Intensitas Pembakaran Gas Suar di Indonesia dari tahun 2013 – 2016 (m³/b minyak) [3]

Data dari Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi Indonesia bahwa adanya gas suar kurang lebih (*flare gas*) mencapai 200 mmscfd (*million million standard cubic feet of gas per day*) belum dimanfaatkan dan hanya dibakar dan atau dibuang ke udara. Kerugian dari pembakaran gas adalah kerugian terbesar dari banyak operasi industri, seperti produksi minyak dan gas, kilang, pabrik kimia, industri batubara dan tempat pembuangan sampah. Dalam skala dunia, pembakaran gas yang demikian banyak mencemari lingkungan dengan CO₂ sekitar 400 metrik ton per tahun [4-5]. Pembakaran gas merupakan masalah energi dan lingkungan yang paling menantang yang dihadapi dunia saat ini. Saat ini dunia sedang menghadapi pemanasan global sebagai salah satu masalah utamanya. Masalah pembakaran gas suar ini dapat menyebabkan peningkatan emisi CO₂, CH₄ dan gas rumah kaca (*greenhouse gases*, GHG) lainnya di atmosfer. Di sisi lain, gas yang menyala sangat mirip dengan komposisi gas alam dan merupakan sumber energi yang lebih bersih daripada bahan bakar fosil komersial lainnya [6]. Oleh karena itu, ada kebutuhan mendesak untuk mengendalikan pembakaran gas suar ini sehingga pencemaran lingkungan dapat dikurangi.

Sumur TMT 36 adalah Sumur minyak yang tidak berfungsi (minyaknya sudah habis) yang ada hanya gas yang dikeluarkan. Sumur ini berada di daerah *Gold Water* wilayah kerja (WK) Pertamina Desa Tanjung Kemala Muara Enim Sumatera Selatan. Gas suar (*flare gas*) yang dikeluarkan oleh Sumur TMT 36 selama ini melalui *gas flaring system* dibakarkan kemudian dibuang ke udara. Daerah ini seringkali terjadi pemadaman listrik PLN sehingga semua aktivitas produksi minyak dan gas terhenti, termasuk masalah akomodasi *crew*/tenaga kerja. Penggunaan Genset dengan bahan bakar disel sebagai solusi agar pasokan listrik tetap ada. Gas suar yang demikian ini banyak dijumpai pada sumur sumur minyak di wilayah kerja perminyakan Indonesia karena minyaknya sudah habis yang tertinggal hanya gas saja. Sejak tahun 2005, adanya kenaikan harga gas dan meningkatnya kekhawatiran tentang kelangkaan sumber daya minyak dan gas, minat akan gas suar telah meningkat dan jumlah gas yang terbuang telah dipertimbangkan. Pemerintah Indonesia melalui peraturan Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (ESDM) Nomor: 31 Tahun 2012 [7] Tentang Pelaksanaan Pembakaran Gas Suar Bakar (*Flaring*) Pada Kegiatan Usaha Minyak Dan Gas Bumi pada intinya adalah mewajibkan pemanfaatan Gas Suar Bakar secara optimal bagi Kontraktor atau Pemegang Izin Usaha Pengolahan kemudian dikeluarkan peraturan baru ESDM ditahun 2017 Nomor 32 Tahun 2017 [8] tentang Pemanfaatan dan Harga Jual Gas Suar Pada Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi (Permen ESDM 32/2017).

Aturan baru ini bertujuan meningkatkan pemanfaatan gas suar dan menurunkan volume pembakaran gas suar (*flaring*), serta mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari kegiatan usaha hulu. Selain itu membuka kesempatan bagi kontraktor atau Perusahaan izin usaha untuk membeli gas suar dari pemerintah dengan harga yang telah ditetapkan untuk kegiatan bisnisnya antara lain keperluan pembangkit listrik, pemanfaatan gas melalui pipa untuk industri atau rumah tangga, *Compressed Natural Gas*, *Liquefied Petroleum Gas* (LPG), Dimetil Eter, dan keperluan lainnya sesuai dengan komposisinya. Peraturan pemerintah diatas telah membangkitkan minat para kontraktor atau mitra kerja pemerintah untuk memanfaatkan gas suar tersebut untuk kegiatan bisnis, namun dari aspek teknis dan keekonomian menjadi pertimbangan.

2. MASALAH DAN LUARAN PENELITIAN

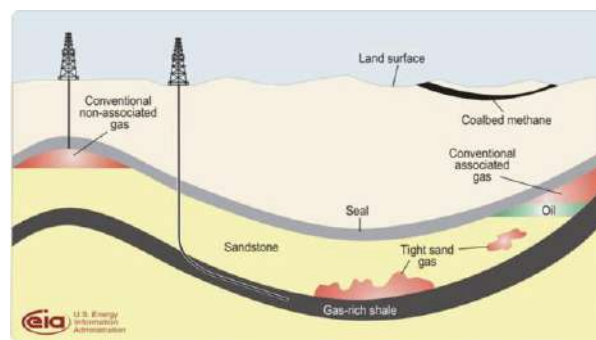
Dari penjelasan diatas, pemanfaatan gas suar akan menghemat energi dan mengurangi emisi atau upaya kontribusi terhadap efisiensi energi dan mitigasi perubahan iklim [4] perlu dilakukan. Penelitian ini merupakan suatu studi eksperimen memanfaatkan gas suar untuk menghasilkan daya listrik. Untuk daerah

Gold Water wilayah kerja (WK) Pertamina Desa Tanjung Kemala Muara Enim Sumatera Selatan, pemanfaatan gas suar ini sangat penting yang tadinya dibakar dapat dikonversikan menjadi listrik mengurangi ketergantungan kepada pasokan listrik dari PLN yang sering padam dan bahan bakar diesel untuk Genset guna kelancaran operasi produksi sumur sumur minyak yang ada. Luaran yang diharapkan dalam penelitian ini yaitu dengan memanfaatkan gas suar dapat menghasilkan besarnya daya listrik kurang lebih 15 kW.

3. TINJAUAN PUSTAKA

a. Gas Alam

Gas alam (*natural gas*) merupakan salah satu bahan bakar fosil yang tidak terbarukan. Gas alam terdapat rangkaian bahan kimia mengandung *Hydrogen* (H) dan *Carbon* (C). Sebagian besar komposisi penyusun gas alam yaitu gas metana (CH_4) ada sebagian etana (C_2H_6), propana (C_3H_8) dan beberapa komposisi lainnya [9]. Apabila dilihat dari sumber produksinya gas alam dapat dibedakan atas Gas Konvensional yang terdiri atas Gas Ikutan (*Associated Gas*) dan Gas tidak Ikutan (*Non-Associated Gas*). Gas ikutan ini merupakan Gas yang diproduksi bersamaan dengan Minyak Bumi (*Crude Oil*), sedangkan Gas tidak ikutan merupakan gas alam yang diproduksi oleh sumur gas sendiri dan tidak terkait dengan minyak bumi. Gas tidak ikutan ini biasanya sering disebut dengan *Well Gas*. Selain itu terdapat sumber gas lainnya yang sekarang mulai dikembangkan yaitu dari sumber Gas Non Konvensional (*Non-Conventional Gas*) seperti *Coal Bed Methane* (CBM), *Tight Gas* dan *Shale Gas* yang banyak dikembangkan oleh negara-negara di Amerika Serikat. Gambar 3 memperlihatkan geologi dari sumber gas alam.



Gambar 3 Geologi Skematik sumber Gas Alam [9]

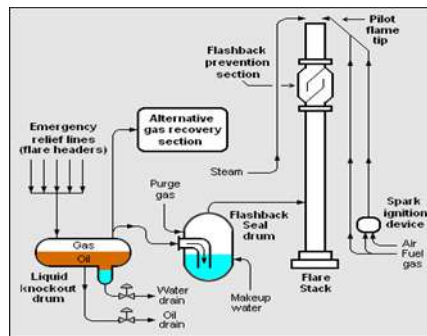
b. Gas Suar dan Pembakarannya

Sesuai dengan Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral (Permen ESDM) Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 [8], Gas suar adalah gas yang dihasilkan oleh kegiatan produksi dan produksi atau pengolahan minyak atau gas bumi yang dibakar karena tidak dapat ditangani oleh fasilitas produksi atau pengolahan yang tersedia sehingga belum dimanfaatkan. Dari definisi ini, gas suar merupakan gas ikutan. Sedangkan Pembakaran Gas Suar (*Flaring*) adalah pembakaran dari Gas Suar pada cerobong tetap (*stationary stack*) baik vertikal maupun horizontal. Proses pembakaran gas paling sering terjadi yaitu di bagian atas cerobong dengan menggunakan api untuk membakar gas. Ketinggian api tergantung pada volume gas yang dilepaskan, sementara kecerahan dan warna tergantung pada komposisi gas.

Sistem pembakaran gas pada lapangan produksi minyak, anjungan lepas pantai, pada kapal angkut dan fasilitas pelabuhan, pada tanki penyimpanan dan sepanjang pipa distribusi yang lengkap terdiri dari cerobong atau *stack* dan pipa peyalur gas yang akan dibakar, contohnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 [10]. Bentuk ujung cerobong/*flare* dirancang sebegitu rupa sehingga menghasilkan masuknya udara ke dalam flare bercampur dengan gas suar dapat meningkatkan efisiensi pembakaran. Seal drum yang terdapat berfungsi mencegah kilas balik dari nyala api, dan selain itu digunakan melepaskan dan mencegah cairan apa pun dari gas yang mengalir atau masuk ke *flare*. Tergantung pada desain, satu atau lebih flare mungkin diperlukan di lokasi proses.

Gas suar biasanya menghasilkan suara dan panas. Selama pembakaran, gas yang terbakar menghasilkan uap air dan CO_2 . Pembakaran yang efisien dalam nyala api tergantung pada tercapainya pencampuran yang baik antara bahan bakar gas dan udara (atau uap) [11], yang tidak adanya cairan.

Pipa gas suar bertekanan rendah tidak diperuntukan menangani cairan dan tidak berfungsi secara efisien ketika cairan hidrokarbon dilepaskan ke dalam sistem pembakaran.



Gambar 4 Sistem pembakaran gas suar cerobong tetap vertical pada suatu kilang minyak [10]

Proses pembakaran dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok [12]:

- Pembakaran darurat
Pembakaran darurat dapat terjadi selama kasus kebakaran, kerusakan katup, atau kegagalan kompresor. Jadi, dalam waktu singkat, volume gas besar dengan kecepatan tinggi dibakar.
- Proses Pembakaran
Proses pembakaran biasanya datang dengan laju yang rendah, seperti pada proses petrokimia, dan beberapa gas suar dari limbah, dikeluarkan dari aliran produksi dan kemudian dibakar.
- Pembakaran produksi
Pembakaran produksi terjadi di sektor produksi industri minyak dan gas bumi. Volume gas ikutan (*assosisted gas*) yang besar akan dibakar selama evaluasi uji potensi minyak dan gas bumi sebagai indikasi kapasitas sumur untuk produksi.

c. Pengaruh Pembakaran Gas Suar

Ada banyak *refinery gas* di seluruh dunia yang mengirim sejumlah besar gas ke atmosfer melalui pembakaran. Emisi CO₂ dari pembakaran memiliki potensi pemanasan global yang tinggi dan berkontribusi terhadap perubahan iklim, pembakaran juga memiliki efek berbahaya pada kesehatan manusia dan ekosistem. Gas berkualitas rendah yang terbang melepaskan banyak polutan dan partikel beracun ke atmosfer selama proses pembakaran. Hujan asam, yang disebabkan oleh sulfur oksida di atmosfer, adalah salah satu bahaya lingkungan utama yang dihasilkan dari proses ini [13]. Polutan yang dihasilkan pembakaran gas dan pengaruh terhadap kesehatan diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Polutan pembakaran dan pengaruhnya terhadap kesehatan [13]

Nama Kimia	Pengaruh terhadap kesehatan
Ozon di darat	Akan merangsang mata dalam kepadatan rendah dan dalam kepadatan tinggi terutama anak-anak dan orang dewasa itu akan menyebabkan masalah pernafasan.
Sulphide hydrogen	Dalam kepadatan rendah itu akan berpengaruh pada mata dan hidung yang mengakibatkan insomnia dan sakit kepala
Dioxide nitrogen	Ini akan berpengaruh pada kedalaman paru-paru dan saluran pernafasan serta memperburuk gejala asma. Dalam kepadatan tinggi akan menghasilkan metahemoglobina yang mencegah penyerapan oksigen oleh darah.
Partikel penting	Ada yang percaya ini akan menghasilkan kanker dan serangan jantung.
Dioxide of sulphur	Ini akan merangsang sistem pernafasan dan sebagai akibatnya memperburuk asma dan bronkitis.
Alkanes: Methane, Ethane, Propane	Dalam kepadatan rendah itu akan menghasilkan pembengkakan, gatal dan peradangan dan dalam kepadatan tinggi itu akan menghasilkan pembengkakan paru-paru eksim dan akut
Alkenes: Ethylene, Propylene	Ini akan menghasilkan kelemahan, mual dan muntah.
Aromatics: Benzene, Toluene, Xylene	Beracun dan karsinogenik. Akan mempengaruhi pada sistem saraf dan dalam kepadatan rendah itu akan menghasilkan kelainan darah dan juga akan merangsang kulit dan mengakibatkan depresi.

Selain itu, umumnya gas pembakaran biasanya mengeluarkan termal dan suara. Ghadyanlou dan Vatani [14] menghitung radiasi termal dan tingkat kebisingan sebagai fungsi jarak dari gas suar menggunakan perangkat lunak komersial untuk sistem pembakaran. Hasilnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Emisi termal dan kebisingan dari pembakaran [14]

Jarak, m	Radiasi Termal kW/m ²	Tingkat Kebisingan dB
10	5,66	86,3
20	5,87	86,19
30	6,04	86,02
40	6,14	85,78
50	6,17	85,50
60	6,14	85,18
70	6,04	84,83
80	5,88	84,46
90	5,67	84,08
100	5,42	83,68

CO₂ dan CH₄ adalah gas rumah kaca (*greenhouse gases*, GHG) yang ketika dilepaskan langsung ke udara, menimbulkan panas di atmosfer. Dampak iklim sangat jelas, menunjukkan kontribusi yang besar terhadap emisi GHG global. Misalnya, Sebagai akibat dari lingkungan, gas suar bakar telah menaikkan suhu dan menjadikan daerah yang luas tidak bisa dihuni. Emisi CO₂ dari pembakaran memiliki potensi pemanasan global yang tinggi dan berkontribusi terhadap perubahan iklim. Emisi CO₂ berasal dari hanya pembakaran bahan bakar fosil sekitar 75% [20]. CH₄ sebenarnya lebih berbahaya daripada CO₂. Ia memiliki sekitar 25 kali lebih besar potensi pemanasan global dari CO₂ secara massal [16]. Ini juga lebih umum dalam pembakaran yang menghasilkan efisiensi yang lebih rendah [15]. Oleh karena itu, ada kekhawatiran tentang CH₄ dan senyawa organik volatil lainnya dari operasi yang berbeda. Polutan lain seperti sulfur oksida (SO_x), nitrogen oksida (NO_x) dan komponen organik yang mudah menguap (VOC) juga dihasilkan dari pembakaran. Oleh karena itu, dampak emisi dari pembakaran gas suar dapat disimpulkan [13-16] :

- Gas berkualitas rendah yang dibakar akan melepaskan banyak kotoran dan partikel beracun ke atmosfer.
- Efek berbahaya pada kesehatan manusia terkait dengan paparan polutan dan ekosistem ini.
- Produk pembakaran dapat berbahaya jika terdapat dalam jumlah besar.
- Gas dari limbah mengandung CO₂ dan H₂S, yang keduanya merupakan gas asam lemah dan menjadi korosif bersentuhan dengan air.
- Hujan asam, yang disebabkan oleh SO_x di atmosfer, adalah salah satu bahaya utama lingkungan.
- Hujan asam mendatangkan malapetaka pada lingkungan yang menghancurkan tanaman, atap rumah.
- CO menyebabkan penurunan kapasitas pembawa oksigen pada darah, yang dapat menyebabkan kematian.
- Emisi NO_x yang tidak terkendali bisa merugikan kesehatan.
- Ketika NO_x bereaksi dengan O₂ di udara, hasilnya adalah ozon tingkat permukaan yang memiliki efek sangat negatif pada sistem pernapasan dan dapat menyebabkan radang saluran udara, kanker paru dan lain lainnya.

d. Komposisi Gas Suar

Umumnya pembakaran gas akan terdiri dari campuran berbagai gas. Komposisinya tergantung pada sumber gas yang masuk ke sistem pembakaran. Gas-gas ikutan (*assosisted gas*) yang dilepaskan selama produksi minyak dan gas bumi adalah gas alam. Gas alam adalah lebih dari 90% metana (CH₄) dengan etana dan sejumlah kecil hidrokarbon lainnya seperti gas inert yaitu N₂ dan juga terdapat CO₂. Pembakaran gas dari kilang dan proses operasi lainnya biasanya mengandung campuran hidrokarbon dan dalam beberapa kasus terdapat H₂. Namun, gas landfill, biogas atau gas digester adalah campuran CH₄ dan CO₂ bersama dengan sejumlah kecil gas inert lainnya. Sebenarnya tidak ada komposisi standar dan oleh karena itu perlu untuk menentukan beberapa kelompok gas suar bakar sesuai dengan parameter aktual gas. Mengubah komposisi gas akan mempengaruhi kemampuan perpindahan panas gas dan mempengaruhi kinerja. Suatu contoh komposisi gas buang dihasilkan pabrik diperlihatkan pada Tabel 3.

Nilai gas didasarkan terutama pada nilai kalornya. Komposisi gas suar penting untuk menilai ekonominya dan untuk mencocokkannya dengan proses atau pembuangan yang sesuai. Misalnya, untuk transportasi di jaringan pipa penyalur hulu, pertimbangan utamanya adalah kandungan H₂S dari gas. Gas dianggap asam jika mengandung 10 mol/kmol H₂S atau lebih [16].

Tabel 3 Komposisi gas buang dari suatu pabrik [12]

Gas flaring constituent	Gas composition, %	Gas flaring, %		
		Min.	Max	Average
Methane	CH ₄	7.17	82.0	43.6
Ethane	C ₂ H ₆	0.55	13.1	3.66
Propane	C ₃ H ₈	2.04	64.2	20.3
n-Butane	C ₄ H ₁₀	0.199	28.3	2.78
Isobutane	C ₄ H ₁₀	1.33	57.6	14.3
n-Pentane	C ₅ H ₁₂	0.008	3.39	0.266
Isopentane	C ₅ H ₁₂	0.096	4.71	0.530
neo-Pentane	C ₅ H ₁₂	0.000	0.342	0.017
n-Hexane	C ₆ H ₁₄	0.026	3.53	0.635
Ethylene	C ₂ H ₄	0.081	3.20	1.05
Propylene	C ₃ H ₆	0.000	42.5	2.73
1-Butene	C ₄ H ₈	0.000	14.7	0.696
Carbon monoxide	CO	0.000	0.932	0.186
Carbon dioxide	CO ₂	0.023	2.85	0.713
Hydrogen sulfide	H ₂ S	0.000	3.80	0.256
Hydrogen	H ₂	0.000	37.6	5.54
Oxygen	O ₂	0.019	5.43	0.357
Nitrogen	N ₂	0.073	32.2	1.30
Water	H ₂ O	0.000	14.7	1.14

e. Aturan Pembakaran dan Pengukuran Gas

Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral (PerMen ESDM) Republik Indonesia nomor: 31 tahun 2012 tentang Pelaksanaan Pembakaran Gas Suar Bakar (*Flaring*) Pada Kegiatan Usaha Minyak Dan Gas Bumi [7] pada intinya mengatur jumlah pembakaran gas suar yang dilakukan oleh Kontraktor atau Pemegang Izin Usaha Pengolahan dengan ketentuan dapat melakukan pembakaran gas suar bakar (*Flaring*) jika volume gas suar bakar tidak melebihi batasan:

- 3 % (tiga persen) dari gas umpan (*feed gas*) untuk lapangan gas bumi.
- Rata-rata harian dalam 6 (enam) bulan sebesar 5 (lima) MMSCFD untuk lapangan minyak bumi.
- 0,3% (nol koma tiga persen) dari gas bumi *intake* kilang gas bumi.
- 0,8% (nol koma delapan persen) dari minyak bumi *intake* kilang minyak bumi.

Selain itu, PerMen ESDM No. 31/2012 tersebut mengatur tentang kewajiban Kontraktor atau Pemegang Izin Usaha Pengolahan dalam melaksanakan pembakaran gas suar bakar (*flaring*) melakukan pengukuran volume berdasarkan metode:

- Penggunaan meter untuk Gas Suar
Meter untuk gas suar bakar digunakan dalam kondisi sebagai berikut:
 - Total volume yang dibakar per fasilitas melebihi 3 (tiga) MMSCFD (tidak termasuk pilot, bilas atau gas dilusi); atau
 - Gas Suar Bakar mengandung gas asam.
- Estimasi dari gas suar yang dibakar
Estimasi volume dari gas suar bakar dapat dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut:
 - Kontraktor atau Pemegang Izin Usaha Pengolahan dapat melakukan estimasi dan pelaporan Gas Suar Bakar jika total volume kurang dari atau sama dengan 3 (tiga) MMSCFD.
 - Jika volume gas suar bakar tidak dapat dibaca oleh meter Gas Suar Bakar yang sudah ada, harus dipasang suatu sistem perhitungan dan pelaporan untuk mengetahui estimasi volume gas suar bakar yang dibakar.
 - Kontraktor atau Pemegang Izin Usaha Pengolahan harus membuat dokumen yang berisi prosedur estimasi dan pelaporan Gas Suar Bakar.
 - Direktorat Jenderal dapat mensyaratkan pemasangan meter untuk Gas Suar jika terdapat kejanggalan/kegagalan dalam menunjukkan sistem estimasi dan pelaporan untuk Gas Suar yang di bakar.

f. Meminimal Pembakaran Gas dan Pemulihannya

Dorongan untuk meminimalkan jumlah gas yang dibakar dan pemulihannya karena dampak lingkungan dan ekonomi menyebabkan peningkatan penggunaan sistem pemulihan gas suar (*flare gas recovery systems*, FGRS) [1,17]. Pemulihan gas suar arahnya adalah mengurangi kebisingan dan radiasi termal, biaya operasi dan pemeliharaan, polusi udara dan emisi gas serta mengurangi konsumsi bahan bakar gas dan uap.

Beberapa tahun terakhir, pengurangan pembakaran dan pembuangan gas terlihat secara internasional melalui kerjasama kemitraan pengurangan pembakaran gas global (*The World Bank Global Gas Flaring Reduction*, GGFR) dan inisiatif gas metana global (*The Global Methane Initiative*, GMI) [16]. Kemitraan GGFR dan GMI secara aktif mempromosikan proyek percontohan untuk mengurangi pembakaran dan pelepasan, selain itu adanya peraturan pada setiap negara juga merupakan bagian dari pengurangan pembakaran gas dan Mekanisme Pembangunan Bersih PBB (*The United Nations' Clean Development Mechanism*-CDM) dengan menawarkan 'Pengurangan Emisi Bersertifikat (*'Certified Emissions Reductions'*) ' menyediakan proyek pengurangan pembakaran dan pelepasan gas [18]. Beberapa langkah yang dapat membantu mengurangi kerugian gas yang hilang seperti: operasi dan pemeliharaan sistem pembakaran yang tepat, memodifikasi prosedur start-up dan shut-down. Juga, menghilangkan gas yang bocor pada katup (*valve*), penggunaan secara efisien dan kontrol gas bahan bakar yang diperlukan untuk operasi yang tepat dari gas suar, semua ini berkontribusi untuk mengurangi kerugian gas suar. Metode pemulihan juga dapat digunakan untuk meminimalkan kerugian dampak lingkungan dan ekonomis dari pembakaran gas suar bakar.

Ada berbagai metode untuk mengurangi pembakaran dan pemulihannya, dapat dirangkum sebagai berikut [19-23]:

- Pengumpulan, kompresi, dan injeksi / reinjeksi
 - Ke ladang minyak untuk meningkatkan pemulihan minyak.
 - Masuk ke ladang gas basah untuk pemulihan cairan secara maksimal.
 - Menjadi gas masuk ke *aquifer*.
 - Ke dalam pipa kilang.
 - Pengumpulan dan pengiriman ke sistem pengumpulan gas (*gas-gathering system*) terdekat.
 - Pengiriman pengambilan gas suar ke instalasi pengolahan sebelum digunakan selanjutnya.
 - Menggunakan sebagai sumber bahan bakar di tempat.
 - Menggunakan sebagai bahan baku untuk produksi petrokimia
- Gas ke Cair (*gas to liquid*, GTL)
 - Mengkonversi ke gas minyak cair (LPG).
 - Mengkonversi ke gas alam cair (LNG).
 - Konversi ke bahan kimia dan bahan bakar.
- Menghasilkan listrik
 - Membakar gas suar di insinerator dan memulihkan panas keluaran untuk digunakan lebih lanjut (pembangkit dan menghasilkan uap serta listrik).

g. Produksi Listrik

Gas alam menghasilkan sekitar 16% Daya [24]. Daya adalah bagian dasar dari alam dan merupakan salah satu bentuk energi yang paling banyak digunakan Untuk mengurangi emisi panas dari beberapa industri, seperti petrokimia, gas industri, serat organik sintetis, dan bahan kimia pertanian, di mana pembuangan gas dengan suhu tinggi dapat dipulihkan untuk pembangkitan listrik [24]. Metode lain untuk FGRS adalah konversi gas suar sebagai sumber utama menjadi listrik. Sebuah stasiun Daya listrik menggunakan turbin, mesin, roda air atau mesin sejenis lainnya untuk menggerakkan generator listrik.

Global Gas Flaring Reduction Partnership's (GGFR) merangkung beberapa teknologi yang tepat dari beberapa perusahaan menggunakan gas untuk pembangkit listrik [3] dimana mencakup informasi dasar tentang kinerja, persyaratan teknis untuk menerapkan dan mengoperasikan peralatan, model bisnis pengembang teknologi, dan aplikasi yang ada saat ini dalam operasi adalah sebagai berikut:

- Mesin Bolak balik Gas (*gas reciprocating engines*) Pembangkit listrik dengan *gas reciprocating engines* dibuat oleh perusahaan Aggreko dengan tipe *modular* dan *mobile* dapat menghasilkan listrik dengan kapasitas 200 MW beroperasi di Rusia, selain itu *General*

Electrick (GE) mengembangkan Mesin gas ini menghasilkan daya dan panas yang efisien dengan daya listrik sekitar 200 kW – 9,0 MW melalui mesin gas model *Jenbacher* dan *Waukesha*.

- Turbin Gas, teknologi pemanfaatan gas dengan menggunakan Turbin untuk menghasilkan listrik dikembangkan oleh perusahaan *APR Energy*, tipe mobile turbin *TM2500TM* menghasilkan listrik 30-35 MW. *BINGO Interests*, dengan turbin radial menggunakan volume gas sekitar 360 Mcfd/MW dengan tekanan masuk turbin 70 psi menghasilkan listrik 250 kW-30 MW, selain itu ada beberapa perusahaan yang mengembang turbin gas antara lain: *Capstone Turbine Corporation*, *LPP Combustion*, *OPRA Turbines*, dan *Turboden (Grup Mitsubishi Heavy Industries)*.
- Generator Tenaga Gas, pabrik pembuatan terkenal untu generator tenaga gas adalah *Moser Energy Systems*, Gas yang dibutuhkan (tergantung pada daya listrik yang dihasilkan) sekitar 10 - 250 Mcfd dengan tekanan masuk ke genset 5 – 50 psi. Aliran gas masuk bervariasi dan konten panasnya (800-1800 Btu), minimal tidak ada pemrosesan gas (hingga 200 ppm H₂S). Pada Generator terdapat/termasuk *scrubber (fuel treatment system)*, *fuel feeding*, *gas engine*, *transmission*, *electric generator*, dan *electric transmission system*. Daya listrik yang dihasilkan berukuran 70, 125, 170, 225, 350, dan 1000 kW. Generator dapat ditempatkan pada *tailer* atau *skid* sehingga bisa dipindahkan sesuai keinginan dimana mau ditempatkan.
- *Gas engine*, Perusahaan *Wartsila* mengembangkan dan menyediakan teknologi canggih dan solusi *lifecycle* untuk pasar kelautan dan energi. Pembangkit listrik multi bahan bakar 32GD dan 46GD dikembangkan untuk memberikan solusi yang sesuai untuk aplikasi yang menuntut di industri minyak dan gas serta untuk pasokan bahan bakar yang berfluktuasi. Daya listrik oleh rifeneri/pabrik pembangkit yang dihasilkan 10 – 400 MW dengan efisiensi 45%. Penggunaan multi bahan bakar tidak terputus yaitu gas alam, disel, HFO, biofuels, dan minyak mentah.

h. Daya dan Efisiensi Termal

Gas suar merupakan gas alam memiliki sejumlah energi yang tersimpan. Gas suar jika dibakar menghasilkan panas, ukuran panas diukur dari Nilai Kalor (*Calorific Value* atau *Heating Value*) yang dimiliki. Nilai kalor bahan bakar secara teori dibedakan menjadi dua yaitu Nilai kalor tertinggi (*Higher Heating Value*, HHV atau *Gross Heating Value*, GHV) dan Nilai Kalor Terendah (*Lower Heating Value*, LHV atau *Net Heating Value*, NHV) . Secara teoritis, besarnya nilai kalor tertinggi dan terendah dapat dihitung dengan persamaan *Dulong* pada Persamaan 1 dan 2 [25]:

$$HHV = 33950 * C + 144200 * (H_2 - \frac{O_2}{8}) + 9400 * S \quad (1)$$

$$LHV = HHV - 3240 \quad (2)$$

Dimana:

HHV = Nilai kalor tertinggi (kJ/kg).

LHV = Nilai kalor terendah (kJ/kg)

C = Persentase karbon dalam bahan bakar.

H₂ = Persentase hydrogen dalam bahan bakar.

O₂ = Persentase oksigen dalam bahan bakar.

S = Persentase Sulfur dalam bahan bakar.

Dalam prakteknya, komposisi gas yang diukur di Laboratorium, nilai kalor bahan bakar yaitu HHV dan LHV hasilnya (perhitungan) akan disertakan pada laporan hasil pengukuran komposisi gas. Efisiensi termal yang dihasilkan gas suar dihitung dengan Persamaan 3 [25].

$$\eta_{th} = \frac{W}{Q} \quad (3)$$

Dimana:

η_{th} = Efisiensi termal

W = Daya yang dihasilkan (kW)

Q = Kalor masuk fuel (kW)

4. METODOLOGI PENELITIAN

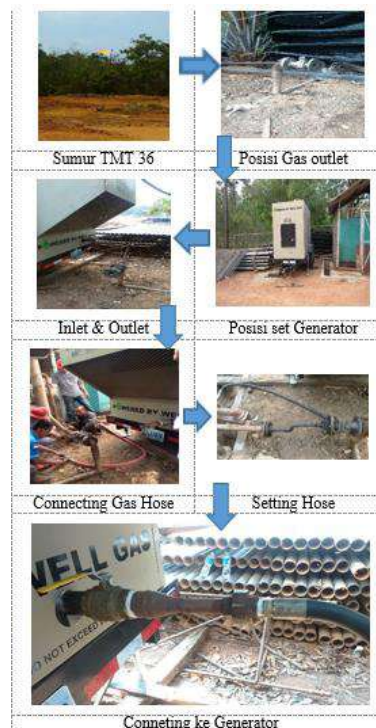
Penelitian pemanfaatan gas suar dilakukan pada sumur TMT 36 didaerah Gold Water wilayah kerja (WK) Pertamina Desa Tanjung Kemala Muara Enim Sumatera Selatan. Adapun urutannya:

- Persiapan
 - Menyiapkan pipa penyalur dari sumur ke Pembangkit listrik (*line gas instalation*).
 - Pemasangan perlatan ukur seperti *flow meter*, *Pressure gauge*, *Oil level*, dan lain lain.
 - Pengambilan sampel gas untuk diukur komposisi di Lab. serta menetapkan nilai kalor yang terkandung.

- Kondisi Star Up
 - Parameter proses yang dibutuhkan :
 - Kalori gas yang diperlukan 800 BTU – 1800 BTU
 - Beroperasi dengan kandungan gas H₂S sampai 250 ppm, tanpa menggunakan peralatan tambahan
 - Tekanan gas masuk (*inlet*) antara 25 psi – 40 psi
 - Putaran *engine* sebesar 1500 rpm untuk mendapatkan frekuensi 50 Hz
 - Pengambilan data setiap 2 jam untuk 24 jam dilakukan selama 9 hari.
 - Teknologi pembangkit listrik yang digunakan adalah generator tenaga gas produksi *Moser Energy System* 100 kVa dengan alasan mudah didapat dan mudah dimobilisasi (bukan *fix position*) jika gas pada sumur habis bisa dipindah ke sumur lain [3].

5. LUARAN PENELITIAN

a. Persiapan



Gambar 5 Urutan Pemasangan Pipa ke Generator

b. Komposisi Gas Suar

Komposisi Gas Suar Hasil Lab. LEMIGAS Laporan No. 1025/LHU/9.2/IX/2015 diperlihatkan pada Tabel 4.

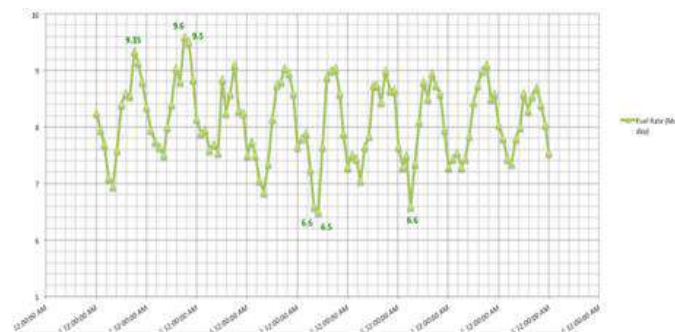
Tabel 4 Analisis Komposisi Gas Bumi

No	Komposisi	Hasil (% mol)
1	Nitrogen	3,9682
2	Karbondioksida	1,6112
3	Metana	74,2990
4	Etana	6,7703
5	Propana	8,9665
6	Iso Butana	1,4830
7	N-Butana	1,4768
8	Iso Petana	0,5276
9	N-Petana	0,4208
10	Heksana Plus	0,4764
Desitas Relatif		0,7796
Gross Heating Value (GHV) BTU/FT ³		1.254,6617
Net Heating Value (NHV) BTU/FT ³		1.139,4754
Faktor Kompresibilitas, Z		0,9962
Metode		GPA 2261:2000

c. Hasil

- Konsumsi Gas Suar

Konsumsi gas suar yang masuk ke generator selama 9 hari diperlihatkan pada gambar 6.

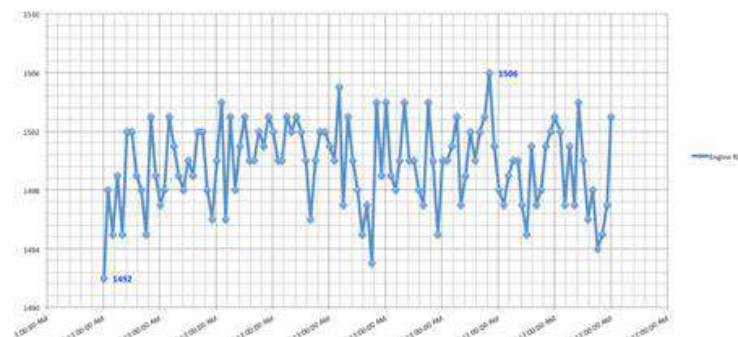


Gambar 6 Grafik konsumsi gas suar

Tercatat konsumsi gas suar yang digunakan antara 6,5 Mcfd sampai dengan 9,6 Mcfd, rata rata 8,1 Mcfd mengikuti beban yang diterima.

- Putaran *Engine*

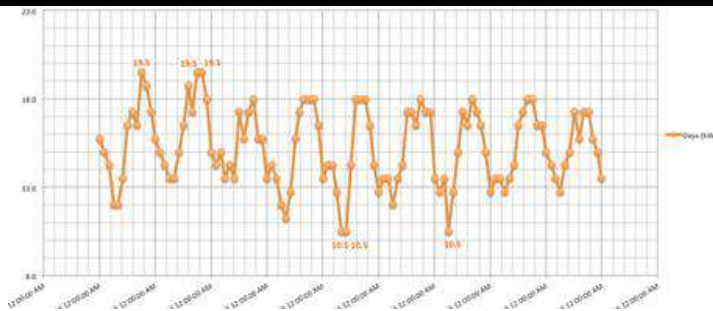
Selama operasi Gas *engine* yang terdapat pada generator berputar antara 1492 rpm - 1506 rpm, rata rata 1499,7 rpm sehingga frekuensi yang diperoleh rata rata 50 Hz sesuai dengan Gambar 7.



Gambar 7 Grafik putaran *engine*

- Daya Listrik

Daya listrik yang dihasilkan/dimanfaatkan selama operasi sebesar 10,5 kW-19,5 kW, rata rata 15,3 kW dimana beban terendah pada jam 6 dan beban tertinggi jam 18 sesuai dengan Gambar 8.



Gambar 8 Grafik daya listrik yang dihasilkan dan dimanfaatkan

- Efisiensi Termal

Efisiensi termal diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut :

- Konsumsi rata rata gas suar = 8,1 Mcfd
- Net Heating Value (NHV) = 1139,4754 BTU/ft³
- Kalor yang dibutuhkan
 - = 8100 ft³/day x 1139,4754 BTU/ft³
 - = 9.229.750,74 BTU/day
 - = 384.572,95 BTU/hr = 112,7 kW
- Daya rata rata yang dihasilkan = 15,3 kW
- Efisiensi termal = 13.6%

6. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian studi eksperimen pemanfaatan Gas Suar ini dihasilkan kesimpulan sebagai berikut:

- Pemanfaatan gas suar merupakan cara mengurangi pembakaran dan pembuangan gas keudara yang memberi dampak lingkungan dan kesehatan.
- Dari konsumsi gas suar rata rata 8,1 Mcfd masuk ke Generator Tenaga gas *Mores* 100 kVa diperoleh daya listrik rata rata 15,3 kW yang dimanfaatkan untuk operasi produksi Minyak dan Gas daerah didaerah *Gold Water* wilayah kerja (WK) Pertamina Desa Tanjung Kemala Muara Enim Sumatera Selatan.
- Efisiensi termal yang dihasilkan sebesar 13,6 % dari daya yang dibutuhkan 15,3 kW (20,4% dari daya maksimum), jika gunakan konsumsi gas suar maksimum yaitu 9,6 Mcfd dan daya yang dihasilkan 19,5 kW maka efisiensi termal adalah 14,6 %. Ini menunjukkan jika diperkenankan menggunakan jumlah gas suar yang lebih banyak maka daya listrik dan efisiensi makin besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada:

1. Bapak M.Akbar Syah Alam, VP of Business Development PT. Elnusa. Tbk
2. Bapak Rony Hartanto, VP of Prod., Opr. & Maintenance Services PT. Elnusa. Tbk

Atas perkenaan dan supportnya dilakukan penelitian ini sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik

DAFTAR PUSTAKA

1. Ghadyanlou, F.; Vatani, A. Chemical Engineering, Essentials for the CPI Professional. chemengonline.com (2015).
2. World Bank Group, Initiative to reduce global gas flaring. Sep. 2014. Diunduh 2 Mei 2018 pada: <http://www.worldbank.org/en/news/feature/2014/09/22/initiative-to-reduce-globalgas-laring>.
3. World Bank Group, Global Gas Flaring Reduction Partnership (GGFR)- Gas flaring data 2013-16, Okt. 2017. Diunduh 2 Mei 2018 pada <http://pubdocs.worldbank.org/en/489011523552107603/Gas-flaring-data-2013-16-million-cubic-meters.pdf>.
4. Andersen. R.D, Assembayev. D.V, Bilalov. R, Duissenov. D, Shutemov. D, *TPG 4140 – Natural Gas*, (Trondheim 2012).
5. Abdulrahman. A.O, Huisingh. D, Hafkamp. W, Sustainability Improvements in Egypt's Oil & Gas Industry by Implementation of Flare Gas Recovery, *Journal of Cleaner Production*, **98**, 116-122 (2015).

6. Deo. V, Gupta. A.K, Asija. N, Kumar. A, Rai. R, Gas Flaring Reduction: Perspective Environmental and Economical, *Petrotech* (2010).
7. _____, "Pelaksanaan Pembakaran Gas Suar Bakar (Flaring) Pada Kegiatan Usaha Minyak Dan Gas Bumi" Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor: 31 Tahun 2012.
8. _____, "Pemanfaatan Dan Harga Jual Gas Suar Pada Kegiatan Usaha Hulu Minyak Dan Gas Bumi" Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor: 32 Tahun 2017.
9. Wikipedia, Natural Gas, diunduh 28 April, 2018. pada: https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_gas#Natural_gas
10. Wikipedia, The Free Encyclopedia, Gas flare, diunduh 10 Mei, 2018. pada: http://en.wikipedia.org/wiki/Gas_flare.
11. Gzar. H.A, Kseer, K.M. Pollutants Emission And Dispersion From Flares: A Gaussian Case – Study In Iraq, *Journal of Al-Nahrain University*, **12**(4), 38-57 (2009).
12. SENES Consultants Limited. from The Science and Community Environmental Knowledge (SCEK), (May 2007). Diunduh 10 Mei 2018 pada: http://scek.ca/documents/scek/Final_Reports/RA%202006-08%20Sour%20Gas%20Final%20Report-May%2017_%202007.pdf
13. Andalib. M.S.H. Flares and their environmental effects" 1st Professional Iranian environmental conference, Environmental department of Tehran University, **51**, 76-82, 2007.
14. Ghadyanlou. F, Vatani. A. Flare-gas recovery methods for olefin plants. *Chemical Engineering, Essentials for the CPI Professional.*, chemengonline.com (2015).
15. Abdulhakeem. S.O. Gas flaring in Nigeria; impacts and remedies. SPE-170211-MS (2014).
16. Johnson. M.R, Coderre. A.R. Opportunities for CO₂ equivalent emissions reductions via flare and vent mitigation: A case study for Alberta. Canada, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, **8** (2012).
17. Duck B. Reducing emissions in plant flaring operations. *Hydrocarbon World*, **6**(1), 42-45 (2011).
18. Fenhan. J, Hinostroza. M, *CDM Information and Guidebook, 3rd Ed : Developed for the UNEP Project 'CD4CDM' (EU ACP MEA/ CDM Programme, 2011).*
19. Mourad. D, Ghazi. O, Noureddine. B, Recovery of flared gas through crude oil stabilization by a multi-staged separation with intermediate feeds: A case study, *Korean Journal of Chemical Engineering*. **26**(6), 1706-1716 (2009).
20. Rahimpour. M.R, Jamshidnejad. Z, Jokar. S.M, Karimi. G, Ghorbani. A, Mohammadi. A.H. A comparative study of three different methods for flare gas recovery of Asaloooye Gas Refinery, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, **4**, pp. 17-28 (2012).
21. The Global Gas Flaring Reduction partnership (GGFR) and the World Bank (20080, TECHNICAL REPORT- Guidelines on Flare and Vent Measurement, Clearstone Engineering Ltd. 700, 900-6 Avenue S.W. Calgary, Alberta, T2P 3K2, Canada.
22. Rahimpour. M.R, Jokar. S.M. Feasibility of flare gas reformation to practical energy in Farashband gas refinery: no gas flaring: *Journal of Hazardous Materials*, **209-210**:204-217 (2012).
23. Sangsaraki M.E. and Anajafi E. Design criteria and simulation of flare gas recovery system. *International Conference on Chemical, Food and Environment Engineering (ICCFEE'15), Dubai (UAE) (2015).*
24. Razak. A.M.Y. *Industrial gas turbines: performance and operability* (Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 2007).
25. Smith. J.M, Van. N.H.C, Abbott. M.M. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 6th edition print (2000).

SUBMISSION 53

Analisis Uji Jalan Sepeda Motor Listrik 1 kW

Eko Prasetyo*, Dahmir Dahlan, dan Rachmat Ryfaldi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta 12640

Abstrak. Penelitian ini melakukan uji jalan sepeda motor listrik 1 kW dengan menggunakan Motor *Brushless* DC 48 Volt 1000 Watt, Baterai 48 Volt 30 Ah. Penelitian ini bertujuan untuk memahami pengaruh beban terhadap kecepatan dan torsi serta pengaruh beban terhadap kecepatan dan daya berdasarkan variasi beban I dan II. Metode yang digunakan pada uji jalan sepeda motor listrik 1 kW yaitu eksperimental sebanyak 3 kali pada setiap variasi beban. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tang ampere, multimeter dan *speedometer*. Hasil penelitian uji jalan sepeda motor listrik 1 kW didapatkan torsi rata-rata tertinggi variasi beban I (57 kg) terdapat pada kecepatan 5 km/jam sebesar 52,73 Nm. Selanjutnya pada variasi beban II (59,5 kg), torsi rata-rata tertinggi terdapat pada kecepatan 5 km/jam sebesar 57,15 Nm. Kemudian daya rata-rata tertinggi pada variasi beban I (57 kg) terdapat pada kecepatan 25 km/jam sebesar 923,26 Watt, selanjutnya pada variasi beban II (59,5 kg) terdapat pada kecepatan 25 km/jam sebesar 1115,78 Watt. Hasil dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa torsi tertinggi didapatkan pada kecepatan terendah maka semakin tinggi kecepatan, torsi akan menurun. Pada kecepatan tertentu, semakin tinggi berat badan maka torsi yang dihasilkan semakin besar. Sedangkan semakin tinggi kecepatan maka daya akan meningkat pula (berbanding lurus) hingga titik maksimum. Selanjutnya semakin tinggi berat badan dan kecepatan maka daya yang dihasilkan akan semakin meningkat.

Kata kunci—*sepeda motor listrik; uji jalan; kecepatan; daya; dan torsi*

1. PENDAHULUAN

Saat ini sepeda motor masih banyak yang menggunakan bahan bakar fosil untuk menggerakkan mesinnya. Hal ini menyebabkan menipisnya cadangan minyak bumi dan menimbulkan polusi rumah kaca (terutama CO₂). Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukannya teknologi terbarukan yang ramah lingkungan salah satunya tenaga listrik berupa motor listrik untuk menggerakkan sepeda motor.

Sepeda motor listrik memiliki kinerja mesin yang dipengaruhi dari berbagai aspek yaitu motor listrik, baterai dan *controller*. Dari ketiga aspek kinerja sepeda motor listrik tersebut saling berhubungan satu sama lain guna menghasilkan *performance* motor yang optimal. Kinerja sepeda motor listrik yang optimal sangat diperlukan di jalan raya dalam menghadapi medan jalan yang berbeda-beda mengetahui kemampuan dan keandalan sepeda motor listrik tersebut.

Dalam penelitian yang telah dilakukan mengenai pengujian sepeda motor listrik [1], pengujian menggunakan motor BLDC (*Brushless Direct Current*) 800 Watt dengan pengujian tanpa beban dihasilkan putaran roda tertinggi yaitu 495 rpm dengan daya 65,48 Watt dan torsi 1,25 Nm. Sedangkan pengujian dengan beban, putaran roda mencapai 542 rpm dengan daya 1178,8 Watt dan torsi 20,77 Nm, kesimpulan dari penelitian ini semakin tinggi kecepatan maka daya yang dihasilkan juga berbanding lurus dan torsi akan turun. Torsi tertinggi didapatkan pada daya dan putaran roda terendah.

Kemudian penelitian mengenai hubungan antara berat pengendara dan kecepatan mobil listrik terhadap konsumsi energi [2], menghasilkan kesimpulan bahwa terdapat pengaruh positif antara berat pengendara dan kecepatan mobil terhadap konsumsi energi yaitu semakin besar beban pengendara dan kecepatan mobil maka konsumsi energi juga semakin meningkat.

Selanjutnya penelitian tentang pengembangan sepeda motor listrik sebagai sarana transportasi ramah lingkungan [3], hasil penelitian tersebut yaitu berat pengendara dan kecepatan motor sangat berpengaruh terhadap arus pemakaian baterai, semakin besar berat pengendara dan kecepatan motor maka arus pemakaian baterai semakin meningkat dan cenderung linear.

Berdasarkan uraian diatas, pengujian kinerja sepeda motor listrik sangat penting dilakukan untuk mendapatkan hasil yang maksimal dari sebuah sepeda motor listrik yang telah dibuat guna mengetahui kinerja motor berupa kecepatan, torsi, dan daya.

a. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dirumuskan beberapa pokok permasalahan yang akan dibahas, antara lain :

1. Bagaimana pengaruh beban terhadap kecepatan dan torsi?
2. Bagaimana pengaruh beban terhadap kecepatan dan daya?

b. Tujuan Penelitian

Dalam penelitian ini memiliki beberapa tujuan utama sebagai berikut :

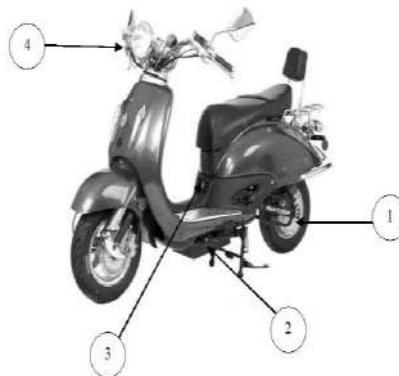
1. Analisis pengaruh beban terhadap kecepatan dan torsi.
2. Analisis pengaruh beban terhadap kecepatan dan daya.

Landasan Teori

a. Sepeda Motor Listrik

Sepeda motor listrik adalah kendaraan bermotor yang memiliki 2 atau 3 roda pada bagiannya yang digerakkan dengan energi listrik. Sepeda motor listrik terdiri beberapa komponen utama yaitu baterai yang menyediakan energi listrik, motor listrik yang menggerakkan roda, dan pengontrol yang mengatur aliran energi listrik ke motor [4]. Berikut adalah komponoen utama dari sebuah sepeda motor listrik :

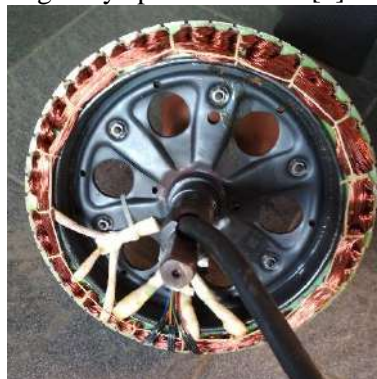
1. Motor Penggerak
2. Baterai
3. *Controller*
4. Handle gas



Gambar 1 Sepeda Motor Listrik [4]

b. *Brushless Direct Current Motor (BLDC)*

BLDC motor adalah sebuah motor yang membutuhkan tegangan searah untuk menjalankannya. Secara performa BLDC motor dapat menghasilkan torsi maksimal pada putaran motor yang rendah dan secara bertahap torsi akan menurun seiring meningkatnya putaran motor [4].



Gambar 2 BLDC Motor [9]

c. Baterai Lithium-Ion

Baterai Lithium Ion merupakan baterai yang menggunakan lithium atau paduan lithium sebagai elektroda negatif (anoda). Baterai lithium terdiri dari anoda, elektrolit, separator dan katoda. Pada umumnya, katoda dan anoda terdiri dari dua bagian yaitu material aktif sebagai tempat keluar masuknya ion lithium dan pengumpul elektron sebagai *collector current*. Prinsip kerja baterai lithium-ion yaitu ketika anoda dan katoda terhubung maka elektron akan mengalir dari anoda menuju katoda, maka listrik pun akan mulai mengalir [4].



Gambar 3 Baterai Lithium Ion [10]

d. *Controller*

Merupakan komponen yang menjadi otak dalam kelistrikan semua kendaraan listrik. *Controller* mengintegrasikan kecepatan motor dan tegangan baterai. *Controller* pada motor DC *brushless* berperan sangat penting dapat dikatakan sebagai penunjang utama operasi motor DC *brushless* karena motor DC *brushless* membutuhkan suatu *trigger* pulsa yang masuk ke bagian elektromagnetik (stator) motor DC *brushless* untuk memberikan pengaturan besarnya arus yang mengalir sehingga putaran motor dapat diatur secara akurat [5].



Gambar 4 *Controller* [11]

e. Kinerja Sepeda Motor Listrik

Kinerja sepeda motor listrik dipengaruhi oleh beberapa parameter penting yaitu kecepatan, torsi, dan daya. Adapun beberapa parameter penting kinerja sepeda motor listrik adalah sebagai berikut:

1. Hubungan Antara Kecepatan Linear dan Kecepatan Sudut

Sebuah hubungan sederhana antara kecepatan linear sumbu putar (v) dan kecepatan sudut (ω) dari roda yang berotasi dengan persamaan sebagai berikut [6] :

$$v = \omega \times r \quad (1)$$

Dimana : v = Kecepatan linear (m/s)
 ω = Kecepatan sudut (rad/s)
 r = jari-jari (m)

Adapun satuan kecepatan sudut adalah radian per detik (rad/s). Objek yang berputar pada kecepatan konstan n rps dengan sudut $2\pi n$ radian dalam satuan detik, sehingga kecepatan sudutnya adalah [6]:

$$\omega = 2\pi n \quad (2)$$

Dari persamaan diatas, kecepatan sudut $\omega = 2\pi n$, dimana n adalah rotasi per detik (rps). Oleh karena itu, untuk mendapatkan n dalam satuan rpm menggunakan persamaan dibawah ini [6]:

$$n = \frac{60 \times \omega}{2\pi} \quad (3)$$

Dimana : n = Putaran (rpm)
 ω = Kecepatan sudut (rad/s)
 2π = satu putaran penuh (derajat)

2. Daya

Perhitungan daya pada *Brushless* DC Motor adalah daya konsumsi dari motor listrik yang melibatkan arus konsumsi motor listrik dan tegangan dari baterai. Adapun persamaaan rumus daya sebagai berikut [6]:

$$P = I \times V \quad (4)$$

Dimana : P = Daya (Watt)
 I = Kuat Arus (A)
 V = Voltase (V)

3. Torsi

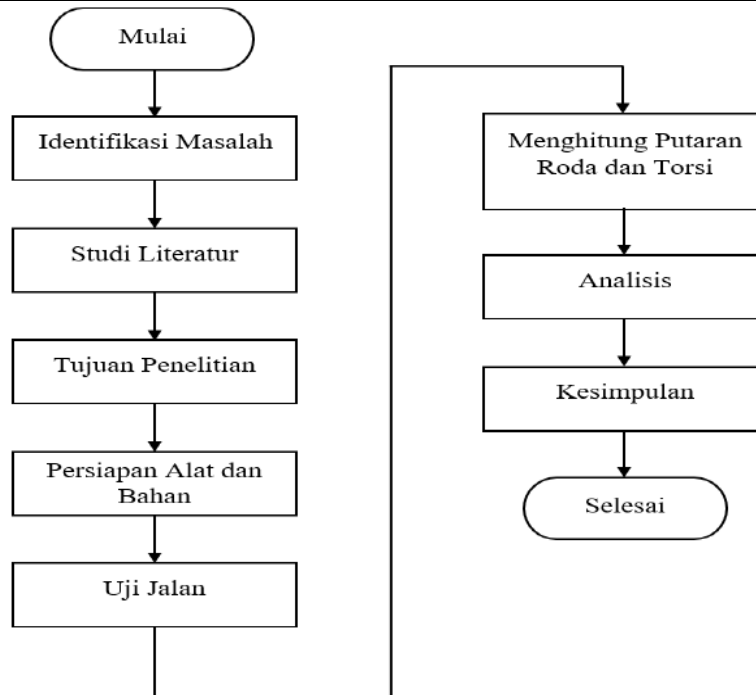
Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja yakni menggerakkan atau memindahkan mobil atau motor dari kondisi diam hingga berjalan untuk itu torsi berkaitan dengan akselerasi dan putaran bawah mesin. Apabila suatu benda berputar dan mempunyai besar gaya sentrifugal sebesar F , benda berputar pada porosnya dengan jari-jari sebagai r . Adapun rumusnya sebagai berikut [7]:

$$T = \frac{P \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n} \quad (5)$$

Dimana : T = Torsi benda berputar (N.m)
 P = Daya (Watt)
 n = Putaran (r/min)

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimental dengan melakukan uji jalan di jalan mendarat dengan variasi beban berdasarkan laporan riset kementerian kesehatan tahun 2013. Data yang diperoleh dari hasil pengujian berupa kecepatan, tegangan, kuat arus dan daya sedangkan putaran roda dan torsi akan dihitung secara manual. Setelah itu dilakukan analisis terhadap data yang telah didapatkan untuk menjawab tujuan penelitian yang telah dibuat. Adapun diagram alir penelitian dapat dijelaskan oleh gambar dibawah ini:



Gambar 5 Diagram Alir

a. Alat dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut :

1. Bahan penelitian ini yaitu sepeda motor listrik dengan gambar dibawah ini.



Gambar 6 Sepeda Motor Listrik

Dalam melakukan uji jalan, sepeda motor listrik yang di uji memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1 Spesifikasi Sepeda Motor Listrik

Spesifikasi Sepeda Motor Listrik	
Motor	BLDC (Hub motor) dan 48 V 1000 W
Baterai	48 V 30 Ah
Dimensi (P x L x T)	1,7 m x 0,72 m x 0,97 m
Berat total	62 kg
Ban depan dan belakang	80/80-14 dan 3,50-10

2. Alat Penelitian

Alat penelitian ini digunakan untuk memudahkan dalam memperoleh data pada saat uji jalan berlangsung. Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

- a. Tang Ampere berfungsi untuk mengukur arus pada saat pengujian sepeda motor listrik 1 (satu) kW.



Gambar 7 Tang Ampere

- b. Multitester berfungsi sebagai mengukur voltase (tegangan) pada saat pengujian sepeda motor listrik 1 (satu) kW.



Gambar 8 Multitester

b. Langkah-Langkah Uji Jalan Sepeda Motor Listrik

Uji jalan dilakukan di jalan yang mendatar untuk memperoleh data kecepatan, dan daya berdasarkan variasi beban. Variasi beban yang digunakan yaitu berdasarkan laporan riset kesehatan tahun 2013, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.

Rerata dan Median Berat Badan/Tinggi Badan menurut Kelompok Umur dan Jenis Kelamin

Kelompok umur	Berat Badan			Tinggi Badan		
	Rerata	SD ±	Median	Rerata	SD ±	Median
0-6 bl	5,9	1,7	5,8	58,6	7,0	58,0
7-11 bl	8,1	1,2	8,1	69,3	5,6	69,0
1-3 th	11,9	2,9	11,4	86,2	9,6	86,0
4-6 th	17,8	4,3	17,1	107,2	9,1	107,0
7-9 th	25,0	6,1	24,1	123,8	9,0	124,4
<i>Perempuan</i>						
10-12 th	33,7	9,0	32,3	138,3	10,4	139,0
13-15 th	43,9	9,0	43,0	150,0	7,8	150,7
16-18 th	47,9	7,9	47,3	153,7	6,1	154,0
19-29 th	53,7	10,0	52,4	153,5	6,1	153,0
30-49 th	58,6	10,6	57,6	152,6	5,9	152,5
50-64 th	56,8	10,7	56,0	151,5	6,2	151,2
65-80 th	49,2	11,0	48,7	148,1	6,6	148,0
> 80 th	43,9	9,0	42,8	144,7	8,6	143,0
<i>Laki-laki</i>						
10-12 th	32,5	9,2	30,4	136,2	10,0	136,0
13-15 th	44,1	10,5	43,5	152,7	11,6	154,5
16-18 th	54,2	9,8	52,9	163,2	7,6	164,0
19-29 th	58,8	10,9	57,4	164,2	7,0	165,0
30-49 th	62,9	10,9	62,0	163,8	6,3	164,0
50-64 th	60,9	10,7	60,0	161,7	6,5	162,0
65-80 th	54,9	10,0	54,2	159,1	6,4	159,0
> 80 th	53,8	12,0	53,3	158,1	7,1	158,0

Gambar 9 Berat badan orang Indonesia [8]

Variasi beban I

Variasi beban I yaitu dari umur 16 tahun - 29 tahun dengan berat badan 54,2 kg – 58,8 kg. Berdasarkan rentang variasi beban I, pengendara dalam variasi ini memiliki berat badan 57 kg.

Variasi beban II

Variasi beban II yaitu dari umur 29 tahun - 49 tahun dengan berat badan 58,9 kg – 62,9 kg. Berdasarkan rentang variasi beban II, pengendara dalam variasi ini memiliki berat badan 59,5 kg.

Adapun langkah-langkah uji jalan sepeda motor listrik 1 kW dijalan mendatar yaitu sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Gunakan helm dan sepatu pada saat uji jalan.
3. Memasang alat ukur multimeter untuk mengetahui tegangan pada bagian kabel positif (+) dan negatif (-) pada baterai.
4. Memasang alat ukur tang amperemeter untuk mengetahui kuat arus pada bagian kabel positif (+) pada baterai.
5. Pengendara dengan variasi beban I menaiki sepeda motor listrik.
6. Selanjutnya hiduapkan sepeda motor listrik dengan menekan tombol *switch on*.
7. Lalu sepeda motor listrik dijalankan pada kecepatan 5 km/jam, 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam dan 30 km/jam serta rekam tegangan dan kuat arus yang terlihat pada setiap alat ukur.
8. Lakukan pengujian sebanyak 3 (tiga) kali pada setiap variasi beban supaya memperoleh data yang akurat.
9. Setelah selesai uji jalan variasi beban I, selanjutnya uji jalan variasi beban II dan lakukan langkah 5-8 kembali.
10. Setelah uji jalan terhadap variasi beban selesai, kemudian matikan sepeda motor listrik.
11. Merapihkan alat uji dan alat ukur yang telah digunakan.

3. Hasil & Pembahasan

a. Data Hasil Uji Jalan Sepeda Motor Listrik 1 kW

Uji jalan dilakukan dijalan mendatar berdasarkan variasi beban. Pengujian dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali untuk mendapatkan data yang valid demi menghindari kesalahan dalam pengambilan data. Data yang diperoleh dari pengujian ini yaitu berupa kecepatan, tegangan dan kuat arus.

Adapun data yang telah diperoleh dari ketiga pengujian setiap variasi beban I akan di rata-rata dan ditampilkan kedalam bentuk tabel dibawah ini :

Tabel 2 Variasi Beban I

Pengujian	Kecepatan (km/jam)	Putaran (Rpm)	Voltase (V)	Kuat Arus (A)	Daya (Watt)	Torsi (N.m)
Pengujian I, II dan III	5 km/jam	61,46	49,14	6,90	339,21	52,73
	10 km/jam	122,92	48,03	11,55	554,58	43,10
	15 km/jam	184,38	47,17	13,87	654,29	33,90
	20 km/jam	245,85	46,47	16,49	766,23	29,77
	25 km/jam	307,31	45,44	20,32	923,26	28,70
	30 km/jam	368,77	45,13	20,13	908,47	23,54

Adapun data yang telah diperoleh dari ketiga pengujian setiap variasi beban II akan di rata-rata dan ditampilkan kedalam bentuk tabel dibawah ini :

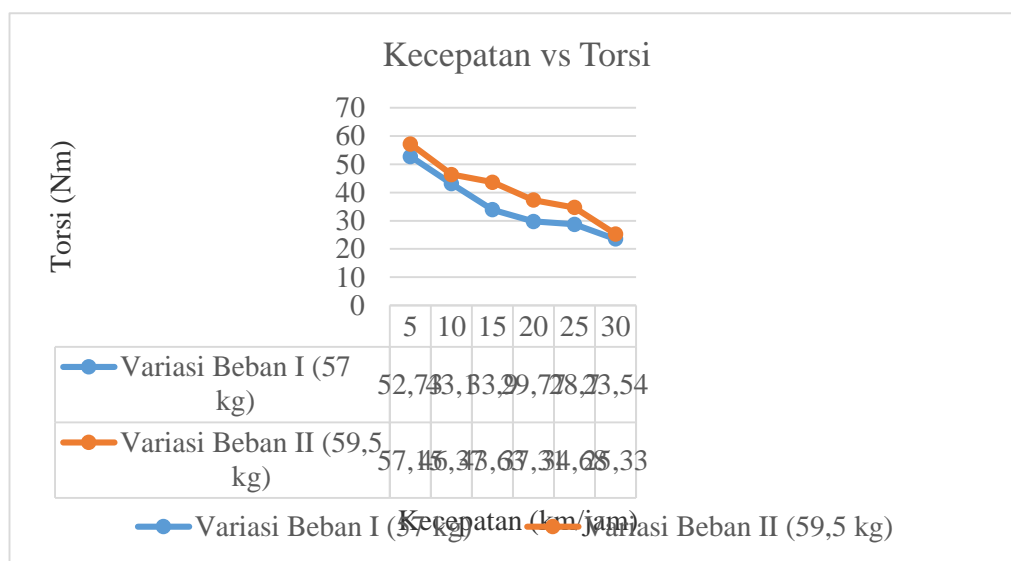
Tabel 3 Variasi Beban II

Pengujian	Kecepatan (km/jam)	Putaran (Rpm)	Voltase (V)	Kuat Arus (A)	Daya (Watt)	Torsi (N.m)
Pengujian I, II dan III	5 km/jam	61,46	48,27	7,62	367,65	57,15
	10 km/jam	122,92	46,05	12,96	596,61	46,37
	15 km/jam	184,38	45,56	18,48	842,10	43,63
	20 km/jam	245,85	44,96	21,36	960,12	37,31
	25 km/jam	307,31	44,88	24,86	1115,78	34,68
	30 km/jam	368,77	44,42	22,01	977,90	25,33

b. Analisis Uji Jalan Sepeda Motor Listrik 1 kW

Setelah data hasil kinerja uji jalan sepeda motor listrik 1 kW berdasarkan variasi beban di muat dalam tabel. Selanjutnya data yang di muat dalam tabel tersebut dibentuk dalam beberapa grafik sesuai dengan tujuan penelitian yang dilakukan. Berikut dibawah ini merupakan grafik hasil pengujian uji jalan sepeda motor listrik 1 kW :

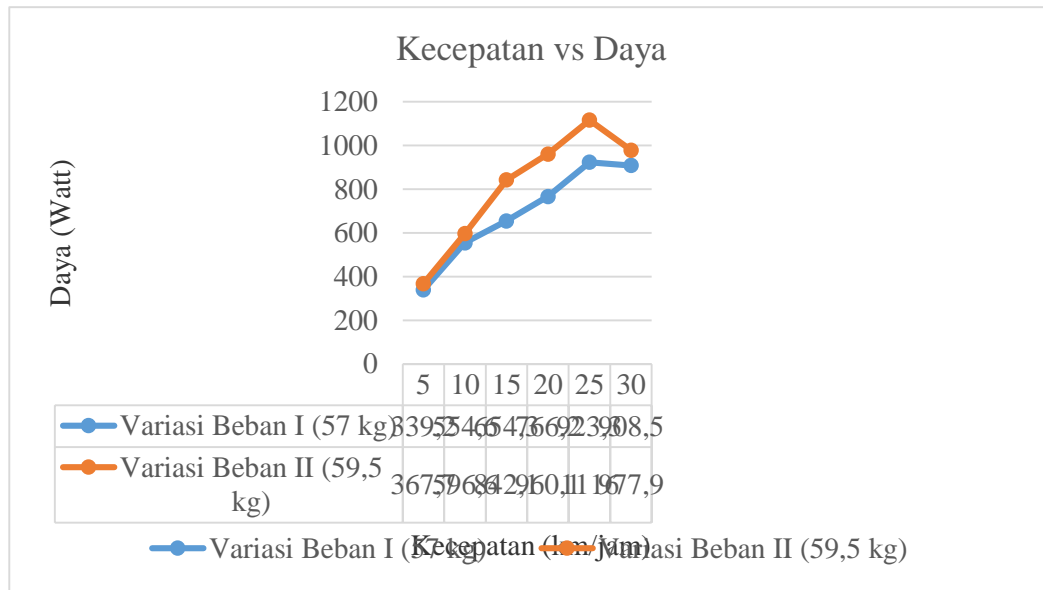
1. Grafik kecepatan vs torsi berdasarkan variasi beban



Gambar 10 Grafik Kecepatan vs Torsi

Berdasarkan gambar 10 diatas dapat dianalisis bahwa adanya perbedaan nilai torsi pada setiap variasi kecepatan dan variasi beban. Pada variasi beban I (57 kg), torsi rata-rata tertinggi terdapat pada kecepatan 5 km/jam sebesar 52,73 Nm. Kemudian kecepatan terus meningkat, torsi cenderung menurun hal ini dikarenakan oleh ketidakmampuan untuk mempertahankan posisi (kelembaman) dan momen inersia. Selanjutnya pada variasi beban II (59,5 kg), torsi rata-rata tertinggi terdapat pada kecepatan 5 km/jam sebesar 57,15 Nm. Kemudian kecepatan terus meningkat, torsi berbanding terbalik dikarenakan oleh ketidakmampuan untuk mempertahankan kelembaman dan momen inersia. Pada grafik diatas dapat disimpulkan bahwa torsi tertinggi didapatkan pada kecepatan terendah maka semakin tinggi kecepatan, torsi akan menurun. Kemudian pada kecepatan tertentu, semakin tinggi berat badan maka torsi yang dihasilkan semakin besar.

2. Grafik kecepatan vs daya berdasarkan variasi beban



Gambar 11 Grafik Kecepatan vs Daya

Berdasarkan gambar 11 diatas dapat dianalisis bahwa adanya perbedaan nilai daya pada setiap variasi kecepatan dan variasi beban. Pada variasi beban I (57 kg), daya rata-rata tertinggi didapatkan pada kecepatan 25 km/jam sebesar 923,26 Watt, kemudian pada kecepatan 30 km/jam daya mengalami penurunan menjadi 908,47 Watt hal ini dikarenakan daya sudah mencapai titik maksimum (*peak power*). Selanjutnya pada variasi beban II (59,5 kg), daya rata-rata tertinggi didapatkan pada kecepatan 25 km/jam sebesar 1115,78 Watt, kemudian pada kecepatan 30 km/jam daya mengalami penurunan menjadi 977,9 Watt, hal ini dikarenakan daya sebelumnya sudah mencapai titik maksimum (*peak power*). Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan maka daya akan meningkat pula (berbanding lurus) hingga titik maksimum, sedangkan penurunan daya terjadi pada titik akhir hal ini disebabkan oleh ketidakmampuan untuk mempertahankan posisi (kelembaman) dan kemampuan untuk mempertahankan kecepatan putar (momen inersia). Kemudian pada kecepatan tertentu, semakin tinggi berat badan maka daya yang dihasilkan akan semakin besar.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Torsi tertinggi didapatkan pada kecepatan terendah maka semakin tinggi kecepatan, torsi akan menurun. Kemudian pada kecepatan tertentu, semakin tinggi berat badan maka torsi yang dihasilkan semakin besar.
2. Semakin tinggi kecepatan maka daya akan meningkat pula (berbanding lurus) hingga titik maksimum, sedangkan penurunan daya terjadi pada titik akhir hal ini disebabkan oleh ketidakmampuan untuk mempertahankan posisi (kelembaman) dan kemampuan untuk mempertahankan kecepatan putar (momen inersia). Kemudian pada kecepatan tertentu, semakin tinggi berat badan maka daya yang dihasilkan akan semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Fakhri, "Penguji Performance Sepeda Motor Listrik," Politeknik Negeri Padang, Padang, 2016.
- [2] I. Z. Firdaus, "Analisis Pengaruh Berat Pengemudi dan Kecepatan Mobil Terhadap Konsumsi Energi Pada Mobil Listrik Polinema Tunas 2," Politeknik Negeri Malang, Malang, 2014.
- [3] Nurhadi, "Pengembangan Sepeda Motor Listrik Sebagai Sarana Transportasi Ramah Lingkungan," *SENIATI 2018*, ISSN 2085-4218, pp. 249-255, 2018.
- [4] C. Vogel, *Build Your Own Electric Motorcycles*, United States: The McGraw-Hill Companies, Inc. ISBN: 978-0-07-162294-3., 2009.

-
- [5] D. J. H. N. Purwadi Agus, "Testing Performance of 10 kW BLDC Motor and LiFePO4 Battery on ITB-1 Electric Car Prototype," 2013.
 - [6] C. R. John Bird, Mechanical Engineering Principles, Routledge, 2002.
 - [7] D. Dahlan, Elemen Mesin, Jakarta: Harta Prima, 2012.
 - [8] Indonesia, "Laporan Riset Kesehatan Tahun 2013," Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta.
 - [9] <https://www.goldenmotor.com/hub-motor>
 - [10] PT. Vratea Vinerghi Valardha
 - [11] <http://www.mxcontroller.com/product/24v-60v>

SUBMISSION 58

Pengaruh Modifikasi *Drill Pipe Screen* Pada Unit DD & MWD Pada Perusahaan P Terhadap Filtrasi Padatan & Karakteristik Aliran Dengan Metode Simulasi

Budhi Muliawan Suyitno¹, Iqbal Rahmadhian P¹, dan Hikmahnul Ar Royyan^{1*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Srengseng Sawah, Jagakarsa, 12640 Jakarta

Abstrak. Perusahaan P merupakan perusahaan yang bergerak di bidang penyediaan jasa pemboran dan kerja ulang untuk sumur minyak, gas dan panas bumi. *Directional drilling* menggunakan beberapa *downhole tools* yang memiliki metode kerja dan parameter yang khusus, sehingga membutuhkan proteksi khusus yaitu dengan menggunakan *drill pipe screen* (DP screen). DP screen yang kurang optimal baik dalam menyaring padatan maupun material dapat menyebabkan kerusakan pada unit *downhole tools Directional Drilling & Measurement While Drilling* (DD & MWD) serta pengiriman data melalui lumpur yang terganggu dan tidak akurat. DP Screen di modifikasi melalui simulasi menjadi bentuk kerucut untuk mengurangi penurunan tekanan, sedangkan dalam bentuk setengah lingkaran pada dasarnya akan menambahkan tekanan

Kata kunci— *Drill Pipe Screen, ANSYS FLUENT.*

1. PENDAHULUAN

Perusahaan P merupakan perusahaan yang bergerak di bidang penyediaan jasa pemboran dan kerja ulang untuk sumur minyak, gas dan panas bumi. Pemboran merupakan salah satu kegiatan yang paling penting dalam industri perminyakan dan merupakan satu satunya cara pembuktian adanya sumber hidrokarbon atau panas bumi dari dasar reservoir ke atas permukaan secara cepat, tepat dan aman sesuai dengan aspek HSSE/ *Health, Safety, Security and Environment*. Berdasarkan bentuk lubangnya, pemboran terbagi menjadi pemboran lurus (*straight hole drilling*) dan pemboran berarah (*directional drilling*). Pemboran berarah (*directional drilling*) merupakan pemboran yang dilakukan dengan membelokkan pipa ke arah titik target yang tidak berada lurus dengan titik permukaan. Faktor penyebab dilakukan pemboran berarah adalah geografi dan ekonomi. *Directional drilling* menggunakan beberapa *downhole tools* yang memiliki metode kerja khusus dan parameter yang khusus juga, sehingga membutuhkan proteksi khusus yaitu dengan menggunakan *drill pipe screen* (DP screen). Penggunaan DP screen telah menjadi kebutuhan utama dalam operasional DD & MWD. DP screen merupakan peralatan yang dipasang pada box connection Drill Pipe yang berfungsi untuk melakukan penyaringan solid yang mungkin terbawa lumpur pemboran yang tidak tersaring oleh strainer pada pompa. DP screen yang kurang optimal baik dalam menyaring padatan maupun material yang digunakan dikarenakan potensi turbulensi yang terjadi sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada unit *downhole tools DD & MWD* serta pengiriman data melalui lumpur yang terganggu dan tidak akurat. Oleh karena itu perlu adanya modifikasi dan fabrikasi *Drill Pipe Screen* terhadap filtrasi padatan unit DD & MWD Perusahaan P.

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan drill pipe screen. Model drill pipe screen tersebut akan dimodifikasi pada bentuk fisik dan material yang digunakan. Pengaruh modifikasi pada drill pipe screen kemudian dilihat beberapa parameter yang akan dianalisa, yaitu medan aliran, intensitas turbulensi, distribusi tekanan dan ketahanan material.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa medan aliran, intensitas turbulensi, distribusi tekanan dan perbandingan ketahanan material dari beberapa model. Adapun ruang lingkup pada penelitian ini maka dilakukan penyederhanaan dengan mengambil ruang lingkup batasan masalah sebagai berikut:

1. Lumpur dianggap sebagai fluida tak mampu mampat dan mengalir secara seragam.
2. Kekasaran pada model benda uji diabaikan.
3. Laju aliran massa sistem yang digunakan adalah 800 gpm, 900 gpm, dan 1000 gpm.
4. Kaviti yang digunakan berupa tabung, kerucut, dan setengah bola.

* Corresponding author: hikmah.royyan@gmail.com

5. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Komputasi dengan menggunakan model turbulensi *k-epsilon*.
6. Hanya menggunakan data simulasi ANSYS FLUENT
7. Lumpur memiliki massa jenis 1100 kg/m^3
8. Lumpur memiliki viskositas 0.064 kg/m.s
9. Temperatur lumpur dan lingkungan diabaikan dianggap konstan 300 K .

Batasan masalah tersebut juga dijadikan sebagai data pendukung dalam pembuatan permodelan dan simulasi model.

2. LANDASAN TEORI

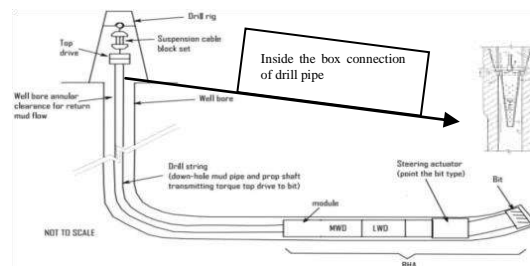
A. Directional Drilling dan Measurement While Drilling

Pemboran berarah (*Directional Drilling*) adalah suatu seni membelokkan lubang sumur untuk kemudian diarahkan ke suatu sasaran tertentu di dalam formasi yang tidak terletak vertikal dibawah mulut sumur. Di dalam membor suatu formasi, sebenarnya selalu diinginkan lubang yang vertikal, karena dengan lubang yang vertikal, kecuali operasinya lebih mudah, juga umumnya biayanya lebih murah dari pada pemboran berarah. Jadi pemboran berarah hanya dilakukan karena alasan-alasan dan keadaan yang khusus saja.

MWD (*Measurement While Drilling*) MWD adalah proses mengambil data beberapa parameter fisik sumur sembari membor sumur & secara *real-time*.

B. Drill Pipe Screen

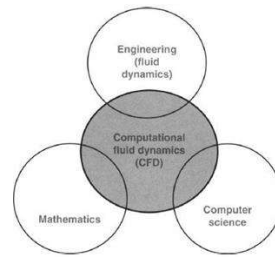
Drill Pipe Screen atau DP screen merupakan peralatan yang dipasang pada *box connection Drill Pipe* yang berfungsi untuk melakukan penyaringan *solid* yang mungkin terbawa lumpur pemboran yang tidak tersaring oleh *strainer* pada pompa. DP screen yang kurang optimal baik dalam menyaring padatan maupun material yang digunakan dikarenakan potensi turbulensi yang terjadi sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada unit downhole tools DD & MWD serta pengiriman data melalui lumpur yang terganggu dan tidak akurat.



Gambar 1 Posisi DP Screen

C. COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)

Computational Fluid Dynamics atau biasa disebut dengan CFD adalah suatu cara untuk menganalisa suatu sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena fisik lainnya yang berdasarkan pada simulasi berbasis komputer. Pada masa kini, CFD sudah menjadi salah satu pendekatan yang dilakukan dalam mencari jawaban pada suatu permasalahan engineering, terutama dalam bidang mekanika *fluida* dan perpindahan panas. Secara konvensional, penyelesaian permasalahan engineering dalam bidang mekanika fluida dan perpindahan panas dilakukan dalam dua pendekatan saja, yaitu pendekatan eksperimental dan pendekatan analitis. Namun, dikarenakan permasalahan yang muncul dari waktu ke waktu semakin susah untuk diselesaikan secara konvensional, maka dibutuhkan pendekatan baru yang dapat dilakukan dengan cepat, mudah dan tidak mengeluarkan banyak biaya, sehingga munculah perangkat lunak berbasis CFD. Alasan itu lah, yang menyebabkan pada saat ini CFD menjadi salah satu pendekatan yang digunakan untuk mengklarifikasi hasil yang didapatkan dari pendekatan analitis maupun eksperimental.



Gambar 2 *Computational Fluid Dynamics*

1) Tahapan CFD

Pada penggunaan CFD terdapat tahapan yang harus dilakukan, yaitu Tahap *Pre-Processing*, Tahap *CFD Solver*, dan Tahap *Post-Processing*.

- Tahap *Pre-Processing*

Pada tahapan ini yang dilakukan adalah memasukan parameter-parameter yang ada pada permasalahan ke dalam program CFD dengan penyesuaian input yang diberikan, sehingga CFD dapat dapat menyelesaikan permasalahan tersebut. Hal-hal yang dilakukan pada tahap ini adalah:

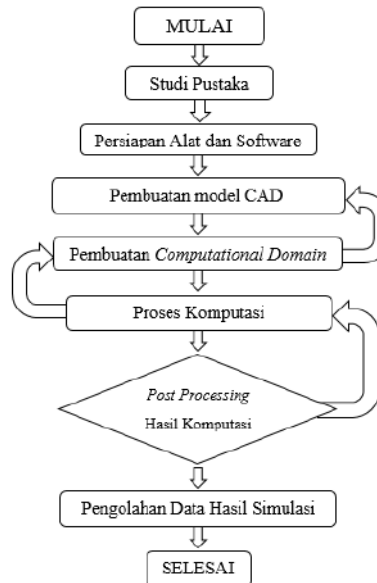
 1. Pembuatan Geometri dari benda yang ada pada permasalahan.
 2. Pembuatan Mesh dari bentuk geometri yang sudah dibuat, sehingga geometri tersebut dapat dipecah menjadi grid-grid yang berukuran kecil.
 3. Pemasukan parameter fisik dan property fluida yang ada di dalam permasalahan.
 4. Menentukan batasan pada domain simulasi dan menentukan kondisi batas dari masing-masing batasan yang dibuat.
- Tahap *CFD Solver*

Pada tahap ini seluruh parameter yang sudah dimasukan ke dalam program CFD akan dilakukan perhitungan dengan cara iterasi. Iterasi yang dilakukan dapat dikatakan berhasil apabila hasil iterasi yang dikeluarkan adalah konvergen, bila hasil yang dikeluarkan adalah divergen maka ada kesalahan input yang dilakukan pada tahap *pre-processing*. Pada tahapan ini yang penting diperhatikan adalah residual yang dihasilkan pada setiap perhitungan. Hal ini dikarenakan semakin kecil residual yang dihasilkan dari suatu simulasi, maka hasil yang dikeluarkan oleh CFD mendekati pada kondisi di kenyataan.
- Tahap *Post-Processing*

Pada tahapan terakhir adalah tahapan *post-processing*, dimana pada tahapan ini hal yang dilakukan adalah melihat hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap *CFD solver*. Hasil yang dikeluarkan dalam tahap ini dapat dilihat dengan beberapa bentuk, yaitu X-Y Plot, *Vector Plot*, *Kontur Plot*, *Report*, dan Animasi.

3. METODE PENELITIAN

a. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

b. Metode Analisis

Merancang modifikasi DP Screen sebagai antisipasi terhadap penurunan kualitas pembacaan data dan daya tahan alat dengan mengaplikasikan rancangan yang dapat mengoptimalkan filtrasi padatan Perusahaan X seefektif dan seefisien mungkin.

c. Desain Penelitian

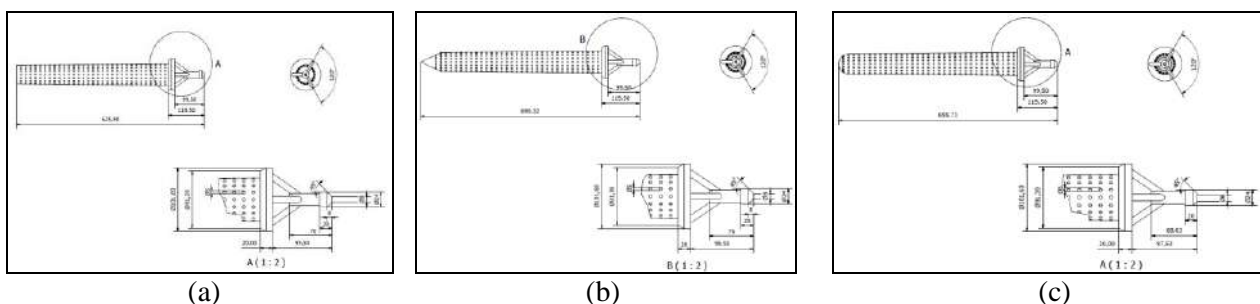
Penelitian ini dibuat model uji menggunakan software *Autodesk Inventor* berupa model representasi fluida yang melalui DP Screen sehingga dapat diselsaikan persamaan-persamaan aliran fluida di dalamnya untuk kemudian dianalisa. Dimensi-dimensi utama pada DP Screen menyesuaikan kondisi di lapangan dengan modifikasi pada bagian ujungnya yaitu berupa kerucut dan setengah bola.

d. Sumber Data

Data diperoleh dari penunjukan panel control dan sebagian dari parameter indikator di lapangan. Setiap harinya dilakukan daily reading untuk mengamati parameter yang ada di lapangan dan untuk memeriksa kondisi proses yang terjadi di lapangan.

e. Model Uji

Penelitian ini dibuat model uji menggunakan software *Autodesk Inventor* berupa model representasi fluida yang melalui DP Screen sehingga dapat diselsaikan persamaan-persamaan aliran fluida di dalamnya untuk kemudian dianalisa. Dimensi-dimensi utama pada DP Screen menyesuaikan kondisi di lapangan dengan modifikasi pada bagian ujungnya yaitu berupa kerucut dan setengah bola.

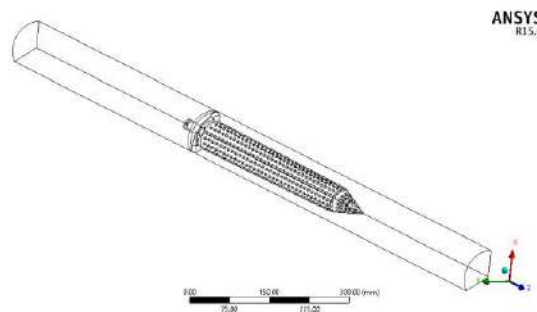


Gambar 4 Model Uji Simulasi (a) Model Asli; (b) Model Kerucut; (c) Model Setengah Bola

f. Pembuatan Model Uji

Pada penelitian ini alat yang digunakan ialah software CFD (Computational Fluid Dynamics) Code, yaitu ANSYS FLUENT versi R15 sebagai perangkat simulasi karakteristik performa aliran melewati DP screen. Simulasi desain model fluida DP screen dianalisa aliran yang melaluinya. Model yang dibuat tersebut dikenal dengan istilah domain fluida yang kemudian di export untuk masuk ke dalam proses meshing kemudian di olah menjadi domain komputasi.

Hal yang perlu dilakukan pertama kali sebelum melakukan proses simulasi adalah membuat model yang merepresentasikan fluida didalam DP Screen. Dalam hal ini model yang dibuat adalah berupa model volume. Asumsi penyederhanaan model yang dilakukan adalah menganggap model sepertiga simetri mengikuti pola lubang pada DP Screen. Penyederhanaan ini dilakukan karena aliran didalam DP Screen berupa simetri melingkar, tujuan dari penyederhanaan ini adalah untuk menghemat penggunaan mesh karena banyaknya lubang DP Screen yang membutuhkan detail mesh yang tinggi. Dalam pembuatan model ini menggunakan software Autodesk Inventor sebagai pembuatan model.



Gambar 5 Permodelan DP Screen

Beberapa proses dalam permodelan adalah dengan metode *Meshing*, Permodelan Numerik dengan FLUENT, Input Nilai Parameter-Parameter pada FLUENT dan Plot konvergensi.

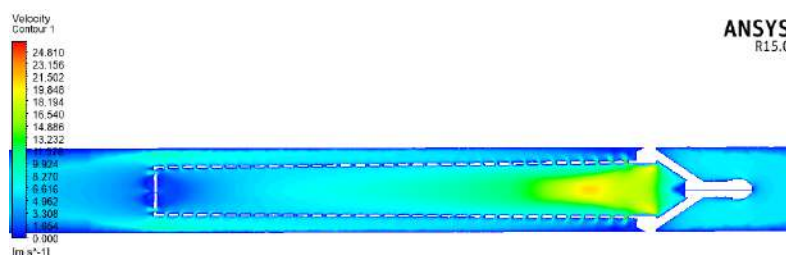
4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data dilakukan pada ANSYS *Result* yang terhubung dengan solusi ANSYS FLUENT sesuai dengan setingan yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Adapun data yang diambil adalah plot distribusi kecepatan, plot distribusi tekanan, plot distribusi turbulen kinetik energi, grafik tekanan terhadap panjang DP Screen (x/L) serta nilai *pressure drop* masing-masing kasus.

Dalam penelitian ini pula disajikan data model original dari DP *Screen*. Pada model original, diperoleh nilai *pressure drop* sebesar 250.392 Pa pada laju aliran massa 800gpm. Diperlihatkan dari plot distribusi kecepatan, terdapat *stagnation point* (kecepatan rendah, tekanan tinggi) pada ujung DP *Screen* yang merupakan salah satu faktor penyebab tingginya *pressure drop*.

A. Simulasi Desain Original

Salah satu upaya untuk menurunkan nilai *pressure drop*, dilakukan modifikasi pada ujung DP *screen* untuk meminimalisir zona *stagnation* diatas yaitu dengan merubah bentuknya menjadi kerucut dan setengah bola.



Gambar 6 Simulasi Hasil Pressure Drop Desain Original (*velocity contour*)

Pada bagian masuk DP screen terlihat kecepatan masuk sekitar 20m/s kemudian melambat seiring bertambahnya jarak kemudian menabrak ujung DP screen sehingga kecepatannya nyaris 0m/s. daerah ini disebut juga dengan stagnation point. Pada daerah ini pula dapat dilihat bahwa tekanannya cukup tinggi, sehingga mengakibatkan adverse pressure gradient, atau gradasi tekanan yang bertolak belakang dengan aliran, sehingga menghambat terjadinya aliran dengan kata lain menghasilkan pressure drop.

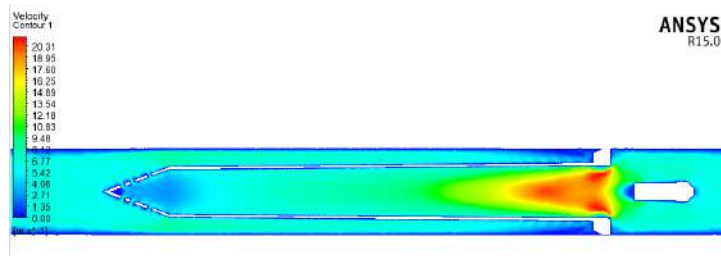


Gambar 7 Simulasi Hasil *Pressure Drop* Desain Original (*pressure contour*)

Pressure drop sendiri dapat dilihat dengan membandingkan tekanan sebelum masuk ke DP Screen dan setelah melaluinya. Semakin kontras warna kedua daerah tersebut, maka *pressure drop* semakin tinggi. Salah satu upaya untuk menurunkan nilai *pressure drop*, dilakukan modifikasi pada ujung DP screen untuk meminimalisir zona *stagnation* diatas yaitu dengan merubah bentuknya menjadi kerucut dan setengah bola.

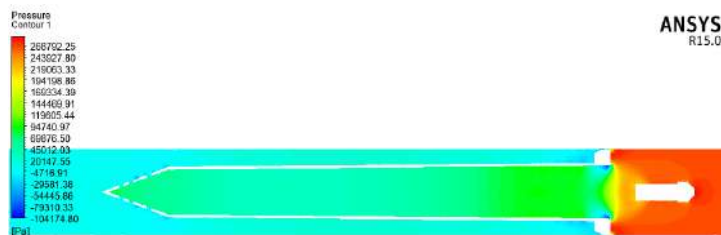
B. Simulasi Model Kerucut

Dapat dilihat pada gambar plot distribusi kecepatan bahwa zona stagnasi berkurang pada model kerucut dibandingkan dengan model original. Adapun *pressure drop* untuk model ini sebesar 214.115 Pa pada laju aliran massa 800gpm.



Gambar 8 Plot Kecepatan Dalam DP Screen Model Kerucut

Dari gambar plot kecepatan dapat dilihat bahwa gradasi kecepatan antara daerah masuk DP Screen dibandingkan dengan daerah ujung DP screen semakin kontras. Hal ini menunjukkan bahwa daerah *stagnation* yang terjadi pada model original berkurang yang konsekuensinya adalah berkurangnya *pressure drop* yang terjadi.



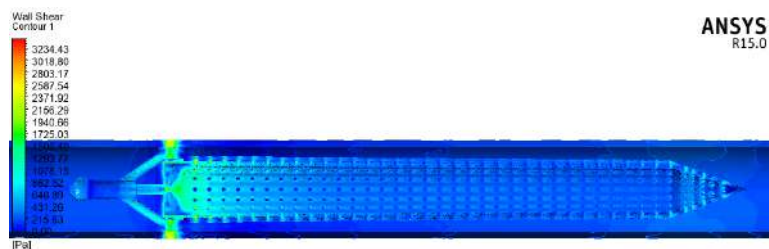
Gambar 9 Plot Tekanan Luar Model Kerucut

Plot tekanan diatas menunjukkan daerah *stagnation* yang tekanannya sudah tidak se-kontras sebelum dilakukan modifikasi.



Gambar 10 Plot Turbulen Kinetik Energi Model Kerucut

Berdasarkan plot *turbulence kinetic energy*, dapat dilihat daerah mana saja yang menghasilkan energi kinetik turbulen yang tinggi, atau secara fisik memiliki gelombang aliran yang tinggi. Dapat dilihat bahwa daerah dengan energi kinetik turbulen yang tinggi terjadi pada sekitar daerah masuk DP Screen karena kecepatannya yang cukup tinggi serta pada daerah ujung DP Screen karena tekanan tinggi menekan aliran fluida melalui lubang-lubang saringan sehingga kecepatan lokalnya tinggi.

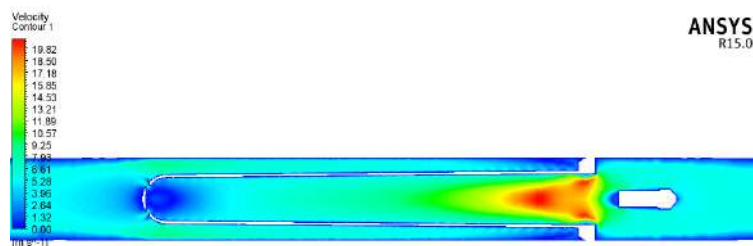


Gambar 11 Plot Tegangan Geser Model Kerucut

Semakin tinggi kecepatan, maka tegangan geser pada daerah tersebut juga akan semakin tinggi karena gradien kecepatan terhadap jarak dari dinding yang semakin tinggi. Tingginya tegangan geser menandakan potensi abrasi yang tinggi pada daerah tersebut

C. SIMULASI MODEL SETENGAH BOLA

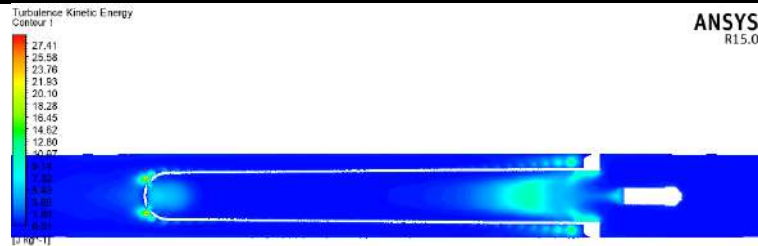
Dilihat dari distribusi kecepatan, model setengah bola memiliki zona stagnasi yang cukup besar dibandingkan model kerucut bahkan dibandingkan model original. Adapun *pressure drop* yang terjadi adalah sebesar 271.757 Pa, lebih besar dibandingkan original.



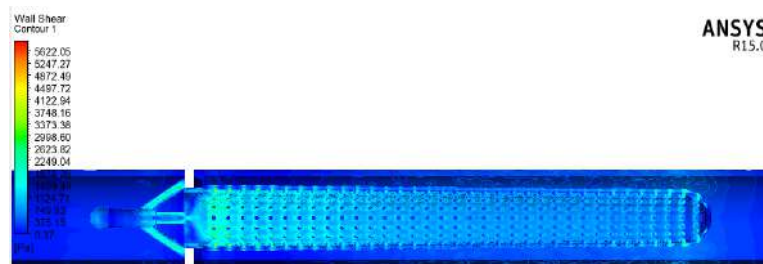
Gambar 12 Plot Kecepatan Model Setengah Bola



Gambar 13 Plot Tekanan Model Setengah Bola



Gambar 14 Plot Turbulen Kinetik Energi Model Setengah Bola

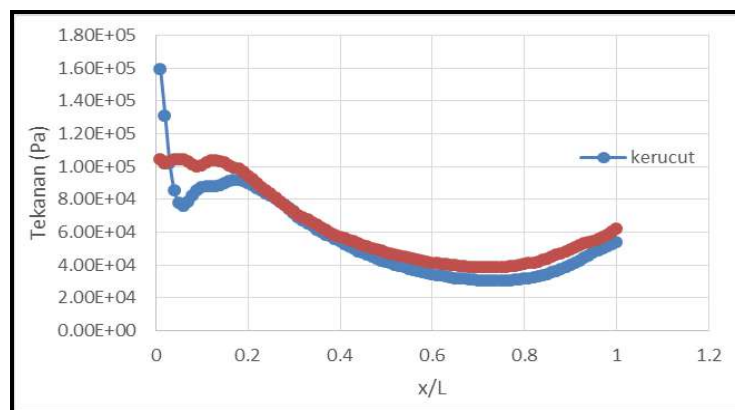


Gambar 15 Plot Tegangan Geser Model Setengah Bola

5. KESIMPULAN

Dari grafik x/L pada kedua model modifikasi, dapat diperlihatkan bahwa model setengah bola memiliki tekanan yang tinggi pada daerah masuk serta keluar dibandingkan dengan model kerucut, sehingga *pressure drop* model setengah bola lebih tinggi dibandingkan model kerucut.

Grafik tekanan terhadap jarak dibawah ini menunjukkan bahwa model setengah bola memiliki tekanan masuk, atau tekanan pada x/L mendekati 0 yang lebih tinggi dibandingkan model kerucut, hal ini menunjukkan nilai *pressure drop* yang lebih besar. Adapun pada daerah ujung atau x/L mendekati 1, pada model setengah bola terlihat tekanan yang lebih tinggi, hal ini menunjukkan adanya *adverse pressure gradient* yang lebih tinggi dibandingkan model kerucut. *Adverse pressure gradient* ini merupakan penghalang aliran fluida keluar dari DP screen yang menyumbangkan timbulnya *pressure drop*.



Gambar 14 Grafik Perbandingan Hasil Tekanan 2 Model

DAFTAR PUSTAKA

- J.D. Anderson Jr. “*Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications*”. 1995. McGraw Hill. ISBN 0-07-113210-4.
- I.B. Celik. “*Introductory Turbulence Modeling*”. 1999. West Virginia University.
- Y. A. Cengel . “*Fluid Mechanics, Fundamentals and Applications*”. J. M. Cimbala, 2nd Ed., McGraw-Hill, 2009.

SUBMISSION 75

Pengaruh Arah Pancungan Nozzle Terpancung Terhadap Kestabilan Api Difusi *Concentric Jet Flow*

Ahmad Akromul Huda^{1,*}, Agung Sugeng Widodo¹, Eko Siswanto¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

Abstrak. Bentuk *nozzle* burner sangat mempengaruhi turbulensi antara bahan bakar dan udara yang mengakibatkan terbentuknya zona resirkulasi aliran. Zona resirkulasi aliran berfungsi menghasilkan pencampuran yang homogen dan mendapatkan pembakaran yang mendekati sempurna. Zona resirkulasi dibentuk untuk mengganggu laju aliran, menyebabkan *vortex* dan arus balik di sekitar ujung *nozzle*. Penelitian ini menggunakan burner *concentric jet flow*. Variasi bentuk *nozzle* menggunakan arah pancungan *nozzle* terpancung diameter luar ke dalam *nozzle DL*, diameter dalam ke luar *nozzle DD*, dan sebagai perbandingan digunakan *nozzle* tanpa pancungan *nozzle TP*. Untuk memperoleh kestabilan nyala api, batas *lift off* dan *blow off* digunakan dengan variasi kecepatan udara. Termokopel digunakan untuk mengukur suhu nyala api dan distribusinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kestabilan api difusi *concentric jet flow* berpengaruh pada penggunaan *nozzle* terpancung. Temperatur api difusi *concentric jet flow* tertinggi pada *nozzle TP*. Pembakaran paling sempurna terlihat pada *nozzle DD* dimana api lebih lebih didominasi warna biru.

Kata kunci— *nozzle terpancung; zona resirkulasi aliran; concentric jet flow; kestabilan api*

1. Pendahuluan

Dalam kehidupan modern saat ini, teknologi pembakaran merupakan aspek penting dalam kehidupan manusia. Sejak api pertama dinyalakan, manusia mengandalkan pembakaran sebagai sumber energi untuk berbagai keperluan dalam hidupnya, maka pembakaran banyak diteliti dan dikaji. Salah satu aspek kajian ilmu pada penelitian pembakaran ialah aerodinamika pembakaran. Proses pembakaran yang ditinjau dari aspek aliran, gesekan api, kesetabilan nyala dan fenomena transport yang terjadi di sebut aerodinamika pembakaran [1]. Pembakaran yang sering digunakan dalam kehidupan sehari – hari ialah pembakaran difusi. Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur secara alami melalui proses difusi dalam ruang bakar atau proses pembakaran [2].

Pembakaran difusi memiliki kelebihan pada segi keamanan karena tidak terjadi *flashback* akibat api yang menjalar ke sumber bahan bakar. Disisi lain sulitnya mendapatkan komposisi campuran yang homogen antara bahan bakar dan udara merupakan kekurangan pembakaran difusi. Maka salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan cara mendesain sistem pembakaran difusi yang optimal, sehingga didapatkan suatu desain yang efektif dan efisien [3]. Salah satu faktor yang penting untuk mengoptimalkan pembakaran difusi adalah bentuk geometri burner. Pada proses pencampuran antara bahan bakar dan udara, kehadiran vorteks-vorteks akibat bentuk geometri burner berperan penting sebagai pengaduk aliran yang akan mempengaruhi karakteristik pembakaran.

Ada dua kondisi kritis aliran yang mempengaruhi kestabilan api yaitu *lift off* dan *blow off*. *Lift off* terjadi akibat ketidak seimbangan antara kecepatan aliran bahan bakar pada pangkal api dan kecepatan penyalan dalam proses pencampuran antara aliran *jet* bahan bakar dengan udara pengoksidasi [4]. Dari beberapa penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa peristiwa api lift tergantung pada lip thickness burner, diameter burner, dan bentuk burnernya [2].

Faizal [3] meneliti *nozzle* terpancung menggunakan model combustor *concentric jet flow* untuk mengetahui pengaruh variasi lip thickness nozel terpancung terhadap karakteristik api difusi. Dimana hasilnya menunjukkan semakin kecil lip thickness yang digunakan, maka luasan daerah kestabilan memiliki

* Corresponding author: akromul91@gmail.com

kecenderungan semakin bertambah. Namun pada penelitian ini peneliti belum meneliti mengenai pengaruh variasi lip thickness dari diameter luar ke diameter dalam *nozzle*. Arah pancungan yang digunakan ialah dari diameter dalam ke diameter luar. Pada combustor *concentric jet flow* penambahan aliran udara membuat karakter api laminer berubah menjadi api turbulen. Selama periode transisi ini, bibir api menjadi turbulen sedangkan pangkalnya bertahan laminer. Penambahan lebih besar lagi kecepatan aliran akan menghasilkan pengurangan panjang daerah laminar [5].

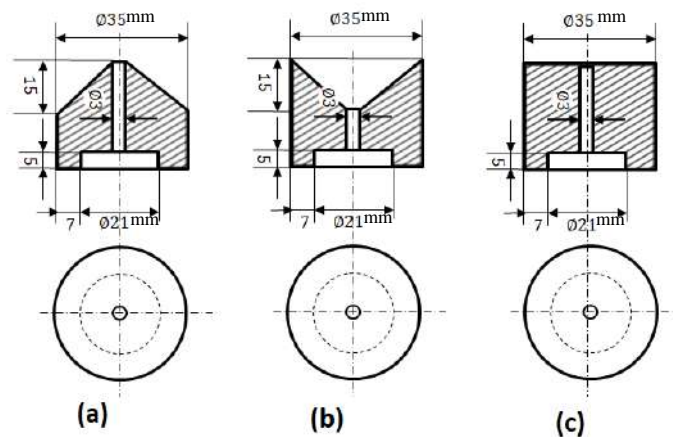
Maka pada penelitian kali ini penulis meneliti kestabilan api menggunakan *nozzle* dengan lip thickness terpancung pada tipe burner *concentric jet flow* dengan variasi arah pancungan baik dari diameter dalam ke diameter luar maupun sebaliknya. Sehingga dapat diketahui pengaruh arah pancungan *nozzle* terhadap kestabilan api difusi. Lip thickness dan pancungan burner akan berpengaruh terhadap kestabilan api non-premixed akibat perubahan zona resirkulasi aliran. Perubahan zona resirkulasi aliran membentuk *vortex* (pusaran) yang memecah laju aliran yang dapat menyempurnakan proses pembakaran. Kestabilan api difusi juga dipengaruhi oleh temperatur pembakaran karena semakin tinggi kestabilan api difusi maka temperatur pembakaran juga semakin tinggi [6]. Faktor penting untuk meningkatkan temperatur pembakaran adalah proses pencampuran antara bahan bakar dengan udara.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental dan perangkat penelitian dibuat dalam skala laboratorium.

2.1 Bahan Dan Alat Penelitian

Pada penelitian ini digunakan burner tipe *concentric jet flow*. *Nozzle* yang digunakan ialah *nozzle* terpancung dengan arah dari diameter luar ke diameter dalam (*nozzle DL*), *nozzle* terpancung dengan arah dari diameter dalam ke diameter luar (*nozzle DD*), dan *nozzle* tanpa pancungan (*nozzle TP*). Bentuk *nozzle* dan skema instalasi penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 1. Bentuk Nozzle : (a) *nozzle DL*; (b) *nozzle DD*; (c) *nozzle TP*



Gambar 2. Instalasi penelitian

Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah LPG dengan tipe concentric jet flow burner. Pada ujung ruang bakarnya dipasang Nozel. Ruang bakar terdiri dari saluran bahan bakar dengan diameter 0,3 mm dan saluran udara dengan diameter 74 mm. Saluran bahan bakar dihubungkan ke tangki LPG dan kecepatan alirnya diukur dengan menggunakan rotameter. Sedangkan saluran udara dialiri udara yang berasal dari sebuah blower dan besar kecilnya kecepatan udara diatur dengan sebuah katup dan speed controller.

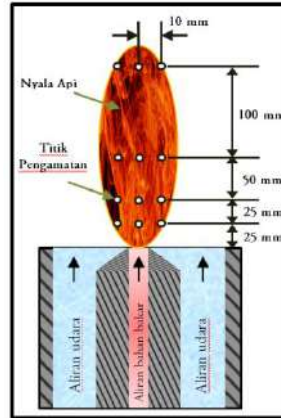
2.2 Prosedur Penelitian

Pengujian kestabilan api

Pengujian kestabilan api dimulai dengan menyalakan blower udara untuk mengukur kecepatan udara pada burner menggunakan anemometer. Variasi Kecepatan yang digunakan ialah 2.05 m/s, 3.56 m/s, 4.60 m/s, 5.82 m/s dan 7.12 m/s. Selanjutnya memasang nozzle DL kemudian membuka katup bahan bakar dan menyalakan api pada burner dan menyalakan blower udara. Selanjutnya mengatur aliran bahan bakar pada kondisi api stabil yaitu 3 l/min dan 4.5 l/min dan mengambil gambar visualisasi dengan menggunakan kamera digital Nikon D3200. Selanjutnya meningkatkan aliran bahan bakar hingga nyala api pada kondisi *lift off* dan kemudian *blowoff*. Mencatat debit bahan bakar pada rotameter setiap kondisi yang nantinya akan dikonversikan menjadi kecepatan bahan bakar. Tahap pengujian kestabilan api pada $V_u = 2.05$ m/s telah dilakukan, maka dilanjutkan pengamatan dengan variasi kecepatan udara lainnya dengan cara yang sama pada. Setelah melakukan pengambilan data dengan menggunakan *nozzle DL* tahap pengujian berikutnya dengan mengganti *nozzle DL* dengan *nozzle DD* dan *nozzle TP*.

Pengujian Distribusi Temperatur

Tahap awal pengujian distribusi temperature dimulai dengan memasang *nozzle DL* pada burner. Menyalakan api pada burner kemudian mengatur kondisi udara pada $V_u = 3.56$ m/s dan bahan bakar $V_b = 4,5$ l/m. Selanjutnya memasang termokopel pada titik yang telah ditentukan dimana titik tinjau yang digunakan berjarak 10 mm dalam arah horizontal. Jarak titik tinjau vertikal 25 mm, 50 mm, 100 mm, dan 200 mm. Termokopel dihubungkan pada data loger yang terhubung dengan komputer untuk mencatat data temperature api difusi. Titik pemasangan termokopel pengamatan dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

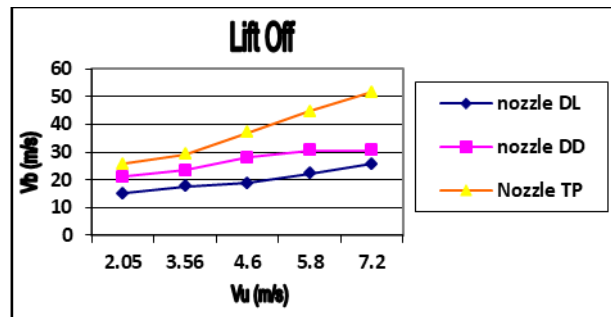


Gambar 3. Titik pengamatan temperatur api difusi

3. Hasil dan Pembahasan

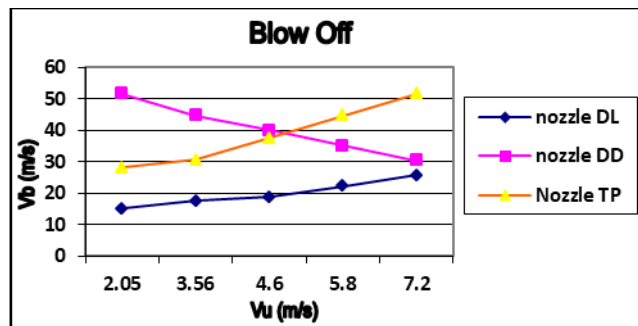
Data yang diperoleh dari penelitian meliputi data *lift off* dan *blow off*, distribusi temperatur nyala api dan direct photograph. Masing-masing data menunjukkan karakteristik kestabilan api difusi dengan pengaruh arah pancung pada nozzle terpancung.

3.1 Diagram Kestabilan Api Difusi



Gambar 4. Diagram kestabilan lift off pada nozzle terpancung.

Dari grafik diatas pada variasi nozzle terpancung *Nozzle DL*, *Nozzle DD*, dan *Nozzle TP*, terlihat bahwa semakin besar aliran udara maka *lift off* memiliki kecenderungan semakin lambat terjadi. Hal ini dikarenakan meningkatnya aliran udara, maka proses pencampuran antara bahan bakar dan udara meningkat. Hal tersebut menyebabkan titik pangkal nyala api semakin sulit terangkat menjauhi ujung nozzle.

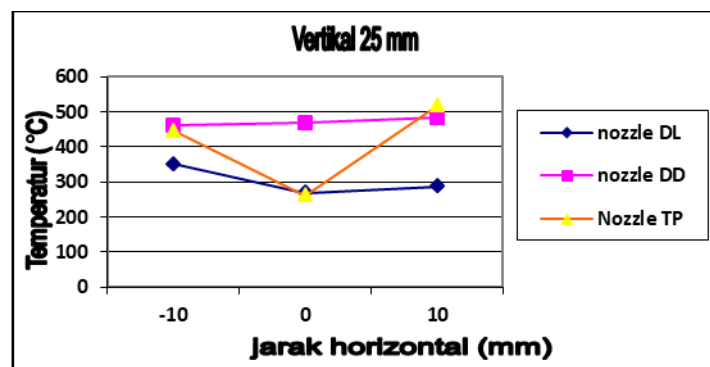


Gambar 5. Diagram kestabilan blow off pada nozzle terpancung

Gambar 5 menunjukkan bahwa dengan perbedaan arah pancung pada nozzle terpancung membuat daerah kestabilan api berubah. *Nozzle DL* memiliki batas *blow off* paling rendah dikarenakan waktu yang diperlukan untuk melakukan reaksi tidak cukup dibandingkan dengan waktu mengalirnya bahan bakar.

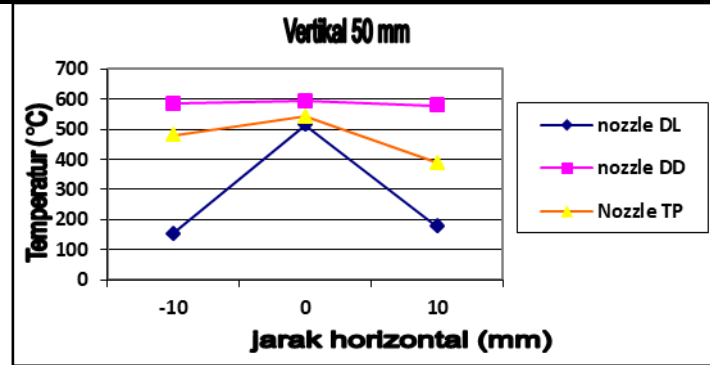
Namun sejalan dengan makin meningkatnya aliran bahan bakar membuat batas *blow off* semakin bertambah. Hal ini dikarenakan adanya *vortex* (pusaran) yang terbentuk dibawah nyala api oleh aliran udara yang membuat campuran antara udara dan bahan bakar lebih cepat. Untuk *nozzle TP* memiliki batas *blow off* yang lebih tinggi dari *nozzle DL* karena luasan lip thickness pada *nozzle* yang membuat terbentuknya *vortex* yang akan semakin meningkatkan konsentrasi campuran udara dan bahan bakar. Untuk *nozzle DD* memiliki batas *blowoff* paling tinggi pada kecepatan udara yang rendah dan menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan aliran udara. Hal ini terjadi karena semakin cepat aliran udara, membuat kecepatan pencampuran antara bahan bakar dan udara meningkat, sehingga mengecilkan Damkohler number (Da). Hal ini membuat waktu yang tersedia untuk melakukan reaksi (*characteristic chemical time*) tidak mencukupi dibandingkan dengan waktu mengalirnya reaktan (*characteristic flow time*). Meskipun campuran antara bahan bakar dan udara masih dalam batas mampu nyala namun hal tersebut mengakibatkan api mengalami *blow off*.

3.2 Diagram Distribusi Temperatur Api Difusi



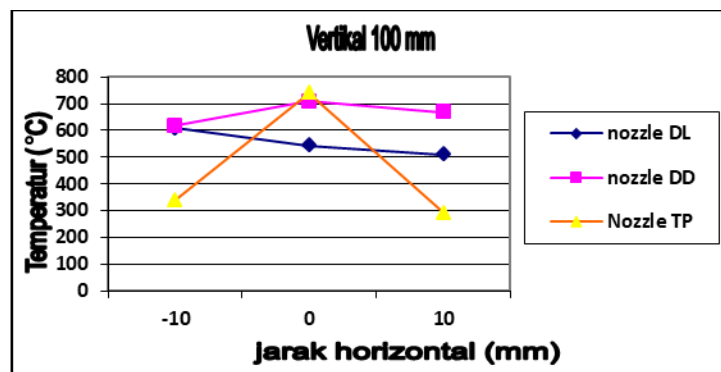
Gambar 6. Grafik Distribusi Temperatur Api pada titik pengamatan vertikal 25 mm

Gambar 6 menunjukkan distribusi temperatur pada jarak 25 mm menyebabkan perubahan temperatur yang berbeda untuk setiap *nozzle*. Temperature tertinggi berada pada titik tinjau 0 mm arah horizontal untuk *nozzle DD* dan terendah pada titik tinjau 0 mm arah horizontal untuk *nozzle DL* dan *nozzle TP*. Sedangkan pada titik tinjau -10 dan 10 mm temperatur yang dihasilkan cenderung lebih rendah untuk *nozzle DD* dan cenderung tinggi pada *nozzle DL* dan *nozzle TP*. Hal ini mengindikasikan bahwa aliran bahan bakar masih terpusat ditengah dan terpusat ke ujung *nozzle* pada *nozzle DL* dan *nozzle TP*. Pada bagian sisi *nozzle DD*, proses pencampuran antara bahan bakar dan udara tercampur dengan baik oleh *vortex* yang terbentuk oleh kontur dan pancung pada *nozzle*. Pada *nozzle DL* dan *nozzle TP* zona resirkulasi aliran terbentuk pada ujung *nozzle*. Zona resirkulasi aliran menyebabkan timbulnya *vortex* (pusaran) dan aliran balik di sekitar ujung *nozzle* yang berfungsi mengaduk pencampuran antara bahan bakar dan udara. Proses pencampuran reaktan dan udara pada bagian sisi *nozzle* tidak hanya melau proses difusi tetapi juga akibat adanya *mixing* aliran. *Mixing* aliran dapat membuat campuran bahan bakar dan udara lebih homogen untuk menyempurnakan pembakaran, sehingga temperatur pembakaran yang dihasilkan lebih tinggi.



Gambar 7. Grafik Distribusi Temperatur Api pada titik pengamatan vertikal 50 mm

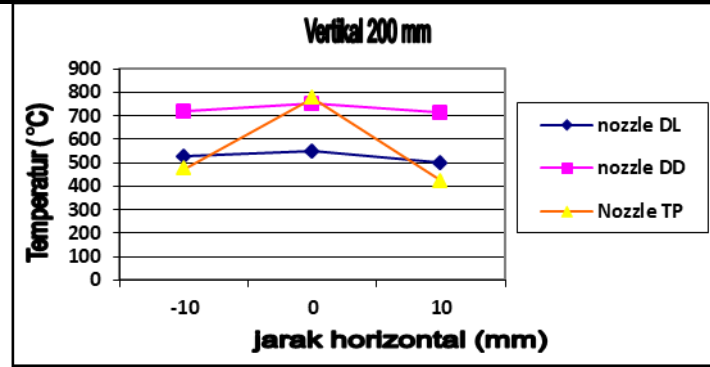
Gambar 7 menunjukkan distribusi temperatur pada jarak 50 mm yang berbeda dengan profil pada titik tinjau vertikal 25 mm untuk setiap nozzle. Pada titik tinjau 0 mm horizontal temperature seluruh nozzle mengalami peningkatan. Temperature tertinggi berada pada titik tinjau 0 mm horizontal untuk nozzle DD dan lebih rendah untuk nozzle TP dan terendah nozzle DL. Pada titik tinjau -10 dan 10 mm temperatur yang dihasilkan cenderung melandai dengan titik tinjau 0 mm horizontal untuk nozzle DD. Hal berbeda ditunjukkan pada nozzle DL dan nozzle TP yang cenderung lebih rendah dari titik tinjau 0 mm horizontal. Hal ini mengindikasikan bahwa aliran bahan bakar terpusat pada bagian tengah pada nozzle DL dan nozzle TP. Karena zona resirkulasi aliran yang terbentuk pada titik tinjau vertikal 25 mm campuran bahan bakar dan udara terlebih dahulu menyala pada titik tinjau tersebut sebelum sampai pada titik tinjau 50 mm.



Gambar 8. Grafik Distribusi Temperatur Api pada titik pengamatan vertikal 100 mm

Gambar 8 menunjukkan distribusi temperatur pada jarak vertikal 100 mm. Pada jarak ini secara umum tetap terlihat temperatur yang dihasilkan juga semakin tinggi. Temperatur tertinggi terletak pada titik tinjau 0 mm untuk nozzle TP kemudian nozzle DD terendah nozzle DL. Hal ini mengindikasikan pada jarak vertikal 100 mm nozzle TP memiliki pencampuran bahan bakar dan udara yang lebih baik dari nozzle lainnya. Pada titik tinjau horizontal -10 mm dan 10 mm nozzle TP dan nozzle D memiliki temperatur yang lebih rendah dari titik 0 mm horizontal. Nozzle TP terendah diantara nozzle lainnya ini dikarenakan pencampuran bahan bakar dan udara masih terpusat ditengah. Sedangkan untuk nozzle DL memiliki nilai yang lebih tinggi dari titik 0 mm horizontal dikarenakan api mulai melebar pada titik tersebut.

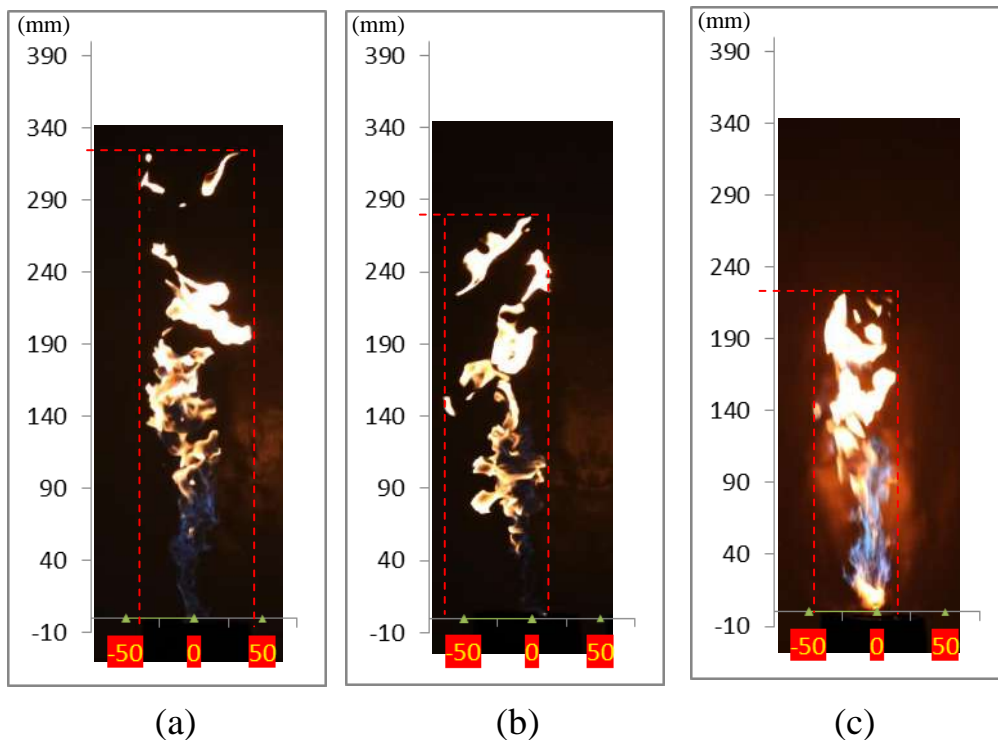
Gambar 9 menunjukkan pada jarak vertikal 200 mm secara umum temperatur tertinggi untuk semua nozzle pada jarak horizontal 0 mm atau tengah api. Temperatur terendah ada pada nozzle DL dan temperatur tertinggi dimiliki oleh nozzle TP yang nilainya cenderung identik atau berhimpit dengan nozzle DD. Pada titik ini merupakan reaksi puncak pembakaran, karena pada semua nozzle arah aliran bahan bakar cenderung terfokus pada bagian tengah api. Pada ketinggian ini didapatkan temperatur tertinggi dari setiap nozzle karena reaksi pembakaran semakin baik akibat reaktan telah mengalami pemanasan awal pada daerah dibawahnya.



Gambar 9. Grafik Distribusi Temperatur Api pada titik pengamatan vertikal 200 mm

3.3 Visualisasi Api Difusi

Gambar 10 menunjukkan visualisasi api secara *direct photograph* dengan variasi arah pancungan *nozzle* terpancung. Kondisi yang sama antara kecepatan udara dan bahan bakar yang digunakan yaitu $V_u = 3,56$ m/s dan $V_b = 4.5$ l/m. Dari gambar 10 (a) terlihat bahwa dengan penggunaan *nozzle DD* terpancung pangkal api terlihat kecil dan semakin melebar keatas seiring bertambahnya tinggi api. Warna pangkal api juga masih didominasi warna biru yang menunjukkan proses pencampuran bahan bakar dan udara semakin sempurna. Api terpanjang ditunjukkan pada *nozzle DD* dan terpendek pada *nozzle TP*. Pada gambar 10 (b) mulai terlihat efek perubahan arah pancungan pada *nozzle DL* terpancung. Dimana dengan penggunaan *nozzle DL* terlihat nyala api yang menempel pada pancungan nozzle akibat *vortex* dan menjadi lebih kecil pada jarak vertikal 50 mm. Dari gambar tersebut juga api terlihat membesar kembali pada jarak setelahnya. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pusaran udara yang mengaduk bahan bakar yang keluar nozzle pada pangkal api. Kemudian dari gambar 10 (c) jelas terlihat zona resirkulasi pada pangkal api akibat lip thickness *nozzle TP* (tanpa pancungan). Pada nozzle ini juga diindikasikan warna pangkal api juga masih didominasi warna kuning yang menunjukkan sebagian besar proses pencampuran bahan bakar dan udara masih melalui proses difusi.



Gambar 10. Visualisasi api *direct photograph*: (a) *nozzle DD* (b) *nozzle DL* (c) *nozzle TP*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Arah pancung pada *nozzle* terpancung dapat mempengaruhi kestabilan api, distribusi temperatur api dan tinggi visualisasi api. Kestabilan api difusi *concentric jet flow* terbesar diperoleh pada penggunaan *nozzle DD* terpancung. Pembakaran paling sempurna terlihat pada *nozzle DD* dimana api lebih lebih didominasi warna biru.

DAFTAR PUSTAKA

1. Wardana, I.N.G, *Bahan Bakar Dan Teknologi Pembakaran* (PT. Danar Wijaya–Brawijaya University Press, Malang, 2008)
2. Takahashi, F., et al, *Vortex-Flame Interactions and Extinction in Turbulent Jet Diffusion Flames*, **26th Symposium International on Combustion**, 145–152 (1996)El-Mahallawy, Fawzy., El-Din Habik, Saad, "Fundamentals And Technology Of Combustion". 261-263 (United Kingdom: Elsevier, 2002)
3. Soenoko, R., *The Effect of a Flame Holder Shape Modification Toward the Diffusion Flame Stability Zone Shift*, **8(3)**, (World Applied Sciences Journal, 2010)
4. Faizal, Elka, *Pengaruh Variasi Lip Thickness pada Nozzle Terpancung terhadap Karakteristik Api Pembakaran Difusi Concentric Jet Flow*, **Vol.7, No.2**: 13-20 (Jurnal Rekayasa Mesin Malang, 2016)
5. El-Mahallawy, Fawzy., El-Din Habik, Saad, "Fundamentals And Technology Of Combustion". 261-263 (United Kingdom: Elsevier, 2002)
6. Glassman, Irvin, "*Combustion*", (Department of Mechanical Engineering and aerospace Engineering, Princenton, New Jersey, 1987)

SUBMISSION 90

Pengaruh Jumlah Sudu dan Jumlah Fin pada Sudu terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Tipe U.

Ridwan*, Iwan Setyawan, dan Abdul Latief

Program Studi Teknik Mesin FTI Universitas Gunadarma.

Abstrak. Energi angin merupakan salah satu energi baru dan terbarukan yang sangat potensial dikembangkan dan diaplikasikan di Indonesia. Turbin angin Savonius termasuk salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal. Salah satu kelebihan turbin angin Savonius adalah mampu bekerja pada kecepatan angin yang relatif rendah sebagaimana umumnya kecepatan angin yang ada di wilayah Indonesia. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh jumlah sudu dan jumlah fin yang ditambahkan pada sudu terhadap unjuk kerja turbin. Jumlah sudu turbin yang diteliti adalah dua dan tiga sudu, serta jumlah fin yang ditambahkan pada masing-masing sudu tersebut yaitu 1 fin, dan 2 fin, serta sudu tanpa penambahan fin (sudu standard). Simulasi menggunakan perangkat lunak SolidWorks (*flow simulations*) berbasis metode *finite element analysis* (FEA). Hasil simulasi menunjukkan bahwa distribusi tekanan maksimum terjadi pada penambahan pada rotor dengan jumlah blade tiga yang ditambahkan 1 fin yaitu 101329.92 Pa, distribusi tekanan paling rendah terjadi pada rotor dengan jumlah blade dua tanpa penambahan fin yaitu 101316.84 Pa.

Kata kunci: *Blade; fin; savonius; turbin angin*

1. Pendahuluan

Pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan terus diteliti, dengan tujuan untuk menghasilkan efisiensi yang lebih baik [1]. Salah satu teknologi Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) yang telah lama digunakan adalah *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). Salah satu jenis yang dari VAWT yaitu Turbin angin tipe Savonius [2]. Turbin Savonius bekerja berdasarkan perbedaan dari gaya *drag* yang mengenai permukaan setengah lingkaran dari rotor. Jumlah dari gaya *drag* yang bila bernilai positif akan mampu memutar poros turbin. Turbin angin Savonius termasuk turbin angin tipe drag, turbin ini dalam menghasilkan daya, yaitu dengan memanfaatkan gaya drag yang di hasilkan dari tiap-tiap sudunya. Drag merupakan gaya yang bekerja berlawanan dengan arah angin yang menumbuk sudu [3]

Angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan menjadi energi mekanik atau listrik melalui suatu konversi yang dinamakan Sistem Konversi energi angin (SKEA)[4]. Komponen utama SKEA terdiri dari rotor dengan sudu sebagai penggerak utama, generator sebagai pengubah energi mekanik menjadi energi listrik dan lain-lain. Energi angin merupakan salah satu energi yang ramah terhadap lingkungan, energi ini dapat menjadi solusi terhadap pemanasan global dan berpotensi menggantikan energi dari fosil.[5]

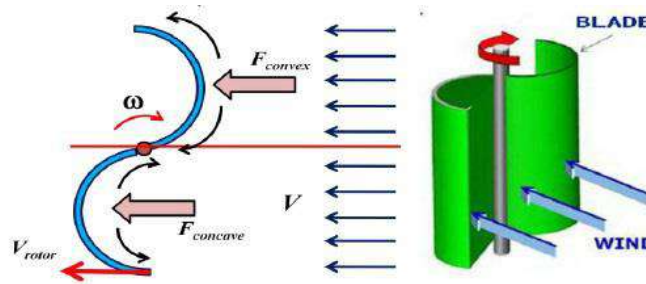
Pemenuhan energi dalam suatu negara menjadi suatu hal yang sangat penting, karena sangat mempengaruhi perkembangan industri di negara tersebut. Salah satu komoditi unggulan dalam peradaban modern adalah energi [6]. Jumlah konsumsi energi telah menjadi indikator untuk standar hidup dan tingkat industrialisasi. Saat ini, hampir sembilan puluh persen dari energi dunia berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, yaitu batubara, minyak petroleum, gas alam, dan lain-lain.[7]

Trend penggunaan energi terbarukan mengalami peningkatan dari tahun ke tahun yang diprediksi akan mengalami kenaikan penggunaan mencapai 10 % dari konsumsi energi dunia pada tahun 2035. [6,8].

Turbin angin sumbu vertikal Tipe Savonius sebagaimana diperlihatkan pada gambar 1. Memiliki kelebihan yakni dapat bekerja pada kecepatan angin yang relatif rendah dibanding dengan turbin angin

* Corresponding author: ridwan@staff.gunadarma.ac.id

sumbu horisontal [5, 9]. Selain itu turbin jenis ini memiliki konstruksi yang sederhana dibanding jenis sumbu horisontal [10]. Prinsip kerja turbin Savonius dapat dilihat pada gambar berikut ini.



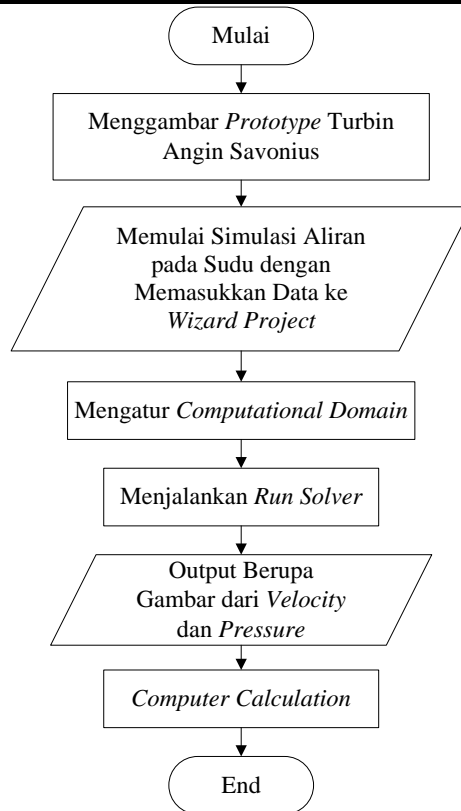
Gambar. 1 Skematik turbin angin savonius dua sudu dengan gaya hambat [5]

Jumlah sudu pada rotor turbin sangat mempengaruhi performa turbin angin sumbu vertikal khususnya tipe savonius. Pada kecepatan angin (*wind speed*) yang relatif sekitar 3 m/s performa turbin meningkat seiring dengan penambahan jumlah sudu turbin [5]. Penelitian terdahulu belum melibatkan adanya penambahan fin pada sudu. Tujuan penelitian yang kami lakukan ini adalah melihat pengaruh jumlah sudu dan jumlah fin yang ditambahkan pada sudu terhadap performa turbin, khususnya terkait dengan distribusi tekanan dan distribusi kecepatan yang terjadi pada sudu turbin. Distribusi tekanan dan distribusi kecepatan yang diterima sudu turbin sangat mempengaruhi performa turbin tersebut.

2. Metode Penelitian

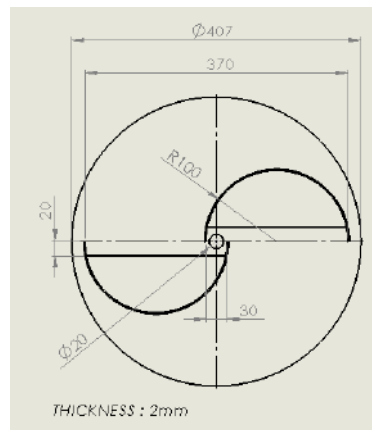
Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi numerik berbantu perangkat lunak solidworks (*flow simulations*), berbasis *Finite Element Analysis (FEA)*. Gambar 1 merupakan *flow chart* proses simulasi [11]. Penelitian dimulai dengan studi literature, desain sudu, mengatur domain, menjalankan solver, simulasi, output dengan menampilkan data berupa distribusi tekanan dan distribusi kecepatan serta dan analisis data hasil simulasi.

Pada penelitian ini disimulasikan sudu turbin angin savonius berbentuk U dengan jumlah sudu (*blade*) 2 dan jumlah blade 3. Masing-masing sudu ditambahkan satu fin, dua fin dan sudu tanpa fin. Kecepatan angin yang diterapkan yaitu 3 m/s. Masing-masing sudu dibuat model dalam dua dimensi (2D), dan dilanjutkan dengan pembuatan model tiga dimensi (3D), diameter sudu (d) = 200 mm, tinggi rotor = 370 mm, dan ketebalan blade dan endplate = 2 mm. Proses simulasi dapat dilihat pada Gambar 1.

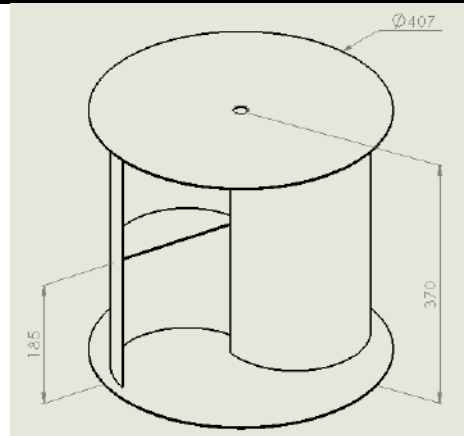


Gambar. 2 *Flow chart* proses simulasi

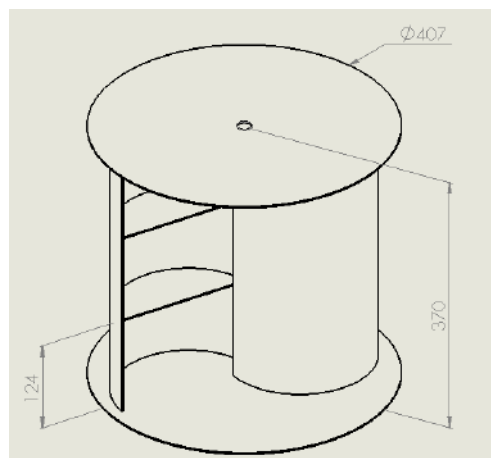
Gambar.2 adalah tampilan gambar potongan dan tampilan 2 D sudu prototype turbin yang disimulasikan, tampak atas dan depan, sudu yang ditambahkan satu fin dan dua fin.



(a)



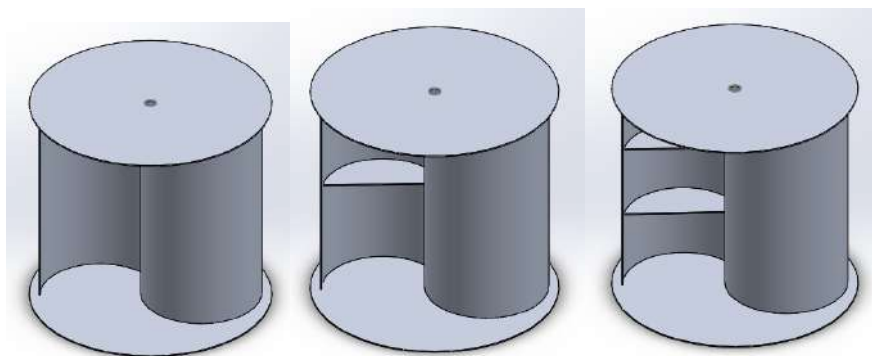
(b)



(c)

Gambar. 3. Sudu rancangan 2D: (a) tampak atas, (b) sudu 1 fin, (c) sudu 2 fin.

Gambar 4 adalah model sudu yang disimulasikan, jumlah sudu 2 masing masing tanpa fin, 1 fin, dan 2 fin.

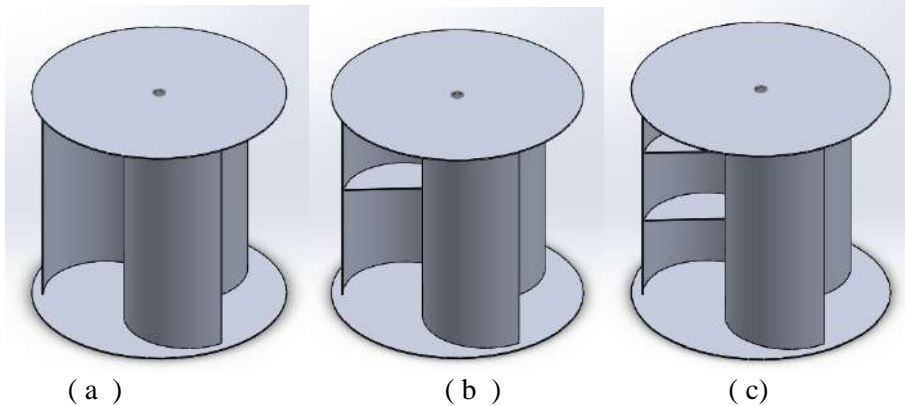


(a)

(b)

(c)

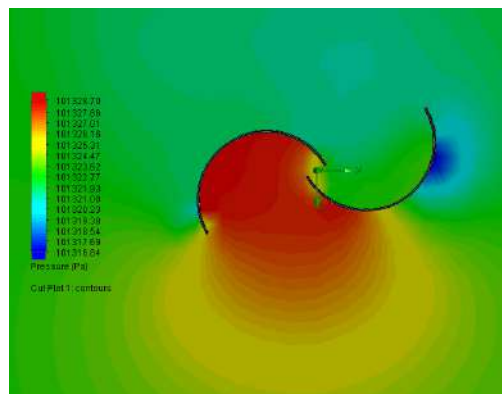
Gambar.4. Savonius dua sudu dengan variasi penambahan fin: (a) tanpa fin, (b) 1 fin, (c) 2 fin



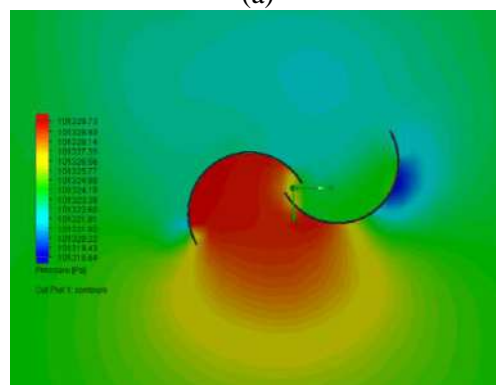
Gambar.5. Savonius tiga sudu dengan variasi penambahan fin: (a) tanpa fin, (b) 1 fin, (c) 2 fin

3. Hasil dan Pembahasan

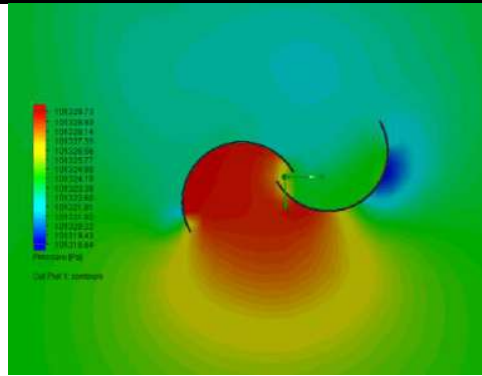
Hasil simulasi pada rotor Savonius tipe U yang telah dibuat dimana jumlah sudu (*blade*) sebanyak 2 dan jumlah sudu 3, dengan kecepatan angin (*wind speed*) 3 m/s, dihasilkan output/tampilan berupa distribusi tekanan dan distribusi kecepatan, masing- masing sudu tanpa fin, 1 fin dan 2 fin, tampilan gambar berupa tersebut dapat dilihat pada gambar 6 sampai dengan gambar 9 berikut;.



(a)



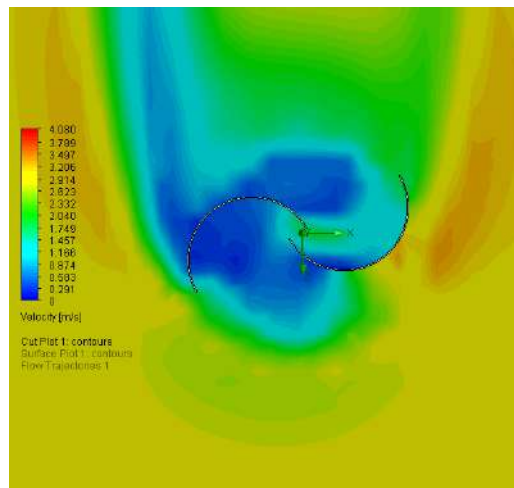
(b)



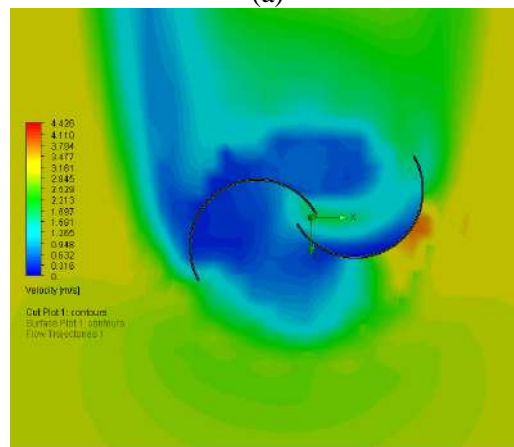
(c)

Gambar.6 Cut Plot Pressure pada Kecepatan 3 m/s 2 blade . (a) Tanpa Fin (b) 1 Fin (c) 2 Fin.

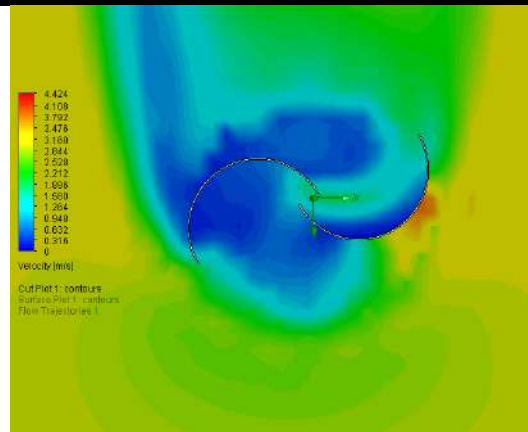
Gambar 6 merupakan *cut plot pressure* dari sudu tipe U dengan kecepatan angin sebesar 3 m/s. Pada gambar 6 (a) menunjukkan daerah pressure yang dialami sudu tipe U tanpa modifikasi dimana Pressure terbesar senilai 101328.70 Pa dan Pressure terkecil sebesar 101316.84 Pa. Pada gambar 6 (b) yang merupakan sudu tipe U dengan 1 Fin dimana *Pressure* terbesar senilai 101329.73 Pa dan Pressure terkecil sebesar 101318.64 Pa. Pada gambar .6 (c) yang merupakan sudu tipe U dengan 2 Fin dimana *pressure* terbesar senilai 101328.93 Pa dan Pressure terkecil sebesar 101318.64 Pa. Luas daerah yang bertekanan tinggi terjadi dan terjadi secara merata pada sudu dengan penambahan 1 fin, diikuti sudu dengan penambahan dua fin tan sudu tanpa penambahan fin.



(a)



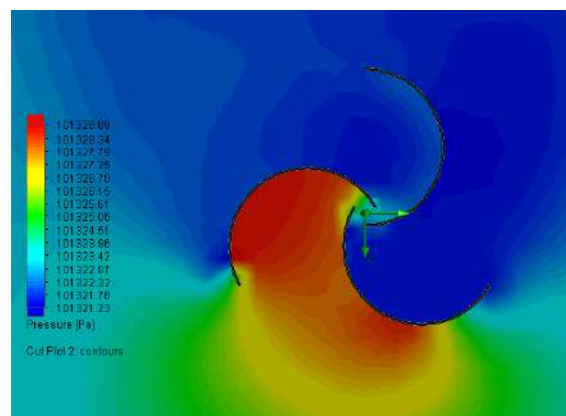
(b)



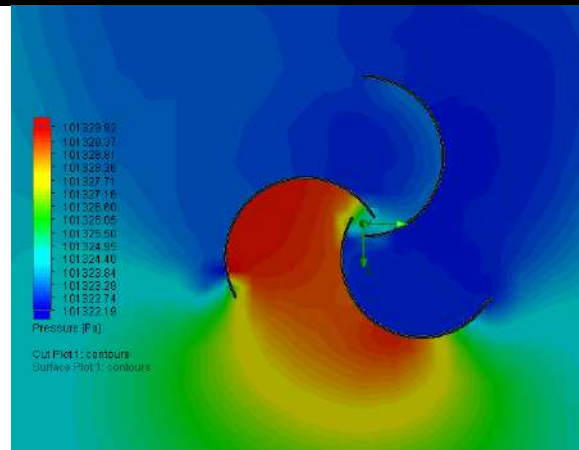
(c)

Gambar 7. *Cut Plot Velocity* pada Kecepatan 3 m/s 2 blade. (a) Tanpa Fin (b) 1 Fin (c) 2 Fin.

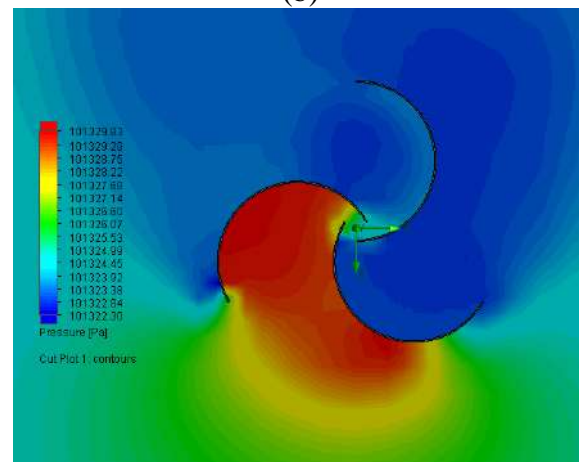
Gambar 7 merupakan *cut plot velocity* dari sudu tipe U dengan kecepatan angin sebesar 3 m/s. Pada gambar 7 (a) menunjukkan daerah kecepatan angin yang dialami sudu tipe U tanpa penambahan fin atau sudu standard, dimana *velocity* tertinggi senilai 1.749 m/s dan *velocity* terendah sebesar 0.291 m/s. Pada gambar 7 (b) yang merupakan sudu dengan 1 Fin dimana *velocity* tertinggi senilai 1.87 m/s dan *velocity* terendah sebesar 0,316 m/s. Pada gambar 7 (c) yang merupakan sudu dengan penambahan 2 Fin dimana *velocity* tertinggi senilai 1.896 m/s dan *velocity* terendah sebesar 0,316 m/s. Luas daerah yang mempunyai *velocity* terluas adalah Gambar 7 (c) dengan *velocity* senilai 1.839 m/s. Pengaruh penambahan fin pada sudu seperti ditampilkan pada gambar 7 (b) terlihat bahwa rotor dengan dua sudu bila ditambahkan 1 fin memberikan distribusi kecepatan tertinggi dan merata secara luas dibanding sudu dengan tanpa fin gambar 7 (a) dan sudu dengan penambahan 2 fin gambar 7 (c). Pada kecepatan angin (*wind speed*) yang masih relatif rendah yakni 3 m/s penambahan jumlah fin pada sudu tidak inier dengan terjadinya distribusi kecepatan tertinggi pada sudu. Distribusi tekanan tertinggi terjadi pada sudu yang ditambahkan 1 fin, diikuti dengan sudu dua fin dan sudu tanpa fin.



(a)



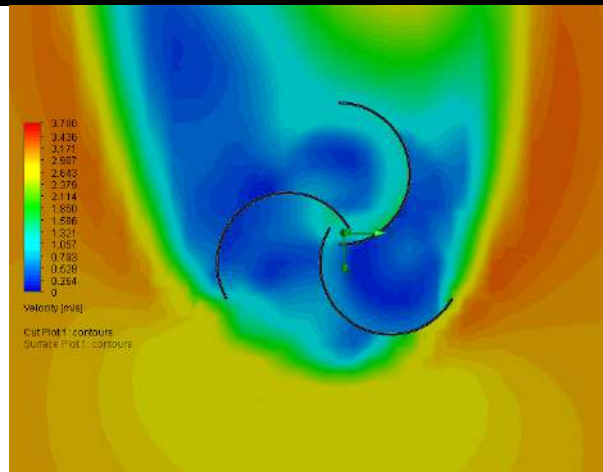
(b)



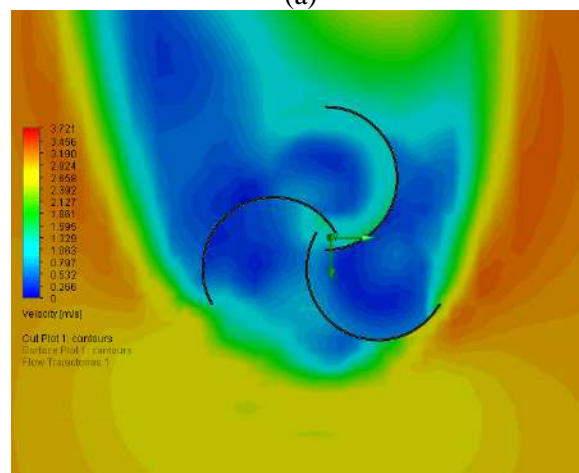
(c)

Gambar.8 Cut Plot Pressure pada Kecepatan 3 m/s 3 blade . (a) Tanpa Fin (b) 1 Fin (c) 2 Fin

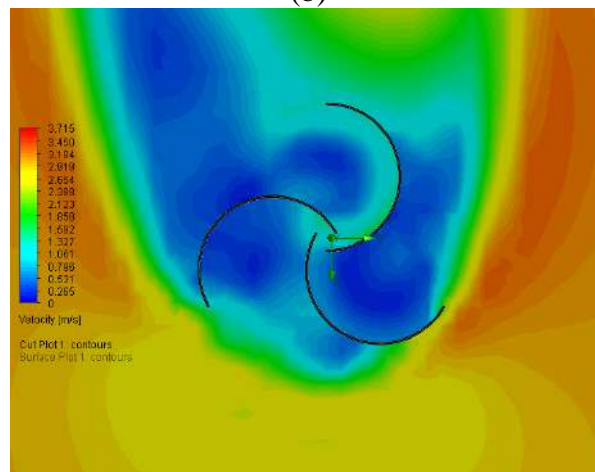
Gambar 8. merupakan *cut plot pressure* dari sudu tipe U dengan jumlah sudu sebanyak tiga, dengan kecepatan angin (*wind speed*) sebesar 3 m/s. Pada gambar 8 (a) menunjukkan daerah *pressure* yang dialami sudu tersebut tanpa modifikasi dimana *pressure* terbesar senilai 101328.89 Pa dan *pressure* terkecil sebesar 101321.23 Pa. Pada gambar 8 (b) yang merupakan sudu dengan penambahan 1 Fin dimana *pressure* terbesar senilai 101329.92 Pa dan *pressure* terkecil adalah 101322.11 Pa. Pada gambar 8. (c) yang merupakan sudu tipe U dengan penambahan 2 Fin dimana *Pressure* terbesar senilai 101329.83 Pa dan *pressure* terkecil adalah 101322.30 Pa. Luas daerah yang bertekanan tinggi dan terdistribusi secara merata dan luas terjadi pada gambar 8 (b) lebih tinggi dibanding sudu dengan penambahan dua fin gambar 8 (c) serta sudu tanpa fin sebagaimana terlihat pada gambar 8 (a). Penambahan jumlah fin pada sudu tidak menghasilkan distribusi tekanan tertinggi secara linier yang terjadi pada sudu (blade) turbin.



(a)



(b)



(c)

Gambar 9 Cut Plot Velocity pada Kecepatan 3 m/s 3 blade. (a) Tanpa Fin, (b) 1 Fin ,(c) 2 Fin

Gambar .9 merupakan cut plot velocity dari rotor turbin savonius sudu tipe U jumlah sudu 3 buah, kecepatan angin yang diterapkan pada sudu sebesar 3 m/s. Pada gambar .9 (a) menunjukkan daerah kecepatan angin yang dialami sudu tanpa modifikasi, yakni tanpa penambahan fin dimana velocity tertinggi senilai 2.379 m/s dan velocity terendah sebesar 0.264 m/s. Pada gambar .9 (b) yang merupakan sudu tipe U dengan 1 Fin dimana velocity tertinggi senilai 2.392 m/s dan velocity terendah sebesar 0,266 m/s. Pada gambar .9 (c) yang merupakan sudu dengan penambahan 2 Fin dimana velocity tertinggi senilai 2.388 m/s dan velocity terendah sebesar 0,265 m/s. Pengaruh penambahan fin pada sudu sebagaimana pada gambar 9

(b) tersebut terlihat bahwa rotor dengan tiga sudu bila ditambahkan 1 fin memperlihatkan distribusi kecepatan tertinggi dan merata secara luas dibanding sudu dengan tanpa fin gambar 9 (a) dan sudu dengan penambahan 2 fin gambar 9 (c).

KESIMPULAN

1. Distribusi tekanan yang terjadi pada rotor dipengaruhi oleh jumlah sudu dan jumlah fin yang ditambahkan pada sudu. Pada kecepatan angin yang sama, distribusi tekanan maksimum terjadi pada rotor dengan jumlah blade tiga yang ditambahkan 1 fin yaitu 101329.92 Pa, distribusi tekanan paling rendah terjadi pada rotor dua blade tanpa penambahan fin yaitu 101316.84 Pa.
2. Distribusi kecepatan terlihat merata dan luas terjadi pada penambahan fin baik untuk rotor dua sudu (*blade*), maupun pada rotor tiga sudu. Distribusi kecepatan tertinggi terjadi pada rotor tiga sudu dengan penambahan 1 fin dibanding sudu tanpa fin serta sudu dua fin. Pada jumlah sudu yang sama penambahan fin memberikan distribusi kecepatan yang lebih tinggi dan merata dibanding sudu tanpa fin.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kementerian Riset Teknologi dan Dikti, melalui (Simlitabmas) atas support dana dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ajao, Khan, and Mahamood, M.R., 2009. *Wind Energy Conversion System: The Past, The Present and The Prospect*. Journal of American Science. Volume 5, No 6
- [2] Saha, U.K.S. Totla dan D. Maity. 2008. *Optimum Design Configuration of Savonius Rotor Through Wind Tunnel Experiment*. Journal of Wind Energy and Industrial Aerodynamics, pp. 1359 – 1357
- [3] S. MS and M. Ibrochim, *Analisa Potensi Energi Angin Dan Estimasi Energi Output Turbin Angin di Lebak Banten*, *Jurnal Teknologi Dirgantara*, vol. 7, pp. 8-14, June 2009 .
- [4] Menet, J.L, dan N. Bouraba. 2004. *Increase in the Savonius Rotors Efficiency via a parametric Investigation*. European wind energy conference & Exhibition. London
- [5] F. Wenehenubun, A. Saputra, and H. Sutanto, *An experimental study on the performance of Savonius wind turbines related with the number of blades* . *Energy Procedia*, vol. 68, pp.297 - 304, 2015.
- [6] BP, *BP Energy Outlook*, ed, 2017.
- [7] N. H. Mahmoud, et al, *An experimental study on improvement of Savonius rotor performance*, *Alexandria Engineering Journal*, vol. 51, pp. 19-25, 2012.
- [8] Ali, MH.et al, *Experimental Comparison Study for Savonius Wind Turbine of Two and Three Blades at Low Wind Speed*. *Int. J. Modern Eng.Research*, Vol.3 issue 5, 2013, pp. 2978-2986.
- [9] GWEC, *Global wind energy outlook*, Greenpeace & Global Wind Energy Council, 2014.
- [10] Altan, BD., Atilgan, M. and Ozdamar, A. *An Experimental Study on Improvement of a Savonius Rotor Performance with Curtaining*. *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 32, 2008, pp. 1673-1678.
- [11]. Dassault, *SolidWorks Essential solver modeling guide*, USA, 2012.

SUBMISSION 3

Perancangan Modifikasi *Heater* dan Sistem Kontrol

Water Bath Kapasitas 9 Liter

Mustangin¹, Indra Saputra¹

¹Program Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Institut Sains dan Teknologi Al Kamal

Abstract

Water bath is an oven or water heater whose main function is to create a constant temperature and is used for incubation in microbiological analysis, which is used to melt the base, vaporizing extracts or tincture, heating to accelerate solubility. Another function of tool is to react substances above enzyme activity. Water bath is also the one of tools salting used in laboratory. In the designing water bath will be discussed about the design of water bath, material selection methods, components needed, and control system diagram. Water bath is later also equipped with energy display, with the display of this energy will make it easier for the public in knowing the use of electricity in the voltage, current, power and energy when the tool is used. From design used the selection materials used for water bath tub is stainless steel and heater used is the type tubular. Power needing to heat water on the water bath capacity 9 liter from temperature 30 C to 100 C with time 30 minutes is 1820,09 watt.

Key words : design; heater; control temperatur; energy display

Abstrak

Water bath adalah *oven* atau bisa disebut juga pemanas air yang fungsi utamanya adalah untuk menciptakan suhu yang konstan dan digunakan untuk inkubasi pada analisa mikrobiologi, serta digunakan untuk melebur basis, menguapkan ekstrak atau tingtur, pemanasan untuk mempercepat kelarutan. Fungsi lainnya dari alat ini adalah untuk mereaksikan zat di atas suhu ruangan dan untuk aktifitas enzim. *Water bath* ini juga merupakan salah satu alat yang sering digunakan di laboratorium. Dalam perancangan *water bath* ini akan dibahas mengenai desain *water bath*, metode pemilihan material, komponen yang dibutuhkan, dan diagram sistem kontrol. *Water bath* ini nantinya juga dilengkapi dengan *display* energi, dengan adanya *display* energi ini akan mempermudah bagi masyarakat dalam mengetahui pemakaian listrik berupa tegangan, kuat arus, power dan energi saat alat tersebut dipakai. Dari perancangan ini pemilihan material yang digunakan untuk bak *water bath* adalah *stainless steel* dan *heater* yang digunakan adalah jenis tubular. Daya yang dibutuhkan untuk memanaskan air pada *water bath* kapasitas 9 liter dari temperatur 30 C ke 100 C dengan waktu 30 menit adalah 1820,09 watt.

Kata kunci : design; heater; termperatur control; display energy

1. Pendahuluan

Di zaman yang semakin berkembangnya ilmu dan teknologi ada beberapa macam alat pemanas bila ditinjau dari sumber energi yang digunakan diantaranya yang pertama pemanas tenaga matahari, yang ke-dua menggunakan tenaga listrik dan yang ke-tiga menggunakan tenaga gas (LPG). Dari ketiga jenis sumber energi tersebut pemanas dengan energi listrik memiliki keunggulan yaitu dapat digunakan di rumah tangga, rumah sakit/laboratorium dan kantor. Sumber energi ini juga ramah lingkungan, memerlukan peralatan yang relatif lebih sederhana dibandingkan dengan sumber energi matahari dan gas LPG.[1]

Saat ini berbagai jenis alat pemanas dengan menggunakan energi listrik mudah dijumpai di pasaran, namun masih jarang yang secara langsung bisa menampilkan tegangan listrik, arus listrik, daya listrik dan pemakaian energi listrik pada saat alat itu bekerja. Oleh karena itu penulis tertarik untuk merancang sebuah alat pemanas air menggunakan *heater* tubular dan nantinya alat ini dilengkapi dengan *display* energi yang bisa menampilkan secara langsung nilai tegangan listrik, arus listrik, *power* dan energi yang digunakan. Adapun pemilihan jenis *heater* tipe tubular ini dikarenakan yang dibutuhkan adalah perpindahan panas secara konveksi, jadi kalor yang dilepaskan *heater* dapat secara langsung untuk memanaskan air.

2. Landasan Teori

Kalor adalah bentuk energi yang secara alami berpindah dari benda yang memiliki suhu relatif lebih tinggi berpindah ke benda yang suhunya lebih rendah ketika kedua benda tersebut saling bersentuhan. Kalor yang diberikan pada suatu benda dapat menyebabkan kenaikan suhu benda atau wujud benda.

Berdasarkan hukum kekekalan energi yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan, proses perpindahan kalor terjadi dari suatu sistem yang memiliki temperatur yang lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Kesetimbangan pada masing-masing sistem terjadi ketika sistem memiliki temperatur yang sama. Akan tetapi energi dapat berubah bentuk yang pertama ke bentuk yang kedua. Perpindahan panas kalor dapat berlangsung dengan tiga cara yaitu perpindahan kalor secara konduksi, perpindahan kalor secara konveksi dan perpindahan kalor secara radiasi.[2]

Adapun jenis pemanas air yang sudah tersedia adalah [3] :

- a. Pemanas air tenaga surya
- b. Pemanas air tenaga listrik
- c. Pemanas air tenaga LPG
- d. Pemanas air dengan AC (*Air conditioning water heater*)

Water bath adalah *oven* atau bisa disebut juga pemanas air yang fungsi utamanya adalah untuk menciptakan suhu yang konstan dan digunakan untuk inkubasi pada analisa mikrobiologi, serta digunakan untuk melebur basis, menguapkan ekstrak atau tingtur, pemanasan untuk mempercepat kelarutan. Fungsi lainnya dari alat ini adalah untuk mereaksikan zat di atas suhu ruangan dan untuk aktifitas enzim.

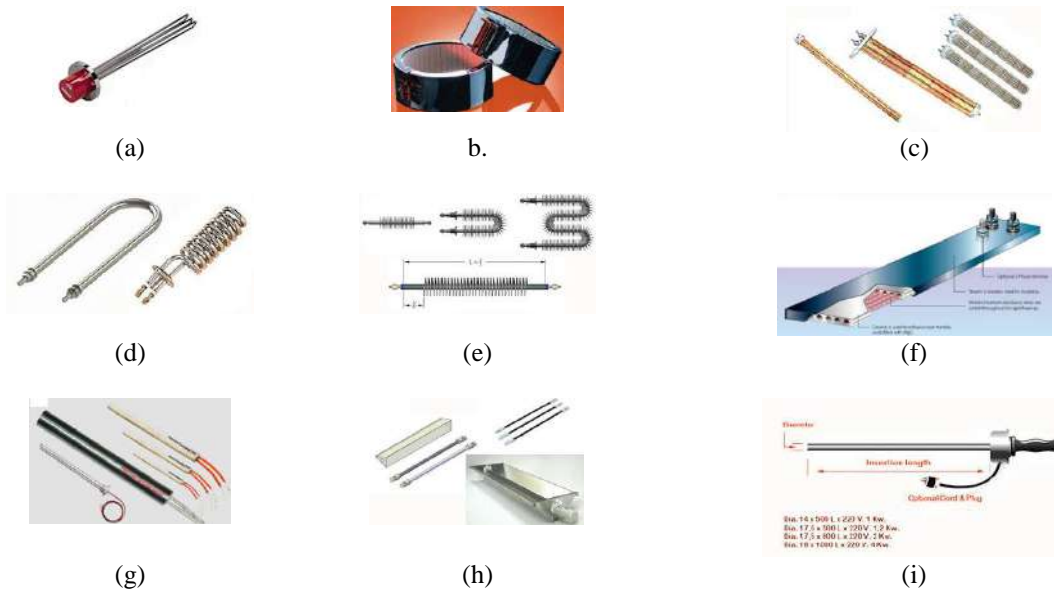
Water bath merupakan peralatan laboratorium yang berisi air atau cairan khusus yang bisa mempertahankan suhu pada kondisi tertentu selama selang waktu yang ditentukan. Fungsi dari *water bath* adalah untuk menciptakan suhu yang konstan, menginkubasi pada analisis mikrobiologi, melebur basis, menguapkan ekstrak untuk mereaksikan zat di atas suhu ruangan dan aktifitas enzim.

Prinsip kerja *water bath* adalah memanaskan air dengan *heater* sampai suhu air naik dan sesuai dengan suhu yang kita pilih, *heater* akan berhenti memanaskan air ketika suhu yang ditentukan telah tercapai.[4]

Elemen pemanas/*heater* ini berfungsi memanaskan media, bisa berupa padat, cair maupun udara. Dengan komponen elemen pemanas inilah energi listrik dirubah menjadi energi panas/kalor.

Tabel 1 Jenis heater listrik

No	Jenis	Aplikasi media	Material	Kapasitas daya
1	<i>Immersion Heater</i>	Cair	<i>Stainless Steel</i> SS 304 dan SS 316	220 / 380 VAC dengan kapasitas tinggi (ribuan hingga puluhan ribu watt)
2	<i>Band Heater</i>	Benda di dalam tabung/pipa	<i>Stainless Steel</i> sebagai pelindung, keramik sebagai isolator	220 / 380 VAC, kapasitas 50 s.d 100000 watt
3	<i>Bobin Heater</i>	Kering, udara	Keramik sebagai isolator	Daya tinggi
4	<i>Tubular Heater</i>	Kering dan Cair	<i>Stainless Steel</i> SS 304 dan SS 316	Daya rendah s.d tinggi
5	<i>Fin Heater</i>	Kering, Udara	<i>Stainless steel</i>	-
6	<i>Strip Heater</i>	Kering	Mika/keramik sebagai isolator dan plat <i>Stainless Steel</i>	-
7	<i>Catridge Heater</i>	Mesin pengemas, kering	<i>Stainless Steel</i>	220/380/440 VAC, daya 150 s.d 5000 watt
8	<i>Infrarada Heater</i>	Kering, mesin oven	ada 2 jenis hitam dan putih	daya 100 watt s.d 3000 watt
9.	<i>Bolt Heater</i>	Kering, melepas baut mesin turbin	<i>Stainless Steel</i>	-

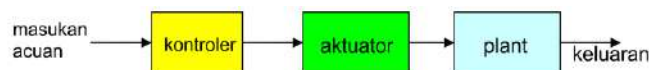


Gambar 1. Jenis heater listrik : (a) *Immersion heater*; (b) *Band heater*; (c) *Bobin heater*
(d) *Tubular heater*; (e) *Fin heater*; (f) *Strip heater*; (g) *Catridge heater*; (h) *Infrarada heater*
(i) *Bolt heater*

Pengertian kontrol atau pengaturan adalah proses atau upaya untuk mencapai tujuan. Sebagai contoh sederhana dan akrab dengan aktifitas sehari-hari dari konsep kontrol atau pengaturan adalah saat mengendarai kendaraan. Tujuan yang diinginkan dari proses tersebut adalah berjalannya kendaraan pada lintasan (*track*) yang diinginkan. Ada beberapa komponen yang terlibat di dalamnya, misalnya pedal gas, speedometer, mesin (penggerak), rem, dan pengendara. Ada dua bentuk umum sistem control [5]:

a. Sistem kontrol lingkaran terbuka (*open loop control sistem*)

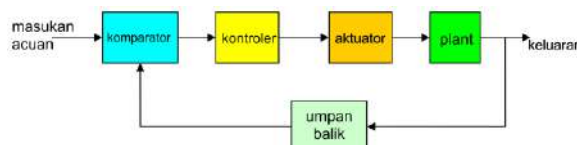
Adalah sistem yang keluarannya tidak berpengaruh terhadap aksi pengaturan. Dengan kata lain, dalam sistem ini keluarannya tidak diukur ataupun diumpun balikkan untuk dibandingkan dengan masukan. Contohnya mesin cuci, perendaman, penyucian dan penyabunan dalam mesin cuci beroperasi berdasarkan waktu yang ditentukan oleh pengguna.



Gambar 2. Diagram blok sistem kontrol *open loop*

b. Sistem kontrol lingkaran tertutup (*closed loop control system*) atau sistem kontrol dengan umpan balik.

Adalah nilai keluaran berpengaruh langsung terhadap aksi pengaturan. Sinyal selisih (*error*) yaitu perbedaan antara masukan acuan dan sinyal umpan balik diberikan kepada kontroler sedemikian sehingga dalam prosesnya memperkecil selisih dan menghasilkan keluaran sistem pada harga atau kondisi yang diinginkan. Sistem kontrol lingkaran tertutup dalam kenyataannya selalu merujuk kepada sistem yang menggunakan umpan balik untuk mengurangi *error* sistem.

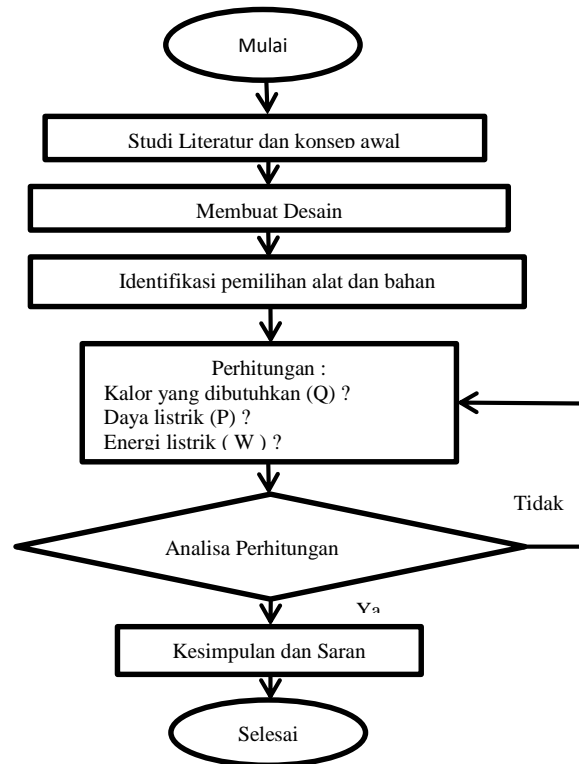


Gambar 3. Diagram blok sistem kontrol *closed loop*

Kontroler dapat diibaratkan sebagai otak dari sistem kontrol. Komponen tersebut berfungsi sebagai pusat pengatur proses dalam sistem kontrol. Secara teknis, ada dua input kontroler, yaitu *output* sebenarnya yang dihasilkan *plant* (disebut variabel yang dikontrol x) dan masukan acuan (referensi w). Input yang diproses oleh kontroler adalah selisih dari dua input tersebut (*error* e), sedangkan output kontroler berupa variabel termanipulasi (y).

Berdasarkan cara kerjanya ada dua tipe kontroler, yaitu kontroler diskrit yang terdiri dari dua jenis (kontroler dua posisi (*on – off*) dan kontroler tiga posisi) dan kontroler kontinu yang terdiri dari lima jenis (kontroler proporsional (P), kontroler Integral (I), kontroler Proporsional-Integral (PI), kontroler derivatif (D), kontroler proporsional derivatif (PD) dan kontroler proporsional–integral–derivatif (PID)).

3. Metodologi Penelitian



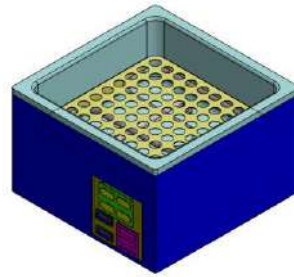
Gambar 4. Diagram alir penelitian

4. Hasil dan diskusi

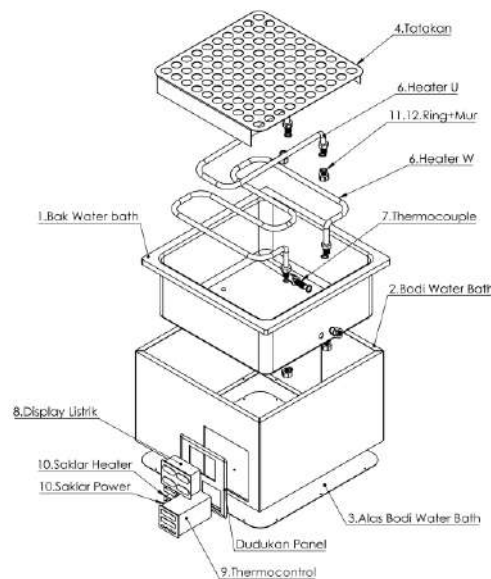
Dari tahap perancangan diperoleh desain *water bath* diperoleh data identifikasi untuk konsep awal dan desain dalam perancangan *water bath* adalah sebagai berikut :

- Kapasitas yang dirancang adalah 9 liter dengan ukuran bak 300 x 300 x 130 mm (asumsi masih ada sisa ± 3 liter fluida dengan tinggi 30 mm dari bibir bak).
- Penampil untuk energi listrik adalah PZEM -061
- Dibuat tatakan untuk penempatan tabung reaksi/gelas ukur agar apabila dipakai tidak bersentuhan dengan *heater*.
- Heater* yang digunakan adalah tipe tubular.

Adapun desain yang dirancang adalah *water bath* ini mampu mencapai temperatur 100 °C dalam waktu 30 menit dengan air sebagai media fluida yang digunakan.



Gambar 5. Desain *water bath*



Gambar 6. *Assembly water bath*

Data identifikasi untuk konsep awal dan desain dalam perancangan *water bath* adalah sebagai berikut :

- Kapasitas yang dirancang adalah 9 liter dengan ukuran bak 300 x 300 x 130 mm (asumsi masih ada sisa \pm 3 liter fluida dengan tinggi 30 mm dari bibir bak).
- Penampil untuk energi listrik adalah PZEM -061
- Dibuat tatakan untuk penempatan tabung reaksi/gelas ukur agar apabila dipakai tidak bersentuhan dengan *heater*.
- Heater* yang digunakan adalah tipe tubular.

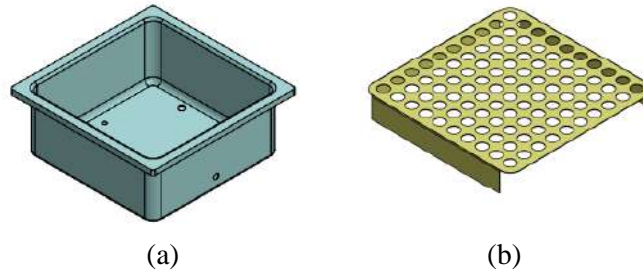
A. Komponen penyusun *water bath*

1. Bak dan tatakan *water bath*

Komponen ini digunakan sebagai wadah fluida, rangkaian elemen pemanas, sistem kontrol dan sensor suhu Material yang akan digunakan adalah dipilih dari jenis material logam dikarenakan material ini nantinya akan dilakukan proses pembentukan seperti *bending*, *blanking*, *drawing* dan *welding*.

Material yang sesuai untuk menghantarkan panas adalah yang memiliki *thermal conductivity* yang tinggi, konduktifitas ini sebanding dengan nilai laju perpindahan kalor, semakin tinggi laju perpindahan kalor berakibat semakin tinggi juga daya listrik yang digunakan, maka dari itu dipilih material berdasarkan nilai *thermal conductivity* yang lebih rendah dengan dimaksudkan agar laju perpindahan kalor pada material rendah, selain itu juga demi faktor keamanan agar nantinya pada saat digunakan material bak ini tidak memiliki temperatur yang tinggi seperti fluida yang dipanaskan.

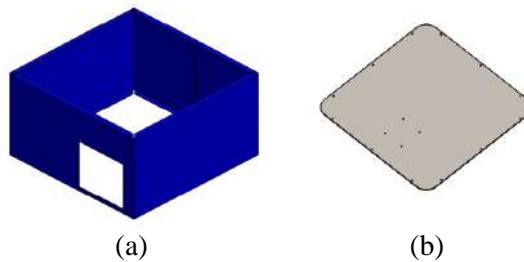
Dari pertimbangan sifat material di atas maka dipilihlah *chrome-nickel steel* (18% Cr, 8% Ni) yang lebih dikenal dengan *stainless steel*. Material ini lebih ringan daripada yang lainnya, selain itu kalor spesifiknya juga tinggi.[6]



Gambar 7 (a) Bak *water bath*; (b) Tatakan

2. Bodi dan alas

Komponen ini digunakan sebagai tempat dan pelindung luar bak serta penempatan komponen penyusun *water bath*. Pemilihan material untuk bodi dan alas ini terbuat dari plat *steel* yang di *bending* kemudian dilas pada ujungnya.



Gambar 8 (a) Bodi *water bath*; (b) Alas

3. Dudukan kontrol

Material dudukan untuk penempatan kontrol dibuat dari akrilik dikarenakan ringan dan mudah dibentuk sesuai kontrol yang akan dipakai.



Gambar 9. Dudukan kontrol

4. Jenis heater

Pada perancangan *water bath* ini maka dipilih *heater* jenis *tubular heater* dikarenakan jenis *heater* ini terbuat dari pipa *stainless steel* yang dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan dari media produksi yang akan dipanaskan. *Tubular heater* ini juga dapat digunakan di media kering dan media cair seperti air, oli, kimia dan residu. Secara umum kegunaan *tubular heater* sangat luas karena dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan. *Range* daya tubular heater sangat luas mulai dari watt kecil puluhan watt sampai dengan watt besar ribuan watt bisa dibuat dengan *tubular heater*.



Gambar 10. Tubular heater

5. Sistem kontrol

Pemilihan kontrol *heater* sangat berpengaruh dengan komponen lainnya, tidak semua kontrol *heater* bisa dirangkai dengan komponen lainnya, jadi harus memperhatikan jenisnya seperti tipe sensor suhu, kapasitas kontrol.



Gambar 11. Sistem kontrol

6. Sensor suhu

Pemilihan termokopel sebagai sensor suhu berpengaruh pada kapasitas pembacaan suhu yang akan dicapai, untuk *water bath* ini dirancang untuk mencapai suhu hingga di atas 100 °C sehingga memilih termokopel tipe K (Ni-Cr alloy) karena jenis ini dipakai untuk umum dengan rentang suhu operasional – 30 sampai + 1400 °C dan sesuai dengan kontrol *heater* yang akan dipakai.



Gambar 12. Sensor suhu

7. Relay

Solid State Relay adalah *relay*/saklar elektronik semi konduktor yang memiliki kelebihan dan kekurangan dibandingkan dengan *relay* konvensional (elektro mekanik). Sistem isolasi pada *solid state relay* pada umumnya terisolasi secara optik sedangkan *relay* konvensional (elektro mekanik) terisolasi secara fisik. SSR mempunyai beberapa keuntungan dan kerugian antara lain :

Keuntungan menggunakan SSR :

- Kecepatan *switching*/perpindahan kondisi dari *off* ke *on* sangat tinggi.
- Tidak menimbulkan suara *bounce* pada saat terjadi perpindahan keadaan seperti pada *relay* mekanik.
- Kopling optikal tidak akan aus seperti pada kopling magnetik sehingga umur penggunaan lebih panjang dan tidak mudah rusak.
- Tidak menghasilkan bunyi klik pada saat perpindahan kondisi.
- Tahan terhadap gangguan eksternal (getaran, kelembaban, guncangan mekanik, medan magnetik)

Kerugian jika menggunakan SSR :

- Resistansi tegangan transien tinggi.
- Tegangan *drop* karena SSR ini dibangun dari bahan silikon maka terdapat tegangan jatuh antara tegangan input dan tegangan output.
- Terjadi kebocoran arus, pada saat SSR ini keadaan *off* atau *open* maka dalam kondisi ideal seharusnya tidak ada arus, tetapi pada kondisi sebenarnya ada kebocoran arus sebesar 10 mA.
- Harga SSR lebih mahal jika dibandingkan dengan *relay* mekanik.

Untuk kontak pengontrol nyala *heater* dipakai jenis SSR karena tipe ini sesuai dengan *output* dari *thermocontrol*, adapun input SSR adalah 3-5 volt DC sedangkan outputnya adalah 24 s.d 380 volt AC.



Gambar 13. SSR fotek

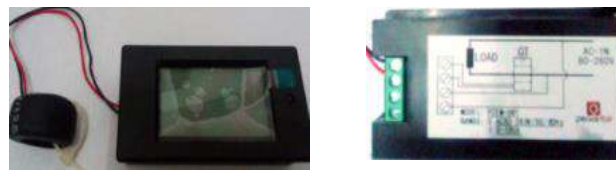
Sedangkan untuk rangkaian *heater*, *thermocouple*, *thermocontrol* dan SSR adalah sebagai berikut :



Gambar 14. Wiring diagram thermocontrol

8. *Display energi*

Pada *water bath* ini didesain supaya bisa mengetahui energi listrik yang digunakan maka perlu dipasang sebuah alat *display* yaitu tipe PZEM-061.

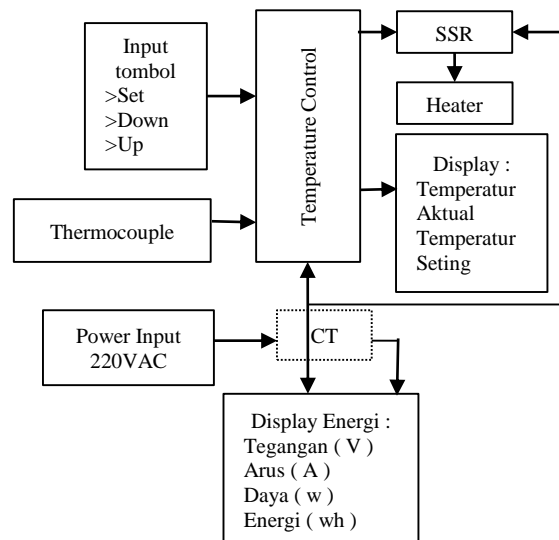


(a)

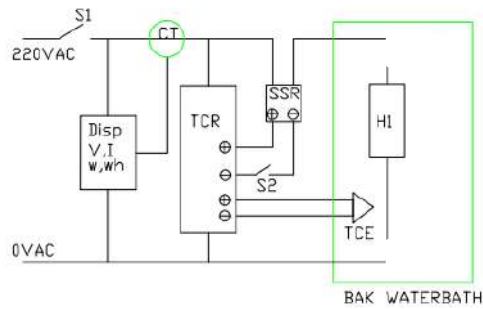
(b)

Gambar 15. Display energi; (a) *display* tampak depan; (b) rangkaian instalasi

B. Rangkaian sistem kontrol *water bath*



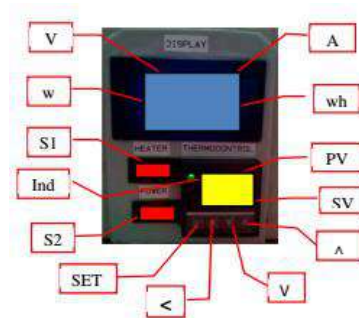
Gambar 16. Diagram blok sistem control



Gambar 17. Diagram rangkaian sistem kontrol

Keterangan gambar :

S1	=	Saklar utama	SSR	=	Solid State Relay (SSR)
S2	=	Saklar On – Off heater	TCE	=	Termokopel (sensor suhu)
TCR	=	Termocontrol/temperature control	Disp.	=	Display energi (voltase, current, power dan energy)
H1	=	Heater	CT	=	Coil trafo



Gambar 18. Display kontrol

Keterangan gambar :

V	=	Tegangan listrik	PV	=	Temperatur terbaca
W	=	Daya listrik	SV	=	Temperatur seting
A	=	Kuat arus listrik	Set	=	Tombol seting
S1	=	Saklar power	^	=	Tombol seting temperatur naik
S2	=	Saklar heater	v	=	Tombol seting temperatur turun
Ind	=	Sinyal temperatur belum tercapai	<	=	Tombol geser
Wh	=	Energi			

C. Perhitungan

sumber tegangan listrik : 220 volt AC

ukuran luar (l x w x h) : 340 x 340 x 210 mm

ukuran (l x w x h x t) : 300 x 300 x 130 x 0,2 mm

material : stainless steel (thermal conductivity 16,3 w/m°C)

massa air (m) : 8,96 kg Temperatur awal (T₀) : 30 °C

Temperatur akhir (T₁) : 100 °C

Specific heat (cp) : 4,18 KJ/°C

waktu (t) : 1800 s

Perhitungan kalor konveksi [2] :

$$Q = m \times Cp \times \Delta T \dots\dots\dots (1)$$

$$Q = 2620,76 \text{ KJ}$$

Perhitungan kalor konduksi :

$$q = \sim \frac{kA}{\Delta x} (T_2 - T_1) \dots\dots\dots (2)$$

$$q = 0,176 \text{ KJ}$$

Perhitungan kalor total :

$$(Qt) = Q_{konv} + Q_{kon} = 2620,94 \text{ KJ}$$

Perhitungan daya listrik [7]:

$$P = q = \frac{Q}{t} \dots\dots\dots (3)$$

$$P = 1456,09 \text{ watt}$$

Perhitungan perancangan daya listrik jika dipilih faktor koreksi 1,2 :

$$P \times 1.2 = 1820,09 \text{ watt}$$

Perhitungan kuat arus listrik :

$$P = V I \cos \vartheta \dots\dots\dots (4)$$

$$I = \frac{P}{V \times \cos \phi} = 8,27 \text{ A}$$

Perhitungan hambatan listrik :

$$V = I R \dots\dots\dots (5)$$

$$R = \frac{V}{I} = 26,59 \text{ ohm}$$

Perhitungan energi listrik :

$$(W) = V \times I \times t \dots\dots\dots (6)$$

$$W = 910,04 \text{ watt hour}$$

Berdasarkan data perhitungan maka didapatkan bahwa untuk memanaskan air dengan volume 9 liter yang dirancang mampu mencapai temperatur dari 30°C 100 °C selama 30 menit didapatkan kalor yang harus dilepaskan *heater* adalah 2620,94 KJ dengan perancangan *heater* dengan daya listrik sebesar 1820,09 watt.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a) Besarnya kalor yang dibutuhkan adalah 2620,94 KJ
- b) Daya *heater* yang digunakan adalah 1456,08 apabila menggunakan faktor koreksi 1.2 maka daya yang dibutuhkan adalah 1820,09 watt.
- c) Energi yang dibutuhkan adalah 910,04 watt hours.
- d) Nilai kuat arus dan hambatan yang melalui *heater* berturut-turut adalah 8,27 A dan 26,59 ohm.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar. Demi perkembangan penelitian yang lebih lanjut maka penulis terbuka untuk menerima kritik dan saran yang bersifat membangun.

Daftar Pustaka

1. Donatos Faan, Fransiskus. *Karakteristik Water Heater Dengan Panjang Pipa 12 meter, Diameter 0.5 Inchi, dan Penangkap Kalor Gas Buang*. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma : Yogyakarta.(2015).
2. Holman, J.P. *Heat Transfer* tenth edition. Department of Mechanical Engineering Southern Methodist University. New York.(2010).
3. Budi S, Fajar. *Perancangan Alat Penukar Kalor Tipe Helical Coil Pada Air Conditioning Water Heater Kapasitas 30 Liter*. Teknik Mesin Institut Sains dan Teknologi Al Kamal : Jakarta.(2016).
4. Maulidia, Ani, dkk. *Waterbath dilengkapi dengan Safety Control dan Indikator Level Air Berbasis Arduino*. Teknik Elektronika Politeknik Kesehatan : Surabaya.(2016)
5. Siswoyo. *Teknik Listrik Industri Jilid 3 untuk SMK*. Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional : Jakarta. (2008).
6. A.Cengel, Yunus, Michael A Boles. *Thermodynamics an Engineering Approach Sixth Edition (SI unit)*. Mc.Graw Hill Companies Inc. New York .(2007).
7. Siswoyo. *Teknik Listrik Industri Jilid 1 untuk SMK*. Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional : Jakarta. (2008).

SUBMISSION 10

Perencanaan Pemakaian *Accumulator* Guna Optimasi Output Pada Alat Penyiram Tanaman Bawang Merah

Fadwah Maghfurah* Windarta, dan Andis Munandar
Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta Pusat 10510, Indonesia

Abstrak. Salah satu inovasi terbaru untuk menyiram tanaman bawang merah saat ini adalah menggunakan mesin pompa air DC dengan sumber tenaga akumulator, *charger*, dan pemilihan material kerangka yang tepat agar dapat menyesuaikan kondisi langsung dilapangan serta mampu mengapung dan seimbang diatas air maka ditambahkan dua buah pelampung serta pompa yang dapat mengeluarkan air yang banyak dan mampu menyebar ke seluruh bagian lebar area tanaman bawang merah dimana tenaga akumulator yang tersimpan cukup untuk menyiram. Pemilihan pompa juga telah disesuaikan dengan head totalnya yaitu sebesar 5,31 m sedangkan head maksimal pompa sebesar 6 m pada diameter pipa $\frac{3}{4}$ inch atau 0.01905 m. NPSH yang tersedia lebih besar dari pada HPSH yang diperlukan yaitu $9,94 \text{ m} > 1,43 \text{ m}$. Akumulator yang digunakan memiliki *Ampere hour* sebesar 10 Ah dapat menjalankan pompa dengan daya 60 Watt selama 1,6 jam (96 menit). Momen gaya kesetimbangan alat ini pada $RAV = 34,549 \text{ N}$ dan $RVB = 35,109 \text{ N}$. *Break Even Point (BEP)* rupiah untuk alat penyiram tanaman bawang merah adalah $R_p 1.641.000$. Dalam lahan tersebut ada 36 petak maka diperlukan 18 kali penyiraman, maka $105 \times 18 = 1890$ detik (31 menit 30 detik).

Kata kunci: Pompa air DC, *Accumulator*, Head, NPSH

1. PENDAHULUAN

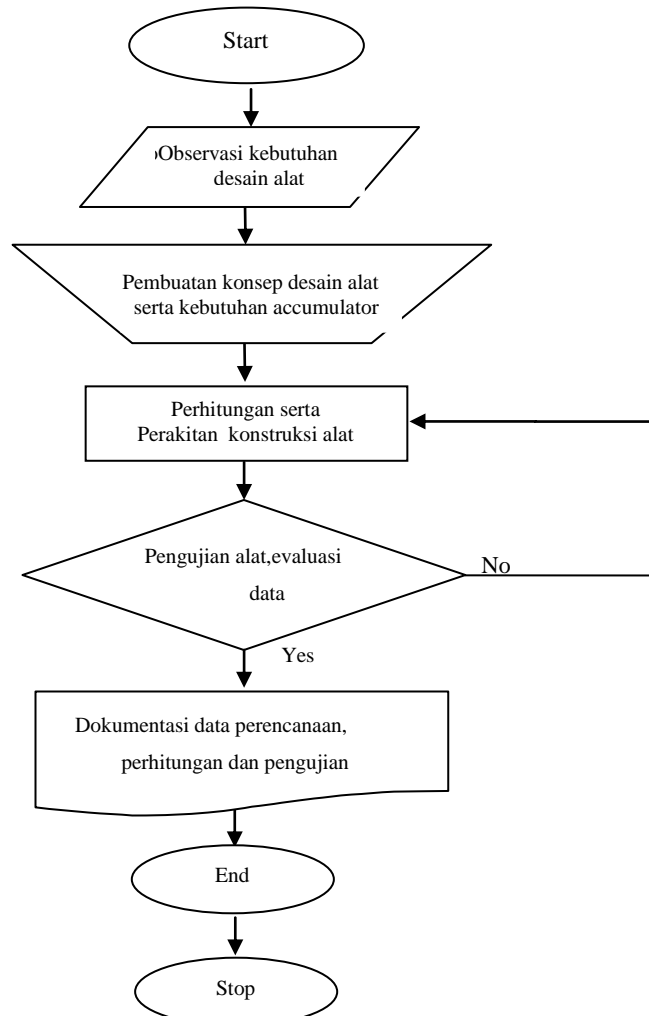
Guna mendukung petani bawang merah didaerah brebes bagian utara (Pantura) maka dicarilah inovasi-inovasi dalam budi daya bawang merah. Salah satunya adalah inovasi dalam hal penyiraman tanaman bawang merah. Awalnya para petani menggunakan alat siram manual tradisional berupa benda seperti ember yang terbuat dari besi seng yang dibuat memanjang (lonjong) dengan masing-masing ujungnya diberi lubang kecil yang banyak sebagai tempat keluarnya air sehingga debit air yang keluar menjadi kecil lebih merata[1]. Saat ini telah ada beberapa alat penyiram tanaman bawang merah untuk petani yang sudah modern dan memiliki modal lebih banyak dimana mereka lebih memilih menggunakan mesin pompa air karena dinilai lebih efisien, efektif dan menghemat tenaga[2]–[5]. Ada beberapa macam mesin yang digunakan, seperti mesin pompa air besar dengan bahan bakar bensin dan ada juga yang menggunakan mesin pompa air DC dengan memanfaatkan sumber tenaga matahari, akan tetapi penggunaan alat-alat penyiram bawang tersebut masih terdapat beberapa kekurangan-kekurangan.

Untuk menutupi kekurangan dari alat-alat tersebut maka diciptakanlah inovasi agar sesuai dengan kebutuhannya yaitu dengan menggunakan mesin pompa air DC dengan sumber tenaga akumulator atau aki. Keunggulannya ialah alat ini adalah murah, tidak terpengaruh dengan cuaca dan lebih hemat energi serta tidak menghasilkan polusi udara serta ramah lingkungan dibandingkan alat yang menggunakan mesin bahan bakar bensin. Keluaran debit air pun hampir sama dengan mesin pompa air yang menggunakan bahan bakar bensin. Alat ini juga dirancang seringan mungkin, fleksibel, ergonomis dan tidak mudah korosi[5], [6].

Optimasi perancangan alat penyiram tanaman bawang disini mencakup bagaimana agar rancangan dan alat penyiram bawang merah dapat menggunakan mesin pompa air DC dengan sumber tenaga akumulator dengan jangka waktu yang panjang sehingga waktu penyiraman tidak terganggu untuk mengcharge accumulator tersebut jika habis pada waktu penyiraman, bagaimana cara memperhitungkan dan mengetahui efektivitas alat penyiram bawang merah dengan memperhitungkan mesin pompa air DC dan akumulator yang digunakan seimbang dengan luas area yang akan disiram serta bagaimana agar air yang keluar dari sprayer dapat menyebar dan merata ke semua bagian tanaman bawang.

*Corresponding author: fadwah.maghfurah@ftumj.ac.id

2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. Hasil Penelitian

3.1 Perhitungan Pompa

Pompa yang digunakan adalah pompa DC York tipe BL2512 dengan spesifikasi sebagai berikut.



Gambar 2. Pompa DC York tipe BL2512

Tabel 1 Spesifikasi pompa DC York tipe BL2512

Nama	Nilai
Tegangan	DC – 12 V
Output maksimal	70 l/m
Head maksimal	4 m (Jika D = 1 inch)
Daya	60 Watt
Rotasi	5800 rpm
Suhu air	0 °C – 60 °C
Diameter output	1 inch

Penggunaan pipa pada alat penyiram tanaman bawang merah yang direncanakan adalah :

Diameter pipa (D) = $\frac{3}{4}$ inch = 0,01905 m

Koefisien pipa PVC (C) = 130 (tabel)

Panjang total pipa (L) = 1,27 m

Debit aliran pompa (Q) = 70 l/m = 0,001167 m³/detik

Kerugian Gesek Pada Pipa

Untuk menghitung kerugian gesek pada pipa bisa menggunakan rumus berikut[7], [8]:

$$hf = \frac{10,666 Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,85}} \times L$$

$$hf = \frac{10,666 (0,001167)^{1,85}}{(130)^{1,85} (0,01905)^{4,85}} \times (1,30) \quad hf = 1,4 \text{ m}$$

Pengecilan Penampang Pada Pipa Secara Mendadak

Kerugian head untuk pengecilan mendadak dapat dinyatakan dengan rumus:

Jika diketahui:

f diperoleh dari tabel = 0,21

Kecepatan gravitasi (g) = 9,8 m/s²

Kecepatan aliran mula-mula (v_2) = ?

Kerugian head untuk pengecilan mendadak (hf) = ?

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2} \quad v = \frac{0,001167}{\frac{\pi}{4} (0,01905)^2} \quad v = 4,1 \text{ m/s}$$

Jika nilai $v = 4,1$ m/s ,maka:

$$hf = f \frac{v_2^2}{2g} \quad hf = 0,21 \frac{(4,1)^2}{2 (9,8)} \quad hf = 0,18 \text{ m}$$

Jadi nilai kerugian pada pengecilan mendadak adalah 0,18 m

Koefisien Kerugian Pada Belokan 90°

Pada belokan lengkung dapat digunakan dengan rumus[7]:

$$f = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5}$$

Jika sudah diketahui:

Diameter pipa (D) = 0,01905 m

Jari-jari dalam pipa (R) = 0,009525 m

Sudut belokan (θ) = 90 ° , maka:

$$f = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \dots f = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{0,01905}{2 (0,009525)} \right)^{3,5} \right] \left(\frac{90}{90} \right)^{0,5} \dots f = 0,294$$

Jika nilai $f = 0,294$,maka:

$$hf = f \frac{v^2}{2g} \dots hf = 0,294 \frac{4,1^2}{2 (9,8)} \dots hf = 0,25 \text{ m}$$

Kerugian Pada Percabangan Pipa

Kerugian head untuk percabangan dapat dinyatakan dengan rumus:

f diperoleh dari tabel

$f_1 = 0,35$ dan $f_2 = 1,29$

Kecepatan gravitasi (g) = 9,8 m/s²

Kecepatan aliran sebelum percabangan (v) = 4,1 m/s , maka:

$$Hf_{1-3} = 0,35 \frac{4,1^2}{2(9,8)} \dots Hf_{1-3} = 0,3 \text{ m} \qquad Hf_{1-2} = 1,29 \frac{4,1^2}{2(9,8)} \dots Hf_{1-2} = 1,1 \text{ m}$$

Ujung Keluar Pipa

Kerugian keluar pada ujung pipa keluar diberikan menurut rumus:

$$\begin{aligned} \text{Koefisien } (f) &= 1 \\ \text{Kecepatan gravitasi } (g) &= 9,8 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Kecepatan aliran rata-rata (v) = 4,1 m/s, maka:

$$hf = f \frac{v^2}{2g} \dots hf = 1 \frac{4,1^2}{2(9,8)} \dots hf = 0,86 \text{ m}$$

Head Total Pompa

$$\begin{aligned} \text{Head starter total } (h_a) &= 1 \text{ m} \\ \text{Perbedaan head tekanan} &= 0 \\ \text{Berbagai kerugian head } (h_l) & \\ \quad 1. \text{ Kerugian gesek pipa} &= 1,4 \text{ m} \\ \quad 2. \text{ Kerugian pengecilan mendadak} &= 0,18 \text{ m} \\ \quad 3. \text{ Kerugian belokan} &= 0,25 \text{ m} \times 2 \\ \quad 4. \text{ Kerugian percabangan} &= 0,3 \text{ m dan } 1,1 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Head kecepatan keluar} \quad \frac{v_a^2}{2g} = 0,86 \text{ m}$$

Kecepatan gravitasi (g) = 9,8 m/s², maka:

$$H = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{v_a^2}{2g} \dots H = 1 + 0 + 1,4 + 0,18 + (2) 0,25 + 0,3 + 1,1 + 0,86 \dots H = 5,31 \text{ m}$$

NPSH Yang Tersedia

Jika diketahui Ketinggian dibawah 100 m , maka dapat dilihat dari tabel

$$P_a = 10,33 \text{ mH}_2\text{O} = 10332 \text{ kgf/m}^2$$

Suhu air sawah 30 °C , maka dapat dilihat dari tabel

$$P_v = 0,9957 \text{ kgf/l} = 995,7 \text{ kgf/m}^3$$

$$\gamma = 0,04325 \text{ kgf/cm}^2 = 432,5 \text{ kgf/m}^2$$

karena pompa tepat di bawah permukaan air tidak menggunakan pipa hisap maka nilai h_s dan $H_{ls} = 0$, maka[3], [6]:

$$H_{sv} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - H_s - H_{l,\dots} \quad H_{sv} = \frac{10332}{995,7} - \frac{432,5}{995,7} - 0 - 0 \dots H_{sv} = 9,94 \text{ m}$$

NPSH Yang Diperlukan

Jika diketahui Kapasitas aliran efisiensi terbaik (Q_N) = 70 l/min = 0,07 m³/min

$$\text{Head yang diperlukan } (H_N) = 5,31 \text{ m}$$

$$\text{Putaran pompa } (n) = 5800 \text{ rpm} , \text{ maka}[9]:$$

$$n_s = n \frac{Q_N^{1/2}}{H_N^{3/4}} \dots n_s = 5800 \frac{0,07^{1/2}}{5,31^{3/4}} \dots n_s = 439$$

Dengan nilai $n_s = 439$ maka dapat dilihat pada gambar 2, maka dapat diketahui nilai Koefisien kavitas $\sigma = 0,27$

NPSH yang diperlukan (H_{svN}) pada titik efisiensi terbaik adalah:

$$H_{svN} = \sigma H_N$$

$$H_{svN} = 0,27 \times 5,31$$

$$H_{svN} = 1,43 \text{ m}$$

Jadi NPSH yang tersedia > NPSH yang diperlukan yaitu $9,94 \text{ m} > 1,43 \text{ m}$

3.2 Perhitungan Pada Akumulator (Accu) dan Charger

Akumulator yang digunakan adalah aki basah merk Yuasa tipe 12N10-3B dengan spesifikasi seperti dalam Gambar 3 dan tabel 2 dibawah ini.



Tabel 2 Spesifikasi akumulator

Nama	Nilai
Jenis Aki	Basah
Tegangan	12 V
Kuat arus jam	10 Ah

Gambar 3 Akumulator Yuasa 12N10-3B

Pemakaian Akumulator

Untuk menghitung pemakaian akumulator untuk menggerakkan pompa DC dengan daya 60 Watt, maka digunakan rumus sebagai berikut[1]:

$$I = \frac{P}{V} \dots I = \frac{60}{12} \dots I = 5 \text{ A}$$

Jadi kuat arus yang diperlukan adalah 5 Ampere. Jika Ampere hour pada akumulator 10 Ah, maka $\frac{10 \text{ Ah}}{5 \text{ A}} = 2 \text{ h}$.

Dalam pemakaian akumulator sebaiknya jangan sampai bertainya benar-benar habis karena bisa mengakibatkan akumulator menjadi cepat rusak. Untuk mengatasinya perlu diberikan nilai efisiensi sebesar 20% dari nilai Ah pada akumulator. Jika Ampere hour pada akumulator 10 Ah, maka nilai efisiensi dari 20% adalah $2 \times \frac{20}{100} = 0,4 \text{ h}$

$$2 \text{ h} - 0,4 \text{ h} = 1,6 \text{ h}$$

Jadi akumulator dapat digunakan pada pompa DC 60 Watt selama 1,6 jam.

Waktu Pengisian Kembali Tenaga Akumulator

Untuk mengisi kembali tenaga pada akumulator diperlukan alat pengisi (*Charger*). *Charger* yang digunakan adalah *charger portable* seperti pada Gambar 4 dengan output tegangan 13,8 V dan kuat arus 2 A.



Gambar 4 Charger akumulator portable

Dalam perhitungan pengisian akumulator perlu dikurangi dari nilai efisiensi sebesar 20% (sisa pemakaian) dari nilai Ampere hour (Ah) pada akumulator. Jika Ampere hour pada akumulator 10 Ah, maka nilai efisiensi dari 20% adalah $10 \times \frac{20}{100} = 0,4 \text{ A}$

$$10 \text{ Ah} - 2 \text{ Ah} = 8 \text{ Ah}$$

Jika kuat arus akumulator 2 A , maka $\frac{8 \text{ Ah}}{2 \text{ A}} = 4 \text{ h}$

Jadi waktu yang diperlukan untuk mengisi kembali tenaga akumulator adalah 4 jam. Maka daya dan biaya yang diperlukan untuk mengisi kembali akumulator adalah Jika Ampere hour pada akumulator 10 Ah dan waktu yang di perlukan untunk mengisi akumulator adalah 4 jam, maka $\frac{10 \text{ Ah}}{4 \text{ h}} = 2,5 \text{ A}$

dan ditambahkan 20% untuk diefisiensikan akumulator 2,5 A , maka[10]:
 $2,5 \times \frac{20}{100} = 0,5 \text{ A}$ Jadi $2,5 \text{ A} + 0,5 \text{ A} = 3 \text{ A}$

maka diketahui:

Tegangan charger (V) = 13,8 V

Kuat arus (I) = 3 A

Daya (P) = ? Watt

$P = V \times I = 13,8 \text{ V} \times 3 \text{ A} = 41,4 \text{ Watt}$

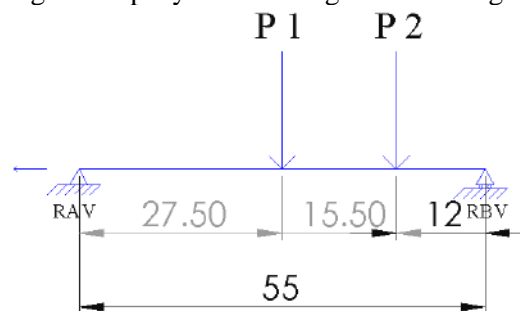
Jika tarif daya rumah tangga 1300 Watt Rp 1.467 /kWh^[5], maka

$0,0414(4) \times 1,467 = 2429$

Maka besarnya biaya untuk mengisi tenaga akumulator adalah Rp 2.429

3.3 Perhitungan Keseimbangan Pada Alat Penyiram Bawang Merah

Untuk menghitung keseimbangan alat penyiram bawang merah ini digunakan rumus $\sum M=0$



Gambar 5 sketsa alat penyiram bawang merah (satuan cm)

Jika diketahui:

Berat pompa + akumulator (P1) = 7 kg
Berat Pegangan (P2) = 0,1 kg
Gaya gravitasi (g) = 9.8 m/s

Maka,

$$W_1 = m \times g = 7 \times 9,8 = 68,67 \text{ N}$$

$$W_2 = m \times g = 0,1 \times 9,8 = 0,981 \text{ N}$$

$$\sum MA=0$$

$$(RAV \times 0) + (P1 \times 0,275) + (P2 \times 0,43) - (RBV \times 0,55) = 0$$

$$0 + (68,67 \times 0,275) + (0,981 \times 0,43) - (0,55 RBV) = 0$$

$$0 + 18,884 + 0,422 = 0,55 RBV$$

$$19,306 = 0,55 RBV$$

$$RBV = 35,109 \text{ N}$$

$$\sum MB=0$$

$$(RBV \times 0) - (P1 \times 0,275) - (P2 \times 0,12) + (RAV \times 0,55) = 0$$

$$0 - (68,67 \times 0,275) - (0,981 \times 0,12) + (0,55 RAV) = 0$$

$$0 - 18,884 - 0,118 = -0,55 RAV$$

$$-19,002 = -0,55 RAV$$

$$RAV = 34,549 \text{ N}$$

4. Kesimpulan

1. Pompa yang dipilih telah sesuai dengan telah sesuai dengan head total yang diperlukan yaitu sebesar 5,31 m sedangkan head maksimal pompa sebesar 6 m pada diameter pipa $\frac{3}{4}$ inch atau 0.01905 m.
2. NPSH yang tersedia lebih besar dari pada HPSH yang diperlukan yaitu 9,94 m > 1,43 m.
3. Akumulator yang digunakan memiliki *Ampere hour* sebesar 10 Ah dapat menjalankan pompa dengan daya 60 Watt selama 1,6 jam (96 menit).
4. Waktu pengisian kembali akumulator dengan *charger portable* (output 13,8 V dan 2 A) membutuhkan waktu 4 jam.
5. Biaya untuk sekali pengisian kembali tenaga akumulator jika tarif daya rumah tangga 1300 Watt Rp 1.467 /kWh, adalah sebesar Rp 2.429.
6. Momen kesetimbangan alat penyiram tanaman bawang merah pada RAV = 34,549 N dan RVB = 35,109 N.
7. Alat Penyiram tanaman bawang merah ini membutuhkan waktu 101 detik untuk 2 petak.
8. Dalam lahan tersebut ada 36 petak maka diperlukan 18 kali penyiraman, maka 101 x 18 = 1890 detik (31 menit 5 detik)
9. Maka tenaga yang tersisa pada akumulator adalah 96 menit – 94 menit 30 detik = 1,5 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Agung, "RANCANG BANGUN PENYIRAMAN TANAMAN OTOMATIS BERBASIS ARDUINO UNO 'Pe mbangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Solar Tracking Berbasis Arduino UNO,'" Politeknik Negeri Padang, 2017.
- [2] Jansen Silwanus Wakur, *Alat Penyiram Tanaman Otomatis Menggunakan Arduino Uno*. 2015.
- [3] S. S. Budhi, "ANALISA DEBIT AIR MESIN PENYIRAM BAWANG MERAH," vol. 5, pp. 120–122, 2016.
- [4] M. Yusuf, Isnawaty, and R. Rahmat, "Implementasi Robot Line Follower Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Metode Proportional–Integral–Derivative Controller (PID)," *semsnTIK*, vol. 2, no. 1, pp. 111–124, 2016.
- [5] E. N. Prasetyo, "Prototipe Penyiram Tanaman Persemaian Dengan Sensor Kelembaban Tanah Berbasis Arduino," 2015.
- [6] Sutomo, "KAPASITAS DAN SUDUT PISAU EFEKTIF PADA MESIN PENGIRIS BAWANG BERPISAU VERTIKAL DENGAN PUTARAN ROTOR 200 RPM," in *Prosiding Seminar Nasional dan Hasil-Hasil Penelitian*, 2004, vol. 2004.
- [7] A. R. Saleh, "Analisa Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing) Jenis Deep Groove Pada Lori Pabrik

-
- Kelapa Sawit dan Cara Penanggulangannya,” *J. APTEK*, vol. 6, no. 1, pp. 49–56, 2014.
- [8] Suhardjono, “Analisis Sinyal Getaran untuk Menentukan Jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing),” *J. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 39–48, 2004.
- [9] Y. R. Takeuchi, M. A. Eby, B. A. Blake, S. M. Demsky, and J. T. Dickey, “Influence of Oil Lubrication on Spacecraft Bearing Thermal Conductance,” in *Proceedings of the 38th Aerospace Mechanisms Symposium*, 2006, pp. 291–302.
- [10] M. Wijana, A. A. A. Triadi, and L. S. Anwar, “STUDI KELAYAKAN PENGGUNAAN MESIN DIESEL DENGAN METODE BREAK EVEN POINT (BEP) DAN ANALISIS SENSITIVITAS PADA PLTD (Studi Kasus : PT PLN Persero Sektor Pembangkitan Lombok PLTD Ampenan),” vol. 6, no. 1, pp. 2088–88, 2016.

SUBMISSION 18

Optimasi Kapasitas Mesin Cuci 2 Tabung pada Kategori 4,5 Kg Menjadi 5,5 Kg

Wegie Ruslan, Shinta Pramaswati*

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta, 12640, Indonesia

Abstrak. Mesin cuci 2 tabung memiliki berbagai kapasitas. Salah satunya adalah kapasitas 4,5 kg. Seiring berjalan waktu, Semakin banyak mesin cuci kompetitor dengan ukuran dimensi yang sama namun memiliki kapasitas pencucian yang lebih besar, yaitu 5 kg. Untuk meningkatkan daya saing dengan kompetitor lain, maka perlu dilakukan optimasi kapasitas mesin cuci dari 4,5 kg menjadi 5,5 kg tanpa merubah volume yang ada. Optimasi kapasitas pencucian akan berdampak pada menurunnya kinerja kualitas mesin cuci, maka perlu dilakukan modifikasi dari segi elektrik, yaitu mengubah kapasitor, maupun segi mekanik, yaitu mengubah jenis pulsator. Selanjutnya, dilakukan percobaan pengujian untuk mendapatkan nilai kapasitor dan jenis pulsator terbaik untuk digunakan. Pengujian tersebut berupa *cloth turning*, *washing performance*, dan *normal temperature rise*. Hasil dari pengujian peningkatan nilai kapasitansi yang dapat diterapkan adalah 11 μF dan pulsator *double type*. Dari hasil pengujian didapatkan nilai *Cloth turning* 9,9 putaran/menit, nilai *Washing performance* 0,963, *Normal Temperature rise* untuk kumparan bantu 72,92K, 75,69K kumparan utama (standar maksimal 95K), dengan nilai konsumsi daya (*power consumption*) sebesar 341 W.

Kata kunci— *mesin cuci 2 tabung, cloth turning, washing performance, kapasitor, pulsator*

1. PENDAHULUAN

Mesin cuci 2 tabung memiliki berbagai kapasitas. Salah satunya adalah kapasitas 4,5 kg. Kapasitas tersebut merupakan kapasitas terendah dalam kategori mesin cuci 2 tabung. Seiring berjalan waktu, Semakin banyak mesin cuci kompetitor dengan ukuran dimensi yang sama namun memiliki kapasitas yang lebih besar, yaitu 5 kg. Untuk meningkatkan daya saing dengan kompetitor lain, maka perlu dilakukan optimasi kapasitas mesin cuci dari 4,5 kg menjadi 5,5 kg tanpa merubah volume yang ada.

Namun, ada hal penting yang harus diperhatikan, yaitu kualitas kinerja dari mesin cuci. Kualitas kinerja mesin cuci dapat dilihat dari beberapa hal, yaitu:

- Kemampuan mesin cuci memutar pakaian (*cloth turning*)
- Tingkat kebersihan mencuci pakaian (*washing performance*)
- Kenaikan suhu saat beroperasi (*normal temperature rise*)

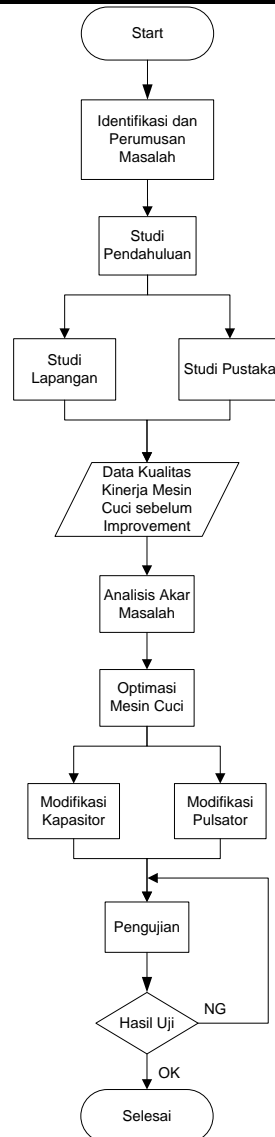
Untuk memenuhi kebutuhan di atas, maka perlu diteliti bagaimana menjaga kinerja kualitas mesin cuci yang telah ditingkatkan kapasitas pencuciannya. Selain itu, perubahan apa yang harus dilakukan pada bagian elektrik dan mekanik mesin cuci untuk meningkatkan kinerja kualitas mesin cuci tanpa mengubah volume tabung pencucian. Sehingga diharapkan penelitian ini dapat menghasilkan produk mesin cuci dengan kualitas kinerja yang terjaga walaupun kapasitas pencuciannya dinaikan tanpa merubah volume tabung cuci.

2. METODE PENELITIAN

a. Diagram Alir

Berikut ini merupakan diagram alir untuk penelitian yang dilakukan dan disesuaikan dengan Gambar 1.

*Corresponding author: shintaprama@gmail.com



Gambar 1. Diagram alir penelitian

b. Pengujian Kualitas Kinerja Mesin Cuci

Untuk menjaga nilai kinerja kualitas mesin cuci yang telah ditambah kapaitas pencuciannya, ada beberapa pengujian yang harus dilakukan, yaitu:

- *Cloth Turning*

Cloth turning adalah kemampuan mesin cuci memutar pakaian. *Cloth turning* dapat juga didefinisikan sebagai jumlah putaran pakaian per menit dan arah putaran pakaian. Nilai standar untuk *cloth turning* adalah 6 putaran/menit.

Rumus menghitung nilai *cloth turning* adalah :

$$\text{Cloth turning} = \frac{\text{Total perhitungan putaran}}{\text{waktu on}} \quad (1)$$

- *Washing Performance*

Washing Performance adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui tingkat kebersihan dari pencucian. Tingkat kebersihan pencucian ini disebut juga sebagai *washing degree*. Dimana nilai standar minimum untuk *washing degree* tersebut adah 0,78

Rumus menghitung nilai *washing performance* adalah :

$$C = \frac{\overline{DT}}{D_s} \quad (2)$$

Di mana,

- C : Nilai *degree ratio*
DT' : rata-rata nilai *washing degree DT*
D_s : *washing degree* (0,4034)

- *Normal temperature rise*

Normal Temperature Rise adalah pengujian kenaikan suhu motor saat beroperasi pada durasi dan *cycle* tertentu untuk mengetahui nilai maksimum suhu motor. Suhu yang diukur adalah suhu kumparan utama (*Main coil*) dan kumparan bantu (*Auxiliary coil*). Di mana standar maksimum untuk nilai *temperature rise* adalah 95K dengan *safety factor* sebesar 20%, maka nilai maksimalnya sebesar 74K.

Rumus menghitung nilai *normal temperature rise* adalah :

$$T_A = \left[\left(\frac{R_{a2}}{R_{a1}} \right) - 1 \right] \cdot (225 + T_1) - (T_2 - T_1) \quad (3)$$

$$T_M = \left[\left(\frac{R_{m2}}{R_{m1}} \right) - 1 \right] \cdot (225 + T_1) - (T_2 - T_1) \quad (4)$$

Di mana,

- R_a : Resistansi kumparan bantu
R_m : Resistansi kumparan utama
T_A : Suhu kumparan bantu
T_M : Suhu kumparan utama
T₁ : Suhu awal
T₂ : Suhu akhir

- *Power Consumption*

Pengujian *power consumption* dilakukan untuk mengetahui nilai konsumsi daya pada saat mesin cuci beroperasi. Konsumsi daya pada setiap perangkat elektronik diatur oleh peraturan IEC 60335-1: 2009 klausul 10. Di mana peranti elektronik yang digerakan oleh motor, dan memiliki daya masukan 330 W, boleh memiliki penyimpangan sebesar 20%, yaitu maksimal 396 W.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. *Pengujian Sebelum Optimasi*

Berikut adalah rangkuman hasil pengujian mesin cuci sebelum dilakukan optimasi, dengan kondisi pengujian sebagai berikut:

- Beban pencucian : 4,5 kg
Kapasitor : 9,5 μF
Pulsator : *Single type*

Tabel 1. Hasil Pengujian Kualitas Kinerja mesin Cuci Sebelum Optimasi

No	Pengujian	Percobaan	Standar	Hasil
1	<i>Cloth Turning</i>	10,2 putaran/menit	≥ 6 putaran/menit	OK
2	<i>Washing Performance</i>	0,975	0,78	OK
3	<i>Normal Temperature Rise</i>	<i>Aux - Coil</i> : 59,66K	≤ 95K	OK
		<i>Main - Coil</i> : 60,43K		

b. Optimasi Mesin Cuci

Untuk menjaga nilai kualitas kinerja mesin cuci, perlu dilakukan beberapa modifikasi. Dari segi elektrik, perubahan dilakukan pada kapasitor, sedangkan dari segi mekanik, yaitu mengubah jenis pulsator.

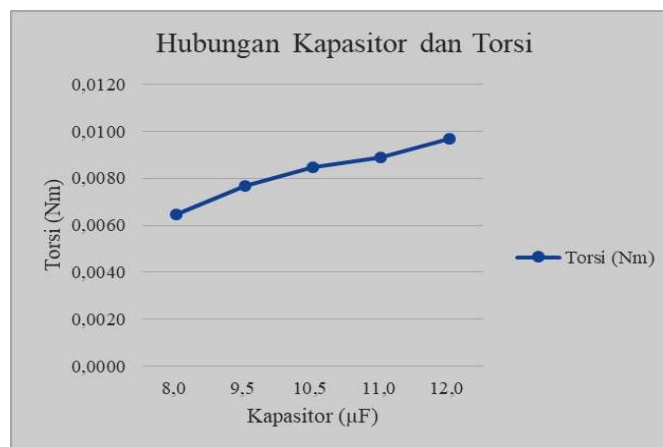
- Kapasitor

Fungsi kapasitor pada mesin cuci 2 tabung adalah untuk menggeser sudut fasa antara arus dan tegangan pada kumparan utama dan kumparan bantu motor. Adanya pergeseran sudut fasa tersebut, mengakibatkan terjadinya medan putar, sehingga motor berputar. Nilai kapasitor berpengaruh juga ke torsi keluaran motor.

Tabel 2. Perbandingan nilai torsi dan kapasitor

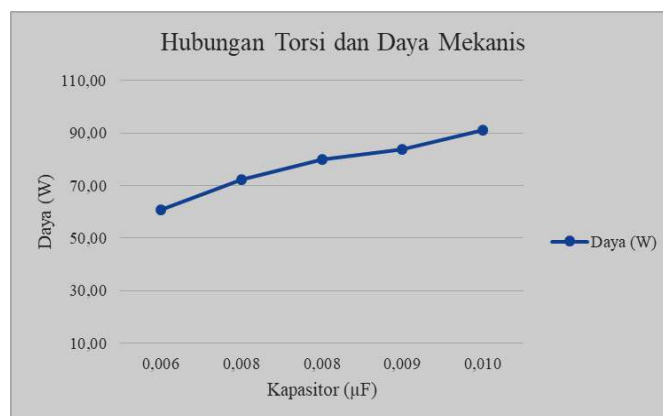
No	Kapasitor (μF)	X_c (Ω)	V_{ef} (V)	I_{ef} (A)	P (W)	Pole	N (rpm)	Torsi (Nm)
1	8,0	398,09	155,56	0,39	60,79	4	1500	0,0065
2	9,5	335,23	155,56	0,46	72,19	4	1500	0,0077
3	10,5	303,31	155,56	0,51	79,78	4	1500	0,0085
4	11,0	289,52	155,56	0,54	83,58	4	1500	0,0089
5	12,0	265,39	155,56	0,59	91,18	4	1500	0,0097

Dari tabel di atas, dapat dibuat grafik sebagai berikut:



Gambar 2. Hubungan kapasitor dan torsi

Dari Grafik 1. menunjukkan bahwa semakin besar nilai kapasitansi suatu kapasitor, maka semakin besar torsi yang dihasilkan.

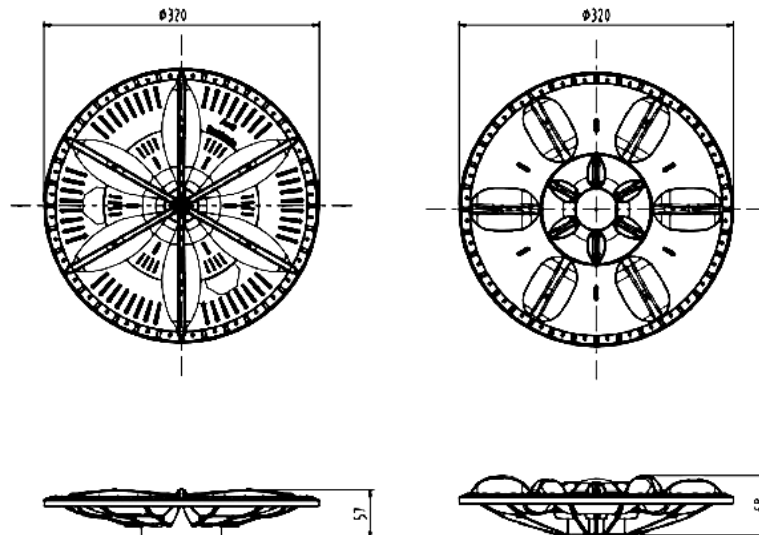


Gambar 3. Hubungan torsi dan daya mekanis

Pada Grafik 2. menunjukkan peningkatan torsi dipengaruhi oleh meningkatnya daya mekanis. Kedua grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai torsi dan daya mekanis pada motor dipengaruhi oleh nilai kapasitansi kapasitor.

- Pulsator

Fungsi pulsator atau agitator adalah sebagai pengganti tangan manusia untuk mencuci pakaian. Pada pengujian kinerja kualitas mesin cuci akan dilakukan dengan menggunakan 2 jenis pulsator, yaitu *single type* dan *double type*. Dimana perbedaan terletak pada bentuk dan ketinggian pulsator



Gambar 2. Pulsator *single type* (kiri) dan *double type* (kanan)

c. Pengujian Setelah Optimasi

Berikut adalah rangkuman hasil pengujian mesin cuci setelah dilakukan optimasi, dengan kondisi pengujian sebagai berikut:

Beban pencucian	: 5,5 kg
Kapasitor	: 9,5 μ F
	: 10,5 μ F
	: 11 μ F
Pulsator	: <i>Single type</i>
	: <i>Double type</i>

Dari kondisi pengujian di atas didapat beberapa hasil yang dirangkum dalam tabel berikut:

Tabel 3. Rangkuman hasil pengujian setelah modifikasi

Percobaan	Kapasitor Pulsator	Cloth Turning	Washing Performance	Normal Temp. Rise	Hasil
Base Model (4,5 kg)	9,5 μ F Single	10,2 putaran/menit	0,975	Aux: 59,66K Main: 60,43K	
Reference	9,5 μ F Single	X 5,4 putaran/menit			X
Ide ke-2	9,5 μ F Double	X 5,8 putaran/menit			X
Ide ke-3	10,5 μ F Single	O 7,1 putaran/menit			X
Ide ke-4	10,5 μ F Double	O 7,7 putaran/menit			X
Ide ke-5	11 μ F Single	O 9,0 putaran/menit	O 0,923	O Aux: 64,67K Main: 69,37K	O
Ide ke-6	11 μ F Double	O 9,9 putaran/menit	O 0,963	O Aux: 72,92K Main: 75,69K	O

Berdasarkan hasil pengujian di atas, percobaan kapasitor tertinggi hanya bisa dilakukan sampai 11 μ F. Hal ini disebabkan oleh nilai *normal temperature rise* yang sudah mendekati batas *safety factor* yaitu maksimal 74K.

Dari semua data yang didapat, maka ide ke-6 yang paling baik untuk diterapkan. Dengan nilai konsumsi daya sebagai berikut.

Tabel 4. Daya listrik

No	Daya	Standar	Hasil
1	337 W	330 W \pm 20%	OK
2	340 W		OK
3	345 W		OK

Rata-rata dari konsumsi daya mesin cuci saat beroperasi adalah 341 W, artinya mesin cuci tersebut memenuhi syarat nilai konsumsi daya.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian untuk menjaga kinerja kualitas mesin cuci setelah dilakukan peningkatan kapasitas mesin cuci tanpa merubah volume, maka dapat disimpulkan:

- Pada bagian elektrik, kinerja kualitas mesin cuci dapat dijaga dengan cara meningkatkan nilai kapasitor yang digunakan, dari 9,5 μ F menjadi 11 μ F.
- Pada bagian mekanik, kinerja kualitas mesin cuci dapat dijaga dengan penggunaan pulsator *double type* sebagai penggerak. Hal ini dilihat dari peningkatan nilai *cloth turning* dari 9,1 putaran/menit menjadi 9,9 putaran/menit.
- Dengan penggunaan nilai kapasitor sebesar 11 μ F dan pulsator *double type* didapat hasil nilai *cloth turning* sebesar 9,9 putaran/menit, *washing performance* sebesar 0,963, nilai *normal temperature rise* 72,92 K untuk kumparan bantu dan 75,69 K untuk kumparan utama, dan nilai power consumption sebesar 341 W.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kusuma R.W., Pengaruh Kualitas Produk, Harga, Fasilitas dan Emosional terhadap Kepuasan Pelanggan. (Jurnal Magister Management Vol. 4, Universitas Syah Kuala, Aceh, 2015)
2. Rahma Irma V., Peningkatan Nilai Cloth Turning Pada Mesin Cuci 2 Tabung Kategori 9 Kg Menjadi 13.2 Putaran/Menit. (Skripsi Tugas Akhir Teknik Mesin, Jakarta, Universitas Pancasila, Jakarta,. 2016)
3. Mahendra, Toni., “Efisiensi Konsumsi Daya Listrik Untuk Pengeringan Pada Mesin Cuci Semi Otomatis Dengan Menyeimbangkan Kapasitas Menjadi 8 Kg” (Skripsi Tugas Akhir Teknik Mesin, Jakarta, Universitas Pancasila, Jakarta,. 2017)
4. Anthony, Zuriman., Perancangan Kapasitor Jalan untuk Mengoperasikan Motor Induksi 3- Phasa., (Jurnal Teknik Elektro Vol. 8 , Sumatra Barat, 2008.)
5. Kataoka, Laundry Turn Test, LVDB, E **5**, 2-3 (2017)
6. Shibayama, Washing Performance II, LVDB, E **6**, 1-18 (2015)
7. Matsuo A., Normal Temperature Rise, LVBD, E **5**, 1-7 (2009)
8. Wijaya, Kurnia & P.K. Purwadi, Mesin Pengering Handuk Dengan Energi Listrik, (Jurnal Mekanika Vol. 15 No. 2, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, 2016)

SUBMISSION 23

Rancang Bangun Pembibitan Tanaman Dengan Luas 2 m² Menggunakan Metode Vertikultur

Istianto Budhi Rahardja*

Politeknik Kelapa Sawit, Citra Widya Edukasi, 17520 Bekasi, Jawa Barat

Abstrak. Rancang bangun adalah membuat sistem proses di lingkungan untuk mempermudah dalam pembuatan, perakitan, serta pemeliharaan. Di dalam merancang bangun pembibitan terdapat beberapa yang diperlukan yaitu : proses penempatan penanaman, penyiraman, pemeliharaan, pembebanan, serta lingkungan sekitar yang memengaruhi pembibitan tanaman.

Pembibitan merupakan proses pembudidayaan tanaman produksi pangan dengan tujuan untuk menghasilkan produk pohon pangan yang berkualitas. Pembibitan dengan metode vertikultur adalah pembibitan yang dilakukan dengan membentuk secara bertingkat menggunakan konstruksi besi *hollow* (kotak), serta tempat pembibitan berbentuk bulat (cup), tanpa menggunakan lahan pembibitan luas di dalam tanah (meminimalkan pemakaian lahan), serta mempermudah dalam perawatannya. Sistem ini menggunakan penyiraman bersirkulasi, dengan pemasangan pompa air yang berada di bawah bak penampung. Air yang berada di dalam bak penampung akan dipompakan ke bagian atas (pembibitan pertama), kemudian mengalir kepada bagian selanjutnya, yang akan menyirami pembibitan selanjutnya. Air yang telah menyirami akan ditampung pada bak penampung di bagian bawah, selanjutnya akan dipompa kembali.

Konstruksi yang dipergunakan untuk pembibitan vertikultur adalah panjang 2 meter, tinggi 1,5 meter, dengan pipa paralon bertingkat 5 unit untuk pembibitan sebanyak 40 bibit. Seluruh beban yang terjadi pada konstruksi pembibitan vertikultur sebesar 141 kg (setiap baris pembibitan 28,2 kg). Daya pompa penyiraman 0,51 Watt dengan kapasitas aliran sebesar 122 liter/jam.

Kata kunci : *pembibitan, vertikultur, pembebanan, daya pompa.*

1. PENDAHULUAN

Pembibitan (*nursery*) merupakan proses penyemaian benih/bibit yang bertujuan untuk membudidayakan dan mengembangkan hasil lebih banyak, produktif, serta sama dengan induk pohon yang diinginkan. Di dalam proses pembibitan, perlu diperhatikan terhadap bibit yang akan disemai, media pembibitan, serta air yang cukup untuk penyiraman.

Vertikultur adalah sistem/metode secara vertikal (tegak) dalam proses pembibitan [1]. Kita mengetahui secara bersama bahwa lahan pertanian yang saat ini ada di dalam perkembangannya sudah berubah menjadi beberapa fungsi yang lain, yaitu : perumahan, industri, serta pertokoan, sehingga semakin sedikit untuk lahan pertanian dan perkebunan.

Dengan melihat kondisi saat ini dalam melaksanakan proses penanaman yang membutuhkan lahan semakin kecil dan mahal, maka terdapat beberapa alternatif yang dapat dilakukan oleh masyarakat untuk membuat penanaman dengan cara vertikultur, dimana dapat menanam dengan lahan yang terbatas, media tanam yang dekat dan varian/kuantitas yang dapat ditanam cukup banyak [2]. Dalam membuat vertikultur untuk penanaman perlu diperhatikan beberapa hal, yaitu:

- Umur tanaman
- Persediaan tanah (media tanam), air, dan unsur hara yang mendukung dalam proses kehidupan tanaman
- Jumlah tanaman
- Karakteristik pendukung dalam proses penanaman, dan sebagainya.

Dalam pembuatan vertikultur dapat menggunakan bahan-bahan yang tidak terpakai atau dengan bahan-bahan alam yang tersedia, seperti : kayu, bambu, akar-akaran, dan lain-lain yang dapat dipergunakan untuk tempat penanaman[3].

*Corresponding author : istianto@cwe.ac.id

Dalam teknik pembuatan rak vertikutur untuk media tanam pembibitan perlu diperhatikan pula beberapa hal, seperti :

- Jumlah tanaman
- Media tanam yang dipergunakan
- Proses penyiraman
- Berat struktur rak
- Bahan yang dipergunakan untuk membuat rak vertikutur

Sehingga dengan memperhatikan beberapa hal tersebut di atas dapat melakukan proses penanaman *nursery* bibit dengan tahan lama, dapat berulang-ulang, dan aman. Bahan yang paling umum untuk proses pembibitan adalah menggunakan paralon (berbahan PVC/plastik), dimana bahan ini dapat ditemui di sekitar kita[4]. Bahan yang dipergunakan untuk media tanam adalah pipa paralon/PVC berdiameter 4 *inch* dengan panjang setiap batang adalah 2 meter, setiap batang ditanami bibit tanaman sebanyak 8 bibit tanaman dengan jarak antar tanam adalah 25 cm. Dengan menghitung seluruh vertikutur sebanyak 5 batang paralon, maka diperoleh satu rak pembibitan sebesar 40 bibit. Dalam proses pembentukan rak vertikutur, diperhitungkan beban antar pipa paralon yang diberi media tanam (tanah, kompos, jerami, dan lain-lain) dan bibit tanaman. Dengan memperkirakan 1 penanaman bibit tanaman memiliki berat sebesar 2 kg, maka setiap batang paralon memikul beban sebesar 2 kg x 8 bibit pohon = 16 kg. Dengan mengalikan sebanyak 5 batang pipa paralon, maka beban maksimal yang harus ditumpu oleh rak vertikutur adalah sebesar 16 kg x 5 batang pipa = 80 kg. Dengan melihat kondisi yang ada dari rak vertikutur, terjadi pemberian beban dari jumlah tanaman, jumlah media, dan penyiraman yang diberikan, sehingga perlu diperhitungkan kekuatan material bahan/kemampuan rak vertikutur untuk dapat dipergunakan dalam proses pembibitan.

Tujuan dari *nursery* tanaman dengan metode vertikutur adalah sebagai berikut:

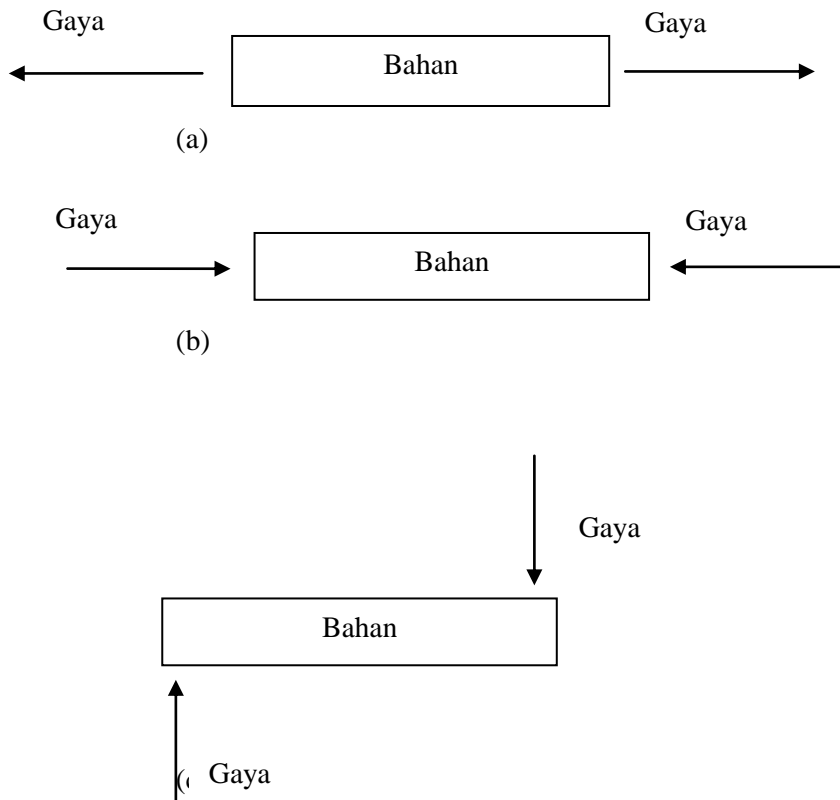
- Ingin mengetahui rancang bangun vertikutur pembibitan .
- Ingin mengetahui metode penyiraman yang dilakukan pada vertikutur pembibitan.

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Keseimbangan Gaya

Dalam membuat rak vertikutur terdiri dari beberapa struktur bahan yang akan dipergunakan untuk menahan beban benda (tanaman pembibitan) berdiri tegak, sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Pembebanan dalam struktur rak vertikutur dapat bervariasi bentuk dan model pembebanan. Dalam proses pembebanan rak vertikutur dapat mengalami pembebanan yang disebabkan oleh gaya luar dari struktur tersebut, sehingga mengganggu dari kondisi yang terjadi pada rak vertikutur serta dapat mengalami kerusakan dan perpatahan. Untuk menjadikan struktur rak vertikutur berdiri kokoh/tegak, maka perlu mengetahui besar gaya-gaya luar yang dapat membebani dari struktur tersebut. Beberapa gaya yang terjadi pada struktur bahan, yaitu [5]:

- a. Gaya tarik, yaitu : gaya yang bekerja pada satu sumbu dengan bahan dengan arah gaya saling bertolak belakang.
- b. Gaya tekan, yaitu : gaya yang bekerja pada satu sumbu bahan dengan arah gaya yang bekerja saling berhadap-hadapan.
- c. Momen, yaitu : gaya yang bekerja bekerja secara vertikal dari sumbu bahan dengan jarak yang ditentukan. Semakin besar jarak yang ada, maka semakin besar momen yang terjadi pada benda tersebut. Adapun ilustrasi dari ketiga gaya tersebut dapat diperlihatkan pada gambar berikut :



Gambar 1. Gaya pada Bahan (a). Gaya Tarik (b). Gaya Tekan (c). Momen

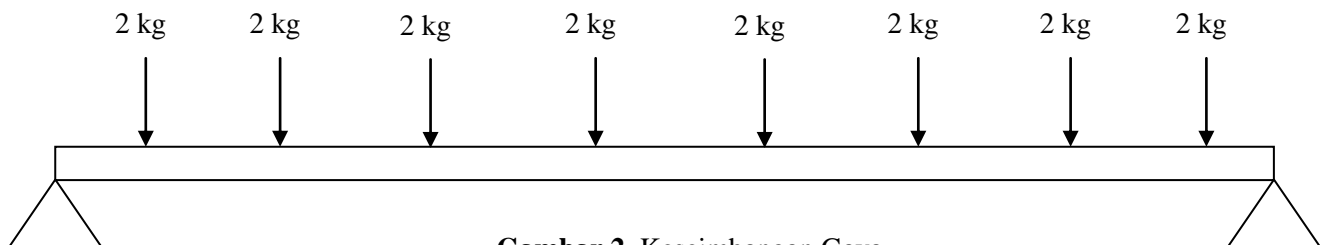
Pada saat gaya-gaya tersebut terjadi akan mengalami reaksi gaya-gaya yang akan mengakibatkan rak vertikultur tidak seimbang. Untuk menyeimbangkan terhadap beban (gaya luar), maka perlu adanya keseimbangan gaya-gaya.

Hukum Newton ketiga berbunyi : “ Untuk setiap aksi selalu ada reaksi yang sama besar dan berlawanan arah: atau gaya dari dua benda pada satu sama lain selalu sama besar dan berlawanan arah ”[6]. Sehingga dalam persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Sigma F_x &= 0 \\ \Sigma F_y &= 0 \\ \Sigma F_z &= 0\end{aligned}$$

1.2 Gaya Dalam Bahan

Bahan/benda memiliki gaya dalam untuk menahan beban yang ditimbulkan oleh gaya luar bahan tersebut. Bahan yang dipergunakan rak vertikultur adalah berdimensi panjang dan kontinu, sehingga dalam memperhitungkan keadaan rak vertikultur dapat diperlihatkan pada gambar di bawah ini [7].



Gambar 2. Keseimbangan Gaya

Bahan yang kontinu dan panjang akan mengakibatkan lengkungan dan konsentrasi beban yang berada di tengah batang. Dengan mengetahui hal tersebut, maka dapat dilakukan pengukuran perhitungan beban yang harus dipikul oleh rak, sehingga struktur bahan rak vertikultur dapat bertahan dan kokoh.

1.3 Daya Pompa

Dalam merencanakan kebutuhan pompa yang akan dipergunakan untuk penyiraman pembibitan vertikultur, maka perlu diperhatikan beberapa hal, yaitu : sistem yang akan dirancang, ketinggian, kerugian yang terjadi, serta beban yang diterima oleh konstruksi yang akan direncanakan [8].

Pompa sebagai alat pemindah zat cair dari satu tempat ke tempat lain, dimana untuk menggerakkan pompa perlu daya yang diperlukan [9]. Untuk menentukan daya pompa dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan sebagai berikut :

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (1)$$

Dimana :

P = daya pompa (Watt)

ρ = massa jenis zat cair (kg/m^3)

g = gaya gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Q = kapasitas aliran (m^3/s)

H = tinggi seluruh (m)

Proses daya pompa perlu pula diperhatikan kebutuhan kapasitas aliran yang diperlukan [10]. Untuk mengetahui kapasitas aliran dapat diekspresikan sebagai berikut :

$$Q = V \cdot A \quad (2)$$

Dimana :

Q = Kapasitas aliran (m^3/s)

V = Kecepatan aliran (m/s)

A = Luas penampang yang ditempati (m^2)

Dalam proses daya pompa terdapat kerugian minor dan kerugian mayor yang terjadi pada aliran fluida [10]. Kerugian tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$HL = \Sigma K \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

Dimana :

HL = Head Loss (m)

K = faktor kerugian

V = kecepatan aliran (m/s)

g = gravitasi (9.81 m/s^2)

$$HL = f \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

Dimana :

HL = Head Loss (m)

f = gesekan (*friction*)

l = panjang pipa yang dilalui cairan (m)

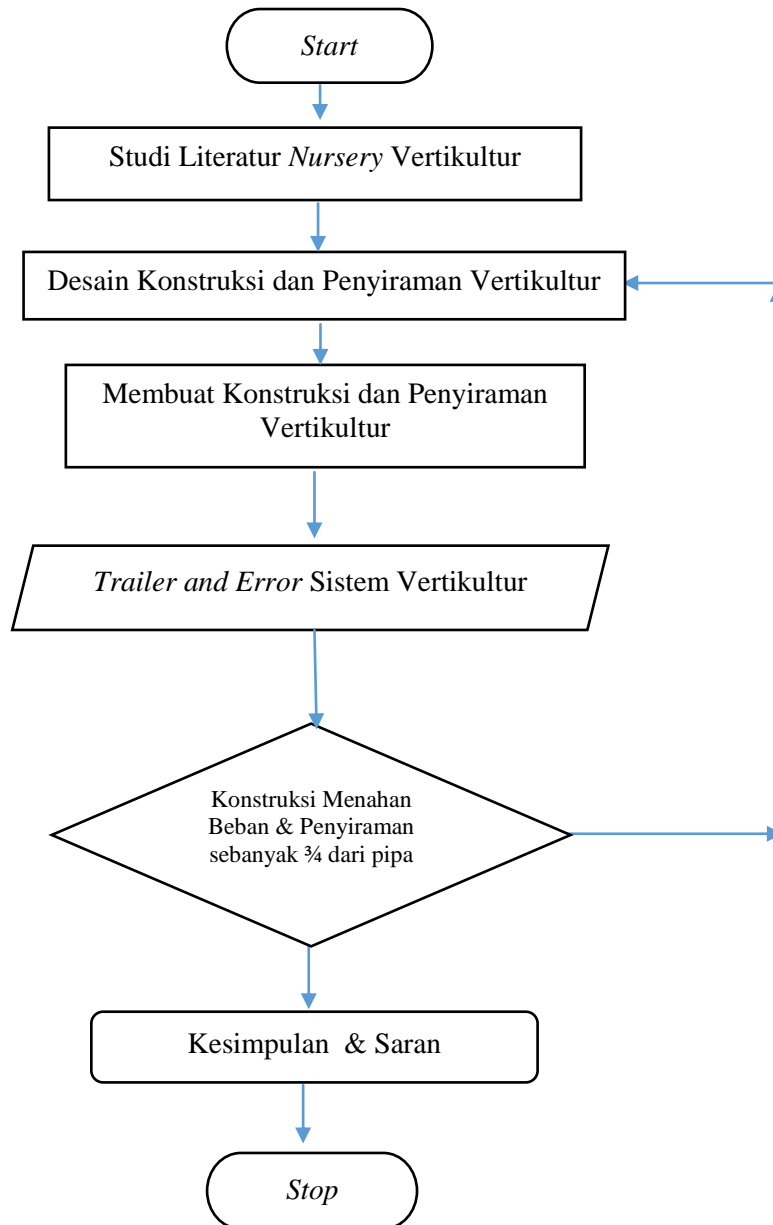
D = diameter pipa (m)

v = kecepatan aliran (m/s)

g = gaya gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

2. Metodologi Penelitian

Proses metodologi yang dilakukan oleh peneliti dalam *nursery* dengan metode vertikultur adalah sebagai berikut :



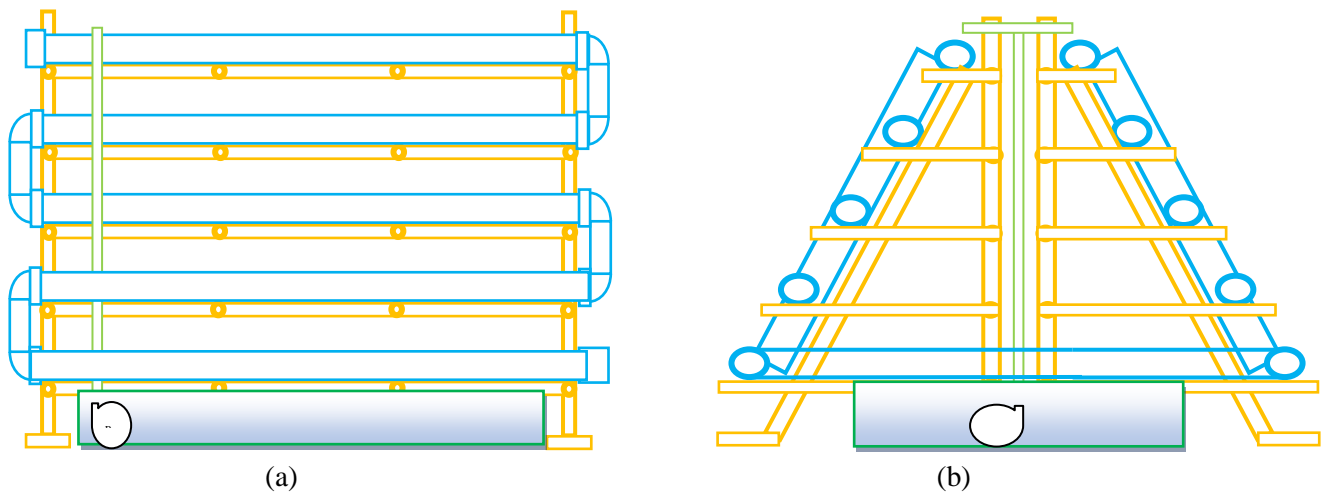
Gambar 3. Skema Kerangka Berfikir.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Konstruksi Nursery

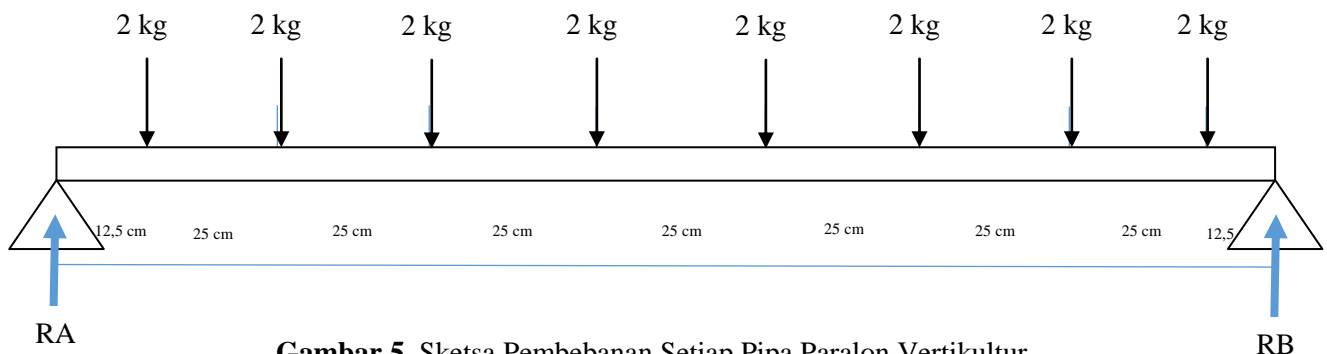
Pembibitan (*nursery*) tanaman merupakan pembibitan yang dilakukan untuk menyeleksi, menanam, serta membudidayakan benih tanaman yang akan ditanam pada lahan pertanian dan perkebunan. Saat ini pembibitan tanaman masih menggunakan metode alami, yaitu : pembibitan dilakukan pada hamparan lahan yang datar, penyiraman bibit yang masih menggunakan gembor (alat penyiraman tradisional), tenaga kerja yang cukup banyak, serta perawatan yang lebih intensif.

Pembibitan menggunakan vertikultur merupakan metode yang dapat mengurangi lahan pembibitan, penyiraman yang efektif, dan tenaga kerja yang sedikit, serta pembibitan yang dapat ditempatkan pada wadah bentuk bulat (cup). Skema pembibitan vertikultur dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Skema Pembibitan Vertikultur, (a) Tampak Depan, (b) Tampak Samping Kiri

Perancangan yang telah ditentukan untuk pembuatan *nursery* vertikultur, perlu terlebih dahulu dihitung terhadap beban yang akan dipikul oleh konstruksi vertikultur. Bibit tanaman yang akan ditanam pada vertikultur adalah 40 bibit dengan berat 2 kg setiap bibit. Baris 1, 2, 3, 4, 5, diisi oleh bibit sebanyak 8 bibit dan akan diberikan penyiraman air dengan $\frac{3}{4}$ pipa paralon sebesar 4 inch dan panjang 2 meter. Sketsa untuk pembebanan yang terjadi pada vertikultur dapat digambarkan sebagai berikut.

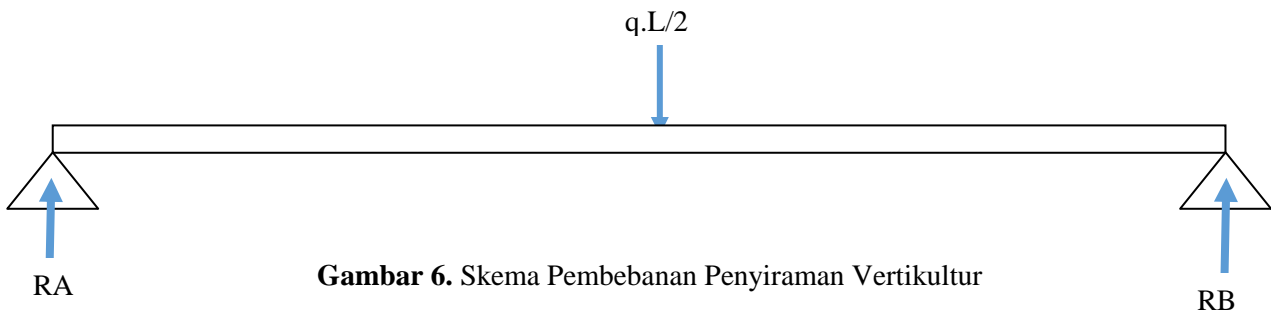


Gambar 5. Sketsa Pembebanan Setiap Pipa Paralon Vertikultur

Pada sketsa gambar di atas terjadi pembebanan bibit pada pipa paralon dengan jarak yang telah direncanakan. Dengan demikian untuk menyelesaikan dari ekspresi gambar di atas dapat dipergunakan keseimbangan gaya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 + \\ RA + RB - 2 \text{ kg (8 titik)} &= 0 \\ \sum M_A &= 0 \\ 2\text{kg} \times (0,125 \text{ m}) + 2 \text{ kg} \times (0,125 \text{ m} + 0,25 \text{ m}) + 2 \text{ kg} \times (0,125 \text{ m} + 0,5 \text{ m}) + 2 \text{ kg} \times (0,125 \text{ m} + 0,75 \text{ m}) + 2 \text{ kg} \times (0,125 \text{ m} + 1 \text{ m}) + 2 \text{ kg} \times (0,125 \text{ m} + 1,25 \text{ m}) + 2 \text{ kg} \times (0,125 \text{ m} + 1,5 \text{ m}) + 2 \text{ kg} \times (0,125 \text{ m} + 1,75 \text{ m}) &= RB \times 2 \text{ m} \\ 16 \text{ kg.m} &= 2 \text{ m} \times RB \\ RB &= 8 \text{ kg} \\ \text{Sehingga } RA + RB - 2 \text{ kg (8 titik)} &= 0 \\ RA + 8 \text{ kg} - 16 \text{ kg} &= 0 \\ RA &= 8 \text{ kg} \end{aligned}$$

Untuk penyiraman pembibitan yang berada di dalam pipa paralon, skema pembebanan dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 6. Skema Pembebanan Penyiraman Vertikultur

Pada proses ini, pipa paralon diisi air sebagai penyiraman pada bibit tanaman. Pengisian air sebanyak $\frac{3}{4}$ dari diameter 4 inch sepanjang 2 meter. Sehingga untuk perhitungan pembebanan pada pipa paralon dapat diselesaikan sebagai berikut.

Volume = A x L

Volume = $\frac{\pi}{4} d^2 \times L = \frac{\pi}{4} 4 \text{ inch}^2 \times 2 \text{ m} = 0,0162 \text{ m}^3$ untuk 75% pipa paralon adalah $0,0122 \text{ m}^3$

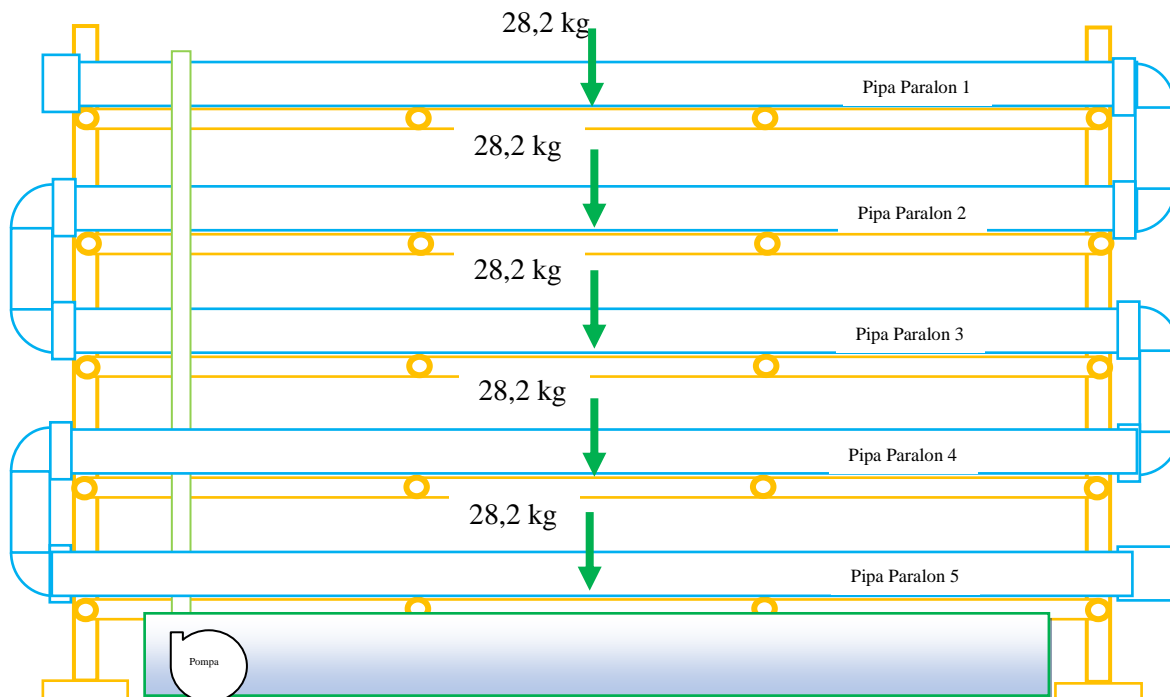
Untuk mendapatkan massa air yang berada di dalam paralon, maka dikalikan dengan massa jenis air, sehingga diperoleh : $0,0122 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 12,2 \text{ kg}$.

Maka beban terpusat pada paralon oleh air adalah $\frac{12,2 \text{ kg} \times 2 \text{ m}}{2} = 12,2 \text{ kg.m}$

Untuk reaksi di titik A dan B sebesar 6,1 kg.m

Sehingga untuk setiap pipa paralon terbebani oleh bibit dan air, dimana setiap reaksi tumpuan A dan B harus mampu menahan sebesar $(8 \text{ kg} + 6,1 \text{ kg} = 14,1 \text{ kg})$.

Dengan mengetahui beban yang diterima pada setiap tumpuan baris pipa paralon 1, 2, 3, 4, 5, maka dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 7. Skema Pembebanan Pembibitan dan Penyiraman Sistem Vertikultur

Pada gambar di atas pembebanan pembibitan dan penyiraman dapat diakumulasi secara keseluruhan, sehingga beban yang paling berat adalah di tumpuan baris ke-5, sebesar 28,2 kg x 5 baris = 141 kg. Pada konstruksi *nursery* mempergunakan besi hollow 40 mm x 40 mm x 2 mm, dimana dapat menahan beban ± 5772 kg (dengan tegangan tarik sebesar 37 kg/mm²).

3.2 Penyiraman *Nursery*

Pembibitan tidak terlepas dari penyiraman, dimana penyiraman adalah memberikan air kepada tumbuhan, tidak boleh berlebih dan tidak boleh kurang. Apabila terjadi maka akan terjadi mati pada pembibitan. Penyiraman vertikultur menggunakan pompa dan penampung di bagian bawah, sehingga pada saat penyiraman, tenaga kerja hanya menyalakan pompa listrik. Dalam proses penyiraman ini, kita perlu mengetahui kebutuhan air yang akan diperlukan dalam pipa dan sistem yang direncanakan. Sistem yang direncanakan berupa sistem pemipaan, kerugian, dan daya pompa yang dibutuhkan.

Dalam proses perencanaan sistem penyiramana pipa paralon, diketahui 0,0122 m³ setiap baris, sehingga untuk seluruh pipa adalah 61 liter (0,0122 m³ = 12,2 liter x 5 baris). Untuk memenuhi 2 bagian vertikultur, maka besar penyiraman pipa paralon adalah 122 liter.

Kapasitas aliran dari penyiramana ($Q = 122$ liter/jam = $3,4 \times 10^{-5}$ m³/s), dengan diameter pipa yang dipergunakan adalah $\frac{3}{4}$ inchi, maka kecepatan aliran yang terjadi adalah :

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{122 \text{ liter/jam}}{0,000285 \text{ m}^2} = \frac{0,122 \text{ m}^3/\text{jam}}{0,000285 \text{ m}^2} = 428,07 \text{ m/jam} = 0,1189 \text{ m/s}$$

Bilangan Reynold yang terjadi adalah :

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,1189 \text{ m/s} \cdot 0,01905 \text{ m}}{0,798 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}} = 2.834,4 \text{ (Aliran Laminer)}$$

Kerugian minor yang terdapat pada rancang bangun adalah sebagai berikut :

$$HL = \Sigma K \frac{V^2}{2g}$$

$$\Sigma K = \text{shock}(1) + \text{elbow}(2)$$

$$\Sigma K = 0,08(1) + 1,2(2) = 2,48$$

Maka untuk kerugian mayor adalah:

$$HL = \Sigma K \frac{V^2}{2g}$$

$$HL = 2,48 \frac{(0,1189 \text{ m/s})^2}{2,981 \text{ m/s}^2} = 0,015 \text{ m}$$

Kerugian moyar yang telah dirancang dalam sistem pemipaan dapat diperoleh hasil sebagai berikut :

$$HL = f \frac{l v^2}{D 2g}$$

Gesekan (*friction*) yang diketahui dari hasil pembacaan Bilangan Reynold VS kekesaran permukaan, dengan menggunakan bahan yang halus ($\epsilon = 0,025$ mm) dan diameter 0,01905 mm, maka gesekan yang terjadi sebesar $f = 0,007$

Untuk mengetahui besarnya kerugian mayor, maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$HL = f \frac{l v^2}{D 2g}$$

$$HL = 0,007 \frac{1,5 \text{ m} \cdot (0,1189 \text{ m/s})^2}{0,01905 \text{ m} \cdot 2,981 \text{ m/s}^2} = 0,00334 \text{ m}$$

Dalam proses kebutuhan daya pompa untuk rancang bangun, maka dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

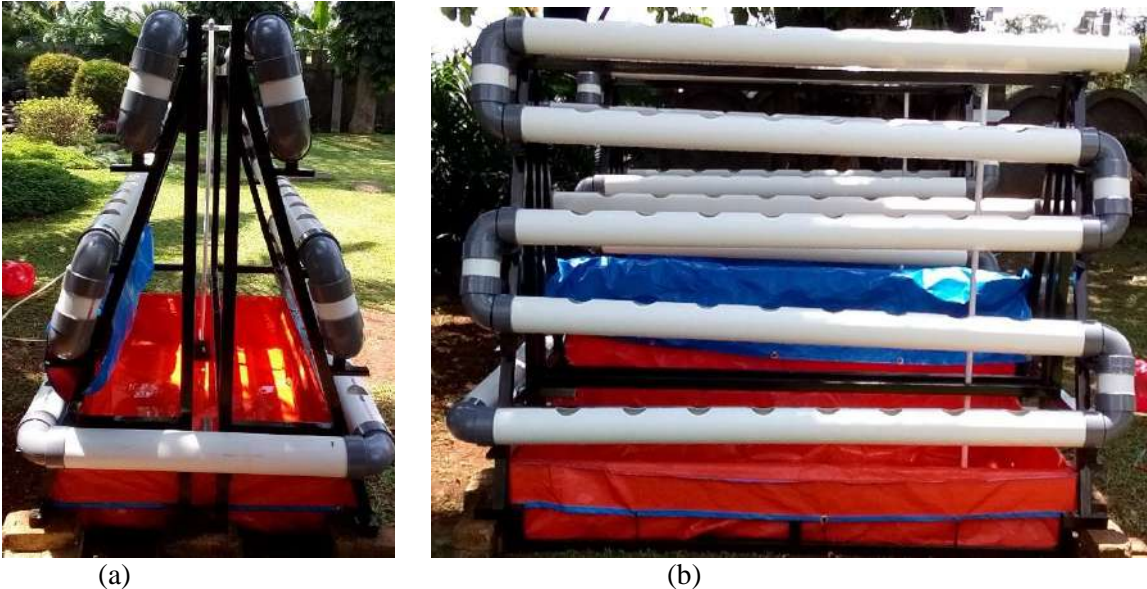
$$P = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 3,4 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \cdot (1,5 \text{ m} + 0,015 \text{ m} + 0,00334 \text{ m}) = 0,51 \text{ Watt}$$

Penggunaan pompa adalah 2.900 liter/jam ($8,1 \times 10^{-4}$ m³/s) dengan daya 55 Watt akan menghasilkan kapasitas penyiraman adalah sebesar :

$$55 \text{ Watt} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot Q \cdot (1,5 \text{ m} + 0,015 \text{ m} + 0,00334 \text{ m})$$

$$Q = \frac{55 \text{ Watt}}{14.894,9 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^2} = 3,69 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Adapun foto *nursery* vertikultur dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 10. Foto Vertikultur (a) Tampak Samping, (b) Tampak Depan

Pada rancangan *nursery* tanaman secara Vertikultur ini terdapat beberapa kesimpulan, yaitu :

- Merancang bangun *nursery* vertikultur perlu memperhatikan pembebanan konstruksi yang menjadi di dalam sistem. Pembebanan terdiri dari berat pembibitan sebanyak 16 kg setiap baris dan berat air yang terdapat di dalam pipa paralon sebesar 12,2 kg. Total pembebanan setiap baris pipa paralon sebesar 28,2 kg, serta jumlah pembebanan seluruhnya sebesar 141 kg.
- Metode penyiraman untuk *nursery* vertikultur adalah sirkulasi tertutup, dimana air yang telah menyirami pembibitan akan dikembalikan lagi pada tempat penampungan (*received*), sehingga air tidak terbuang secara percuma. Setiap pipa paralon membutuhkan 12,2 liter (61 liter untuk 5 baris pipa paralon) dan untuk dua konstruksi vertikultur adalah 122 liter. Daya yang dibutuhkan untuk penyiraman *nursery* vertikultur adalah 0,51 Watt dengan kapasitas aliran sebesar 122 liter/jam.

DAFTAR PUSTAKA

1. Nirwana, Virgien Margi; Ika Rochdjatun Sastrahidayat, Anton Muhibuddin; *Pengaruh Populasi Tanaman Terhadap Hama dan Penyakit Tanaman Tomat yang Dibudidayakan secara Vertikultur*, Jurnal HPT Volume 1 Nomor 4, Desember 2013, ISSN : 2338 – 4336, Universitas Brawijaya (2013).
2. Siti Mariyam, Tutiek Rahayu, dan Budiwati; *Implementasi Eco-Education Di Sekolah Perkotaan Melalui Budidaya Vertikultur Tanaman Hortikultura Organik*, FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta, Inotek, Volume 18, Nomor 1, Februari (2014).
3. Mulyono N, *Budidaya Sistem Pertanian Vertikal(Vertikultur)*, Fak. Pertanian UGM, Bulaksumur Yogyakarta, (2014).
4. Nurmawati dan Sri Kadarwati, *Vertikultur Media Pralon sebagai Upaya Memenuhi Kemandirian Pangan di Wilayah Peri Urban Kota Semarang*; Jurnal Pendidikan Sains, Universitas Muhammadiyah Semarang; Volume 04 Nomor 02, Oktober (2016).
5. Nash, William A; *Schaum's Outline of Theory and Problems of Strength of Materials*, Fourth Edition, McGraw Hill.

6. Sears & Zemansky, *Mekanika Untuk Universitas, Mekanika, Panas, Bunyi*, Penerbit Bina Cipta, (1982).
7. Nelson, E.W; Charles L.Best, W.G.Mclean, *Schaum's Outlet of Theory and Problems of Engineering Mechanics Statics and Dynamics*, **Fifth** Edition, McGraw Hill.
8. Rahardja, Istianto Budhi; *Rancang Bangun Penyediaan Air Bawah Tanah Kapasitas 1500 Liter/Jam Menggunakan Pompa Sentrifugal*; Prosiding Seminar Nasional Teknologi 2018, P-ISSN : 2615-1561, E-ISSN : 2615-1553, 20 April (2018).
9. Dietzel, Fritz; *Turbin, Pompa, dan Kompresor*, alih bahasa Ir. Dakso Sriyono, Penerbit Erlangga, Jakarta, (1993).
10. Munson, Bruce R., Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, *Mekanika Fluida*, Edisi **keempat**, Penerbit Erlangga, Jakarta, (2003).

Submission 30

Pengaruh Dimensi *Depth Draw* Dan *Flange* Terhadap Defleksi Pada Komponen *Bracket Joint*

Estu Prayogi, Lourentinus Noto Budyo
Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

Abstrak. *Bracket Joint* adalah salah satu komponen pada rangka jok kendaraan roda empat yang berfungsi menghubungkan konstruksi rangka punggung dan rangka dudukan. *Bracket joint* dibuat dengan proses *stamping* dengan fitur *depth draw* dan *flange*. Fitur *depth draw* dan *flange* berfungsi sebagai penguat pada struktur *bracket joint*. Analisa pada komponen ini bertujuan untuk mendapatkan nilai defleksi struktur *Bracket Joint* akibat gaya yang diberikan sebesar 1325 N. Sebelumnya dibuat varian dimensi *depth draw* dan *flange* dengan perbandingan linier pada dimensi *Depth draw* dengan interval 1 mm menurun. Dimensi *depth draw* dan *flange* pada produk awal adalah 10 – 7 mm, sedangkan dari penentuan varian didapatkan dimensi 9 - 6,3 mm; 8 - 5,6 mm; 7 - 4,9 mm; 6 - 4,2 mm. Dengan menggunakan simulasi CAE didapat nilai defleksi berturut-turut 0,530 mm; 0,534 mm; 0,540 mm; 0,542 mm; 0,554 mm. Berdasarkan perhitungan analitik didapatkan nilai defleksi berturut-turut 0,452 mm; 0,487 mm; 0,531 mm; 0,565 mm; 0,638 mm. Rata-rata kenaikan defleksi dari hasil simulasi adalah 0,06 mm per 1 mm penurunan dimensi *depth draw*. Sedangkan dari hasil perhitungan analitik, kenaikan nilai defleksi rata-rata adalah 0,44 mm per 1 mm penurunan dimensi *depth draw*.

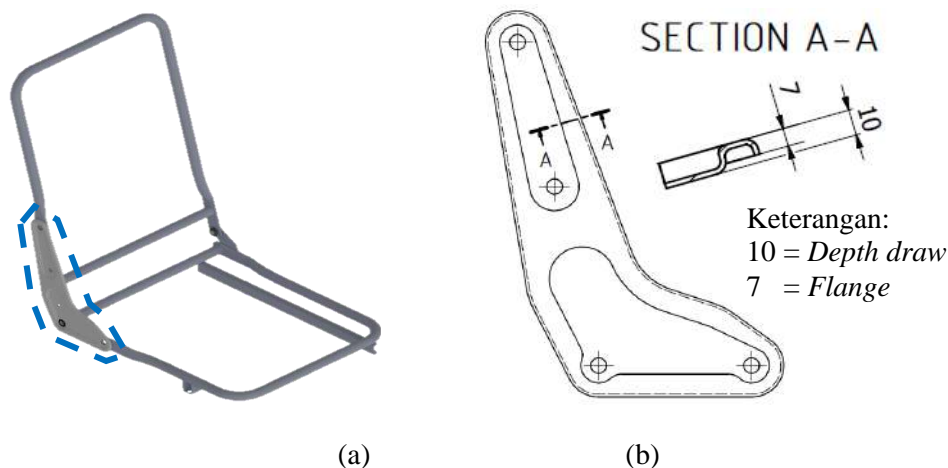
Kata Kunci : *Bracket Joint*, defleksi, rangka jok

1. PENDAHULUAN

a. Latar belakang

Salah satu kriteria dalam perancangan struktur rangka jok adalah defleksi yang terjadi pada struktur akibat pembebanan yang diterima. Sejumlah gaya akan dibebankan pada struktur untuk melihat defleksi yang terjadi. Berdasarkan pengujian *Seat Back Strength* pada standar ECE no.17, jok diberikan torsi sebesar 530 Nm dengan memperhatikan *H-point* [1].

Bracket joint adalah salah satu komponen pada struktur rangka jok kendaraan roda empat. Komponen ini berfungsi sebagai penghubung rangka dudukan dan rangka punggung. Komponen ini dibuat dengan proses *depth draw* untuk membentuk *flange* yang berfungsi sebagai penguat struktur (*reinforcement*). Ilustrasi dimensi *depth draw* dan *flange* dapat dilihat pada gambar 1-b. Semakin besar dimensi *depth draw* dan *flange* yang dibentuk, maka proses pembuatannya juga semakin rumit dan membutuhkan kapasitas mesin yang tinggi pula. Maka penurunan dimensi *depth draw* dan *flange* bisa dijadikan salah satu optimasi desain produk.

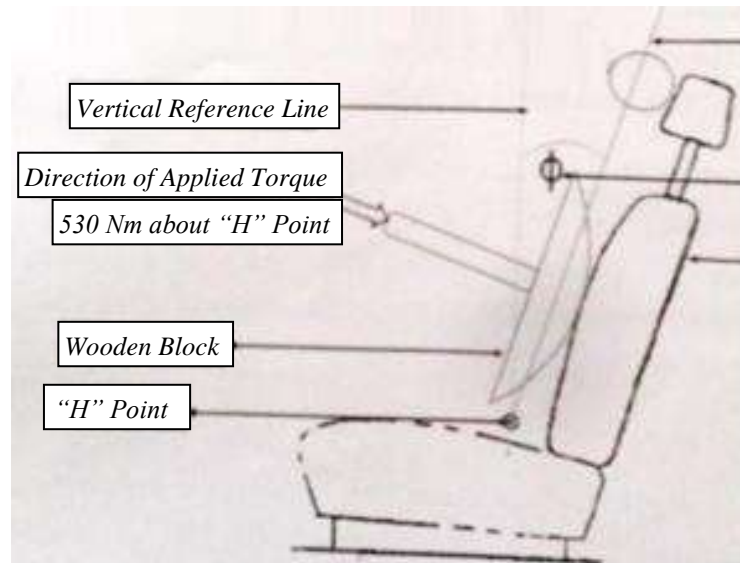


Gambar 1. Komponen *Bracket Joint* (a) Posisi *bracket joint* pada rangka (b) Dimensi *depth draw* dan *flange*

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai defleksi dari variasi dimensi *depth draw* dan *flange* pada komponen *bracket joint* melalui simulasi dan perhitungan analitik sesuai beban yang diterima oleh komponen ini.

b. Pengujian Seat Back Strength (SBS Test)

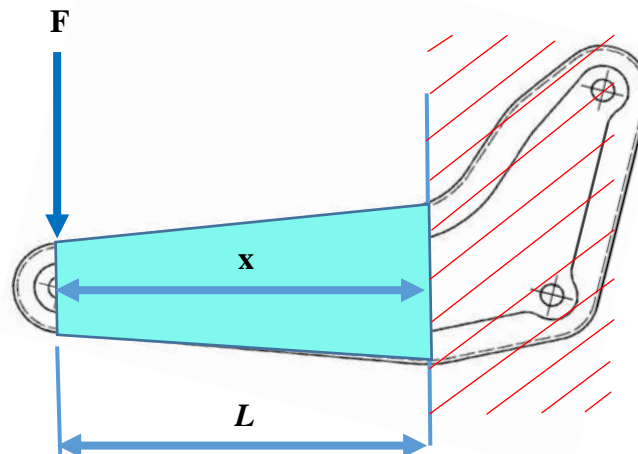
Tujuan dari tes ini adalah untuk menunjukkan bahwa punggung jok punggung dapat menahan gaya yang dihasilkan oleh penumpang sebagai akibat dari tumbukan depan dan belakang kendaraan. Torsi yang digunakan untuk tes ini adalah 530 Nm dengan penerapan H-point. Kriteria yang diterima untuk pengujian *Seat Back Strength* adalah jok punggung dapat menahan momen yang diperlukan tanpa kegagalan rangka jok, sambungan jangkar jok, mekanisme pengatur dan mekanisme penguncian selama atau setelah tes dilakukan.



1) Gambar 2. Ilustrasi pengujian Seat Back Strength

c. Ilustrasi Pembebanan

Jarak perpindahan Y didefinisikan sebagai defleksi balok. Hal yang mempengaruhi defleksi adalah kekakuan batang dan gaya yang bekerja pada batang. Semakin kaku, maka lendutan batang yang terjadi pada batang semakin kecil. Besar kecilnya gaya yang diterima oleh batang juga mempengaruhi besar kecilnya defleksi, atau dengan kata lain semakin besar beban yang diterima batang maka defleksi akan semakin besar.



Gambar 3. Ilustrasi pembebanan pada *bracket joint*

Pada kasus *bracket joint*, beban yang diterima struktur rangka adalah 530 Nm terhadap H-point, apabila distribusi gaya diuraikan, maka beban yang diterima oleh komponen ini adalah 1325 N. Posisi beban terletak pada area lubang di ujung bebas dan merupakan posisi terjauh dari ujung tetap sehingga nilai x sama dengan L .

Menurut teori batang kantilever, bila sebuah balok mempunyai dimensi penampang yang berubah secara tiba-tiba, maka pada titik dimana perubahan itu terdapat akan terjadi konsentrasi tegangan lokal. Namun tegangan lokal ini tidak mempunyai pengaruh berarti terhadap perhitungan lendutan atau defleksi. Dimensi x adalah posisi ujung bebas *bracket joint* terhadap lokasi konsentrasi tegangan lokal [2][3].

Dengan luas penampang yang variabel terhadap nilai x , dapat digunakan persamaan berikut untuk menentukan nilai defleksi dalam arah y [4].

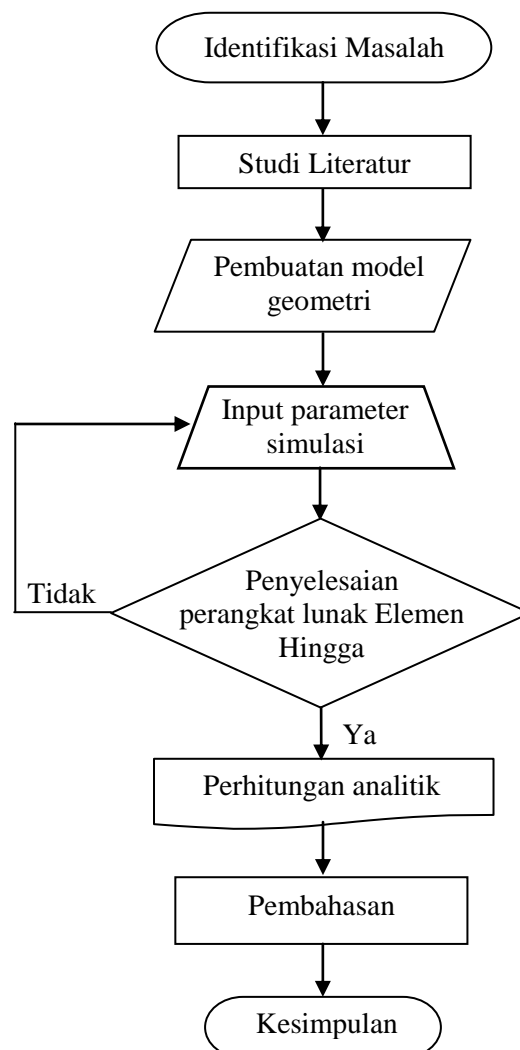
$$v = \frac{Fx^2}{6EI} (3L - x) \quad (1)$$

Karena $x = L$, maka didapatkan defleksi maksimal berikut:

$$\delta_b = \frac{FL^3}{3EI} \quad (2)$$

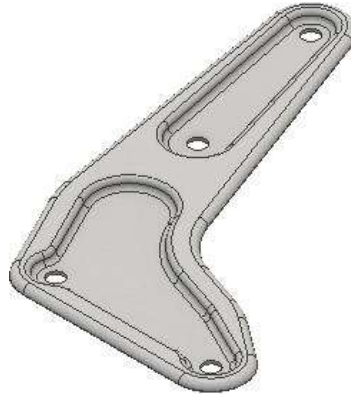
2. METODOLOGI PENELITIAN

a. Alur penelitian



b. Pembuatan Model Geometri dan Varian

Untuk memulai proses simulasi, diperlukan pemodelan geometri produk *bracket joint* yang mewakili model riilnya. Pembuatan model geometri menggunakan *software Autodesk Inventor 2016*. Fitur yang digunakan dalam pembentukan geometri 3 dimensi adalah fitur dasar yaitu *Extrude* dan *Fillet* (pembentuk profil radius).



2) Gambar 4. Model Geometri Bracket Joint

Penentuan variasi dimensi *depth draw* dan *flange* berdasarkan perbandingan keduanya dengan penurunan 1mm dimensi *depth draw* disetiap varian. Varian yang diperoleh mempertimbangkan kemampuan mampu bentuk pada proses pembuatannya. (Varian dapat dilihat pada tabel 1)

3) Tabel 1. Tabel Varian Dimensi Depth Draw dan Flange

No.	Varian	Dimensi <i>Depth Draw</i>	Dimensi <i>Flange</i>
1	Desain awal	10 mm	7 mm
2	A	9 mm	6,3 mm
3	B	8 mm	5,6 mm
4	C	7 mm	4,9 mm
5	D	6 mm	4,2 mm

c. Karakteristik Material

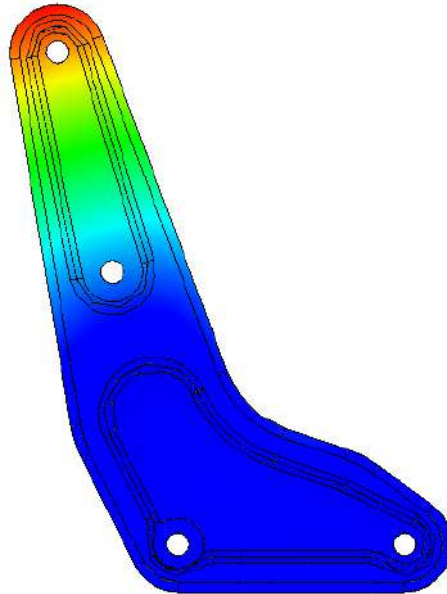
Material yang digunakan *Bracket Joint* adalah SAPH440. Material ini merupakan jenis baja *Hot Rolled* dalam bentuk pelat, lembaran & setrip untuk digunakan pada aplikasi struktural kendaraan. SAPH440 adalah kelas material dan penyebutannya didefinisikan dalam standar JIS G 3113. Sifat mekanis material SAPH 440 dapat dilihat pada tabel 2.

4) Tabel 2. Tabel Karakteristik Material SAPH 440

<i>Tensile Strength</i>	440 (N/mm ²)
<i>Yield Strength</i>	302 (N/mm ²)
<i>Young's Modulus</i>	201 (GPa)
<i>Poisson Ratio</i>	0.306
<i>Elongation</i> (dari arah pengerolan)	≤ 30 %
<i>Elongation to break</i>	44 %

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketika *bracket joint* dikenai gaya, maka akan terjadi deformasi plastis. Hasil simulasi yang terlihat pada gambar 7 menunjukkan defleksi maksimal terjadi pada ujung *bracket joint*. Menurut teori batang kantilever oleh Timoshenko, bila sebuah balok mempunyai dimensi penampang yang berubah secara tiba-tiba, maka pada titik letak perubahan itu akan terjadi konsentrasi tegangan lokal. Namun tegangan lokal ini tidak mempunyai pengaruh berarti terhadap perhitungan lendutan atau defleksi.



Gambar 7. Hasil simulasi defleksi pada CAE

Terlihat pada gambar 7 skala defleksi tertinggi terdapat pada ujung bebas *bracket joint*. hal ini sesuai dengan teori Timoshenco bahwa batang kantilever dikenai gaya pada ujung bebasnya, maka nilai defleksi terbesar terletak pada ujung bebas, sedangkan pada area ujung tetap memiliki nilai defleksi yang kecil. Tabel 3 menunjukkan hasil simulasi defleksi pada bracket joint dengan variasi dimensi *depth draw* dan *flange*.

5) Tabel 3. Tabel hasil simulasi CAE

Varian	Defleksi (mm)
Produk Awal	0,530
A	0,534
B	0,547
C	0,542
D	0,554

Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan analitik defleksi yang terjadi pada *bracket joint* dengan variasi dimensi *depth draw* dan *flange*.

6) Tabel 4. Tabel hasil perhitungan analitik

Varian	I_x (mm ⁴)	F (N)	E (Mpa)	L (mm)	x (mm)	δ_b (mm)
Produk Awal	28.377	1.325	201.000	180	180	0,452
A	26.320					0,487
B	24.136					0,531
C	22.693					0,565
D	20.412					0,638

Persen galat dari hasil simulasi dan hasil perhitungan analitik dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{ Selisih} = \frac{\text{defleksi (analitik)} - \text{defleksi (simulasi)}}{\text{defleksi (simulasi)}}$$

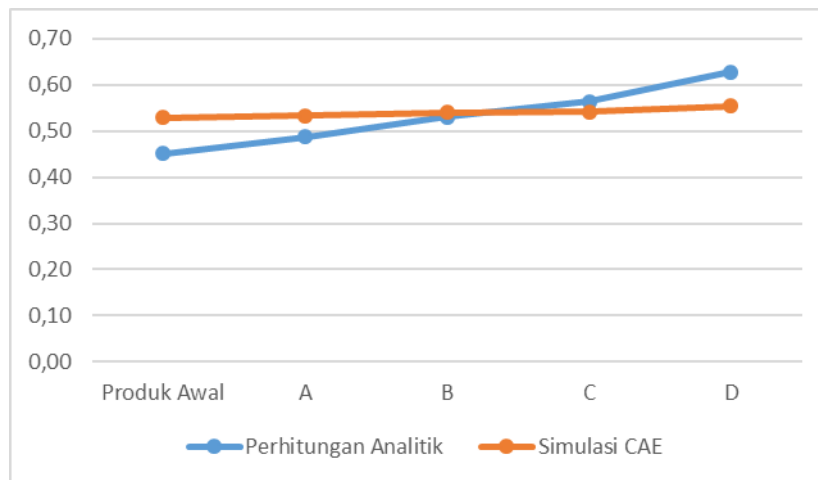
(3)

Perbandingan hasil perhitungan analitik dan hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 5 dan grafik 1 berikut:

7) Tabel 5. Perbandingan hasil perhitungan analitik dan hasil simulasi

Varian	Defleksi analitik (mm)	Defleksi simulasi (mm)	Persen selisih (%)
Produk Awal	0,452	0,530	15%
A	0,487	0,534	9%
B	0,531	0,547	3%
C	0,565	0,542	4%
D	0,638	0,554	13%

8) Grafik 1. Perbandingan hasil perhitungan analitik dan hasil simulasi



4. KESIMPULAN

Pada grafik terlihat ada perpotongan garis hasil perhitungan analitik dan hasil simulasi CAE. Garis grafik hasil simulasi lebih landai dibandingkan dengan garis grafik hasil perhitungan analitik. Rata-rata kenaikan defleksi dari hasil simulasi adalah 0,06 mm per 1 mm penurunan dimensi *depth draw*. Sedangkan dari hasil perhitungan analitik, kenaikan nilai defleksi rata-rata adalah 0,44 mm per 1 mm penurunan dimensi *depth draw*.

Daftar Pustaka

1. Rupali Shahade, S R Sandanshiv, A. R Jain, Review of Seat Testing and Evaluation Regulation, *IJESC*, **Volume 6** Issue No. 3 (2016)
2. James M. Gere, Stephen P. Timoshenko, *Mekanika Bahan* (Penerbit Erlangga, Jakarta, 1996)
3. Ach. Muhib Zainuri, *Kekuatan Bahan* (Penerbit Andi, Yogyakarta, 2008)
4. Miha Brojan, Matjaz Cebon, Franc Kosel, Large deflections of non-prismatic nonlinearly elastic cantilever beams subjected to non-uniform continuous load and a concentrated load at the free end, *Acta Mech. Sin.*, **28(3)**:863–869 (2012)

SUBMISSION 34

Pengaruh Jumlah dan Variasi Ukuran Katup Buang Pada Efisiensi Pompa Hidram

Rovida Camalia Hartantrie, I Gede Eka Lesmana, Andhika Pratama

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

Abstrak. Air merupakan salah satu elemen yang memegang peranan penting dalam menjaga kelangsungan hidup makhlukhidup. Seiring dengan bertambahnya populasi makhluk hidup (terutama manusia), mengakibatkan kebutuhan air semakin meningkat. Namun, persebaran air di Indonesia tidak merata. Hal ini dikarenakan keadaan geografis setiap daerah berbeda. Pada beberapa daerah di dataran tinggi, sumber air cukup jauh dan berapa di bawah pemukiman penduduk. Untuk itu, pompa sangat diperlukan dalam mensuplai air pada dataran tinggi tersebut. Salah satu pompa ramah lingkungan dan tidak memerlukan energi listrik dalam operasinya adalah pompa Hidraulik Ram (Hidram). Pompa hidram memanfaatkan energi gravitasi dari aliran air yang nantinya akan diturunkan ke daerah yang lebih tinggi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi untuk kerja pompa hidraulik ram dengan penambahan jumlah katup menjadi 2(dua) dan variasi ukuran katup buang yang dipasang pada pompa tersebut. Adapun untuk variasi katup tersebut antara lain 1,5” dan 1,5”, 2” dan 2 “ 2,5” dan 2,5” 1,5” dan 2” , 2” dan 2,5” sehingga didapatkan hasil efisiensi hidram tertinggi pada variasi ukuran katup 1,5” dan 1,5” sebesar 4,6%.

Kata kunci : Pompa hidram, Katup buang, Variasi katup, dan Efisiensi

1. Pendahuluan

Mahluk hidup membutuhkan air dalam memenuhi kebutuhannya. Sumber air sangat berpengaruh pada ketersediaan air bersih pada suatu daerah. Berdasarkan letak geografisnya, Indonesia digolongkan menjadi tiga wilayah yaitu: dataran tinggi, dataran rendah dan pantai. Hal ini mengakibatkan banyak daerah yang berada di atas sumber air. Untuk memenuhi kebutuhan air pada daerah tersebut, diperlukan pompa. Pompa yang ada dipasaran, membutuhkan energi listrik dalam pengoperasiannya. Sedangkan di Indonesia, masih banyak daerah terpencil yang sulit mendapatkan listrik. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan pompa yang tidak memerlukan motor dan energi listrik.

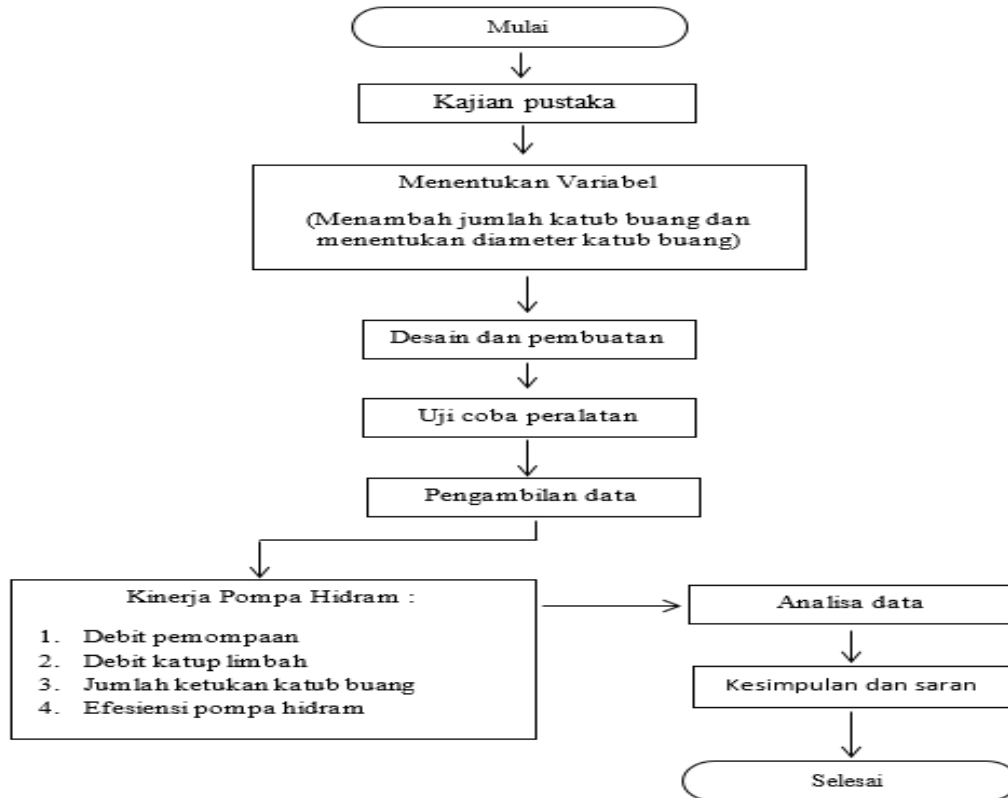
Salah satu pompa yang tidak menggunakan motor dan energi listrik adalah pompa hydraulic ram (hidram). Pompa hidram merupakan pompa dengan prinsip kerja memanfaatkan energi gravitasi dengan tekanan dan hantaman air yang mengalir dari sumber air yang nantinya akan dialirkan ke tempat yang lebih tinggi [1]. Beberapa penelitian terkait pompa hidram yang telah dilakukan yaitu dengan memvariasikan ketinggian air masuk ke dalam pompa sehingga didapatkan kapasitas air yang dapat didistribusikan.[1-3]; Optimasi rancangan pompa hidram yang telah ada, dengan menggunakan perbandingan tinggi air masuk dan keluar [4]; variasi ketinggian air masuk pompa dan ukuran tabung kompresor terhadap kinerja pompa [5]; Variasi tinggi tabung udara dan panjang pipa masuk untuk mengetahui kinerja pompa hidram [6].

Selain melakukan perubahan variasi ketinggian air masuk, penelitian lain terkait dengan pompa hiram yaitu dengan memvariasikan jarak katup buang terhadap katup buang terhadap katup penghantar sehingga didapatkan efisiensi pompa hidram [7]; meneliti pengaruh berat katup diafragma untuk mendapatkan debit air keluar pompa sehingga dapat dihitung efisiensinya[8]; Optimasi terhadap faktor volume tabung udara dan beban katup buang pompa hidram sehingga didapatkan efisiensi tertinggi [9].

Penelitian terhadap pompa hiram pada umumnya dilakukan pada variasi ketinggian air jatuh. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan pengaruh jumlah dan variasi ukuran pada katup buang terhadap efisiensi pompa hidram. Variasi katup buang yang digunakan yaitu 1,5” dan 1,5”, 2” dan 2 “ 2,5” dan 2,5”.

2. Metode Penelitian

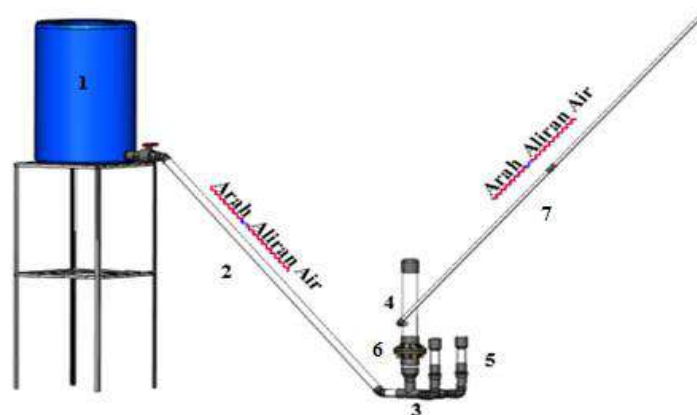
Dalam penelitian kali ini, untuk mengetahui kinerja pompa hidram dengan membandingkan metode rankine dan D'aubuisson. Perhitungan dilakukan pada debit pemompaan, debit buang, jumlah ketukan katup buang, sehingga didapatkan efisiensi pompa hidram. Sedangkan tahapan umum yang dilakukan selama penelitian seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

Cara Kerja Pompa Hidram:

Air dari tanki mengalir melauai pipa saluran masuk, melewati badan hidram dan mendorong katup buang sehingga terbuka sesaat. Kemudian katup buang menutup dan terjadi proses kompresi sehingga air terdorong kembali menuju badan hidram. Aliran balik dari katup buang menghantam air dari saluran masuk dan mendorong air menuju katup penghantar sehingga air diteruskan ke pipa saluran keluar dan didapatkan volume air terhadap waktu pengisian. Adapun skema alat pada penelitian kali ini, dapat dilihat pada gambar2.



Gambar 2. Skema pompa hidram

Keterangan :

1. Tanki
2. Saluran masuk
3. Badan Hidram
4. Tabung Udara
5. Katup Buang
6. Katup Penghantar
7. Saluran Keluar

Dalam perancangan pompa hidram, hantaman aliran balik untuk mendorong air agar keluar pompa didapatkan dengan mengatur ketinggian air masuk pipa terhadap pompa minimal 1 meter [7]. Pada penelitian kali ini, sumber air didapatkan dari air yang ditampung pada tanki dengan kapasitas 19 liter. Tanki tersebut dihubungkan dengan pipa saluran masuk yang dibuat dari pvc kemudian dipasang miring sepanjang 2,12 m dengan ketinggian dari sumber air terhadap permukaan (secara vertikal) 1,5 m. Pipa saluran masuk terhubung dengan badan hidram, katup buang dan katup penghantar.

3. Hasil

Dalam penelitian pompa hidram terhadap variasi ukuran katup buang dilakukan 5 kali pengujian setiap ukuran katup yang berbeda dengan menghitung waktu yang dibutuhkan untuk memenuhi gelas plastik berukuran 2 liter. Variasi katup buang yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 1,5 inch dengan 1,5 inch, 2 inch dengan 2 inch, 2,5 inch dengan 2,5 inch, 1,5 inch dengan 2 inch, dan 2 inch dengan 2,5 inch. Dari hasil penelitian tersebut, didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Waktu pengambilan 2 liter air.

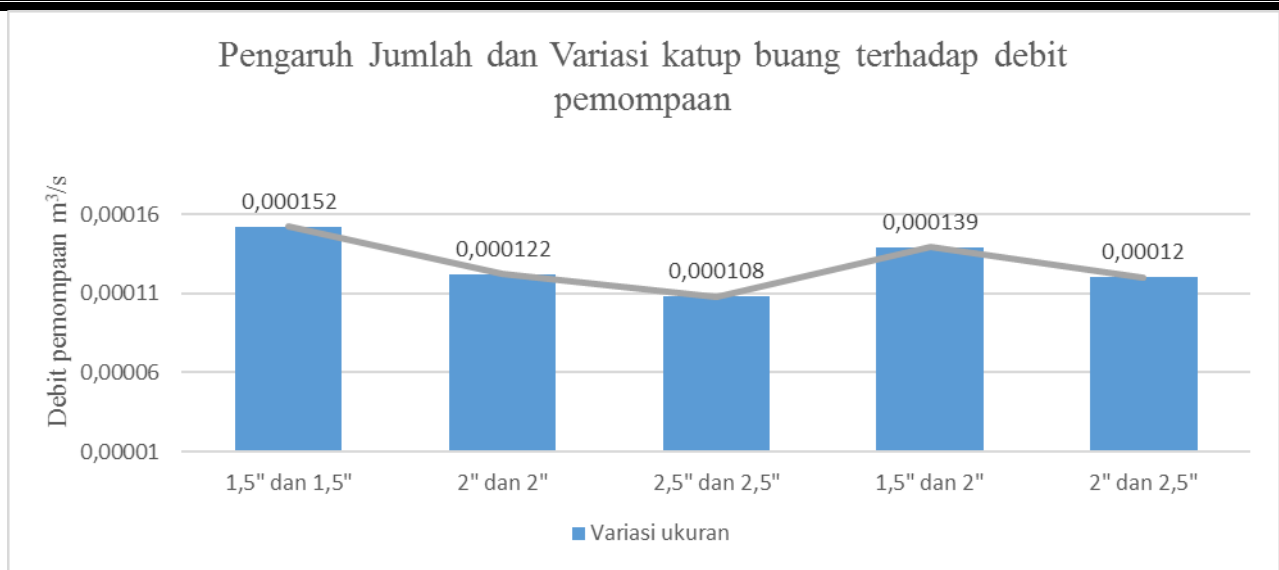
Tabel 1. Waktu pengujian

Jumlah katup buang	Jarak antara katup (mm)	Waktu (s)					
		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T _{rata-rata}
2 katup	1,5" dengan 1,5"	13,30	13,10	13,23	13,21	13,11	13,19
	2" dengan 2"	15,60	16,74	16,98	16,55	15,89	16,35
	2,5" dengan 2,5"	18,33	17,73	18,71	18,97	16,68	18,48
	1,5" dengan 2"	14,68	13,02	14,62	15,01	14,63	14,38
	2" dengan 2,5"	16,84	16,95	15,1	16,72	17,22	16,56

2. Pengaruh jumlah dan variasi ukuran katup buang terhadap debit pemompaan

Tabel 2. Debit Pemompaan

Jumlah Katup	Variasi ukuran katup	Kecepatan aliran keluar (m/s)	Debit Pemompaan (m ³ /s)
2 Katup	1,5" dengan 1,5"	0.598	0.000152
	2" dengan 2"	0.480	0.000122
	2,5" dengan 2,5"	0.425	0.000108
	1,5" dengan 2"	0.547	0.000139
	2" dengan 2,5"	0.472	0.000120



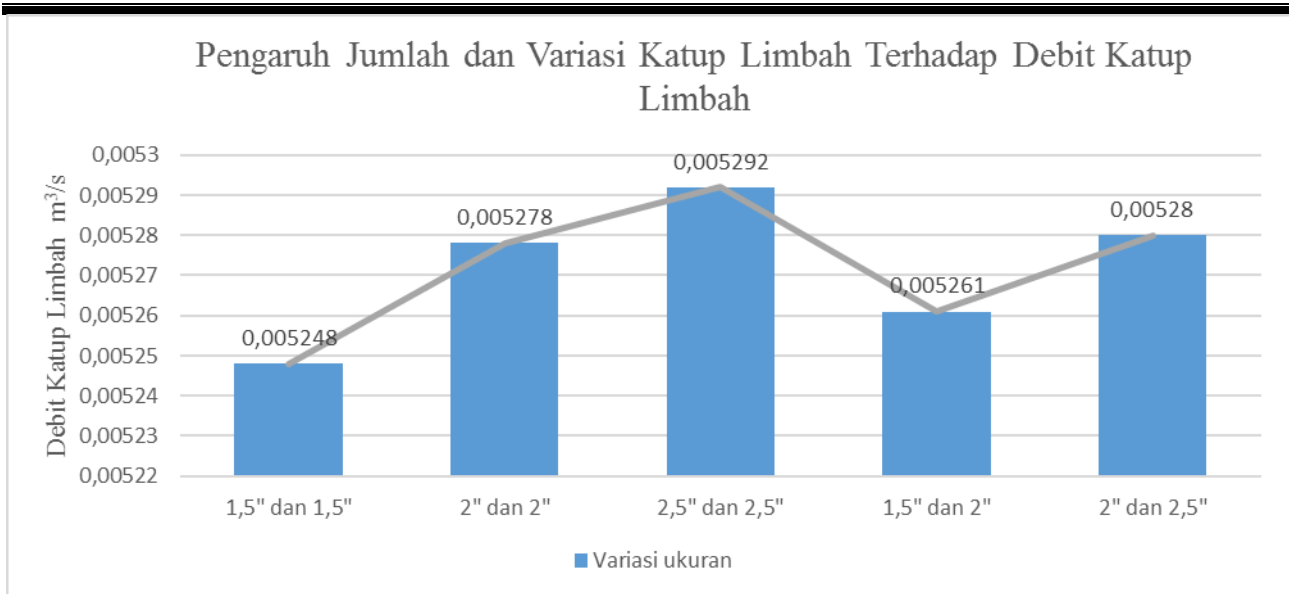
Gambar 3. Diagram Batang Debit Pemompaan

Dari diagram pengaruh jumlah dan variasi katup buang terhadap debit pemompaan diatas, didapatkan besarnya debit air keluar pompa yang berbeda-beda setiap variasi katup. Debit pemompaan maksimum terdapat pada variasi ukuran katup buang 1,5" dan 1,5" dengan nilai 0,000152 m³/s. Sedangkan debit minimum terdapat pada variasi ukuran katup buang 2,5" dan 2,5" dengan nilai 0.000108 m³/s. Hal ini sesuai dengan teori yang ada, besarnya tekanan berbanding terbalik dengan luas penampang. Sehingga tekanan balik air dari katup buang semakin besar pada katup dengan luas penampang kecil.

3. Pengaruh jumlah dan variasi ukuran katup buang terhadap debit katup buang.

Tabel 3. Debit Katup Buang

Jumlah katup	Variasi Ukuran Katup	Debit Katup Buang
2 Katup	1,5" dengan 1,5"	0,005248
	2" dengan 2"	0,005278
	2,5" dengan 2,5"	0,005292
	1,5" dengan 2"	0,005261
	2" dengan 2,5"	0,005280



Gambar 4. Diagram Batang Debit Katup Limbah

Dari gambar 4, dapat dilihat bahwa debit pemompaan pada variasi ukuran 1,5 inch dengan 1,5 inch, 2 inch dan 2 inch, 2,5 inch dan 2,5 inch debit katup buang mengalami kenaikan. Kemudian menurun pada ukuran 1,5 inch dan 2 inch dan naik kembali pada ukuran 2 inch dan 2,5 inch. Debit pemompaan katup buang maksimum didapat pada variasi ukuran katup 2,5" dan 2,5" yaitu sebesar 0.00529 m³/s. Sedangkan debit katup buang minimum didapat pada ukuran katup 1,5" dan 1,5" yaitu 0.005248 m³/s. Hal ini karena kecepatan aliran balik dari katup buang menuju badan pompa diasumsikan sama.

4. Jumlah Ketukan

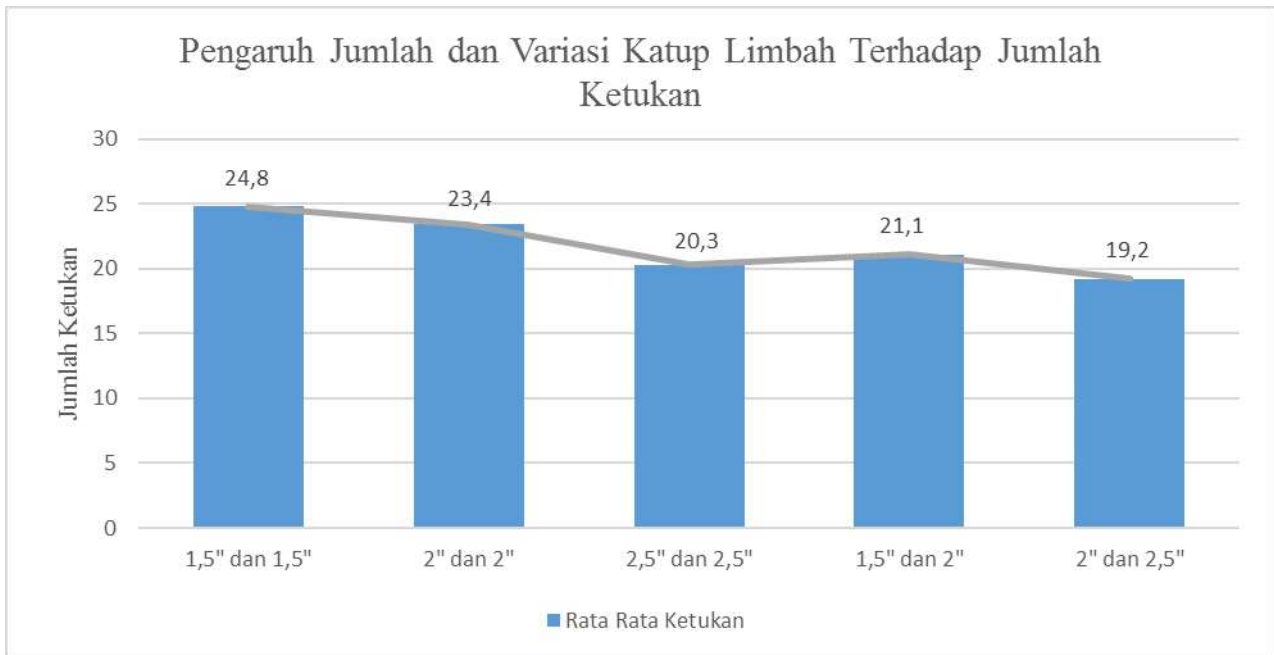
Pengujian ini bertujuan untuk melihat berapa jumlah ketukan yang terjadi dan dapat mempengaruhi berapa kali proses pemompaan terjadi.

Tabel 4. Data Pengujian Jumlah Ketukan Masing- Masing Katup

Jumlah Katup	Variasi Ukuran	Katup	Ketukan					Rata rata
			x1	x2	x3	x4	x5	
2 Katup	1,5" dengan 1,5"	1,5"	25	24	24	27	25	25
		1,5"	26	25	23	26	23	24,6
	2" dengan 2"	2"	22	23	25	22	24	23,2
		2"	23	25	23	24	23	23,6
	2,5" dengan 2,5"	2,5"	20	21	21	22	19	20,6
		2,5"	21	19	20	20	20	20
	1,5" dengan 2"	1,5"	23	22	23	22	21	22,2
		2"	20	20	21	19	20	20
	2" dengan 2,5"	2"	20	20	19	19	21	19,8
		2,5"	19	18	18	19	19	18,6

Tabel 5. Rata-Rata Jumlah Ketukan Kedua Katup

Jumlah Katup	Variasi Ukuran	Rata Rata Ketukan
2 Katup	1,5" dengan 1,5"	24,8
	2" dengan 2"	23,4
	2,5" dengan 2,5"	20,3
	1,5" dengan 2"	21,1
	2" dengan 2,5"	19,2



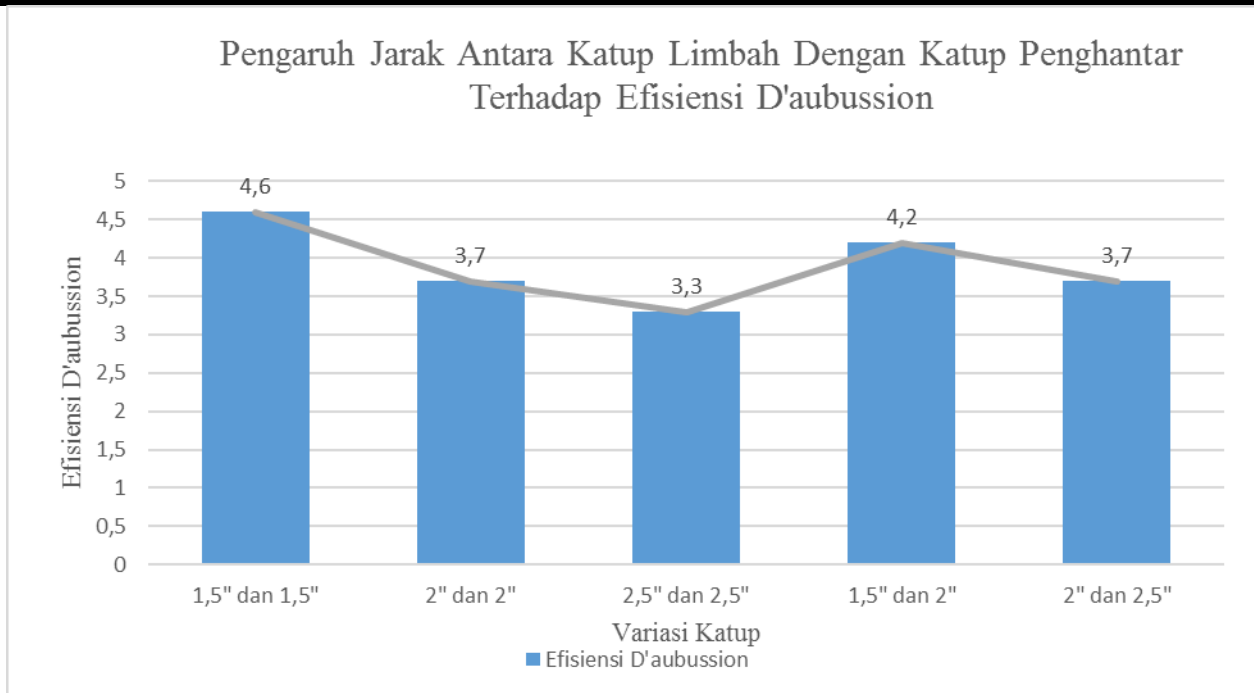
Gambar 6. Diagram Batang Jumlah Ketukan Palu Air

Gambar 6 menunjukkan rata-rata jumlah ketukan berfluktuatif pada setiap jarak antara katup. Dari diagram batang didapatkan jumlah ketukan palu air maksimum pada ukuran katup buang diameter 1,5 inch dengan 1,5 inch yaitu 24,8 ketukan, sedangkan jumlah ketukan minimum terdapat pada ukuran katup buang diameter 2 inch dengan 2,5 inch yaitu 19,2.

5. Efisiensi D'aubussion

Tabel 5. Efisiensi D'aubussion

Jumlah Katup	Variasi Ukuran Katup	Efisiensi (%)
2 Katup	1,5" dengan 1,5"	4,6
	2" dengan 2"	3,7
	2,5" dengan 2,5"	3,3
	1,5" dengan 2"	4,2
	2" dengan 2,5"	3,7



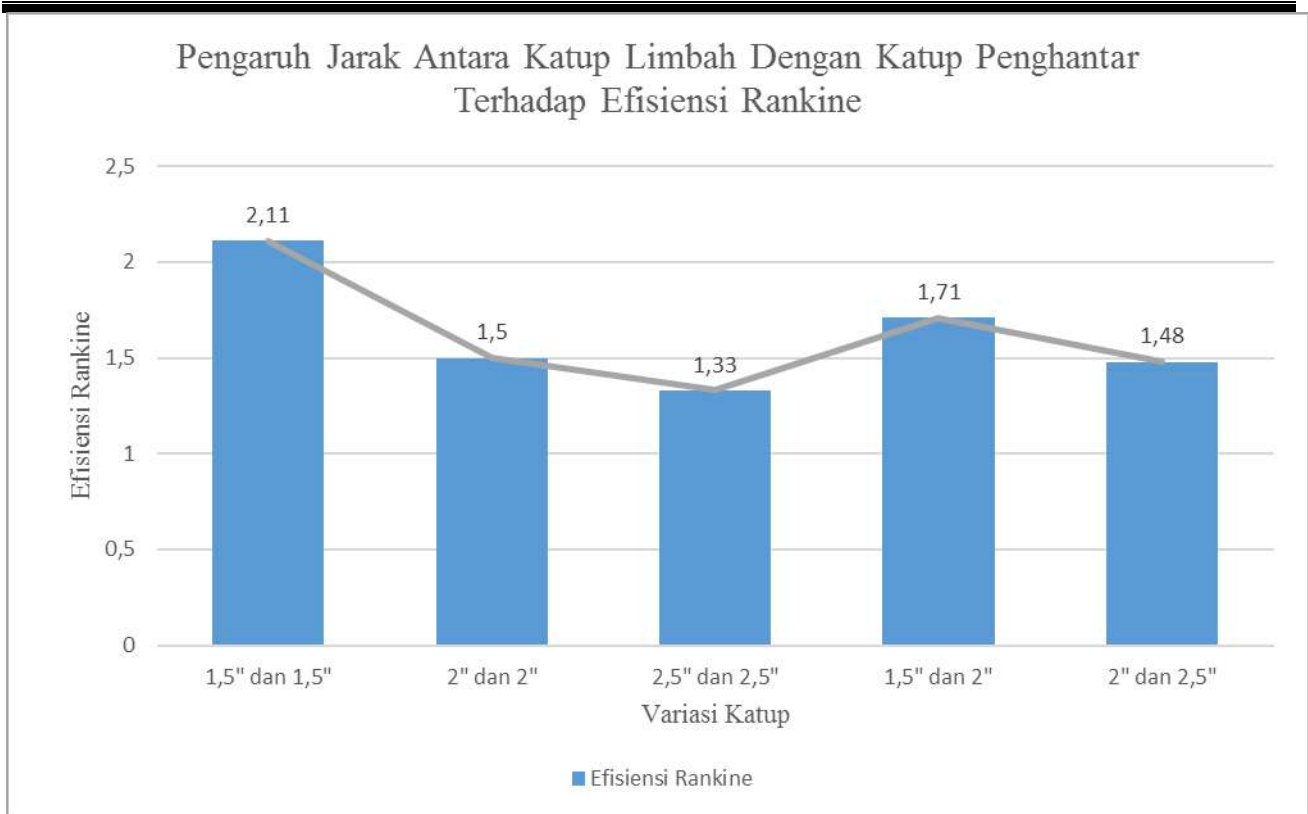
Gambar 7. Diagram batang Efisiensi D'Aubuisson

Dari diagram batang pada gambar 7, dapat dilihat bahwa nilai efisiensi d'aubussion mengalami penurunan dari katup buang dengan ukuran 1,5 inch dengan 1,5 inch dan 2 inch dengan 2 inch dan 2,5 inch dengan 2,5 inch yaitu 4,6% , 3,7 % dan 3,3%. Kemudian mengalami kenaikan pada ukuran katup 1,5 inch dengan 2 inch dengan nilai 4,2% dan mengalami penurunan kembali pada ukuran katup 2" dengan 2,5" sebesar 3,7%. Nilai efisiensi D'aubussion tertinggi didapat pada ukuran katup 1,5 inch dan 1,5 inch dengan nilai 4,6% dan terendah pada ukuran katup 2,5 inch dengan 2,5 inch yaitu 3,3%.

6. Efisiensi Rankine

Tabel 6. Efisiensi Rankine

Jumlah Katup	Variasi Ukuran Katup	Efisiensi (%)
2 Katup	1,5" dengan 1,5"	2,11
	2" dengan 2"	1,50
	2,5" dengan 2,5"	1,33
	1,5" dengan 2"	1,71
	2" dengan 2,5"	1,48



Gambar 8. Diagram Batang Efisiensi Rankine

Dari diagram batang pada gambar 8, dapat disimpulkan Efisiensi suatu pompa hidram dapat dipengaruhi dari ukuran katup buang. Variasi katup buang dengan efisiensi optimal terdapat pada ukuran katup 1,5 inch dengan 1,5 inch dengan nilai efisiensi mencapai 2,11%. Dan efisiensi terendah terdapat pada ukuran katup buang 2,5 inch dengan 2,5 inch dengan nilai 1,33%.

4. Kesimpulan

Kinerja pompa hidram terhadap penambahan jumlah katup dan variasi ukuran memiliki pengaruh terhadap debit hasil pemompaan sehingga dapat mempengaruhi efisiensi dari pompa hidram tersebut. Berikut hasil dari penelitian/pengujian yang telah dilakukan ,

1. Debit pemompaan maksimal pada variasi ukuran katup buang 1,5" dan 1,5" dengan hasil 0,000152 m³/s.
2. Debit katup buang minimum terdapat pada variasi ukuran katup buang 1,5" dan 1,5" dengan hasil 0,005248 m³/s.
3. Efisiensi hidram menurut teori D'Aubussion diperoleh hasil tertinggi pada variasi ukuran katup 1,5" dan 1,5" dengan hasil 5,2%.
4. Efisiensi hidram menurut teori Rankine diperoleh hasil tertinggi pada variasi ukuran katup 1,5" dan 1,5" dengan hasil 2,11%.

5. Saran

Bagi peneliti pompa hidram berikutnya diperhatikan ukuran sluran masuk ketika melakukan penambahan ukuran katup limbah pada pompa hidram dikarenakan ukuran pipa masuk dapat mempengaruhi kecepatan aliran dan debit yang masuk ke pompa.

Ucapan Terimakasih

Jurnal dengan judul "pengaruh jumlah dan variasi ukuran katup limbah terhadap efisiensi pompa hidram" dapat diselesaikan dengan baik. Terima kasih untuk semua bantuan yang terlibat dalam proses pembuatan penelitian dan jurnal ini.

Daftar Pustaka

- [1] Muhammad Ilham Maulana, “Perancangan Pompa Hidram Head Rendah Menggunakan Pemrograman Visual Basic”, Jurnal Teknik Mesin Unsyiah, Vol. 1, No. 4, Desember 2013.
- [2] Gatut Prijo Utomo, Supardi dan Edi Santoso, “Analisa Pengaruh Tinggi Jatuhan Air Terhadap Head Pompa Hidram”, Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya, Vol. 01, No. 02, hal 211 – 224, Nopember 2015.
- [3] Panly M.E.L., “Rancang Bangun Pompa Hydram (Hydraulic Ram Pump) Untuk Model Sistim Irigasi Persawahan Masyarakat Di Desa Wonokarto Kecamatan Gadingrejo Kabupaten Pringsewu Provinsi Lampung” skripsi , Fakultas Teknik Universitas Lampung, 2016.
- [4] Amin Nur Akhmadi dan M. Taufik Qurohman, “Optimasi Desain Rancang Bangun Pompa Hidram”, Jurnal Infotekmesin, Vol.8, No.1n hal 38-43, Juli 2017.
- [5] Nurchayati, Arif Mulyanto, dkk, “Pengaruh Variasi Tinggi Terjunan dan Dimensi Tabung Kompresor Terhadap Unjuk Kerja Pompa Hydram”, Mesin, Vol. 26, No. 2, Hal 91–101, 2017.
- [6] Daniel Ortega Panjaitan dan Tekad Sitepu, “Rancang Bangun Pompa Hidram Dan Pengujian Pengaruh Variasi Tinggi Tabung Udara Dan Panjang Pipa Pemasukan Terhadap Unjuk Kerja Pompa Hidram”, Jurnal e -Dinamis, Vol. II, No.2, Hal. 1-9, September 2012.
- [7] Gibran Rausyanfikri M., I Gede Eka L. dan Rovida C.H., “Pengaruh Jarak Katup Buang Dengan Katup Penghantar Terhadap Efisiensi Hidram”, Jurnal Teknik Mesin (JTM): Vol. 06, No. 4, Hal. 268-272, Oktober 2017.
- [8] Danang Anjar R. Dan Indra Herlamba S., “Pengaruh Berat Katup Diafragma Terhadap Kinerja Dan Visualisasi Proses Aliran Pada Pompa Hidram Model T”, JTM, Vol. 05 No. 01, Hal 17-25 ,2017.
- [9] Gan Shu San dan Gunawan Santoso, “Studi Karakteristik Volume Tabung Udara dan Beban Katup Buang Terhadap Efisiensi Pompa Hydraulic Ram”, Jurnal Teknik Mesin Vol. 4, No. 2, Hal. 81 – 87 Oktober 2002.

SUBMISSION 40

Bangun Tungku Peleburan Logam Menggunakan Bahan Bakar Oli Bekas

Hendrik Sukma, ST, MT^{*}, Farid Syharussyam²,

¹Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta

²Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta

Abstrak. Oli bekas salah satu limbah cair yang dihasilkan oleh mesin baik mesin di industri besar maupun mesin kendaraan pribadi. Untuk saat ini penggunaan limbah oli masih sedikit di manfaatkan oleh masyarakat. Oli tersebut masih dapat digunakan salah satunya adalah sebagai bahan bakar khususnya bagi tungku peleburan logam. Untuk menjawab permasalahan diatas, maka dalam penelitian ini akan dirancang dan dibuat tungku peleburan logam dengan memanfaatkan limbah cair oli bekas tersebut sebagai bahan bakar untuk menumbuhkan industri lokal berbasis *home industry* dalam mendaur ulang logam bekas dan mencapai temperature yang diinginkan yaitu 800°C serta waktu yang efisien. Metode yang digunakan adalah oli bekas di alirkan dari bak oli ke ruang bakar tungku melalui selang dan pipa dengan bantuan blower di pancing menggunakan tisu untuk awalan. Hasil yang didapat adalah oli terbakar sempurna dengan bantuan blower dan mencapai temperature 610°C dalam waktu 5jam untuk 1 kali peleburan. kesimpulannya adalah tungku peleburan logam berbahan bakar oli bekas belum mampu memanaskan cairan sampai dengan 800°C dan waktu yang kurang efisien.

Kata kunci—*komponen; formatting; Pengecoran logam, tungku krusible, oli bekas,*

1. PENDAHULUAN

a. Latar belakang

Saat ini tungku peleburan logam *crusible* menggunakan bahan bakar gas LPG dan masih kurang efisien dikeranakan biaya yang sangat tinggi, hanya mampu untuk kalangan industri saja. Sehingga dari permasalahan diatas diperlukan penyelesaian bagaimana menurunkan biaya dan tungku *crusible* bisa dipergunakan di kalangan masyarakat. Yaitu dengan cara mengganti bahan bakar dari gas di rubah dengan pemanfaatan limbah oli bekas sebagai bahan bakar alternatif.

b. Rumusan Masalah

Dalam rancang bangun tungku peleburan logam, penyusun di hadapkan dengan permasalahan yang ada yaitu:

1. Bagaimana proses perancangan pembuatan tungku peleburan logam?
2. Bagaimana desain tungku peleburan logam dengan menggunakan oli bekas?
3. Apakah bisa memakai oli bekas sebagai bahan bakar?
4. Mampukah dengan bahan bakar oli bekas bisa mencapai suhu 800°C?
5. Berapa liter oli bekas yang digunakan untuk 1 kali peleburan?
6. Berapa waktu yang dibutuhkan untuk 1 kali peleburan?

c. Batasan Masalah

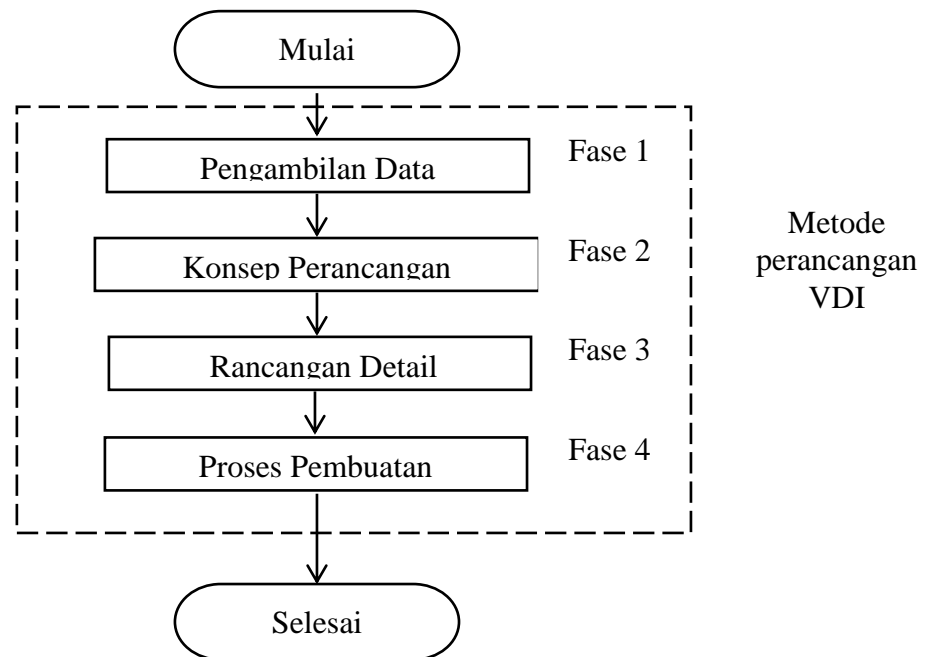
1. *crusible* kapasitas 5kg alumunium
2. Bahan peleburan alumunium profil
3. Tungku menggunakan *crusible* bahan *silicon carbide*
4. Metode perancangan yang dipakai menggunakan konsep perancangan VDI 2221.
5. *Thermal* tidak diperhitungkan, menggunakan data empiris dan aktual
6. Pengukur suhu menggunakan thermokopel kabel

^{*} Corresponding author: farid@makmurmata.co.id

d. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan rancangan alat yang mampu meleburkan material logam hingga 800°C dengan bahan bakar oli bekas dan waktu yang efisien.

2. METODOLOGI PENELITIAN



e. Survey Lapangan

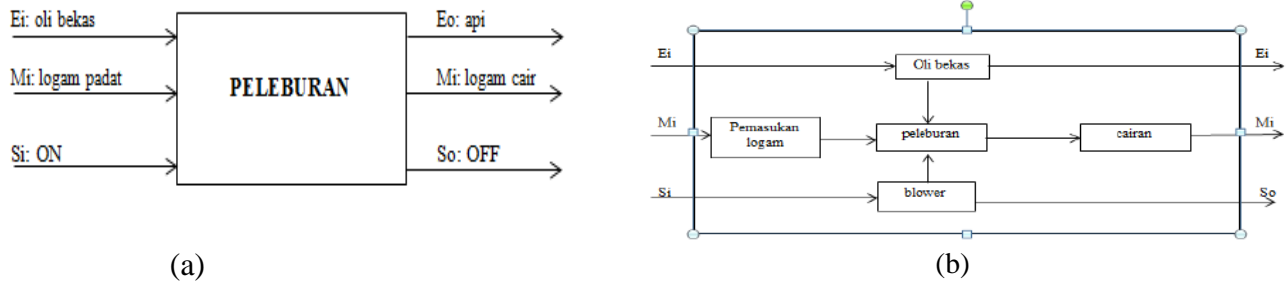
Data yang didapat dari hasil survey lapangan ke pabrik pengecoran logam aluminium yang menggunakan *crusible*. Untuk bahan bakar, mereka menggunakan gas, temperature mencapai rata-rata 700s/d750°C kapasitas *crusible* 250kg s/d 800kg cairan aluminium, *life time crusible* rata-rata mencapai 6 bulan ganti *crusible* dengan produksi setiap hari, (sabtu minggu off), perawatan 1 kali per minggu, dengan cara di bersihkan kerak-kerak yang menempel pada *crusible*.

f. Studi literatur

Dalam hal studi literature pengumpulan data dapat dilihat pada bab II sub bab 2.1 metode perancangan VDI 2221, sub bab 2.2 jenis - jenis tungku peleburan, sub bab 2.3 pelumas oli, sub bab 2.4 refraktori.

g. Perancangan Konsep

- 1) Struktur fungsi keseluruhan dari tungku peleburan logam





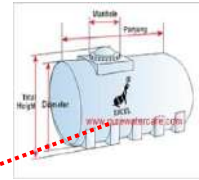


Gambar 1: (a) Fungsi keseluruhan, (b) struktur fungsi











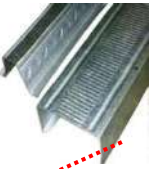
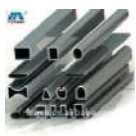


2) Pembuatan varian konsep














Untuk mendapatkan kombinasi terbaik harus dilakukan pengeleminasian dan pemilihan. Kriteria yang harus diperhatikan dalam memilih kombinasi adalah :

- Sesuai dengan fungsi keseluruhan
- Sesuai dengan daftar kehendak
- Secara prinsip dapat diwujudkan
- Dalam batas produksi
- Pengetahuan tentang konsep memadai
- Sesuai dengan keinginan perencanaan
- Memenuhi syarat keamanan

Tabel IV-1.
Pemilihan Kombinasi Konsep Solusi Perancangan

No	Sub fungsi	Solusi 1	Solusi 2	Solusi 3
1	Oli storage	1-1 drum 	1-2 Drigen 	1-3 Tangki 
2	Udara bertekanan	2-1 Blower 	2-2 Compresor 	

3	Penerus tekanan	3-1 Pipa PVC 	3-2 Botol kaleng 	3-3 Pipa Galvanis 
4	Katup	4-1 Tuas 	4-2 Tekan 	4-3 Putar 
5	Penerus oli	5-1 Pipa PVC 	5-2 Pipa stainless 	5-3 Pipa tembaga 
6	Rangka	6-1 pipa hollow kotak 	6-2 Baja ringan 	6-3 Alumunium profil 
7	Wadah	7-1 Kaleng 	7-2 tangki 	

8	Insulating	<p>8-1 Blanket</p> 	<p>8-2 Ceramic paper</p> 	<p>8-3 Kertas karton</p> 
9	Refraktori	<p>9-1 Pasir Cast table</p> 	<p>9-2 Bata api</p> 	<p>9-3 clay</p> 
10	Tungku	<p>10-1 Tungku besi</p> 	<p>10-2 Crusible</p> 	
11	Bahan bakar	<p>11-1 Oli</p> 	<p>11-2 Gas</p> 	<p>11-3 Solar</p> 
12	tutup	<p>Tutup kaleng</p> 	<p>Tutup corong stainless</p> 	

Varian 1

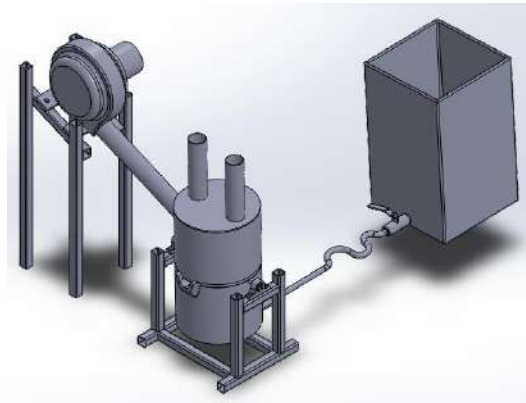
Varian 2

Varian 3

Dari hasil kombinasi varian pada Tabel IV-2 dihasilkan kombinasi varian sebagai berikut :

- a. Varian 1 : 1-1, 2-1, 3-2, 4-2, 5-2, 6-3, 7-1, 8-1, 9-3, 10-2, 11-3, 12-2
- b. Varian 2 : 1-2, 2-1, 3-2, 4-1, 5-2, 6-1, 7-1, 8-2, 9-1, 10-2, 11-1, 12-1
- c. Varian 3 : 1-3, 2-1, 3-3, 4-3, 5-2, 6-2, 7-1, 8-1, 9-3, 10-2, 11-2

Konsep varian 2 terpilih



(c)

Gambar 2: gambar rangka (c)

h. Perancangan Detail

Setelah melakukan proses perancangan konsep menentukan varian dan telah dapat konsep yaitu varian 2 maka selanjutnya akan dilakukan tahap perancangan detail.

1) Perhitungan beban rangka

Adapun berat total tungku

yaitu :

Kaleng : 2kg

Ceramic paper : 1kg

Refraktori : 15kg

Crusible : 2kg

Cairan logam Al : 5kg

tutup : 2kg

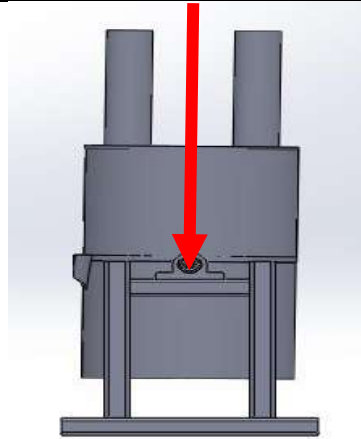
pillow : 2kg

as bearing M22 : 1kg

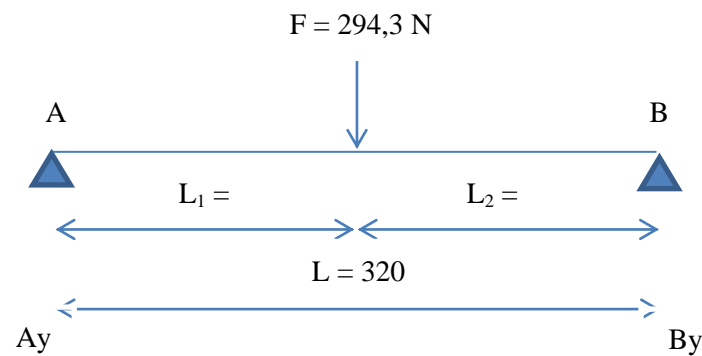
Total : 30kg x

$9,81\text{m/s}^2 = 294,3\text{ N}$

30kg



(d)



(e)

Gambar 2 beban rangka: (d) Reaksi gaya yang bekerja pada tungku (e) Diagram benda bebas

Reaksi gaya pada titik A adalah :

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0 \\ 0 &= -(By \cdot L) + (F \cdot L_1) \\ 0 &= -(By \cdot 320) + (294,3 \text{ N} \cdot 160) \\ & \quad \mathbf{47088 \text{ N.mm}} \\ By &= \frac{\mathbf{47088 \text{ N.mm}}}{\mathbf{320 \text{ mm}}} \\ By &= 147,15 \text{ N} \end{aligned}$$

Reaksi gaya pada titik B adalah :

$$\begin{aligned} \sum M_B &= 0 \\ 0 &= (Ay \cdot L) - (F \cdot L_2) \\ 0 &= (Ay \cdot 320) - (294,3 \text{ N} \cdot 160) \\ & \quad \mathbf{47088 \text{ N.mm}} \\ -Ay &= - \frac{\mathbf{47088 \text{ N.mm}}}{\mathbf{320 \text{ mm}}} \\ Ay &= 147,15 \text{ N} \end{aligned}$$

i. Faktor Keamanan

Besarnya faktor keamanan pada perancangan material berdasarkan Tabel II-3, maka dapat diasumsikan bahwa besarnya faktor keamanan adalah 2,0. Sehingga dapat dihitung besarnya tegangan maksimum yang mampu dilakukan oleh kerangka sebagai berikut :

$$Sf = \frac{\text{Tegangan luluh material}}{\text{Tegangan kerja maksimum}}$$

$$\sigma_{\text{kerja max}} = \frac{245 \text{ MPa}}{2,0}$$

$$\sigma_{\text{kerja max}} = 122,5 \text{ MPa}$$

j. Von Mises

Untuk menghitung besarnya *Von Mises* terlebih dahulu menghitung σ_x , σ_y dan τ_y . Dimana besarnya tegangan yang bekerja sepanjang sumbu x (σ_x) sebesar 0 karena kerangka tidak menerima beban dari arah sumbu x, sedangkan besarnya tegangan yang bekerja sepanjang sumbu y (σ_y) adalah $\sigma_y = 0,656 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_{\text{max y}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left[\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right]^2 + (\tau_y)^2}$$

$$\sigma_{\text{max y}} = \frac{0 + 0,656 \text{ N/mm}^2}{2} + \sqrt{\left[\frac{0 + 0,656 \text{ N/mm}^2}{2}\right]^2 + (9 \text{ N/mm}^2)^2}$$

$$\sigma_{\text{max y}} = 3,34 \text{ N/mm}^2$$

Dari hasil perhitungan faktor keamanan dibandingkan dengan hasil perhitungan *von mises*, maka dapat disimpulkan bahwa rangka besi hollow kotak ini aman untuk digunakan karena nilai besaran *von mises* lebih kecil dibandingkan dengan tegangan kerja maksimum, yaitu :

$$\sigma_{\text{kerja max}} > \text{Von Mises pada titik y}$$

$$122,5 \text{ MPa} > 3,34 \text{ Mpa}$$

k. pembuatan

Alat alat:

- Perlengkapan kunci kunci
- Gerinda potong
- Bor
- Mesin las listrik & gas
- Mesin drilling
- Blower 2inch
- Thermocouple

Bahan:

- Kaleng cat 25L
- Pasir refraktori
- Caremic paper
- krusible kapasitas 9,5kg Al
- Besi hollow kotak 30x30mm
- Pillow M22
- Selang gas
- Oli bekas
- Drigen 25L
- Keran air
- Pipa stainless steel

l. Proses Cor Pasir Refraktori

Siapkan kaleng cat. Lalu potong menggunakan gerinda dengan ukuran kurang lebih 200mm tingginya. Pasang ceramic paper di dinding dan dibawah kaleng dengan ketebalan 5mm berfungsi sebagai isolasi untuk meminimalisir panas yang terbuang dari dinding dan bawah kaleng. Dan diberi perekat agar tidak berubah posisi ceramic paper pada saat di cor oleh castable. Kemudian cor dinding dan bawah kaleng dengan pasir tahan panas yaitu pasir refraktori castable dengan nama material Tuffcrete25sic, dengan ketebalan dinding 20mm dan bawah 40mm menggunakan cetakan plastik perbandingan air 1,5-1,7Liter/25kg, setelah di cor, diamkan selama 1 hari agar

coran mengeras setelah itu cabut cetakan. Kemudian cor lagi bagian bawah untuk buat dudukan krusible dengan tinggi 40mm. Pasir tersebut kuat sampai dengan temperature 1600°C biasa dipakai di ladle peleburan logam besi. Setelah mengeras lalu bor untuk lobang as ukuran M22 ke pillow dan lubang masuknya oli ukuran pipa 1/2inchi.



(f)

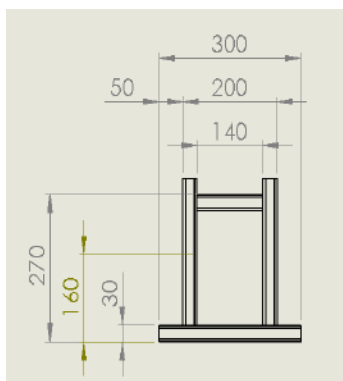


(g)

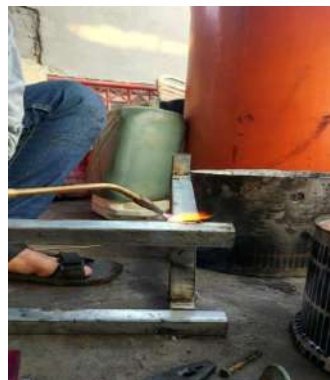
Gambar 3 proses cor dan bor tungku: (f) proses bor lubang (g) proses cor pasir refraktori

m. Proses Pembuatan Rangka

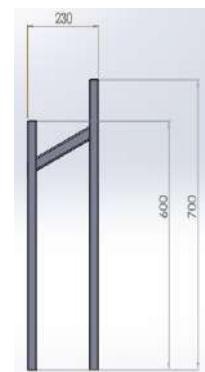
Siapkan besi hollow galvanis ukuran 6000x30x30mm lalu potong potong sesuai dengan desain menggunakan gerinda. Setelah di potong menjadi beberapa bagian masuk dalam proses pengelasan menggunakan mesin las di setiap sudut, kemudian setelah di las lalu di bor untuk membuat dudukan pillow dengan mesin drilling pasang pillow di rangka



(h)



(i)



(l)

Gambar 4 proses pembuatan rangka dan pengelasan: (h) desain rangka (i) proses pengelasan rangka pembuatan rangka blower (l)

n. Pengujian

Pengujian menggunakan material profil aluminium. selanjutnya profil aluminium bekas dipotong kecil-kecil agar mudah dimasukkan ke dalam krusible.

Tabel 1 hasil pengujian

Jam	temperature	Bahan bakar terpakai	Logam aluminium
0	35°C	0 Liter	2kg
1	210°C	1 Liter	2kg
2	455°C	3 Liter	3kg
3	610°C	6 Liter	4kg
4	525°C	8 Liter	4kg

5	507°C	10 Liter	4kg
---	-------	----------	-----



(m)

Gambar 7 temperature maksimal (m)

Dari hasil data di atas didapat kesimpulan yaitu 1 kali meleburkan aluminium dengan bahan bakar oli bekas membutuhkan waktu 5 jam untuk mencapai temperature 600°C dan membutuhkan 10 liter oli bekas dalam 1 kali meleburkan menggunakan blower daya 150 watt 3000 rpm

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil proses perancangan dan pengujian pada tungku peleburan logam menggunakan oli bekas ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Dari hasil perhitungan faktor keamanan dibandingkan dengan hasil perhitungan *von misses* maka dapat disimpulkan bahwa rangka besi hollow kotak ini aman untuk digunakan karena nilai besaran *von misses* lebih kecil dibandingkan dengan tegangan kerja maksimum.
- proses perancangan pembuatan tungku peleburan logam menggunakan metode vdi 2221.
- oli bekas bisa dijadikan sebagai bahan bakar untuk melebur logam.
- Dengan menggunakan bahan bakar oli bekas dengan desain seperti diatas temperature belum mencapai 800°C
- Dari desain yang dibuat oli bekas menghabiskan 10liter dalam 1kali peleburan dan membutuhkan waktu 5jam untuk pembakaran.
- Dari segi waktu masih belum efektif dengan menggunakan oli bekas untuk pembakaran logam yang temperature mencapai titik lebur diatas 600°C,

DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Perancangan Dan Pembuatan Tungku Peleburan Logam Dengan Pemanfaatan Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar*, Akhyar, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Jalan Syech Abd. Rauf No.7 Darussalam Banda Aceh, 23111
- [2] Mindar Yuntoro. Perancangan Alat Pengering Kertas Dengan Metode VDI 2221. Jurnal. Universitas Mercubuana. Jakarta. 2008.
- [3] *Rancangan Dapur Pelebur Untuk Melebur Aluminium Dan Paduannya Dengan Kapasitas 30kg Untuk Keperluan Lab.Foundry*, bramanta ginting Universitas Sumatera Utara Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Medan.
- [4] Teknik Pengecoran Logam Ir. Tata Surdia M.S. Met. E. *Lektor Kepala Institut Teknologi Bandung* Dr. Kenji Chijiwa *Guru Besar, Universitas Tokyo* P.T. PRADNYA PARAMITA JAKARTA 1982

-
- [5] Casting by ASM Handbook Vol 15
 - [6] *Studi Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun Khusus Oli Bekas Pada Bengkel Motor Di Kota Makassar*, Eva Lavenia Malia, Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa 2017
 - [7] *pengujian sifat temperatur pelunakan material refraktori silika (sio₂) pada lining tungku induksi peleburan besi cor*, Johan Alandria, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Tekni. Semarang, 2012
 - [8] Fukuzawa Yukichi , JIS G3101(2005) *carbon steel sheet and strip.pdf*
 - [9] Djoko W Karmiadi. Engineering Structural Static. Universitas Pancasila. Jakarta.
 - [10] Beer, Ferdinand P., E Russel Johnston, Jr., Mechanics of Materials, Mc Graw-Hill, USA. 1985.
 - [11] Standard Handbook Of Machine Design / editors in chief, Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, - 2nd ed. McGraw-Hill 1996.
 - [12] Machine Design Project Joseph p. Vidosic, ph.d The Ronald Press. New York 1957

SUBMISSION 43

Perancangan Dimensi Bagian Utama Turbin Uap Impuls Skala

Laboratorium

Hasan Hariri¹, dan Fadhli Zainal¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta, 12640, Indonesia

Abstrak. Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap air menjadi energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin dihubungkan dengan yang digerakan yaitu generator sebagai output dari putaran. Selanjutnya untuk mendapatkan putaran turbin yang diinginkan yaitu 2000-3000 rpm untuk menghasilkan listrik 50-100 watt dari generator dengan tekanan uap 3 bar atau 43 psi untuk skala laboratorium maka dalam penelitian ini akan dirancang dimensi bagian-bagian utama turbin satu tingkat yang terdiri dari jenis nosel, dimensi nosel, dimensi sudu gerak.

Kata Kunci: *turbin uap impuls skala laboratorium, prinsip kerja turbin, komponen utama turbin uap*

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan dan kemajuan di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi yang terjadi di era modern seperti saat ini memang berlangsung begitu pesat dan membawa dampak yang besar terhadap tingkat kesejahteraan hidup umat manusia di muka bumi ini.

Dari berbagai macam teknologi pembangkit listrik salah satunya adalah turbin uap. Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, untuk pembangkit tenaga listrik, dan untuk transportasi. Pengubahan energi potensial uap menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros dilakukan dengan berbagai cara.

Ide turbin uap ini sudah lama dan sudah umum diketahui bahwa kira-kira tahun 120 S.M. Hero di Alexandria membuat prototip turbin yang pertama yang bekerja berdasarkan prinsip reaksi. Beberapa abad kemudian pada tahun 1629, Giovanni Branca memberikan gambaran sebuah mesin yang dibuatnya. Mesin itu terdiri dari ketel uap, pipa yang panjang (nosel), roda mendarat dengan sudu-sudunya, poros dan raga gigi transmisi untuk menggerakkan kilang penumbuk. Uap yang dibangkitkan di dalam ketel sesudah diekspansikan pada nosel memperoleh kecepatan yang tinggi. Semburan uap yang berkecepatan tinggi ini menubruk sudu-sudu roda yang kemudian akan memutar roda. Kecepatan putar roda ini dan momen putarnya pada poros tergantung pada kecepatan dan jumlah aliran uap persatuan waktu.

Dari uraian di atas penulis mencoba untuk mengadakan penelitian dengan judul “PERANCANGAN DIMENSI BAGIAN UTAMA TURBIN UAP SKALA LABORATORIUM”

B. Tujuan

1. Merancang bagaimana cara kerja turbin uap dalam skala laboratorium
2. Menghasilkan rancang bangun turbin uap skala laboratorium

2. LANDASAN TEORI

*Corresponding author: fadli_rezpektor@yahoo.com

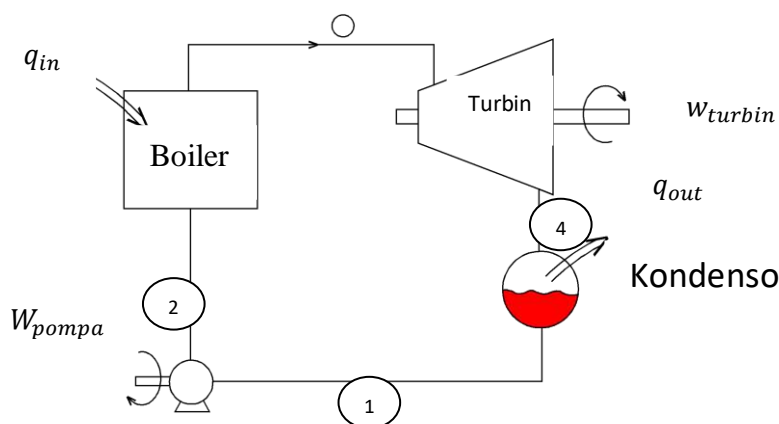
A. Turbin Uap

Turbin uap termasuk mesin tenaga dimana hasil konversi energinya dimanfaatkan mesin lain untuk menghasilkan daya. Di dalam turbin terjadi perubahan dari energi potensial uap menjadi energi kinetik yang kemudian diubah lagi menjadi energi mekanik pada poros turbin, selanjutnya energi mekanik diubah menjadi energi listrik pada generator

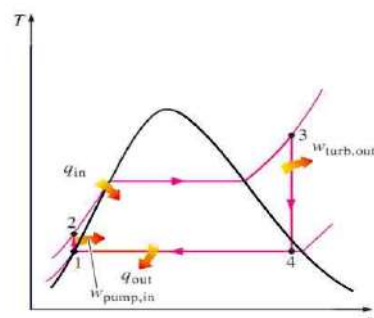
B. Analisis Turbin Uap

Turbin uap bersama-sama dengan ketel uap, pompa dan kondensor, di padukan untuk membentuk suatu siklus daya uap atau siklus rankine. Siklus ini menggunakan fluida dalam dua fasa yaitu cairan dan uap.

Diagram alir siklus Rankine sederhana dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 2.1 Diagram alir Siklus Rankine sederhana



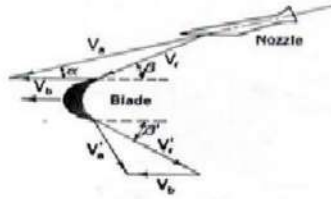
Gambar 2.2 Diagram T-s siklus Rankine sederhana

Proses termodinamika dalam siklus ini (Gambar 2.1 dan 2.2) dapat diterangkan sebagai berikut, yaitu: air dipompakan sehingga mencapai tekanan kerja ketel pada titik 2, kemudian pada ketel uap diberikan kalor pada tekanan konstan terhadap fluida sehingga mencapai keadaan titik 3, uap yang terjadi kemudian diekspansikan pada turbin sehingga mencapai titik 4, uap bekas dari turbin dikondensasikan di kondensator pada tekanan konstan sampai keadaan cair jenuh (titik 1) yang selanjutnya dipompakan kembali untuk air pengisian ketel.

Maka analisa pada masing-masing proses pada siklus untuk tiap satu- satuan massa dapat ditulis sebagai berikut:

- 1) Kerja pompa (W_p) = $h_2 - h_1 = v(P_2 - P_1)$
- 2) Penambahan kalor pada ketel (Q_{in}) = $h_3 - h_2$
- 3) Kerja turbin (W_T) = $h_3 - h_4$
- 4) Kalor yang dilepaskan dalam kondensator (Q_{out}) = $h_4 - h_1$

C. Kecepatan Uap Melalui Sudu Turbin Impuls



Gambar 2.3. Segitiga kecepatan turbin impuls

Pertama kali uap diekspansikan keluar nosel dimana nantinya dihasilkan kecepatan uap (V_a) yang akan memasuki sudu gerak pada turbin. Setelah uap memasuki sudu gerak pada turbin dan ikut berputar sehingga memiliki kecepatan (V_b). Agar aliran uap yang keluar dari nosel mempunyai efisiensi dan bebas dari tumbukan maka harus memiliki perbandingan (V_a) dan (V_b) yang tertentu, dengan demikian bisa didapat sudut masuk dan sudut keluar uap dengan tepat. Hal ini dapat dilihat pada gambar segitiga kecepatan uap yang melalui sudu turbin impuls, Gambar 2.3.

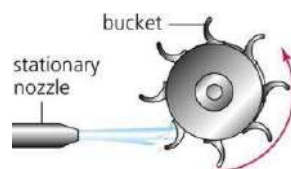
Dimana:

- V_a dan V_a' : kecepatan absolut uap masuk dan keluar sudu
- V_r dan V_r' : kecepatan relatif uap masuk dan keluar sudu
- V_b : kecepatan keliling sudu gerak
- α_1 dan α_2 : sudut absolut uap masuk dan keluar sudu
- β_1 dan β_2 : sudut relatif uap masuk dan keluar sudu

D. Turbin Uap Impuls

1. Cara Kerja

Prinsip kerja dari turbin impuls dapat dilihat dari contoh kincir air dan turbin uap. Turbin Impuls bekerja dengan prinsip impuls atau hantaman. Turbin jenis ini juga disebut dengan turbin tekanan sama, karena oleh aliran air atau uap yang ke luar dari nosel, tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer. Sebagai contoh pada gambar 2.2 adalah turbin impuls yang bekerja dengan prinsip hantaman, semua energi tinggi dan tekanan ketika masuk ke sudu turbin dirubah menjadi energi kinetik. Pancaran air atau uap tersebut yang akan menjadi gaya sentrifugal (F) yang bekerja pada sudu roda.



Gambar 2.2 Cara Kerja Turbin Impuls

- a) Berdasarkan prinsip kerjanya.
 1. Turbin aksi (*impuls*), yaitu turbin yang perputaran sudu-sudu geraknya karena dorongan dari uap yang telah dinaikkan kecepatannya oleh *nozzel*.
 2. Turbin reaksi, yaitu turbin yang perputaran sudu-sudu geraknya karena gaya reaksi sudu-sudu itu sendiri terhadap aliran uap yang melewatinya.
- b) Komponen utama pada turbin uap.
 1. Casing
Sebagai penutup (rumah) bagian utama turbin.
 2. Rotor adalah bagian turbin yang berputar terdiri dari :
 - a) Poros Berfungsi

Sebagai komponen utama tempat dipasangnya cakram-cakram sepanjang sumbu. Tegangan geser yang diizinkan untuk bahan poros dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$\tau_a = \sigma_b / S_f1 X S_f2 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Diameter poros d_p dihitung dengan persamaan:

$$d_p \left[\frac{5,1}{\tau_a} \times K_t \times C_b \times M_t \right]^{1/3} \text{ (mm)}$$

b) Sudu turbin atau deretan sudu

Berfungsi sebagai alat yang menerima gaya dari energi kinetik uap melalui nosel.

Besarnya jari-jari busur dari profil sudu baris pertama dapat dihitung dengan persamaan::

$$R_1 = \frac{b}{\cos\beta_1 + \cos\beta_2} \text{ (mm)}$$

Jarak bagi antara masing-masing sudu pada sudu gerak turbin dapat dihitung dengan persamaan:

$$t_1 = \frac{R_1}{\sin\beta_1 + \sin\beta_2} \text{ (mm)}$$

Jumlah sudu pada tingkat pertama dihitung dengan persamaan:

$$z_1 = \frac{\pi \cdot d}{t_1} \text{ (sudu)}$$

c) Cakram

Berfungsi sebagai tempat sudu-sudu dipasang secara radial pada poros.

3. Nosel

Berfungsi sebagai media ekspansi uap yang merubah energi potensial menjadi energi kinetik.

Penampang sisi keluar nosel:

$$f_1 \frac{G_0 \cdot V_1}{C_1} \text{ (m}^2\text{)}$$

Tinggi nosel : 1_n

Derajat pemasukan parsial uap:

$$\varepsilon = \frac{f_1}{\pi \times d \times 1 \times \sin\alpha_1}$$

Tinggi sisi masuk sudu gerak baris pertama:

$$1_1' = 1_n + 2$$

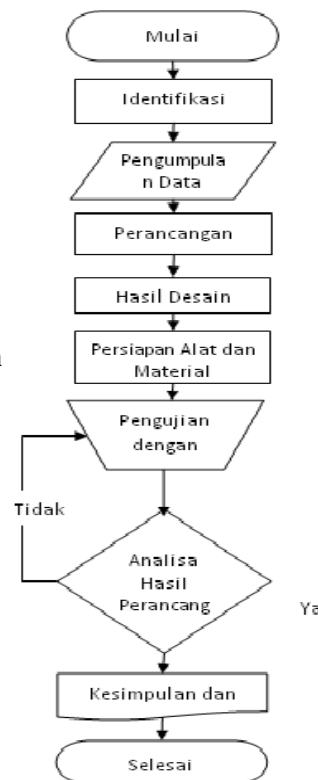
Tinggi sudu nosel baris pertama

$$1_1'' = \frac{G_0 \cdot V_1}{\pi \times d \times \varepsilon \times \sin\beta_2} \text{ (mm)}$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

A. Perancangan

Gambar 3.1 *Flow chart* Penelitian



B. Proses Perancangan

Teknik Mesin FTUP	Daftar Persyaratan Turbin Uap Impuls	Tanggal :
D/W	Persyaratan	
	Dimensi	
D	<ul style="list-style-type: none"> Ukuran konstruksi tidak memakan tempat karena untuk berada diruangan laboratorium Konstruksi mudah untuk dipindahkan 	
	Material	
D	<ul style="list-style-type: none"> Material yang digunakan untuk perancang turbin uap impuls mudah didapat serta aman digunakan 	
W	<ul style="list-style-type: none"> Umur Instalasi penggunaan yang lama 	
	Energi	
D	<ul style="list-style-type: none"> Putaran tinggi 2000 s/d 3000 rpm 	
D	<ul style="list-style-type: none"> Menghasilkan daya 50 s/d 100 watt 	
	Keselamatan	
D	<ul style="list-style-type: none"> Aman terhadap pengguna 	
	Perawatan	
D	<ul style="list-style-type: none"> Tidak memerlukan perawatan khusus 	
D	<ul style="list-style-type: none"> Pernggantian atau pemasangan komponen yang rusak mudah dilakukan 	

<p>Keterangan :</p> <p>D : Demand (Tuntutan)</p> <p>W : Wishes (Keinginan)</p>
--

Tabel 3.1 Daftar Persyaratan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

A. Perhitungan Ukuran Poros

Pada perencanaan ini poros mempunyai fungsi sebagai penghubung yang memindahkan daya dan putaran turbin serta tempat pemasangan cakram dan sudu, sehingga beban yang akan dialami poros ini adalah:

1. Beban lentur yang berasal dari berat sudu-sudu dan cakram
2. Beban puntir yang berasal dari cakram

Dalam perancangan poros dari segi kekuatan mekanis, tegangan-tegangan pada penampang terlemah diambil sebagai dasar pergitungan, yang antara lain:

- Penampang yang momen lenturnya terbesar
- Penampang yang momen puntirnya maksimal

Untuk poros putaran sedang dan beban berat digunakan baja paduan dengan pengerasan kulit. Untuk ini dipilih bahan poros adalah baja krom nikel JIS4102 SNC 21 yang memiliki kekuatan tarik 80 kg/mm².

Tegangan geser yang diizinkan untuk bahan poros dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$\tau_a = \sigma_b / S_f1 \times S_f2$$

Dimana: S_{f1} = Keamanan karena berat poros (untuk baja paduan 6)

S_{f2} = Faktor keamanan karena adanya pasak, poros dan konsentrasi tegangan (1,3-3,0), diambil sebesar 3,0

$$\begin{aligned} \tau_a &= \frac{80 \text{ kg/mm}}{6 \times 3,0} \\ &= 4,44 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Daya nominal (N) yang ditransisikan pada perancangan ini = 100 watt, jika di jadikan kW = 0,1 kW ,pada putaran (n) = 3000rpm. Maka besar momen torsi (M_t) [9] dapat dihitung persamaan :

$$M_t = 9,74 \cdot 10^5 \frac{N}{n}$$

$$M_t = 9,74 \cdot 10^5 \frac{0,1 \text{ kW}}{3000 \text{ rpm}}$$

$$M_t = 32,466 \text{ kg./mm}$$

Diameter poros d_p dihitung dengan persamaan:

$$d_p \left[\frac{5,1}{\tau_a} \times K_t \times C_b \times M_t \right]^{1/3}$$

dimana:

K_t = Faktor pembebanan (1,5 – 3,0), untuk beban kejutan dan tumbukan yang besar di ambil 2,2

C_b = Faktor pembebanan lentur (1,2 – 2,3) yang di ambil 2,2

$$d_p \left[\frac{5,1}{4,44} \times 2,2 \times 2,2 \times 32,466 \right]^{1/3}$$

$$= 12 \text{ mm}$$

Dari satndar yang ada maka dipilih diameter poros terkecil yang dipakai pada perencanaan ini adalah 12mm.

C. Perhitungan Sudu Turbin

Dalam perancangan ini ditetapkan lebar sudu gerak 22 mm
Besarnya jari-jari busur dari profil sudu baris pertama:

$$R_1 = \frac{b}{\cos\beta_1 + \cos\beta_2} = \frac{22}{\cos 27,15 + \cos 24,15} = 12,20 \text{ mm}$$

Jarak bagi antara masing-masing sudu pada sudu gerak turbin:

$$t_1 = \frac{R_1}{\sin\beta_1 + \sin\beta_2} = \frac{12,20}{\sin 27,15 + \sin 24,15} = 14,09 \text{ mm}$$

Jumlah sudu pada tingkat pertama

$$z_1 = \frac{\pi \cdot d}{t_1} = \frac{\pi \cdot 150}{14,09} = 33 \text{ sudu}$$

dimana :

d = diameter sudu rata-rata tingkat pertama

t = jarak bagi sudu

D. Perhitungan Nosel dan Sudu Gerak

Nosel adalah suatu laluan yang penampangnya bervariasi dimana pada nosel tersebut energi potensial uap dikonversikan menjadi energi kinetik berupa pancaran uap ke sudu gerak turbin. Dari penyelidikan-penyelidikan secara teoritis dan percobaan, ternyata bahwa uap yang mengalir melalui bagian nosel dengan penampang konvergen sewaktu berekspansi didalamnya hanya mencapai nilai minimum tertentu yang disebut tekanan kritis (P_{kr}) yang sama dengan 0,577 P_o untuk uap jenuh dan 0,546 P_o untuk uap panas lanjut. Kecepatan uap pada tekanan ini disebut kecepatan kritis.

Bila tekanan sesudah nosel lebih besar dari tekanan kritis $P_1 > P_{kr}$, maka ekspansi uap yang terjadi hanya sampai tekanan P_1 dan kecepatan uap pada sisi keluar tekanan ini lebih kecil dari kecepatan kritis, dalam hal ini digunakan nosel konvergen, sedangkan untuk mendapatkan tekanan isi keluar $P_1 < P_{kr}$ dan kecepatan superkritis $C_1 > C_{kr}$ digunakan nosel konvergen divergen.

Untuk menentukan jenis nosel yang digunakan dalam perencanaan ini, terlebih dahulu ditentukan harga-harga tekanan kritis P_{kr} pada tiap tingkat.

E. Tinggi Nosel dan Sudu Gerak

Kondisi uap pada tingkat pertama adalah uap panas lanjut, maka tekanan kritisnya:

$$P_{kr} = 0,546 \times P_o$$

$$= 0,546 \times 3 \text{ bar} = 1,638 \text{ bar}$$

dimana tekanan sesudah nosel $P_1 = 2 \text{ bar}$, karena P_1 lebih besar dr p_{kr} maka digunakan nosel konvergen

Penampang sisi keluar nosel:

$$f_1 \frac{G_0 V_1}{C_1} \text{ (m}^2\text{)}$$

dimana:

G_0 = masa aliran uap = 1,1 kg/det

V_1 = volume spesifik uap pada penampang sisi keluar = 0,210 m³/kg

C_1 = kecepatan aktual uap pada penampang sisi keluar = 685 m/det

$$f_1 \frac{1,1 \times 0,210}{685} = 0,00033 \text{ m}^2$$

Tinggi nosel disarankan diantara 10 mm-20 mm, dan derajat pemasukan parsial tidak kurang dari 0,2.

Dengan membuat tinggi nosel l_n sebesar 15 mm dapat diperoleh derajat pemasukan parsial uap:

$$\epsilon = \frac{f_1}{\pi \times d \times l_n \times \sin \alpha_1}$$

$$\epsilon = \frac{0,00033}{\pi \times 0,15 \times 15 \times 10^{-3} \times \sin 20^\circ} = 0,1365$$

Tinggi sisi masuk sudu gerak baris pertama dibuat sebesar:

$$l_1' = l_n + 2 = 17 \text{ mm}$$

Tinggi sudu nosel baris pertama

$$\begin{aligned} l_1'' &= \frac{G_0 V_1}{\pi \times d \times \epsilon \times w_2 \times \sin \beta_2} \\ &= \frac{1,1 \times 0,210}{\pi \times 0,15 \times 0,1365 \times 453,165 \times 24,15} \\ &= 0,01937 \text{ m (19,37mm)} \end{aligned}$$

Untuk bahan nosel diambil dari aluminium yang sama dengan bahan sudu karena dari kondisi uap yang masuk merupakan uap panas lanjut, sehingga material yang dipilih adalah Aluminium 2024 Alloy (UNS 092024) dengan tegangan tarik dan lentur total akibat gaya sentrifugal adalah sebesar 3303,88 kg/cm² atau 46992,2 psi, jadi pemilihan bahan dan material sudah aman.

5. KESIMPULAN

A. KESIMPULAN

Dari perhitungan-perhitungan yang dilakukan, maka dapatlah dibuat beberapa kesimpulan yaitu:

1. Dimensi bagian utama turbin uap:
 - a. Poros

- Diameter = 12 mm
 - Panjang = 10 mm
 - Bahan = JIS 4102 SNC 21
- b. Nosel
- Jenis nosel = Konvergen
 - Jumlah nosel = 1
 - Tinggi = 15 mm
 - Lebar = 4,48 mm
- c. Sudu gerak
- Jumlah = 33 buah
 - Tinggi sisi masuk = 17 mm
 - Tinggi sisi keluar = 19,37

6. DAFTAR PUSTAKA

- 1 P.Shlyakhin “Turbin Uap (*Steam Turbines*) Teori dan Rancangan”. Zulkifli Harahap, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993
- 2 Saptodoso Admigroho “Rancang Bangun Yoke Pada Simulator Pesawat Caesna 172 Dengan Metode Vdi 221”, 2017
- 3 Sularso, Kiyokatsu Suga, Dasar perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Pradnya Paramita, Jakarta, 1994.
- 4 Mafruddin “Studi Eksperimental Sudut Nosel Dan Sudut Sudu Terhadap Kinerja Turbin Cross-Flow Sebagai Pltmh Di Desa Bumi Nabung Timur” Program Pascasarjana Magister Teknik Mesin Universitas Lampung ,2016.

SUBMISSION 74

Perancangan Konsep Alat Bantu Penangkapan Ikan (*Fishing Deck Machinery*) Tipe Hidrolik untuk Kapal > 5 GT

A. Suwandi^{1*}, D.L. Zariatini¹, B. Sulaksono¹, E. Prayogi¹, dan Anggada¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Srengseng Sawah, Jagakarsa, 12640 Jakarta

Abstrak. Indonesia adalah negara kepulauan dengan wilayah perairan mencapai tiga perempat dari total luas wilayah. Perairan merupakan sarana penghubung antar pulau, dan merupakan sumber kekayaan kelautan dan perikanan yang melimpah. Untuk dapat melintasi, mengeksplorasi dan memanfaatkan perairan sebagai sarana transportasi dan produksi perikanan di Indonesia maka diperlukan kapal yang memiliki alat bantu penangkapan ikan (*fishing deck machinery*) dalam meningkatkan efektifitas operasi. Permasalahan yang ada saat ini adalah mahalannya harga alat bantu penangkapan ikan karena masih harus diimpor, serta biaya perawatan yang memberatkan nelayan. Sedangkan produk lokal alat bantu penangkapan ikan yang ada masih harus ditingkatkan dari sisi rancangan serta kualitas manufakturnya. Tulisan ini, akan membahas tentang perancangan konsep alat bantu penangkapan ikan (*fishing deck machinery*) tipe hidrolik. Alat ini berfungsi sebagai alat bantu angkat hasil tangkapan ikan bagi nelayan dengan berat kapal > 5 GT. Metode perancangan yang digunakan adalah Ulrich & Eppinger. Berdasarkan hasil perancangan didapatkan 3 (tiga) varian rancangan alat bantu penangkapan ikan dengan kesamaan gerak dapat berputar 180° dari posisi awal.

Kata kunci—*konsep rancangan; alat bantu; penangkapan ikan.*

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah Negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki sekitar 17.508 pulau dan garis pantai sepanjang 81.290 km yang disatukan oleh laut seluas 5,8 juta km² yang terdiri dari perairan kepulauan dan teritorial seluas 3,1 juta km² serta perairan Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia (ZEEI) seluas 2,7 juta km² [1]. Berdasarkan fakta tersebut, Indonesia memiliki potensi pembangunan perikanan dan kelautan yang sangat besar dan menjadi salah satu sumber bagi pertumbuhan ekonomi nasional. Hal ini dapat terjadi karena adanya daya dukung berupa: (1) Kapasitas suplai yang besar, dengan dukungan permintaan yang terus meningkat; (2) *Output*-nya berupa ikan dan industri pengolahan perikanan dapat diekspor, pada sisi lain *input*-nya berasal dari sumber daya domestik; (3) Memiliki potensi industri hulu dan hilir yang besar sehingga mampu menyerap banyak tenaga kerja dalam jumlah yang besar; (4) Produknya memiliki sifat dapat diperbaharui, sehingga mendukung bagi pembangunan berkelanjutan [2].

Potensi sumber daya ikan di Indonesia diperkirakan adalah 6,4 juta ton per tahun, dari jumlah tersebut 1,26 juta ton diperoleh dari Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia (ZEEI) [1]. Dengan melimpahnya sumber daya ikan, maka seharusnya pendapatan nelayan sangatlah memadai untuk mencukupi kebutuhan hidupnya. Namun dalam kenyataannya tidaklah demikian, kemiskinan masih menjadi bagian dari kehidupan nelayan. Hal ini disebabkan karena minimnya modal yang dimiliki nelayan. Salah satu solusi yang telah dilakukan oleh pemerintah Indonesia salah satunya adalah memberikan bantuan kapal penangkapan ikan yang berukuran ≤10 GT agar mereka dapat melakukan penangkapan ikan dengan jangkauan lebih jauh dari sebelumnya.

Masyarakat nelayan di Indonesia terutama di kawasan pesisir masih melaksanakan kegiatan di laut secara tradisional, seperti menangkap ikan dengan jala, pancing dan lainnya sehingga secara ekonomi mereka masih kurang beruntung, padahal kalau dilihat dari hasil penangkapan di laut secara keseluruhan sangat banyak. Permasalahan yang ada alat bantu tangkap ikan merupakan produk impor dan membutuhkan perawatan yang tidak mudah dan tidak murah [3].

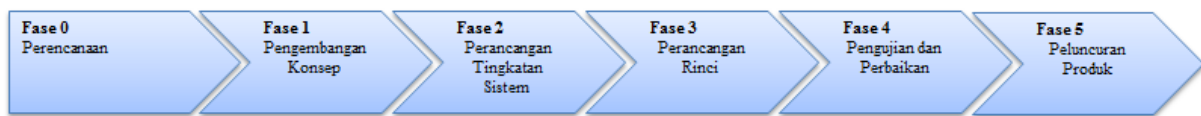
Alat bantu tangkap ikan tipe hidrolik adalah sebuah alat yang membantu kerja nelayan untuk mengangkat hasil tangkapan ke atas kapal [4]. Berdasarkan penelitian Cahyadi & Suwandi [5], untuk kapal > 5 GT sudah banyak digunakan oleh nelayan yang bekerja pada perusahaan kecil menengah perikanan tangkap dan hal tersebut belum diakomodir oleh pemerintah pusat. Pemerintah hanya menyediakan alat bantu tangkap ikan

* Corresponding author: agrisuwandi@univpancasila.ac.id

untuk kapal < 5 GT, yaitu dengan memberika secara cuma-cuma alat bantu tersebut. Tipe alat batu tangkap ikan yang dieberikan pemerintah merupakan tipe manual atau dengan kata lain digerakan oleh tenaga manusia. Sedangkan untuk alat bantu tangkap ikan tipe hidrolik untuk kapal nelayan kapal > 5 GT belum banyak diteli atau pun dilakukan pengembangan. Penelitian yang dilakukan merupakan bagian dari peta jalan penelitian teknologi tepat guna di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila. Tulisan ini, menjelaskan tentang perancangan konsep alat bantu penangkap ikan (*fishing deck machinery*) tipe hidrolik yang nantinya dapat di manufaktur dan di uji fungsional sebagai bagian dari program Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP).

2. METODE PERANCANGAN

Perancangan dan pengembangan produk merupakan aktivitas panjang yang melibatkan seluruh divisi atau bagian dalam suatu perusahaan. Adapun metode perancangan dan pengembangan produk yang digunakan dalam riset ini adalah metode yang dikembangkan oleh Ulrich dan Eppinger [6]. Dimana metode ini menerapkan proses pengembangan produk secara berkesinambungan yang terdiri dari 6 (enam) fase yang tergambar dalam Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 Enam fase perancangan dan pengembangan produk menurut Ulrich dan Eppinger [6]

Dalam tulisan ini perancangan dan pengembangan produk *fishing deck machinery* yang dilakukan ada pada fase 1, yaitu: pengembangan konsep dalam tahap ini, merupakan fase yang paling panjang dan sangat menentukan produk yang akan dihasilkan nanti. Berikut tahapan-tahapan pada setiap proses perancangan konsep yang dilakukan:



Gambar 2 Tahapan perancangan konsep

a. Identifikasi Kebutuhan

Pada tahap ini dilakukan identifikasi terhadap kebutuhan pelanggan atau pengguna dengan mempertimbangkan kekurangan produk alat bantu penangkapan ikan yang ada saat ini, kekurangan tersebut antara lain: harga alat bantu penangkapan ikan yang cukup mahal, bentuknya yang tetap (*fix*) atau tidak fleksibel [7], komponen impor serta proses perawatan yang sulit, karena konstruksi yang tetap [8] dan yang paling penting adalah masalah keamanan alat bantu penangkapan ikan tersebut [9]. Tujuan tahap ini adalah untuk mencari keinginan pelanggan dan untuk membangun komunikasi antar pelanggan dan pengembang. Hasil dari hubungan ini adalah mengetahui secara pasti, tahapan serta apa-apa yang diinginkan oleh pelanggan dari produk yang akan dikembangkan.

Di dalam rancangan alat bantu penangkapan ikan ini, hal yang juga harus diketahui adalah identifikasi kebutuhan pemakai sebagai parameter untuk mengetahui sejauh mana permasalahan yang ada sampai saat ini, disamping juga untuk mengetahui fungsi dan cara kerja serta perawatan dari alat bantu penangkapan ikan yang ada. Kegunaan identifikasi pelanggan adalah menjamin saluran informasi antara kebutuhan pasar dengan tim pengembang. Dengan cara demikian diharapkan akan menjamin kepuasan pelanggan sebagai pemakai dan sesuai dengan spesifikasi teknis dan spesifikasi lainnya. Terdapat beberapa faktor penting

produk alat bantu penangkapan ikan yang harus diperhatikan sesuai juknis alat bantu penangkap ikan dari kementerian kelautan dan perikanan antara lain [10]: (1). Dimensi dan Bentuk *net hauler* [11]; (2). Spesifikasi alat; serta (3). Material. Dari data tersebut dapat dibuat daftar kehendak yang merupakan spesifikasi alat bantu penangkapan ikan dan berdasarkan kuesioner survei dan wawancara yang dilakukan, maka diperoleh suatu bentuk pernyataan dari keinginan sehingga dapat dibuatkan suatu matrik kebutuhan.

b. Penentuan Spesifikasi Target

Tahap perancangan alat bantu penangkapan ikan selanjutnya adalah tahap Penentuan Spesifikasi Target. Spesifikasi Target yang akan dibuat didasarkan konsep fleksibel atau *knockdown* dari sisi penggunaan sumber penggerak serta konstruksi dari alat bantu penangkapan ikan tersebut. Selain hal tersebut diatas, gaya dan moment yang menjadi spesifikasi target dari produk alat bantu penangkapan ikan, menjadi hal yang perlu diperhitungkan.

c. Merancang Konsep Produk

Tahap ini merupakan bagian dari tahap desain konsep dan detail desain. Konsep Produk dilakukan dengan terlebih dahulu mengkategorikan spesifikasi desain yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya. Tahapan ini adalah langkah dimana semua kebutuhan dan kehendak pelanggan terdokumentasi, hal ini merupakan hasil dari penentuan dari pelanggan (*Identifying Customer Needs*). Disini digunakan sistim informasi sederhana yang dapat disusun dengan menggunakan daftar kebutuhan. Dari informasi ini akan diperoleh data yang tepat untuk menentukan spesifikasi dari produk yang baru atau dikembangkan. Spesifikasi produk sedapat mungkin berbeda dengan produk pesaing dan harus layak secara teknis maupun ekonomis.

3. HASIL

a. Identifikasi Kebutuhan

Perencanaan produk merupakan proses awal dari pengembangan produk. *Output* dari proses ini adalah pernyataan misi proyek, yang merupakan *input* yang dibutuhkan untuk memulai tahap pengembangan konsep dan merupakan suatu petunjuk untuk tim pengembangan. Untuk memberikan petunjuk yang jelas untuk organisasi pengembangan produk, biasanya tim memformulasikan suatu definisi yang lebih detail dari pasar target dan asumsi – asumsi yang mendasari operasional tim pengembangan. Keputusan – keputusan mengenai hal ini akan terdapat pada suatu pernyataan misi (*mission statement*). Berikut dalam Tabel 1 diperlihatkan pernyataan misi dari alat bantu penangkapan ikan.

Tabel 1 Pernyataan Misi

Pernyataan Misi: alat bantu penangkapan ikan	
Deskripsi Produk	Sebagai alat bantu untuk mengangkat hasil tangkapan ikan
Sasaran Bisnis Kunci	Penjualan produk mencapai 25% di pasar utama
Pasar Utama	Bidang kelautan dan perikanan
Pasar Sekunder	Nelayan pesisir
Asumsi – Asumsi dan Batasan – Batasan	<ul style="list-style-type: none"> • Mudah digunakan • Perawatan mudah
Pihak yang Terkait	<ul style="list-style-type: none"> • Pembeli dan pengguna • Tenaga penjual

Deskripsi produk adalah sebagai alat bantu nelayan untuk mengangkat hasil tangkapan dari laut ke atas kapal. Sasaran Bisnis Kunci adalah penjualan produk mencapai 25% pada pasar utama karena tidak semua orang akan membeli dan menggunakan alat bantu tangkap ikan sehingga diambil sebesar 25% produk diluncurkan. Pasar Utama adalah produk alat bantu tangkap ikan di bidang kelautan dan perikanan, karena pemakaian yang hanya dipakai untuk mengangkut hasil tangkapan ikan. Pasar Sekunder adalah nelayan karena nelayan salah satu pengguna utama alat ini untuk membantu memudahkan mengangkat hasil tangkapan ikan yang didapat. Asumsi – asumsi dan batasan – batasan dari produk alat bantu tangkap ikan ini yaitu perawatan yang mudah, mudah digunakan. Asumsi dan batasan ini ada karena produk dapat menghasilkan uang dibuat harus sesuai fungsi dan apabila terdapat fungsi yang terlalu banyak maka produk tersebut akan meyimpang dari fungsi utamanya. Pihak – pihak yang terkait, seperti pembeli dan pengguna

merupakan peran yang terpenting sebagai stakeholder dari produk alat bantu tangkap ikan yang akan dibuat, yang juga merupakan sasaran utama, mempengaruhi keberhasilan dan kegagalan produk yang dikembangkan karena produk alat bantu tangkap ikan ditujukan bagi konsumen di bidang kelautan. Tenaga penjual merupakan yang menjual kembali produk alat bantu tangkap ikan yang akan diluncurkan ke berbagai tempat atau daerah.

Menginterpretasikan data mentah menjadi kebutuhan pelanggan. Kebutuhan pelanggan diekspresikan sebagai pernyataan tertulis dan merupakan hasil interpretasi kebutuhan yang berupa data mentah yang diperoleh dari pelanggan seperti yang tersaji dalam Tabel 2.

Tabel 2 Interpretasi kebutuhan pelanggan

No	Pernyataan Kebutuhan	Interpretasi
1	Alat bantu tangkap ikan mempermudah dalam mengangkat ikan hasil tangkapan ke atas kapal	Berbentuk tiang dengan sumber penggerak motor
2	Perawatan yang mudah	Bongkar pasang komponen mudah
3	Harga yang terjangkau	Biaya produksi yang murah
4	Lama pemakaian tidak berpengaruh dalam pengoperasian	Umur pakai yang panjang
5	Alat yang aman	Diberikan pelindung pada bagian-bagian yang memungkinkan ada resiko bahaya
6	Tampilan alat yang modern	Desain model tidak kaku
7	Alat tidak cepat rusak	Material yang kuat dan desain yang kokoh

Setelah didapat interpretasi data kebutuhan pelanggan, langkah selanjutnya adalah mengorganisasikan kebutuhan hierarki untuk memperoleh spesifikasi awal rancangan seperti yang terlihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Daftar kebutuhan hierarki

Alat bantu tangkap ikan mempunyai cukup banyak tenaga dari mesin penggerak yang digunakan untuk mengangkat hasil tangkapan ke atas kapal: <ul style="list-style-type: none"> Alat bantu tangkap ikan memudahkan proses pengangkatan hasil tangkapan Alat bantu tangkap ikan mampu menahan beban berat dari hasil tangkapan 	Alat bantu tangkap ikan aman digunakan: <ul style="list-style-type: none"> Alat bantu tangkap ikan tidak membahayakan bagi pengguna
Alat bantu tangkap ikan memiliki keuntungan dengan perawatan yang mudah	Alat bantu tangkap ikan mudah saat penggunaan : <ul style="list-style-type: none"> Alat bantu tangkap ikan mempunyai bentuk yang sederhana
Alat bantu tangkap ikan membantu memudahkan pekerjaan dalam menangkap ikan : <ul style="list-style-type: none"> Ikan dapat diangkat dalam jumlah besar 	Sumber energi penggerak untuk alat bantu tangkap ikan mudah didapat

b. Spesifikasi Target Produk

Spesifikasi produk dibuat setelah melakukan perencanaan produk. Yang pertama dilakukan adalah dengan membuat kebutuhan pelanggan dengan derajat bobot kepentingan. Hal yang perlu diperhatikan adalah batas berat beban yang mampu ditanggung oleh alat bantu yang dirancang minimal 600 kg, yang terdiri dari asumsi berat jaring, berat hasil tangkapan ikan, serta berat air. Tabel 4 memperlihatkan kebutuhan pelanggan dengan derajat kepentingan. Rentan bobot dari 1 – 10 dimana 1 adalah bobot terendah dan 10 adalah nilai bobot tertinggi. Sedangkan Tabel 5 menjelaskan derajat kepentingan metrik diturunkan dari derajat kepentingan kebutuhan yang direfleksikannya. Kebutuhan metrik akan mempengaruhi derajat kepuasan pelanggan dengan alat bantu tangkap ikan yang akan dibuat. Tabel 6 menunjukkan informasi tentang pesaing adalah hal yang perlu dilakukan untuk mengetahui posisi produk kita dipasaran. Dengan target spesifikasi yang diperoleh, maka dapat membandingkan produk rancangan dengan produk pesaing.

Dari data-data yang sudah diperoleh, maka didapatkan beberapa varian konsep rancangan alat bantu penangkapan ikan. Dalam tulisan ini hanya membahas 3 (tiga) rancangan varian konsep dari alat bantu penangkapan ikan yang dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 4 Kebutuhan pelanggan dengan derajat kepentingan

No	Pernyataan Kebutuhan	Bobot Kepentingan
1	Mampu menahan beban berat	4
2	Proses yang mudah saat pemakaian	5
3	Alat bantu tangkap ikan tidak mudah rusak	4
4	Perawatan alat bantu tangkap ikan yang mudah	4
5	Pemakaian yang aman	4
6	Harga yang terjangkau	5
7	Sumber energi penggerak yang mudah didapat	5
8	Memudahkan pekerjaan	5
9	Pengoperasian yang tidak sulit	5
10	Memiliki dua sistem penggerak, manual dan otomatis	5
11	Bentuk yang sederhana	5
12	Penggantian komponen dengan mudah	4
13	Alat yang mencakup starata sosial semua pengguna	4

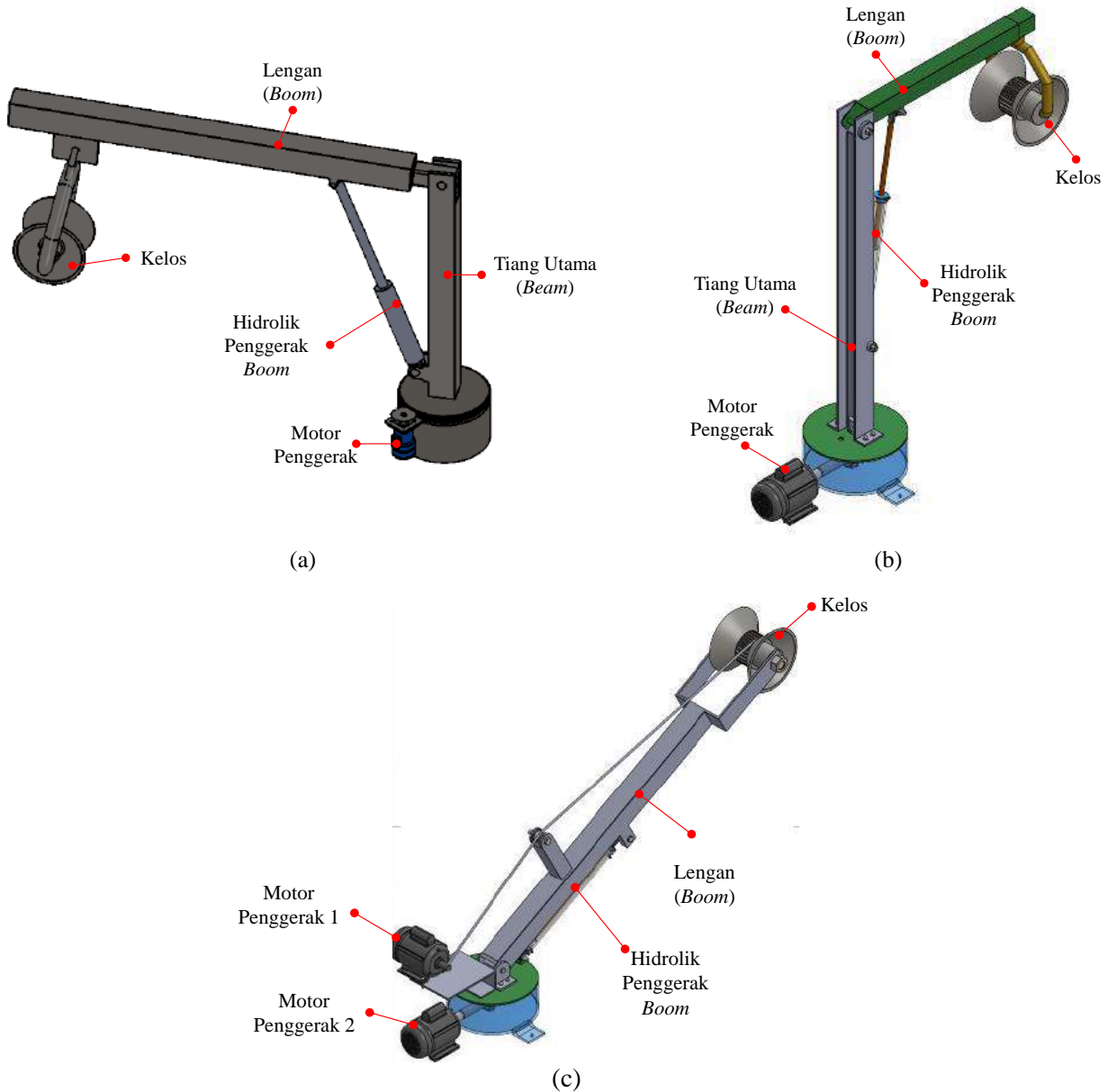
Tabel 5 Daftar matrik kebutuhan

No	Kebutuhan	Metrik	Bobot Kepentingan	Satuan
1	1	Kekuatan menahan beban	5	kN
2	6	Biaya produksi per unit	4	Rp.
3	3,4,12	Alat untuk perawatan	5	-
4	11	Dimensi alat	4	mm
5	11	Massa total	4	kg
6	11	Ukuran unit keseluruhan	4	mm
7	8	Waktu pemasangan	4	s
8	11	Panjang <i>base</i>	4	mm
9	10,13	Keunggulan	5	-
10	2,4,5,8,9	Proses pemakaian	5	-

Tabel 6 Analisis pesaing

No	Kebutuhan	Metrik	Bobot Kepentingan	Satuan	Pesaing
1	1	Kekuatan menahan beban	5	kN	150
2	6	Biaya produksi per unit	4	Rp.	700 jt
3	3,4,12	Alat untuk perawatan	5	-	-
4	11	Dimensi alat	4	mm	800
5	11	Massa total	4	kg	500
6	11	Ukuran unit keseluruhan	4	mm	2200
7	8	Waktu pemasangan	4	s	s
8	11	Panjang <i>base</i>	4	mm	1500 x 1800
9	10,13	Keunggulan	5	-	
10	2,4,5,8,9	Proses pemakaian	5	-	

Konsep varian 1 ini menggunakan profil besi pejal dengan panjang 2303,59 mm dan tinggi 1810 mm. dengan mesin penggerak motor hidrolik untuk memutar alat searah maupun berlawanan arah jarum jam. Untuk konsep varian 1, konsep varian 2 hanya berbeda dari sumber tenaga saja. Sumber tenaga yang digunakan pada konsep varian 2 yaitu, motor listrik sebagai sumber tenaga penggerak putaran utamanya. Sedangkan pada konsep varian 3 jauh berbeda bentuk dari konsep varian 1 dan 2, karena bentuk *base* untuk menahan kelos yang miring. Menggunakan sumber tenaga penggerak putaran mesin motor listrik dengan penarik kelos menggunakan motor listrik.



Gambar 3 Konsep varian alat bantu penangkapan ikan tipe hidrolik ; (a) Varian 1; (b) Varian 2; (c) Varian 3

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan didapatkan 3 (tiga) varian rancangan, yaitu: (1) Varian 1 memiliki konsep lengan yang bisa memanjang dengan ketinggian yang tetap; (2) Varian 1 memiliki konsep lengan pendek namun dapat terangkat $\pm 35^\circ$ dari posisi tegak lurus lengan; dan (3) Varian 3 dengan konsep gerak angkat lengan hingga $\pm 60^\circ$ dari posisi tegak lurus lengan, ditambah dengan dua motor penggerak. Semua varian memiliki kemampuan berputar 180° dengan motor penggerak yang berada pada bagian bawah. Untuk mendapatkan varian konsep terpilih dibutuhkan penilai bobot dari hasil penyebaran kuesionair kepada para pengguna, kemudian dilakukan perhitungan teoritis untuk penentuan komponen utama serta dilakukan tahap pembuatan dan tahap pengujian pada konsep rancangan alat bantu penangkapan ikan yang telah dirancang,

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih ditujukan kepada KEMENRISTEKDIKTI sebagai pemberi dana penelitian dalam skema hibah “Penelitian Unggulan Terapan Perguruan Tinggi” nomor kontrak 107/SP2H/LT/DRPM/IV/2018 serta LPPM Universitas Pancasila sebagai pemberi tugas pelaksanaan penelitian dengan nomor kontrak 2104/LPPM/UP/III/2018.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. K. D. P. (KKP). *Program Kajian Stok Ikan Nasional* (Kementrian Kelautan dan Perikanan (KKP). Jakarta, 2017)
- [2] BSN, *Istilah dan definisi - Bagian 13: Alat bantu penangkapan ikan (SNI 7277.13:2008)* (Badan Standardisasi Nasional Indonesia, Jakarta, 2008)
- [3] A. S. Tanjung and A. Suwandi. *Manufaktur Alat Bantu Penangkapan Ikan (Fishing Deck Machinery) Produksi Dalam Negeri. Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Jakarta, Indonesia, (2017)*
- [4] M. N. Mosdell. United States of America Patent US 20130341578 A1, 2013.
- [5] R. Cahyadi and A. Suwandi. *Perancangan Alat Bantu Penangkap Ikan (Fishing Deck Machinery) untuk Peningkatan Produktifitas Nelayan. Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Jakarta, Indonesia (2017)*
- [6] Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D., *Product Design and Development. 4nd ed. s.l (McGrawHill, USA, 2008)*
- [7] Mosdell, M. N., United States of America, Patent No. US 20130341578 A1. 2013.
- [8] Zhihong, M., China, Patent No. CN 102907381 B. 2015.
- [9] Yong, X., China, Patent No. CN 102673745 B. 2014.
- [10] Saifudin, *Petunjuk Teknis Bantuan Sarana Penangkap Ikan* (Direktorat Jendral Perikanan Tangkap Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2016)
- [11] Cui. China, Patent No. CN 202799920 U. 2013.

SUBMISSION 2

Rancang Bangun Sistem Informasi Penyewaan Mobil pada Abu Sulaiman *Rent Car*

Muhammad Hisyam Alfarisy¹, dan Anita Diana^{1,*},

¹Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Budi Luhur, 12260 Kebayoran Lama, DKI Jakarta, Indonesia

Abstrak: Semakin berkembangnya sistem informasi, semakin bertambah pula kebutuhan akan sistem informasi tersebut. Hal itulah yang menjadi faktor pendorong bagi pertumbuhan dan kemajuan suatu perusahaan agar dapat bersaing menjadi sebuah perusahaan yang kompetitif. Abu Sulaiman *Rent Car* merupakan badan usaha yang bergerak dalam bidang pelayanan penyewaan mobil. Sampai saat ini masalah yang ada yaitu kesulitan mengecek jadwal penyewaan, sulitnya dalam mengevaluasi pelanggan yang membatalkan penyewaan, kesulitan dalam mengevaluasi pendapatan denda, kesulitan dalam mengetahui rekapitulasi pendapatan, pembuatan laporan yang memakan waktu lama, kesulitan dalam mencari data pelanggan, tidak ada informasi mobil yang tersedia, perhitungan harga transaksi yang memakan waktu lama dan informasi pada dokumen kurang informatif. Dengan merancang sistem penyewaan mobil yang terkomputerisasi dengan memanfaatkan teknologi, diharapkan mampu menyelesaikan masalah yang ada. Sehingga kegiatan pembuatan dokumentasi laporan menjadi lebih baik. Perancangan sistem berjalan akan dilakukan dengan menggunakan metodologi berorientasi objek untuk memecahkan masalah sehingga teridentifikasi informasi yang dibutuhkan oleh Abu Sulaiman *Rent Car* agar lebih efektif, efisien dan akurat. Selanjutnya akan dilakukan pembangunan sistem penyewaan mobil berbasis *desktop* yang terkomputerisasi dengan menggunakan *Microsoft Visual Studio 2008*, *MySQL* dan *Tools* lainnya.

Kata kunci- berorientasi objek; sistem desktop; sistem informasi penyewaan mobil

1. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi informasi berkembang dengan pesat pada zaman sekarang ini, dimana kebutuhan akan informasi menjadi sesuatu yang penting. Persaingan usaha yang semakin ketat dan perkembangan dunia bisnis yang semakin pesat mendorong suatu perusahaan untuk selalu meningkatkan kualitas dan pelayanan kepada konsumennya agar perusahaan tersebut bisa bertahan dengan ketatnya persaingan bisnis [1]. Untuk itu diperlukan suatu alat atau cara yang dapat menunjang kegiatan bisnis agar dapat bersaing dengan bisnis lain. Salah satunya dengan memanfaatkan informasi yang ada agar dapat mendukung proses bisnis atau kegiatan yang ada pada suatu organisasi.

Alat transportasi yang dikenal selama ini seperti mobil telah menjadi bagian dari kehidupan di dunia ini. Saat ini transportasi memegang peranan yang sangat penting dan strategis dalam mendukung segala aspek kehidupan, baik di bidang ekonomi, sosial-budaya, politik, maupun pertahanan dan keamanan negara.

Abu Sulaiman *Rent Car* merupakan badan usaha yang bergerak dalam bidang pelayanan penyewaan mobil. Sewa menyewa merupakan kegiatan yang mana suatu pihak dengan pihak yang lain mengikatkan diri untuk memberikan kenikmatan suatu barang kepada pihak yang lain selama waktu tertentu, dengan pembayaran suatu harga yang disanggupi oleh pihak tersebut [2]. Berbagai jenis mobil disewakan oleh Abu Sulaiman *Rent Car*. Dengan jumlah mobil yang cukup banyak Abu Sulaiman *Rent Car* yang hingga saat ini masih menggunakan sistem manual, selalu menemui kendala yang menyebabkan fungsi dan dukungan terhadap pencapaian kinerja perusahaan belum optimal. Adapun masalah yang sering terjadi antara lain, staf admin kesulitan dalam mengecek jadwal penyewaan mobil, hal ini disebabkan oleh pencatatan jadwal yang tidak berurutan secara tanggal di papan jadwal. Sehingga apabila pelanggan yang menyewa mobil dengan jumlah yang banyak, akan memakan waktu yang lama dalam pelayanan terhadap proses penyewaan mobil. Lalu tidak adanya beberapa laporan seperti laporan pendapatan permobil, laporan pengembalian penyewaan mobil, laporan pembatalan penyewaan, laporan denda kerusakan dan denda telat. Sehingga adanya kerugian karena pemilik sulit dalam mengevaluasi kinerja perusahaan yang menyebabkan pelanggan kecewa.

*Corresponding author: anita.diana@budiluhur.ac.id

Berdasarkan masalah di atas, maka sistem informasi penyewaan mobil yang handal sangat diperlukan guna meningkatkan efektifitas pengelolaan data sehingga dapat menghasilkan informasi yang lengkap pada saat diperlukan, sehingga pemilik dapat mengontrol jalannya kegiatan usaha. Penelitian ini bertujuan membangun model sistem informasi penyewaan mobil yang mampu mengakomodir kebutuhan perusahaan. Sistem yang dibangun mampu mengolah informasi penyewaan mobil secara cepat dan tepat, antara lain meliputi proses penyewaan mobil, pembayaran penyewaan mobil, pembatalan penyewaan mobil, pengembalian penyewaan mobil dan pembuatan laporan.

Sistem informasi penyewaan mobil ini memiliki manfaat dan kontribusi cukup besar. Sistem dibangun berbasis *desktop* menggunakan bahasa pemrograman *VB.NET* yang mempunyai fasilitas penanganan *error* yang hebat. Sistem ini juga tidak memerlukan koneksi internet sehingga memiliki performa yang baik karena tidak memerlukan waktu untuk arus data dari server atau sebaliknya. Serta lebih aman dari gangguan pencurian data maupun serangan virus.

Oleh karena itu, penulis mencoba untuk mengusulkan sebuah rancang bangun sistem informasi penyewaan mobil pada Abu Sulaiman *Rent Car*. Dengan adanya usulan yang penulis buat, dapat diharapkan membantu menyelesaikan permasalahan yang dihadapi oleh Abu Sulaiman *Rent Car*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

a. Jenis Data

- 1) Data kualitatif, data yang disajikan dalam bentuk kata verbal bukan dalam bentuk angka. Yang termasuk data kualitatif dalam penelitian ini yaitu deskripsi mengenai gambaran umum pada Abu Sulaiman *Rent Car*. Analisa kualitatif penelitian ini menggunakan model perancangan sistem.
- 2) Data kuantitatif, serangkaian data yang dapat dinyatakan dalam angka-angka atau perhitungan. Dalam hal ini data kuantitatif yang diperlukan adalah jumlah data mobil, jumlah pelanggan yang ada serta beberapa laporan yang berkaitan dengan pendapatan perusahaan.

b. Metode Pengumpulan Data

- 1) Pengamatan (Observasi)
Penulis mengumpulkan data dengan melihat langsung dalam suatu peninjauan ke lokasi penelitian dan melakukan pencatatan secara langsung untuk mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan sistem penyewaan mobil pada Abu Sulaiman *Rent Car*.
- 2) Wawancara (*Interview*)
Wawancara ini dilakukan dalam rangka mendapatkan data dan informasi dalam bentuk tanya jawab kepada narasumber yaitu staf administrasi yang mengetahui objek penelitian.
- 3) Analisa Dokumen
Metode penelitian dengan cara mengumpulkan data berdasarkan dokumen-dokumen yang berkaitan dengan objek penelitian.
- 4) Tinjauan kepustakaan
Penulis menggunakan berbagai sumber bacaan, seperti buku-buku ilmiah terutama yang erat hubungannya dengan topik penulisan ini.

c. Metode Analisa Data

- 1) *Activity Diagram*
Diagram aktivitas atau *activity diagram* menggambarkan *workflow* (aliran kerja) atau aktivitas dari sebuah sistem atau proses bisnis atau menu yang ada pada perangkat lunak[3].
- 2) *Use Case Diagram*
Use case diagram atau diagram *use case* merupakan pemodelan untuk kelakuan (*behavior*) sistem informasi yang akan dibuat [3]. Pada intinya *use case* menggambarkan sebuah interaksi antara satu atau lebih *actor* dengan sistem informasi yang akan dibuat.
- 3) *Use Case Description*
Use case description digunakan untuk mendeskripsikan secara rinci mengenai *Use Case Diagram* sistem yang diusulkan.

d. Metode Perancangan Sistem

Tahap perancangan sistem adalah merancang sistem secara rinci berdasarkan hasil analisa sistem yang sudah ada, sehingga menghasilkan model sistem baru yang diusulkan dengan disertai rancangan *database* dan spesifikasi program. Tahap-tahap perancangan sistem ini antara lain:

1) *Entity Relationship Diagram* (ERD)

Entity Relationship Diagram (ERD) merupakan suatu model data yang dikembangkan berdasarkan objek [4]. ERD digunakan untuk menjelaskan hubungan antar data dalam basis data kepada pengguna secara logis.

2) *Logical Record Structure* (LRS)

Logical Record Structure terdiri dari tipe *record*, yang berupa sebuah persegi dengan *field* yang dibutuhkan di dalamnya. LRS terdiri juga dari hubungan antara tipe record tersebut.

3) Normalisasi

Normalisasi adalah suatu alat yang digunakan untuk mengorganisasikan *file* dengan menghilangkan grup elemen yang muncul berulang-ulang atau sebuah langkah (proses) untuk menyederhanakan hubungan elemen data di dalam *record*.

4) Spesifikasi *Database*

Spesifikasi *database* digunakan untuk menjelaskan tipe data yang ada pada model data konseptual secara detail. *Database* adalah sekumpulan *data store* (bisa dalam jumlah yang sangat besar) yang tersimpan dalam *magnetic disk*, *optical disk*, *magnetic drum*, atau media penyimpanan sekunder lainnya [5]. Pada intinya spesifikasi basis data adalah deskripsi basis data yang meliputi tipe data, struktur data dan batasan-batasan data yang akan disimpan.

5) *Sequence Diagram*

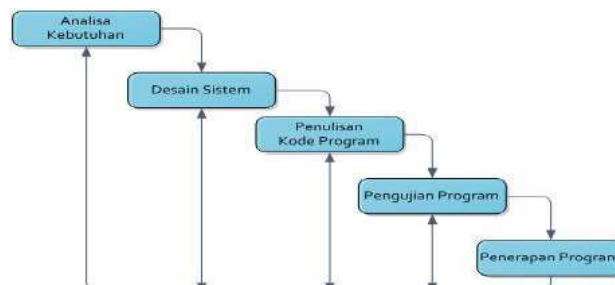
Sequence diagram menggambarkan kelakuan objek pada *use case* dengan mendeskripsikan waktu hidup objek dan *message* yang dikirimkan dan diterima antar objek [3].

6) *Class Diagram*

Diagram kelas atau *class diagram* menggambarkan struktur sistem dari segi pendefinisian kelas-kelas yang akan dibuat untuk membangun sistem [3].

e. Metode Pengembangan Sistem

Penelitian ini menggunakan desain pengembangan dengan metode *System Development Life Cycle* (SDLC). Model yang digunakan yaitu model *waterfall*, model ini merupakan salah satu model yang banyak digunakan dalam perancangan sistem informasi karena tahapan-tahapannya dilakukan secara urut sehingga mudah untuk dipahami dan dilakukan. Model ini memiliki siklus lengkap sebagaimana diperlukan dalam proses pembangunan sistem informasi berbasis kebutuhan pengguna. Model Air Terjun (*Waterfall*) sering juga disebut model sekuensial linier (*Sequential Linier*) atau alur hidup klasik (*Classic Life Cycle*). Model air terjun menyediakn pendekatan alur hidup perangkat lunak secara sekuensial atau terurut dimulai dari analisis, desain, pengodean, pengujian dan tahap pendukung (*support*) [3]. Ilustrasi model *waterfall* yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar1 Ilustrasi model *waterfall*

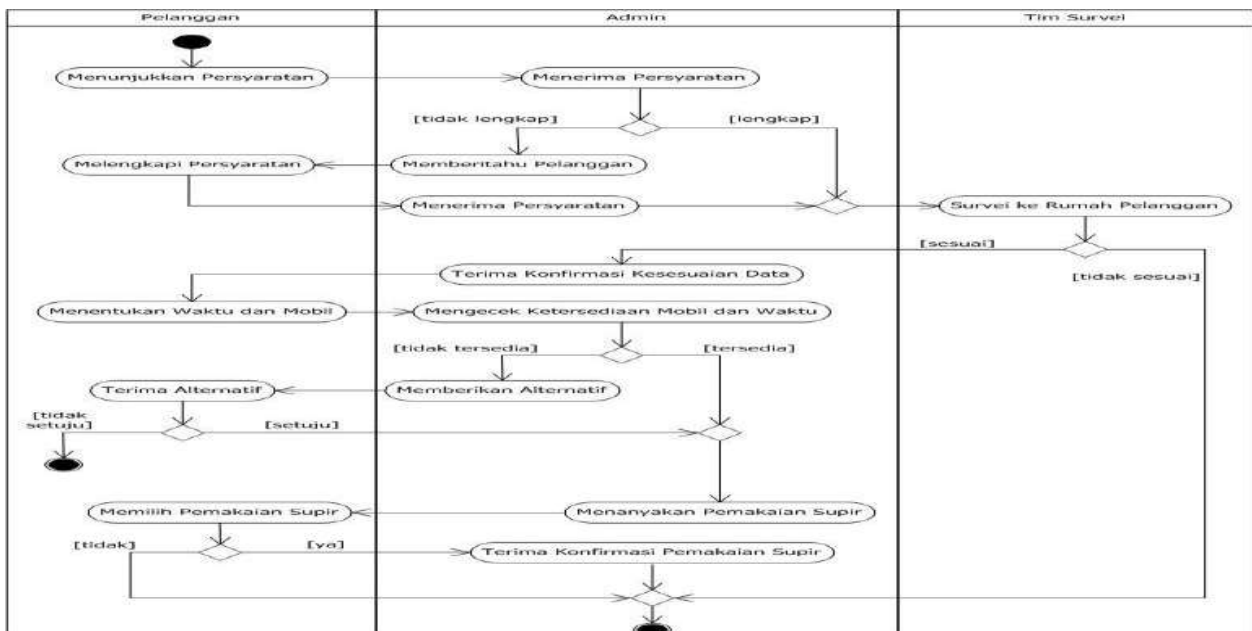
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. ANALISA PROSES BERJALAN

Analisa sistem adalah kegiatan untuk melihat sistem yang sudah berjalan, bagaimana yang bagus dan tidak bagus dan kemudian mendokumentasikan kebutuhan yang akan dipenuhi dengan sistem yang baru. Hasil dari kegiatan tahap ini menjadi dasar untuk melakukan analisis sistem pada tahap berikutnya.

a. Proses Penyewaan Mobil

Pelanggan datang untuk menyewa mobil, menunjukkan persyaratan berupa KTP (Kartu Tanda Penduduk) dan KK (Kartu Keluarga). Jika persyaratan tidak lengkap, maka staf admin akan memberitahu kepada pelanggan untuk melengkapi persyaratan. Setelah persyaratan lengkap, tim survei melakukan survei ke rumah pelanggan untuk pengecekan kesesuaian data yang telah diberikan oleh pelanggan. Jika data sesuai maka pelanggan dapat memilih mobil dan waktu yang diinginkan. Jika tidak sesuai pelanggan tidak dapat melanjutkan penyewaan. Setelah staf admin mengkonfirmasi pemilihan mobil dan waktu penyewaan. Kemudian staf admin mengecek jadwal pada papan jadwal, jika mobil yang dipilih tidak tersedia maka pelanggan dapat memilih mobil yang lain. Jika tersedia, pelanggan dapat memilih waktu yang diinginkan dan dapat melanjutkan penyewaan. Pelanggan juga dapat memilih untuk menggunakan jasa supir atau tidak. Selanjutnya *activity diagram* proses penyewaan mobil diperlihatkan pada Gambar 2.

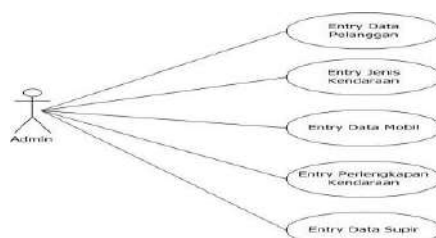


Gambar 2 Activity diagram proses penyewaan mobil

b. Use Case Diagram

1) Use Case Diagram Master

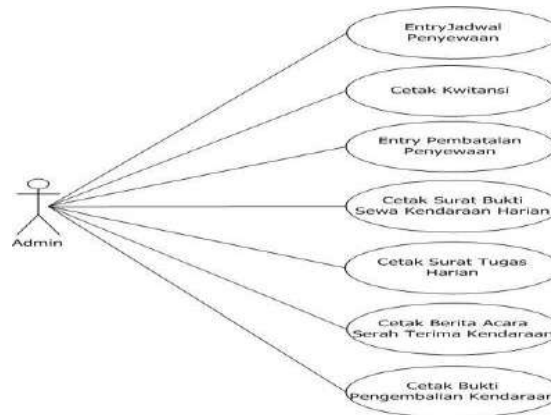
Untuk memodelkan sistem usulan maka penelitian ini menggunakan *use case diagram*. Sebuah *use case diagram* mempresentasikan interaksi antara *actor* dengan sistem. *Use case diagram* juga menjelaskan manfaat sistem jika dilihat menurut pandangan orang yang berada di luar sistem (*actor*). Rancangan hasil analisa tersebut adalah *use case diagram master*, *use case* ini menunjukkan kegiatan staf admin melakukan *input* datapada data pelanggan, data jenis kendaraan, data mobil, data perlengkapan kendaraan dan data supir. Gambar 3 menunjukkan *use case diagram master*.



Gambar 3 Use case diagram master

2) Use Case Diagram Transaksi

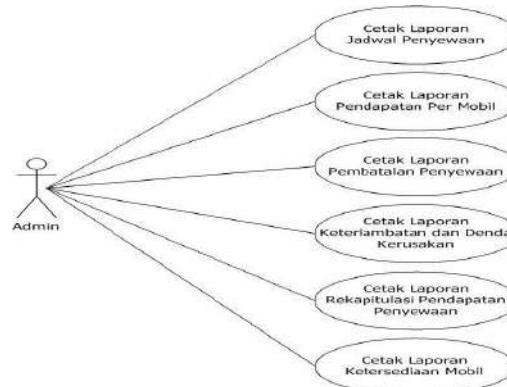
Gambar 4 menunjukkan rancangan *use case diagram* transaksi, *use case* ini menunjukkan kegiatan staf admin melakukan berbagai macam transaksi, dari mulai *input* jadwal penyewaan, mencetak kwitansi, *input* data pembatalan penyewaan, mencetak surat bukti penyewaan, mencetak surat tugas untuk supir, mencetak berita acara kendaraan dan mencetak bukti pengembalian penyewaan.



Gambar 4 Use case diagram transaksi

3) Use Case Diagram Laporan

Gambar 5 menunjukkan rancangan *use case diagram* laporan, *use case* ini menunjukkan kegiatan staf admin melakukan pencetakan laporan, dari mulai mencetak laporan jadwal penyewaan, laporan pendapatan per mobil, laporan pembatalan penyewaan, laporan keterlambatan denda dan kerusakan, laporan rekapitulasi pendapatan dan laporan ketersediaan mobil.



Gambar 5 Use case diagram laporan

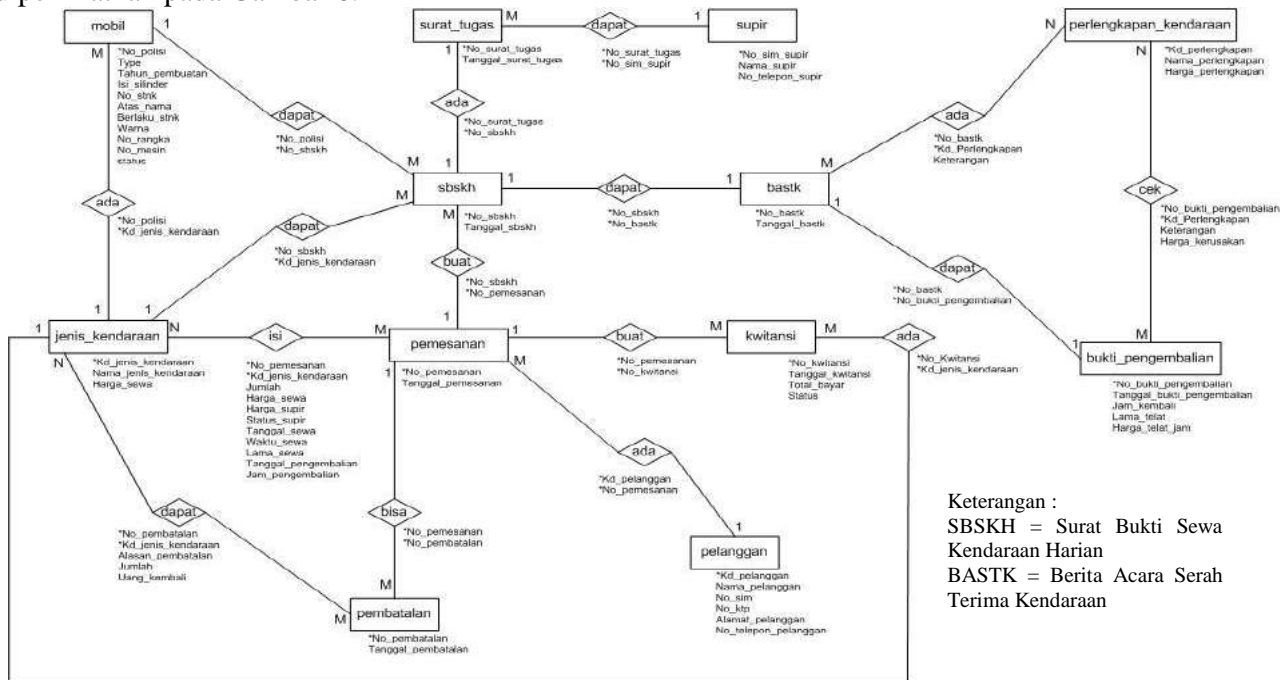
B. ANALISA PERANCANGAN SISTEM

Setelah memahami sistem termasuk solusi pemecahannya, tahap selanjutnya adalah mendesain sistem baru yang diharapkan dapat berjalan dengan lebih baik dan dapat mengatasi masalah .

a. Entity Relationship Diagram (ERD)

Rancangan basis data yang dibuat dengan menggunakan diagram *Entity Relationship* (ER) berdasarkan analisa, transformasi diagram-ER menjadi bentuk *Logical Record Structured* (LRS), gambaran LRS kemudian dinormalkan pada tahap normalisasi data sehingga menghasilkan spesifikasi basis data yang baik dan memiliki sedikit kemungkinan munculnya duplikasi data. *Entity Relationship Diagram* ini dirancang edengan memiliki 12 *entity* awal yang saling berhubungan. Sebagai contoh hubungan antara *entity* pelanggan dengan *entity* pemesanan, satu pelanggan ada banyak pemesanan dan satu pemesanan hanya ada satu

pelanggan dan begitu seterusnya. Rancangan *Entity Relationship Diagram* (ERD) yang dibangun diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Entity Relationship Diagram (ERD)

b. Spesifikasi Database

Rancangan *database* yang telah dinormalisasikan, sehingga tidak lagi mempunyai kesalahan duplikasi data. *Database* yang telah mempunyai bentuk normal selanjutnya dijelaskan dalam spesifikasi *database*. Contoh pada tabel 1 yang menjelaskan tipe data yang ada pada *entity* kwitansi secara detail.

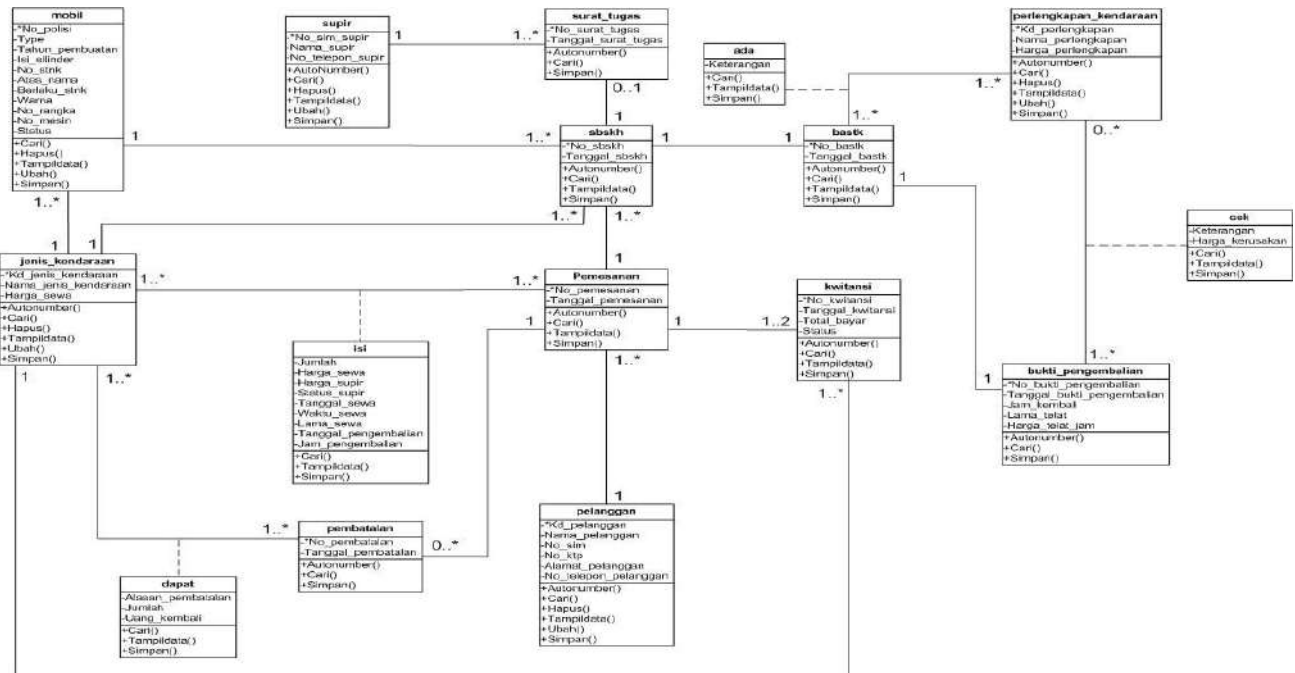
Nama File : Kwitansi
Media : Harddisk
Isi : Data Kwitansi
Organisasi : Index Sequential
Primary Key : No_kwitansi
Panjang Record : 45 byte
Jumlah Record : 5580 record
Struktur :

Tabel 1 Spesifikasi data kwitansi

No.	NamaField	Jenis	Lebar	Desimal	Keterangan
1	No_kwitansi	Varchar	12	-	Berisi nomor kwitansi KW/999/mm/yy
2	Tanggal_kwitansi	Date Time	8	-	Berisi data tanggal kwitansi
3	Total_bayar	Double	8	-	8 digit jumlah pembayaran
4	Status	Varchar	1	-	Berisi status pembayaran "L/U" {L: Pelunasan/Lunas' U: Uang Muka}
5	No_pemesanan	Varchar	12	-	Berisi nomor pemesanan
6	Kd_jenis_kendaraan	Varchar	4	-	Berisi kode jenis kendaraan

c. Class Diagram

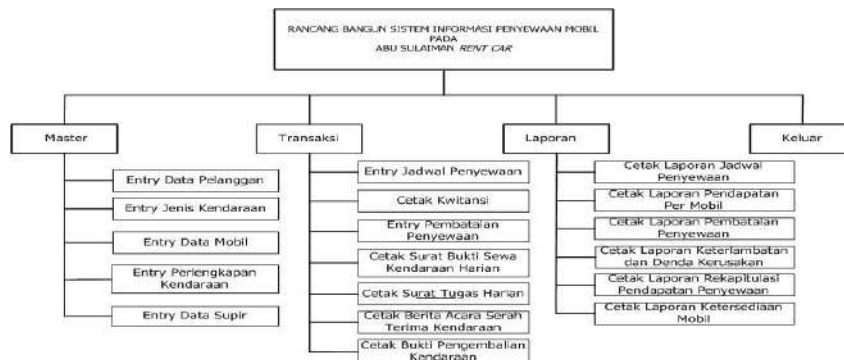
Gambar 7 menunjukkan rancangan *class diagram*. *Class diagram* ini menggambarkan keadaan (atribut/properti) suatu sistem, sekaligus menawarkan layanan untuk memanipulasi keadaan tersebut (metode/fungsi). Hal ini akan menghasilkan sebuah objek dan merupakan inti dari pengembangan berorientasi objek.



Gambar7 Class diagram

d. Struktur Tampilan Menu

Selanjutnya struktur menu sistem penyewaan mobil pada Abu Sulaiman *Rent Car* diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar8 Struktur tampilan menu

e. Desain Graphical User Interface (GUI)

Pada rancangan menu *form master entry* data mobil berfungsi untuk meng-*input* semua data mengenai sebuah mobil. Pada kolom jenis kendaraan berhubungan/didasarkan kepada *entity* jenis kendaraan yang di dalamnya berisi mengenai data semua jenis kendaraan yang ada. Gambar 9 berikut merupakan rancangan *form master entry* data mobil.

Gambar 10 menunjukkan rancangan menu *form transaksi entry* jadwal penyewaan. *Form* ini berfungsi untuk meng-*input* data jadwal penyewaan, *form* ini yang akan pertama kali digunakan jika pelanggan ada

yang ingin menyewa mobil pada Abu Sulaiman Rent Car. Pada saat *form* ini dipanggil, kolom nomor pemesanan akan otomatis terisi dengan kode unik untuk membedakan berbagai macam data penyewaan. Pada kolom *listview* jadwal penyewaan berisi mengenai jumlah mobil yang akan disewa pelanggan beserta data lengkap mengenai data jadwal penyewaan dan harga penyewaan.

Gambar 9 Form master entry data mobil

Gambar 10 Form transaksi entry jadwal penyewaan

Pada Gambar 11a menunjukkan rancangan *form* cetak laporan pendapatan per mobil. Fungsi laporan ini menyajikan laporan mengenai pendapatan yang diterima pada setiap mobil, lalu akan diserahkan kepada pemilik perusahaan untuk membantu pemilik dalam mengambil keputusan. Pada kolom nomor polisi akan diisi dengan nomor polisi sebuah mobil yang ingin dicetak laporannya, dengan meng-*click* tombol "cari" yang nantinya akan muncul sebuah *listview* data mobil. Rancangan hasil cetakan laporan tersebut terlihat pada gambar 11b

(a)

Tanggal Penyewaan	Waktu Sewa	Tanggal Pengembalian	Waktu Pengembalian	Nama Pelanggan	Lama Sewa	Harga	Jumlah
dd MMNN yyyy	HH:mm	dd MMNN yyyy	HH:mm	X-25-X	999 Hari	Rp. 99.999.999	Rp. 99.999.999
dd MMNN yyyy	HH:mm	dd MMNN yyyy	HH:mm	X-25-X	999 Hari	Rp. 99.999.999	Rp. 99.999.999
Total						Rp. 99.999.999	Rp. 99.999.999

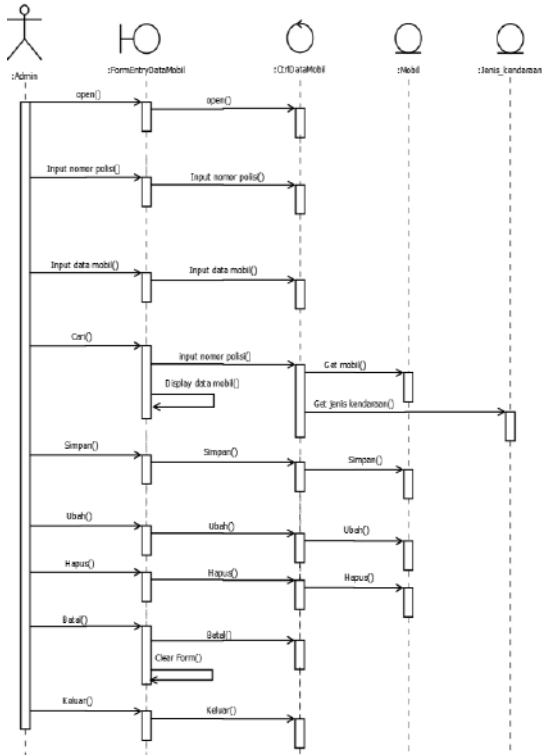
(b)

Gambar 11 Gambar: (a) form cetak laporan pendapatan per mobil; (b) hasil cetakan laporan pendapatan per mobil

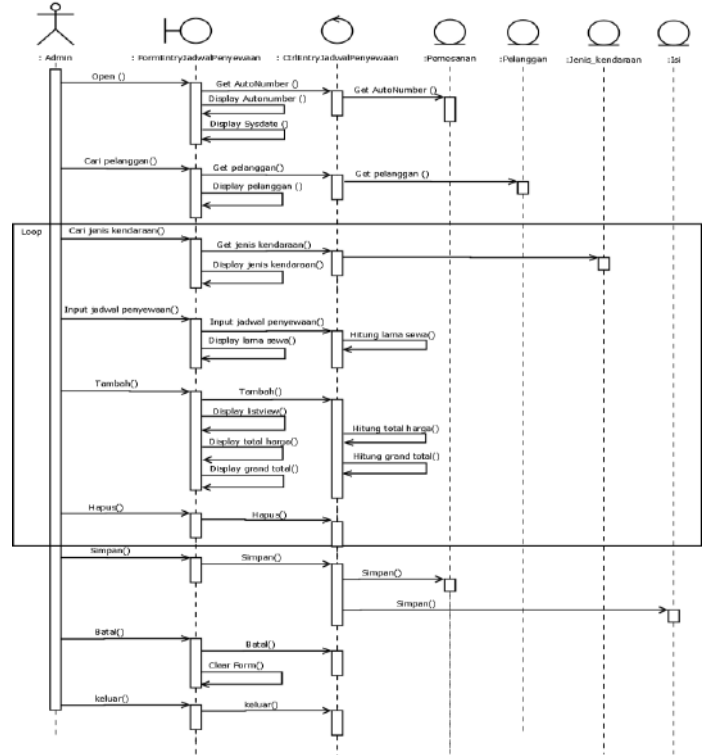
f. Sequence Diagram

Sequence diagram bisa digunakan untuk menggambarkan skenario atau rangkaian langkah-langkah yang dilakukan sebagai respons dari sebuah *event* untuk menghasilkan *output* tertentu. Pada gambar 12 menggambarkan interaksi antar objek di dalam *form master entry* data mobil yang terdiri dari *actor*, *boundary*, *control* dan sebagainya. Sebagai contoh pada proses "cari", langkah pertama staf admin mengirim *message* "cari" kepada *boundary* lalu *boundary* meneruskan *message* tersebut kepada *control* untuk diproses perintah tersebut, setelah diketahui maksud perintahnya, *control* akan mengirim *message* kepada *entity* mobil dan jenis kendaraan untuk mengambil data yang diinginkan, pada saat data sudah ditemukan lalu *boundary*

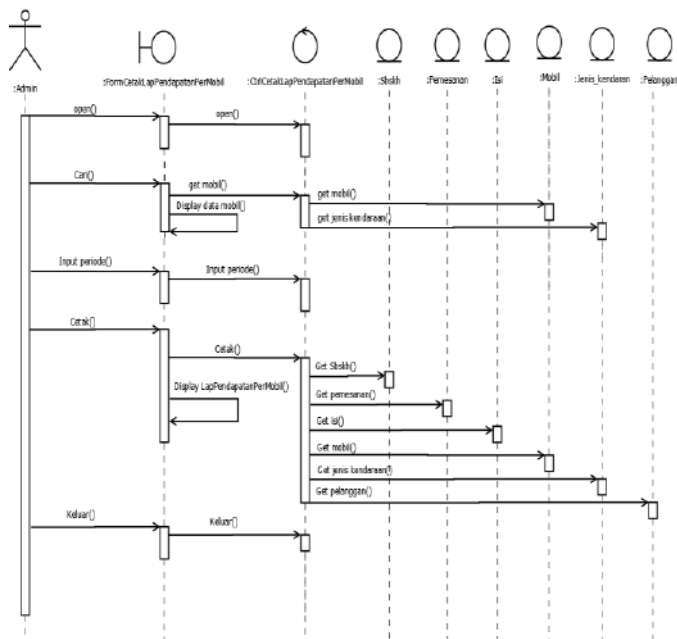
akan mengirim respon berupa tampilan data mobil. Terlihat juga pada gambar 13 *sequence diagram form* transaksi *entry* jadwal penyewaan dan gambar 14 *sequence diagram form* cetak laporan pendapatan per mobil yang mempunyai fungsi yang sama.



Gambar 12 *Sequence diagram form* master entry data mobil



Gambar 13 *Sequence diagram form* transaksi entry jadwal penyewaan



Gambar 14 *Sequence diagram form* cetak laporan pendapatan per mobil

Hasil perancangan memperlihatkan bahwa sistem sudah dapat diterapkan sesuai rancangan. Kesesuaian antara rancangan sistem penyewaan mobil dengan kriteria yang ditetapkan menjadi dasar untuk menyatakan program sistem informasi layak digunakan atau tidak. Program sistem informasi penyewaan mobil ini

memiliki beberapa keunikan, seperti pemberian informasi tidak hanya dalam bentuk teks, tetapi juga tabel. Tampilan *form* yang sederhana akan memudahkan staf admin dalam menggunakannya. Terdapat juga berbagai macam jenis laporan yang memungkinkan sangat membantu perusahaan dalam mengambil keputusan. Sebagai contoh dengan adanya laporan pembatalan penyewaan yang lengkap, pemilik dapat mengetahui berbagai macam alasan pelanggan membatalkan penyewaan sehingga pemilik dapat mengevaluasi dan meningkatkan pelayanan atau mutu perusahaan. Selain itu sistem ini bersifat *open source* agar dapat dilakukan pengembangan lanjut, baik untuk jenis sistem informasi penyewaan yang lainnya. Dengan adanya sistem ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan perusahaan secara spesifik dan lebih komprehensif.

4. KESIMPULAN

Penyewaan mobil secara manual akan menurunkan mutu layanan untuk mencapai kinerja yang maksimal pada Abu Sulaiman *Rent Car*. Karena itu diperlukan sistem informasi yang mampu memenuhi berbagai kebutuhan *user* secara spesifik. Program sistem informasi yang dikembangkan ini memiliki beberapa fitur untuk menyelesaikan permasalahan yang ada. Dimulai dari jadwal penyewaan mobil yang berurutan secara tanggal sehingga memudahkan pencarian dan pengecekan jadwal penyewaan mobil. Dengan adanya berbagai macam laporan seperti laporan pengembalian, pembatalan, denda telat dan kerusakan, pendapatan per mobil serta laporan rekapitulasi pendapatan, hal ini dapat bermanfaat dalam perencanaan dan pengambilan keputusan bagi Abu Sulaiman *Rent Car* pada saat ini maupun di masa yang akan datang. Proses penyimpanan data dalam jumlah besar pun sudah dapat teratasi dengan adanya *database* dan memudahkan dalam pengarsipan. Serta dapat menyimpan data sekarang atau data lama ke dalam *database* sehingga pencarian informasi yang diinginkan dapat dilakukan dengan cepat, lengkap dan tepat.

Program ini dibangun menggunakan metode *System Development Life Cycle* (SDLC) sehingga leluasa dalam menganalisis kebutuhan *user* untuk diterapkan dalam sistem. Selain itu sistem ini dibangun berbasis *desktop* menggunakan *VB.NET* yang memungkinkan *developer* memperoleh aplikasi *desktop* dalam waktu singkat, selain itu *VB.NET* yang mempunyai fasilitas penanganan *error* yang hebat dan *real time background compiler*.

Database yang dipakai adalah *MYSQL*, *database* ini dapat dijalankan pada spesifikasi *hardware* yang rendah karena lebih hemat *resource memory*.

Informasi adalah hal terpenting dalam jalannya organisasi. Oleh karena itu segala perkembangan dan kebutuhan baru haruslah terdokumentasi. Sistem yang telah dirancang hanyalah akan mengkoordinir kebutuhan pada saat ini dan beberapa prediksi kebutuhan yang akan datang. Sehingga suatu saat pasti akan ada kebutuhan baru yang mengharuskan sistem ini untuk diperbarui kembali agar tercapai karakteristik sistem yaitu, cepat, akurat, tepat waktu, dapat dipercaya dan relevan. Sistem ini dibangun bersifat *open source* agar dapat memudahkan orang lain melakukan pembaruan sistem ini. Sistem informasi penyewaan mobil ini juga diharapkan dapat dikembangkan menjadi sistem informasi yang berbasis *website*, yang bertujuan agar pelanggan dapat memesan mobil pada *website*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Septavia, Rd.E. Gunadhi, R. Kurniawati, *Sistem Informasi Penyewaan Mobil Berbasis Web di Jasa Karunia Tour and Travel*, Online Journal STT-Garut **12**, 1(2015)
- [2] N. Suparni, *Kitab Undang-Undang Hukum Perdata* (PT Rineka Cipta, Jakarta, 2013)
- [3] A.S Rosa, M. Shalahuddin, *Rekayasa Perangkat Lunak Terstruktur dan Berorientasi Objek* (Informatika, Bandung, 2014)
- [4] Sutanta, *Basis Data Dalam Tinjauan Konseptual* (Andi, Yogyakarta, 2011)
- [5] A.B Ladjamudin, *Analisis dan Desain Sistem Informasi* (Graha Ilmu, Yogyakarta, 2013)

SUBMISSION 29

Model Arsitektur *Backpropagation* Pada Prediksi Total Laba Rugi Komprehensif Bank Umum Konvensional Dalam Mendorong Laju Pertumbuhan Ekonomi

Agus Perdana Windarto¹, Muhammad Ridwan Lubis², Solikhun³

¹Program Studi Sistem Informasi, STIKOM Tunas Bangsa Pematangsiantar

²Program Studi Komputerisasi Akuntansi, AMIK Tunas Bangsa Pematangsiantar

³Program Studi Manajemen Informatika, AMIK Tunas Bangsa Pematangsiantar

Abstrak. Penelitian ini bertujuan membuat model arsitektur *backpropagation* untuk prediksi total laba rugi komprehensif. Hal ini sangat penting untuk memprediksi dimana posisi angka total laba rugi komprehensif pada suatu bank. Informasi tersebut berguna bagi masyarakat dalam menentukan arah investasi masyarakat ke depan, begitu juga bagi pihak bank berguna untuk menentukan kebijakan strategi pemasaran dalam meningkatkan total laba komprehensif tersebut. *Backpropagation* merupakan cabang ilmu *Artificial Intelligence* pada Jaringan Saraf Tiruan. Proses penentuan model arsitektur menggunakan 2 tahapan, yaitu: *Training* dan *Testing* dengan data variabel yaitu: Data bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober dan November (2016). Algoritma *Backpropagation* diterapkan untuk melatih 11 variabel dengan menggunakan dua model arsitektur, yakni 4-100-1 dan 4-50-1. Model arsitektur terbaik dari serangkaian uji coba yang dilakukan, digunakan untuk memprediksi total laba rugi komprehensif bulan selanjutnya. Hasil pengujian diperoleh, model arsitektur terbaik adalah 4-100-1 yang memiliki tingkat *MSE* terkecil yaitu 0,0001000340. Diharapkan model arsitektur ini dapat diterapkan dalam memprediksi total laba rugi komprehensif

Kata kunci—*Backpropagation; Prediksi; Total Laba Rugi; Bank; Ekonomi*

1. PENDAHULUAN

Informasi laporan keuangan merupakan unsur penting bagi investor, kreditor dan pelaku bisnis lainnya. Informasi yang dihasilkan laporan keuangan akan sangat bermanfaat bagi pengguna laporan keuangan apabila informasi tersebut relevan dan bermanfaat untuk pengambilan keputusan. Informasi yang tersaji dalam laporan keuangan pada hakekatnya menyajikan keterangan, catatan atau gambaran baik untuk keadaan masa lalu. Laporan keuangan merupakan catatan mengenai informasi keuangan suatu perusahaan pada suatu periode akuntansi yang dapat digunakan untuk menggambarkan kinerja suatu perusahaan. Laporan keuangan perusahaan terdiri dari beberapa komponen, salah satunya laporan laba rugi. Pada dasarnya tujuan pelaporan laba rugi yaitu menilai kinerja perusahaan, hal tersebut dapat dilihat dari jumlah laba atau rugi yang diperoleh oleh perusahaan [1].

Dalam rangka mendorong laju pertumbuhan ekonomi menjadi lebih tinggi, Pemerintah sangat membutuhkan dukungan dari seluruh sektor atau bidang yang dapat menambah *income* atau pendapatan pemerintah. Jika pengeluaran lebih besar dari pendapatan maka pemerintah akan mengalami defisit dan sulit dalam menjalankan roda pemerintahan dengan baik. Salah satu pendapat yang penting adalah dari sektor perbankan. Salah satu instrumen dari keberhasilan suatu perbankan adalah total laba rugi komprehensif. Perbankan harus bisa melakukan prediksi total laba rugi komprehensif kedepan agar pihak bank dapat mengambil langkah atau kebijakan bagaimana membuat strategi-strategi yang handal dalam upaya meningkatkan penghasilan komprehensif ke depan. Begitu juga bagi masyarakat, mereka akan bisa menentukan arah investasi kedepan. Prediksi total laba rugi komprehensif ke depan ditentukan berdasarkan data total laba rugi komprehensif sebelumnya dimulai dari bulan Januari 2016 sampai November 2016. Berikut data total laba rugi komprehensif bulan Januari sampai November 2016.

Tabel 1. Total Laba Rugi Komprehensif PT. Bank Mandiri, Tbk

No	Bulan	Total Laba Rugi Komprehensif
1	Januari	Rp 1.351.543.000.000
2	Februari	Rp 3.342.356.000.000
3	Maret	Rp 5.648.466.000.000
4	April	Rp 32.852.188.000.000
5	Mei	Rp 33.438.427.000.000
6	Juni	Rp 33.446.210.000.000
7	Juli	Rp 35.490.474.000.000
8	Agustus	Rp 36.709.507.000.000
9	September	Rp 38.497.486.000.000
10	Oktober	Rp 39.294.183.000.000
11	November	Rp 38.903.299.000.000

(sumber : www.ojk.go.id)

Dari tabel 1 diatas menunjukkan bahwa pada bulan Januari total laba rugi komprehensifnya berada diangka Rp. 1.351.543.000.000, kemudian di bulan Februari, dan Maret mengalami kenaikan sebesar Rp. 1.990.813.000.000 (Lebih besar dari bulan Januari) dan Rp. 2.306.110.000.000 (Lebih besar dari bulan Februari), pada bulan April mengalami kenaikan yang sangat tinggi yaitu diangka Rp. 27.203.722.000.000, pada bulan Mei mengalami penurunan yaitu diangka Rp. 586.239.000.000, pada bulan Juni mengalami penurunan kembali pada angka Rp. 7.783.000.000 dan stabil kembali pada bulan Juli, Agustus dan September pada angka Rp. 2.044.264.000.000, Rp. 1.219.033.000.000 dan Rp. 1.787.979.000.000 mengalami penurunan kembali pada bulan Oktober pada angka Rp 796.697.000.000 dan pada bulan November mengalami kerugian pada angka Rp -390.884.000.000. berikut tabel total laba rugi komprehensif perbulan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Total Laba Rugi Komprehensif PT. Bank Mandiri, Tbk Perbulan

No	Bulan	Total Laba Rugi Komprehensif Komprehensif
1	Januari	Rp. 1.351.543.000.000
2	Februari	Rp 1.990.813.000.000
3	Maret	Rp 2.306.110.000.000
4	April	Rp 27.203.722.000.000
5	Mei	Rp 586.239.000.000
6	Juni	Rp 7.783.000.000
7	Juli	Rp 2.044.264.000.000
8	Agustus	Rp 1.219.033.000.000
9	September	Rp 1.787.979.000.000
10	Oktober	Rp 796.697.000.000
11	November	Rp -390.884.000.000

(sumber : www.ojk.go.id)

Seiring dengan meningkatnya kesadaran berinvestasi, prediksi total laba rugi komprehensif tentu menjadi instrumen investasi yang banyak ditunggu masyarakat. Masyarakat akan dapat menentukan arah investasi kedepan begitu juga bagi pihak bank akan menjadi bahan pertimbangan dalam menentukan arah kebijakan ke depan agar dapat menentukan strategi kedepan untuk meningkatkan total laba rugi komprehensif demi kesehatan financial dari bank tersebut. Banyak masyarakat pemula yang tidak dapat memiliki instrumen ini. Untuk mengatasi keadaan ini, perlu sebuah kajian yang dapat memprediksi total laba rugi komprehensif kedepannya dengan menggunakan sistem pendukung keputusan [1] yang nantinya dapat bermanfaat bagi masyarakat dan pihak bank.

Jaringan *Saraf* Tiruan adalah salah satu proses sistem informasi yang dirancang untuk meniru cara kerja otak manusia dalam menyelesaikan masalah dengan proses pembelajaran melalui perubahan bobot[2]–[4]. Banyak teknik yang dapat digunakan untuk implementasi Jaringan *Saraf* Tiruan, salah satunya adalah *Backpropagation*[2], [5]–[7]. Algoritma *backpropagation* banyak digunakan untuk memecahkan beberapa

masalah, yakni penentuan pola (model arsitektur) dan prediksi. Penelitian ini menentukan model arsitektur terbaik pada Total Laba Rugi Komprehensif Bank Umum Konvensional, sebelum dilakukan prediksi yang bertujuan mendorong laju pertumbuhan ekonomi. Metode ini dipilih karena mampu menentukan model arsitektur terbaik sebelum dilakukan prediksi berdasarkan masukan yang diberikan. Proses menentukan model arsitektur terbaik dengan dua cara, yaitu pelatihan dan pengujian. Data akan dibagi menjadi dua bagian, data pertama untuk proses pelatihan dan data kedua untuk pengujian dalam menentukan model arsitektur terbaik dengan menggunakan perangkat bantuan Matlab 6.1. Dengan model ini diharapkan dapat menjadi masukan kepada pihak bank untuk meningkatkan total laba rugi komprehensif tiap bulannya sehingga masa yang akan datang masyarakat dapat berinvestasi dengan baik sehingga dapat menyokong finansial dan mendorong laju pertumbuhan ekonomi pada sektor perbankan.

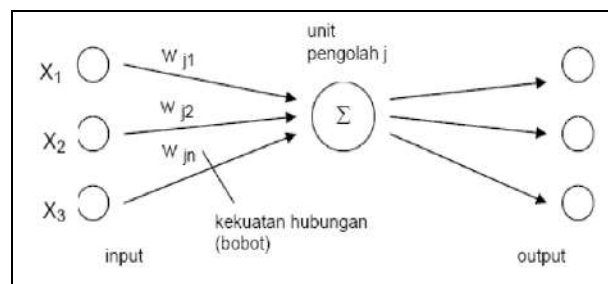
2. METODOLOGI PENELITIAN

a. Kecerdasan Buatan

Kecerdasan buatan merupakan salah satu bagian dari ilmu komputer yang mempelajari bagaimana membuat mesin (komputer) dapat melakukan pekerjaan seperti dan sebaik yang dilakukan oleh manusia bahkan bisa lebih baik daripada yang dilakukan manusia[4].

b. Jaringan Saraf Tiruan

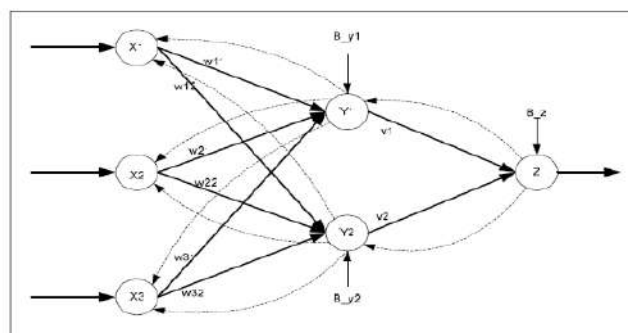
Jaringan *Saraf Tiruan* merupakan salah satu representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba untuk mensimulasikan proses pembelajaran otak manusia[8]. Proses suatu informasi ini terinspirasi oleh sistem sel *saraf* biologi, sama seperti otak yang memproses suatu informasi[9].



Gambar 1. Model Struktur JST

c. Arsitektur Backpropagation

Backpropagation merupakan model jaringan *saraf tiruan* dengan layar jamak. Seperti halnya model jaringan *saraf tiruan* lainnya, *back-propagation* melatih jaringan untuk mendapatkan keseimbangan antara kemampuan jaringan untuk mengenali pola yang digunakan selama pelatihan serta kemampuan jaringan untuk memberikan respon yang benar terhadap pola masukan yang serupa (tapi tidak sama) dengan pola yang dipakai selama pelatihan [6].



Gambar 2. Algoritma Backpropagation

d. Laba Rugi Komprehensif

Konsep Laba Komprehensif Tujuan penerapan PSAK menurut Ikatan Akuntan Indonesia (2011) adalah untuk menetapkan dasar-dasar bagi penyajian laporan keuangan bertujuan umum yang selanjutnya disebut laporan keuangan agar dapat dibandingkan baik dengan laporan keuangan periode sebelumnya maupun dengan laporan keuangan entitas lain. Pernyataan ini mengatur persyaratan bagi penyajian laporan keuangan, struktur laporan keuangan, dan persyaratan minimum isi laporan keuangan. FASB dalam SFAC

No. 3 dan 6 menyebutkan bahwa yang dimaksud dengan laba komprehensif adalah total perubahan aktiva bersih (ekuitas) perusahaan selama satu periode, yang berasal dari semua transaksi dan kegiatan lain dari sumber selain sumber yang berasal dari pemilik. Atau dengan kata lain, laba komprehensif terdiri atas seluruh perubahan aktiva bersih yang berasal dari transaksi operasi. FASB menjelaskan bahwa alasan utama digunakannya istilah laba komprehensif adalah untuk membedakan laba komprehensif dengan laba periode [10]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Penetapan Masukan (Input) dan Keluaran (Output)

Data total laba rugi komprehensif selanjutnya akan diolah oleh Jaringan Saraf Tiruan dengan metode *Back-propagation*. Agar data dapat dikenali oleh Jaringan Saraf Tiruan, maka data harus direpresentasikan ke dalam bentuk numerik antara 0 sampai dengan 1, baik variabel maupun isinya yang merupakan masukan data total laba rugi komprehensif sebagai pengenalan pola dan keluaran yang merupakan prediksi total laba rugi komprehensif yang diperoleh dari model arsitektur terbaik pada saat penentuan pola terbaik. Hal ini dikarenakan jaringan menggunakan fungsi aktivasi *sigmoid biner (logsig)* yang rangenya dari 0 s/d 1. Nilai-nilai yang digunakan diperoleh berdasarkan kategori dari masing-masing variabel selain juga untuk memudahkan mengingat dalam pendefinisianya.

b. Penetapan Masukan (Input)

Variabel prediksi total laba rugi komprehensif terdiri dari data total laba rugi komprehensif setiap bulan dengan mengambil data dari Laporan Laba Rugi dan Penghasilan Komprehensif Lain Bulanan nilai. Adapun variabel masukan JST tentang total laba rugi komprehensif terdiri dari :

X_1	=	Total Laba Rugi Bulan Januari
X_2	=	Total Laba Rugi Bulan Februari
X_3	=	Total Laba Rugi Bulan Maret
X_4	=	Total Laba Rugi Bulan April
X_5	=	Total Laba Rugi Bulan Mei
X_6	=	Total Laba Rugi Bulan Juni
X_7	=	Total Laba Rugi Bulan Juli
X_8	=	Total Laba Rugi Bulan Agustus
X_9	=	Total Laba Rugi Bulan September
X_{10}	=	Total Laba Rugi Bulan Oktober

c. Penetapan Keluaran (Output)

Adapun penetapan data keluaran adalah data total laba rugi komprehensif 2016. Data ini akan ditransformasi terlebih dahulu dan dirotasi agar keluaran yang diperoleh semakin *akurat*. Dari proses rotasi didapat 10 pola. Dimana keluaran pola memiliki range 0 s/d 1 dengan mentranformasikan datanya terlebih dahulu. Adapun variabel keluaran JST tentang total laba rugi komprehensif 2016 terdiri dari:

$$Y_1 = \text{Total Laba Rugi Komprehensif}$$

Hasil yang diinginkan pada tahap ini adalah terdeteksinya suatu nilai untuk penentuan pola arsitektur terbaik dari serangkaian penentuan pola yang dilakukan. Kategorisasi pola terbaik untuk memprediksi total laba rugi komprehensif adalah dengan menentukan tingkat *error minimum* dari target total laba rugi komprehensif. Semakin kecil *error minimum* yang dihasilkan suatu target, maka penentuan pola arsitektur terbaik semakin bagus. Untuk penelitian ini nilai *error minimum* yang terbaik berkisar diantara **0,000 - 0,001**.

d. Pengolahan Data

Pengolahan data yang akan dilakukan adalah mengubah data total laba rugi komprehensif 2016 dengan cara mentranformasi data tersebut ke range 0-1 dengan rumus :

$$x' = \frac{0.8(x-a)}{b-a} + 0.1 \quad (1)$$

Dimana

- x^i = Hasil konversi data
- x = Nilai yang akan dikonversi
- a = Nilai minimum dari suatu data
- b = Nilai maksimum dari suatu data

Sehingga diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 3. Data Mentah Total Laba Rugi Komprehensif 2016 (Juta)

Aturan	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Pola 1	Rp1.351.543	Rp1.990.813	Rp2.306.110	Rp586.239	Rp7.783
Pola 2	(Rp390.884)	Rp1.351.543	Rp1.990.813	Rp2.306.110	Rp586.239
Pola 3	Rp796.697	(Rp390.884)	Rp1.351.543	Rp1.990.813	Rp2.306.110
Pola 4	Rp1.787.979	Rp796.697	(Rp390.884)	Rp1.351.543	Rp1.990.813
Pola 5	Rp1.219.033	Rp1.787.979	Rp796.697	(Rp390.884)	Rp1.351.543
Pola 6	Rp2.044.264	Rp1.219.033	Rp1.787.979	Rp796.697	(Rp390.884)
Pola 7	Rp7.783	Rp2.044.264	Rp1.219.033	Rp1.787.979	Rp796.697
Pola 8	Rp586.239	Rp7.783	Rp2.044.264	Rp1.219.033	Rp1.787.979
Pola 9	Rp2.306.110	Rp586.239	Rp7.783	Rp2.044.264	Rp1.219.033
Pola 10	Rp1.990.813	Rp2.306.110	Rp586.239	Rp7.783	Rp2.044.264

Aturan	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
Pola 1	Rp2.044.264	Rp1.219.033	Rp1.787.979	Rp796.697	(Rp390.884)
Pola 2	Rp7.783	Rp2.044.264	Rp1.219.033	Rp1.787.979	Rp796.697
Pola 3	Rp586.239	Rp7.783	Rp2.044.264	Rp1.219.033	Rp1.787.979
Pola 4	Rp2.306.110	Rp586.239	Rp7.783	Rp2.044.264	Rp1.219.033
Pola 5	Rp1.990.813	Rp2.306.110	Rp586.239	Rp7.783	Rp2.044.264
Pola 6	Rp1.351.543	Rp1.990.813	Rp2.306.110	Rp586.239	Rp7.783
Pola 7	(Rp390.884)	Rp1.351.543	Rp1.990.813	Rp2.306.110	Rp586.239
Pola 8	Rp796.697	(Rp390.884)	Rp1.351.543	Rp1.990.813	Rp2.306.110
Pola 9	Rp1.787.979	Rp796.697	(Rp390.884)	Rp1.351.543	Rp1.990.813
Pola 10	Rp1.219.033	Rp1.787.979	Rp796.697	(Rp390.884)	Rp1.351.543

Pada tabel 3 adalah data mentah total laba rugi komprehensif 2016 yang terdiri dari 10 pola yang dirotasikan. Dari data mentah ini akan ditransformasikan ke range 0-1 dengan rumus (1). Data yang ditransformasi akan menjadi 10 pola dimana data akan diambil 10 pola dan dibagi menjadi 2 bagian. Data bagian pertama terdiri dari pola 1 s/d pola 5 sebagai data pelatihan (*training*) untuk mendapatkan arsitektur terbaik dari serangkaian arsitektur yang dibuat. Data bagian kedua terdiri dari pola 6 s/d pola 10 sebagai data pengujian (*Testing*). Data ini digunakan untuk menguji seakurat mana JST *Back-propagation* data mengenali data keluaran dari data masukan yang diberikan berdasarkan arsitektur terbaik yang diperoleh pada data pelatihan (*training*). Adapun data hasil transformasi dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Data Transformasi Total Laba Rugi Komprehensif 2016 (Juta)

Aturan	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Pola 1	0,6169	0,8065	0,9000	0,3898	0,2183
Pola 2	0,1000	0,6169	0,8065	0,9000	0,3898
Pola 3	0,4523	0,1000	0,6169	0,8065	0,9000
Pola 4	0,7463	0,4523	0,1000	0,6169	0,8065
Pola 5	0,5775	0,7463	0,4523	0,1000	0,6169
Pola 6	0,8223	0,5775	0,7463	0,4523	0,1000
Pola 7	0,2183	0,8223	0,5775	0,7463	0,4523
Pola 8	0,3898	0,2183	0,8223	0,5775	0,7463
Pola 9	0,9000	0,3898	0,2183	0,8223	0,5775
Pola 10	0,8065	0,9000	0,3898	0,2183	0,8223

Tabel 4. Lanjutan Data Transformasi Total Laba Rugi Komprehensif 2016 (Juta)

Aturan	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
Pola 1	0,5775	0,7463	0,4523	0,1000	0,5775
Pola 2	0,8223	0,5775	0,7463	0,4523	0,8223
Pola 3	0,2183	0,8223	0,5775	0,7463	0,2183
Pola 4	0,3898	0,2183	0,8223	0,5775	0,3898
Pola 5	0,9000	0,3898	0,2183	0,8223	0,9000
Pola 6	0,8065	0,9000	0,3898	0,2183	0,8065
Pola 7	0,6169	0,8065	0,9000	0,3898	0,6169
Pola 8	0,1000	0,6169	0,8065	0,9000	0,1000
Pola 9	0,4523	0,1000	0,6169	0,8065	0,4523
Pola 10	0,7463	0,4523	0,1000	0,6169	0,7463

e. Perancangan Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan

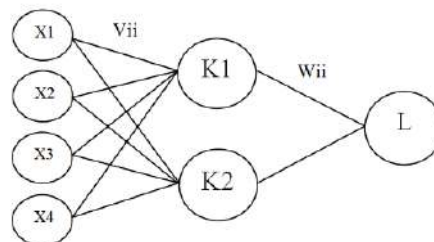
Jaringan yang digunakan untuk penentuan total laba rugi komprehensif 2016 adalah Jaringan Saraf Tiruan *backpropagation* dengan langkah pembelajaran *feedforward*. Jaringan ini memiliki beberapa lapisan, yaitu lapisan masukan (*input*), lapisan keluaran (*output*) dan beberapa lapisan tersembunyi (*hidden*). Lapisan tersembunyi tersebut membantu jaringan untuk dapat mengenali lebih banyak pola masukan dibandingkan dengan jaringan yang tidak memiliki lapisan tersembunyi. Dengan kata lain sistem yang akan dibuat nantinya memiliki fasilitas dan kemampuan sebagai berikut :

1. Proses Input data pembelajaran untuk JST
2. Proses Pelatihan JST
3. Proses Pengujian dan Prediksi untuk JST

Parameter-parameter dalam pembentukan jaringan *backpropagation* adalah:

- a. 4 neuron (X_1, X_2, \dots, X_4) pada lapisan masukan
- b. n neuron (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) pada lapisan tersembunyi
- c. 1 neuron (Y_1) pada lapisan keluaran

Dengan contoh arsitektur 4- n - 1



Gambar 3. Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan Memprediksi Total Laba Rugi Komprehensif

Jaringan Saraf Tiruan yang akan dibangun adalah algoritma propagasi balik (*back-propagation*) dengan fungsi aktivasi *Sigmoid*. Fungsi aktivasi dalam Jaringan Saraf Tiruan dipakai untuk proses perhitungan terhadap nilai aktual *output* pada *hidden layer* dan menghitung nilai aktual *output* pada *output layer*.

f. Perancangan arsitektur 4-2-1 dengan Jaringan Saraf Tiruan

Algoritma pelatihan *backpropagation* dengan menggunakan 4 *input layer*, 2 *layer tersembunyi*, 1 *output layer* dengan fungsi aktivasi *sigmoid* biner adalah sebagai berikut :

- a. Inisialisasi (*initialization*), merupakan tahap di mana variabel-variabel nilai akan diset atau didefinisikan terlebih dahulu, misalnya seperti: nilai data input, *weight*, nilai *output* yang diharapkan, *learning rate* dan nilai-nilai data lainnya.
- b. Aktivasi (*activation*), merupakan proses perhitungan terhadap nilai aktual *output* pada *hidden layer* dan menghitung nilai *actual output* pada *output layer*.

- c. *Weight Training*, merupakan proses perhitungan nilai *error gradient* pada *output layer* dan menghitung nilai *error gradient* pada *hidden layer*
- d. *Iteration*, merupakan tahap akhir dalam pengujian, dimana jika masih terjadi *error minimum* yang diharapkan belum ditemukan maka kembali pada tahap aktivasi (*activation*).

Dalam pelatihan ataupun pembentukan Jaringan *Saraf Tiruan* yang perlu dilakukan pertama kali adalah inialisasi bobot awal. Di mana bobot awal ini akan menghubungkan simpul-simpul pada lapisan input dan juga lapisan tersembunyi (*hidden layer*). Bobot awal pada algoritma di atas adalah $v = (v_{11}, v_{12}, v_{21}, v_{22}, v_{31}, v_{32}, v_{41}, v_{42})$, sedangkan bobot biasanya dipilih secara acak pada simpul-simpul lapisan tersembunyi (*hidden layer*) dan lapisan *output* (w_{11} dan w_{12}) dipilih secara acak.

Algoritma pelatihan *backpropagation* dengan menggunakan 4 input layer, 2 layer tersembunyi, 1 *output layer* dengan fungsi aktivasi *sigmoid* biner adalah sebagai berikut :

1. Tahap inialisasi :

Tuliskan nilai input yang diberikan

$$X_1 = 0,1000$$

$$X_2 = 0,1505$$

$$X_3 = 0,1690$$

$$X_4 = 0,1782$$

$$Target = 1$$

$$Lerning\ rate(\alpha) = 0.1$$

Berikan nilai bobot (V) dari input ke lapisan tersembunyi dengan nilai acak.

Tabel 5. Nilai Bobot dari *Input* ke *Hidden Layer*

	K_1	K_2
X_1	0,2	-0,3
X_2	0,4	0,1
X_3	0,3	-0,5
X_4	0,5	-0,4

Berikan nilai bobot (W) dari lapisan tersembunyi ke *output* dengan nilai acak.

Tabel 6. Nilai Bobot dari *Hidden Layer* ke *Output*

	L
K_1	-0.3
K_2	-0.2

2. Tahap Aktivasi

a. Hitung keluaran tiap node (node tersembunyi dan node output)

$$\begin{aligned} K_1 &= X_1 \cdot V_{11} + X_2 \cdot V_{21} + X_3 \cdot V_{31} + X_4 \cdot V_{41} \\ &= 0,1000 \cdot 0,2 + 0,1505 \cdot 0,4 + 0,1690 \cdot 0,3 + 0,1782 \cdot 0,5 = 0,2200 \\ &= \text{Sigmoid} [0,2200] = 0,4452 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_2 &= X_1 \cdot V_{12} + X_2 \cdot V_{22} + X_3 \cdot V_{32} + X_4 \cdot V_{42} \\ &= 0,1000 \cdot -0,3 + 0,1505 \cdot 0,1 + 0,1690 \cdot -0,5 + 0,1782 \cdot -0,4 = -0,1707 \\ &= \text{Sigmoid} [-0,1707] = 0,5426 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= K_1 \cdot W_{11} + K_2 \cdot W_{21} \\ &= 0,4452 \cdot -0,3 + 0,5426 \cdot -0,2 \\ &= -0,2421 \end{aligned}$$

$$= \text{Sigmoid} [-0,2421] = 0,5602$$

b. Hitung nilai error output dan hidden layer

$$Err\ L = L \cdot (\alpha - L) \cdot (T - L)$$

$$= 0,5542 \cdot (0,1 - 0,5542) \cdot (1 - 0,5542)$$

-0,0876

$$\begin{aligned} \text{Err } K1 &= K1 \cdot (\alpha - K1) \cdot (\text{Err } L - W_{11}) \\ &= 0,4452 \cdot (0,1 - 0,4452) \cdot (-0,0876 - (-0,3)) \\ &= -0,0326 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Err } K2 &= K2 \cdot (\alpha - K2) \cdot (\text{Err } L - W_{21}) \\ &= 0,5602 \cdot (0,1 - 0,5602) \cdot (-0,0876 - (-0,2)) \\ &= -0,0270 \end{aligned}$$

c. Modifikasi/hitung bobot baru

$$\begin{aligned} \Delta W_{11} &= W_{11+} \cdot \alpha \cdot \text{Err } L \cdot K1 \\ &= -0,3 + 0,1 \cdot -0,0876 \cdot 0,4452 \\ &= -0,3039 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta W_{21} &= W_{21+} \cdot \alpha \cdot \text{Err } L \cdot K2 \\ &= -0,2 + 0,1 \cdot -0,0876 \cdot 0,5462 \\ &= -0,2048 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{11} &= V_{11+} \cdot \alpha \cdot \text{Err } K1 \cdot j_1 \\ &= 0,2 + 0,1 \cdot -0,0326 \cdot 0,1000 \\ &= 0,1997 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{12} &= V_{12+} \cdot \alpha \cdot \text{Err } K2 \cdot j_1 \\ &= -0,3 + 0,1 \cdot -0,0270 \cdot 0,1000 \\ &= -0,3003 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{21} &= V_{21+} \cdot \alpha \cdot \text{Err } K1 \cdot J_2 \\ &= 0,4 + 0,1 \cdot -0,0326 \cdot 0,1505 \\ &= 0,3995 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{22} &= V_{22+} \cdot \alpha \cdot \text{Err } K2 \cdot J_2 \\ &= 0,1 + 0,1 \cdot -0,0270 \cdot 0,1505 \\ &= 0,0996 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{31} &= V_{31+} \cdot \alpha \cdot \text{Err } K1 \cdot J_3 \\ &= 0,3 + 0,1 \cdot -0,0326 \cdot 0,1690 \\ &= 0,2994 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{32} &= V_{32+} \cdot \alpha \cdot \text{Err } K2 \cdot J_3 \\ &= -0,5 + 0,1 \cdot -0,0270 \cdot 0,1690 \\ &= -0,5005 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{41} &= V_{41+} \cdot \alpha \cdot \text{Err } K1 \cdot J_4 \\ &= 0,5 + 0,1 \cdot -0,0326 \cdot 0,1782 \\ &= 0,4994 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{42} &= V_{42+} \cdot \alpha \cdot \text{Err } K2 \cdot J_4 \\ &= -0,4 + 0,1 \cdot -0,0270 \cdot 0,1782 \\ &= -0,4005 \end{aligned}$$

Hal ini terus berlangsung sampai menemukan *error minimum*. Semakin kecil *error minimum* yang dihasilkan suatu target, maka penentuan pola arsitektur terbaik semakin bagus. Untuk penelitian ini nilai *error minimum* yang terbaik berkisar diantara **0,000 - 0,001**

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan diatas, maka penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut:

- Menambahkan banyak *hidden layer* pada saat pelatihan dan pengujian, bukan merupakan suatu hasil yang maksimal. Untuk 2 model arsitektur yang dirancang (4-100-1 dan 4-50-1), 4-100-1 adalah model yang memiliki tingkat *MSE* terkecil yaitu 0,0001000340
- Setelah dilakukan percobaan dalam proses pelatihan dan pengujian sistem yang dilakukan dengan menggunakan *software* aplikasi *Matlab* 6.1 Model Jaringan *Saraf Tiruan* yang digunakan (4-100-1 dan 4-50-1), dapat diperoleh hasil yang baik dengan melihat *MSE* Pelatihan yang terkecil adalah 4-100-1.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas pendanaan Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun pelaksanaan 2018

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Kurnianingtyas, B. A. Rahardian, D. P. Mahardika, A. K. A, and K. Angraeni, "Sistem Pendukung Keputusan Diagnosis Penyakit Sapi Potong Menggunakan K- Nearest Neighbour (K- NN)," *Jurnal Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 4, no. 2, pp. 122–126, 2017.
- [2] Sumijan, A. P. Windarto, A. Muhammad, and Budiharjo, "Implementation of Neural Networks in Predicting the Understanding Level of Students Subject," *Int. J. Softw. Eng. Its Appl.*, vol. 10, no. 10, pp. 189–204, 2016.
- [3] Agus Perdana Windarto, "Implementasi Jst Dalam Menentukan Kelayakan Nasabah Pinjaman Kur Pada Bank Mandiri Mikro Serbelawan Dengan Metode Backpropogation," *J-SAKTI (Jurnal Sains Komput. dan Inform.*, vol. 1, no. 1, pp. 12–23, 2017.
- [4] Solikhun, A. P. Windarto, Handrizal, and M.Fauzan, "Jaringan *Saraf* Tiruan Dalam Memprediksi Suku Negara Ritel Berdasarkan Kelompok Profesi Dengan Backpropogation Dalam Mendorong Laju Pertumbuhan Ekonomi," *Kumpul. J. Ilmu Komput.*, vol. 4, no. 2, pp. 184–197, 2017.
- [5] A. P. Windarto, L. S. Dewi, and D. Hartama, "Implementation of Artificial Intelligence in Predicting the Value of Indonesian Oil and Gas Exports With BP Algorithm," *Int. J. Recent Trends Eng. Res.*, vol. 3, no. 10, pp. 1–12, 2017.
- [6] D. O. (Faculty of I. E.-G. U. Maru'ao, "Neural Network Implementation in Foreign Exchange Kurs Prediction," 2010.
- [7] Marleni Anike, Suyoto, and Ernawati, "Pengembangan Sistem Jaringan *Saraf* Tiruan Dalam Memprediksi Jumlah Dokter Keluarga Menggunakan *Backpropagation* (Studi Kasus: Regional X Cabang Palu)," *Semin. Nas. Teknol. Inf. dan Komun. 2012 (SENTIKA 2012)*, pp. 209–216, 2012.
- [8] Z. A. Matondang, "Jaringan *Saraf* Tiruan Dengan Algoritma *Backpropagation* Untuk Penentuan Kelulusan Sidang Skripsi," *Pelita Inform. Budi Darma*, vol. IV, no. 1, pp. 84–93, 2013.
- [9] A. R. Youllia Indrawaty, Asep Nana Hermana, "Implementasi Model *Backpropagation* Dalam Mengenali Pola Gambar Untuk Mendiagnose Penyakit Kulit," *J. Inform.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2012.
- [10] R. P. S. Wahyu and S. Praptoyo, "Penyajian dan komponen other comprehensive income," *J. Ilmu Ris. Akunt.*, vol. 3, no. 12, p. 2014, 2014.

SUBMISSION 66

Optimasi Kuat Pencahayaan Lampu *Philips Hue* Dengan Memanfaatkan Cahaya Alami Untuk Ruang Kuliah Lantai 8 STTP-LN

Juara Mangapul Tambunan, Albert Gifson,
Dosen Tetap Teknik Elektro, STT-PLN

Abstrak. Lokasi Menara STTPLN berada wilayah Jakarta Barat, tepatnya di Duri Kosambi, Cengkareng. Gedung STTPLN lantai 8 memiliki delapan ruang perkuliahan yang digunakan sebagai sampel, terdiri dari : ruang kelas 801 sampai dengan 808. Diawali dengan menghitung jumlah lampu yang terpakai dan menghitung daya per satuan luas ruang. Dilanjutkan dengan pengukuran lux meter pada kondisi lampu dihidupkan dan dimatikan pada beberapa luminaire. Disini penulis membahas tentang bagaimana pengaturan pencahayaan natural melalui jendela sisi sekitar ruang dengan pengaturan kuat pencahayaan menggunakan lampu philips lighting L1800 A30 LED48S, Power: 47.0 W, dengan Luminous efficacy: 100.6 lm/W, agar dapat dipakai secara merata (seimbang) dan bisa mendekati standar antara 250 hingga 300 lux, dengan tingkat kesilauan hilang sama sekali. Sehingga mahasiswa mendapatkan kenyamanan dalam belajar. Dari kajian penelitian penulis, sebagai Optimasi pencahayaan ruang kelas/lokal menggunakan Software (Dialux evo 7.1) lebih presisi, dan mampu membaca semua permukaan, dan sangat mudah untuk digabungkan dengan perencanaan dengan kondisi waktu pada siang hari dengan tingkat kecerahan kondisi matahari yang bisa diatur (light scene for daylight condition). Hasil optimasi memperlihatkan bahwa pada saat siang hari, penggunaan cahaya buatan (lampu) tidak menyebabkan tingkat kesilauan. Hal ini diharapkan agar rata-rata total lumen diberbagai point area kerja sesuai target yaitu sekitar 275 lux.

Kata kunci: Optimasi, Pencahayaan Alami, Ruang Perkuliahan, Philips Hue, DIALux evo 7.1

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu wilayah kepulauan yang berada diantara garis katulistiwa dengan keadaan iklim tropis yang memancarkan sinar matahari yang melimpah di setiap waktu. Maka dari itu, memberikan kesempatan besar bagi sipengguna cahaya dalam memanfaatkan pencahayaan alami melalui jendela ruang yang memberikan pengaruh terhadap berkurangnya beban listrik untuk penerangan dalam ruang.

Umumnya jendela sering digunakan sebagai pencahayaan ruang, biasanya pada sekolah dan rumah tinggal, dengan kondisi rumah dengan lahan yang luas maupun keadaan rumah dengan lahan terbatas, dengan pemilihan material kaca yang lebih dominan antara kaca hitam dengan kaca bening. Walaupun tidak melihat aspek yang tepat menurut ukuran jendela, apakah sudah memiliki kualitas pencahayaan yang sesuai dengan standar SNI-03-6197-2000 dengan kuat pencahayaan antara 120 hingga 250 lux. Jendela memberi peranan yang terpenting dalam melewatkan cahaya alami dalam ruang. Bila ukuran jendela semakin besar mengakibatkan semakin banyak cahaya alami yang menyerap ke dalam ruang yang berakibat menimbulkan kesilauan, sehingga dapat menyebabkan gangguan fisik, penglihatan mata dan menjadi tidak nyaman (Baharuddin, 2011).

Dalam penelitian lain berkaitan jendela, telah dijelaskan oleh (Daryanto, 2012) yang berjudul “Jendela Hemat Energi Pada Fase Rumah Susun di Jakarta”, yang menyebutkan bahwa jendela merupakan faktor komponen bangunan yang penting dalam sudut pencahayaan ruang. Begitu pula dalam penelitian yang dijelaskan (Baharuddin, 2011) tentang “Pengaruh Bukaannya Jendela Terhadap Penetrasi Cahaya Alami dan Radiasi Matahari dalam Ruang” yang menyebutkan luas ukuran jendela sangat mempengaruhi terhadap penetrasi cahaya alami dengan radiasi matahari di dalam ruangan. Semakin luas ukuran jendela, maka semakin besar penetrasi cahaya alami dan radiasi matahari yang masuk dalam ruangan. Disinilah yang mengakibatkan efek pencahayaan alami menjadi tidak optimal pada saat menggunakan energi listrik pada siang hari. Setiap ruangan memerlukan kuat pencahayaan yang berbeda-beda sesuai penggunaan dan aktifitasnya dalam ruang (Chairul G Irianto, 2006).

Menurut standar SNI, kuat pencahayaan minimum yang direkomendasikan khusus ruang kuliah sekitar 250 lux. Pencahayaan ini dapat dicapai dengan menggunakan jenis lampu yang berefikasi tinggi, dengan pemilihan armatur yang sesuai serta pengaturan pencahayaan ruang kuliah yang baik dan tepat untuk pencahayaan dengan sumber buatan.

Ruang kuliah STTPLN yang terdapat pada lantai 8, memiliki delapan ruangan yang terdiri dari R-801, R-802, R-803, R-804, R-805, R-806, R-807 dan R-808 dengan aktifitas utama yaitu baca tulis. Penelitian pencahayaan alami pada ruang kuliah STTPLN disini tidak memerlukan peralatan lain, hanya dengan menambah perangkat elektronik lain seperti proyektor infocus, yang mana telah disediakan di setiap ruang perkuliahan. Fungsi dari proyektor infocus adalah sebuah perangkat yang mengintegrasikan sumber cahaya, sistem optik, elektronik dan display dengan tujuan memproyeksikan video, gambar, atau data dari komputer pada sebuah layar atau sesuatu dengan permukaan datar atau dinding. Biasanya pada saat menggunakan perangkat proyektor infocus, pencahayaan alami seperti pada sinar matahari yang masuk perlu diatur sedemikian rupa agar tidak menimbulkan kesilauan pada mata dan penglihatan baca. Untuk mengetahui intensitas cahaya alami pada suatu ruang, maka perlu dilakukan pengujian pencahayaan alami. Apakah kondisi pencahayaan di dalam ruang tersebut telah sesuai standar baku yang telah ditetapkan atau belum. Pada SNI 03-2396-2001, telah diatur langkah-langkah pengujian pencahayaan alami, yaitu terdiri dari : tingkat pencahayaan dan indeks kesilauan. Dengan kondisi luas ruang kuliah yang berbeda-beda dalam aktifitasnya diharapkan dengan suasana nyaman dan menyenangkan, pencahayaan dapat dicapai.

Untuk memperoleh kualitas pencahayaan yang tepat perlu diatur dengan baik pola bukaan jendela untuk ruang masuk pencahayaan dengan sedemikian rupa. Upaya ini nampaknya sangat mudah, namun tidak sesederhana yang terlihat. Dengan masuknya cahaya bukan semata-mata membuat akses cahaya dari ruang luar ke ruang dalam, dengan memberi ruang selebar-lebarnya atau memasang bidang transparan yang seluas-luasnya agar cahaya dapat masuk dengan leluasa. Cara pandang ini tentu bukan menjadi pendekatan disain yang tepat, karena bukan merupakan kuantitas semata yang menjadi pertimbangan, tapi kualitas cahaya serta berbagai faktor lain yang harus diperhatikan. Dengan penerangan yang baik dan tepat akan membantu mengerjakan dan membuat orang merasa lebih nyaman ketika mengerjakan sesuatu. Walau terkesan sederhana, pernyataan ini merupakan tujuan dari *lighting design*, yaitu menciptakan kenyamanan, suasana yang menyenangkan, dan ruang yang fungsional bagi setiap orang di dalamnya. (Lam, 1977).

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas, maka disini penulis mengkaji empat permasalahan pokok, yaitu : Bagaimana cara memilih dan mengoptimalkan kuat pencahayaan dengan lampu philips hue yang tepat agar tercapai pencahayaan yang merata disetiap sisi ruang, sebagaimana yang disesuaikan menurut standar pencahayaan; bagaimana pengaruh instalasi kuat pencahayaan lampu philips hue terhadap interior ruang kuliah, luas ruang dan luas bukaan jendela; bagaimana cara mengatur instalasi kuat pencahayaan lampu philips hue dengan baik dengan memanfaatkan pencahayaan alami dalam ruang secara optimal, agar efektif dan efisien. Penulis melakukan perhitungan dan pengukuran dengan menggunakan software Dialux evo 7.1 secara horizontal dari kulit bangunan hingga ke koridor di bagian tengah ruang, sehingga kuat pencahayaan yang sampai ke koridor harus memenuhi intensitas pencahayaan sesuai standar yang direkomendasikan yaitu 250 Lux; dan berapa banyak lumener yang dipasang dalam ruang perkuliahan harus diperhitungkan dengan tepat supaya dihasilkan iluminansi yang memenuhi standar SNI.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pencahayaan Alami

Untuk mendapatkan pencahayaan yang sesuai dalam suatu ruang, maka diperlukan sistem pencahayaan yang tepat sesuai dengan kebutuhannya. Pencahayaan yang efektif dalam suatu ruang perkuliahan yang sangat tepat diperoleh pada siang hari. Pencahayaan pada siang hari dimaksudkan untuk memperoleh pencahayaan di dalam bangunan pada saat siang hari melalui cahaya alami. Dengan demikian, pengertian pencahayaan alami adalah pencahayaan yang dihasilkan oleh sumber cahaya alami yaitu sinar matahari. Manfaat pencahayaan alami dapat memberikan lingkungan visual yang menyenangkan dan nyaman dengan kualitas cahaya yang mirip kondisi alami di luar bangunan. Sehingga dapat mereduksi bahkan menghindari penggunaan pencahayaan buatan dari penggunaan listrik lain. Selain itu, sinar matahari yang memiliki cahaya yang kuat, yang bervariasi menurut jam, musim dan tempat. Dengan pencahayaan yang bersumber dari sinar matahari masih dirasa kurang efektif bila dibandingkan dengan pencahayaan buatan, hal ini disebabkan oleh karena sinar matahari dapat memberikan intensitas cahaya yang tetap.

Pada dasarnya sumber cahaya memiliki dua jenis, yaitu cahaya alami (*natural lighting*) dan cahaya buatan (*artificial lighting*). Kedua sumber cahaya ini mempunyai kelebihan dan kekurangan, antara lain : sumber cahaya alami memiliki sifat tidak menentu, tergantung pada iklim, musim dan cuaca. Sinar *ultraviolet* (UV) yang terkandung dalam cahaya alami dapat merusak struktur permukaan material. Sedangkan cahaya buatan membutuhkan biaya tertentu, namun peletakan dan kestabilan cahaya dapat diatur.

2.2. Peranan Pencahayaan Alami Pada Manusia

Salah satu peranan pencahayaan alami yang diberikan pada manusia adalah dalam hal kenyamanan. Peranan ini diberikan tidak hanya di dalam bangunan/ruangan, tetapi juga di luar bangunan/ruangan. Ada dua macam kenyamanan yang dipengaruhi cahaya alami pada diri manusia, yaitu kenyamanan visual dan kenyamanan thermal. Kenyamanan *visual* yang terkait dengan cahaya alami yang membantu manusia dalam mengakses informasi *visual* manusia. Kondisi *visual* yang terlalu gelap akibat kurangnya cahaya akan menciptakan ketidaknyamanan bagi indera *visual*. Ketidaknyamanan ini juga akan mempengaruhi persepsi *visual* manusia terhadap lingkungan *visualnya*. Dengan penerangan yang baik akan membantu kita mengerjakan pekerjaan dan membuat kita merasa nyaman ketika mengerjakannya. Walaupun terkesan sederhana, pernyataan ini merupakan tujuan dari *lighting design* (desain pencahayaan), yaitu untuk menciptakan kenyamanan, suasana yang menyenangkan dan ruangan yang fungsional bagi setiap orang didalamnya (Lam, 1977).

Sinar Matahari yang senantiasa disertai energi panas harus mampu dimaksimalkan sesuai dengan kebutuhan ruang dan kegiatan di dalamnya. Kurangnya akses terhadap cahaya alami, menurut para ahli dapat menyebabkan depresi dan stress. Hal ini terkait dengan peran cahaya alami sebagai katalisator bagi keluarnya beberapa jenis hormon. Dengan kekurangan cahaya alami akan mengurangi jumlah hormon tersebut yang pada gilirannya akan menyebabkan depresi dan stress.

2.3. Aspek Desain Jendela Ruang

Bukaan atau jendela sebaiknya menghadap ke utara atau ke selatan untuk memperkecil kemungkinan sinar langsung matahari masuk ke dalam ruangan. Ingat pula bahwa menghindari sinar langsung matahari bukan berarti kita tidak boleh menghadap ke langit. Tatapan ke langit biru dan awan-awannya pada saat tertentu amat diperlukan untuk melepas pandangan dan mendekatkan pada alam. Membuat jendela selebar-lebarnya akan lebih menguntungkan dari pada jendela sempit. Bila terlalu banyak cahaya, dapat digunakan tirai untuk menutup sebagai jendela agar didapat penerangan sesuai dengan yang dikehendaki. Jendela timur dan barat perlu dilindungi tirai (di sisi luar) agar panas dan sinar matahari pagi dan sore hari yang tajam tidak mengganggu.

2.4. Optimasi Pencahayaan

Tujuan dari optimasi pencahayaan suatu ruang perkuliahan adalah agar dicapai kualitas pencahayaan secara nyaman, berguna dan efektif serta efisien dalam penggunaan energi listriknya, baik dengan segala aktifitas yang dikerjakan di dalam ruang perkuliahan serta tidak menimbulkan kelelahan fisik pada mata. Penggunaan energi yang baik yang sesuai dengan kebutuhan. Ada beberapa langkah-langkah dalam mencapai efisiensi, yaitu dengan pemasangan alat kontrol pada lampu, pemakaian jumlah luminaire sesuai kebutuhan, penggabungan titik-titik luminaire terhadap sakelar, pemanfaatan dengan cahaya alami serta perawatan dan pengoperasian sistem pencahayaan. Dalam merencanakan desain instalasi pencahayaan untuk sarana pendidikan disesuaikan dengan kebutuhan penggunaan ruang, seperti pada laboratorium, bengkel, auditorium, perpustakaan, studio gambar atau ruang kuliah. Setiap ruangan memiliki kebutuhan serta intensitas cahaya yang berbeda-beda (Harten P. Van, E, Setiawan, 1985; 36-42).

2.5. Hubungan Antara Ruang dan Cahaya

Ruang selalu melingkupi keberadaan manusia. Melalui pewadahan ruangnya manusia bergerak, melihat bentuk-bentuk dan benda-benda, mendengar suara-suara, merasakan angin bertiup, dan lain-lain. Pada ruang, bentuk visual, kualitas cahaya, dimensi dan skala ditentukan oleh batas-batas yang telah ditentukan oleh unsur-unsur bentuk. Ruang memiliki sisi-sisi yang bervariasi bentuk. Ada yang persegi panjang, ada yang persegi, melingkar, bahkan ada yang berbentuk trapesium sesuai keinginan si pengguna.

2.6. Standar Peraturan Sistem Pencahayaan

Dalam perencanaan sistem pencahayaan buatan tidak boleh melebihi daya pencahayaan terpasang maksimum per SNI 03-6197-2011, seperti pada tabel dibawah ini. Harap dicatat bahwa daya pencahayaan (watt) untuk keseluruhan bangunan/ruang tidak boleh melebihi daya pencahayaan yang diijinkan. Lihat tabel dibawah ini.

Tabel 1. Tingkat Pencahayaan Lampu menurut Standar SNI

Standard Lumen (SNI 03-6197-2001)

Fungsi ruangan	Tingkat pencahayaan (Lux)
Rumah tinggal	
Teras	60
Ruang tamu	120 - 150
Ruang makan	120 - 250
Ruang Kerja	120 - 250
Kamar tidur	120 - 250
Kamar mandi	250
Dapur	250
Garasi	60

2.7. Persyaratan Teknis

Dalam persyaratan teknis pencahayaan alami, ada beberapa klasifikasi berdasarkan kualitas pencahayaan, diantaranya adalah :

- a. Kualitas pencahayaan yang harus dan layak disediakan, ditentukan oleh penggunaan ruangan. Lamanya waktu aktivitas yang memerlukan daya penglihatan yang tinggi dan sifat aktifitasnya.
- b. Klasifikasi kualitas pencahayaan, yaitu :
 1. Kualitas A : kerja halus sekali, pekerjaan secara cermat terus menerus, seperti menggambar detil, menggravir, menjahit kain warna gelap, dan sebagainya.
 2. Kualitas B : kerja halus, pekerjaan cermat tidak secara intensif terus menerus, seperti menulis, membaca, membuat alat atau merakit komponen-komponen kecil.
 3. Kualitas C : kerja sedang, pekerjaan tanpa konsentrasi yang besar dari si pelaku, seperti pekerjaan kayu, merakit suku cadang yang agak besar, dan sebagainya.
 4. Kualitas D : kerja kasar, pekerjaan dimana hanya detil-detil yang besar harus dikenal, seperti pada gudang, lorong lalu lintas orang, dan sebagainya.

2.8. Pencahayaan Ruang Perkuliahan

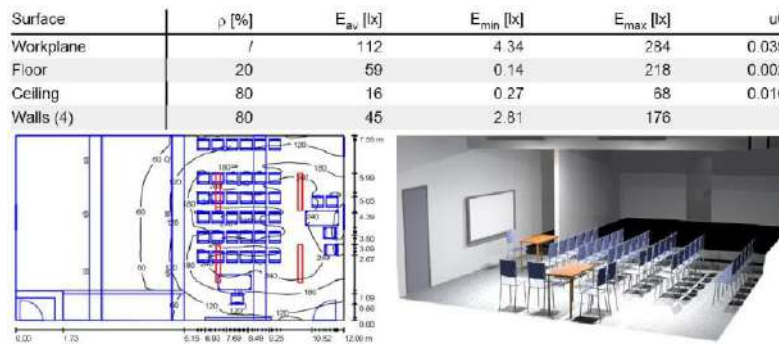
Pencahayaan yang baik membantu minat dan perhatian serta dapat mendukung mahasiswa untuk lebih memperhatikan papan tulis dengan lebih mudah. Meskipun saat ini jenis lampu telah beragam, namun pencahayaan alami dalam ruang kuliah selalu diupayakan karena dengan pencahayaan alami dapat memberikan semangat belajar dan menciptakan suasana yang ceria (Bean, 2004:193). Efisiensi energi dan kenyamanan visual merupakan kunci dalam desain pencahayaan ruang kuliah. Keseimbangan cahaya langsung dan tidak langsung yang tersedia cukup dalam ruang kuliah dan dapat mendukung mahasiswa dalam mengerjakan tugas/quiz yang berorientasi pada kertas dan meja tulis dengan baik (Perkins, 2001:138). Untuk media whiteboard kuat pencahayaan yang disarankan adalah 250 lux. Sedangkan ruang kuliah yang menggunakan media LCD, pencahayaan umum disarankan adalah 250-300 lux. Jadi fluks cahaya pada bidang kerja, adalah :

$$\Phi = E \cdot A \text{ (lumen) } \dots\dots\dots(2.1)$$

Menghitung banyaknya luminaire pada suatu ruang ditentukan dengan rumus :

$$N = \frac{E \times l \times w}{\phi \times LLF \times CU \times \eta} \dots\dots\dots(2.2)$$

Contoh hasil simulasi perhitungan pencahayaan pada ruang kuliah dengan Dialux evo :



Gambar 1. Hasil simulasi perhitungan Pencahayaan Ruang Kuliah

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode dan tahapan penelitian ini menggunakan sifat penelitian eksperimental yang mengacu pada metode kuantitatif dengan desain deskriptif melalui pendekatan pengukuran dan perhitungan dengan membandingkan hasil tersebut sesuai dengan yang direkomendasikan pada standar sistem pencahayaan yang sesuai dengan persyaratan peraturan, baik dengan pencahayaan alami yang dikendalikan dengan bukaan jendela ruang maupun pencahayaan pada lampu Philips hue dengan daya pencahayaan maksimum pada penggunaan ruang kuliah yang efektif dan efisien dan penggunaan pada kontrol pencahayaan. Langkah-langkah penelitian ini diawali dengan Studi literatur dan pengumpulan data untuk melengkapi teori dasar dan informasi yang berkaitan dengan pencahayaan alami pada ruang perkuliahan STT-PLN khusus lantai 8 secara lengkap. Pengambilan data dilakukan di lapangan/kelas dengan mengamati cahaya luar dan cahaya dalam, pengukuran ruang, pengukuran pencahayaan alami dan pencahayaan dengan lampu Philips hue serta dokumentasi untuk ruang kuliah lantai 8, yang terdiri dari R-801, R-802, R-803, R-804, R-805, R-806, R-807, dan R-808 secara langsung. Dengan mengetahui faktor refleksi ruangan, seperti (langit-langit, dinding, lantai), dan faktor beban disesuaikan dengan standar. Untuk Koefisien penggunaan atau K_p (*Coefficient of Utilization/CU*) dan Koefisien Depresiasi atau K_d (*light loss factor/LLF*) ditentukan besarnya K_p dan K_d yang dipakai adalah 0,5. Sebagai bahan perhitungan dari hasil pengamatan dan hasil perhitungan dengan software Dialux evo 7.1, sesuai yang direkomendasikan dengan standar SNI 03-2396-2001. Kemudian membuat analisa data hasil pengukuran dan perhitungan. Selanjutnya menarik kesimpulan dari hasil penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan selama enam bulan. Lokasi berada di Gedung Menara STT PLN lantai 8 ruang perkuliahan R-801, R-802, R-803, R-804, R-805, R-806, R-807, dan R-808, sebagai tempat penelitian di Jalan Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat.

Dibawah ini dilengkapi dengan gambar berupa denah setiap ruang perkuliahan kampus STTPLN, mulai dari lokal R-801 hingga R-808 dan beberapa ruang lainnya yang dilihat berdasar dimensi ruang menurut luas ruang kuliah yang terdiri dari panjang, lebar dan tinggi ruang. Area lainnya tidak di akses dalam penelitian ini.

Skema Denah

Dalam Skema Denah dilengkapi data berupa dimensi ruangan, yaitu panjang, lebar dan tinggi ruang serta luas ruang lantai. Gambar denah dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Denah Ruang Kuliah Lantai 8 STTPLN

Dalam tabel 2 menunjukkan hasil kajian dari perbandingan perhitungan manual dengan software untuk optimasi pencahayaan dalam ruang kuliah dengan tipe lampu yang digunakan adalah *Philips Lighting - 4MX900 L1800 A30 LED48S/- NO, Luminous emittance 1, Fitting: 1xLED48S/840/-, Light output ratio: 100.57%, Lamp luminous flux: 4700 lm, Luminaire luminous flux: 4727 lm, Power: 47.0 W, Luminous efficacy: 100.6 lm/W, Colourimetric data ; CCT 3000 K, CRI 100*. Tipe lampu yang digunakan di setiap ruang kuliah dari R-801 sampai dengan R-808 dengan tipe yang sama. Untuk ruang R-801 dan R-803 lampu yang dipakai sebanyak 5 luminaire, untuk ruang R-802, R-805 dan R-806 menggunakan lampu sebanyak 4 luminaire. Pada ruang R-804, R-807 dan R-808, menggunakan lampu sebanyak 6 luminaire. Untuk LLF (*Light Loss Factor*) dengan nilai sebesar 0,9 dan CU (*Coeffisient Utilization*) sebesar 0,7.

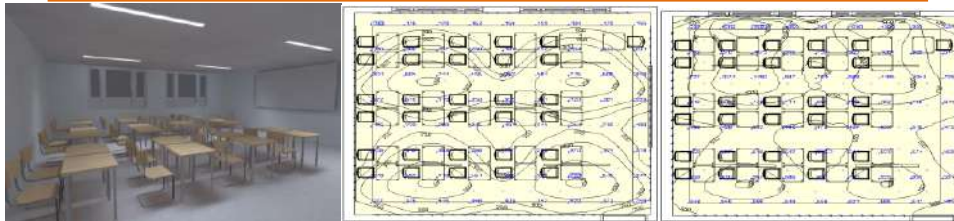
Tabel 2. Perbandingan Perhitungan Manual Dengan Software Untuk Optimasi Pencahayaan

Jumlah Lampu (Formula standar)										Tipe lampu dengan proyeksi software EVO 7.1 (Philips Lighting - 4MX900 L1800 A30 LED48S/- NO, Luminous emittance 1, Fitting: 1xLED48S/840/-, Light output ratio: 100.57%, Lamp luminous flux: 4700 lm, Luminaire luminous flux: 4727 lm, Power: 47.0 W, Luminous efficacy: 100.6 lm/W, Colourimetric data ; CCT 3000 K, CRI 100				
$N = \frac{E \times l \times w}{\phi \times LLF \times CU \times \eta}$														
E (Intensitas penerangan) - Target SNI	A (Luas bidang) = l x w	θ (Lux lampu)	LLF (Light loss factor / Kd)	CU (Coefficient of Utilization / Kp)	η (Jumlah lampu dalam satu kemasan)	n (Jumlah lampu)	Daya / Watt	Total daya	Target (SNI)	Lux (lampu)	n (Jumlah lampu)	Daya / Watt	Total daya	
250	60.75	4700	0.9	0.7	1	5	47	241	250	4700	4	47	188	
250	51.75	4700	0.9	0.7	1	4	47	205	250	4700	4	47	188	
250	58.50	4700	0.9	0.7	1	5	47	232	250	4700	4	47	188	
250	66.96	4700	0.9	0.7	1	6	47	266	250	4700	6	47	282	
250	49.68	4700	0.9	0.7	1	4	47	197	250	4700	4	47	188	
250	49.68	4700	0.9	0.7	1	4	47	197	250	4700	4	47	188	
250	69.12	4700	0.9	0.7	1	6	47	274	250	4700	6	47	282	
250	65.61	4700	0.9	0.7	1	6	47	260	250	4700	6	47	282	
Total						40		1873			38		1786	

Dalam tabel 2, menunjukkan jumlah lampu dalam ruang, besar arus fluks lampu 4700 Lux, LLF (*Light Loss Factor*) 0,9 dan CU (*Coefficient of Utilization*) 0,7 serta total daya. Susunan tabel, gambar ruang kuliah beserta gambar distribusi pencahayaan ruang kuliah ditunjukkan dalam gambar berikut tabel optimasi pencahayaan ruang kelas 801, ruang kelas 802, ruang kelas 803, ruang kelas 804 hingga ruang kelas 808 dibawah ini.

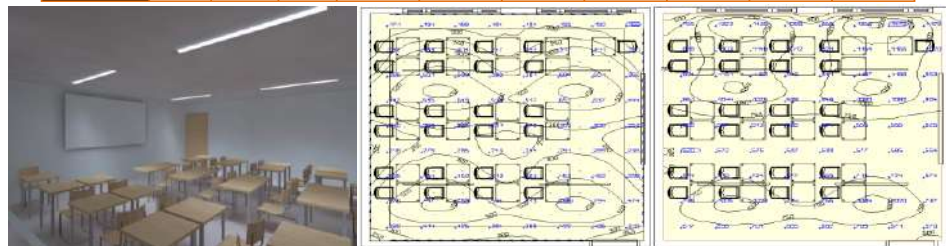
Tabel 3. Optimasi Pencahayaan Ruang Kelas 801, 802, 803, 804

OPTIMASI PENCAHAYAAN RUANG KELAS 801										
Permukaan	Jarak Dari Dasar (M)	Faktor Refleksi (p %)	Target (Lx)	Total Pencahayaan Malam Hari (A)			Total Pencahayaan Siang Hari - Cerah (Standar Software EVO DIALUX 7.1 2018) (B)			
				E Rata-rata (Lx) - A	E Minimal (Lx) - A	E Maksimal (Lx) - A	Daylight Factor (%) B	E Rata-rata (Lx) - B	E Minimal (Lx) - B	E Maksimal (Lx) - B
Bidang Kerja	0,8	-	300	329	126	776	2,3	731	313	1441
Langit-langit	0	70	30	169	127	212	1	387	354	464
Dinding	0	86	0	168	0	297	6,6	487	0	839



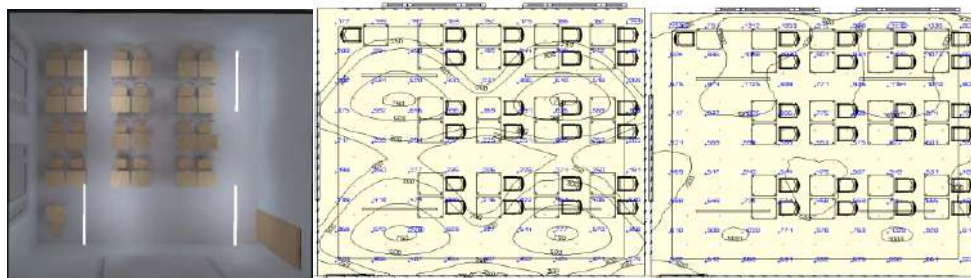
Gambar 3. Gambar dan Tabel Ruang Kuliah dan Distribusi Pencahayaan R-801

OPTIMASI PENCAHAYAAN RUANG KELAS 802										
Permukaan	Jarak Dari Dasar (M)	Faktor Refleksi (p %)	Target (Lx)	Total Pencahayaan Malam Hari			Total Pencahayaan Siang Hari - Cerah (Standar Software EVO DIALUX 7.1 2018)			
				E Rata-rata (Lx) - A	E Minimal (Lx) - A	E Maksimal (Lx) - A	Daylight Factor (%) B	E Rata-rata (Lx) - B	E Minimal (Lx) - B	E Maksimal (Lx) - B
Bidang Kerja	0,8	-	300	380	146	804	2,6	837	404	1522
Langit-langit	0	70	30	194	145	224	1,1	447	408	516
Dinding	0	86	0	198	0	331	7,1	566	0	1208



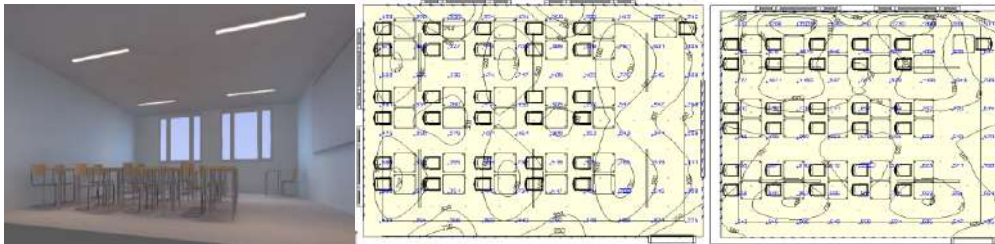
Gambar 4. Gambar dan Tabel Ruang Kuliah dan Distribusi Pencahayaan R-802

OPTIMASI PENCAHAYAAN RUANG KELAS 803										
Permukaan	Jarak Dari Dasar (M)	Faktor Refleksi (p %)	Target (Lx)	Total Pencahayaan Malam Hari			Total Pencahayaan Siang Hari - Cerah (Standar Software EVO DIALUX 7.1 2018)			
				E Rata-rata (Lx) - A	E Minimal (Lx) - A	E Maksimal (Lx) - A	Daylight Factor (%) B	E Rata-rata (Lx) - B	E Minimal (Lx) - B	E Maksimal (Lx) - B
Bidang Kerja	0,8	-	300	342	32	791	2,4	754	77	1455
Langit-langit	0	70	30	182	124	224	1	413	372	480
Dinding	0	86	0	173	0	318	6,8	496	0	1001



Gambar 5. Gambar dan Tabel Ruang Kuliah dan Distribusi Pencahayaan R-803

OPTIMASI PENCAHAYAAN RUANG KELAS 804										
Permukaan	Jarak Dari Dasar (M)	Faktor Refleksi (ρ %)	Target (Lx)	Total Pencahayaan Malam Hari			Total Pencahayaan Siang Hari - Cerah (Standar Software EVO DIALUX 7.1 2018)			
				E Rata-rata (Lx) - A	E Minimal (Lx) - A	E Maksimal (Lx) - A	Daylight Factor (%) - B	E Rata-rata (Lx) - B	E Minimal (Lx) - B	E Maksimal (Lx) - B
Bidang Kerja	0,8	-	300	433	44	843	4	1131	129	2203
Langit-langit	0	70	30	214	74	244	1,6	556	74	672
Dinding	0	86	0	223	0	362	9	777	0	1301



Gambar 6. Gambar dan Tabel Ruang Kuliah dan Distribusi Pencahayaan R-804

Banyaknya lampu yang dipakai pada saat siang hari dengan mengatur bukaan jendela ruang bersamaan dengan mengurangi jumlah pencahayaan pada lampu Philips hue dengan daya pencahayaan maksimum pada penggunaan ruang kuliah dengan mengurangi tingkat kesilauan, yang dapat dilihat melalui tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Jumlah Lampu Pencahayaan Siang Hari dan Total Daya Ruang

Ruang Kuliah	Optimasi Pencahayaan Ruang				
	Jumlah Lampu Dalam Ruang (Buah)	Jumlah Lampu Philips Hue Siang Hari (Buah)	Total Daya (W)	Total Pencahayaan Siang Hari (Lux)	
				Dinding	Bidang Kerja
R-801	5	2	188	487	731
R-802	4	2	188	566	837
R-803	5	2	188	496	754
R-804	6	3	282	777	1131
R-805	4	2	188	555	860
R-806	4	2	188	580	858
R-807	6	3	282	1753	2964
R-808	6	3	282	668	953

Pada saat lampu disusun dengan optimasi penerangan malam hari dengan lumen rata-rata seperti pada tabel 3 di atas, untuk optimasi pencahayaan dengan target 250 lux sesuai standar SNI. Sedangkan untuk optimasi pencahayaan di siang hari, pada saat hari cerah memungkinkan untuk tidak menghidupkan semua pencahayaan lampu tersebut dengan rata-rata cukup sebagian lampu dihidupkan. Bila sebanyak 4 lampu atau 5 lampu dalam ruang, yang dihidupkan hanya 2 lampu yang berdekatan dengan dinding. Bila 6 lampu dalam ruang, maka yang dihidupkan cukup 3 buah lampu yang berada dekat dengan dinding saja. Agar dapat mengimbangi penerangan yang berada dekat jendela. Ini disebabkan yang berada dekat jendela itu rata-rata mencapai 1000 lux, yaitu antara 800 hingga 1000 lux. Untuk yang berdekatan dengan dinding yang tidak dinyalakan itu mencapai 200 lux sehingga kurang dari standar, maka sistem instalasinya dibuat seimbang (*balance*).

Hasil dari Optimasi pencahayaan ruang kelas/lokal dengan bantuan Software (*Dialux evo 7.1*) ternyata lebih presisi, mampu membaca semua permukaan, dan sangat mudah untuk digabungkan dengan perencanaan dengan kondisi waktu pada saat siang hari dengan tingkat kecerahan kondisi matahari yang bisa diatur (*light scene for daylight condition*). Kemudian hasil optimasi dapat memperlihatkan bahwa pada saat siang hari, maka penggunaan cahaya buatan (lampu) harus disesuaikan agar tidak menyebabkan tingkat

kesilauan. Atau juga mengurangi tingkat cahaya matahari yang masuk dengan menutup sebagian jendela. Hal ini diharapkan agar rata-rata total lumen yang didapatkan diberbagai point area kerja sesuai dengan target dan ketentuan batas-batas SNI, yaitu antara 250 hingga 300 lux dengan rata-rata sebesar 275 lux.

5. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengaturan perangkat pencahayaan alami pada jendela ruang kelas seperti : tirai jendela, jendela, dan lampu penerangan dalam kelas, hasil data didapat dari perhitungan, pengukuran maupun analisis penelitian yang data-datanya kemudian diolah dengan menggunakan Dialux evo 7.1, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Optimasi pencahayaan ruang kelas/lokal dengan menggunakan Software (Dialux evo 7.1) lebih presisi, mampu membaca semua permukaan, dan sangat mudah untuk digabungkan dengan perencanaan dengan kondisi waktu pada saat siang hari dengan tingkat kecerahan kondisi matahari yang bisa diatur (*light scene for daylight condition*).
2. Hasil optimasi memperlihatkan bahwa pada saat siang hari, maka penggunaan cahaya buatan (lampu) harus disesuaikan agar tidak menyebabkan tingkat kesilauan. Atau juga mengurangi tingkat cahaya matahari yang masuk dengan menutup sebagian jendela. Hal ini diharapkan agar rata-rata total lumen yang didapatkan diberbagai point area kerja sesuai dengan target dan ketentuan batas-batas SNI.
3. Bila 4 buah luminaire lampu dalam ruang yang disediakan, maka yang dihidupkan hanya 2 buah lampu yang berdekatan dengan dinding. Bila 6 buah lampu dalam ruangan, maka yang dihidupkan cukup 3 buah lampu yang berada dekat dengan dinding saja. Agar dapat mengimbangi penerangan yang berada dekat dengan jendela. Ini disebabkan yang berada dekat jendela itu rata-rata mencapai 1000 lux, yaitu antara 800 hingga 1000 lux. Untuk yang berdekatan dengan dinding yang tidak dinyalakan itu mencapai 200 lux sehingga kurang dari standar, maka sistem instalasinya dibuat seimbang (*balance*).

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Standarisasi Nasional, "Standar Nasional Indonesia tentang Tata Cara Pencahayaan Buatan Pada Bangunan Gedung", (SNI-03-6575-2001), 2001
2. Badan Standarisasi Nasional, "Standar Nasional Indonesia tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Alami Pada Bangunan Gedung", (SNI-03-2396-2001), 2001
3. Panduan Pengguna Bangunan Gedung Hijau Jakarta" Buku Sistem Pencahayaan, Berdasarkan peraturan Gubernur No.38/2012, volume 3, 2012
4. Bean, James dan Karlen, Mark, "Dasar-Dasar Desain Pencahayaan", Penerbit Erlangga, Jakarta, 2007
5. E. Setiawan, Ir, Van Harten, P, "Instalasi Listrik Arus Kuat Jilid 2", Penerbit Bina Cipta, Jakarta, 1988
6. Frazier, Mary Claire, "*The Role of Daylighting in Green Building Design*". Proquest Science Journal, Vol.6, No.6, 2003
7. Ander, G, "*Daylighting Performance and Design*", John Wiley & Son, Inc, New York, 2003
8. Heschong L, Wright R, Okura S, "*Daylighting impacts on retail sales Performance*", Conference Proceeding of the Illuminating Engineering Society, 2001
9. Sri Kurniasih, "Optimasi Sistem Pencahayaan Pada Ruang Kelas Universitas Budi Luhur", Jurnal Arsitron Vol.5 No.1 Juni 2014 : Hal 21-33, ISSN 2086-9401