

SUBMISSION 4
Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Magnet Dengan Kapasitas 100 Watt

 Ridwan Sinaga^{1*}, Dahmir Dahlan¹, dan Eka Maulana¹
¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

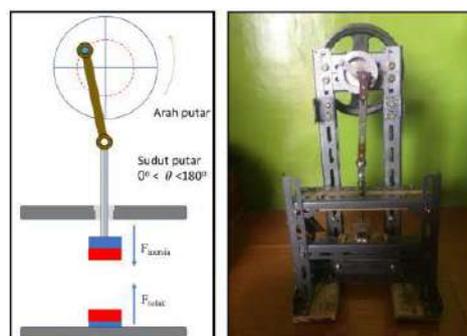
Abstrak. Saat ini listrik merupakan suatu hal yang sangat penting bagi seluruh golongan masyarakat, hampir seluruh masyarakat sangat terbantu dengan adanya energi listrik, namun dibalik semua itu ada dampak buruk yang bisa saja dihasilkan dalam memperoleh energi listrik, seperti penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan. Saat ini mayoritas pembangkit listrik di Indonesia masih menggunakan bahan bakar fosil, yang mana bahan bakar jenis ini memiliki banyak dampak negatif bagi kesehatan lingkungan, maka diperlukan energi terbarukan untuk mengurangi dampak negatif dari bahan bakar fosil ini. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang pembangkit listrik menggunakan magnet sebagai energi masukannya, dengan mekanisme yang tepat maka magnet dapat menghasilkan gerakan putar terus menerus. Perancangan ini dilakukan dengan menggunakan metode perancangan Pahl dan Beitz untuk mencapai konsep yang diinginkan. Magnet Neodymium N52 berbentuk silinder yang berdimensi 40 20 mm dan dimensi 20 5 mm dapat menghasilkan gaya tolak-menolak sebesar 20,67 N pada jarak 20 mm. Magnet kemudian disusun pada rotor dan stator, dengan mekanisme pemindah daya maka dapat memutar Generator PMG220 yang memerlukan kecepatan putar 200 RPM, sehingga rancangan pembangkit listrik bertenaga magnet dapat menghasilkan daya 100 Watt yang dapat digunakan untuk membantu kebutuhan rumah tangga seperti penerangan rumah.

Kata Kunci- Energi Terbarukan; Listrik; Magnet; Neodymium; Perancangan.

1. PENDAHULUAN

Di era yang modern ini energi listrik menjadi hal yang sangat dibutuhkan bagi kelangsungan hidup manusia dan berbanding lurus dengan kemajuan di bidang kesehatan, makanan, industri, dll [1]. Di Indonesia sendiri listrik ditangani dan dilayani oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Saat ini di Indonesia melakukan pengembangan terhadap energi alternatif untuk mengurangi dari dampak pemanasan global yang diakibatkan oleh penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan. Energi terbarukan merupakan energi yang memiliki regenerasi dan tak terbatas seperti matahari, angin, air, biomassa, khususnya magnet [2].

Pembangkit listrik tenaga magnet dapat bekerja dengan memanfaatkan gaya tolak-menolak atau tarik-menarik dari magnet itu sendiri, maka dengan mekanisme yang tepat gaya tolak-menolak ataupun gaya tarik-menarik dapat diubah menjadi gerakan putar [3]. Selanjutnya putaran tersebut dapat memutar generator, dimana generator berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik [4]. Magnet yang sering digunakan adalah magnet berjenis Neodymium (Nd₂Fe₂B) karena sampai saat ini magnet Neodymium merupakan jenis magnet permanen yang paling kuat di bumi [5]. Sudah banyak pembangkit listrik tenaga magnet yang sudah dilakukan percobaan, ada berbagai macam juga konsep pembangkit listrik tenaga magnet yang digunakan seperti *Magnetic Grafty Fan* dengan memanfaatkan grafitasi dan juga gaya tolak menolak magnet.



Gambar 1 Konsep Magnetic Grafty Fan [6]

Konsep lainnya yang biasa digunakan dalam pembangkit listrik tenaga magnet adalah konsep *V Gate Magnet Motor*, konsep ini dapat memanfaatkan gaya tolak-menolak magnet untuk memutar rotor yang ada dalam pembangkit listrik jenis ini. Pembangkit jenis ini dapat dikenali dengan bentuk kombinasi magnet yang menyerupai bentuk —V yang ditempelkan pada rotor, rotor ini dapat berputar jika ada magnet yang berperan sebagai magnet stator didekatkan pada tengah antara magnet yang berada di rotor, maka akan terjadi gaya tolak-

*Corresponding author; ridwansinaga04@gmail.com

menolak antara magnet rotor dan magnet stator, karena perbedaan jarak antara pangkal dan puncak magnet stator yang menyerupai $-V$ maka rotor akan berputar, tetapi pada pertemuan antara puncak dan pangkal magnet pada stator harus dijauhkan karena akan terjadi gaya tarik-menarik antara magnet stator dan magnet rotor, jika pada akhir siklus magnet stator dijauhkan, lalu didekatkan lagi setelah melewati akhir siklus maka rotor dapat berputar terus-menerus.

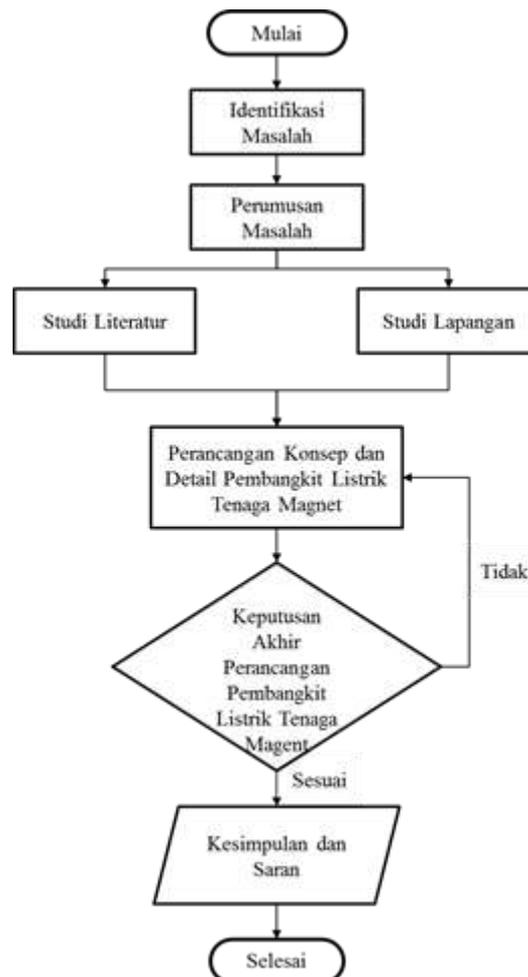


Gambar 2 Konsep V Gate Magnet Motor [7]

Tujuan yang diinginkan adalah untuk menghasilkan rancangan dari pembangkit listrik tenaga magnet dengan kapasitas 100 Watt, juga menentukan spesifikasi dari pembangkit listrik yang akan dirancang.

2. METODE

Adapun diagram penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

a. Identifikasi Kebutuhan

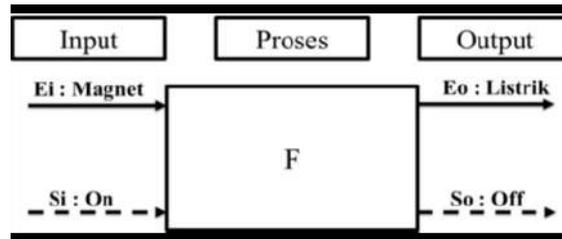
Masalah yang dihadapi pada hari ini adalah kebutuhan listrik yang terus bertambah, diikuti dengan penggunaan bahan bakar fosil yang semakin naik setiap harinya. Sehingga diperlukan pembangkit listrik yang ramah lingkungan untuk mengurangi dampak buruk dari bahan bakar fosil.

b. Studi Literatur dan Studi Lapangan

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data mengenai magnet, perancangan, teknologi permesinan, analisa perhitungan melalui berbagai macam sumber seperti jurnal, buku, katalog, diikuti dengan melakukan studi lapangan menggunakan magnet untuk mempelajari karakteristik dari magnet.

c. Perancangan Konsep

Pada tahap perancangan konsep dilakukan dengan menggunakan metode Pahl dan Beitz, sehingga rancangan dapat direalisasikan dengan baik, yang pertama dilakukan adalah menentukan blok fungsi terlebih dahulu, yang terdiri dari energi masukan, sinyal masukan, energi keluaran dan sinyal keluaran.



Gambar 4 Blok Fungsi

Selanjutnya adalah menentukan pohon fungsi, pada tahap pohon fungsi dijabarkan perencanaan yang akan digunakan. Perencanaan tersebut diuraikan gambar sebelumnya, ada beberapa sub-fungsi yang digunakan yaitu : magnet, kelistrikan, cover, transmisi, rotor dan stator.



Gambar 5 Pohon Fungsi

Selanjutnya hasil dari pohon fungsi akan dibuat varian konsep dengan menggunakan morfologi chart.

Tabel 1 Morfologi Chart

No	Sub Fungsi	Alternatif A		Alternatif B		Alternatif C	
		Nama	Gambar	Nama	Gambar	Nama	Gambar
1	Magnet	Neodymium		Alcino		Ferrit	
2	Bentuk Magnet	Balok		Disc		Ring	
3	Sistem Stator	Translasi		Rotasi			
4	Rotor	Horizontal		Vertikal			
5	Pemindah Daya	Roda Gigi & Rantai		Puli & Sabuk		Roda Gigi	
6	Generator	Generator DC		Generator AC			
7	Penutup/Cover	Alas		Setengah		Peruh	

Keterangan :

Garis : Varian 1
Garis : Varian 2

Setelah menentukan konsep dan sketsa selanjutnya adalah menghitung varian-varian dengan bobot kriteria, lalu dicari nilai variasi yang terbesar. varian dinilai dari angka 0 sampai 4, nilai 0 merupakan nilai terendah dan 4 merupakan nilai tertinggi.

Tabel 2 Keputusan Desain

No	Kriteria Evaluasi	Bobot	Varian 1		Varian 2	
			Nilai	Bobot	Nilai	Bobot
1	Ukuran Panjang & Lebar	0,075	3	0,225	3	0,225
2	Ukuran Tinggi	0,075	3	0,225	2	0,15
3	Tahan Lama	0,102	3	0,306	4	0,408
4	Kualitas Material	0,068	3	0,204	3	0,204
5	Komponen Mudah dicari	0,096	3	0,288	3	0,288
6	Mudah diproduksi	0,064	3	0,192	3	0,192
7	Frekuensi Perawatan	0,112	3	0,336	3	0,336
8	Biaya Perawatan	0,048	4	0,192	3	0,144
9	Mudah Lepas-Pasang	0,056	4	0,224	3	0,168
10	Perakitan mudah	0,084	4	0,336	3	0,252
11	Aman Pengoprasian	0,11	3	0,33	3	0,33
12	Mudah Pengoprasian	0,11	4	0,44	2	0,22
Jumlah		1		3,298		2,917

Setelah melakukan pembobotan dan menjumlah skor dari semua penilaian, maka dipilihlah varian 1 karena memiliki skor 3,298 dan lebih tinggi dibanding varian 2 yang memiliki skor 2,917. Gambar 5 adalah desain dari varian terpilih.

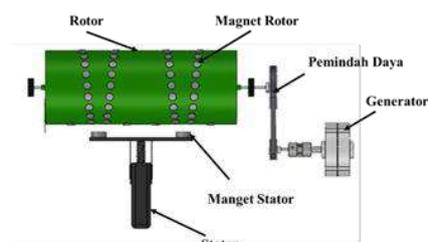


Gambar 6 Varian Terpilih

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Konsep Pembangkit Listrik yang Digunakan

Konsep pembangkit listrik tenaga magnet yang digunakan adalah konsep *V-Gate Magnet Motor*, dimana konsep ini memiliki dua bagian utama yaitu rotor dan stator. Rotor bisa berputar akibat dari adanya gaya tolak menolak magnet yang ada diantara magnet rotor dengan magnet stator. Pada bagian antara puncak dan pangkal —V— akan terjadi gaya tarik menarik antara magnet rotor dan magnet stator, yang akan mengakibatkan putaran rotor melambat, supaya putaran rotor tidak melambat, magnet stator harus dijauhkan supaya rotor dapat berputar secara kontinu, maka rotor dapat memutar generator listrik untuk membangkitkan listrik.



Gambar 7 Sistem V Gate Magnet Motor

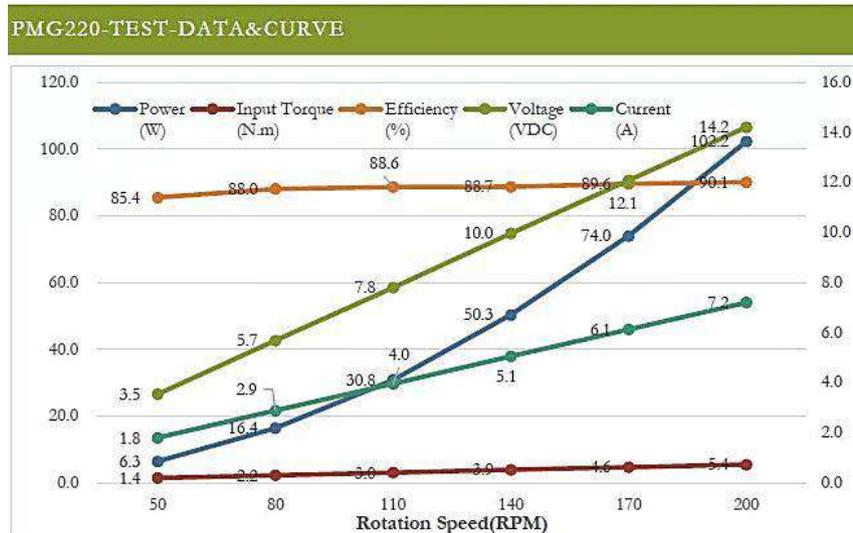
b. Perhitungan Kebutuhan Kecepatan Putar Rotor

Untuk menghitung kebutuhan kecepatan putaran rotor, harus diketahui terlebih dahulu kebutuhan dari generator yang akan digunakan. Generator yang akan digunakan adalah Generator PMG220, dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3 Spesifikasi Generator PMG220

No	Spesifikasi	Nilai
1	Rated Power	100 W
2	Rated Rotated Speed	200 rpm
3	Rated Voltage	14 V
4	Stator	Coreless
5	Shaft Material	Stainless Steel
6	Shell Material	Alumunium Alloy

Berikut adalah grafik data dari penggunaan Generator PMG220



Gambar 8 Grafik Data PMG220

Dilihat dari spesifikasi dan grafik Generator PMG220 maka diperlukan kecepatan putar sebesar 200 rpm dan torsi sebesar 5,4 N m sehingga dapat menghasilkan energi listrik 100 Watt. Untuk membangkitkan daya listrik 100 Watt, diperlukan perhitungan daya mekanik yang digunakan untuk memutar generator. perhitungan tersebut dapat dilakukan dengan persamaan berikut : [8]

$$P = \tau \times \omega$$

$$P = 5,4 \text{ N}\cdot\text{m} \times \frac{2\pi \times 200 \text{ rpm}}{60}$$

$$P = 113 \text{ Watt}$$

Dengan menggunakan diameter rotor 320 mm, maka untuk memutar generator dengan daya mekanik 113 Watt diperlukan gaya sebesar :

$$F = \frac{P}{\frac{D}{2} \times \omega}$$

$$F = \frac{113 \text{ Watt}}{\frac{0,3 \text{ [m]}}{2} \times \frac{2\pi \times 200 \text{ [rpm]}}{60}}$$

$$F = 36 \text{ N}$$

Selanjutnya menghitung gaya tolak yang terjadi antara magnet rotor yang berdimensi 40 20 mm dengan besaran Weber-nya adalah $3,5 \times 10^{-4}$ [Wb] dengan manget stator yang berdimensi 20 5 mm dengan besaran Weber-nya adalah $2,9 \times 10^{-5}$ [Wb], jarak antara kedua magnet adalah 20 mm, maka perhitungan gaya tolak kedua magnet dapat dilakukan dengan persamaan berikut : [9]

$$F = \frac{m_1 m_2}{\mu_0 r^2}$$

$$F = \frac{3,58 \times 10^{-4} [Wb] \times 2,9 \times 10^{-5} [Wb]}{4\pi \times 10^{-7} [Wb \cdot A \cdot m] \times 0,02^2 [m]}$$

$$F = 20,67 [N]$$

Karena produk menggunakan dua kombinasi magnet stator dan rotor maka gaya yang dihasilkan menjadi:

$$F = 20,67 [N] \times 2 = 41,34 [N]$$

Maka gaya yang dihasilkan magnet stator pada magnet rotor adalah $2 \times 20,67 [N] = 41,34 [N]$. Setelah mengetahui gaya yang dihasilkan magnet selanjutnya menghitung kecepatan putar rotor, perhitungan dapat dilakukan dengan persamaan mencari daya mekanik, maka perhitungannya adalah : [8]

$$\omega = \frac{P}{F \times \frac{D}{2}}$$

$$\omega = \frac{113}{(41,34 [N]) \times \left(\frac{0,3 [m]}{2}\right)}$$

$$\omega = 18,22 \text{ rad/s} \approx 173,988 \text{ rpm}$$

$$\text{dibulatkan} = 174 \text{ rpm}$$

Kecepatan putar rotor yang diperlukan untuk menghasilkan daya mekanik 113 Watt adalah 174 rpm.

c. Perhitungan Puli

Karena putaran yang dihasilkan rotor 174 rpm, sedangkan putaran yang dibutuhkan generator adalah 200 rpm maka dengan acuan diameter puli penggerak sebesar 100 mm dan menggunakan persamaan rasio puli, maka puli yang digerakkan dapat ditentukan melalui perhitungan berikut : [8]

$$D_2 = D_1 \times \frac{N_1}{N_2}$$

$$D_2 = 100 [mm] \times \frac{174 [rpm]}{200 [rpm]}$$

$$D_2 = 87 \text{ mm}$$

Maka diameter puli penggerak yang digunakan adalah 100 mm, sedangkan puli yang digerakkan menggunakan diameter 87 mm, sehingga dapat menghasilkan putaran 200 rpm.

Rasio puli yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{200}{174} = 1,15$$

Torsi yang dibutuhkan untuk menggerakkan generator adalah 5,4 N m, tetapi karena puli yang menggerakkan dan puli yang digerakkan berbeda ukuran, maka torsi yang dibutuhkan untuk menggerakkan generator adalah :

$$5,4 [N m] \times 1,15$$

$$= 6,371 [N m]$$

Jadi torsi yang dibutuhkan untuk menggerakkan rotor adalah 6,371 4 [N m]. Selanjutnya menghitung torsi yang dihasilkan rotor, gaya yang dihasilkan rotor adalah 41,34 [N] dan diameter rotor adalah 320 mm, maka torsi yang dihasilkan rotor adalah : [10]

$$\tau = f \times r$$

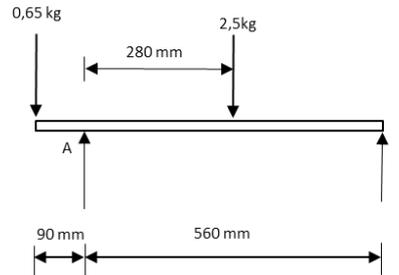
$$\tau = 41,34 [N] \times 0,16 [m]$$

$$\tau = 6,61 [N \cdot m]$$

Karena torsi rotor masih lebih besar dari torsi yang dibutuhkan generator, maka rotor mampu memutar generator untuk menghasilkan daya listrik.

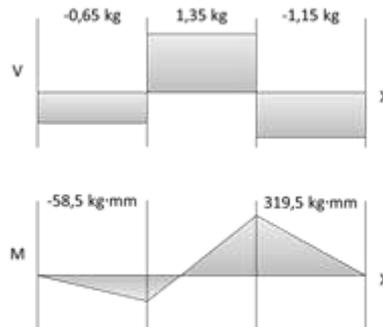
d. Perhitungan Diameter Poros

Dengan rumus perhitungan diameter poros dan dengan panjang poros yang sudah ditentukan yaitu sebesar 650 mm, maka diameter poros dapat ditentukan, dan poros akan diberi beban seperti gambar berikut.



Gambar 9 Pembebanan Pada Poros

Dan berikut adalah diagram gaya geser dan momen lentur yang terjadi pada poros.



Gambar 10 Diagram Gaya Geser dan Momen Lentur

Dari grafik dapat dilihat bahwa tegangan geser terbesar yang dialami poros adalah 1,35 kg dan momen lentur terbesar adalah 319,5 kg mm. Dalam menentukan diameter poros, yang pertama dilakukan adalah menghitung daya yang direncanakan (Pd) dengan perhitungan berikut : [11]

$$P_d = f_c \times P$$

$$P_d = 1 \times 0,1 [kW]$$

$$P_d = 0,1 [kW]$$

Selanjutnya adalah menghitung momen puntir dengan perhitungan berikut : [11]

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{P_d}{n}$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{0,113 [kW]}{174 [rpm]}$$

$$T = 632,54 [kg \cdot mm]$$

Material yang digunakan untuk poros adalah material AISI 304, maka dapat dihitung tegangan geser izin dengan acuan kuat tarik bahan, maka perhitungannya adalah : [11]

$$\tau_a = \frac{\sigma_b}{S_{f1} \times S_{f2}}$$

$$\tau_a = \frac{51,495 [kg/mm^2]}{5,6 \times 1,3}$$

$$\tau_a = 7,073 [kg/mm^2]$$

Diameter poros dapat dihitung, dengan memperhatikan faktor koreksi pembebanan puntir (K_t) dan faktor pembebanan momen lentur (K_m), maka perhitungannya adalah : [11]

$$D \geq \left[\left(\frac{5,1}{\tau_a} \right) \times \sqrt{(K_m \times M)^2 + (K_t \times T)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D \geq \left[\left(\frac{5,1}{7,073} \right) \times \sqrt{(1,5 \times 319,5)^2 + (1 \times 632,54)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D \geq 8,3 \text{ mm}$$

Diameter poros yang digunakan harus lebih besar atau sama dengan dari 8,3 mm. Maka diameter poros yang dipilih adalah 9 mm.

e. Perhitungan Bantalan

Pada perhitungan bantalan, ditentukan terlebih dahulu umur bantalan menurut waktu, umur bantalan yang digunakan adalah 40000 jam, selanjutnya adalah menghitung umur bantalan menurut jumlah putaran dengan perhitungan berikut :

$$L = 60 \times 227 \text{ [rpm]} \times 40000$$

$$L = 54,48 \times 10^7 \text{ Putaran}$$

Tahap selanjutnya adalah menghitung beban ekivalen statik (*WOR*) yaitu

$$W_{OR} = X_p \times W_R \text{ [N]} + Y_0 \times W_A$$

$$W_{OR} = 0,6 \times 19,62 \text{ [N]} + 0,5 \times 0$$

$$W_{OR} = 11,772 \text{ N}$$

Lalu menghitung beban ekivalen dinamik (*W*), yaitu :

$$W = X \times V \times W_R + Y \times W_A$$

$$W = 1 \times 1 \times 19,62 \text{ [N]} + 0 \times 0$$

$$W = 11,62 \text{ N}$$

Karena rating beban statik sebanding dengan beban ekivalen statik maka beban rating statik adalah :

$$C_0 = 11,772 \text{ N}$$

Sedangkan untuk menghitung rating beban dinamik (*C*) dapat dihitung, besar —Kl untuk bantalan peluru besarnya adalah 3. Maka,

$$C = W \left(\frac{L}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}}$$

$$C = 19,6 \text{ [N]} \left(\frac{54,48 \times 10^7}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 160,24 \text{ N}$$

Maka dapat disimpulkan parameter yang digunakan untuk pemilihan bantalan adalah :

Tabel 4 Parameter Spesifikasi Bantalan

No	Spesifikasi	Nilai
1	Jenis Bantalan	<i>Single Row Deep Deep Groove</i>
2	Diameter Dalam	9 mm
3	Rating Beban Statik	$C_0 \geq 11,772 \text{ N}$
4	Rating Beban Dinamik	$C_0 \geq 160,24 \text{ N}$

Dengan mengacu pada parameter pemilihan bantalan, maka bantalan yang dipilih adalah bantalan SKF 608 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 5 Spesifikasi Bantalan SKF 609

No	Spesifikasi	Nilai
1	Jenis Bantalan	<i>Single Row Deep Deep Groove</i>
2	Diameter Dalam	9 mm
3	Diameter Luar	24 mm
4	Tebal Bantalan	7 mm
5	Rating Beban Statik	$C_0 \geq 1660 \text{ N}$

6	Rating Beban Dinamik	c 3900 N
---	----------------------	------------

f. Perhitungan Stator

Karena gaya tolak yang dihasilkan magnet rotor dan stator besarnya 41,34 N maka diperlukan gaya pegas yang lebih besar dari gaya tolak menolak magnet, maka pegas yang digunakan adalah pegas ulir merk Century Spring tipe 10566 dengan spesifikasi berikut :

Tabel 6 Spesifikasi Pegas Century Spring 10566

No	Spesifikasi	Nilai
1	Diameter	24,21 mm
2	Panjang Bebas	57,9 mm
3	Panjang Padat	13,6 mm
4	Diameter Kawat	1,7 mm
5	Spring Rate	20,9 N/mm
6	Gaya terima Maksimum	47 N

Selanjutnya menghitung torsi yang dibutuhkan untuk menggerakkan kepala stator. Torsi dicari dengan acuan gaya terima maksimum pegas, yaitu 47 N dan dengan diameter pinion yang dipilih adalah 13 mm. Maka perhitungannya adalah : [8]

$$\tau = r \times F$$

$$\tau = 6,5 [mm] \times 47 [N]$$

$$\tau = 305,5 N \cdot mm$$

Dari hasil perhitungan sebelumnya dengan acuan torsi 305,5 N·mm, maka Motor yang akan digunakan pada stator adalah Motor DC 555, dengan spesifikasi :

Tabel 7 Spesifikasi Motor DC 555

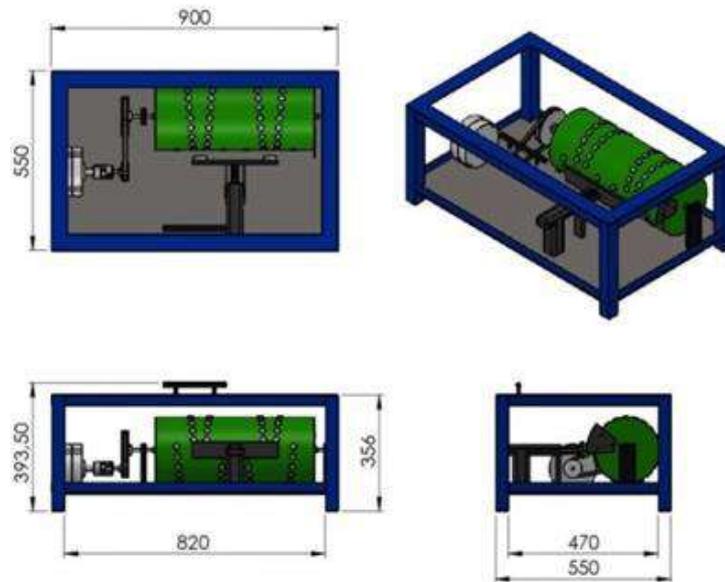
No	Spesifikasi	Nilai
1	Tegangan	10,8 – 20 V
2	Massa	220 g
3	Arus	0,22 sampai 1,30 [A]
4	Kecepatan Putar	7400 rpm
5	Torsi	334 N mm

g. Perancangan Detail

Berikut adalah spesifikasi teknis dan geometri dari Pembangkit Listrik Tenaga Magnet Dengan Kapasitas 100 Watt.

Tabel 8 Spesifikasi Teknis

No	Spesifikasi	Nilai	Keterangan
1	Kecepatan Putar Rotor	174 rpm	-
2	Magnet Rotor	$\varnothing 20 \times 5$ mm	Neodymium N52
3	Magnet Stator	$\varnothing 40 \times 20$ mm	Neodymium N52
4	Rotor	$\varnothing 320 \times 500$ mm	PVC
5	Poros	$\varnothing 9 \times 650$ mm	Aisi 304
6	Bantalan	SKF 609	-
7	Pemindah Daya	Puli & belt	Sabuk Tipe A
8	Rasio Pemindah Daya	1,15	-
9	Pegas	Century Spring 10566	Spring Steel - SPR
10	Motor Stator	Motor DC 555	-
11	Sensor	Proximity E18-D80NK	-
12	Generator	100 Watt	PMG220



Gambar 11 Geometri Produk

4. KESIMPULAN

Penelitian yang dilakukan menghasilkan rancangan pembangkit listrik tenaga magnet, dengan menggunakan magnet neodymium grade N52, untuk stator menggunakan dimensi 40×20 mm sebanyak dua buah, untuk rotor menggunakan dimensi 20×5 mm sebanyak 84 buah. Hasil tolak menolak kedua magnet tersebut adalah 20,67 N dan putaran yang dihasilkan dan sudah melalui mekanisme pemindah daya adalah 200 rpm. Putaran kemudian diteruskan ke Generator PMG220 dan diharapkan dapat menghasilkan 100 Watt yang dapat dipergunakan untuk membantu memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga seperti untuk menyalakan beberapa lampu. Parameter dari pembangkit listrik tenaga magnet ini adalah magnet dan dimensinya, dimensi rotor, sistem pemindah daya dan jumlah kombinasi pada pembangkit ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. U. Adoghe, I. O. Oyinlola, S. I. Popoola, dan A. A. Atayero. *Free Energy Generation Using Neodymium Magnets: An Off-Grid Sustainable Energy Solution for Sub-Saharan Africa*. *World Congress Engineering*, (London, UK 2017), 277–282 (2017).
2. K. B. Triana, K. R. Dantes, dan I. N. P. Nugraha. Pengembangan Desain *Free Energy Generator* Berbahan Magnet Neodymium Berbasis Solidworks Untuk Sistem *Recharging Prototype* Ganesha Electric Generasi II Undiksha. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, (Singaraja, Indonesia 2019) 111–121, (2019).
3. Sumardjati, —Motor Magnet ermanen Sebagai enghasil Gaya Dan utaran Tanpa Energi listrik, *Industrial Research Workshop National Seminar*, (Bandung, Indonesia 2012). 154–163 (2012).
4. A. Saputra, E. M. uthfi, G. U. Abdullah, M. Ifan, dan B. ahman, — embuatan Simulator Generator Dc Sebagai Media embelajaran Generator ada Engine Caterpillar C , *Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, (Jakarta Indonesia 2018). 105-115 (2018).
5. S. Usha, A. Geetha, T. M. Thamizh Thentral, C. Subramani, dan P. M. Dubey. *Novel Design and Analysis of Free Electric 2.2 Machine*. *International Journal of Engineering Advanced. Technology* 3770–3776 (2019).
6. J. Y. Prihatin, H. Kustanto, F. Ardiyanto, dan R. B. Syahputra. Kajian Optimasi Magnetic Grafity Fan Free Energy. *Jurnal Simetris*, (Surakarta, Indoensia 2018). 947–952, (2018).
7. P.Rajput, H. Upadhyaya, dan . Asthana, —Free Energy Generator, *International Research Journal Engineering Technology*. 1832–1834 (2017).
8. R. S. Khurmi dan J. K. Gupta, *A Textbook of Machine Design (S.I. Units)*. New Delhi: Eurasia Publishing House (2005).
9. S. H. ubis, S. Sutrisno, dan . ktonovrilna, —Analisa Gangguan Medan Magnet Kereta Api Listrik terhadap engamatan Geomagnet, *Al-Fiziya J. Mater. Sci. Geophys. Instrum. Theor. Phys.* 25–35 (2019).
10. R. A. Serway dan J. W. Jewett, *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*, 9th ed. Boston, USA: Brooks/Cole, 2014.
11. Sularso dan K. Suga, *Dasar - Dasar Pemilihan dan Perencanaan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita (1997).

SUBMISSION 5**Analisis Energi Yang Dihasilkan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Magnet Dengan Konsep V-Gate**Lutfi Gangsar Prayogo¹, Dahmir Dahlan¹, dan Eka Maulana¹¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Pemanfaatan energi listrik di Indonesia semakin dibutuhkan masyarakat, namun energi yang digunakan masih didominasi energi fosil sebesar 87,64 persen. Sehingga perlu dilakukan penelitian pada energi terbarukan salah satunya pembangkit listrik tenaga magnet, dengan memanfaatkan gaya tarik dan tolak magnet permanen untuk diubah menjadi gerak putar pada poros yang digunakan untuk memutar generator. Pembangkit listrik tenaga magnet diharapkan mampu memenuhi kebutuhan listrik sekala rumah tangga di daerah kepulauan yang memiliki kesulitan akses menjangkau pusat kota. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sudut dan jarak yang optimal pada stator dan rotor dengan pola V-Gate untuk mendapatkan kecepatan putaran tertinggi, kemudian dilakukan perhitungan daya yang dihasilkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan membuat prototype, kemudian dilakukan pengujian dengan variabel besar sudut dan jarak pangkal terhadap kecepatan putaran. Dari hasil pengujian, besar sudut yang optimal adalah 5 derajat, jarak pangkal sebesar 24 mm. Dari hasil perhitungan, daya mekanik yang dihasilkan sebesar 7,524 Watt. Daya tersebut belum mampu memenuhi konsumsi daya motor penarik stator dikarenakan jumlah magnet stator belum maksimal, sehingga gaya dorong yang dihasilkan kecil. Dari perhitungan kinerja motor DC dapat dioptimalkan dengan memaksimalkan jumlah magnet stator, sehingga menghasilkan daya mekanik sebesar 29,936 Watt.

Kata Kunci-Energi Terbarukan, Magnet, Pembangkit Listrik Tenaga Magnet.

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini pemanfaatan energi listrik di Indonesia sudah menjadi kebutuhan yang sangat vital, dari data kajian penyediaan dan pemanfaatan energi yang dipublikasikan oleh Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tanggal 23 April 2018, dalam menjamin ketersediaan energi listrik, pemerintah menargetkan energi yang harus disediakan pada tahun 2025 adalah 400 juta TOE (*tonne of oil equivalent*). Besaran 400 TOE tersebut akan diperoleh dari berbagai sumber energi yang terdiri dari minyak bumi 25%, gas bumi 22%, batubara 30%, dan energi baru terbarukan 23% [1]. Dari data tersebut penggunaan energi fosil masih mendominasi dari total penggunaan energi di Indonesia, sehingga dapat berdampak buruk bagi lingkungan, salah satunya yaitu pemanasan global yang sudah banyak dirasakan dampaknya pada saat ini. Untuk itu perlu dilakukan penelitian pada energi alternatif, salah satunya pembangkit listrik tenaga magnet. Pembangkit listrik tenaga magnet diharapkan menjadi alternatif energi baru yang ramah lingkungan dimasa depan untuk rumah hemat mandiri energi di Indonesia, terutama didaerah pulau-pulau kecil atau daerah yang memiliki kesulitan akses untuk menjangkau daerah pusat kota.

Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga magnet adalah dengan memanfaatkan gaya tarik dan tolak pada magnet permanen, gaya magnet tersebut dapat diubah menjadi gerak putar pada poros jika dirangkai dengan mekanisme yang tepat, sehingga dapat diperoleh motor penggerak bertenaga magnet yang akan digunakan untuk memutar generator listrik [2]. Magnet permanen terdiri dari beberapa jenis, yang banyak dikenal yaitu magnet ferrite, neodymium dan magnet samarium cobalt. Magnet ferrite adalah jenis magnet permanen yang disintesis dengan menggunakan bahan dasar oksida [3]. Sementara magnet samarium-cobalt merupakan magnet permanen yang kuat terbuat dari paduan samarium dan cobalt. Magnet neodymium merupakan jenis magnet permanen yang terbuat dari tanah jarang (*rare earth*), karena terdiri dari dua atom yaitu unsur tanah jarang neodymium (Nd), kemudian 14 atom besi (Fe) dan satu atom baron (B) maka terbentuk rumus molekul $Nd_2Fe_{14}B$ [4]. Karakteristik magnet yang dimiliki $Nd_2Fe_{14}B$ lebih baik apabila dibandingkan dengan magnet permanen lainnya seperti samarium cobalt dan ferrit, karena magnet ini memiliki energi produk yang tinggi, sehingga dalam aplikasinya magnet neodymium memiliki ukuran atau dimensi dan volume yang kecil [5].

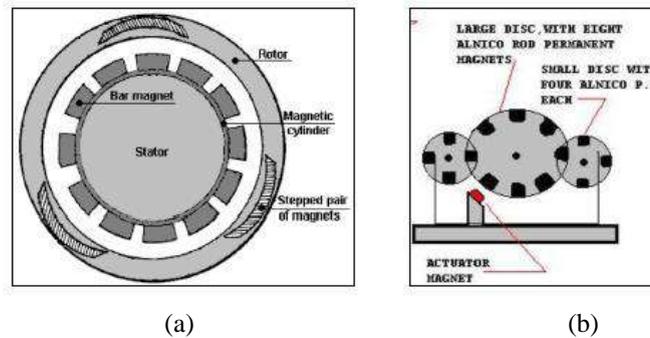
Tabel 1. Perbandingan Karakteristik Magnet [6]

Material	Density g/cm^3	B_R T	H_{cJ} kA/m	H_{cB} kA/m	(Bh_{max}) (kJ/m^3)
Sr Ferit	4,81	0,388	229,2	224,8	28,68
$Nd_2Fe_{14}B$	7,43	1,212	976,9	868,2	265,05
$SmCO_5$	8,36	0,882	1598,1	584,9	128,37
Sm_2Co_{17}	8,48	1,082	>1600	839,8	227,17

Eksperimen membuat prototipe pembangkit listrik tenaga magnet atau motor bertenaga magnet permanen sudah banyak dilakukan, seperti *Johnson's Permanent Magnet Motorcycle*, bahan magnet yang digunakan adalah

* Corresponding author: lutfigangsarprayogo@gmail.com

magnet samarium cobalt, konfigurasi susunan magnet Johnson bertujuan supaya fluks magnet motor ini tetap seimbang, sehingga menghasilkan putaran yang terus-menerus. Motor magnet dipasang pada poros nonmagnet, pengatur magnet ditempatkan di silinder mu-metal, Mu-metal sangat konduktif untuk fluks magnet [7]. Kemudian contoh motor bertenaga magnet lainnya adalah *Bowman Magnetic Motor*, motor bertenaga magnet ini menggunakan tiga poros yang terpasang pada dua dudukan plat, salah satu poros menggunakan roda besar dan dua poros lainnya menggunakan roda kecil dan dipasang roda gigi yang digunakan untuk mengatur putaran poros ketiga roda. Pada motor bertenaga magnet permanen ini menggunakan satu magnet aktuator bersifat statis, berhadapan dengan magnet pada roda yang digunakan untuk memberikan gaya dorong terhadap magnet yang terpasang pada roda besar. Setelah terjadi putaran pada roda, kemudian putaran ini akan dipindahkan ke generator melalui sistem pemindah daya drive belt, sehingga tercipta energi listrik[8].



Gambar 1: (a) *Johnson's Permanent Magnet Motorcycle*; (b) *Bowman Magnetic Motor*[7] [8]

Sementara penelitian yang dilakukan oleh Yakob Liklikwatil dan beberapa rekanya, membuat prototipe pembangkit listrik tenaga magnet. Pada sistem pembangkit ini, untuk memutar generator dengan memanfaatkan gaya tolak antara nosel atau magnet pendorong dengan magnet yang terpasang pada roda turbin, sementara roda turbin dipasang pada poros generator. Dari hasil penelitiannya, turbin magnet permanen yang bebas energy ini bisa berputar dengan nosel yang dinamis tetapi tidak dapat berputar secara terus menerus dengan nosel yang tetap diam pada posisi[9]. penelitian sejenis juga dilakukan oleh sumarno, dengan memanfaatkan motor dan dinamo yang masing-masing telah dipasang piringan, kemudian piringan tersebut disusun magnet neodmium yang diharapkan dapat menjadi sumber penggerak alat tersebut, magnet permanen yang disusun melingkar dengan kutub yang dipasang berlawanan atau dengan kata lain mempunyai konfigurasi N-S-N-S, konfigurasi ini bertujuan agar terjadi gaya tarik menarik dan tolak menolak pada kumparan, sehingga akan timbul induksi tenaga tolakan elektromagnetik, namun teori tersebut belum bisa dibuktikan secara eksperimen lapangan [10].

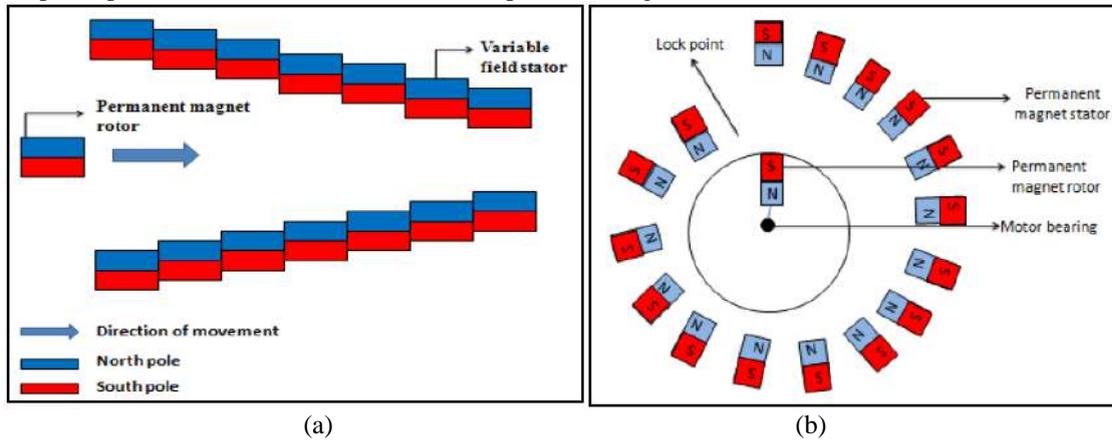


Gambar 2 Pembangkit Listrik Tenaga Magnet Terdahulu [10]

Terdapat konsep susunan magnet yang terbukti bisa merubah gaya tolak magnet menjadi gerak putar yaitu konsep V-Gate, dimana konsep ini memiliki ciri khas tersendiri, yaitu magnet permanen disusun membentuk pola menyerupai huruf V pada sebuah tabung yang berperan sebagai rotor, kemudian ditengah pola V tersebut, dipasang magnet stator dengan kutub berlawanan, konsep seperti ini mampu memutar rotor namun tidak bisa secara terus-menerus, melainkan satu siklus putaran saja, hal ini dikarnakan terjadinya gaya tolak balik (lock point) pada akhir siklus. Pada penelitian yang dilakukan oleh Isnadi, dilakukan pengujian terhadap motor bertenaga magnet permanen dengan konsep V-Gate. Dalam pengujian dilakukan dengan dua cara, yaitu pengujian manual dan pengujian otomatis. Pengujian secara manual merupakan pengujian dengan cara memberikan tambahan gaya dari luar untuk menggerakkan stator. Sedangkan pengujian secara otomatis merupakan pengujian yang dilakukan tanpa memberi gaya dari luar, sehingga diharapkan alat peraga dapat bekerja secara otomatis. Sementara dari penelitian itu, data hasil pengujian secara manual didapat kuat medan magnet terbesar 199,99 mT dan kecepatan putaran sebesar 60 rpm, sementara dari penelitian otomatis didapat kecepatan putaran sebesar 38 rpm [11].

Pembangkit listrik tenaga magnet dengan konsep V-Gate pernah dibuat pada peneliti sebelumnya, dengan memasang susunan magnet V-Gate pada stator yang berbentuk spiral, di pertengahan stator tersebut dipasang poros yang terhubung

dengan motor DC, kemudian pada poros tersebut terdapat magnet rotor dengan posisi tolak-menolak dengan magnet stator. Karena gaya tolak tersebut rotor berputar namun akan tertahan oleh gaya tolak balik (lock point) pada sambungan V-Gate, oleh karena itu pada saat melewati sambungan V-Gate dipacu menggunakan motor DC dengan dibantu sensor proximity sehingga mampu berputar secara terus- menerus dan mampu memutar generator listrik [12].

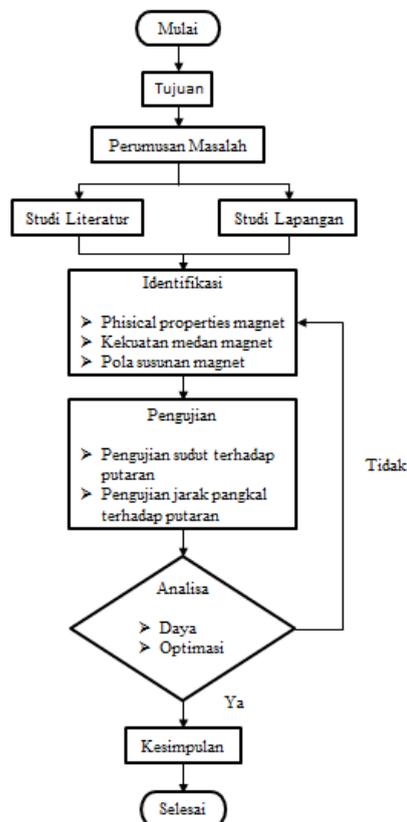


Gambar 3 : (a) Susunan V-Gate; (b) Spiral Rotor[12]

Pada penelitian yang akan dilakukan, terdapat perbedaan dari peneliti sebelumnya, dimana susunan V-Gate tidak disusun pada stator, namun disusun pada rotor dengan sudut yang tepat, dimana rotor berbentuk tabung. Stator dibuat dengan mekanisme mampu bergerak maju-mundur, saat stator bertemu lock point maka akan bergerak menjauhi rotor dengan ditarik oleh motor DC yang dibantu oleh sensor proximity. Dengan mekanisme tersebut diharapkan menghasilkan torsi dan putaran yang lebih optimal dan menghasilkan daya yang lebih besar. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah menentukan besar sudut dan jarak magnet yang tepat, untuk mendapatkan torsi dan putaran yang tinggi, menghitung daya listrik yang di hasilkan sistem tersebut kemudian mengoptimasi energi pada sistem pembangkit.

2. METODE PENELITIAN

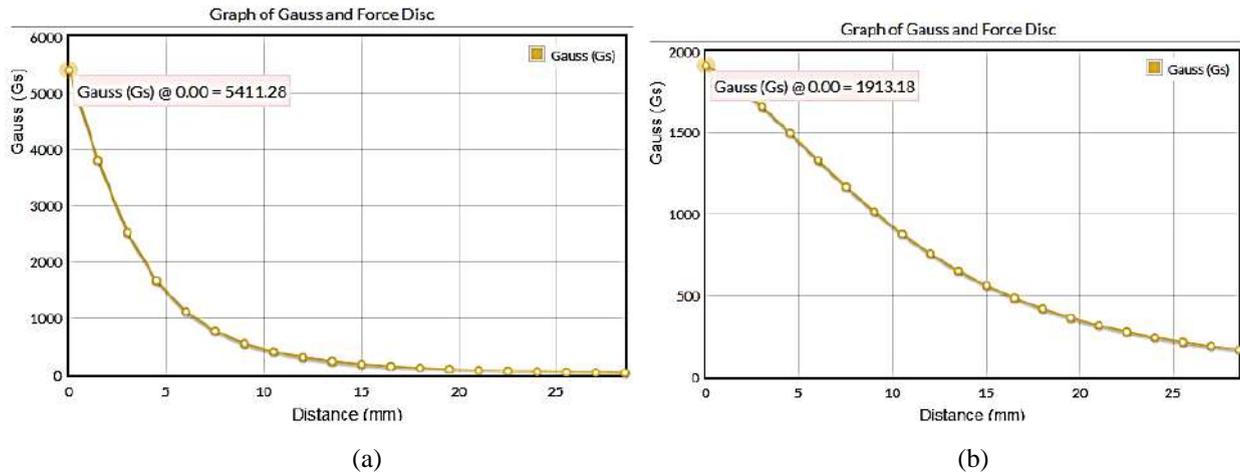
a. Diagram Alir Penelitian



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

b. Identifikasi

Jenis magnet yang digunakan pada penelitian ini adalah magnet neodymium, Magnet neodymium yang dipasang pada rotor menggunakan grade N30 dengan dimensi 10 mm × 10 mm yang memiliki besar medan magnet 5411,28 Gauss, sementara pada stator menggunakan grade N30 dengan dimensi 30 mm × 5 mm yang memiliki besar medan magnet 1913,18 Gauss. Berikut grafik besar medan magnet neodymium yang digunakan.



Gambar 5 Medan Magnet : (a) Grade N30 10 mm × 10 mm; (b) Grade N30 30 mm × 5 mm[13]

Keunggulan yang dimiliki oleh magnet neodymium harganya lebih murah apabila dibandingkan dengan magnet yang lain. Tetapi magnet ini memiliki kekurangan tidak dapat diaplikasikan pada suhu tinggi dikarenakan hanya mampu beroperasi pada suhu maksimum berkisar sampai 200 °C, berikut merupakan physical properties dari magnet neodymium.

Tabel 2. Physical Properties Magnet Neodymium[13]

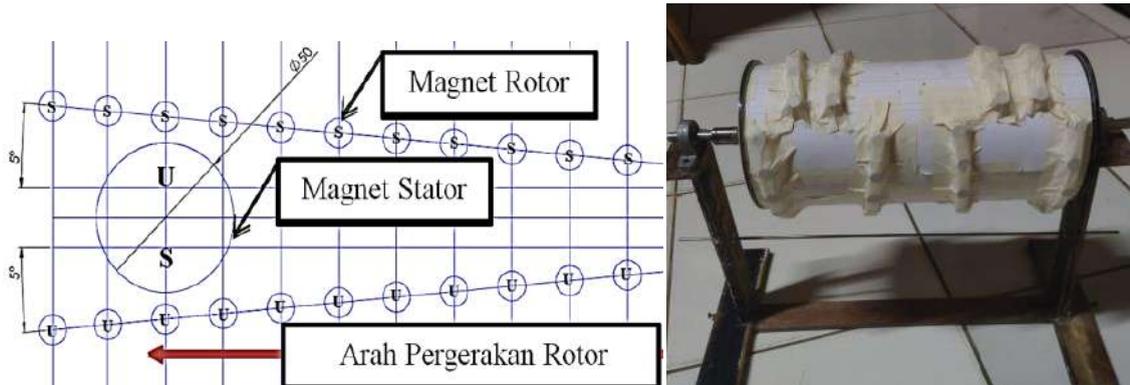
Parameter	Satuan	Nilai
Currie temperature	°C	310-370
Maximum oprating temperature	°C	80-240
Hardness	Hv	560-580
Resistivity	$\mu\Omega.cm$	160
Density	g/cm^3	7,4
Relative recoil permeability	μ_{rec}	1,05
Temperature coefficient of Br	%/°C	(-0,12)-(-0,10)
Temperature coefficient of iHc	%/°C	-0,6

c. Pengujian

Setelah dilakukan identifikasi, kemudian dilakukan uji fungsi dan kinerja pada alat percobaan, tahap pertama dilakukan pengujian terhadap besar sudut V-Gate pada susunan magnet rotor, dikarenakan besar sudut tersebut berpengaruh terhadap gaya tolak yang diberikan stator terhadap rotor, sehingga semakin mendapatkan sudut yang tepat maka gaya tolak yang diberikan antaran magnet stator dan rotor maka akan semakin terarah sehingga rotor dapat berputar dengan maksimal. Berikut langkah pengujian besar sudut V-Gate.

- Langkah pertama membuat gambar garis susunan V-Gate pada ketas karton dengan besar sudut 2,5 derajat, dan diberikan tanda dimana magnet akan dipasang.
- Memasang kertas karton yang sudah digambar pada permukaan rotor, kemudian dipasang selotip hingga kuat.
- Kemudian menyusun magnet pada garis yang sudah diberikan tanda, kemudian memberi selotip pada permukaan magnet hingga kuat.
- Kemudian rotor dipasang pada rangka dan alat prototipe dijalankan.
- Mengukur kecepatan putaran rotor menggunakan tachometer dan mencatat hasilnya.
- Kemudian semua magnet pada rotor dilepaskan dan menggambar kembali garis V-Gate pada karton yang baru dengan sudut 5 derajat dan diberikan tanda diamana magnet akan dipasang.
- memasang kembali kertas karton yang sudah digambar pada permukaan rotor, kemudian dipasang selotip hingga kuat

- Kemudian menyusun kembali magnet pada garis yang sudah diberikan tanda, kemudian memberi selotip pada permukaan magnet.
- Kemudian rotor dipasang pada rangka dan alat prototipe dijalankan kembali.
- Mengukur kembali kecepatan putaran rotor menggunakan tachometer dan mencatat hasilnya.
- Kesimpulan dari pengujian ini, apabila sudut 5 derajat menghasilkan kecepatan putaran rotor yang lebih tinggi dibandingkan dengan sudut 2,5 derajat, maka perlu melakukan pengujian kembali dengan sudut yang lebih besar hingga kecepatan turun kembali. Apabila sudut 5 derajat menghasilkan kecepatan putaran rotor lebih rendah dibandingkan dengan sudut 2,5 derajat, maka perlu melakukan pengujian kembali terhadap sudut kurang dari 2,5 derajat.



(a) (b)
Gambar 6 Susunan V-Gate : (a) Gambar Sketch; (b) Susunan Magnet

Setelah dilakukan pengujian besar sudut V-Gate, kemudian dilakukan pengujian jarak pangkal V-Gate, langkah pengujian ini sama dengan pengujian besar sudut, hanya variabelnya jarak pangkal. Pengujian ini dilakukan dengan variasi jarak 12 mm, 16 mm, 20 mm, 24 mm, 28 mm dan 32 mm. Penggunaan variasi jarak tersebut dikarnakan pada jarak 16 mm kecepatan putaran rotor lebih tinggi dibanding dengan jarak 12 mm, sehingga jarak pangkal perlu diperlebar menjadi 24 mm. Pada jarak 28 mm kecepatan putaran rotor kembali turun, begitu pula pada jarak 32 mm kecepatan semakin lambat, maka dapat disimpulkan jarak pangkal yang menghasilkan gaya magnet terbesar adalah 24 mm, sehingga menghasilkan putaran rotor yang maksimal.



(a) (b)

Gambar 7 Pengukuran : (a) Kecepatan Putaran Rotor; (b) voltase generator

Setelah dilakukan pengujian maka didapat besar sudut dan jarak pangkal V-Gate yang tepat, kemudian lepaskan semua magnet pada rotor, setelah itu dibuat dudukan magnet pada rotor secara permanen dengan membuat lubang pada rotor disesuaikan dengan diameter magnet yang akan dipasang. Kemudian magnet dipasang kembali pada rotor dengan lem power glue. Setelah semua instalasi dari sistem pembangkit semuanya terpasang, maka alat dapat dijalankan dan dilakukan pengukuran voltase listrik yang dihasilkan generator, dimana genertor yang dipakai adalah RS-385 SH-2160 dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 3 Spesifikasi Generator[14]

Parameter	Nilai
Model NO	RS-385
Output Power	1-20W
Brush Type	Carbon Brush
Voltage(V)	3V-48V
Current	1 A

d. Analisa

• Daya

Untuk menganalisa daya yang dihasilkan perlu dihitung terlebih dahulu gaya tolak antara magnet stator dan magnet rotor, gaya tolak juga dipengaruhi seberapa besar medan magnet yang dimiliki, gaya tolak antara kedua magnet dapat dihitung dengan persamaan 1.

Persamaan 1 perhitungan gaya dua magnet yang didedatkan [15].

$$F = \frac{m_1 \times m_2}{\mu r^2} \quad (1)$$

Dimana,

F = Gaya magnet (N)

m = merupakan kekuatan kutub (wb)

μ = permeabilitas medium dalam udara ($4\pi \times 10^{-7} Wb/Am$)

r = merupakan jarak antara dua magnet (m).

Setelah gaya magnet dihitung kemudian dilakukan perhitungan torsi yang dihasilkan, torsi dapat dihitung dengan persamaan 2.

Persamaan 2 perhitungan torsi [16].

$$\tau = r \times F \quad (2)$$

Dimana,

τ = besar momen gaya (Nm)

r = jarak sumbu rotasi (m)

F = besar gaya yang dikerjakan (N)

Kemudian selanjutnya dapat dihitung daya mekanik yang dihasilkan dari sistem pembangkit tenaga magnet ini dengan persamaan 3.

Persamaan 3 perhitungan daya mekanik [17].

$$P = T \times \omega = T \times \frac{2\pi N}{60} \quad (3)$$

Dimana,

P = Daya ($Watt$)

T = Torsi (Nm)

N = Kecepatan (rpm)

Kemudian daya listrik dapat dihitung dengan persamaan 4.

Persamaan 4 perhitungan daya listrik [18].

$$P = V \times I \quad (4)$$

Dimana,

P = daya

V = tegangan listrik

I = arus listrik

Target daya yang dicapai adalah lebih besar dari daya listrik yang dipakai dari sistem pembangkit itu sendiri, dimana pada sistem pembangkit yang dibuat, daya listrik yang dibutuhkan untuk oprasi adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Pemakaian Daya Dalam Sistem

Peralatan	Daya
Motor DC	8,28 Watt
Sensor Proximity	0,15 Watt
Total	8,24 Watt

Apabila daya yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan daya yang dikonsumsi, maka dilakukan perhitungan terhadap motor DC (motor penarik stator), apakah sudah maksimal kinerja dari motor DC tersebut, dikarenakan daya output yang dihasilkan pada motor DC perlu disesuaikan dengan jumlah magnet stator yang digunakan.

- Optimasi

Optimasi dari sistem pembangkit ini dapat dilakukan dengan menghitung beban maksimal yang bisa digerakan oleh motor penarik stator, sehingga jumlah magnet pada stator bisa dimaksimalkan. Hal ini dapat diketahui dengan menghitung gaya yang dibutuhkan untuk menarik stator terlebih dahulu dengan persamaan 5.

Persamaan 5 perhitungan gaya yang dibutuhkan untuk menarik stator [19]

$$F = m \times a \quad (5)$$

Dimana,

F = gaya (N)

m = massa (kg)

a = percepatan (m/s^2)

Dikatakan pada saat menarik magnet stator ditahan oleh pegas, maka perlu ditambahkan gaya untuk menekan pegas. Diketahui pegas yang digunakan berjenis *compression springs* OD 14,27 mm ID 13,2 mm yang memiliki konstanta 0,12 N/mm, maka dapat di hitung gaya untuk menekan pegas dengan persamaan 6.

Persamaan 6 perhitungan gaya untuk menahan pegas [20].

$$F = k \times x \quad (6)$$

Dimana,

F = gaya untuk menekan pegas

k = konstanta pegas

x = perubahan panjang pegas

Sehingga daya yang di butuhkan untuk menarik magnet stator dapat di hitung dengan persamaan 7.

Persamaan 7 perhitungan daya mekanik yang dibutuhkan untuk menarik stator [18].

$$P = \frac{(F + F_x) \times S}{t} \quad (7)$$

Dimana,

P = daya

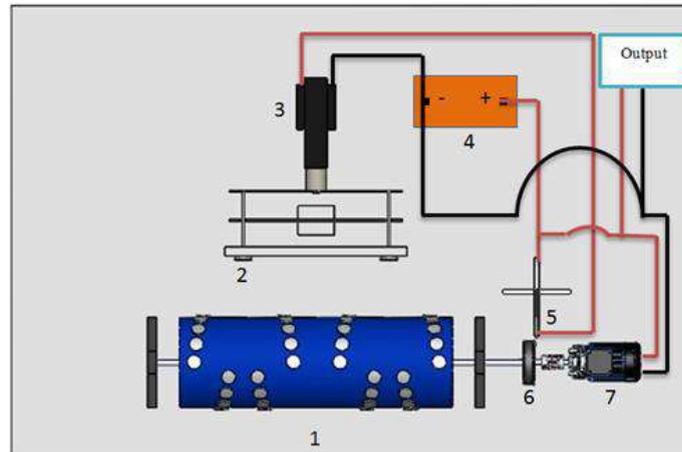
F = gaya tarik yang dibutuhkan

F_x = gaya pegas

Apabila daya output motor penarik stator sudah dimanfaatkan dengan beban maksimal, maka optimasi bisa dilakukan dengan mengganti magnet pada stator dan rotor dengan grade yang lebih tinggi, contohnya N52. Namun apabila daya output belum dimanfaatkan secara maksimal maka cukup menambah jumlah magnet stator yang disesuaikan dengan perhitungan untuk menaikkan torsi pada pembangkit, sehingga didapat daya yang lebih besar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Komponen Dan Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Magnet



Gambar 8. Instalasi Sistem Pembangkit

1. Rotor

Pada permukaan rotor disusun magnet neodmium grade N35 dengan ukuran 10 mm × 10 mm, magnet ini disusun mengelilingi rotor dengan membentuk pola huruf V yang memiliki besaran sudut tertentu, untuk mengetahui besar sudut yang optimal harus dilakukan percobaan terlebih dahulu dan dipilih rpm tertinggi.

2. Magnet Stator

Magnet stator dipasang berhadapan dengan bagian pertengahan susunan pola V magnet rotor dengan jarak 30 mm, jenis magnet stator yaitu magnet neodmium grade N 35 dengan ukuran 30 mm × 5 mm, pada magnet stator harus bisa digerakan, dikarenakan pada saat melewati lock point magnet stator harus dijauhkan supaya rotor mampu berputar secara terus-menerus.

3. Motor penarik magnet stator

Motor penarik ini menggunakan motor DC, saat dialiri arus listrik motor DC akan menarik stator menjauhi rotor saat melewati lock point, lalu pegas yang terpasang pada tuas stator akan mendorong kembali stator mendekati rotor setelah melewati lock point.

4. Baterai

Baterai digunakan sebagai sumber energi awal untuk menyuplai arus listrik pada motor penarik stator, setelah rotor berputar dengan kecepatan maksimal maka baterai digunakan untuk menyimpan dan menyetabilkan arus listrik.

5. Sensor Proximity

Sensor ini digunakan untuk mengatur listrik yang dialirkan ke motor DC, dengan cara membaca kapan lock point melewati magnet stator. Prinsipnya dengan memberi penampang pada rotor sehingga pada saat penampang berputar dengan rotor akan melwati sensor tersebut.

6. Pulley

Pulley digunakan untuk memindahkan daya dari poros rotor menuju poros generator, rasio pulley disesuaikan dengan kebutuhan putaran generator untuk membangkitkan listrik.

7. Generator

Generator digunakan untuk mengubah energi mekanik yang diperoleh dari rotor menjadi energi listrik yang akan disuplai untuk input pemakaian dan output pemakaian.

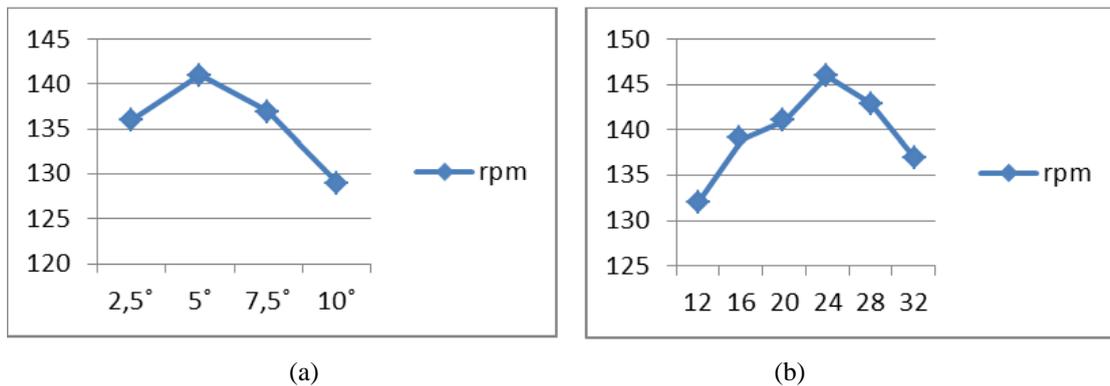
b. Pengujian

Variabel yang digunakan pada pengujian motor bertenaga magnet permanen ini yaitu hubungan besar sudut dan jarak pangkal V-Gate dengan kecepatan putaran, sementara alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini diantaranya tachometer, sensor proximity, motor doorlock, baterai, pipa PVC, kertas karton, slotipe dan rangka dudukan rotor. Spesifikasi motor bertenaga magnet permanen yang akan dilakukan pengujian sebagai berikut.

Tabel 5. Spesifikasi Utama Motor Bertenaga Magnet

Spesifikasi	Nilai	Spesifikasi	Nilai
Diameter rotor	101,6 mm	Tipe magnet stator	Neodymium N30
Panjang rotor	234 mm	Jumlah magnet stator	2
Jumlah magnet rotor	64	Jarak stator dan rotor	30 mm
Dimensi Magnet Rotor	10 mm × 10 mm	Medan magnet stator	1913 Gauss
Tipe magnet rotor	Neodymium N30	Medan magnet rotor	5411 Gauss
Dimensi magnet stator	30 mm × 5 mm		

Tahap pertama dilakukan pengujian terhadap besar sudut V-Gate yang bertujuan untuk mengetahui besar sudut yang menghasilkan putaran rotor tertinggi, berikut merupakan data hasil pengujian terhadap besar sudut V-Gate.



Gambar 9 Grafik pengujian: (a) Besar sudut; (b) Jarak pangkal.

Dari grafik diatas sudut 5 derajat didapatkan putaran sebesar 141 rpm, maka pada sudut ini didapat torsi yang lebih besar diakibatkan gaya tolak antara magnet stator dan rotor lebih terarah untuk mendorong rotor berputar. Kemudian tahap selanjutnya dilakukan pengujian terhadap jarak pangkal V-Gate yang bertujuan untuk mendapatkan kecepatan putaran rotor yang maksimal, pada saat jarak pangkal dirubah menjadi 24 mm kecepatan putaran bertambah menjadi 146 rpm. Pemilihan sudut dan jarak pangkal ini sangat berpengaruh terhadap torsi pada putaran rotor, dikarenakan apabila besar sudut dan jarak pangkal disusun dengan ukuran yang tepat maka gaya tolak magnet akan lebih terarah untu mendorong rotor, sehingga rotor mampu berputar lebih cepat dengan torsi yang lebih besar, oleh karna itu daya yang dihasilkan lebih besar.

c. Hasil Perhitungan

Tabel 6 Hasil Perhitungan

Parameter	Nilai
Gaya tolak magnet	5,08 <i>N</i>
Torsi putaran rotor	0,51 <i>Nm</i>
Daya mekanik rotor	7,524 <i>Watt</i>
Daya listrik generator	5,52 <i>Watt</i>
Daya input motor DC	8,28 <i>Watt</i>
Daya output motor DC	4,39 <i>Watt</i>
Kebutuhan daya motor DC untuk menarik stator	1,05 <i>Watt</i>
Maks. Jumlah stator yang mampu ditarik	4 stator
Torsi putaran dengan jumlah magnet stator maksimal	2,06 <i>Nm</i>
Daya mekanik dengan jumlah magnet stator maksimal	29.936 <i>Watt</i>

Hasil perhitungan pada tabel diketahui bahwa daya mekanik pada rotor sebesar 7,524 Watt, daya tersebut hanya mampu menggerakkan generator mini, yang menghasilkan daya listrik sebesar 5,52 Watt. Sementara pada sistem pembangkit ini

konsumsi daya untuk operasi 8,24 Watt. Tentunya daya yang dihasilkan dari sistem pembangkit ini minus (tidak cukup untuk mengoperasikan sistem itu sendiri). Sehingga perlu diidentifikasi kembali apakah jumlah atau jenis maupun dimensi magnet sudah disesuaikan dengan energi yang dikonsumsi sistem pembangkit itu sendiri. Dari hasil perhitungan output daya mekanik yang dimiliki motor penarik stator adalah 4,39 Watt, sementara untuk menarik stator hanya dibutuhkan daya mekanik 1,05 Watt. Jadi dapat diambil kesimpulan bahwa motor penarik stator ini mampu menarik 4 stator, dimana 1 stator terdiri dari dua magnet stator. Dari Perhitungan yang dilakukan sistem pembangkit ini dapat dioptimasi dengan menambah jumlah magnet stator menjadi 8 pcs. Sehingga dari perhitungan daya mekanik yang dihasilkan sebesar 29,936 Watt, daya tersebut apabila digunakan untuk membangkitkan listrik dengan generator yang memiliki efisiensi sebesar 85 % maka dapat menghasilkan listrik sebesar 25,44 Watt. Dengan daya sebesar tersebut mampu menghasilkan energi listrik untuk dikonsumsi sistem itu sendiri dan kemudian sisa energi listriknya dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan penerangan skala rumah tangga.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan percobaan lapangan dan melakukan pengujian terhadap besar sudut dan jarak pangkal V-Gate dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Susunan magnet pada rotor yang optimal adalah dengan sudut V-Gate sebesar 5° dan jarak pangkal sebesar 24mm, kemudian magnet pada stator dipasang berhadapan di tengah pola susunan magnet rotor, dari susunan magnet tersebut mampu menghasilkan putaran rotor sebesar 146 rpm.
2. Daya dalam sistem pembangkit dapat dihitung dengan mengetahui torsi dari motor bertenaga magnet permanen yaitu sebesar 0,51 Nm, kemudian dikalikan dengan kecepatan sudut dari motor bertenaga magnet permanen, daya mekanik yang diperoleh dari perhitungan sebesar 7,524 Watt.
3. Daya listrik yang didapat dari hasil pengujian adalah sebesar 5,52 Watt.
4. Kebutuhan daya listrik untuk operasi sistem pembangkit sebesar 8,24 Watt.
5. Daya listrik yang dihasilkan dari sistem pembangkit listrik yang telah dibuat belum cukup untuk mengoperasikan sistem itu sendiri, namun sistem tersebut masih dapat dioptimasi.
6. Optimasi energi dari sistem pembangkit ini bisa dilakukan dengan cara memaksimalkan kinerja dari motor penarik stator, dari hasil perhitungan magnet stator bisa ditambah 8 pcs, sehingga apabila dilakukan maka daya yang dihasilkan mampu mencapai 29,936 Watt.
7. Perlu diteliti lebih lanjut terhadap motor penarik stator, dimana dalam sistem pembangkit ini motor penarik bergerak maju-mundur, selain memerlukan kekuatan tarikan motor ini harus memiliki respon gerak yang cepat, dikarenakan motor tersebut bergerak sesuai sinyal yang diberikan oleh sensor proximity yang membaca sambungan pangkal saat melewati stator.
8. Perlu diteliti lebih lanjut terhadap generator yang sesuai untuk sistem pembangkit ini, dimana efisiensi generator sangat berpengaruh terhadap listrik yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Kajian Penyediaan dan Pemanfaatan Migas, Batubara, Ebt dan Listrik*. (2017).
2. K. B. Triana, K. R. Dantes, I. N. P. Nugraha, P. Studi, P. Teknik, and U. P. Ganesha, "Pengembangan Desain Free Energy Generator Berbahan Magnet Neodymium Berbasis Solidworks Untuk Sistem Recharging Prototype Ganesha Electric," *Jurnal Pendidik Teknik Mesin Undiksha*, vol. 7, no. 3, pp. 111–121, (2019).
3. Mastuki, M. A. Baqiya, and Darminto, "Sintesis dan Karakterisasi Kalsium Ferit Menggunakan Pasir Besi dan Batu Kapur," *Jurnal Sains Dan Seni Its*, vol. 1, no. 1, pp. 76–80, (2012).
4. Djuhana, Muljadi, Sunardi, and P. Sardjono, "Pembuatan dan Pengujian Bulk Density, Fluks Magnetik, dan Mikrostruktur pada Hybrid Magnet Berbasis NdFeB / BaFe 12O19," *Journal of Technical Engineering Piston*, vol. 1, no. 2, pp. 25–29, (2018)..
5. N. Idayanti, A. Manaf, and D. Dedi, "Magnet Nanokomposit Sebagai Magnet Permanen Masa Depan [Nanocomposite Magnets as Future Permanent Magnets]," *Metalurgi*, vol. 33, no. 1, p. 1, (2018).
6. B. Slusarek, M. Karbowiak, B. Jankwski, D. Kapelski, and M. Przybylski, "Physical properties of permanent magnets for magnetic circuits of electric machines," *Polimery*, vol. 58, no. 2, pp. 127–134, (2013).
7. S. H. Susilo, Z. Jannah, L. D. Mustofa, and Y. Effendhi, "Design of permanent magnet motor," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 732, no. 1, (2020).

8. L. S. & U. Abdul Samad Mansuri, Afzal Dodhiya, Imranahemad Sandhi and Gadhia, "Symmetrical Permanent Magnet Motor," *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, vol. 3, no. 2, pp. 105–112, (2013).
9. Y. Liklikwatil, H. Setiawan, S. R. R. Hidayat, and G. D. Ramady, "Turbin Magnet Permanen Sebagai Penggerak Alternatif Generator Yang Bebas Energi," *Isu Teknologi STT Mandala*, vol. 14, no. 1, pp. 51–61, (2019).
10. Sumarno, "Analisa Rancang Bangun Turbin Tenaga Magnet," *Jurnal Teknik Universitas Muhammadiyah Tangerang*, vol. 8, no. 2, pp. 22–32, (2019).
11. Isnadi., "Pembuatan Alat Peraga Magnetic Perpetual Circular Motion" , Program Studi Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret, Surakarta, (2015).
12. A. Rashid, K. Saleem, M. Amin, and S. Shah, "Permanent Magnetic Theory and Design Methodology of Variable Field Spiral Efficient Motor," *International Journal of Scientific Research in Science and Technology (IJSRST)*, vol. 1, no. 5, pp. 255–263, (2015).
13. AMF Magnetics, "Australia's Largest Supplier," 2020. [Online]. Available: <https://magnet.com.au>. [Accessed: 14-Apr-2020].
14. Ningbo Leison Motor, "RS-385 Mini 10000rpm 20000rpm High Rpm 12V 24V DC Motor," 2020. [Online]. Available: <https://leisonmotor.en.made-in-china.com/product/eBWnNGXJbgUv/China-RS-385-Mini-10000rpm-20000rpm-High-Rpm-12V-24V-DC-Motor.html>. [Accessed: 17-Oct-2020].
15. S. H. Lubis, S. Sutrisno, and L. Oktonovrilna, "Analisa Gangguan Medan Magnet Kereta Api Listrik terhadap Pengamatan Geomagnet," *Jurnal Al-Fiziya:Journal of Material Sciences, Geophysics, Instrumentation, and Theoretical Physics*, vol. 1, no. 2, pp. 25–35, (2019).
16. O. Paulina., *Fisika Kelompok Teknologi dan Kesehatan*. Bandung: Grafindo Media Pratama, (2006).
17. M. Udin, B. S. Kaloko, and T. Hardianto, "Peramalan Kapasitas Baterai Lead Acid pada Mobil Listrik Berbasis Levenberg Marquardt Neural Network," *Berkala Sainstek*, vol. 5, no. 2, p. 112, (2017).
18. B. S. Hari., *Mengenal Fisika Listrik Dan Magnet*. Depok: Penerbit Duta, 2019.
19. R. Sirait, "Percepatan Berdasarkan Hukum II Newton," *Jurnal Ilmu Fisikas dan Teknol*, vol. 2, no. 2, pp. 11–17, (2018).
20. M. A. Yaz, *Fisika 2*, 1st ed. Bogor: Yudhistira, (2007).

SUBMISSION 6**Simulasi Numerik Kerugian Energi Pada Siku Pipa**Sudirman Lubis¹, Munawar Alfansury Siregar¹, dan Wawan Septiawan Damanik¹¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan

Abstrak. Pipa biasa digunakan untuk mengalirkan fluida seperti gas, cairan atau uap, dari satu tempat. Dalam pembuatan instalasi pipa akan selalu ditemukan berbagai jenis belokan yang akan mengakibatkan kerugian aliran atau kerugian energi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kerugian aliran atau energi yang terjadi pada instalasi pipa dengan belokan 90°, belokan siku, dan belokan 180° dengan variasi kecepatan aliran (v) mulai dari bilangan Reynold (Re) 1000 – bilangan Reynold (Re) 7000 yang berupa head loss. Dilakukan dengan metode simulasi numerik menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yaitu Solidworks 2014. Pipa yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipa berbahan dasar tembaga dengan nilai kekasaran permukaan 1,5 mikrometer dan dengan ukuran standart Solidworks 2014. Adapun ukuran diameter luar 33,53 mm, diameter dalam 26,77 mm dan panjang pipa yaitu 2 m. Sedangkan fluida yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan air dengan suhu 25 C dengan nilai ρ sebesar 997,0 kg/m³. Perbandingan bilangan Reynold (Re) terhadap *pressure drop* (ΔP) berbanding lurus terhadap *pressure drop* jika semakin besar bilangan Reynold maka semakin besar pula nilai *pressure drop*, nilai perbandingan bilangan Reynold (Re) terhadap *head loss* berbanding lurus yang artinya jika semakin besar bilangan Reynold maka *head loss* (kerugian energi) juga semakin besar. Sedangkan perbandingan bilangan Reynold (Re) terhadap koefisien kerugian (k) berbanding terbalik terhadap nilai koefisien kerugian (k). Semakin besar bilangan Reynoldnya maka nilai koefisien kerugiannya semakin kecil.

Kata Kunci- Belokan pipa; Kerugian energi; Simulasi numerik

1. PENDAHULUAN

Bentuk - bentuk kerugian energi pada aliran fluida antara lain dijumpai pada aliran dalam pipa. Kerugian- kerugian tersebut diakibatkan oleh adanya gesekan dengan dinding, perubahan luas penampang, sambungan, katup - katup, siku pipa, percabangan pipa dan kerugian - kerugian khusus lainnya. Dengan mengetahui kehilangan atau kerugian energi dalam suatu sistem atau instalasi perpipaan yang memanfaatkan fluida mengalir sebagai media, efisiensi penggunaan energi dapat ditingkatkan sehingga diperoleh keuntungan yang maksimal. Salah satu bagian dari instalasi perpipaan. Dalam penelitian ini yang dilakukan simulasi numerik kerugian energi pada siku pipa. Model numerik satu dimensi berdasarkan asumsi kerugian energi pada siku pipa dikembangkan untuk mengetahui kinerja energi pada pipa. Bentuk - bentuk kerugian energi pada aliran fluida antara lain dijumpai pada aliran dalam pipa. Kerugian-kerugian tersebut diakibatkan oleh adanya gesekan dengan dinding, perubahan luas penampang, sambungan, katup - katup, belokan pipa, percabangan pipa dan kerugian - kerugian khusus lainnya. Dengan mengetahui kehilangan atau kerugian energi dalam suatu sistem atau instalasi perpipaan yang memanfaatkan fluida mengalir sebagai media, efisiensi penggunaan energi dapat ditingkatkan sehingga diperoleh keuntungan yang maksimal. Salah satu bagian dari instalasi perpipaan yang dapat menyebabkan kerugian - kerugian adalah sambungan belokan pipa [1]. Besarnya *head losses* (kerugian – kerugian energi) pada sambungan belokan pipa tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti: diameter aliran, debit, *viskositas*, dan sudut pada sambungan belokan pipa tersebut. Besarnya *head loss* yang terjadi tentunya akan mengurangi efisiensi pada aliran fluida. Dengan mempertimbangkan masalah ini maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh belokan pipa terhadap kerugian energi (*head loss*) dengan metode analisa numerik berbasis komputer yaitu dengan menggunakan perangkat lunak *Solidworks* 2014 untuk mempermudah proses analisa numerik. fluida merupakan suatu zat / bahan yang dalam keadaan setimbang tak dapat menahan gaya atau tegangan geser (*shear force*). Dapat pula didefinisikan sebagai zat yang dapat mengalir bila ada perbedaan tekanan dan atau tinggi. Suatu sifat dasar fluida nyata, yaitu tahanan terhadap aliran yang diukur sebagai tegangan geser yang terjadi pada bidang geser yang dikenai tegangan tersebut adalah *viskositas* atau kekentalan / kerapatan zat fluida [2].

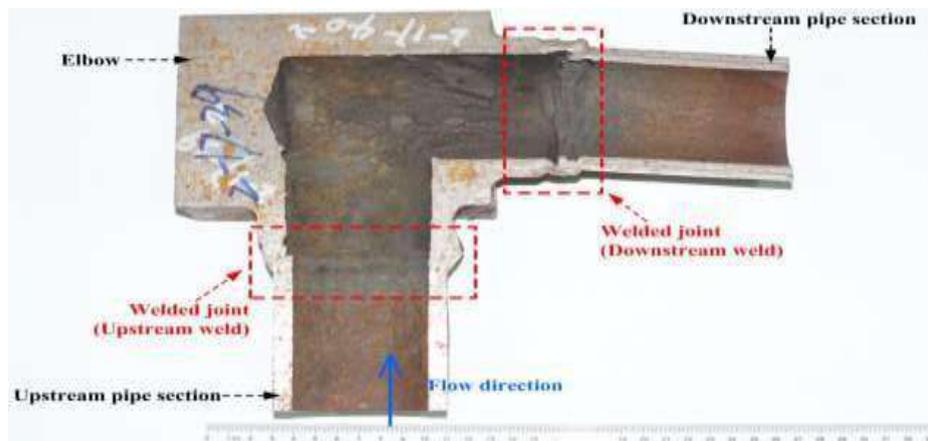
Sebagai komponen penting dari pipa pengumpul gas bumi, elbows merupakan salah satu jenis fitting pipa yang digunakan untuk mengubah arah aliran. Sejak pengumpulan jaringan pipa mengangkut gas alam bertekanan tinggi tanpa dehidrasi atau pemurnian, bisa juga ada beberapa gas korosif (CO₂, H₂S, dll.) dan beberapa kotoran yang merugikan (air, pasir, dll.) di dalam pipa. Saat media yang diangkut mengalir siku, siku selalu rusak parah karena perubahan besar pola aliran di dalamnya. Secara alami pipa pengumpul gas, siku baja sering dihubungkan ke bagian pipa hulu dan hilir dengan pengelasan. Karena struktur mikro khusus, penampilan material, dan geometri, sambungan las juga merupakan komponen sensitif dalam hal kerusakan internal pipa [3]. Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh (Triatmojo, 1996). Fluida yang di alirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Apabila zat cair di dalam pipa tidak penuh maka aliran termasuk dalam aliran saluran terbuka atau karena tekanan di dalam pipa sama dengan tekanan atmosfer (zat cair di dalam pipa tidak penuh), aliran termasuk dalam pengaliran terbuka.

¹ Corresponding author: sudirmanlubis@umsu.ac.id

Karena mempunyai permukaan bebas, maka fluida yang dialirkan adalah zat cair. Tekanan di permukaan zat cair sepanjang saluran terbuka adalah tekanan atmosfer. Aliran *viskos* adalah aliran zat cair yang mempunyai kekentalan (*viskositas*). *Viskositas* terjadi pada temperature tertentu. Tabel 1.1. memberikan sifat air (*viskositas kinematik*) pada tekanan atmosfer dan beberapa temperature. Kekentalan adalah sifat zat cair yang dapat menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu bergerak. Tegangan geser ini akan mengubah sebagian energi aliran dalam bentuk energi lain seperti panas, suara, dan sebagainya. Perubahan bentuk energi tersebut menyebabkan terjadinya kehilangan energi. Aliran *viskos* dapat dibedakan menjadi 2 (dua) macam. Apabila pengaruh kekentalan (*viskositas*) adalah cukup dominan sehingga partikel - partikel zat cair bergerak secara teratur menurut lintasan lurus maka aliran disebut laminar. Aliran laminar terjadi apabila kekentalan besar dan kecepatan aliran kecil. Dengan berkurangnya pengaruh kekentalan atau bertambahnya kecepatan maka aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen. Pada aliran turbulen partikel - partikel zat cair bergerak secara tidak teratur [4].

Tabel 1.1 sifat air pada tekanan atmosfer

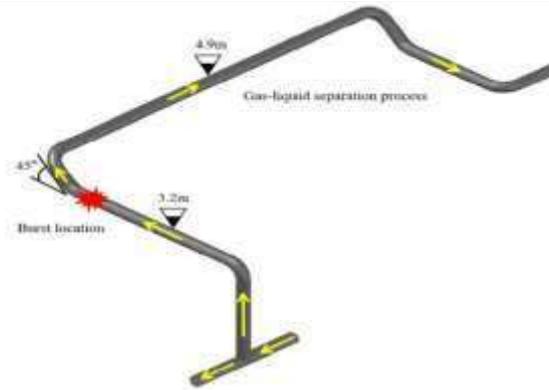
No.	Suhu (C)	Density (ρ) kg/m ³	Viskositas Dinamik (μ) kg/m.s	Viskositas kinematik (ν) m ² /s
1.	5	999,9	1,519 x 10 ⁻³	1,520 x 10 ⁻⁶
2.	10	999,7	1,307 x 10 ⁻³	1,307 x 10 ⁻⁶
3.	20	998,0	1,002 x 10 ⁻³	1,002 x 10 ⁻⁶
4.	25	997,0	0,891 x 10 ⁻³	0,893 x 10 ⁻⁶
5.	30	996,0	0,798 x 10 ⁻³	0,802 x 10 ⁻⁶
6.	40	992,1	0,653 x 10 ⁻³	0,658 x 10 ⁻⁶
7.	50	988,1	0,547 x 10 ⁻³	0,554 x 10 ⁻⁶
8.	60	983,3	0,467 x 10 ⁻³	0,476 x 10 ⁻⁶
9.	70	977,5	0,404 x 10 ⁻³	0,413 x 10 ⁻⁶
10.	80	971,8	0,355 x 10 ⁻³	0,365 x 10 ⁻⁶
11.	85	968,1	0,333 x 10 ⁻³	0,342 x 10 ⁻⁶



Gambar 1. Pipa

Komputasi Dinamika Fluida

Berdasarkan analisis kondisi kerja aktual, ditemukan bahwa aliran air dalam pipa jauh lebih kecil dari aliran gas alam. Air cair akan didistribusikan secara seragam dalam fase gas dalam bentuk molekul air kabut, yaitu tidak cukup untuk menyediakan lingkungan solusi untuk terhindar dari korosi. Kita tidak mengetahui yang menyebabkan kegagalan tersebut. Dinamika fluida komputasi (CFD) banyak digunakan dalam simulasi dan prediksi perpindahan massa, perpindahan panas dan reaksi masalah kinetik pada struktur aliran, yang berguna untuk memahami fenomena aliran. Oleh karena itu, pekerjaan ini menganalisa morfologi korosi untuk menentukan jenis korosi, dan menggunakan simulasi computational fluid dynamics (CFD) untuk mempelajari keadaan fluida dalam siku 45 derajat dari pipa pengumpul gas alam. Ini bertujuan untuk memberikan penjelasan yang lebih realistis dan lebih jelas tentang mekanisme kegagalan jaringan pipa pengumpulan gas alam [5].



Gambar 2. Skema struktur proses aliran fluida pada pipa [5]

Simulasi

Simulasi adalah suatu cara untuk menduplikasi / menggambarkan ciri, tampilan, dan karakteristik dari suatu sistem nyata. Ide awal dari simulasi adalah untuk meniru situasi dunia nyata secara matematis, kemudian mempelajari sifat dan karakter operasionalnya, dan akhirnya membuat kesimpulan dan membuat keputusan berdasarkan hasil dari simulasi. Dengan cara ini sistem di dunia nyata tidak tersentuh / diubah sampai keuntungan dan kerugian dari apa yang menjadi kebijakan utama suatu keputusan diujicobakan dalam sistem model. Dengan mempertimbangkan masalah ini maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh belokan pipa terhadap kerugian energi (*head loss*) dengan metode analisa numerik berbasis komputer yaitu dengan menggunakan perangkat lunak *Solidworks 2014* untuk mempermudah proses analisa numeric.

2. METODE

Prosedur Penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah:

1. Menyiapkan desain simulasi kerugian energy yang dilakukan pada siku pipa
2. Tentukan ukuran yang akan dibuat siku pipa, panjang pipa, diameter pipa, jenis fluida, kecepatan aliran, dan laju aliran massa yang akan dilakukan pada simulasi numeric kerugian energy pada pipa
3. Merancang aliran simulasi kerugian energy pada pipa, dan menentukan fluida
4. Melakukan simulasi
5. Pengamatan simulasi sambil merekam semua pengamatan kecepatan aliran di pengaturan pipa siku dan melakukan simulasi numeric
6. Melakukan dokumentasi pengujian

3. HASIL

Hasil Simulasi.

Dalam penelitian ini, simulasi kerugian aliran yang dilakukan menggunakan 3 jenis variasi belokan yaitu pipa dengan belokan 90°, pipa dengan belokan siku, dan pipa dengan belokan 180° dengan masing – masing 7 (tujuh) simulasi pada setiap variasi belokan. Ketujuh simulasi tersebut berupa aliran dengan nilai bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000. Simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak *solidworks 2014*.

Pipa belokan 90°

Simulasi dilakukan sebanyak 7 (tujuh) kali percobaan, yaitu dimulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000. Dari simulasi yang telah dilakukan, tercatat tekanan tertinggi yang terjadi pada aliran yaitu sebesar 101346,13 Pa. Diperoleh hasil bahwa kecepatan aliran fluida terus berangsur naik sebelum melewati belokan pipa, dan kecepatannya menurun drastis sesaat setelah melewati belokan pipa. Hal tersebut terjadi karena bentuk aliran pada belokan 90° cenderung landai sehingga fluida tidak terlalu bergejolak dan alirannya bertambah cepat walaupun terjadi penyempitan penampang aliran. Sehingga kecepatannya pun tidak naik dan cenderung menurun pada saat melewati belokan tersebut. Namun setelah itu kecepatannya pun terlihat kembali naik beberapa saat setelah melewati belokan pipa. Beda halnya dengan tekanan, yang hanya terus menurun dari mulai aliran masuk fluida hingga aliran keluar fluida. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa pada aliran yang menyebabkan penurunan tekanan.



Gambar 3. Pipa siku radius 90°

Tabel 2. Data hasil simulasi pada pipa belokan 90°

Simulasi	Re	v Awal (m/s)	P ₁ / P _{in} (Pa)	P ₂ / P _{out} (Pa)	V ₁ / V _{in} (m/s)	V ₂ / V _{out} (m/s)
1.	1000	0,033	101329,02	101325,00	0,033	0,058
2.	2000	0,067	101335,80	101325,00	0,067	0,091
3.	3000	0,1001	101345,84	101325,00	0,100	0,129
4.	4000	0,133	101358,63	101325,00	0,133	0,167
5.	5000	0,167	101370,83	101325,00	0,167	0,204
6.	6000	0,2001	101383,20	101325,00	0,200	0,240
7.	7000	0,234	101395,49	101325,01	0,234	0,275

Tabel 3. Nilai hasil perhitungan pada pipa belokan 90° (Pa)

Bilangan Reynold	Pa
1000	4,02
2000	10,8
3000	20,84
4000	33,63
5000	45,83
6000	58,2
7000	70,48

Tabel 4. Nilai hasil perhitungan pipa 90° head loss (HL)

Bilangan Reynold	Head Loss (m)
1000	0,00029
2000	0,00091
3000	0,00176
4000	0,00288
5000	0,004
6000	0,0051
7000	0,0061

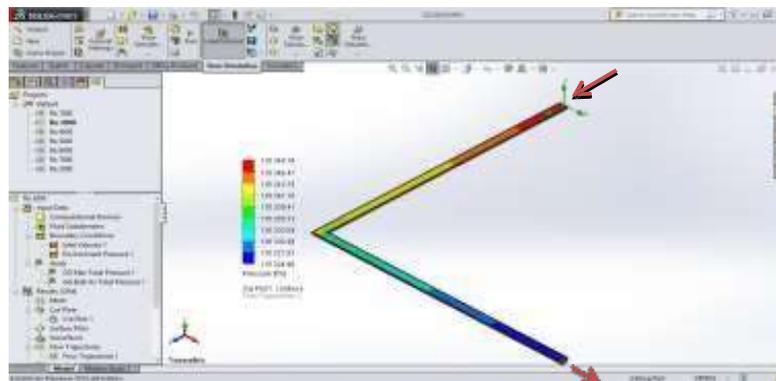
Tabel 5. Nilai hasil perhitungan koefisien kerugian (k) pada pipa belokan 90°

Bilangan Reynold	Koefisien kerugian (k)
1000	5,22
2000	3,98
3000	3,4
4000	3,19

5000	2,8
6000	2,5
<u>7000</u>	<u>2,2</u>

Hasil Simulasi Pipa Siku

Simulasi dilakukan sebanyak 7 (tujuh) kali percobaan, yaitu dimulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000. Nantinya, nilai yang divariasikan kedalam simulasi yaitu nilai kecepatan masuk fluida mulai dari bilangan *reynold* (Re) 1000 – bilangan *reynold* (Re) 7000. Dari simulasi yang telah dilakukan, tercatat tekanan tertinggi yang terjadi pada aliran yaitu sebesar 101349,16 Pa. Diperoleh hasil bahwa kecepatan aliran fluida terus berangsur naik namun cenderung stabil sebelum melewati belokan pipa, dan kecepatannya pun naik drastis pada saat melewati belokan siku. Hal tersebut terjadi dipengaruhi oleh faktor belokan siku yang cukup tajam sehingga terjadi penyempitan penampang aliran yang cukup drastis. Setelah melewati belokan siku, kecepatannya pun terlihat kembali stabil dan cenderung naik namun tidak terlalu signifikan. Bedanya dengan tekanan, yang hanya terus menurun dari mulai aliran masuk fluida hingga aliran keluar fluida. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa pada aliran yang menyebabkan penurunan tekanan.



Gambar 4. Pipa siku

Tabel 6. Data hasil simulasi pada pipa belokan siku

Simulasi	Re	v Awal (m/s)	P_1 / P_{in} (Pa)	P_2 / P_{out} (Pa)	V_1 / V_{in} (m/s)	V_2 / V_{out} (m/s)
1	1000	0,033	101329,82	101325,00	0,033	0,056
2	2000	0,067	101337,84	101325,00	0,067	0,094
3	3000	0,1001	101348,87	101325,00	0,100	0,129
4	4000	0,133	101364,61	101325,00	0,133	0,167
5	5000	0,167	101381,87	101325,00	0,167	0,204
6	6000	0,2001	101399,77	101325,00	0,200	0,241
7	7000	0,234	101418,02	101325,00	0,234	0,278

Tabel 7. Nilai hasil perhitungan pipa belokan siku (Pa)

Bilangan Reynold	P (Pa)
1000	4,82
2000	12,84
3000	23,87
4000	39,61
5000	56,87
6000	74,77
7000	93,02

Tabel 8. Nilai hasil perhitungan an head loss (HL) pada pipa belokan siku

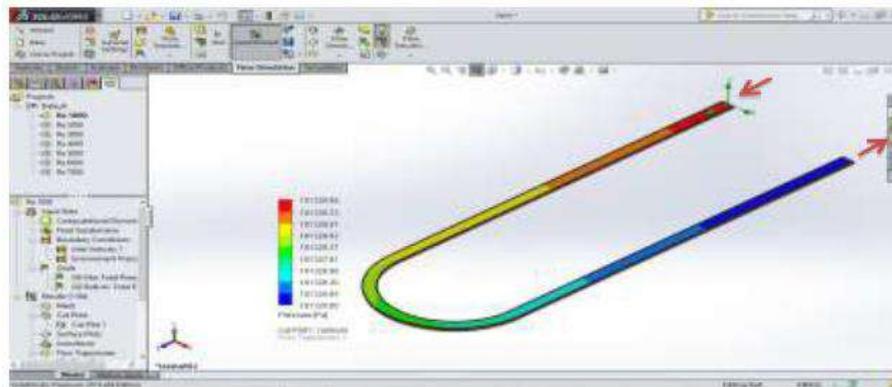
Bilangan <i>Reynold</i>	Head Loss (m)
1000	0,00039
2000	0,0011
3000	0,0021
4000	0,0035
5000	0,0051
6000	0,0067
7000	0,0084

Tabel 9. Nilai hasil perhitungan koefisien kerugian (k) pada pipa siku

Bilangan <i>Reynold</i>	Koefisien kerugian (k)
1000	7,03
2000	4,8
3000	4,1
4000	3,9
5000	3,6
6000	3,3
7000	3

Simulasi Pada Aliran Dengan Belokan 180°

Simulasi dilakukan sebanyak 7 (tujuh) kali percobaan, yaitu dimulai dari bilangan reynold (Re) 1000 – bilangan reynold (Re) 7000. Nantinya, nilai yang divariasikan kedalam simulasi yaitu nilai kecepatan masuk fluida mulai dari bilangan reynold (Re) 1000 – bilangan reynold (Re) 7000. Dari simulasi yang telah dilakukan, tercatat tekanan tertinggi yang terjadi pada aliran yaitu sebesar 101356,30 Pa. Diperoleh hasil bahwa kecepatan aliran fluida terus berangsur naik sebelum melewati belokan pipa, dan kecepatannya menurun saat melewati belokan pipa namun tidak terlalu signifikan. Hal tersebut terjadi karena bentuk aliran pada belokan 180 cenderung landai sehingga fluida tidak terlalu bergejolak walaupun terjadi penyempitan penampang aliran. Sehingga kecepatannya pun tidak naik dan cenderung menurun pada saat melewati belokan tersebut. Namun setelah itu kecepatannya pun terlihat kembali naik beberapa saat setelah melewati belokan pipa. Beda halnya dengan tekanan, yang hanya terus menurun dari mulai aliran masuk fluida hingga aliran keluar fluida. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu gesekan antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa pada aliran yang menyebabkan penurunan tekanan.



Gambar 5. Pipa radius 180°

Tabel 10. Data hasil simulasi pada pipa belokan 180°

Simulasi	Re	v Awal (m/s)	P ₁ / P _{in} (Pa)	P ₂ / P _{out} (Pa)	V ₁ / V _{in} (m/s)	V ₂ / V _{out} (m/s)
1	1000	0,033	101330,80	101325,00	0,033	0,058
2	2000	0,067	101341,75	101325,00	0,067	0,090
3	3000	0,1001	101355,90	101325,00	0,100	0,129
4	4000	0,133	101371,42	101325,00	0,133	0,166
5	5000	0,167	101388,88	101325,00	0,167	0,204
6	6000	0,2001	101406,45	101325,00	0,200	0,241
7	7000	0,234	101423,50	101325,00	0,234	0,279

Tabel 11. Nilai hasil perhitungan pada pipa belokan 180° (Pa)

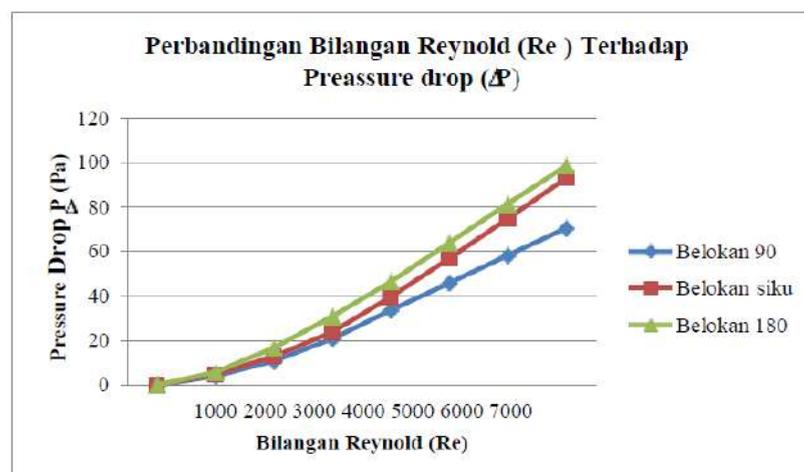
Bilangan <i>Reynold</i>	P (Pa)
1000	5,8
2000	16,75
3000	30,9
4000	46,42
5000	63,88
6000	81,45
7000	98,5

Tabel 12. Nilai hasil perhitungan head loss (HL) pada pipa belokan 180°

Bilangan <i>Reynold</i>	Head Loss (m)
1000	0,00047
2000	0,0015
3000	0,0029
4000	0,0042
5000	0,0058
6000	0,0074
7000	0,0088

Tabel 13. Nilai hasil perhitungan koefisien kerugian (k) pada pipa belokan 180°

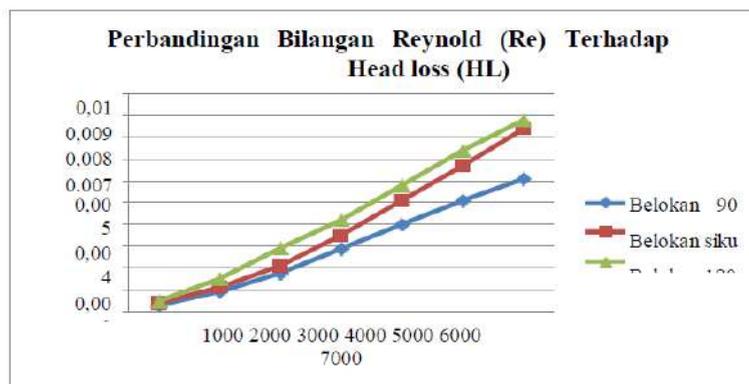
Bilangan <i>Reynold</i>	Koefisien kerugian (k)
1000	8,5
2000	6,5
3000	5,7
4000	4,7
5000	4,1
6000	3,6
7000	3,2



Gambar 6. Grafik perbandingan bilangan reynold (Re) terhadap pressure drop P

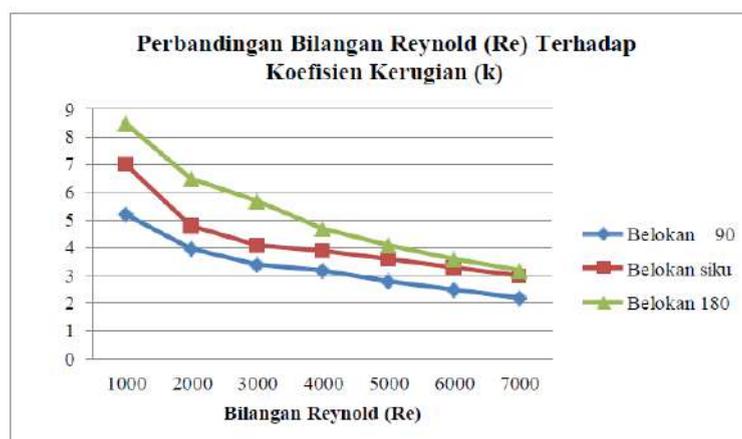
Pada grafik perbandingan bilangan reynold (Re) terhadap pressure drop P diatas, dapat dilihat bahwa bilangan reynold (Re) berbanding lurus terhadap pressure drop. Semakin besar bilangan reynoldnya maka semakin besar pula nilai pressure

drop. Aliran dengan nilai pressure drop tertinggi yaitu terjadi pada aliran dengan belokan radius 1800. Hal ini dikarenakan aliran dengan belokan radius 1800 belokan alirannya membentuk setengah lingkaran dan memiliki belokan yang cukup panjang jika dibandingkan dengan belokan 90 dan belokan siku sehingga terjadi penurunan tekanan yang cukup besar pada belokan tersebut yang disebabkan gesekan antara fluida dengan dinding pipa. Sehingga selisih tekanan yang terjadi antara aliran masuk dan aliran keluar fluida menjadi lebih besar terjadi dan menyebabkan nilai pressure drop menjadi lebih besar. Adapun aliran dengan pressure drop terkecil yaitu terjadi pada aliran dengan belokan 900. Hal ini dikarenakan belokan pada aliran ini cukup sederhana dan belokannya cenderung landai sehingga tidak terjadi penurunan tekanan yang terlalu besar pada belokan tersebut. Sedangkan aliran dengan belokan siku nilai pressure dropnya lebih besar dibandingkan aliran dengan belokan 900. Hal ini dikarenakan aliran dengan belokan siku terjadi penyempitan penampang aliran yang cukup drastis bila dibandingkan aliran dengan belokan 900 yang menyebabkan fluida mengalir lebih cepat. Kecepatan berbanding terbalik terhadap tekanan. Semakin tinggi kecepatan aliran maka tekanannya pun akan semakin menurun. Hal ini didasari bahwa fluida mengalir dari tempat yang bertekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah. Keadaan tersebut membuat selisih antara tekanan masuk dengan tekanan keluar fluida menjadi semakin besar.



Gambar 7. Perbandingan reynold (Re) terhadap Head Loss (HL)

Pada Grafik perbandingan bilangan reynold (Re) terhadap head loss diatas, dapat dilihat bahwa bilangan reynold (Re) berbanding lurus dengan head loss (kerugian energi). Semakin besar bilangan reynoldnya maka head lossnya pun juga semakin besar. Adapun yang mempengaruhi besar kecilnya head loss adalah pressure drop P dan V (selisih penampang 1 dan penampang 2). Semakin besar P dan V maka nilai head loss nya pun juga akan semakin besar. Hal ini dapat disimpulkan dari rumus perhitungan yang ada pada pembahasan. Terlihat pada grafik yang ada pada gambar 4 bahwa nilai head loss terbesar terjadi pada aliran dengan belokan 1800, diikuti dengan aliran belokan siku, dan aliran dengan belokan 900. Hasil ini berkaca pada hasil pressure drop yang telah dibahas sebelumnya bahwa pressure drop terbesar terjadi pada aliran dengan belokan 1800, diikuti aliran dengan belokan siku, dan aliran dengan belokan 900. Seperti Seperti yang telah dijelaskan bahwa nilai pressure drop mempengaruhi nilai head loss yang terjadi.



Gambar 8. Perbandingan bilangan reynold (RE) terhadap koefisien kerugian (k)

Pada grafik perbandingan bilangan reynold (Re) terhadap koefisien kerugian (k) diatas, terlihat bahwa bilangan reynold berbanding terbalik terhadap nilai koefisien kerugian (k). Semakin besar bilangan reynoldnya maka nilai koefisien kerugiannya pun semakin kecil. Hal ini dikarenakan bilangan reynold (Re) berbanding lurus terhadap kecepatan aliran (v). Sehingga pada saat kecepatan aliran tinggi hambatan yang terjadi pada aliran akan menjadi semakin kecil. Hal ini membuat nilai koefisien kerugiannya menjadi semakin kecil

4. KESIMPULAN

Dari simulasi yang telah dilakukan, dengan 3 (tiga) jenis variasi aliran belokan yaitu aliran dengan belokan 90 , aliran dengan belokan siku, dan aliran dengan belokan 180 yang di simulasikan dengan memvariasikan kecepatan masuk aliran fluida mulai dari bilangan reynold (Re) 1000 – bilangan reynold (Re) 7000 maka diperoleh kesimpulan :

1. Dari hasil simulasi yang dilakukan mulai dari bilangan reynold (Re) 1000 bilangan reynold (Re) 7000 pada ketiga jenis belokan aliran diperoleh hasil kerugian energi (head loss) terbesar yang terjadi pada aliran dengan belokan 90 yaitu sebesar 0,0061 m, kerugian energi (head loss) terbesar yang terjadi pada aliran dengan belokan siku yaitu sebesar 0,0084 m, dan kerugian energi (head loss) terbesar yang terjadi pada aliran dengan belokan 180 yaitu sebesar 0,0088 m.
2. Pressure drop berbanding lurus terhadap bilangan reynold. Semakin besar bilangan reynold maka nilai pressure drop juga akan semakin besar.
3. Nilai koefisien kerugian berbanding terbalik dengan bilangan reynold. Semakin besar bilangan reynold maka nilai koefisien kerugian akan semakin kecil. Hal ini disebabkan semakin besar bilangan reynold maka kecepatan aliran fluida juga akan semakin cepat, sehingga hambatan yang terjadi pada aliran akan menjadi lebih kecil sehingga nilai koefisien kerugiannya pun menjadi semakin kecil.
4. Bilangan reynold bendanding lurus terhadap kecepatan (v). Semakin besar bilangan reynold maka kecepatan alirannya pun akan semakin cepat.

DAFTAR PUSTAKA

1. H. Y. Noh and S. J. Kim, “Numerical simulation of pulsating heat pipes: Parametric investigation and thermal optimization,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 203, no. October 2019, p. 112237, 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2019.112237.
2. M. S. Jang and J. H. Nam, “Determination and application of installation sequence of piping systems in cramped spaces of ships and offshore structures considering geometric relationship of pipe elements,” *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 12, no. August, pp. 60–70, 2020, doi: 10.1016/j.ijnaoe.2019.07.001.
3. Q. Qiao, G. Cheng, Y. Li, W. Wu, H. Hu, and H. Huang, “Corrosion failure analyses of an elbow and an elbow- to-pipe weld in a natural gas gathering pipeline,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 82, pp. 599–616, 2017, doi: 10.1016/j.engfailanal.2017.04.016.
4. P. Li et al., “Experimental testing and numerical simulation to analyze the corrosion failures of single well pipelines in Tahe oilfield,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 80, pp. 112–122, 2017, doi: 10.1016/j.engfailanal.2017.06.014.
5. J. Wang et al., “Corrosion failure analysis of the 45-degree elbow in a natural gas gathering pipeline by experimental and numerical simulation,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 118, no. September, p. 104889, 2020, doi: 10.1016/j.engfailanal.2020.104889.

SUBMISSION 7**Analisis Perhitungan Heat Exchanger Jenis Plate – Frame Pada Intercooler Dengan Jenis Shell And Tube**Rezal Arby Handoko¹, dan La Ode M Firman¹¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Heat exchanger merupakan salah satu komponen penting di PLTP, karena berfungsi untuk memindahkan energi panas antara dua atau lebih fluida yang memiliki perbedaan temperatur. Studi ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan kinerja heat exchanger tipe plate-frame pada intercooler, dimana air pendingin primary digunakan untuk mendinginkan air pendingin secondary. Heat exchanger yang digunakan di pembangkit ini adalah tipe plate heat exchanger. Namun, beberapa masalah ditemukan pada plate heat exchanger ini, yaitu mudahnya terjadi kebocoran pada seal yang diakibatkan dari gasket yang mudah mengalami deformasi bentuk dan apabila terjadi kerusakan pada plate, plate tersebut harus diganti dan tidak bisa diperbaiki, sedangkan material yang digunakan pada heat exchanger ini adalah titanium yang memiliki harga relatif mahal. Metode penelitian yang diterapkan, yaitu mengumpulkan data komisioning dan data aktual harian pada intercooler dan menggunakan data desain untuk shell and tube. Penelitian ini akan membahas perancangan perhitungan dimensi shell and tube dengan 1 cangkang dan 2 pipa yang menerapkan arah aliran counter flow. Dengan hasil perancangan tersebut, maka akan diketahui perbandingan tipe heat exchanger yang memiliki kinerja dan keunggulan yang lebih baik dengan metode pengambilan data, wawancara dan analisis. Hasil perancangan heat exchanger tipe shell and tube ini memiliki nilai efektivitas sebesar 45,65 % lebih baik jika dibandingkan dengan efektivitas pada intercooler sebesar 30,7% dengan dimensi panjang 1,83m, diameter shell 0,405m, diameter luar tube 0,01905m, diameter dalam tube 0,01483m, luas daerah per tube 0,00017m dengan material baja (SUS304).

Kata Kunci-Desain, Efektivitas, Heat exchanger, Intercooler**1. PENDAHULUAN**

Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan energi panas bumi atau energi geotermal. Energi panas bumi yang dikelola oleh PT Indonesia Power UPJP Kamojang merupakan penerapan energi yang ramah lingkungan. Uap panas yang terdapat di dalamnya digunakan untuk menggerakkan turbin, di mana turbin ini telah terhubung dengan generator. Sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Salah satu komponen penting pada PLTP yaitu alat penukar panas atau yang biasa disebut dengan *heat exchanger*. Pada umumnya *heat exchanger* digunakan pada sistem pendinginan, salah satunya yaitu pada sistem pendinginan *intercooler*.

Permasalahan yang sering terjadi pada *intercooler* jenis *plate-frame* di PLTP ini yaitu dari segi pemeliharaan, dimana sering terjadinya kebocoran pada pelat yang dikarenakan gasket pada seal sudah mulai rusak akibat dari *life time* dan kinerja dari *intercooler* pun sudah mulai berkurang yang dikarenakan jumlah pelat sudah banyak yang dikurangi akibat dari kerusakan tersebut. Sehingga mengakibatkan proses penukaran kalor pada *plate-frame* tidak bekerja dengan baik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan perancangan *shell and tube* dengan memperhatikan beberapa parameter seperti nilai NTU, efektivitas dan perhitungan dimensi *heat exchanger* jenis *shell and tube* dengan satu cangkang dan dua pipa yang menerapkan arah aliran *counter flow*. *Shell and tube* merupakan alat penukar kalor yang sering digunakan di industri khususnya pembangkit listrik. Dengan hasil perancangan tersebut, maka akan diketahui perbandingan tipe *heat exchanger* yang memiliki kinerja dan keunggulan yang lebih baik.

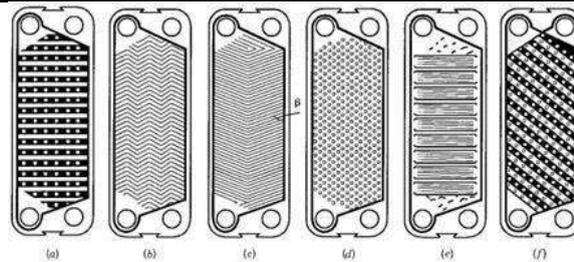
2. TEORIDASAR***Intercooler***

Intercooler merupakan heat exchanger jenis pelat. Dalam plate heat exchanger, pelat disusun dengan susunan tertentu, sehingga terdapat dua jalur yakni hot side dan cold side. Hot side dialiri fluida yang relatif lebih tinggi suhunya, sedangkan cold side sebaliknya. Fluida yang dapat digunakan sebagai pendingin bisa dari fluida yang berjenis sama ataupun jenis fluida yang berbeda. Di PLTP ini menggunakan fluida yang sama berupa zat cair yaitu air. Pertukaran panas terjadi dari fluida temperatur tinggi ke fluida yang temperatur rendah yang dialirkan melalui pelat – pelat yang memisahkan kedua jalur.

Komponen Intercooler Plate

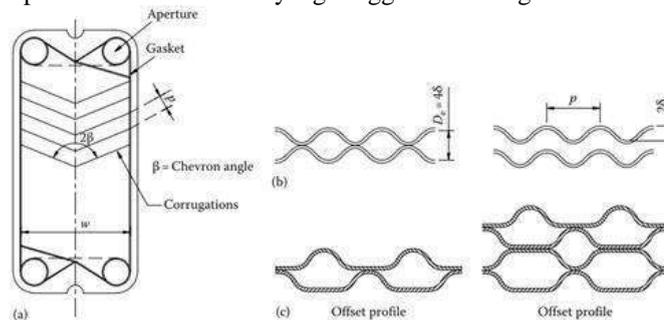
Komponen pelat pada Plate Heat Exchanger yang ditunjukkan pada gambar 2.1 berfungsi sebagai tempat mengalirnya fluida panas dan fluida dingin. Bentuk dan pola dari pelat sangat menentukan proses perpindahan kalor. Setiap pelat dibentuk cekungan supaya didapatkan pola yang bergelombang yang nantinya akan menyebabkan jalur aliran yang berdekatan, berliku-liku yang dapat meningkatkan transfer kalor dan mengurangi fouling atau pengendapan yang terjadi dengan meningkatnya tegangan geser dan turbulensi aliran[1].

¹ Corresponding author: rezalhandoko49@gmail.com



Gambar .1. Berbagai macam tipe plat pada *plate heat exchanger*[1]. Pola Plate (a) *washboard*. ; (b) *zig-zag*. ; (c) *chevron/herringbone*. ; *protrusions and depressions*. ; (e) *washboard with secondary corrugation*. ; (f) *oblique washboard*.

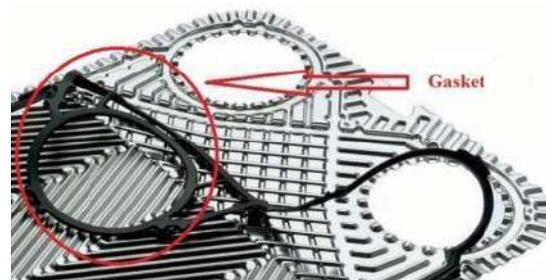
Pola plat yang ditunjukkan pada gambar 2.2 digunakan di PLTP ini adalah tipe chevron/herringbone dikarenakan memiliki berbagai kelebihan, diantaranya adalah terbentuknya turbulensi aliran pada kecepatan rendah (0.1-1 m/s) dan dapat menahan tekanan yang tinggi meski dengan ketebalan plat yang relatif tipis[1].



Gambar 2. Pola plat *chevron*

• GASKET

Pada gambar 2.3 merupakan gasket pada PHE berfungsi untuk mengatur aliran fluida, yang membatasi aliran fluida agar tidak bercampur satu sama lain. Dari semua komponen yang ada dalam Plate Heat Exchanger, gasket merupakan komponen yang paling sering diganti, karena pada umumnya gasket adalah komponen yang mengalami deformasi bentuk. Material dari gasket sendiri harus memiliki ketahanan terhadap reaksi kimia dan temperatur yang tinggi, juga dapat digunakan pada periode yang lama [1].



Gambar 3. Gasket pada plate heat exchanger [1].

• FRAME

Frame berfungsi sebagai penyangga unit *Plate Heat Exchanger*, dimana *frame* akan mengapit susunan pelat di dalamnya. Bentuk *frame* diklasifikasikan menjadi tipe *C frame*, *B frame*, dan *F frame*. Tipe *C frame* digunakan untuk *Plate Heat Exchanger* berukuran kecil, tipe *B frame* digunakan untuk *Plate Heat Exchanger* berukuran besar, dan tipe *F* digunakan untuk *Plate Heat Exchanger* berukuran sedang. Material *frame* biasanya adalah *carbon steel* yang dilapisi lapisan anti korosi.

Shell and tube Heat exchanger

Heat exchanger tipe ini merupakan *heat exchanger* yang paling banyak digunakan di industri, pabrik dan pembangkit karena memiliki kinerja serta efektivitas yang lebih baik jika dibandingkan dengan *heat exchanger* tipe *plate-frame*. Selain itu *heat exchanger* ini terdiri dari pipa – pipa yang diikat menjadi satu atau biasa disebut bundel. Pipa – pipa ini dihubungkan secara sejajar yang di tempatkan pada suatu *shell*. Fluida panas akan dialirkan pada sisi pipa yang telah dijadikan satu, sedangkan fluida yang dingin akan dialirkan melalui sisi *shell*. Arah aliran nya bisa diterapkan pada alat penukar panas ini adalah *counter flow*, *cross flow*, ataupun *parallel flow*. Ada beberapa fitur desain termal yang akan diperhitungkan saat merancang tabung di *shell* dan penukar panas tabung, yaitu :

a. Diameter pipa

Menggunakan tabung dengan ukuran diameter yang kecil membuat proses perpindahan panas dapat menjadi ekonomis dan kompak. Penggunaan tabung yang kecil dapat mempersulit proses perawatan dan pembersihan, khususnya dalam penanganan *fouling* pada pipa. Maka dari itu penggunaan pipa yang lebih besar dapat dijadikan sebuah solusi agar proses pembersihan *fouling* dan kotoran yang terbawa pada pipa dapat dibersihkan dengan maksimal. Dalam menentukan diameter tabung, ruang yang tersedia, biaya serta sifat *fouling* dari fluida harus dipertimbangkan[2].

b. Ketebalan tabung

Ketebalan dinding tabung biasanya ditentukan untuk memastikan:

- Ada ruang yang cukup untuk korosi
- Tahan vibrasi
- *Axial* kekuatan
- Ketersediaan stok suku cadang

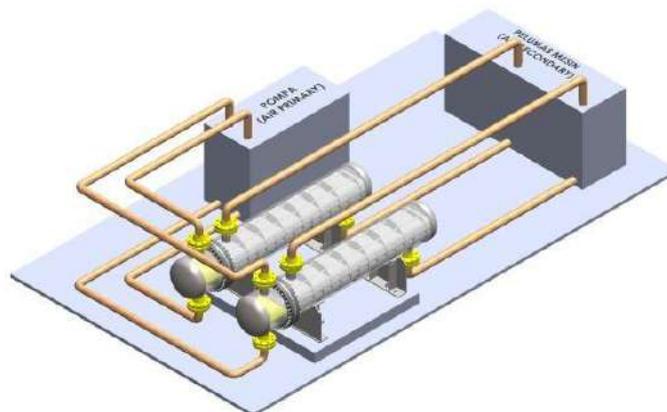
c. Panjang tabung

Penentuan panjang tabung juga merupakan hal penting agar pengguna dapat menyesuaikan ukuran dari *shell and tube* yang ingin digunakan. Selain itu penentuan ukuran panjang tabung juga harus disesuaikan dengan ukuran ruang yang tersedia. Karena penentuan ukuran panjang tabung sangat penting juga untuk proses perpindahan panas. Umumnya jika proses perpindahan panas berlangsung cukup lama, maka efektivitas yang terjadi pada alat tersebut akan semakin baik. Ada beberapa cara meskipun dengan ukuran tabung yang terbatas tapi dapat berlangsung proses perpindahan panas yang cukup lama, biasanya menerapkan penggunaan 2 cangkang dengan penggunaan pipa yang lebih dari 2.

d. Tabung *pitch*

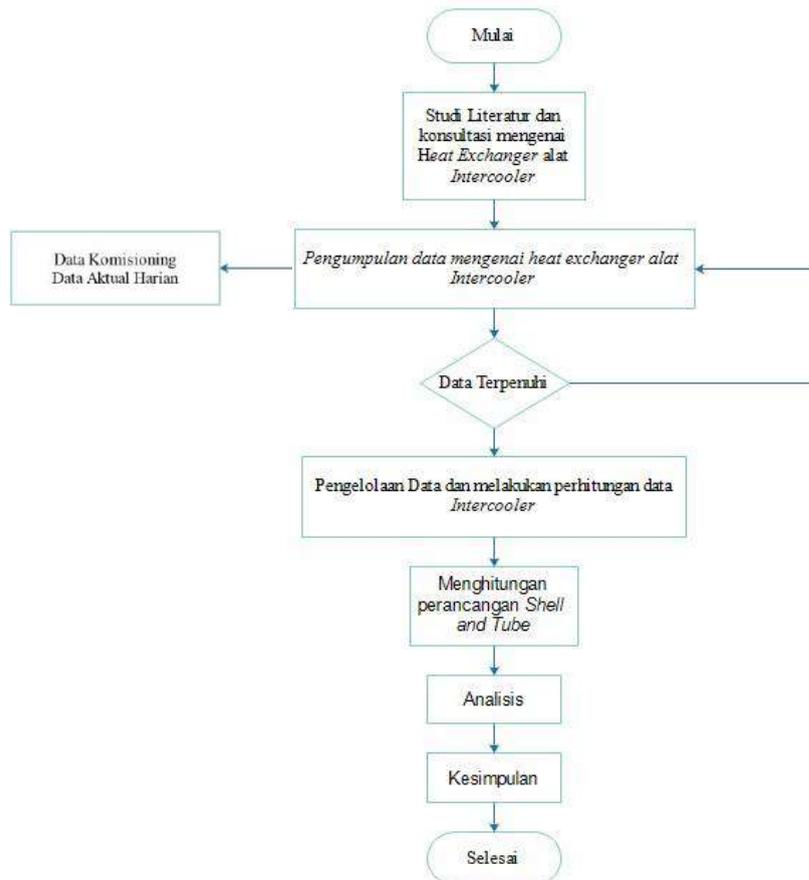
Dalam merancang dan mendesain ukuran tabung, memperhatikan ukuran tabung *pitch* sangat penting. Berdasarkan teori yang terdapat di beberapa buku tabung *pitch* (yaitu jarak pusat- pusat tabung sebelah) tidak kurang dari 1,25 kali diameter luar tabung. Fluida dingin harus berada di dalam cangkang, sedangkan fluida yang panas harus berada di dalam tube. Karena *shell and tube heat exchanger*, khususnya pada bagian pipa biasanya digunakan untuk aplikasi fluida yang bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi. Umumnya pipa pada *Shell and tube* bertekanan lebih dari 30 bar dengan temperatur lebih dari 260 °C. [3]

Desain *shell and tube one shell two tube*



Gambar 4. Desain *shell and tube one shell two tube*

Bagan Diagram Alir



Teknik Pengolahan Data

1) Menghitung Laju Perpindahan Panas dengan Metode LMTD (Log Mean Temperature Difference)

- Menghitung Log Mean Temperature Difference [4]

$$T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (2.1)$$

$$\Delta T_m = \Delta T_{lm} \times F \quad (2.2)$$

- Menghitung Koefisien Konveksi [3]

$$Pr = \frac{\eta \times c_p}{k} \quad (2.3)$$

$$Re = \frac{\rho \times v \times l}{\eta} \quad (2.4)$$

$$Nu = 0,664 \times Re^{0,5} \times Pr^{0,33} \quad (2.5)$$

$$\alpha_i = Nu \times \frac{k}{D_o}$$

- Laju Perpindahan Panas [6]

$$Q_{act} = \dot{m} \times c_p \times \Delta T \quad (2.6)$$

- Menghitung Koefisien Overall Heat Transfer [7]

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_h} + \frac{1}{\lambda_p} + \frac{1}{\alpha_c} + R_f \quad (2.7)$$

- NTU (Number Transfer Unit) [5]

$$NTU = \frac{U \times A}{C_{min}} \quad (2.8)$$

2) Menghitung Nilai Efektifitas Heat exchanger

- Laju Kapasitas Panas (C) [3]

$$C_{c,h} = \dot{m}_{c,h} \times C_{p,c,h} \quad (2.9)$$

- Laju Perpindahan Panas Maksimum (Q_{maks}) [5]
$$Q_{maks} = c_{min} \times (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (2.10)$$
- Efektifitas Plate-Frame Heat exchanger (ϵ) [5]
$$\epsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} \times 100\% \quad (2.11)$$

3. DATA HASIL PERHITUNGAN

Hasil Perhitungan Efektivitas Perpindahan Panas Plate-Frame Heat exchanger pada Intercooler

Tabel 1. Data hasil perhitungan laju perpindahan panas dan efektifitas plate-frame heat exchanger pada intercooler

Jam	Suhu Primary		Suhu Secondary		Qact [kW]	Qmaks [kW]	ϵ [%]
	T1in [°C]	T2out [°C]	t1in [°C]	t2out [°C]			
00:00	32,5	33,5	39	37	19,4	63,1	30,7

Tabel 2. Data hasil perhitungan perancangan heat exchanger tipe shell and tube pada intercooler

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Luas perpindahan panas	5,33	m ²
2.	Perubahan suhu logaritmik (ΔT_{lm})	5,1	°C
3.	Konduktivitas termal SUS 304	16,3	W/(m ² .°C)
4.	Koefisien perpindahan panas keseluruhan (U_d)	1703,46	W/(m ² .°C)
5.	Pressure drop pada sisi tube	0,00281	Bar
6.	Pressure drop pada sisi shell	0,4386	Bar
Dimensi Alat Penukar Panas			
1.	Panjang	1,83	m
2.	Shell diameter	0,405	m
3.	Bundle diameter	0,205	m
4.	Tube outside diameter	0,01905	m
5.	Tube inside diameter	0,01483	m
6.	Flow area per tube	0,00017	m ²

Tabel 3. Data penunjang untuk perhitungan efektifitas heat exchanger tipe shell and tube pada intercooler

Suhu Primary		Suhu Secondary		Qact [kW]	Qmaks [kW]	ϵ [%]
T1in [°C]	T2out [°C]	t1in [°C]	t2out [°C]			
33	37	42,2	38	40,738	89,23	45,65

Perhitungan Efektivitas Perpindahan Panas Plate-Frame Heat exchanger pada Intercooler

- a. Laju Perpindahan Panas
 $Q = Q_h = Q_c$
 $Q = \dot{m}_h \times c_{p,h} \times (T_{h,o} - T_{h,i})$
 $= 2,32 \times 4179 \times (39 - 37)$
 $= 19406,78723 \text{ Watt} = 19,40678723 \text{ kW}$
- a. Beda Temperatur Rata-rata Logaritma (LMTD)

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$\Delta T_1 = (T_{h1} - T_{c2}) \quad \Delta T_2 = (T_{h2} - T_{c1})$$

$$\begin{aligned} &= (39 - 33,5) &= (37 - 32,5) \\ &= 5,5 \text{ }^\circ\text{C} &= 4,5 \text{ }^\circ\text{C} \\ \Delta T_{lm} &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \\ &= \frac{5,5 - 4,5}{\ln\left(\frac{5,5}{4,5}\right)} = 4,98 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Faktor koreksi untuk *plate-frame heat exchanger* aliran berlawanan:

$$\begin{aligned} R &= \frac{(T1 - T2)}{(t2 - t1)} = \frac{(32,5 - 33,5)}{(37 - 39)} = 0,5 \\ S &= \frac{(t2 - t1)}{(T1 - t1)} = \frac{(37 - 39)}{(32,5 - 39)} = 0,31 \end{aligned}$$

Berdasarkan grafik faktor koreksi *plate-frame heat exchanger* aliran berlawanan pada gambar 2.7, jadi nilai $F = 0,77$ [5].

b. Koefisien Konveksi

$$\begin{aligned} Pr &= \frac{\eta \times Cp}{k} & Re &= \frac{u \times \rho \times De}{\eta} \\ &= \frac{0,000653 \times 4179}{0,31} & &= \frac{0,0777 \times 992,63 \times 0,09}{0,000653} \\ &= 8,80286129 & &= 10630,21318 \end{aligned}$$

Maka, jenis aliran yang melewati pelat adalah turbulen, karena $Re > 50000$.

$$\begin{aligned} Nu &= 0,664 \times Re^{0,4} \times Pr^{0,33} \\ &= 0,664 \times (10630,21318)^{0,4} \times (8,80286129)^{0,33} = 140,3346577 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_i &= Nu \times \frac{\lambda}{De} \\ &= 140,3346577 \times \frac{0,31}{0,09} = 483,37 \text{ W/m}^2\text{K} \end{aligned}$$

c. Koefisien Menyeluruh Perpindahan Panas (U)

$$\begin{aligned} \frac{1}{U} &= \frac{1}{\alpha h} + \frac{t}{k_p} + \frac{1}{\alpha c} + R_f \\ \frac{1}{U} &= \frac{1}{483,37} + \frac{0,0008}{20,772} + \frac{1}{759,69} + 0,0005 = 254,87 \end{aligned}$$

d. Laju Kapasitas Panas (C)

a) Untuk perhitungan fluida dingin:

$$\begin{aligned} C_c &= \dot{m}_c \times c_{p,c} \\ &= 2,33 \times 4178 = 9723,500936 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan fluida panas di sisi shell:

$$\begin{aligned} C_h &= \dot{m}_h \times C_{p,h} \\ &= 2,32 \times 4179 = 9703,393614 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Dari laju kapasitas panas yang didapat, $C_c > C_h$ maka $C_{maks} = C_c$ dan $C_{min} = C_h$.

e. Laju Perpindahan Panas Maksimum (Q_{maks})

$$\begin{aligned} Q_{maks} &= C_{min} \times (T_{h,i} - T_{c,i}) \\ &= 9703,393614 \times (39 - 32,5) \\ &= 63072,05849 \text{ Watt} = 63,1 \text{ kW} \end{aligned}$$

f. Efektivitas *Heat exchanger* Tipe *Plate-Frame* pada *Intercooler*

$$\begin{aligned} E &= \frac{Q_{act}}{Q_{maks}} = \frac{19406,78723}{63072,05849} \times 100 \% \\ &= 30,7 \% \end{aligned}$$

g. *Number Transfer Unit*

$$NTU = \frac{U \times A}{C_{min}} = \frac{254,87 \times 88}{9703,393614} = 2,3$$

Perhitungan Perancangan Heat exchanger Tipe Shell and tube pada Intercooler

1. Perhitungan Perancangan *Shell and tube Heat exchanger*

a. Laju Perpindahan Panas

$$Q = Q_h = Q_c$$

$$Q_c = \dot{m}_c \times c_{p,c} \times (T_{h,c} - T_{c,c})$$

$$= 2,321 \text{ kg/s} \times 4179 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times (42,2 - 38)^\circ\text{C}$$

$$= 40737,728 \text{ watt} = 40,738 \text{ kw}$$

b. Beda Temperatur Rata-rata Logaritma (LMTD)

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$\Delta T_1 = (T_{h1} - T_{c1}) = (42,2 - 37) = 5,2^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = (T_{h2} - T_{c2}) = (38 - 33) = 5^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} = \frac{5,2 - 5}{\ln\left(\frac{5,2}{5}\right)}$$

$$\Delta T_{lm} = 5,1^\circ\text{C}$$

Faktor koreksi untuk satu pass shell dan dua pass tube:

$$R = \frac{T_{h1} - T_{h2}}{T_{c2} - T_{c1}} = \frac{42,2 - 38}{37 - 33} = \frac{4,2}{4} = 1,05$$

$$P = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{T_{h1} - T_{c1}} = \frac{37 - 33}{42,2 - 33} = \frac{4}{9,2} = 0,43$$

Berdasarkan grafik faktor koreksi heat exchanger untuk satu pass shell dan dua pass tube menunjukkan nilai $F_t = 0,88$

c. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Desain (U_d)

$$U_d = \frac{Q}{A_s \times F \times LMTD}$$

Asumsi Nilai U_d dari tabel 8 Kern *Water - Water* adalah $300 \text{ Btu/h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F} = 1703,46 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$A = \frac{Q}{U_d \times F \times LMTD} = \frac{40737,73 \text{ w}}{1703,46 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C} \times 0,88 \times 5,1^\circ\text{C}}$$

$$= 5,33 \text{ m}^2$$

d. Perhitungan Sisi Tube

•Menentukan jumlah tube

$$\text{Jumlah tube (N)} = \frac{A}{L \times \pi \times d_o \times t}$$

$$N_t = \frac{5,33 \text{ m}^2}{1,8288 \text{ m} \times 3,14 \times 0,01905 \text{ m}} = 48,68 \approx 49$$

•Luas Permukaan Perpindahan Panas Total (a)

$$a = N \times \frac{\pi \times d_o^2 \times t}{4}$$

$$= 49 \times \frac{0,00017 \text{ m}^2}{4} = 0,004165 \text{ m}^2$$

•Kecepatan Aliran Massa Air di tube (G_t)

$$G_t = \frac{\dot{m}_t}{a \times t} = \frac{2,321 \text{ kg/s}}{0,004165 \text{ m}^2} = 557,26 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

•Bilangan Reynold (Re_{ti})

$$Re_{ti} = \frac{d_{ti} \times G_t}{\mu}$$

$$Re_{ti} = \frac{0,01483 \text{ m} \times 557,26 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}}{0,000653 \text{ kg/ms}} = 12655,57$$

Jenis aliran yang terjadi di dalam tube adalah aliran turbulen karena $Re_{ti} > 2300$.

•Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (h_i)

$$\begin{aligned} Nu &= \frac{dit \times h}{k} \\ Nu &= 0,023 \times Re^{0,8} Pr^{0,4} \\ Nu &= 0,023 \times (12655,57)^{0,8} \times (8,8)^{0,4} = 13,64 \\ h_i &= \frac{Nu \times k}{di,t} \\ &= \frac{13,64 \times 0,31 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}}{0,01483\text{m}} = 14992,04 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

a. Perhitungan sisi *Shell*

•Menghitung Diameter *Shell*

$$\text{Triangular pitch } P_1 = 1,25 d_o = 1,25 \times 0,019 = 0,023 \text{ m}$$

$$C = 0,25 d_o = 0,25 \times 0,019 = 0,00475 \text{ m}$$

Peramaan untuk menghitung diameter *shell*

$D_s = D_b + C_1$, dimana, D_b = diameter bundel,

$$\begin{aligned} D_b &= d_o \times \left(\frac{Nr}{k1} \right)^{1/4} \\ &= 0,019 \times \left(\frac{49}{0,249} \right)^{1/4} \\ &= 0,019 \times (196,787)^{0,25} = 0,205\text{m} \end{aligned}$$

$D_s = 205 + C_1$, Nilai C_1 untuk *pull through floating head* = 88 mm

Maka, $D_s = 205 + 88 = 293 \text{ mm} = 0,293 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Baffle spacing (B)} &= 0,45 \times di,s \\ &= 0,45 \times 0,293 \text{ m} = 0,13185 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah Baffle (N}_b\text{)} = \frac{L}{B} - 1 = \frac{1,8268}{0,13185} - 1 = 13$$

•Luas Permukaan Perpindahan Panas Total (a_s)

$$\begin{aligned} a_s &= \frac{di,s \times C' \times B}{Pr} \\ &= \frac{0,293\text{m} \times 0,00475 \text{ m} \times 0,13185 \text{ m}}{0,023} = 7,978 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

•Kecepatan Aliran Massa Air di *shell* (G_s)

$$G_s = \frac{m \dot{c}}{a_s} = \frac{2,325 \text{ kg/s}}{0,007978 \text{ m}^2} = 291,41 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

•Bilangan Reynold ($Re_{s,s}$)

$$Re_{s,s} = \frac{d_e \times G_s}{\mu}, \text{ dimana } d_e = \text{diameter hidrolis}$$

$$D_e = \frac{4 \times \left(\frac{1}{2} \times Pr \times 0,86Pr - \frac{1}{2} \times \pi \times di \times t \right)}{\frac{1}{2} \times \pi \times di \times t}$$

$$D_e = \frac{4 \times \left(\frac{1}{2} \times Pr \times 0,86Pr - \frac{1}{2} \times \pi \times di \times t \right)}{\frac{1}{2} \times \pi \times di \times t} = 0,01136 \text{ m}$$

$$\text{Maka, } Re_{s,s} = \frac{0,01136\text{m} \times 291,41 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}}{0,00072 \text{ kg/m} \cdot \text{s}} = 45978,02$$

Jenis aliran yang terjadi di dalam *shell* adalah aliran turbulen karena $Re_{s,s} > 2300$.

f. Koefisien Perpindahan Panas Konveksi (h_o)

$$\begin{aligned} Nu &= \frac{h \times d_e}{k} \\ Nu &= 0,027 \times Re_{s,s}^{0,8} \times Pr_{s,s}^{0,4} \\ Nu &= (0,027) \times (45978,02)^{0,8} \times (4,8285)^{0,4} = 272,22 \\ h_o &= \frac{Nu \times k}{d_e} \end{aligned}$$

$$= \frac{272,22 \times 16,3 \text{ W/m} \cdot \text{°C}}{0,01136 \text{ m}} = 39039,74 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

- g. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Bersih (U_o)
Nilai k adalah *Thermal conductivity steel SUS 304 Tube* = 16,3 W/m K

$$U_o = \frac{1}{\frac{m \cdot r_o}{2\pi k} + \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i}}$$

$$U_o = \frac{1}{\frac{0,009523}{16,3} + \frac{1}{1420,07} + \frac{1}{203,13}} = 180,36 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

- h. Penurunan tekanan (ΔP)

• Sisi Tube

$$\Delta P_1 = \frac{f \times G t^2 \times L \times \pi}{2 \times g \times \pi d_i t \times \rho \times Q}$$

Nilai $f_{\text{max}} = (1,58 \times \ln(R_{e,d}) - 3,28)^2$
 $f_{\text{max}} = (1,58 \times \ln(12655,57) - 3,28)^2 = 0,00738$
 maka, $\Delta P_1 = \frac{0,00738 \times (557,26 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^2) \times 1,8288 \text{ m} \times 2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,01483 \text{ m} \times 992,63 \text{ kg/m}^3 \times 1}$
 $= 28,7 \text{ kg/m}^2 = 0,0028 \text{ bar}$

• Sisi Shell

$$\Delta P_2 = \frac{f \times G s^2 \times \left(\left(\frac{L}{D} - 1 \right) + 1 \right) \times D s}{2 \times \rho \times D e \times Q^{0,14}}$$

Nilai $f_{\text{max}} = \exp \{ 0,576 - 0,19 \ln(R_e) \}$
 $f_{\text{max}} = \exp \{ 0,576 - 0,19 \ln(2445,56) \} = 0,404$
 $\Delta P_2 = \frac{0,404 \times 291,41^2 \times \left(\left(\frac{1,8288}{0,102} - 1 \right) + 1 \right) \times 0,293}{2 \times 994,08 \times 0,01136 \times 17^{0,14}}$
 $= 4472,218 \text{ kg/m}^2 = 0,4386 \text{ bar}$

- i. Laju Kapasitas Panas (C)

• Untuk perhitungan fluida panas di tube:

$$C_h = m_h \times C_{p,h}$$

$$= 2,321 \text{ kg/s} \times 4179 \text{ J/kg K}$$

$$= 9699,46 \text{ W/°C}$$

• Untuk perhitungan fluida dingin di shell:

$$C_c = m_c \times C_{p,c}$$

$$= 2,325 \text{ kg/s} \times 4178 \text{ J/kg K} = 9713,85 \text{ W/K}$$

Dari laju kapasitas kalor yang didapat, $C_c > C_h$ maka $C_{\text{maks}} = C_c$ dan $C_{\text{min}} = C_h$ Laju Perpindahan Kalor Maksimum (Q_{maks})

$$Q_{\text{maks}} = C_{\text{min}} \times (T_{h,i} - T_{c,i})$$

$$= 9699,46 \text{ W/°C} \times (42,2 - 33) \text{°C}$$

$$= 89230,8 \text{ W} = 89,23 \text{ kW}$$

- j. Efektivitas Heat exchanger Tipe Shell and tube pada Intercooler

$$E = \frac{Q_{\text{act}}}{Q_{\text{maks}}}$$

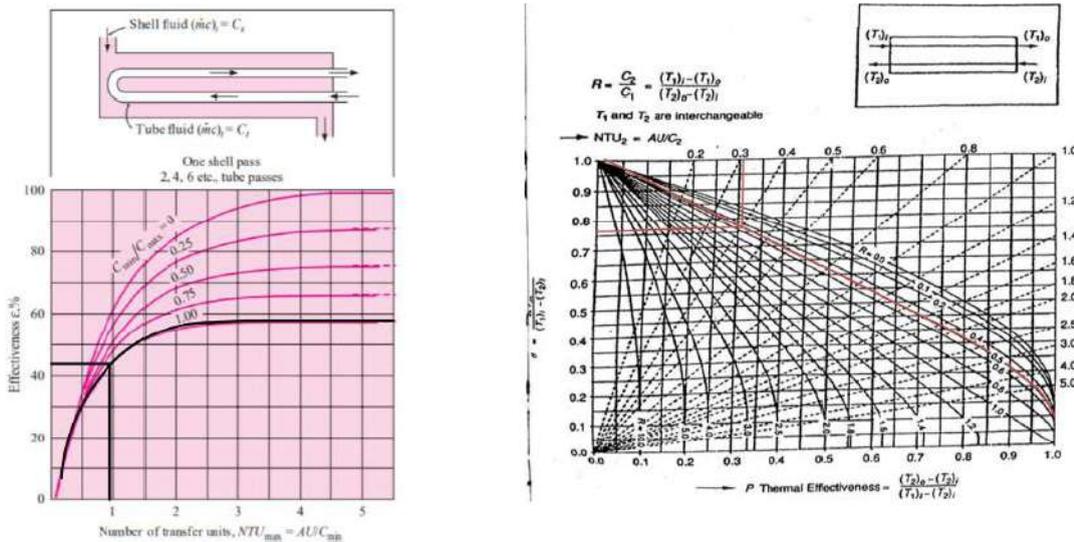
$$E = \frac{40737,7278}{89230,8} = 45,65 \%$$

- k. Number of Transfer Unit (NTU)

$$NTU = \frac{U \times A}{C_{\text{min}}}$$

$$NTU = \frac{1703,46 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \times 5,33 \text{ m}^2}{9699,46 \text{ W/°C}} = 0,936$$

Nilai Efektivitas *Shell and Tube* dan *Plate- Frame* Menggunakan Grafik



Pembahasan dan Analisa Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan nilai efektivitas dengan metode menggunakan teori ataupun menggunakan nilai grafik efektivitas *shell and tube* dan *plate-frame*, didapatkan hasil yang tidak jauh berbeda, di mana untuk efektivitas perhitungan *plate-frame* sebesar 30,7% dan untuk *shell and tube* sebesar 45,65%. Dari angka tersebut, *heat exchanger* tipe *shell and tube one shell two tube* memiliki nilai perpindahan panas yang jauh lebih baik, jika dibandingkan dengan *heat exchanger* tipe *plate-frame*. Selain dari nilai efektivitas, biaya perawatan dan biaya investasi awal dalam menggunakan *heat exchanger* tipe *shell and tube* lebih hemat jika dibandingkan dengan *heat exchanger* tipe *plate-frame*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil perancangan *heat exchanger* tipe *shell and tube* kami layak dipakai dengan dimensi panjang 1,83 m, *shell* diameter 0,405 m, *tube outside* diameter 0,01905 m, *tube inside* diameter 0,01483 m, *flow area per tube* 0,00017 m dengan material *steel* (SUS304) udah memenuhi standar-standar spesifikasi perancangan *heat exchanger shell and tube*. [8] Jika dibandingkan dengan *heat exchanger* jenis *plate-frame* yang sering mengalami kebocoran pada *seal* akibat adanya deformasi bentuk pada *gasket*. Selain itu bahan jenis titanium pada *plate* yang cukup mahal. Berdasarkan grafik nilai efektivitas *shell and tube* dan grafik nilai efektivitas pada *plate-frame* didapatkan hasil yang sama dan sesuai dengan hasil perhitungan
2. Hasil perancangan *heat exchanger* tipe *shell and tube* dapat diaplikasikan untuk *intercooler* di PLTP dan memiliki nilai efektivitas sebesar 45,65 %, dimana nilai efektivitas *heat exchanger* tipe ini lebih besar dibandingkan dengan tipe *plate-frame heat exchanger* yang memiliki nilai efektivitas sebesar 30,7 %.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. K. Shah and D. P. Sekuli, *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. 2003.
- [2] J. P. Fanaritis and J. W. Bevevino, "DESIGNING SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGERS.," *Chem. Eng. (New York)*, 1976.
- [3] Q. Wang, G. Chen, Q. Chen, and M. Zeng, "Review of Improvements on shell-and-tube heat exchangers with helical baffles," *Heat Transf. Eng.*, 2010, doi: 10.1080/01457630903547602.
- [4] I. Putra, "Studi Perhitungan Heat Exchanger Type Shell and Tube Dehumidifier Biogas Limbah Sawit Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Biogas," *J. POLIMESIN*, vol. 15, no. 2, p. 42, 2017, doi: 10.30811/jpl.v15i2.373.
- [5] Hewitt, G. F; Shires, G.L; Bott, T. R., *Process Heat Transfer*, Begell House Inc, New York, 1994.
- [6] H. Syah, "Kajian Kinerja Penukar Panas Tipe Shell and Tube Satu Halian dengan Pengontrolan Suhu Outlet," *J. Rekayasa Kim. Lingkung.*, 2013, doi: 10.23955/rkl.v9i4.1228.
- [7] Kern, D. Q, *Process Heat Transfer*, Mc Graw-Hi. Book Company, New York, 1965
- [8] J. P. Holman, *Heat Transfer 10th Edition*. 2008.

SUBMISSION 14**Analisis Unjuk Kerja Mesin Diesel Jiang Fa R 175 Dengan Menggunakan Bahan Bakar B30**Rino Gustoro¹, I Gede Eka Lesmana¹, dan Nely Toding Bunga¹¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Dengan penggunaan bahan bakar solar (B0) yang tinggi, membuat cadangan minyak fosil di Indonesia semakin menipis, maka dikembangkanlah bahan bakar biodiesel (B30), dimana minyak fosil dicampurkan dengan minyak nabati. Dengan penggunaan bahan bakar campuran ini bertujuan untuk mengurangi pemakaian minyak fosil yang terlalu tinggi. Dalam penelitian sebelumnya bahan yang digunakan sebagai bahan bakar adalah solar (B0) dan biodiesel dari minyak jelantah dengan metode yang digunakan adalah metode *variable load*. Dari hasil penelitian sebelumnya dapat diketahui dari semakin tinggi campuran biodiesalnya semakin tinggi juga torsi. Pada penelitian ini bahan bahan bakar yang digunakan adalah solar (B0) dan bahan bakar B30 yang bertujuan untuk menganalisis unjuk kerja dan juga membandingkan karakteristik kedua bahan bakar terhadap unjuk kerja mesin Diesel Jiang Fa R 175. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen (*experimental research*), dimana dengan metode yang digunakan dapat mengetahui perbandingan antara kedua bahan bakar. Dari kedua bahan bakar dilakukan uji coba unjuk kerja pada mesin Diesel merk Jiang Fa R 175. Dari pengujian kedua bahan bakar dapat disimpulkan bahwa nilai torsi tertinggi pada bahan bakar B30 dengan nilai sebesar 6,82 Nm, nilai daya tertinggi sebesar 1,11 kW, dan jumlah konsumsi bahan bakar spesifik efektif terendah sebesar 0,189 kg/kWh.

Kata Kunci- Bahan bakar B30; Bahan bakar solar (B0); Unjuk kerja mesin Diesel.

1. PENDAHULUAN

Biodiesel merupakan salah satu alternatif bahan bakar nabati (*biofuel*) ramah lingkungan yang dapat menggantikan sumber bahan bakar minyak dan fosil yaitu minyak solar/diesel (B0). Selain karena ramah lingkungan, biaya produksi rendah, biodiesel ini juga dapat dijadikan sebagai peluang usaha, dan bahan baku yang digunakan dapat diperoleh secara mudah di Indonesia [1,2].

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif mempunyai angka setana yang rata-rata lebih tinggi dibandingkan bahan bakar yang berasal dari solar (B0). Bahan bakar ini diharapkan menghasilkan unjuk kerja mesin tinggi, emisi gas buang rendah dan diharapkan mesin menjadi awet serta hemat bahan bakar. Sehingga bahan bakar biodiesel ini layak digunakan sebagai bahan bakar alternatif masa depan. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh persentase campuran biodiesel terhadap unjuk kerja mesin dan emisi gas buang [3,4,5]. Pengujian langsung biodiesel sebagai bahan bakar mesin Diesel. Bahan yang digunakan sebagai bahan bakar adalah solar (B0) dan biodiesel dari minyak jelantah. Campuran solar dan biodiesel yang digunakan meliputi 20% (B20) dan 30% (B30) biodiesel minyak jelantah. Metode yang digunakan dalam pengujian ini adalah metode *variable load*, yaitu dengan melakukan mengamati perubahan kecepatan putaran poros *output* mesin akibat dari massa pembebanan (*variable load*) yang berubah. Dari hasil penelitian ini dapat diketahui dari semakin tinggi campuran biodiesalnya semakin tinggi juga torsi [6].

Oleh karena itu, penelitian selanjutnya membandingkan bahan bakar solar (B0) dan biodiesel 30% (B30) dengan metode eksperimen menggunakan mesin Diesel Jiang Fa R 175. Mesin Diesel Jiang Fa R 175 ini digunakan karena harganya yang cukup ekonomis dan mudah untuk didapatkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apa saja pengaruh pada penggunaan bahan bakar biodiesel B30 terhadap unjuk kerja mesin Diesel Jiang Fa R 175.

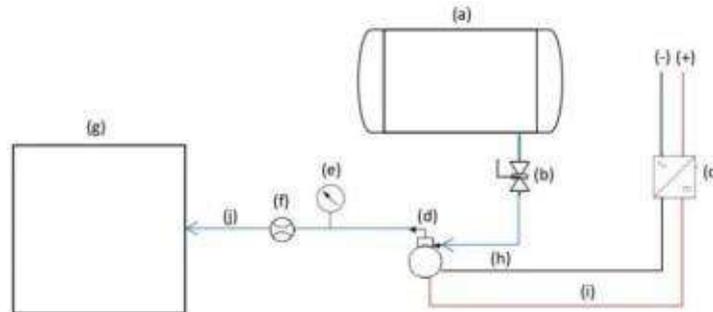
2. METODE PENELITIAN**A. Metode yang digunakan**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen (*experimental research*). Tujuannya untuk mengetahui seberapa besar pengaruh campuran biodiesel (B30) dan solar (B0) terhadap kinerja mesin Diesel empat langkah pada mesin Diesel Jiang Fa R 175. Penelitian ini membandingkan antara bahan bakar biodiesel (B30) dengan bahan bakar solar (B0). Metode eksperimen yang dilakukan adalah meneliti pengaruh kedua bahan bakar dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam, 6 jam, 7 jam, dan 8 jam terhadap unjuk kerja mesin Diesel. Dilakukannya penelitian ini dengan kurun waktu 8 jam saja, karena keterbatasan waktu yang ada. Unjuk kerja mesin Diesel yang diujikan meliputi kecepatan putar sudut, torsi, daya, dan konsumsi bahan bakar spesifik guna mengetahui kualitas kedua bahan bakar yang diujikan.

Pengujian kinerja ini dilakukan secara keseluruhan untuk mengetahui pengaruh yang terjadi setelah dilakukan pengujian. Pengujian pertama dilakukan pada mesin Diesel dengan menggunakan bahan bakar minyak solar (B0) selama

¹ Corresponding author: rinogustoro15@gmail.com

per 1 jam sekali dengan total waktu 8 jam. Setelah proses pengujian dengan bahan bakar pertama selesai, tangki bahan bakar di bersihkan terlebih dahulu dengan cara menguras habis penggunaan bahan bakar sebelumnya. Lalu setelah itu masukkan bahan bakar kedua ke dalam tangki dan dilakukan pengujian selanjutnya dengan mesin yang sama namun bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar B30, pengujian sama seperti pada bahan bakar minyak solar (B0) yaitu selama per 1 jam sekali. Pada Gambar 1. dibawah ini menunjukkan skema pada pengujian.



Gambar 1. Skema pengujian. (a) tangki bahan bakar, (b) katup manual, (c) *power supply AC/DC*, (d) pompa bahan bakar elektrik, (e) *pressure gauge*, (f) *flowmeter*, (g) mesin Diesel, (h) arus negatif (-) dari aki, (i) arus positif (+) dari aki, (j) selang bahan bakar.

B. Alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mesin Diesel Jiang Fa R 175



Gambar 2. Mesin Diesel jiang fa r 175

Gambar 2. diatas menunjukkan bentuk fisik dari mesin Diesel merk Jiang Fa tipe R 175 yang digunakan pada penelitian. Mesin Diesel ini bertipe horizontal, bersilinder tunggal, bersistem empat langkah dengan sistem pendingin sirkulasi air, sistem pembakaran secara injeksi langsung dan mempunyai isi silinder 353 cc.

- Tachometer



Gambar 3. Alat ukur tachometer

Gambar 3. diatas menunjukkan bentuk fisik dari alat ukur yang digunakan pada penelitian. Tachometer adalah alat ukur kecepatan putaran yang memiliki sensor berupa sinar infra merah. Pada pengujian ini, tachometer yang digunakan adalah tachometer digital.

- Bahan bakar solar (B0)



Gambar 4. Bahan bakar solar (B0)

- Bahan bakar biodiesel (B30)



Gambar 5. Bahan bakar biodiesel (B30)

C. Rumus yang digunakan

- Torsi yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$T = F_s \times r \quad (1)$$

Dimana T adalah torsi (Nm), F_s adalah gaya sentrifugal (N) dan r adalah jari-jari (m) [7].

Contoh perhitungan :

$$T = F_s \times r$$

Diketahui :

$$r = 0,08 \text{ m}$$

- Pada Kecepatan Sudut Putar 1460 rpm

$$F_s = 74,72 \text{ N}$$

Maka

$$T = 74,72 \text{ N} \times 0,08 \text{ m}$$

$$T = 5,98 \text{ Nm}$$

- Daya yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Ne = \frac{2\pi \times \omega \times T}{60000} \quad (2)$$

Dimana Ne adalah daya poros (kW), ω adalah kecepatan sudut putar (rpm) dan T adalah torsi (Nm) [8].

Contoh perhitungan :

$$Ne = \frac{2\pi \times \omega \times T}{60000}$$

Diketahui :

- Pada Kecepatan Sudut Putar 1460 rpm

$$T = 5,98 \text{ Nm}$$

Maka

$$N_e = \frac{2\pi \times 1460 \text{ rpm} \times 5,98 \text{ Nm}}{60000}$$

$$N_e = 0,91 \text{ kW}$$

- Konsumsi bahan bakar spesifik yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$SFC = \frac{M_f}{N_e} \quad (3)$$

Dimana SFC adalah konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kWh), N_e adalah daya poros (kW), dan M_f adalah jumlah bahan bakar per satuan waktu (kg/jam) [8].

Contoh perhitungan :

- Pada Kecepatan Sudut Putar 1460 rpm

$$N_e = 0,91 \text{ kW}$$

Maka

$$SFC = \frac{0,21 \text{ kg/jam}}{0,91 \text{ kW}}$$

$$SFC = 0,231 \text{ kg/kWh}$$

Varibel yang diuji pada penelitian ini adalah kecepatan sudut putar (rpm). Adapun variasi waktu untuk pengujian adalah selama 1 jam sekali. Dari hasil pengujian kecepatan sudut putar yang didapatkan juga dapat mengetahui nilai torsi, daya, dan konsumsi bahan bakar spesifik pada mesin Diesel dengan cara menghitung dengan rumus.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

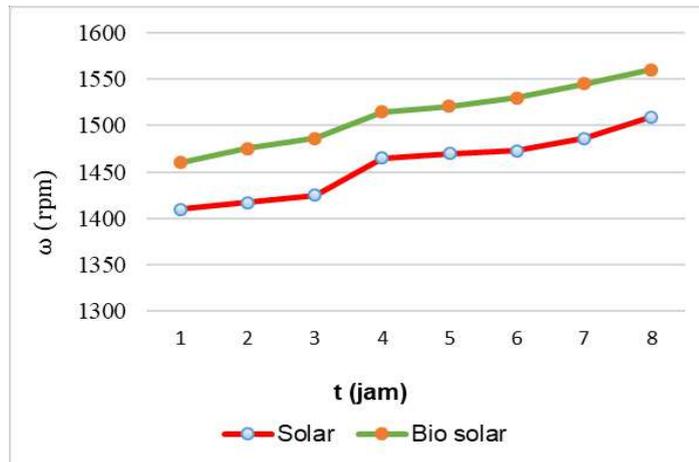
Untuk melakukan pengujian torsi, daya dan konsumsi bahan bakar spesifik pada bahan bakar solar (B0) dan bahan bakar biodiesel (B30) terlebih dahulu melakukan pengambilan data kecepatan sudut putar pada mesin Diesel Jiang Fa R 175 dengan alat ukur tachometer. Setelah dilakukan pengambilan data kecepatan sudut putar dengan menggunakan bahan bakar solar (B0) dan bahan bakar biodiesel (B30), kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai torsi, daya dan konsumsi bahan bakar spesifik. Tabel 1. merupakan data hasil perhitungan pada pengujian nilai torsi, daya dan konsumsi bahan bakar spesifik pada unjuk kerja mesin Diesel dengan menggunakan bahan bakar solar (B0) dan bahan bakar biodiesel (B30)

Tabel 1. Hasil pengujian nilai torsi, daya dan konsumsi bahan bakar spesifik

Bahan Bakar	Waktu (jam)	Kecepatan Sudut Putar (rpm)	Torsi (Nm)	Daya (kW)	Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (kg/kWh)
Solar (B0)	1	1410	5,57	0,82	0,293
	2	1417	5,63	0,83	0,289
	3	1425	5,69	0,85	0,282
	4	1465	6,02	0,92	0,261
	5	1470	6,06	0,93	0,258
	6	1473	6,08	0,94	0,255
	7	1486	6,19	0,96	0,25
	8	1509	6,38	1,01	0,238
B30	1	1460	5,98	0,91	0,231
	2	1475	6,10	0,94	0,223
	3	1486	6,19	0,96	0,219
	4	1515	6,44	1,02	0,206
	5	1520	6,48	1,03	0,204
	6	1530	6,56	1,05	0,2

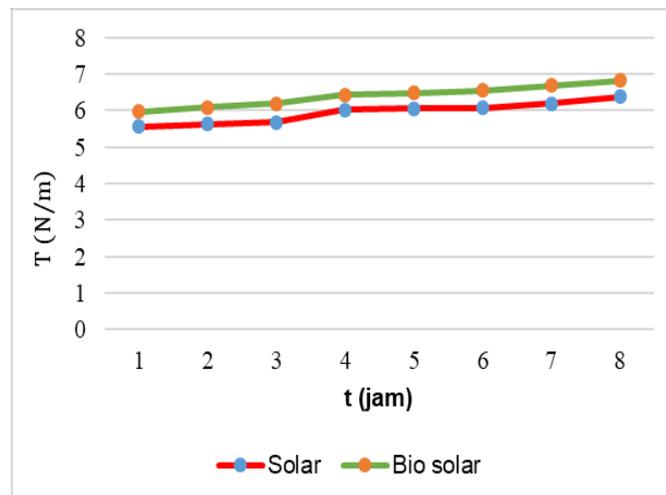
	7	1545	6,69	1,08	0,194
	8	1560	6,82	1,11	0,189

Kecepatan sudut putar (rpm) dipengaruhi oleh massa jenis bahan bakar, pada bahan bakar solar (B0) mempunyai nilai massa jenis sebesar 848 kg/m^3 , pada bahan bakar B30 mempunyai nilai massa jenis sebesar $853,9 \text{ kg/m}^3$. Semakin tinggi massa jenis bahan bakar, semakin tinggi juga kecepatan sudut putar (rpm) pada mesin Diesel Jiang Fa R 175.



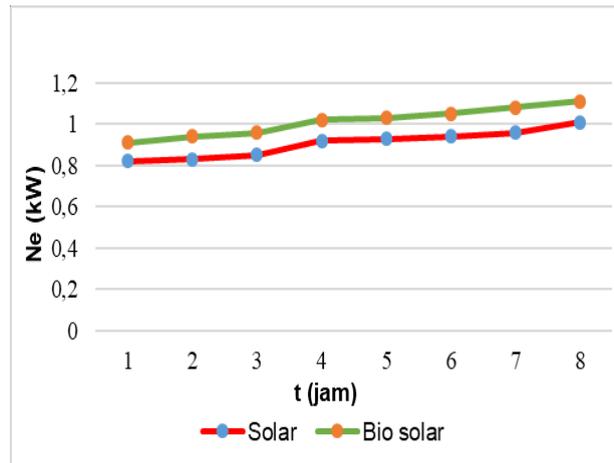
Gambar 6. Grafik nilai kecepatan sudut putar terhadap waktu

Gambar 6. adalah grafik nilai kecepatan sudut putar (rpm) terhadap waktu (jam) yang terjadi pada pengujian unjuk kerja mesin Diesel dengan menggunakan bahan bakar solar (B0) dan B30. Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai kecepatan sudut putar (rpm) pada bahan bakar B30 lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar solar (B0) pada waktu pengujian yang sama.



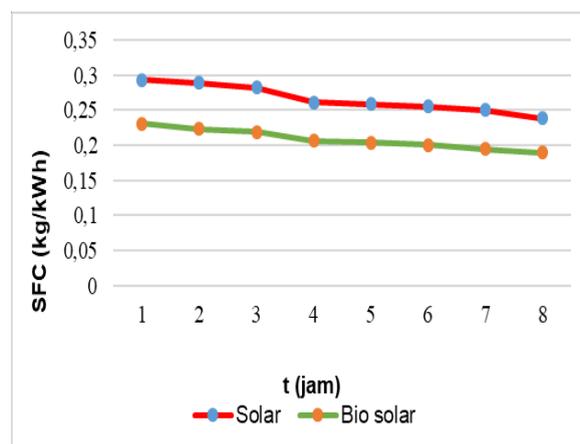
Gambar 7. Grafik nilai torsi terhadap waktu

Gambar 7. adalah grafik nilai torsi (Nm) terhadap waktu (jam) yang terjadi pada pengujian unjuk kerja mesin Diesel dengan menggunakan bahan bakar solar (B0) dan B30. Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai torsi (Nm) pada bahan bakar B30 lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar solar (B0) pada waktu pengujian yang sama. Nilai torsi (Nm) yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh besarnya nilai kecepatan putar sudut (rpm).



Gambar 8. Nilai daya terhadap waktu

Gambar 8. adalah grafik nilai daya (kW) terhadap waktu (jam) yang terjadi pada pengujian unjuk kerja mesin Diesel dengan menggunakan bahan bakar solar (B0) dan B30. Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai daya (kW) pada bahan bakar B30 lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar solar (B0) pada waktu pengujian yang sama. Nilai daya (kW) yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh besarnya nilai kecepatan putar sudut (rpm) dan nilai torsi (Nm).



Gambar 9. Grafik nilai konsumsi bahan bakar spesifik terhadap waktu

Gambar 9. adalah grafik jumlah konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg/kWh) terhadap waktu (jam) yang terjadi pada pengujian unjuk kerja mesin Diesel dengan menggunakan bahan bakar solar (B0) dan B30. Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa jumlah konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg/kWh) pada bahan bakar B30 lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar solar (B0) pada waktu pengujian yang sama. Jumlah konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg/kWh) yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh besarnya jumlah bahan bakar per satuan waktu (kg/jam) dan nilai daya (kW). Pada semua grafik diatas, titik puncak dari hasil kecepatan sudut putar (rpm), torsi (Nm), dan daya (kW) pada mesin Diesel Jiang Fa R 175 terjadi pada waktu jam ke 8 pengujian.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan. Dari hasil analisis yang dilakukan bahwa unjuk kerja pada mesin Diesel dengan menggunakan bahan bakar solar (B0) dan bahan bakar biodiesel B30 meliputi nilai torsi, daya, dan konsumsi bahan bakar spesifik. Nilai torsi tertinggi pada bahan solar (B0) sebesar 6,38 Nm dan pada bahan bakar biodiesel B30 sebesar 6,82 Nm. Nilai daya tertinggi pada bahan bakar solar (B0) sebesar 1,01 kW dan pada bahan bakar biodiesel B30 sebesar 1,11 kW. Dan untuk nilai konsumsi bahan bakar spesifik terendah pada bahan bakar solar (B0) sebesar 0,238 kg/kWh dan pada bahan bakar biodiesel B30 sebesar 0,189 kg/kWh.

Dari hasil analisis perhitungan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perbandingan karakteristik bahan solar (B0) dan bahan bakar biodiesel B30. Nilai torsi dan daya pada bahan bakar biodiesel B30 lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar solar (B0). Dan untuk nilai konsumsi bahan bakar spesifik, pada bahan bakar B30 lebih rendah dibandingkan dengan bahan bahan solar (B0), sehingga pada jumlah konsumsi bahan bakar spesifik pada bahan bakar biodiesel B30 lebih hemat dibandingkan dengan bahan bakar solar (B0) pada unjuk kerja mesin Diesel.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan dan penulis mengucapkan terimakasih kepada Jurusan Teknik Mesin Universitas Pancasila Jakarta atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ali, B., & Nugroho, P. A., 2017, Analisis Pemakaian Bahan Bakar High Speed Diesel dan Biodiesel (B30) Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas Buang Mesin Diesel PLTD 1.4 MW, Jurnal Teknik Mesin FTI ISTN, 18(2), 30–41.
2. Sidjabat, O., 2015, Pengaruh Teknik Pencampuran Biodiesel dengan Metode *Splash* (Pencemplungan) terhadap Unjuk Kerja Kendaraan Bermesin Diesel, Puspitek Migas, 47(1), 1–8.
3. Atomoko Wahyu Puji, Widjanarko Dwi, P., 2015, Pengaruh Temperatur Pada Proses Transesterifikasi Terhadap Karakteristik Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas, Teknik Mesin UNS, 54(1), 39–46.
4. Farida, A., Ginting, E., & Burhanuddin, T. S., 2017, Karakteristik Kinerja Mesin Diesel Stasioner dengan Bahan Bakar Campuran Biodiesel dari Biji Kemiri Sunan, Jurnal Teknologi, 12(1), 36–45.
5. Warsita, A., 2015, Pengaruh *injection timing* dan prosentase campuran minyak diesel dengan bahan bakar biodiesel terhadap karakteristik mesin dan emisi gas buang, Teknik Mesin STTN Yogyakarta, 12(2), 1–15.
6. Setiawan, A., Winarno, J., & Syamsiro, M., 2017, Studi Eksperimental Unjuk Kerja Campuran Solar- Biodiesel Minyak Jelantah Pada Mesin Diesel, Jurnal Mekanika Dan Sistem Termal, 2(1), 15–20.
7. Prasojo, M. Y., 2015, Pengaruh Penggunaan Cdi Standar Dan Cdi Racing Dengan Variasi Bahan Bakar Premium 88, Pertamina 92, Dan Pertamina Plus 95 Terhadap Daya Dan Torsi Motor Bensin 1 Silinder, Program Studi Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
8. Michael Boles, Y. C., 2006, *Thermodynamics: An Engineering Approach* (6th ed.), Amerika Serikat: McGraw Hill Higher Education.

SUBMISSION 20**Analisis Perbandingan Daya dan Torsi Antara Bahan Bakar Biosolar Dan Dexlite Pada Mobil Diesel**Gamma Adhitya Chandra¹, dan Wegie Ruslan¹¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Penggunaan bahan bakar pada mesin sangat berpengaruh terhadap prestasi mesin, sehingga dari waktu ke waktu perlu dilakukan perbaikan kualitas bahan bakar. Tujuan perbaikan ini adalah untuk mengetahui perbedaan spesifik ketika menggunakan bahan bakar tertentu dan memaksimalkan kinerja mesin. Namun seiring berjalannya waktu dan perkembangan teknologi, kini mesin diesel mulai beralih ke alternatif bahan bakar solar yaitu biosolar dan dexlite. Maka dari itu perlu dilakukan uji coba untuk mengetahui daya dan torsi yang dihasilkan pada mesin diesel. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak konsumsi bahan bakar Dexlite dan Biosolar pada mesin diesel, manakah bahan bakar yang lebih efektif dan efisien untuk mesin tersebut. Adapun metode yang digunakan adalah dengan melakukan pengujian dynotest, yang merupakan suatu metode pengujian performa mesin dengan cara melihat daya dan torsi yang dihasilkan dari mobil diesel, baik yang menggunakan bahan bakar biosolar maupun mobil diesel yang menggunakan bahan bakar dexlite. Dalam melakukan pengujian tersebut terdiri dari beberapa varian percobaan yang dilakukan yaitu dari putaran mesin 2000 rpm hingga 4700 rpm, sehingga terlihat perbandingan performa mobil diesel yang berbahan bakar biosolar maupun dexlite.

Kata Kunci-Bahan Bakar; Daya; Dynotest; Motor Diesel; Torsi.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar pada mesin sangat berpengaruh terhadap prestasi mesin, sehingga dari waktu ke waktu perlu dilakukan perbaikan kualitas bahan bakar. Dilakukannya perbaikan ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan spesifik ketika menggunakan bahan bakar tertentu, dan memaksimalkan kinerja mesin. Di Indonesia sendiri penggunaan mesin diesel saat ini semakin banyak. Sehingga mengakibatkan penggunaan solar semakin meningkat. Hal ini berdampak pada suplai bahan bakar, dimana belum ada alternatif lain untuk bahan bakar yang mampu memaksimalkan kinerja mesin. Namun seiring berjalannya waktu dan perkembangan teknologi, kini mesin diesel mulai beralih ke alternatif bahan bakar solar, yaitu biosolar dan dexlite. Oleh sebab itu, sekarang Pemerintah mencanangkan penggunaan bahan bakar biosolar dan dexlite pada kendaraan bermotor.

Dari sisi lingkungan, bahan bakar solar masih memiliki kandungan cetane yang berbahaya bagi kesehatan. Sedangkan dari sisi teknologi, penggunaan bahan bakar solar dalam mesin berkompresi tinggi dapat menyebabkan mesin mengalami knocking atau 'ngelitik'. Dimana bahan bakar solar di dalam mesin kendaraan akan terbakar dan meledak karena tidak sesuai dengan gerakan piston.

Oleh karena itu Biosolar adalah jenis bahan bakar yang disarankan sebagai pengganti solar. Biosolar adalah campuran solar dengan minyak nabati yang didapatkan dari minyak kelapa sawit atau crude palm oil (CPO). Bahan ini cukup baik karena biosolar merupakan sumber energi yang bisa diperbaharui. Biosolar sendiri terdiri dari minyak nabati dan hewani. Secara kimia, biosolar dihasilkan dari pencampuran monoalkyl ester, yang merupakan rantai panjang asam lemak. Dexlite adalah bahan bakar minyak untuk kendaraan bermesin diesel yang diluncurkan Pertamina pada 12 April 2016. Dexlite merupakan varian terbaru yang memiliki spesifikasi lebih unggul daripada solar bersubsidi, namun demikian masih di bawah Pertamina Dex. Dexlite memiliki campuran bio diesel atau fatty acid methyl ester (FAME) sebanyak 20% dengan zat aditif di dalamnya. Perlu dilakukan uji coba untuk mengetahui daya dan torsi yang dihasilkan pada mesin diesel dengan menggunakan bahan bakar biosolar ataupun dexlite. Analisis ini juga bertujuan untuk mengetahui manakah bahan bakar yang lebih efektif dan efisien untuk mesin tersebut.

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah :

- Mengetahui kinerja motor diesel ketika menggunakan bahan bakar biosolar dan ketika menggunakan bahan bakar dexlite.

¹ Corresponding author: gamma.aditya@gmail.com

- b. Memperoleh perbandingan untuk kerja motor diesel ketika menggunakan bahan bakar biosolar dan ketika menggunakan bahan bakar dexlite.

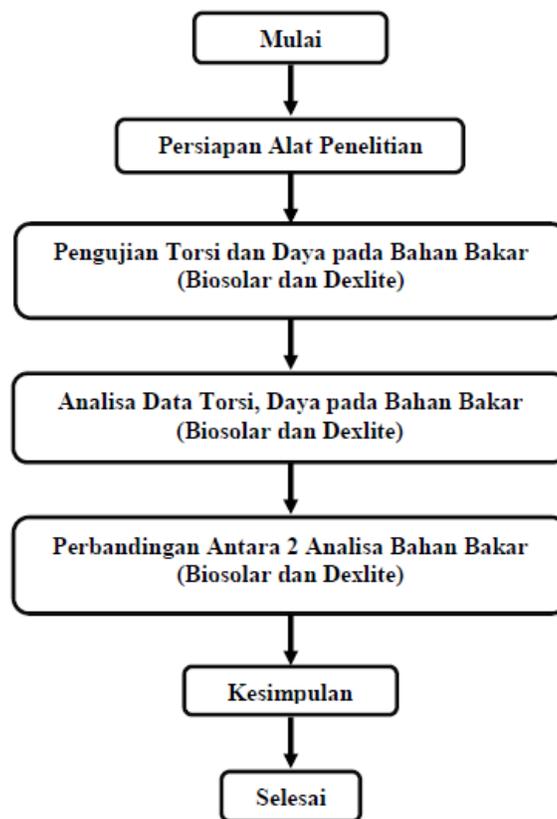
Cakupan penelitian diperlukan agar penelitian lebih terarah dan menghindari pembahasan menjadi luas. Oleh sebab itu, batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bahan bakar diesel yang dipergunakan adalah biosolar dan dexlite.
2. Data yang diamati adalah daya dan torsi.
3. Kendaraan yang dipergunakan adalah mobil diesel type Toyota Kijang Innova diesel 2015.

2. METODE

Metode penelitian ini menggunakan dyno test yang difokuskan pada daya dan torsi, dengan menggunakan bahan bakar biosolar dan dexlite.

a. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

b. Pengujian

- Letakkan kendaraan motor yang akan diuji diatas alat dyno test dengan posisi roda belakang menempel tepat di atas roller.
- Pasang penahan pada rangka mobil agar kendaraan tidak dapat bergerak.
- Nyalakan mesin.
- Atur putaran mesin hingga kondisi stationer, kemudian biarkan beberapa saat untuk pemanasan.
- Untuk memperoleh nilai torsi pada masing-masing variasi putaran mesin, atur putaran mesin 2000 rpm hingga 4700 rpm pada pengujian dikedua jenis bahan bakar yang digunakan (biosolar dan dexlite).

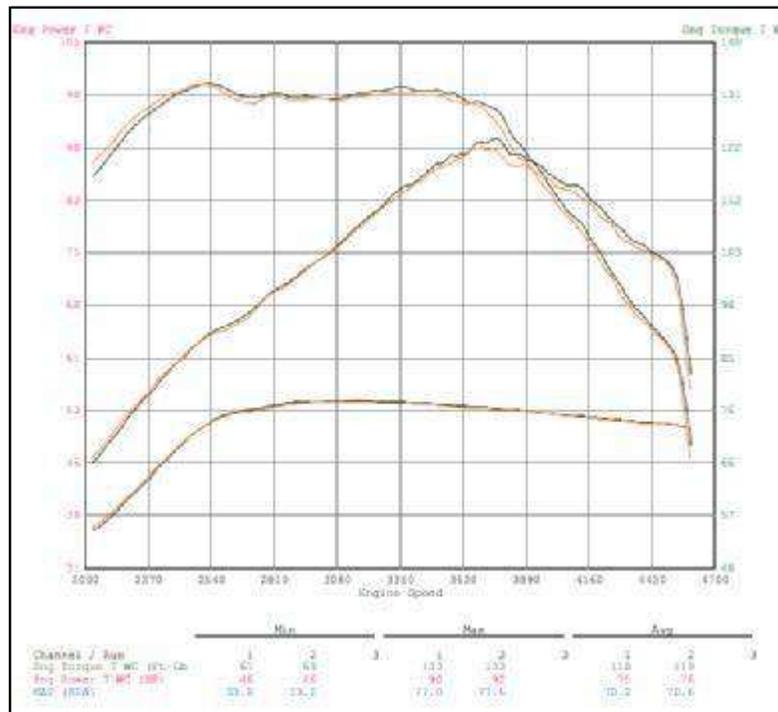
- Untuk memperoleh nilai torsi maksimal, atur putaran mesin hingga nilai RPM maksimal yang dapat diperoleh mesin (nilai putaran mesin maksimal pada kendaraan bermotor ini 4500 rpm).
- Nilai torsi dibaca pada instrumen dyno test.

2. HASIL

Dynamometer atau biasa disebut *dyno test* merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengukur besaran tenaga mesin secara detail dan real time. *Dyno test* sendiri terdapat dua macam alat ukur, yakni *engine dyno* dan *chassis dyno*. Pada alat *engine dyno*, proses *dyno test* akan dilakukan hanya pada mesin kendaraan, demi mengukur besaran performa yang mampu dihasilkan oleh sebuah mesin. Peranti ini umumnya tersedia di manufaktur mobil atau produsen *aftermarket* dengan sebuah ruangan tertutup layaknya laboratorium. Secara teknis, tidak terdapat perbedaan yang terlalu signifikan antara biosolar dan dexlite. Namun jika kita lihat secara ekonomi, biosolar bisa menjadi alternative untuk menggantikan dexlite karena bahan baku campuran biosolar, yaitu *crude palm oil* (CPO) yang sangat berlimpah di Indonesia. Berdasarkan hasil *dyno test* dan analisa teoritis, bahan bakar biosolar lebih efisien dan bisa menggantikan peran dari bahan bakar dexlite.

Tabel 1. Hasil *Dyno test* komparasi menggunakan bahan bakar Biosolar dan Dexlite

<i>Engine Speed,</i>	<i>Eng Torque, Ft-Lbs</i>	<i>Eng Torque, Ft-Lbs</i>	<i>Eng Power HP</i>	<i>Eng Power HP</i>
2100	122	120	49	49
2200	127	125	53	53
2300	130	128	57	56
2400	132	131	60	60
2500	133	133	63	63
2600	131	132	65	65
2700	129	130	66	67
2800	131	131	70	70
2900	130	130	72	72
3000	130	130	74	74
3100	130	130	77	77
3200	131	131	80	80
3300	131	132	82	83
3400	131	132	85	85
3500	131	132	87	88
3600	130	131	89	89
3700	129	129	90	91
3800	124	126	88	90
3900	119	120	87	88
4000	113	114	85	86
4100	108	109	84	85
4200	102	104	81	82
4300	96	97	77	79
4400	91	92	76	76
4500	87	87	74	74



Grafik 1 Hasil *Dyna test* komparasi menggunakan bahan bakar Biosolar dan Dexlite

Hasil Perhitungan

a. Daya

Dalam menentukan performa suatu mesin, parameter penting yang perlu diketahui adalah daya. Daya merupakan kapasitas untuk menyatakan seberapa cepat suatu objek melakukan usaha, atau dengan kata lain adalah jumlah energi yang dihabiskan dalam persatuan waktu. Pada kendaraan bermotor, daya memberikan kontribusinya terhadap waktu akselerasi yang semakin singkat, atau dengan kata lain daya dihubungkan terhadap kecepatan kendaraan dalam bergerak yang dapat dihitung dengan parameter sebagai berikut :

$$P = T \times N / 5252$$

Dimana:

P = Daya [HP]

N = Putaran Mesin per Detik [rpm]

T = Torsi [Ft-Lbs]

b. Torsi

Torsi adalah suatu energi yang dapat mengukur kemampuan mesin untuk melakukan kerja. Pada kendaraan motor khususnya di ruang bakar, torsi merupakan gaya putar yang dihasilkan oleh poros engkol. Saat terjadinya ledakan pada ruang pembakaran yang menyebabkan piston bergerak (gaya), dikalikan oleh panjangnya lengan dari poros engkol ke *crank pin*, maka terciptalah torsi. Sehingga semakin besar torsi yang dihasilkan oleh mesin, maka semakin besar pula kemampuannya untuk melakukan usaha. Torsi dapat dihitung dengan rumus berikut

$$T = 5252 \times P / N$$

Dimana:

T = Torsi [Ft-Lbs]

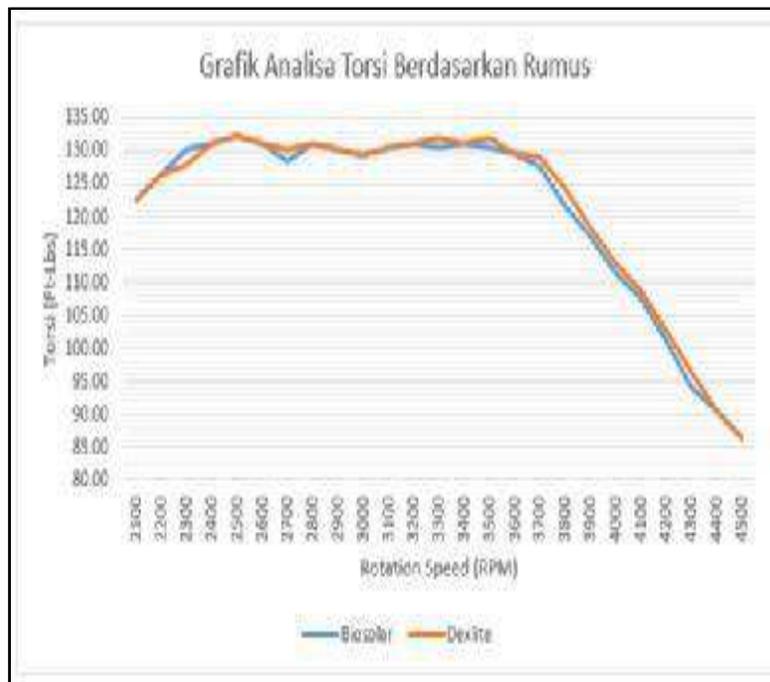
N = Putaran Mesin per Detik [rpm]

P = Daya [HP]

Dari perhitungan rumus diatas maka didapat hasil perbandingan daya dan torsi dengan menggunakan bahan bakar biosolar dan dextrite sebagai berikut :

Tabel 2 Hasil analisa torsi menggunakan bahan bakar Biosolar dan Dexlite

Engine Speed,	Hasil Pengujian		Hasil Teoritis	
	Eng Torque, Ft-Lbs	Eng Torque, Ft-Lbs	Eng Torque, Ft-Lbs	Eng Torque, Ft-Lbs
	Biosolar	Dexlite	Biosolar	Biosolar
2700	129	130	128,38	130,33
2800	131	131	131,30	131,30
2900	130	130	130,39	130,39
3000	130	130	129,55	129,55
3100	130	130	130,45	130,45
3200	131	131	131,30	131,30
3300	131	132	130,50	132,10
3400	131	132	131,30	131,30
3500	131	132	130,55	132,05
3600	130	131	129,84	129,84
3700	129	129	127,75	129,17
3800	124	126	121,63	124,39
3900	119	120	117,16	118,51
4000	113	114	111,61	112,92
4100	108	109	107,60	108,88
4200	102	104	101,29	10,54
4300	96	97	94,05	96,49
4400	91	92	90,72	90,72
4500	87	87	86,37	86,37



Grafik 2 Hasil analisa torsi menggunakan bahan bakar Biosolar dan Dexlite

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan metode *dyno test* dan hasil analisa data yang telah dilakukan pada mesin Toyota Kijang Innova, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Dari hasil *dyno test* dan analisa diketahui bahwa menggunakan bahan bakar biosolar dan bahan bakar dexlite berpengaruh pada daya dan torsi yang dihasilkan walaupun perbedaannya tidak terlalu signifikan.
- b. Pada saat putaran mesin 2100 rpm, torsi cenderung naik. Baik itu menggunakan biosolar ataupun menggunakan dexlite. Sedangkan pada saat putaran mesin 3500 rpm, torsi mulai terlihat menurun.
- c. Pada saat putaran mesin 2100 rpm, daya cenderung naik. Baik itu menggunakan biosolar ataupun menggunakan dexlite. Sedangkan pada saat putaran mesin 3700 rpm, daya mulai terlihat menurun.

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tugas penelitian ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dan membantu saya dalam melakukan penelitian ini, terutama Bapak Prof.Dr.Ir.Wegie Ruslan,MSMath.MBA selaku Dosen yang membimbing serta team Dyno DSS yang telah membantu untuk melakukan dynotest.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Raharjo, "Menggunakan Biodiesel Minyak Jarak," *J. Litbang Univ. Muhammadiyah Semarang*, vol. 1, no. 1, hal. 40–43, 1999, [Daring]. Tersedia pada: <http://jurnal.unimus.ac.id/index.php/LITBANG/article/viewFile/284/305>.
- [2] A. Bhikuning, "Analisa Performa Mesin dengan Biodiesel Terbuat dari Virgin Coconut Oil pada Mesin Diesel," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 6, no. 2, hal. 123–128, 2013.
- [3] N. R. Prabowo, P. Studi, T. Mesin, S. Tinggi, T. Wiworotomo, dan P. Kadu, "tunggal menggunakan bahan bakar bio-diesel yang dipanaskan pada suhu 30°C-100 °C . Kinerja motor diesel diukur pada putaran 1500-4000 rpm dan dioperasikan pada beban," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 1, hal. 26–31, 2013.
- [4] F. Wijayanti dan D. Irwan, "Analisis Pengaruh Bentuk Permukaan Piston Terhadap Kinerja Motor Bensin," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 1, hal. 34–42, 2014.
- [5] M. D. Rahman, N. A. Wigraha, dan G. Widayana, "Pengaruh Ukuran Katup Terhadap Torsi Dan Daya Pada Sepeda Motor Honda Supra Fit," *J. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 3, hal. 45–54, 2017, doi: 10.23887/jjtm.v5i3.20283.
- [6] O. Kurdi, "Aspek Torsi Dan Daya Pada Mesin Sepeda Motor 4 Langkah Dengan Bahan Bakar Campuran Premium – Methanol," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, hal. 54–60, 2007, doi: 10.14710/rotasi.9.2.54-60.
- [7] N. Nugroho, Agung, Walujo, Ika Bayu, Sinaga, "Kaji Eksperimental Penggunaan Dual Fuel Pada Mesin Diesel Berbahan Bakar Dexlite –Lpg," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 16, no. 1, hal. 75–79, 2020.
- [8] A. D. Cappenberg, "Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Solar , Biosolar Dan Pertamina Dex Terhadap Prestasi Motor Diesel silinder tunggal," *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 2, no. 1, hal. 70–74, 2017.
- [9] N. Jonoadji, W. Anggono, A. Sugondo, E. Sепthian, dan J. Siwalankerto, "Pengaruh Penambahan Minyak Kulit Pisang Terhadap Unjuk Kerja Mesin Diesel," *J. Tek. Mesin*, vol. 17, no. 1, hal. 17–22, 2020, doi: 10.9744/jtm.17.1.17-22.
- [10] H. Basri dan P. Negeri Samarinda Jl DrCiptomangunkusumo Kampus Gunung Lipan Samarinda, "Pengaruh Pencampuran Bahan Bakar Biosolar Dan Dexlite Terhadap Opasitas Gas Buang Dan Konsumsi Bahan Bakar Pada Internal Combustion Engine (Ice)," *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 1, no. 1, hal. 184–192, 2018.
- [11] S. Darmanto, "Analisa kekentalan biodiesel dan uji unjuk kerja di mesin diese 1," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 1, hal. 35–38, 2000.
- [12] I. Said dan P. H. Abram, "BIOETANOL DARI LIMBAH KULIT SINGKONG (Manihot esculenta

-
- Crantz) MELALUI PROSES FERMENTASI Bioethanol from Waste of Cassava Peel (*Manihot esculenta* Crantz) through Fermentation,” *J. Kim.*, vol. 5, no. 3, hal. 121–126, 2016.
- [13] H. Pranoto dan M. I. Fadil, “ANALYSIS OF OPACITY TESTING RESULTS IN BIO SOLAR , DEXLITE , AND PERTAMINA DEX FUELS BY CALCULATING THEORETICAL COMBUSTION SPEED,” *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 1, hal. 1–7, 2020.
- [14] N. Sinaga dan M. Rifal, “Pengaruh Komposisi Bahan Bakar Metanol-Bensin Terhadap Torsi Dan Daya Sebuah Mobil Penumpang Sistem Injeksi Elektronik 1200 CC,” *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 19, no. 3, hal. 147–155, 2017, doi: 10.14710/rotasi.19.3.147-155.
- [15] A. WIYONO, “Studi Komparasi Performa Mesin Berbahan Bakar Solar Dan Biodiesel Dari Crude Oil Nyamplung Dengan Proses Degumming Pada Mesin Diesel,” *J. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 3, hal. 105–112, 2014, [Daring]. Tersedia pada: <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/7643>.

SUBMISSION 24

Analisa Kapasitas Pendingin Pada Ruang Dome Quality Inspection Appearance di PT XXX

Rinjaya Teguh Susilo¹, dan Rudi Hermawan¹

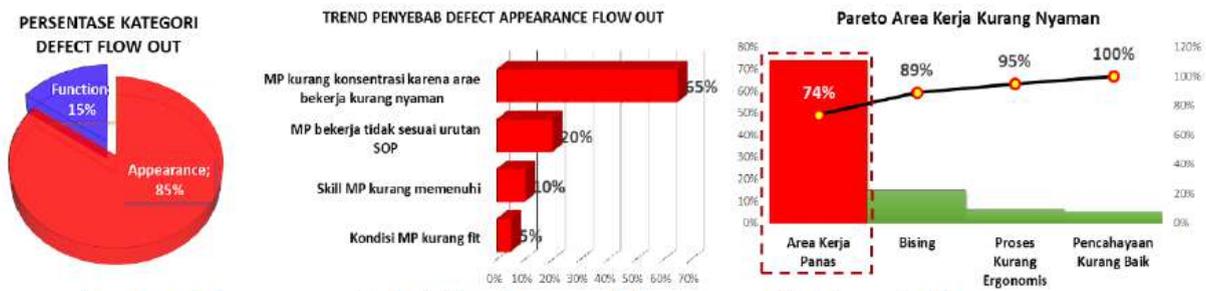
¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. *Dome Appearance* adalah ruangan didalam bangunan jalur produksi proses Quality Inspection pada industri otomotif roda empat. Ruangannya digunakan sebagai pos pengecekan untuk mendeteksi *defect-defect* pada panel unit proses. Metode pengecekan memanfaatkan pantulan cahaya lampu TL dari panel. Terdapat 1440 Pcs lampu TL dalam ruangan berukuran panjang 56 meter, lebar 5 meter dan tinggi 2,5 meter tersebut. Banyaknya lampu menyebabkan naiknya temperatur sehingga menjadikan kurangnya nyaman area kerja. Faktor lainnya dalam pengkondisian udara, yaitu jumlah orang dan equipment yang ada di dalamnya (beban internal) serta faktor luar (beban external) seperti dimensi, material dari bangunan dan juga infiltrasi. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa beban pendinginan yang terjadi, yang berpengaruh terhadap penentuan alat pendingin yang tepat untuk kondisi area kerja yang nyaman sesuai dengan surat keputusan Menteri Kesehatan No. 261/Menkes/SK/11/1998 tentang persyaratan kesehatan lingkungan kerja. Metode perhitungan beban pendingin yang digunakan menggunakan metode perhitungan CLF (cooling load factor). Perhitungan dilakukan pada kondisi beban pendinginan puncak (maksimal), sehingga dapat dilakukan pengaturan secara parsial pada sistem pendingin. Hasil dari penelitian yaitu total beban pendinginan sebesar 140,020 kW dan besarnya sistem pendingin AC yang diperlukan untuk mendinginkan setara dengan 60 PK. Jenis AC yang direkomendasikan adalah AC Split Duct yang menggunakan refrigerant jenis R410A.

Kata Kunci- AC; Dome; Kenyamanan area kerja

1. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia industri saat ini berjalan sangat pesat, terutama pada industri otomotif khususnya di Indonesia. Perkembangan tersebut tentunya harus diimbangi dengan evaluasi dan inovasi yang dilakukan secara terus menerus. Sehingga untuk dapat menghasilkan produk yang berkualitas, harus memperhatikan faktor-faktor penunjang produksi yaitu faktor ‘4M+1E’ (Man, Machine, Material, Method dan Environment atau Lingkungan). Proses produksi yang baik tidak hanya ditentukan dari material (bahan baku), method (inovasi canggih) ataupun machine (equipment) yang digunakan saja, tetapi juga meliputi kualitas proses kerja dari Man Power (tenaga kerja) itu sendiri serta environment (lingkungan kerja). Lingkungan kerja yang nyaman akan membuat orang bekerja dengan aman, nyaman, fokus mengikuti urutan kerja atau Standard Operational Procedure (SOP) serta mendapatkan kebahagiaan dalam melakukan pekerjaannya. Salah satu perusahaan perakitan kendaraan roda empat terbesar di Indonesia, yaitu PT. XXX, Di mana bagian akhir dari proses perakitan kendaraan tersebut terdapat bagian Quality Inspection yang melakukan proses pengecekan secara menyeluruh pada mobil hasil perakitan guna memastikan unit hasil produksi telah memenuhi standart kualitas sebelum sampai ke tangan customer. Pencapaian KPI (Key Performance Indicators) dari Quality Inspection untuk proses tidak sesuai target dikarenakan dalam proses pengecekannya masih terjadi kelolosan (flow out) defect appearance. Hal ini akan berpengaruh terhadap pencapaian efisiensi produksi. Dari grafik berikut menunjukkan defect appearance flow out disebabkan oleh berkurangnya faktor konsentrasi inspector karena kurang nyamannya lingkungan kerja yang ada. Di mana pareto terbesar penyebab area kerja kurang nyaman karena kondisi area kerja yang panas. Faktor panas ini dapat mempengaruhi kinerja dari inspector, yaitu cepat merasa kelelahan sehingga pengecekan kurang maksimal.



Gambar 1 Pareto penyebab defect flow out oleh inspector di jalur vehicle inspection

¹ Corresponding author: rindjayasetya@gmail.com

Oleh karena itu, dengan adanya penelitian ini saya ingin mencari alternatif perencanaan untuk sistem pengkondisian udara yang baik di dome appearance check jalur vehicle inspection berdasarkan analisa perhitungan data aktual, yaitu hasil perhitungan maksimal untuk beban pendingin yang ada, sehingga dapat ditentukan pemilihan jenis AC yang tepat dan akhirnya dapat menjadikan area kerja yang lebih nyaman serta dapat menghilangkan flow out inspector vehicle inspection untuk appearance problem.

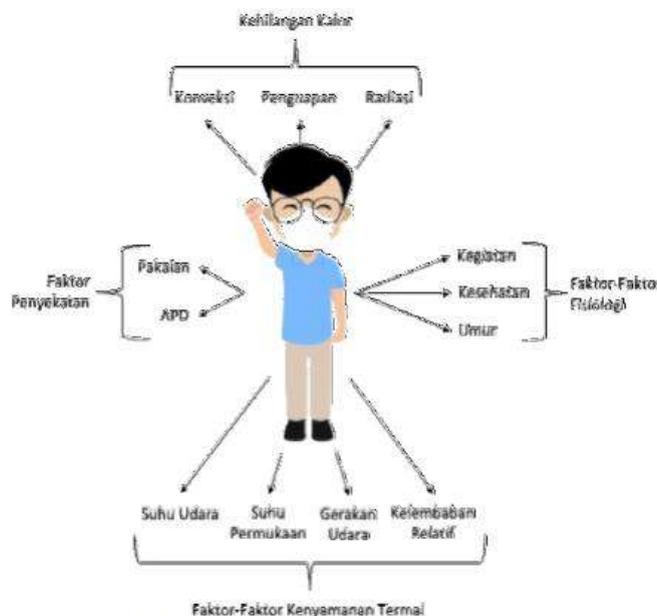
A. Sistem Pengkondisian Udara

Pengkondisian udara adalah suatu perlakuan terhadap udara dalam ruangan untuk dapat mengatur temperatur, kelembaban, kebersihan serta pendistribusiannya secara serentak dan kontinu guna menciptakan kondisi yang nyaman bagi orang yang berada di dalam ruangan tersebut [1]. Atau dapat juga didefinisikan sebagai proses mendinginkan udara untuk mendapatkan temperatur dan kelembaban udara yang sesuai dengan persyaratan terhadap kondisi udara dari suatu ruangan [2].

Sistem pengkondisian udara pada bangunan mempunyai peran mengolah udara dan juga menghasilkan kualitas udara yang lebih baik (nyaman dan sehat) bagi penghuninya. Kondisi udara yang dirasakan nyaman oleh tubuh manusia adalah berkisar antara :

- Suhu 18°C - 26°C dengan kelembaban 45% - 55%
- Kecepatan udara : 0,25 m/s [3].

Kenyamanan mempunyai pengertian kenyamanan secara psikis dan fisik. Kenyamanan secara psikis adalah suatu kondisi nyaman yang dapat dirasakan secara kejiwaan, seperti perasaan tenang, senang, dan aman, yang mana kenyamanan ini dapat diukur secara kualitatif (subyektif). Sedangkan kenyamanan secara fisik dapat diartikan sebagai suatu kondisi nyaman yang didapat secara spesial, visual, termal dan auditorial dimana dapat diukur secara kuantitatif (obyektif) [4]. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal seseorang, yaitu : temperatur udara kering, kelembaban udara relatif, pergerakan udara (kecepatan udara), radiasi permukaan panas, pakaian yang digunakan dan aktivitas orang [5].



Gambar 2 Faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal [6]

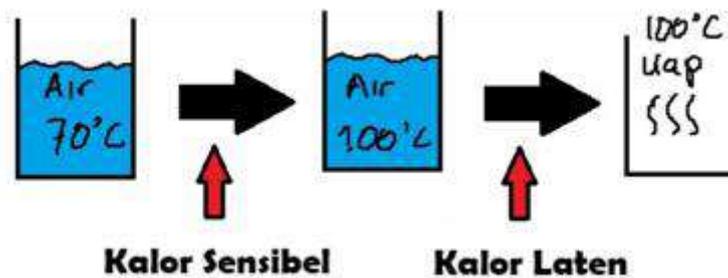
Proses penyegaran udara merupakan salah satu rekayasa sistem untuk mengatur atau mengkondisikan temperatur yang ada sesuai keinginan atau disyaratkan sehingga dapat mempengaruhi kenyamanan termal seseorang agar dapat beraktifitas dengan baik.

Air Conditioning (AC) merupakan salah satu dari alat pengkondisian udara yang mengeluarkan udara sesuai dengan temperatur yang diinginkan sehingga terasa sejuk. Dalam proses penyegaran udara oleh Air Conditioning (AC) pada suatu ruangan, udara dihisap masuk dan akan bercampur dengan udara luar dan selanjutnya menghasilkan udara pada tingkat keadaan. Proses selanjutnya adalah mendinginkan udara dengan cara mengalirkan koil pendingin, yang sebelumnya sudah dibersihkan dengan melewatkannya pada saringan udara. Jika kondisi permukaan koil pendingin mempunyai temperatur yang lebih rendah dibandingkan titik embun udara, akan terjadi pengembunan uap air yang terdapat dalam udara pada permukaan koil pendingin. Hasil air embun (kondensat) akan menetes dan dialirkan keluar, ini bertujuan agar perbandingan kelembapan

udara akan berkurang [7]. Untuk dapat menghasilkan temperatur udara yang diinginkan atau disyaratkan, maka kapasitas AC yang digunakan harus sepadan dengan besarnya total beban pendinginan yang terjadi dalam ruangan tersebut [8].

B. Teori Perancangan

Air Conditioning (AC) dan pengkondisian udara adalah penerapan dari ilmu terapan teori perpindahan kalor dan termodinamika. Hukum Termodinamika II menyatakan bahwa perpindahan panas berlangsung jika terdapat perbedaan temperatur. Panas itu akan mengalir dari benda bertemperatur tinggi ke temperatur rendah, kejadian ini akan berlangsung hingga dicapai keseimbangan temperatur. Akibat dari pelepasan dan penyerapan kalor akan mengakibatkan dua hal, yaitu naik turunnya temperatur atau yang biasa disebut kalor sensibel, dan perubahan fasa atau yang disebut kalor laten



Gambar 3 Perbedaan proses antara Kalor Sensibel dengan Kalor Laten [9]

Dalam teknik pengkondisian udara, penting untuk kita mengerti psikometri, karena psikometri berisi tentang hasil kajian sifat-sifat campuran antara udara dan uap air. Dalam proses pengkondisian udara, ada beberapa proses yang menambahkan kandungan air, tapi ada juga yang justru menghilangkan kandungan air yang terdapat pada udara yang sedang dikondisikan [10].

C. Beban Pendinginan Pada Sistem Penyebaran Udara

Beban pendingin ruangan adalah laju aliran kalor yang harus diambil dari dalam ruangan untuk mempertahankan temperatur dan kelembaban udara relatif pada kondisi yang diinginkan. Perhitungan kehilangan dan perolehan kalor berguna untuk memperkirakan kapasitas yang diperlukan dalam berbagai peralatan pemanasan dan pengkondisian udara untuk mempertahankan kondisi nyaman di dalam suatu ruangan. Karena itu, perhitungan beban pendinginan yang berkaitan dengan kondisi lingkungan yang mendekati harga ekstrim atau didasarkan pada kondisi puncak.

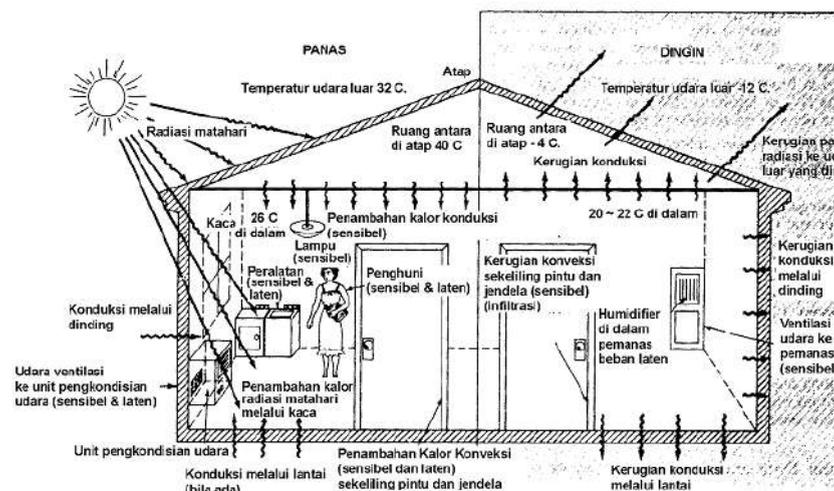
Banyak prosedur perhitungan beban yang telah dikembangkan, salah satunya oleh ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers). Walaupun prosedur yang lain berbeda dalam beberapa hal, tetapi semuanya didasarkan pada suatu evaluasi yang sistematis dari komponen-komponen kalor yang hilang atau yang diperoleh.

Beban pendinginan pada sistem penyebaran udara terdiri dari dua bagian, yaitu : [5]

- **Beban Pendinginan Luar (Eksternal)**
Beban pendingin yang terjadi akibat penambahan panas di dalam suatu ruangan yang dikondisikan dikarenakan sumber kalor dari luar yang masuk melalui selubung bangunan atau kerangka bangunan dan dinding partisi.
- **Beban Pendinginan Dalam (Internal)**
Beban pendinginan dalam (internal) diakibatkan oleh adanya panas yang timbul karena orang atau penghuni, lampu maupun peralatan atau mesin.

Sehingga untuk sistem pendinginan komersial, jumlah beban pendinginan pada sistem penyebaran udara dibagi atas empat kelompok beban panas secara terpisah, yaitu:

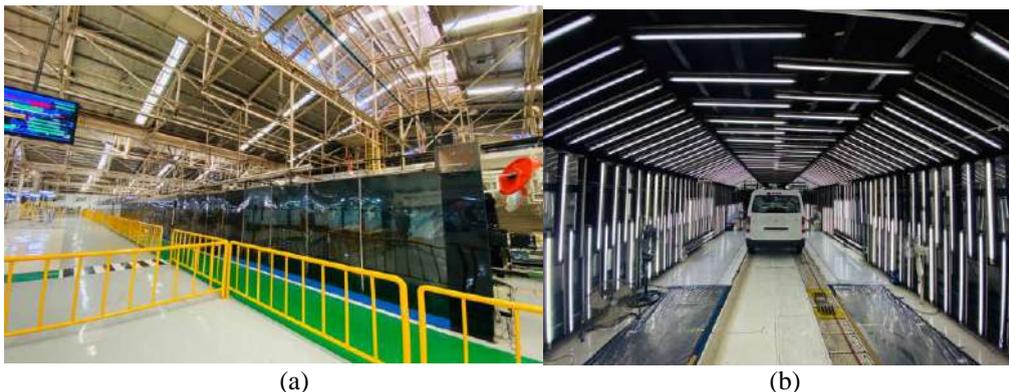
- Solar (Panas Matahari)
- Transmisi Termal
- Perembesan Udara (Infiltrasi)
- Sumber Dalam atau Beban dari Dalam (Internal Loads)



Gambar 4 Kelompok Beban Pendinginan pada Sistem Penyejukan Udara [5]

2. METODE PENELITIAN

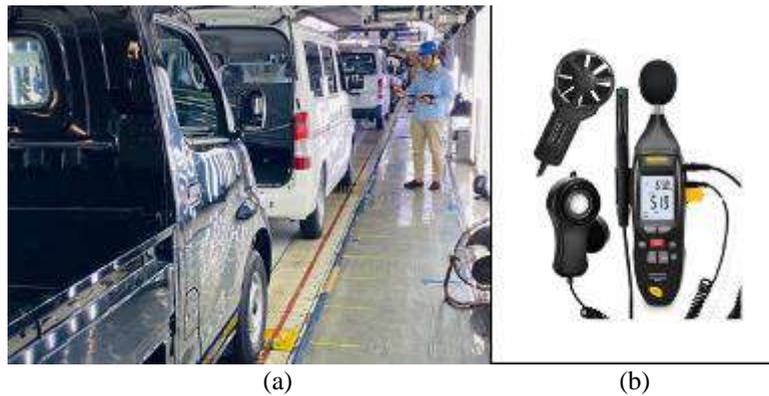
Penelitian ini dilakukan di salah satu manufaktur otomotif roda empat terbesar yang berada di Jakarta, yaitu PT XXX tepatnya pada jalur *vehicle inspection*. Di mana objek penelitiannya yaitu sistem pendingin pada ruang atau dome appeara an pendinginan yang ada pada ruangan tersebut.



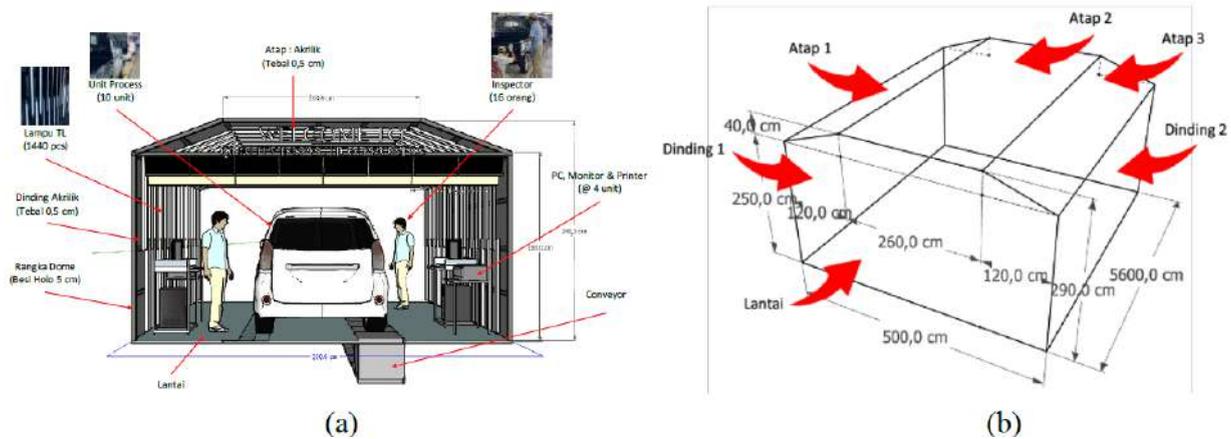
Gambar 5 Dome Appearance Inspection : (a) Tampak Luar; (b) Tampak Dalam

Metode penelitian yang dilakukan yaitu observasi lapangan dan wawancara. Pada proses ini diperoleh beberapa data utama yang dapat mendukung dalam proses analisa kapasitas sistem pendingin, di antaranya :

- Ukuran bangunan dome (panjang, lebar dan tinggi).
- Luas bidang dinding pembatas serta jumlah infiltrasi yang ada.
- Jumlah kapasitas inspector pada area dome appearance check tersebut.
- Jumlah dan spesifikasi equipment penunjang produksi yang ada dalam ruang dome, antara lain : lampu TL, PC, monitor, printer dan conveyor .
- Temperatur terekstrim (maksimum) pada dome.

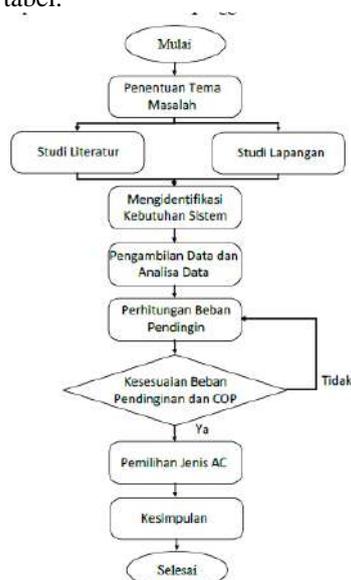


Gambar 6 Pengukuran Temperatur : (a) Unit Proses; (b) Environment Meter



Gambar 7 Dome Appearance : (a) Gambaran Kondisi; (b) Ukuran dan Pembagian Dome

Kemudian dilanjutkan dengan metode kajian literatur terkait perancangan instalasi sistem pendingin atau AC (Air Conditioning) dan sistem tata udara untuk menghitung beban pendinginan ruangan dan menghitung daya alat refrigerasi (pendingin udara) yang akan digunakan pada ruangan tersebut dengan menggunakan metode pendinginan beban perbedaan suhu (CLTD). Cooling Load Temperature Differential (CLTD) atau Cooling Load Factors (CLF) merupakan metode yang berasal dari metode Transfer Function Method (TFM) dan menggunakan data dalam tabel untuk menyederhanakan proses perhitungan. Metode ini dapat dengan mudah ditransfer ke program spreadsheet sederhana tetapi memiliki beberapa keterbatasan karena penggunaan data dalam tabel.



Gambar 8 Diagram Alir Penelitian

C. Perhitungan Beban Pendingin

Transmisi termal yaitu kehilangan kalor atau perolehan kalor yang disebabkan oleh beda suhu antara kedua sisi elemen bangunan, dan dapat dihitung menggunakan persamaan 1 berikut [11].

$$q = \frac{\Delta t}{R_{tot}} = \frac{A \Delta t}{R_{tot}} = A \times U \times (t_o - t_i) \quad (1)$$

Dimana :

- q = beban panas transmisi (W)
- UA = $1/R_{tot}^*$ (W/K)
- R_{tot}^* = hambatan termal total (K/W)
- A = luas permukaan (m^2)
- U = koefisien perpindahan kalor total ($W/m^2 \cdot K$)
- $t_o - t_i$ = beda suhu luar dan dalam (K)

Perembesan udara atau biasa disebut infiltrasi merupakan kehilangan atau perolehan kalor yang disebabkan oleh perembesan udara luar ke dalam ruang. Beban sensibel untuk beban pendinginan infiltrasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2 berikut [10].

$$q_{is} = cfm \times 1,08 (t_o - t_i) \quad (2)$$

Dimana :

- q_{is} = beban kalor sensibel dalam untuk infiltrasi (Btu/hr)
- cfm = cubic feet per minute, outside air infiltration air changed method ($ft^3/minute$)
- $t_o - t_i$ = beda suhu luar dan dalam ($^{\circ}F$)

Beban laten untuk beban pendinginan infiltrasi dapat dihitung menggunakan persamaan 3 berikut [10].

$$q_{il} = cfm \times 0,68 \times (w_o - w_i) \quad (3)$$

Dimana :

- q_{il} = beban kalor laten dalam untuk infiltrasi (Btu/hr)
- cfm = cubic feet per minute, outside air infiltration air changed method ($ft^3/minute$)
- $w_o - w_i$ = beda kelembapan luar dan dalam (gr/lb)

Koefisien CFM untuk infiltrasi dapat dihitung dengan persamaan 4 berikut [10].

$$cfm = \frac{W \times H \times L \times G}{60} \quad (4)$$

Dimana :

- cfm = cubic feet per minute, outside air infiltration air changed method ($ft^3/minute$)
- W = lebar ruangan (ft)
- H = tinggi ruangan (ft)
- L = panjang ruangan (ft)
- G = wall factor, Room with : One outside wall, $G = 1$; Two outside walls, $G = 1,5$
Three outside walls, $G = 2$

Beban pendinginan dari manusia terdiri dari beban panas sensibel dan laten. Untuk beban sensibel dapat dihitung dengan persamaan 5 berikut [10].

$$q_{s\ manusia} = N_{manusia} \times \text{Perolehan perorang kalor} \times CLF_{manusia} \quad (5)$$

Dimana :

- $q_{s\ manusia}$ = beban kalor sensibel dari manusia atau penghuni ($Watt$)
- $N_{manusia}$ = jumlah orang dalam ruang tersebut
- $\text{Perolehan perorang kalor}$ = dapat di peroleh dari tabel perolehan kalor dari penghuni atau orang
- $CLF_{manusia}$ = faktor beban pendinginan kalor sensibel dari orang

Dan untuk beban laten pada manusia dapat dihitung dengan persamaan 6 berikut [10].

$$q_{l\ manusia} = N_{manusia} \times \text{Perolehan perorang kalor} \times CLF_{manusia} \quad (6)$$

Dimana :

- $q_{l\ manusia}$ = beban kalor laten dari manusia atau penghuni ($Watt$)
- $N_{manusia}$ = jumlah orang dalam ruang tersebut
- $\text{Perolehan perorang kalor}$ = dapat di peroleh dari tabel perolehan kalor dari penghuni atau orang
- $CLF_{manusia}$ = faktor beban pendinginan kalor laten dari orang adalah 1,0

Beban pendinginan dari lampu penerangan dapat dihitung dengan persamaan 7 berikut [10].

$$q_{lampu} = W_{lampu} \times BF \times CLF_{lampu} \quad (7)$$

Dimana :

- q_{lampu} = beban kalor dari lampu penerangan (*Watt*)
- W_{lampu} = daya lampu (*Watt*)
- BF = faktor *ballast* untuk lampu-lampu *fluorescent* (1,25 untuk *fluorescent* biasa)
- CLF_{lampu} = faktor beban pendinginan kalor dari lampu adalah 1,0 (dalam volume dasar ASHRAE)

Beban pendinginan dari peralatan yang menimbulkan panas dapat dihitung dengan persamaan 8 berikut [10].

$$q_{equipment} = 0,293 \times HG_{equipment} \times CLF_{equipment} \quad (8)$$

Dimana :

- $q_{equipment}$ = beban kalor dari peralatan atau motor listrik (*Watt*)
- 0,293 = nilai konversi *Btu/hr* ke *Watt*
- $HG_{equipment}$ = *heat gain* dari peralatan (*Btu/hr*)
- $CLF_{equipment}$ = faktor beban pendinginan kalor dari peralatan adalah 1,0 (dalam volume dasar ASHRAE)

Besarnya usaha pendinginan pada evaporator dapat menggunakan persamaan 9 berikut [7].

$$W = h_1 - h_4 \quad (9)$$

Dimana :

- W = Usaha pendinginan (*kJ/kg*)
- h_1 = Entalpi *refrigerant* pada titik 1 (*kJ/kg*)
- h_4 = Entalpi *refrigerant* pada titik 4 (*kJ/kg*)

Laju aliran pendinginan merupakan jumlah *refrigerant* yang disirkulasikan tiap satuan waktu yaitu [7] :

$$\dot{m} = \frac{Q_{Total Pendinginan}}{W} \quad (10)$$

Dimana :

- \dot{m} = Laju aliran *refrigerant* (*kg/s*)
- $Q_{Total Pendinginan}$ = Usaha pendinginan (*kW*)
- W = Usaha pendinginan (*kJ/kg*)

Kerja kompresor berlangsung secara *refrigerant* yaitu tidak ada kalor yang masuk maupun keluar sistem yang besarnya [7]

$$P_k = \dot{m} \times (h_2 - h_1) \quad (11)$$

Dimana :

- P_k = Daya kerja *refrigerant* (*kW*)
- \dot{m} = Laju aliran *refrigerant* (*kg/s*)
- h_2 = Entalpi *refrigerant* pada titik 2 (*kJ/kg*)
- h_1 = Entalpi *refrigerant* pada titik 1 (*kJ/kg*)

Di kondensor, uap *refrigerant* diembunkan, panas dilepas ke lingkungan dan terjadi perubahan fase *refrigerant* dari uap ke cair. Dari kondensor dihasilkan *refrigerant* cair bertekanan tinggi dan bersuhu rendah. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut [7].

$$P_c = \dot{m} \times (h_2 - h_3) \quad (12)$$

Dimana :

- P_c = Panas yang dilepaskan kondensor (*kW*)
- \dot{m} = Laju aliran *refrigerant* (*kg/s*)
- h_2 = Entalpi *refrigerant* pada titik 2 (*kJ/kg*)
- h_3 = Entalpi *refrigerant* pada titik 3 (*kJ/kg*)

Di evaporator, *refrigerant* cair mengambil panas dari lingkungan yang akan didinginkan dan menguap sehingga terjadi uap *refrigeran* bertekanan rendah. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut [7].

$$P_e = \dot{m} \times (h_1 - h_4) \quad (13)$$

Dimana :

- P_e = Penyerapan panas evaporator (*kW*)
- \dot{m} = Laju aliran *refrigerant* (*kg/s*)
- h_1 = Entalpi *refrigerant* pada titik 1 (*kJ/kg*)
- h_4 = Entalpi *refrigerant* pada titik 4 (*kJ/kg*)

Kemampuan kerja suatu *refrigerator* dinilai dari besarnya koefisien kinerja. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut [7].

$$COP = \frac{Q_{Total Pendinginan}}{P_k} \quad (14)$$

Dimana :

- COP = *Coefisient of performance*
- $Q_{Total Pendinginan}$ = Usaha pendinginan (*kW*)
- P_k = Daya kerja kompresor (*kW*)

D. Pemilihan Jenis AC

Pemilihan Jenis AC dilakukan agar AC yang digunakan mampu memenuhi kebutuhan beban pendinginan dalam dome. Pemilihan jenis AC juga berdasarkan posibilitas penginstalan AC terhadap bangunan dome yang sudah ada, kemudahan maintenance serta tidak menimbulkan suara bising yang dapat mengganggu konsentrasi inspector. Jenis AC yang dipilih adalah jenis split duct, karena yang paling memenuhi kriteria-kriteria tersebut.

3. HASIL

A. Hasil Perhitungan

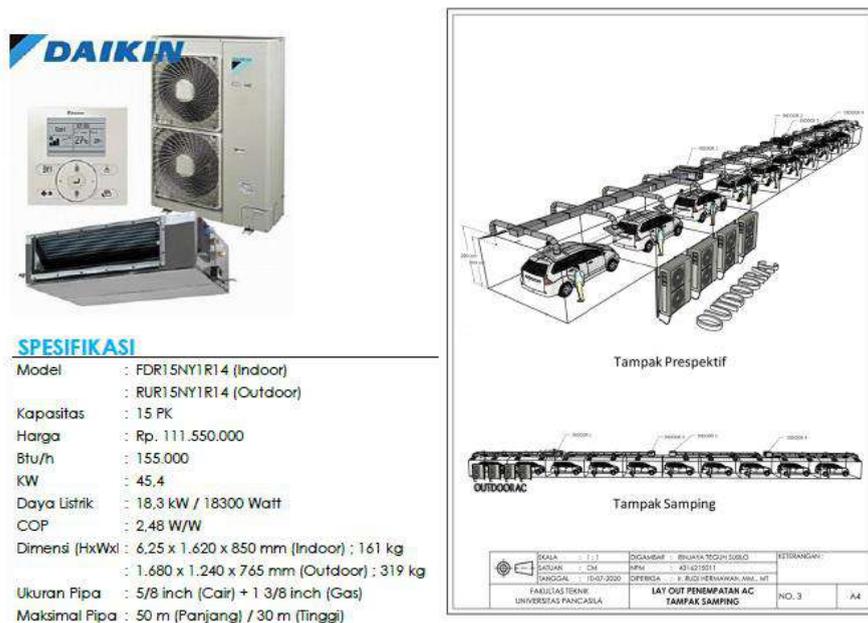
Tabel 1 Hasil Perhitungan Beban Pendingin

Beban	Bagian	Hasil Perhitungan [Watt]
Pendinginan Luar	Dinding	1064
	Atap	1106,56
	Sisi Depan & Belakang	49,552
	Total	2220,112
Pendinginan Dalam	Manusia	34920
	Lampu TL	37800
	Engine Mobil	2500
	Printer	1172
	PC	26252,8
	Conveyor	25110,1
	Dispenser	1758
	Infiltrasi	8287,484
Total	137800,384	
Grand Total Beban Pendinginan		140020,496

Tabel 2 Hasil Perhitungan Beban Pendinginan Alat AC

Bagian	Hasil Perhitungan	Satuan
Usaha pendinginan <i>refrigerant</i> (W)	281,1	kJ/kg
Laju aliran pendinginan <i>refrigerant</i> (m)	0,498	kg/s
Daya kerja kompresor (Pk)	15,692	kW
Panas yang dilepaskan kondensor (P _c)	155,68	kW
Penyerapan panas evaporator (P _e)	139,998	kW
<i>Coefficient Of Performance</i> (COP)	8,92	%

B. Pemilihan dan Perancangan Instalasi AC



(a) (b)
Gambar 9 : (a) Pemilihan AC; (b) Perancangan Instalasi AC

Dari jenis AC yang telah dipilih, yaitu AC split duct, maka didapat spesifikasi AC yang sesuai yaitu AC dengan merek Daikin model FDR15NY1R14 untuk indoornya dan RUR15NY1R14 untuk outdoornya. Kapasitas AC tersebut 15 PK dengan COP 2,48 W/W. Dibutuhkan 4 unit AC untuk mendapatkan pendinginan yang maksimal dan merata dari total beban pendinginan 60 PK. AC kemudian dipasang secara seri sepanjang dome dengan jarak antar AC sama sesuai dengan yang ditunjukkan dalam gambar perancangan instalasi di atas.

4. PENUTUP

Kesimpulan

Dari proses analisa yang dilakukan dalam penelitian ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Total beban pendinginan pada dome appearance dalam kondisi puncak (maksimum) adalah sebesar 140020,496 Watt.
2. Berdasarkan analisa perhitungan beban pendinginan, kapasitas AC yang diperlukan untuk memperoleh kondisi nyaman pada dome appearance adalah sebesar 52,9 PK atau sekitar 60 PK.
3. Jenis AC yang sesuai adalah jenis split duct dengan kapasitas 15 PK, sehingga dibutuhkan 4 unit AC untuk memenuhi kebutuhan beban pendinginan 60 PK.
4. Pareto area kerja kurang nyaman yang disebabkan karena kondisi area yang panas dapat dihilangkan.
5. Inspector tidak cepat merasa kelelahan karena kepanasan, sehingga proses inspeksi menjadi lebih maksimal.
6. Efisiensi produksi dapat tercapai, sehingga KPI (Key Performance Indicators) Quality inspection untuk proses dapat sesuai dengan yang ditargetkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. S. Harahap, A. Hamid, dan I. Hidayat., “Perhitungan Ulang Beban Pendinginan Pada Ruang Auditorium Gedung Manggala Wanabakti Blok III Kementerian Kehutanan Jakarta”. Progr. Stud. Tek. Mesin, Fak. Tek. Univ. Mercu Buana, Jakarta, Vol. 18, No. 3, pp. 149–154(2014).
2. K. A. Rahangmetan, D. Parenan, dan P. Sahupala., “Analisis Sistem Pengkondisian Udara Pada Gedung Rektorat Universitas Musamus”. Progr. Stud. Tek. Mesin, Fak. Tek. Univ. Musamus, Merauke, Vol. 1, No. 2, pp. 35-39(2019).
3. M. Jaja, Giyanto, Thohirudin, dan H. Santosa., “Penyuluhan Perawatan AC Split Rumah Tangga Warga Di Parakan RT 009/RW 09 Pondok Benda Pamulang Tangerang Selatan - Banten”. Jurnal Pengabdian Masyarakat, Vol. 1, No. 2, pp. 71–75(2020).
4. J. Rilatupa., “Aspek Kenyamanan Termal Pada Pengkondisian Ruang Dalam”. Jurnal Sains dan Teknologi EMAS, Vol. 18, No. 3, pp. 191–198(2008).
5. BSN, “Product: SNI - 03 - 6572:2001,” 15 Mei 2020. [Online]. Available: <http://staffnew.uny.ac.id/upload/132100514/pendidikan/perencanaan-pendingin.pdf>.

6. A. Kaharu dan J. O. Waani, “Analisa Kenyamanan Termal Pada Rumah Diatas Pantai Tropis Lembab”. Jurnal Pengabdian Masyarakat, Vol. 1, No. 1, pp. 152–159(2017).
7. K. Ridhuan dan A. Rifai, “Analisa Kebutuhan Beban Pendingin Dan Daya Alat Pendingin Ac Untuk Aula Kampus 2 Um Metro”. Progr. Stud. Tek. Mesin, Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Metro, Vol. 2, No. 2, pp. 7–12(2013).
8. T. D. P. dan N. Finahari, “Pengaruh Perubahan Temperatur Media Pendingin pada Direct Evaporative Cooler”. Jurnal Universitas Widyagama Malang, Vol. 3, No. 1, pp. 1–5(2011).
9. T. Wahyono, W. Wahyudi, dan I. Suyanto, “Analisis Data Suhu, Konduktifitas, dan Aliran Panas untuk Menafsir Struktur Bawah Permukaan Daerah Gedongsongo beserta Potensinya”. Pros. PIT ke 29 HAGI 2004, Vol. 3, No. 2, pp. 136–142(2004).
10. Muchammad, “Pengaruh Temperatur Regenerasi Terhadap Penurunan Kelembaban Relatif dan Efektifitas Penyerapan Uap Air Pada Alat Uji Dehumidifier dengan Desiccant Silica Gel”. Momentum, Vol. 2, No. 2, pp. 32–40(2012).
11. W. F. Stoecker, Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Kedua. Jakarta: Erlangga, 1989.

SUBMISSION 27**Analisis Performa Mesin Electronic Fuel Injection Dengan Sequential Multiport Fuel Injection Pada Low Cost Green Car 1000cc**Abdul Rahman¹, dan Setiyono¹¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Pertimbangan berkendara adalah keamanan, kenyamanan dan tenaga traksi yang dahsyat saat dikemudikan, dengan pemakaian bahan bakar yang rendah sebagai moda yang tepat untuk lalu lintas di kota. Kendaraan yang berteknologi ramah lingkungan, mampu menghasilkan emisi gas buang sesuai standar Euro 2. Inovasi teknologi menggunakan Gasoline Direct Injection. Merujuk kepada gambaran data pembandingan, performance dari kinerja yang terlihat lebih tinggi dibanding Multi Point Injection untuk tiap tingkat putaran.

Kata Kunci-Kinerja, Mesin injeksi langsung

I. PENDAHULUAN

Dalam pertumbuhan Industri Nasional, industri kendaraan bermotor merupakan salah satu bidang yang diprioritaskan untuk dikembangkan. Kementerian Perindustrian telah menerbitkan peraturan mengenai mobil dengan harga terjangkau, rendah emisi dan hemat bahan bakar. Para Agen Tunggal Pemegang Merek (ATPM) yang beroperasi di Indonesia, siap untuk mengembangkan dan memproduksi kendaraan yang berteknologi ramah lingkungan. Memproduksi kendaraan yang memiliki nilai lebih bagi lingkungan hidup, adalah kendaraan yang dapat menghasilkan gas buang yang baik atau berstandar Euro 2 yang tidak membahayakan bagi manusia dan lingkungan. [2]. Catalytic Converter mutlak digunakan untuk memenuhi standar teknologi otomotif di zaman sekarang. Teknologi masa kini yang ramah lingkungan harus dapat meredam emisi gas buang dan menggunakan teknologi system bahan bakar injeksi. Faktor mesin dan jenis bahan bakar adalah dua faktor yang menyebabkan kendaraan menghasilkan gas buang yang buruk. Di Indonesia sudah terdapat beberapa jenis bahan bakar cair buatan Pertamina, untuk mengatasi masalah bahan bakar kendaraan bermotor.

1.1 Teknologi Otomotif

Bahan bakar minyak sangat dibutuhkan para konsumen seiring dengan pesatnya perkembangan kendaraan roda empat. Perubahan teknologi sangat penting untuk dikuasai dan dikembangkan. Perkembangan teknologi yang pesat membutuhkan Sumber Daya Manusia yang mampu menguasai dan mengembangkan (melebarkan) Teknologi Otomotif, maka dengan perkembangan Ilmu dan Teknologi meningkatkan kualitas maupun kuantitas dari produk teknologi. [1]. Teknik Otomotif adalah cabang Ilmu Teknik Mesin yang salah satunya mempelajari tentang cara merancang, membuat dan mengembangkan alat-alat Transportasi darat yang menggunakan mesin terutama Truck, bis, mobil dan sepeda motor, Teknik Otomotif menggabungkan elemen - elemen pengetahuan mekanika, listrik, elektronik dan lain-lain.

Cabang-cabang dari teknik otomotif meliputi :

- Perencanaan (product atau design)
- Pengembangan (development)
- Produksi (manufacturing)
- Perawatan (maintenance)

1.2 Kajian Umum Motor Bakar Torak

Proses pembakaran yang berlangsung didalam motor bakar pada umumnya dikenal dengan nama motor bakar torak. Sehingga gas pembakaran yang terjadi, sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja. Terdapat beberapa silinder yang digunakan pada motor bakar torak, didalamnya terdapat torak yang bergerak bolak-balik. Pembakaran bahan bakar terjadi didalam silinder, bolak-balik torak menyebabkan gerak putar pada poros engkol. [3].

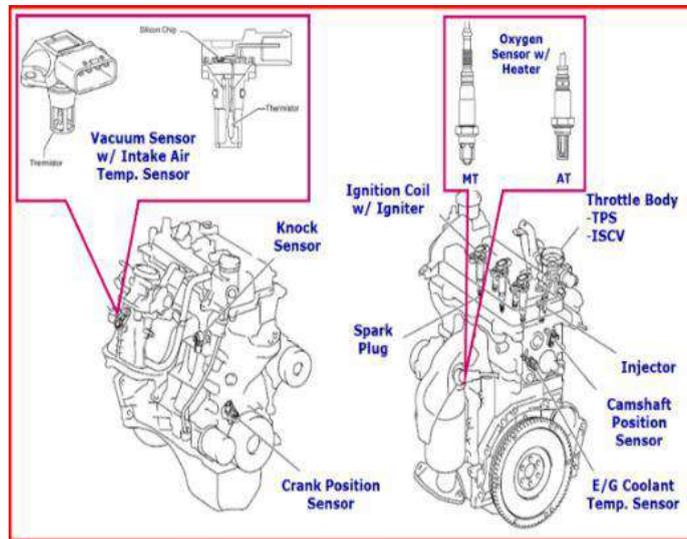
1.3 Teknologi SFI (Sequential multi port Fuel Injection)

Sistem SFI tipe-D, mengkalkulasi volume udara masuk berdasarkan signal tekanan intake manifold yang diterima dari vacuum sensor dan engine speed. Sistem injeksi Independent, yang mana bahan bakar diinjeksikan sekali ke setiap cylinder dalam dua putaran crankshaft. [4]. Format Injeksi bahan bakar :

1. Synchronous injection, terjadi dengan waktu yang sama sesuai dengan durasi injeksi dasar dan koreksi tambahan berdasarkan sinyal yang diberikan oleh sensor [5]
2. Non Synchronous injection, terjadi pada saat permintaan injeksi berdasarkan sinyal yang diberikan oleh sensor terdeteksi, tidak tergantung dari posisi crankshaft. [6]. Pengurutan penembakan injeksi ke mesin sangatlah akurat dan selalu memenuhi kebutuhan regulator port fuel injection. Bagaimanapun juga, pengurutan tersebut sangatlah penting dan bernilai tinggi untuk bentuk dan pembuatan. Dalam sistem ini perhitungan dan penekanan injektor dengan sendirinya, kebanyakan seperti busi yang urutan. operasi penembakannya ke mesin. Sistem ini sering disebut Sequential Fuel Injection atau SFI. [7].

¹ Corresponding author: rahmanangeli@gmail.com

Keuntungan utama dalam penggunaan sistem injeksi adalah sangat sederhananya throttle body yang hanya berisi bahan bakar pada intake manifold dan udara pada mesin, bukan terdiri atas campuran udara dan bahan bakar. Ini memungkinkan desain mesin untuk mengacu pada desain lama. Penyesuaian pada intake manifold sebagai bagian yang [8]terpenting untuk membantu mesin menghasilkan torsi pada kecepatan rendah.



Gambar 1. Engine SFI (Sequential Fuel Injection) [8]

1.4 Parameter Perhitungan Kinerja Engine SFI (Sequential multi port Fuel Injection)

Dengan menggunakan metode interpolasi maka didapat torsi (T) dari daya efektif (Ne) untuk tiap putaran tertentu yang dicari dengan persamaan :

$$N_e = (T \times n) / 716,2 \text{ (kW)}$$

$$T = (N_e \times 716,2) / n \text{ (N.m)}$$

1.5 Parameter Tekanan Efektif Rata-Rata Motor (Pe)

Tekanan Efektif Rata-rata Motor (Pe) terjadi didalam silinder dimana tekanan ini merupakan tekanan yang dapat mendorong torak sepanjang langkahnya untuk mendapatkan usaha per-siklus. Tekanan efektif motor dapat diperoleh dengan menggunakan rumus: [1]

$$P_e = \frac{T \times 2\pi \times 100}{V_L \times Z \times A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Dimana :

P_e = Tekanan efektif rata-rata motor (kg/cm^2)

T = Momen putar (kg.cm)

V_L = Volume Langkah (cm^3)

Z = Jumlah silinder

n = Putaran motor (rpm)

a = Siklus perputaran bernilai 0,5 untuk motor 4 langkah

1.6 Parameter Penggunaan Bahan Bakar

Untuk mencari perhitungan pemakaian bahan bakar (Gf) dapat menggunakan persamaan : [12]

$$G_f = \frac{N_e \times 632}{\eta_{th} \times Q_c} \text{ (kg/jam)}$$

Dimana :

N_e = Daya efektif, (kW)

Q_c = Nilai kalor bawah bahan bakar, besarnya 10580 kkal/kg

G_f = Pemakaian bahan bakar, (kg/jam)

η_{th} = Efisiensi termis

r = Perbandingan kompresi

$$\eta_{th} = \frac{N_e}{G_f \times N_{pb}} \times 632 \times 100\% \quad \eta_{th} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\text{atau } \eta_{th} = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{k-1}$$

Dimana :

N_e = Daya efektif motor (kW)

N_{pb} = Nilai kalor bahan bakar (kkal/jam)

Nilai kalor bahan bakar (kkal/jam)
premium = 10580 kkal/jam

Setelah nilai G_f diketahui, maka nilai pemakaian bahan bakar spesifik dapat dicari dengan menggunakan rumus

$$B_e = \frac{G_f}{N_e} \quad (\text{kg/Ps jam})$$

1.7 Parameter Efisiensi Volumetris (η_{vol})

$$\eta_{vol} = \frac{BM}{BM'} \times 100\%$$

Dimana :

η_{Vol} = Efisiensi volumetris (%)

BM = Berat campuran gas yang dapat masuk ke dalam silinder

BM' = Berat campuran gas yang seharusnya masuk ke dalam silinder Pada motor 4-langkah perbandingan antara jumlah udara masuk yang sebenarnya terhadap yang ideal dinamai efisiensi volumetrik (η_v), yang dapat juga dicari dengan persamaan: [1]

$$\eta_{Vol} = G_{ai} / G_a$$

$$G_{ai} = VL \times \gamma_{ai} \times z \times n \times 0,5 \times 60$$

Dimana :

VL=Volume langkah torak per silinder, m³

z = Jumlah silinder

n = Putaran poros engkol, rpm

γ_{ai} = Berat jenis udara pada kondisi masuk, kg/cm^3 γ_{ai} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$P \cdot V = G \cdot R \cdot T \quad [9]$$

$$P = \frac{G}{V} \times R \times T$$

$$= \gamma_{ai} \times R \times T$$

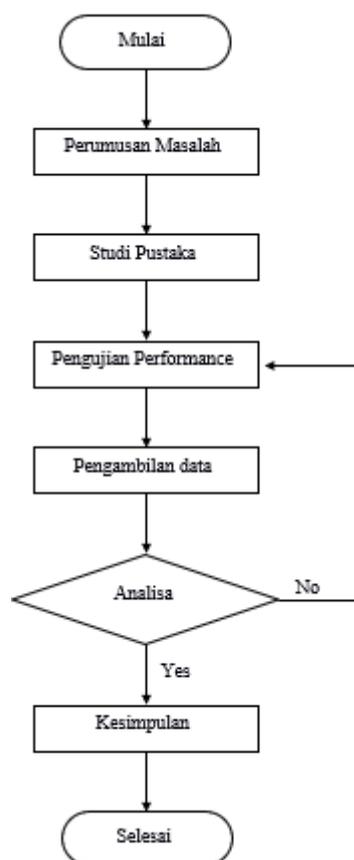
$$\gamma_{ai} = \frac{P}{R \times T}$$

Dengan cara yang sama, maka akan didapat juga Gai untuk tiap tingkat putaran. Setelah Gai didapat maka Ga dari persamaan : [12]

$$F = \frac{Gf}{Ga}$$

f = perbandingan bahan bakar dan udara = 0,0662

II. Metodologi Penelitian



Gambar 2. Metodologi Penelitian

2.1 Perumusan Masalah :

1. Apakah sistem injeksi SFI (Sequential multi port Fuel Injection) lebih baik dibandingkan dengan sistem injeksi EFI (Electronic Fuel Injection) pada mesin tiga silinder 1000cc?
2. Berapa peningkatan performance (daya, torsi dan konsumsi bahan bakar) dari sistem injeksi SFI (Sequential multi port Fuel Injection) dibandingkan dengan sistem injeksi EFI (Electronic Fuel Injection) pada mesin tiga silinder 1000cc ?

2.2 Studi Pustaka

Adalah kegiatan untuk menghimpun informasi yang relevan dengan topik atau masalah yang menjadi obyek penelitian. Informasi tersebut, dapat diperoleh dari buku-buku, karya ilmiah, tesis, disertasi, ensiklopedia, internet, dan sumber-sumber lain.

2.3. Pengujian Performance

Mendapatkan data-data yang dibutuhkan untuk keperluan penelitian ini. Data utama yang diambil adalah Daya pada mesin bensin 1000cc jenis injeksi EFI dan SFI.

2.4. Pengambilan data

Mencari data yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Data adalah bahan keterangan berupa himpunan fakta, angka, huruf, grafik, tabel, lambang, objek, kondisi. Data merupakan bahan baku informasi.

2.5. Analisa

Data yang sudah didapat dari mesin injeksi SFI dan EFI kemudian di analisa untuk mendapatkan hasil yang mendekati tujuan dari penelitian ini.

2.6. Kesimpulan

Hasil yang didapatkan dari penelitian performa injeksi SFI dan injeksi EFI, dapat disimpulkan untuk daya, torsi dan penggunaan bahan bakar mana yang lebih baik dihasilkan dari kedua mesin injeksi tersebut.

Tabel 2.1 Data Pemanding

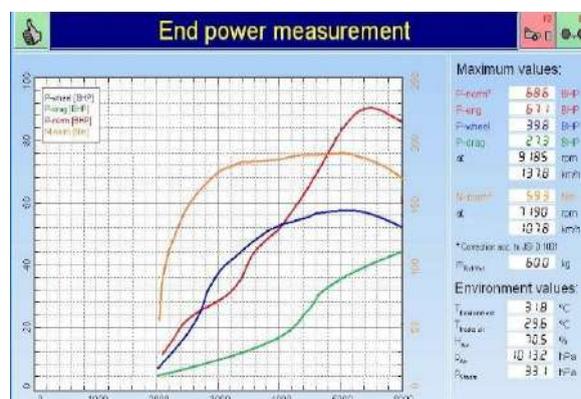
Data		AYLA SFI 1000 CC	XENIA EFI 1000 CC
Total Displacement	dm ³	998	989
Cylinder Bore x Stroke	mm	71 x 84	72 x 81
Combustion Chamber Shape		Pent Roof	Pent Roof
Compression Ratio		10	10
Valve Mechanism		12 Valve DOHC , Chain Drive	12 Valve DOHC , Belt Drive
Fuel Used		Ron 88 or Higher	Ron88 or Higher
Maximum Output	k.W/rpm	65/6000	43/6000
Maximum Torque	N.m/rpm	87/3600	91/4200
Fuel System		SFI (Sequential multi port Fuel Injection)	EFI (Electronic Fuel Injection)
Ignition System	Power Distribution Method	Full Transistorized DLI	Full Transistorized DLI
	Ignition Timing Control	(3 Ignition Coil / 3 Silinder)	(3 Ignition Coil / 3 Silinder)
Injector		Tipe 4-Lubang	Tipe 4-Lubang
Idle Control		ISCV	ISC
Lash Adjuster		valve lifter tanpa shim	Tipe Outer Shim
Engine Oil API. SL higher	Full Capacity	2,6	2,6
	Oil Filter	0,7	0,7
	Oil Cooler	-	-

III. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian

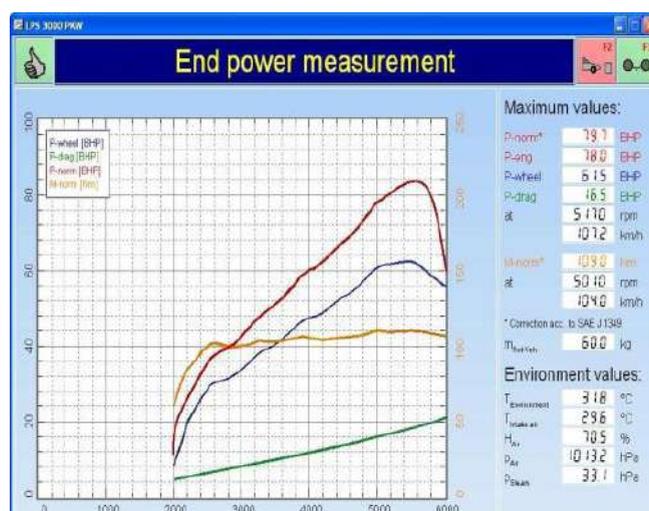
Dari hasil pengujian dari alat Dynotest maka didapat hasil seperti pada gambar dibawah ini yaitu:

a. Hasil pengujian pada sistem injeksi SFI (Sequential multi port Fuel Injection)



Gambar 3. Hasil pengujian Dyno test pada engine SFI 1000 cc

b. Hasil pengujian pada sistem injeksi EFI (Electronic Fuel Injection)\



Gambar 4. Hasil pengujian Dyno test pada engine EFI 1000 cc

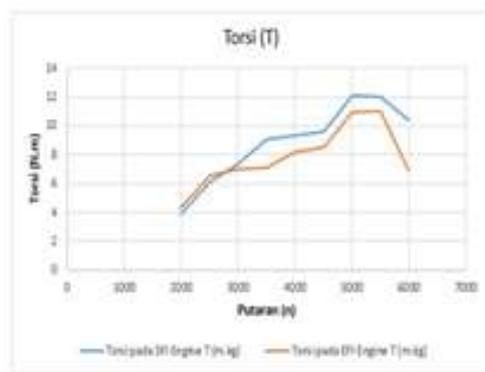
Tabel 3.1 Daya output pada tiap tingkat putaran

n (rpm)	Daya output pada SFI Engine	Daya output pada EFI Engine
	k.W	k.W
2000	10,82	12,09
2500	22,46	22,79
3000	30,84	29,41
3500	44,29	34,95
4000	50,31	45,59
4500	60,35	53,64
5000	84,48	76,44
5500	92,53	84,48
6000	87,19	57,54

Tabel 3.2 Perhitungan torsi pada tingkat putaran tertentu

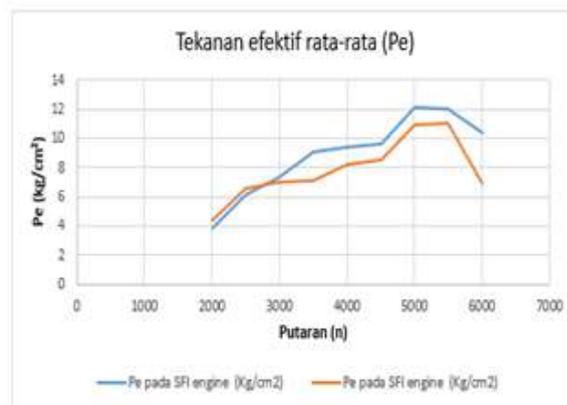
n (rpm)	Torsi pada SFI Engine T (N.m)	Torsi pada EFI Engine T (N.m)
2000	3,9388	4,3223
2500	6,3479	6,5289
3000	7,4625	7,0426
3500	9,0548	7,1354
4000	9,3625	8,1629
4500	9,6050	8,5371
5000	12,3009	10,9493
5500	12,0491	11,0008
6000	10,2052	6,8827

3.2 Hasil Gambaran Melalui Grafik



Gambar 5. Grafik Perbandingan torsi pada tiap tingkat putaran

Pada Gambar 5 di atas memberikan gambaran tentang torsi maksimum yang dapat dicapai pada SFI engine terjadi pada putaran yang lebih tinggi dibanding EFI engine. Dari gambaran grafik perbandingan torsi ini dapat dilihat torsi maksimum pada engine SFI sebesar 12,1009 N.m pada putaran 5000 rpm, data ini didukung dari hasil perhitungan daya pada kedua engine, dimana engine SFI mempunyai daya yang lebih baik.



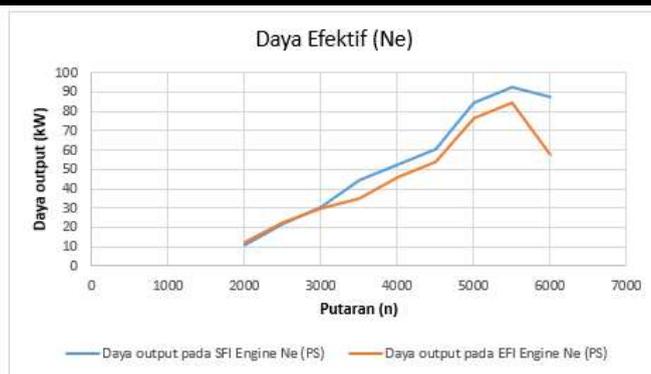
Gambar 6. Grafik Perbandingan tekanan efektif rata-rata pada tiap tingkat putaran

Gambar 6 di atas memberikan gambaran tentang tekanan efektif rata-rata yang dapat dicapai pada SFI engine terjadi pada putaran yang lebih tinggi dibanding EFI engine. Tekanan ini terjadi didalam silinder dan merupakan tekanan yang dapat mendorong torak sepanjang langkahnya untuk mendapatkan usaha persiklus. Besarnya tekanan efektif dipengaruhi oleh besarnya torsi dan volume langkah mesin.



Gambar 7. Grafik Perbandingan pemakaian bahan bakar pada tiap tingkat putaran

Gambar 7 di atas memberikan gambaran tentang penggunaan bahan bakar yang terjadi pada putaran yang sama pada SFI engine lebih baik dibanding EFI engine. Dari gambaran grafik perbandingan penggunaan bahan bakar ini dapat dilihat efisiensi hasil kinerja SFI engine lebih baik dibanding EFI engine.



Gambar 8. Grafik Perbandingan daya efektif pada tiap tingkat putaran

Gambar 8 di atas memberikan gambaran tentang daya maksimum yang terjadi pada putaran yang sama pada SFI engine lebih baik dibanding EFI engine. Memberikan gambaran tentang penggunaan bahan bakar yang terjadi pada putaran yang sama pada SFI engine lebih baik dibanding EFI engine. Dari gambaran grafik perbandingan daya efektif ini dapat dilihat daya maksimum pada SFI engine sebesar 92,53 kW pada putaran 5500 rpm, karena engine SFI memiliki langkah kompresi yang lebih besar.

V. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

- Berdasarkan analisa data dan pembahasan terhadap permasalahan yang telah ditetapkan, gambaran tentang kinerja. Terbukti bahwa SFI (Sequential multi port Fuel Injection) engine memiliki tingkat efektifitas dan efisiensi yang lebih baik dibanding EFI (Electronic Fuel Injection) engine yang seukuran sesuai Total Displacement 1000 cc.
- Torsi mesin SFI yang dihasilkan lebih tinggi dari mesin EFI dilihat dari rata-rata tiap putaran mesin, torsi maksimum mesin SFI pada putaran 5000 rpm adalah 12,1009 N.m, untuk mesin EFI sebesar 10,9493 N.m pada putaran 5000 rpm.
- Dalam perbandingan pemakaian bahan bakar pada tiap tingkat putaran, mesin SFI lebih baik dari mesin EFI. Mesin SFI 4,1731 kg/jam dan mesin EFI 3,4788 kg/jam pada putaran 3500 rpm.

VI. Daftar Referensi

- W. Arismunandar, Motor Bakar Torak. BANDUNG: ITB, 2014.
- "PENGARUH SUHU DAN TEKANAN UDARA MASUK TERHADAP KINERJA MOTOR DIESEL TIPE 4 JA 1," J. Tek. Mesin, vol. 2, no. 1, pp. 7–14, 2012, doi: 10.9744/jtm.2.1.pp.7-14.
- D. Irawan, "Pengaruh Jenis Busi dan Campuran Bahan Bakar Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Mobil EFI," J. Tek. Mesin, 2017.
- H. P. Seto, "Peningkatan Pemahaman Materi Pembelajaran Sistem Efi (Electronic Fuel Injection) Menggunakan Media Elektronik Berbasis Android," J. Pendidik. Tek. Mesin Unnes, 2016.
- B. S. Nugraha, "Aplikasi Teknologi Injeksi Bahan Bakar Elektronik (EFI) untuk mengurangi Emisi Gas Buang Sepeda Motor," Ilm. Pop. dan Teknol. Ter., 2014.
- T. Sugiarto, D. S. Putra, W. Purwanto, and W. Wagino, "Analisis Perubahan Output Sensor Terhadap Kerja Aktuator pada Sistem EFI (Electronic Fuel Injection)," INVOTEK J. Inov. Vokasional dan Teknol., 2018, doi: 10.24036/invotek.v18i2.418.
- P. A. I. – Toyota, "New Step I." JAKARTA, 2016.
- Astra daihatsu motor, Modul Training Product Knowledge "Daihatsu Ayla". jakarta, 2015.
- Sumarna Nana., "Analisis Kinerja Gasoline direct Injection Engine Pada kendaraan Otomobil.," J. Tek. Mesin, vol. 4, no. 1, pp. 1–15, 2012, doi: 10.9744/jtm.4.1.pp.50-58.
- T. W. Joko Suwignyo, Samsudi Rahardjo, "Perhitungan Daya Dan Konsumsi Bahan Bakar Motor Bensin Yamaha LS 100 cc," J. Traksi, 2012.
- N. Sumarna, "ANALISIS KINERJA GASOLINE DIRECT INJECTION ENGINE PADA KENDARAAN OTOMOBIL,," torsi, vol. IV, 2013.
- Amin, "JURNAL ANALISIS KINERJA SISTEM INJEKSI SFI,," vol. 1, 2016.
- A. Wiranto, Penggerak Mula Motor Bakar Torak. Bandung: Penerbit ITB, 2015.

SUBMISSION 29**Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Sumber Energi Sepeda Listrik**Estu Prayogi¹, Eko Prasetyo¹, dan Ahmad Riski¹¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Sumber energi matahari sangat diharapkan untuk mengatasi permasalahan energi didunia mengatasi kebutuhan energi masa depan sinar matahari yang digunakan untuk sumber listrik, energi matahari yang begitu besar dihasilkan dibuatlah solar cell sebagai alternatif sumber energi masa depan dikarenakan energi matahari sangat menjanjikan dan juga ramah lingkungan dengan cara menggunakan panel surya atau solar cell sebagai alatnya, dalam pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi sepeda listrik penggunaan energi melalui solar cell/sel surya merupakan alternatif Dalam penggunaan energi matahari untuk menggerakkan sepeda listrik tenaga surya menjadi topik pada penelitian ini. Spesifikasi sepeda listrik tenaga surya yaitu sumber energi berupa energi matahari menggunakan panel surya 40 Wp, media penyimpanan Aki/Baterai 12V

Kata Kunci-Energi surya, Solar cell, Sepeda listrik

1. PENDAHULUAN**A. Latar Belakang**

Energi terbarukan dibutuhkan untuk menunjang kebutuhan energi listrik yang semakin hari semakin meningkat. Di antara berbagai sumber energi terbarukan yang tersedia, energi matahari mempunyai potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi terbarukan. Potensi tersebut dapat dilihat dari tersedianya energi matahari setiap hari sepanjang tahun dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan. Energi matahari ditangkap dengan menggunakan panel surya, lalu dikonversi menjadi energi listrik, energi surya juga adalah salah satu sumber energi yang tidak akan pernah habis ketersediaannya dan energi ini juga dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif yang akan di ubah menjadi energi listrik,dengan menggunakan sel surya telah mengubah cara pandang kita tentang energi dan cara baru/jalan baru bagi manusia untuk memperoleh Energi listrik tanpa perlu bahan bakar fosil sebagaimana pada minyak bumi,gas alam,batubara dan lainnya,sel surya juga mampu beroperasi dengan baik diseluruh belahan bumi yang tersinari matahari tanpa menghasilkan polusi yang dapat merusak lingkungan sehingga lebih ramah lingkungan.

Ketersediaan cadangan bahan bakar minyak merupakan salah satu permasalahan global yang menimpa banyak negara di dunia ini. Jika dilihat dari waktu ke waktu harga minyak mentah dunia mengalami kenaikan yang sangat signifikan dan dengan tingginya harga minyak dunia sangat potensial mengakibatkan gejolak sosial dan ekonomi yang cukup signifikan. Bukan hal yang dapat dipungkiri lagi bahwa di indonesia, kebutuhan masyarakat akan bahan bakar minyak dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan. Hal ini dapat dilihat dari jumlah konsumsi bahan bakar minyak atau yang biasa disebut bensin yang dimanfaatkan untuk kebutuhan pribadi. Kebutuhan akan bahan bakar minyak di indonesia sudah menjadi kebutuhan primer.hal ini dapat dilihat dari kebiasaan masyarakat menggunakan kendaraan ber bahan bakar minyak untuk keperluan jarak dekat.

konsumsi bahan bakar minyak tentu saja tidak terlepas dari permintaan pasar yang terus meningkat dimana kendraan juga terus meningkat tiap tahunnya. Dari rekaman data oleh Badan Pusat Statistik (BPS), jenis kendraan bermotor yang mengalami peningkatan adalah sepeda motor. Sepeda motor menjadi kendraan favorit di masyarakat karena sepeda motor mudah digunakan dan merupakan alat penunjang aktivitas yang memadai. Sarana transportasi yang saat ini kembali digunakan adalah sepeda, karena selain berfungsi sebagai alat transportasi juga berfungsi sebagai sarana rekreasi, olahraga dan transportasi jarak dekat. Melihat dari hal tersebut, dikembangkan sepeda listrik bertenaga surya yang menggunakan tenaga manusia dan motor listrik serta panel surya sebagai alat pembangkit listriknya, kendraan ini memiliki kelebihan diantaranya lebih sedikit mengeluarkan tenaga dibandingkan menggunakan kendraan bertenaga manusia, tidak mengkonsumsi bahan bakar minyak,tidak berisik,tidak menimbulkan polusi, biaya perawatan rendah,tidak memerlukan ijin untuk mengendarai, dan tidak memerlukan parkir lahan yang luas. Sumber energi yang digunakan sepeda listrik bertenaga surya ini berasal dari baterai atau aki untuk menggerakkan motor listrik, sumber listrik yang digunakan pada umumnya berasal dari PLN. Pada saat ini pembangkit listrik masih menggunakan bahan bakar minyak sebagai sebagai bahan utamanya, untuk itu diperlukan sumber energi alternatif untuk menghindari bahan bakar minyak maka salah satunya dengan menggunakan tenaga surya/matahari sebagai alat pembangkit listrik, dengan alternatif ini energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengisi ulang baterai.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari pada penyusunan penelitian ini adalah untuk mengetahui:

1. Konstruksi sesuai dengan apa yang diinginkan dan sesuai dengan alat yang akan dibuat
2. Mendesain *part* sepeda listrik tenaga surya dengan *software Solidworks*

¹ Corresponding author: riskyahmad94328@gmail.com

3. Mengetahui berapa daya serap matahari yang dibutuhkan
4. Menganalisa sepeda listrik tenaga surya dengan *software Solidworks*

C. Cakupan Penelitian

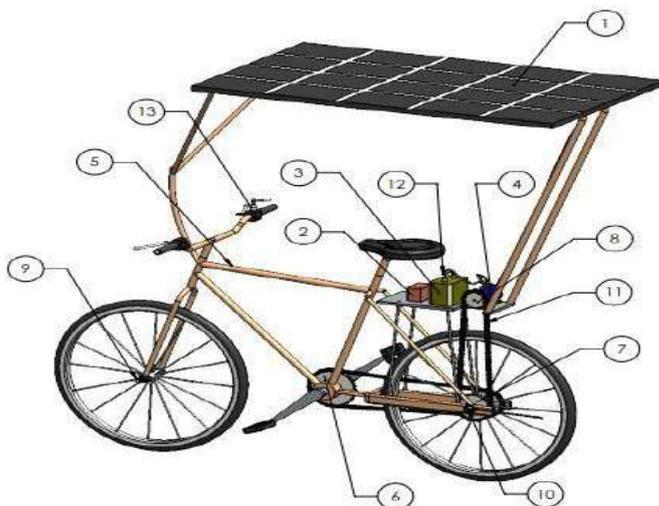
Berdasarkan tujuan penelitian dari Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi sepeda listrik adapun batasan masalah, yaitu :

1. Membuat desain dan menganalisis desain menggunakan *software Solidworks*
2. Panel surya yang digunakan adalah 40 Wp
3. Berapa lama pengisian baterai/aki

2. METODE PENELITIAN

Metodologi peneliitian pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi sepeda listrik adalah: Keterangan :

1. Mulai
Memulai awal pemikiran alat yang dapat membantu dan sekaligus bermanfaat untuk masyarakat dalam memenuhi kebutuhan sehari – hari tanpa mengeluarkan biaya yang besar dengan pemanfaatan energi surya sebagai sumber enegi sepeda listrik.
2. Identifikasi Masalah
 - a. Mengetahui cara pengisian tenaga surya meunju aki
 - b. Memperoleh kapasitas pengisian tenaga surya menuju aki
3. Pengumpulan data
Pengumpulan data pada perancangan sepeda listrik tenaga surya ini dengan melakukan pengumpulan data studi literature
4. Studi Literatur
Studi literatur adalah jenis pengumpulan data yang meneliti berbagai macam dokumen yang berguna untuk bahan analisis seperti mencari informasi dari buku-buku, jurnal, perpustakaan, media internet, dan laporan penelitian yang berhubungan dengan alat yang dirancang.
5. Pembuatan komponen dan BOM
Setelah perancangan detail sudah ada, selanjutnya melakukan desain komponen sesuai standar yang ada dan sesuai hasil dari perancangan detail untuk menjadi satu kesatuan yang utuh menjadi alat sepeda listrik tenaga surya.
6. Analisis
Melakukan analisis untuk mengetahui kekuatan material yang di pakai pada pembuatan komponen sepeda listrik tenaga surya
7. Simulasi
Melakukan pengujian simulasi dari alat yang sudah di assembly dengan menggunakan fitur animasi apakah alat berfungsi dengan semestinya atau tidak
8. Kesimpulan
Rangkuman yang mengandung analisis dari hasil perancangan sepeda listrik memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi



Keterangan gambar :

1. Panel surya
2. Solar charger
3. Baterai
4. Motor Dc
5. Rangka
6. Sprocket depan
7. Sprocket belakang
8. Sprocket motor
9. Baut roda
10. B18.2.2.4M - Hex flange nut, M14 x 2-S
11. Rantai
12. Speed controller
13. Handle speed

Gambar 2 Varian terpilih sepeda listrik tenaga surya

3. HASIL

a. Perhitungan Panel Surya

Tabel 1. Spesifikasi panel surya

Spesifikasi	Keterangan
Max power	40 Wp
Max power Voltage (Vmp)	17,39
Open Circuit Voltage	21,60 V
Short Circuit Current	2,54 A
Dimension	668 mm x 543 mm
Peak current, I_{mpp}	2,31 A

1. Kebutuhan daya

Menggunakan motor dc dengan daya 350 Watt Motor DC 12 V, durasi pemakaian selama 1 jam sehingga total daya watt jam per hari : 3 Untuk menghitung kebutuhan daya dapat menggunakan persamaan dibawah ini
 $= 350 \text{ Watt} \times 1 \text{ jam} \times 1,3$ (konstanta system pv)
 $= 455 \text{ Watt jam per hari}$

2. Menghitung kebutuhan modul surya

Di Indonesia umumnya energy surya yang dapat diserap dan di konversi kedalam energy listrik berlangsung selama 5 jam. Menghitung kebutuhan modul surya dapat menggunakan persamaan dibawah ini Diketahui :

Total kebutuhan daya : 455 Watt
 Total jam : 5 jam
 Kebutuhan modul surya : $455 / 5$
 : 91 Wp

Panel surya yang akan digunakan berukuran 40 Wp Modul surya yang dibutuhkan adalah $91 \text{ Wp} / 40 \text{ Wp} = 2$ modul surya dengan ukuran 40 Wp

b. Perhitungan Aki

1. Kebutuhan Baterai/aki

Untuk menghitung kebutuhan baterai/aki dapat menggunakan persamaan dibawah ini

Kapasitas baterai: $(\text{total daya} \times 3) / (0,85 \times 0,6 \times 12)$

Dimana :

Total daya: 350 Watt

Hari otonomi : 3

Kapasitas baterai/aki: 12 v

Kapasitas baterai/aki = $(350 \times 3) / (0,85 \times 0,6 \times 12)$

$$= 1050/6,12$$

$$= 171,5 \text{ Ah}$$

Baterai yang digunakan adalah baterai 12 V 12 Ah, maka
Jumlah baterai yang dibutuhkan = $171,5/12$
 $= 14,2$

2. Spesifikasi aki yang digunakan dalam perancangan sepeda listrik tenaga surya :
= 12 volt
= 12 Ah
3. Menghitung Pengisian aki dapat menggunakan persamaan dibawah ini

Spesifikasi aki = 12 V 12 Ah

Lama pengisian aki :

$$= 12 \text{ Ah} / 5 \text{ h}$$

$$= 2,4 \text{ A}$$

Nb : Tambahkan 20 % untuk diefisiensi aki

$$2,4 \text{ A} + 20 \% = 2,88 \text{ A}$$

Tegangan standart charger aki = 13,8 V

$$\text{Watt yang dihasilkan untuk mengisi aki 12 Ah selama 5 jam} = P = V.I$$

$$= 13,8 \text{ V} \times 2,88 \text{ A}$$

$$= 397 \text{ Watt}$$

c. Analisa perhitungan perancangan

Hasil perhitungan untuk beban pengendara 55 kg

1. Massa sistem

M.total = berat beban sepeda + berat pengendara

□ Diket:

$$M \text{ sepeda} = M1 + M2 + M3 + M4$$

$$M1 = \text{ massa motor } 3 \text{ kg}$$

$$M2 = \text{ massa panel } 2 \text{ kg}$$

$$M3 = \text{ massa aki/baterai } 12 \text{ kg}$$

$$M4 = \text{ massa pengendara } 55 \text{ kg}$$

$$M \text{ sepeda} = 3 \text{ kg} + 2 \text{ kg} + 12 \text{ kg} + 55 \text{ kg}$$

$$M \text{ tot} = \text{ berat beban sepeda } 72 \text{ kg} + \text{ berat pengendara } 55 \text{ kg}$$

$$= 127 \text{ kg}$$

Dimana $w = m \times g$

$$= 127 \text{ kg} \times 9,8$$

$$= 1244,6 \text{ N}$$

Dari hasil analisa perhitungan beban pengendara total berat beban sepeda 78 kg dan di analisis menggunakan Solidwork dengan beban 95 kg ini aman digunakan karena tegangan maksimal yang terjadi tidak melebihi batas yield strenght, jadi disarankan untuk tidak melebihi beban 95 kg karna rangka bisa melentur bahkan bisa patah.

2. Gaya mekanik

□ Gaya normal (FN)

$$FN = M \text{ total} \times 9,8$$

$$= 127 \times 9,8$$

$$= 1244,6 \text{ N}$$

□ Gaya gesek statis (FS)

$$FS = FN \times \mu_s (0,7)$$

$$= 1244,6 \times 0,7$$

$$= 493 \text{ N}$$

- Gaya gesek kinetik

$$FK = FN \times Uk (0,6)$$

$$= 705,6 \times 0,6 = 423 \text{ N}$$

- Torsi

Diket: D roda = 62 cm
R roda = 31 cm = 0,31 M

Torsi yang di perlukan untuk menggerakkan sepeda harus
Lebih besar dari pada

$$TS > FS \times Roda$$

$$= 493 \times 0,31$$

$$= 152,8 \text{ N}$$

3. Menghitung Torsi motor yang dibutuhkan dapat menggunakan persamaan dibawah ini

$$T.\text{motor} = \frac{60 \times p}{2 \times 3,14 \times n}$$

Spesifikasi motor dc

Tegangan = 12 volt

$$n = 3300 \text{ rpm}$$

$$= \frac{60 \times 350}{2 \times 3,14 \times 3300}$$

$$= \frac{21000}{20724}$$

$$= 1,013 \text{ Nm}$$

4. Menghitung Daya yang dihasilkan motor listrik untuk menggerakkan sepeda listrik tenaga surya dapat menggunakan persamaan dibawah ini

$$P.\text{out} = 9,8 \times u \times M.\text{tot} \times v \text{ rata - rata} \times \frac{100}{n}$$

$$= 9,8 \times 0,06 \times 86 \times 5,5 \times \frac{100}{n}$$

$$= 327,204 \text{ Watt}$$

4. Untuk menghitung rpm pada sepeda listrik tenaga surya dapat menggunakan persamaan dibawah ini

$$w = \frac{v}{r}$$

dimana : w = kecepatan sudut (rad/s)

v = kecepatan linear (m/s)

r = jari-jari m

diket v asumsi : $20 \text{ km/jam} = \frac{20.000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 5,5 \text{ m/s}$

D : 62 cm

r : 0.31 m

$$\begin{aligned}w &= \frac{v}{r} \\&= \frac{5,5 \text{ m/s}}{0,31 \text{ m}} \\w &= 17,7 \text{ rad/s} \\n1 &= \frac{60}{2\pi} \times \text{rad/s} \\n1 &= \frac{60}{2 \times 3,14} \times 17,7 \\n1 &= 9,554 \times 17,7 \\n1 &= 169,10 \text{ rpm} \\n2 &= \frac{Z1}{n1} = \frac{Z2}{n2} \\n2 &= \frac{n1 \times Z2}{Z1} \\&= \frac{169,10 \times 25}{22} \\n2 &= 192,16 \text{ rpm}\end{aligned}$$

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat di ambil dari Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi sepeda listrik ini adalah: Sepeda listrik yang memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi merupakan salah satu pemanfaatan energi yang ada di alam berupa matahari dengan menggunakan panel surya sebagai alatnya untuk mengisi baterai/aki pada sepeda listrik, untuk mendapatkan berapa daya serap matahari yang dibutuhkan di Indonesia umumnya energi surya dapat diserap dan dikonversi ke dalam energi listrik berlangsung selama 5 jam dimana total kebutuhan daya 455 Watt dan panel surya yang digunakan dalam penelitian ini 40 Wp dengan menggunakan baterai/aki 12 V 12 Ah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur tercurahkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas karunia-Nya, maka penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik meski jauh dari kata sempurna. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan penelitian ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada pihak yang membantu. Akhir kata, semoga penelitian ini membawa manfaat bagi pembangun ilmu, terkhusus selaku penulis

DAFTAR PUSTAKA

1. D. Septiadi, P. Nanlohy, M. Souissa, and F. Y. Rumlawang, "Proyeksi Potensi Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan (Studi Wilayah Ambon Dan Sekitarnya)," *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 10, no. 1, pp. 22–28, 2009, doi: 10.31172/jmg.v10i1.30.
2. B. Nainggolan and F. Inaswara, "Rancang Bangun Sepeda Listrik Menggunakan Panel," *Politeknologi*, vol. 15, no. 3, pp. 263–272, 2016.
3. S. F. Sains and U. Jepara, "RANCANGAN PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK Jurnal DISPROTEK," *DISPROTEK*, vol. 8, no. 2, pp. 75–81, 2017.
4. Y. Hermawan, "Pengembangan dan Analisis Ergonomi Kursi Operator Mesin Vulkanisir Ban dengan Metode Reverse Engineering," *J. ROTOR*, vol. 4, no. 1, pp. 40–49, 2011.

SUBMISSION 12**Porositas Dan Penetrasi Tidak Sempurna Di Area Bawah Lasan Pada Sambungan Las Aluminium Struktur Kereta Api Ringan**Hary Soebagyo¹¹, dan Hernadi²¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia²Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS)- BPPT, Indonesia

Abstrak. Struktur kereta api ringan (Light Rapid Transit) umumnya sebagian besar dibuat dari bahan paduan aluminium. Struktur tersebut dalam prosesnya juga banyak menggunakan sambungan las. Pada proses pengelasan yang dilakukan masih sangat dimungkinkan terjadinya cacat las mengingat paduan aluminium mempunyai titik leleh rendah, ikatan antar atomnya yang kurang kuat dan juga bersifat getas. Cacat pengelasan dapat berupa porositas atau lubang mikro dan apabila struktur terbebani terus menerus cacat tersebut akan dapat menjadi penyebab sumber keretakan awal (initial crack) yang beresiko merambat sedemikian rupa hingga struktur dapat mengalami patah lelah. Oleh karena itu untuk mencegah terjadinya patah dan juga sebagai upaya pencegahan, maka perlu dilakukan serangkaian pemeriksaan awal pada sambungan las struktur dengan berbagai metode seperti ultrasonic, radiografi, fraktografi dan metallografi. Pemeriksaan dengan metode fraktografi dan metallografi pada penelitian ini dimaksudkan untuk memastikan ada atau tidak adanya cacat yang bersifat mikroskopik di area bawah lasan. Dari pemeriksaan fraktografi dan metallografi yang dilakukan ini ternyata masih didapati cacat mikro berupa porositas dan penetrasi tidak sempurna di daerah bawah lasan (*root band*) sesuai dengan indikasi awal yang telah diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya dengan pemeriksaan radiografi. Dengan mengetahui cacat las lebih awal, upaya koreksi masih dapat dilakukan untuk memperbaiki proses pengelasan guna mengurangi resiko terjadinya gagal fungsi dari struktur kereta api ringan pada saat operasinya.

Kata Kunci- *Cacat las; Penetrasi; Porositas; Sambungan las; Struktur kereta, Struktur mikro.*

1. PENDAHULUAN

Salahsatu jenis kendaraan berbasis rel yang sekarang mulai banyak dikembangkan pemakaiannya di Indonesia adalah kereta api ringan atau LRT (*Light Rapid Transit*), istilah ini seperti yang disebutkan dalam Lembar Negara RI [1], meskipun ada pula yang menyebutnya dengan nama lain, yaitu Lintas Rel Terpadu.

Kendaraan berbasis rel jenis ini merupakan salah satu angkutan massal yang cukup efektif untuk mengatasi masalah transportasi di daerah perkotaan atau wilayah metropolitan karena selain dapat mengangkut banyak penumpang, juga cukup terjamin akan kenyamanan dan keamanannya. Kehadiran kereta api ringan yang nyaman dengan jaminan tepat waktu untuk beroperasi di kota-kota besar yang tumbuh menjadi kota metropolitan tersebut akan dapat mengubah perilaku masyarakat dari penggunaan kendaraan pribadi ke pemakaian kendaraan umum yang berbasis rel. Hal ini juga sekaligus dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi transportasi dan peningkatan kegiatan perekonomian di wilayah perkotaan yang kedepannya akan semakin padat.

Kereta api ringan yang untuk selanjutnya dalam tulisan ini disebut LRT jelas dapat mendukung pemenuhan kebutuhan transportasi masyarakat, terutama untuk menembus kemacetan lalu lintas di kota-kota besar. Tak mengherankan bila nanti banyak kota-kota besar di Indonesia yang segera akan mengikuti jejak DKI Jakarta untuk penggunaan LRT, meskipun diketahui pula bahwa ada resiko menimbulkan kebisingan lingkungan pada masyarakat perkotaan yang dilaluinya [2].

Mengingat penggunaannya yang semakin besar, rancang bangun LRT juga harus memenuhi berbagai hal penting "*Reliability, Availability, Maintainability and Safety*" (RAMS), yaitu aspek tentang Reliabilitas (kemampuan untuk melakukan fungsi tertentu yang andal), Ketersediaan (kemampuan untuk menjaga fungsi Dalam rangka memperhatikan aspek keselamatan, kekuatan dan keamanan dimana dibutuhkan struktur LRT yang kuat dan aman dalam operasinya, penggunaan bahan ringan dari aluminium ini perlu ada verifikasi baik dari tahap proses awal hingga proses akhir manufaktur strukturnya. Hal ini penting mengingat aluminium adalah bahan yang kerap mengalami porositas saat proses pengelasan dan mempunyai sifat yang lebih getas pada area yang terkena panas tinggi. Untuk mendukungnya dapat dilakukan berbagai penelitian eksperimental dengan menggunakan metode pemeriksaan dan metode pengujian terhadap spesimen struktur kereta guna memenuhi persyaratan standard tertentu. Penelitian atau pengujian dapat dilakukan mulai dari pemeriksaan awal yang menggunakan metode NDT (*Non Destructive Test*) dan dilanjutkan dengan pengujian statis (*static test*) dan pengujian dinamis (*fatigue test*). Pengujian terutama diprioritaskan pada daerah sambungan las (*welding area*) dari struktur yang beresiko mengalami patah lelah. Metode pengamatan fraktografi dan metallografi perlu dilakukan dalam rangka memenuhi prosedur *Risk Basic Inspection (RBI)* sebagai dasar tindakan pencegahan pada analisis kemungkinan terjadinya kerusakan.

¹ * Corresponding author: hary.soebagyo@univpancasila.ac.id

Penelitian tentang sambungan las aluminium yang dikemukakan pada makalah ini dimaksudkan untuk mengetahui dan memastikan tentang masih ada atau tidak adanya cacat lasan akibat ketidaksempurnaan proses pengelasan pada sambungan las, serta mencari solusi untuk menghindari resiko gagal fungsi dari struktur kereta LRT. Hasil penelitian ini juga akan menjelaskan manfaat penggunaan metode fraktografi dan metallografi guna mengungkap ada atau tidak adanya cacat mikro serta menjelaskan bagaimana tipologi cacat pada sambungan las. Cacat mikro tersebut dapat beresiko mempengaruhi kekuatan sambungan las aluminium secara signifikan. Hal ini cukup penting untuk dipahami karena pada sambungan las aluminium dapat terjadi adanya lubang atau cacat mikro dimana pada lokasi tersebut akan terjadi tegangan sisa yang sangat tinggi yang memunculkan resiko terjadinya kerusakan fatal [4]. Dari pemeriksaan sambungan las aluminium struktur LRT yang dilakukan dengan menggunakan metode fraktografi dan metallografi sebagai kelanjutan dari pemeriksaan radiografi yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya, ternyata hasil pemeriksaan ini dapat diandalkan dan kemudian menjadi bahan pertimbangan awal guna memastikan langkah pengujian berikutnya pada sambungan las aluminium struktur kereta api ringan LRT.

2. METODOLOGI PENELITIAN

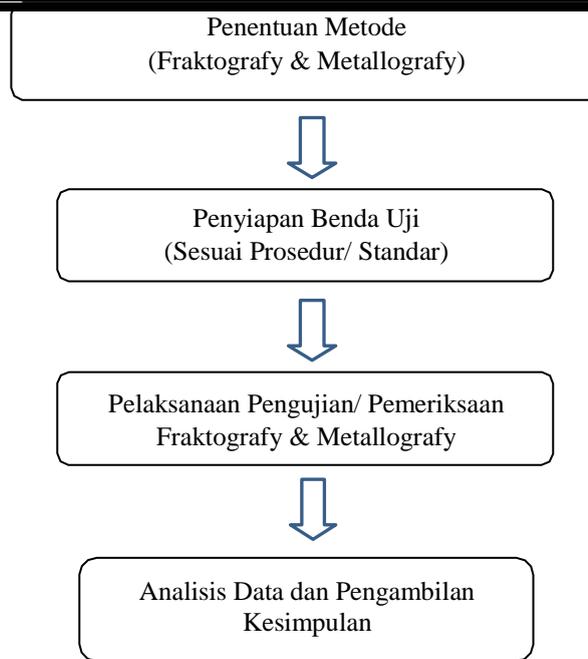
Kegiatan penelitian ini merupakan bentuk penelitian eksperimental, yaitu sebuah survey pemeriksaan menggunakan metode fraktografi dan metallografi terhadap benda uji dari hasil lasan bahan paduan aluminium yang digunakan untuk struktur LRT setelah sebelumnya dilakukan inspeksi awal menggunakan metode radiografi untuk melihat adanya indikasi cacat las. Dalam penelitian ini pembahasan difokuskan hanya pada pemeriksaan secara fraktografi dan metallografi dari benda uji lasan aluminium untuk struktur kereta LRT.

Tujuan penelitian ini adalah untuk memastikan ada atau tidak adanya cacat pada sambungan las struktur kereta api ringan dan sebagai lanjutan informasi dari hasil inspeksi visual yang telah dilakukan sebelumnya, serta untuk mengetahui secara umum struktur mikroskopik sambungan lasnya. Hasil pemeriksaan sebelumnya menggunakan uji ultrasonic dan uji radiografi mengindikasikan bahwa ada ketidaksempurnaan proses pengelasan dan ada kemungkinan terjadi cacat pada lokasi logam lasan (*weld metal*). [5].

Lebih lanjut, penelitian ini juga untuk mengantisipasi secara lebih dini (*preventive*) atas penyimpangan pada proses sambungan las aluminium tersebut. Semua kegiatan pemeriksaan tersebut dilakukan dalam rangka mendukung langkah awal penyiapan untuk pengujian kelelahan struktur kereta LRT agar dapat dipastikan keandalan dan keamanannya ketika beroperasi. Secara ringkas dapat digambarkan tahapan metodologi penelitiannya dalam diagram alir seperti pada gambar 1.

Penetapan topik penelitian merupakan hal pertama yang dilakukan, yaitu memilih topik tentang adanya masalah cacat sambungan las aluminium yang terjadi pada struktur kereta (*car body*) LRT. Hal ini juga karena kegiatan yang dilakukan adalah merupakan bagian dari serangkaian pengujian terhadap bagian penyangga utama kekuatan kendaraan berbasis rel ini. Selanjutnya ditentukan metode untuk pemeriksaan yang akan dipakai sebagai salah satu dasar untuk kegiatan pengujian berikutnya dalam rangka untuk mengetahui kekuatan dan keandalan struktur *car body* LRT dari bahan aluminium. Untuk itu ditetapkan metode yang dipilih adalah metode pemeriksaan metallografi dan metode fraktografi. Benda uji dipersiapkan dengan baik sesuai standar yang berlaku untuk kedua metode tersebut. Selanjutnya dilakukan pelaksanaan pengujian atau pemeriksaan dengan menggunakan kedua metode terpilih dan juga mengikuti prosedur serta standar masing-masing. Sudah banyak dipahami bahwa salah satu tujuan dari pemeriksaan fraktografi lazimnya adalah untuk menentukan kegagalan retak atau bahkan patahannya. Metode fraktografi mengamati karakteristik model permukaan yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi model kegagalan & bagaimana lingkungan dapat mempengaruhinya. Pemeriksaan dan analisis fraktografi dilaksanakan mengacu kepada standar metode makroetsa logam dan paduan yakni ASTM [6]. Fraktografi adalah kegiatan uji visual yang lebih detail selain uji visual mata telanjang dengan perbesaran yang tidak terlalu tinggi (antara 6 s/d 25 kali). Sementara itu, metallografi adalah merupakan suatu disiplin ilmu yang menggunakan metode observasi atau pengamatan dan pengujian dengan tujuan untuk mempelajari hubungan antara struktur mikro dengan sifat atau karakteristik material uji dan peristiwa yang pernah dialami oleh logam atau paduan tersebut sebelumnya.

Tahapan berikutnya, setelah diperoleh hasil atau data dari pemeriksaan, kemudian dilakukan analisis terhadap data dan fenomena yang terjadi. Analisis fraktografi dan metallografi ini merupakan sumber informasi yang penting mengenai kondisi dan kualitas material lasan sambungan struktur kereta LRT yang diamati. Hasil analisis dari penggunaan kedua metode tersebut selanjutnya dirumuskan sebagai bahan untuk pengambilan kesimpulan dari hasil penelitian.



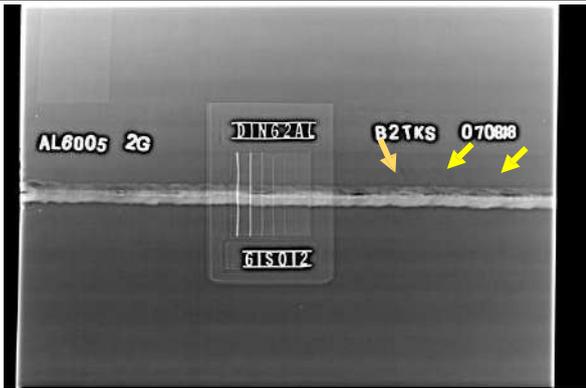
Gambar 1: Diagram Alir Kegiatan Penelitian

Selanjutnya, seperti diuraikan diatas, dalam pelaksanaan penelitian ini digunakan metode penelitian terhadap sambungan las aluminium struktur KRL secara eksperimental dengan menggunakan metode pemeriksaan metallografi dan fraktografi. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah bagian dari sambungan las yang digunakan pada struktur kereta LRT (*Light Rapid Transit*) dan telah dilakukan inspeksi menggunakan metode *Radiographic Testing* dan *Ultrasonic* dari arah *face band* sambungan las [5], yang mana hasilnya menunjukkan indikasi adanya cacat. Proses pengelasan yang dilakukan untuk struktur LRT menggunakan metoda *Pulsed Gas Metal Arc Welding* dengan logam pengisi ER5356, maka benda uji dalam penelitian ini diambil dari proses yang sama. Data benda uji sambungan las ditunjukkan pada tabel 1, dimana dari tabel tersebut tampak spesifikasi dari benda uji yang berupa sambungan las plat paduan Aluminium seri Al 6005 dan standar pengujian mengacu kepada *American Welding Society (AWS)* [7].

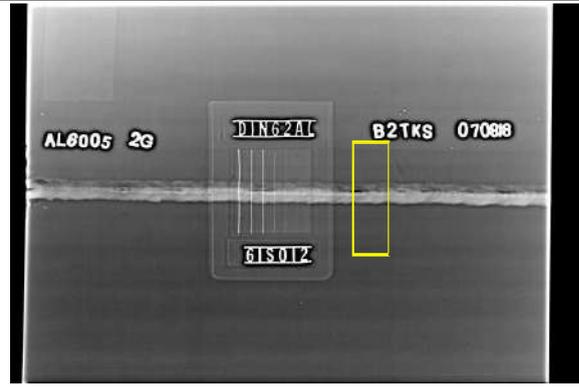
Tabel 1 : Benda Uji Sambungan Las

ITEM	KETERANGAN
Benda Uji	Sampel Sambungan Las Plat Aluminium Al 6005, V Groove; Complete Joint Penetration Temporary Backing Plate
Material	Aluminium Al 6005
Ukuran Benda Uji (tebal x lebar x panjang)	6,5 mm X 260 mm X 300 mm
Standar Pengujian dan Keberterimaan	AWS D 1.2 2012

Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa bagian bahan struktur kereta LRT adalah pelat aluminium seri 6005 dengan tebal 6,5 mm yang dilas menggunakan metode pengelasan las GMAW. Benda uji diambil dari bagian yang diperiksa dengan metode radiografi dan ultrasonic dan dianggap mewakili kondisi sebagian besar sambungan las pelat yang digunakan.



Gambar 3: Benda uji sambungan las aluminium dengan penunjuk titik-titik (area) yang mengalami noktah cacat (tanda panah)



Gambar 4 : Foto hasil uji radiografi dengan area/ titik yang akan dijadikan benda uji metallografi (kotak)

Area pengamatan analisis metallografi mempunyai ruangan yang sangat terbatas, maka sebelum material sambungan las diuji secara metallografi, terlebih dahulu dilakukan analisis dengan pengujian Radiografi untuk menentukan titik yang akan diuji secara mikroskopik agar pelaksanaan pengujian mencerminkan kondisi yang mengalami gangguan konstruksi paling kritis, yaitu seperti terlihat pada gambar 3 dan 4 dimana diperlihatkan titik / area yang dipotong untuk dijadikan benda uji metallografi. Analisis fraktografi dalam kasus ini digunakan untuk membuktikan secara visual gambaran kondisi struktur hasil pengelasan. Analisis fraktografi tersebut dilaksanakan dengan bantuan stereo microscope. Sementara itu, pelaksanaan pengujian, pengamatan dan analisis metallografi terhadap sambungan las aluminium yang digunakan adalah merupakan kegiatan kerekayasaan untuk lebih memastikan kondisi material secara mikroskopik sehingga diketahui kemampuan dan kekuatan material aluminium baik pada material dasar (base metal) maupun bagian pada material las (Weld Metal), serta bagian yang terkena efek panas akibat pengelasan (Heat Affected Zone).

Selanjutnya, sesuai dengan standar prinsip pengujian dan pemeriksaan metallografi, maka pelaksanaannya dapat dilakukan dalam 2 tahapan, yakni tahap 1: persiapan benda uji atau lebih dikenal dengan preparasi dan tahap 2: yaitu merupakan tahap pelaksanaan pengujian, serta pengamatan sampai pemilihan gambar struktur mikro yang dianggap benar-benar mewakili kondisi benda uji secara keseluruhan. Tahap 1 atau preparasi dilaksanakan mengacu kepada standar American Standard Test for Metal (ASTM) [8] tentang "Metode Persiapan Benda Uji Metallografi". Proses preparasi diawali dengan pengamatan visual untuk menentukan titik yang akan dilakukan proses pemeriksaan, kemudian dilakukan pemotongan dan pembentukan menggunakan alat potong yang tidak mempunyai efek panas dan gaya terhadap specimen uji. Lalu setelah terbentuk, benda uji dimounting kemudian dilakukan pengamplasan menggunakan kertas amplas (abrasive paper grinding) dari berbagai tingkat kekasaran kertas amplas dan pemolesan dengan pasta intan (diamond polishing) sampai permukaan benda uji tidak ada lagi unsur benda lain (termasuk debu) dan permukaannya dipastikan rata dan halus seperti permukaan kaca. Untuk memudahkan kedua proses tersebut benda uji di "mounting" terlebih dahulu. Selanjutnya, Tahap 2 adalah pelaksanaan pengujian dan pemeriksaan struktur mikro yang dilaksanakan mengacu kepada standar American Standard Test for Metal (ASTM) tentang "Metode Pengujian mikroskopik (Metallografi) untuk logam dan paduannya". Proses ini dimulai setelah permukaan benda uji selesai halus seperti kaca hasil preparasi sebelumnya. Langkah berikutnya adalah menentukan jenis etsa (etching) yang sesuai dengan material uji, dalam kegiatan ini menggunakan proses jenis etsa keller reagent. Proses etsa adalah membasahi permukaan uji dengan larutan tertentu dengan cara benda uji tersebut dicelupkan kedalam larutan atau diusap menggunakan media kapas yang dibasahi larutan etsa ke permukaan uji sehingga permukaan uji tersebut terlihat buram.

Kemudian, setelah permukaan benda uji berubah buram kembali, dimana hal ini menandakan bahwa proses etsa berjalan dengan baik, maka benda uji siap untuk diamati di bawah mikroskop, selanjutnya dipilih titik-titik yang dianggap mewakili kondisi benda uji secara keseluruhan. Biasanya gambar ditampilkan dalam bentuk mikroskopik dengan perbesaran antara 100 sampai dengan 500 kali sudah sesuai dengan kebutuhan. Selanjutnya dari pengujian ini dapat dilihat struktur mikro yang terkristalisasi, retak kecil dan inklusi pada benda uji.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dapat diuraikan sebagai berikut, Setelah menentukan titik/ lokasi yang akan dianalisis maka untuk mendapatkan ukuran dan bentuk standar pengujian metallografi, area yang terindikasi ada cacat las dipotong melintang dan memotong panjang lasan agar terlihat secara keseluruhan bagian las dari sisi atas (*face band*) sampai sisi bawah (*root band*). Lokasi pengambilan dan arah benda uji yang dianalisis diperlihatkan pada gambar 5 dengan bentuk posisi yang dianalisis seperti terlihat pada gambar 6 dan 8.



Gambar 5: Lokasi area untuk dijadikan benda uji metallografy (tanda garis merah = arah potongan pengamatan analisis metallografy).

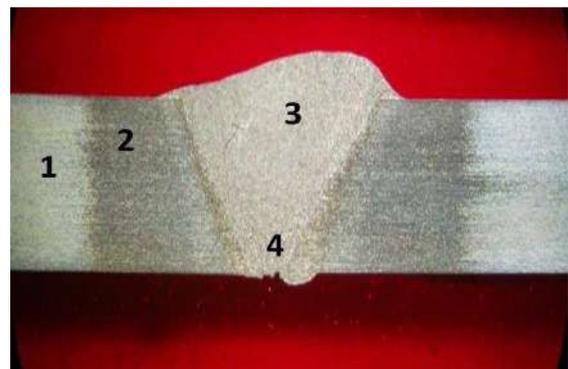


Gambar 6: Benda uji yang dianalisis, dipotong sesuai tanda (garis merah pada gambar 5), photo makro dengan perbersaran 6 x, memperlihatkan bagian rootband, ada bagian yang kurang terisi oleh material las.

Gambar 6 memperlihatkan foto makro hasil analisis fraktografy yang mengklarifikasi hasil temuan radiografi (gambar 3 & 4) bahwa tampak adanya garis hitam diantara material dasar dan material las. Dari gambar 7 diperoleh informasi bahwa benda uji sambungan las mengalami kekurangan sempurna dengan adanya cacat las berupa *incomplete penetration* yang ditunjukkan oleh tanda panah pada gambar tersebut, padahal persyaratan umum pengelasan bahwa filler material las haruslah memenuhi/ sampai ke ujung *root band* (bagian bawah dari potongan melintang sambungan las) seperti terlihat pada gambar 7 tersebut.



Gambar 7 : Photo makro benda uji sambungan las detail pada daerah *rootband* dengan perbersaran 12x



Gambar 8: Lokasi titik pengamatan/ analisis metallograf

Gambar 8 menunjukkan titik-titik lokasi pemeriksaan analisis metallografy dari potongan melintang sambungan las yang sudah dibuat benda uji dan dipreparasi sampai dengan etsa, baik didaerah material dasar (BM), area terkena efek panas las (HAZ) dan material las (WM). Hasil dari pemeriksaan masing-masing titik tersebut diperlihatkan pada gambar 9, 10, 11, 12, 13 dan 14.

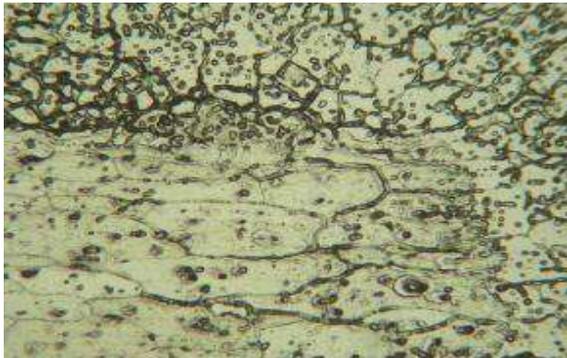


Gambar 9: struktur mikro lokasi 1 area material dasar (BM), perbersaran 100 x



Gambar 10: struktur mikro lokasi 1 area material dasar (BM), perbersaran 200 x

Dari gambar 9 dan 10 dimana lokasi yang diamati merupakan bagian dari *Base Material* (BM) terlihat struktur mikronya berupa bentuk *equiaxial*, dimana *equiaxial* ini adalah bentuk kristal logam yang halus hasil persenyawaan dengan perlakuan panas dari unsur kimia yang mempunyai perbedaan sifat geometris dan mekanis yang menonjol (biasanya terjadi pada paduan aluminium) misalnya Al dengan Si. Peristiwa ini berlangsung pada periode liquid menuju solid yang diperpanjang dengan proses *annealing* kemudian *normalising*. Hal ni untuk mendapatkan sifat mekanis yang lebih homogen mulai dari bagian luar sampai bagian dalam pelat, atau batang. Jika butirannya tidak halus dan merata antara bagian luar dan dalam akan terjadi *internal stress*, dan material akan rapuh. *Equiaxial* dengan butiran yang memanjang ini berwarna hitam yang menunjukkan adanya unsur Mg₂S sesuai dengan karakteristik material aluminium Al 6065, disini tidak terdapat cacat apapun.



Gambar 11: struktur mikro lokasi 2 area terdampak efek panas (HAZ), perbesaran 100 x

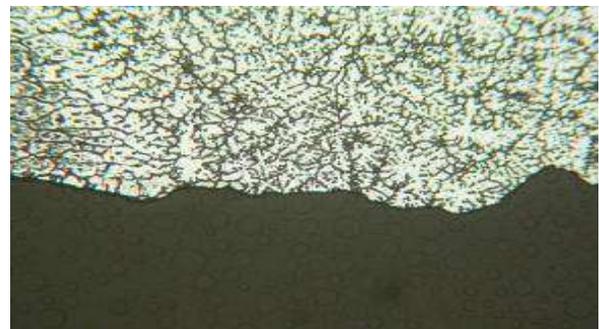


Gambar 12: struktur mikro lokasi 3 area material las (WM) bagian atas (*faceband*), perbesaran 200

Kemudian dari gambar 11 dimana lokasi yang diamati tersebut berada di daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) struktur mikronya berupa *interdentritic*, dengan *fusion* yang baik serta tidak terlihat porositas dan cacat las lainnya.



Gambar 13: struktur mikro lokasi 4 area material las (WM) bagian bawah (*rootband*), perbesaran 50 x



Gambar 14: struktur mikro lokasi 4 area material las (WM) bagian bawah (*rootband*), perbesaran 100 x

Sementara itu bila diamati dari gambar 12 dimana lokasi yang diamati berada di daerah material las (*Welding Material*) yang di bagian atas (*faceband*) tampak struktur mikronya berupa *dendrite*, tidak terdapat porositas atau cacat las lainnya.

Berikutnya bila diamati dari gambar 13 dan 14 dimana lokasinya berada pada material las (*Welding Material*) juga tetapi yang ada di bagian bawah (*rootband*), tampak struktur mikronya berupa *dendrite*, terlihat adanya porositas yang mungkin dapat disebabkan oleh beberapa hal misalnya: elektroda yang lembab, adanya zat pengotor, adanya gas hidrogen, arus pengelasan terlalu rendah, dan sebagainya. Disamping itu pada bagian bawah pelat tersebut juga terdapat cacat las yang berupa *incomplete penetration* yang kemungkinannya akibat dari beberapa faktor seperti *travel speed* terlalu tinggi, jarak gap terlalu lebar, jarak elektroda terlampaui tinggi atau sudut elektrodanya yang kurang tepat. [8].

Bila dilihat secara keseluruhan hasil lasan ini cukup baik, ada penyambungan yang merata dan dengan struktur mikro yang sama yaitu berupa struktur *dendrite* baik pada bagian yang dilas (*Base Material*), daerah yang terpengaruh panas (HAZ) maupun daerah logam lasan (*Welding Material*).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian pembahasan diatas maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut,

- 1) Dari pemeriksaan fraktografi dan metallografi dapat diketahui adanya cacat las berupa porositas dan penetrasi yang tidak sempurna didaerah bawah lasan. Hal ini lebih disebabkan karena proses pengelasan yang kurang tepat karena *filler metal* tidak sampai menyentuh ujung bawah lasan (*rootband*). Kemudian dari hasil pengamatan struktur mikro secara keseluruhan menunjukkan terjadinya penyambungan merata dengan struktur mikro *dendrite* di semua bagian baik di material dasar, daerah terdampak panas dan daerah maerial las.
- 2) Hasil penelitian ini sudah cukup untuk mengkonfirmasi hasil penelitian sebelumnya bahwa memang terdapat cacat didaerah bawah lasan berupa porositas dan penetrasi tidak sempurna yang dapat menjadi sumber resiko terjadinya retak awal. Oleh karena itu hasil penelitian ini dapat dipakai sebagai pertimbangan untuk perbaikan metode dan proses pengelasan guna mendapatkan sambungan las struktur kereta (*car body*) LRT yang lebih baik dan andal.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini kami sampaikan terima kasih kepada pimpinan B2TKS – BPPT yang telah memberikan kesempatan melakukan penelitian ini. Tak lupa kami sampaikan terima kasih kepada rekan- rekan B2TKS – BPPT yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian. Juga, kami sampaikan terima kasih kepada rekan-rekan dari Universitas Pancasila atas kerjasamanya yang baik hingga dapat terselesaikannya makalah ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Perpres RI, Nomor 98 Tahun 2015, Tentang Percepatan Penyelenggaraan Kereta Api Ringan/ Light Rapid Transit Terintegrasi di Wilayah Jakarta, Bogor, Depok, Bekasi, Jakarta, 2 September 2015 ;
- [2]. D.Wong - Mc Sweeney et al, Human annoyance, acceptability and concern as responses to vibration from the construction of Light Rapid Transit lines in residential environments, *Science of the Total Environment* 568 (2016) 1308–1314, Elsevier, 2016;
- [3]. Reliability, Availability, Maintainability, Safety (RAMS) and Life Cycle Costs (LCC), Committee on Technical Cooperation in the Development of the Rail Transport System / 11th July 2016
- [4]. V. Vovka, *, R. Hoffmannb , A. Yasenc, Method of Welding and Spinning Combination for Complex Aluminium Alloys Lightweight Components, Published by Elsevier Ltd. Selection and peer-review under responsibility of the Conference Committee of Conference MEFORM 2015, Light Metals – Forming Technologies and Further Processing, 2014;
- [5]. Soebagyo, Kusuma, Hernadi, Pemeriksaan Sambungan Las Aluminium Pada Struktur Kereta Api Ringan Dengan Metode Uji Tak Merusak, *Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, Jakarta, 2018;
- [6]. ASTM E 340 – 15 (Standard Methods for Macro Etch of Metal Alloy Materials);
- [7]. American Welding Society D.1.2 2012 (Standard Methods for Welding Test) 2012;
- [8]. Kyle Williams, Aluminum Weld Discontinuities: Causes & Cures, ALCOA, Advancing Each Generation,

SUBMISSION 13**Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Dengan Menggunakan Metode *HIRARC* dan Diagram *FISHBONE* Pada Divisi *Warehouse* di PT. Bhineka Ciria Artana**Kirana Rukmayuninda Ririh¹, Muhammad Julwin Dwi Fajrin¹, dan Desinta Rahayu Ningtyas¹¹Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. PT. Bhineka Ciria Artana merupakan perusahaan yang bergerak dibidang distributor yang mendistributor beberapa barang berupa kunci, engsel dan lain sebagainya. Jumlah pemesanan dan penyimpanan yang begitu banyak dengan keterbatasan tenaga kerja serta tempat penyimpanan dan juga pada perusahaan tersebut belum memiliki sistem manajemen K3 sehingga membuat tingkat kecelakaan kerja pada perusahaan tersebut tinggi. Tercatat selama tahun 2020 sudah ada 32 kasus kecelakaan yang terjadi. Berdasarkan masalah tersebut tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa tinggi potensi kecelakaan kerja yang terjadi pada perusahaan tersebut. Maka dilakukan identifikasi dan penilaian dengan metode Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control (*HIRARC*) dan *FISHBONE* dan didapati 8 potensi bahaya dengan 2 kategori *low risk*, 1 kategori *medium risk*, 4 dengan kategori *high risk*, serta 1 dengan kategori *extreme risk*. Metode diagram *FISHBONE* digunakan untuk mengetahui atau menemukan sumber-sumber bahaya yang ada pada bagian gudang PT. Bhineka Ciria Artana. Kemudian untuk usulan dari sumber bahaya yang ada, ditemukan dengan menggunakan metode *HIRARC*, dimana usulan tersebut yang didapat adalah dengan penggunaan APD, pengendalian administratif, serta rekayasa teknik.

Kata Kunci- *FISHBONE*; *HIRARC*; *Kecelakaan kerja*

1. PENDAHULUAN

Pada era perkembangan industri manufaktur dimana sekarang ini segala faktor atau aspek – aspek penunjang maupun inti dari sebuah perusahaan sangat diperhatikan. Tak terkecuali Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Dalam perkembangannya aspek Keselamatan dan Kesehatan Kerja ini sangat gencar disosialisasikan dan diwajibkan penerapannya bagi setiap perusahaan yang berjalan di Indonesia. Menurut data dari Badan Penyelenggara Jaminan Sosial Ketenagakerjaan, Indonesia memiliki angka kecelakaan yang cukup tinggi dari tahun 2014 sampai dengan 2015. Dimana pada tahun 2014 mencapai 105.383 dan 2.375 kasus diantaranya menyebabkan meninggal dunia. Selanjutnya di penghujung 2015 telah terjadi 105.182 kasus kecelakaan kerja dan 2.375 orang diantaranya meninggal dunia (BPJS Ketenagakerjaan, 2015). Bahkan pada tahun 2018 kasus kecelakaan kerja meningkat drastis dengan angka 173,105 kasus yang terjadi. Dari data-data diatas dapat disimpulkan bahwa di Indonesia sendiri, angka kecelakaan kerja sudah menyentuh angka 100.000 kcelakaan kerja per tahun dimana sebagian besar diantaranya meninggal dunia (BPJS Ketenagakerjaan, 2019) [1]. Dalam undang-undang No. 13 tahun 2003 juga menjelaskan tentang ketentuan perjanjian kerja yang tertuang pada pasal 52 poin 1 dimana maksud dan tujuan dari ketentuan perjanjian tersebut adalah untuk memberdayakan keselamatan dan kesehatan kerja baik bagi pekerja maupun perusahaan. [4]

Meski dengan adanya Undang-undang yang dibuat pemerintah tersebut, banyak perusahaan – perusahaan atau tenaga kerja yang mengabaikan persyaratan dan peraturan – peraturan dalam Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Hal tersebut disebabkan karena kurangnya kesadaran akan betapa besarnya resiko yang harus ditanggung oleh tenaga kerja dan perusahaan tersebut. Sebagaimana mestinya setiap perusahaan akan berusaha menghindari kerugian finansial yang besar. Disamping itu adanya peraturan mengenai Keselamatan dan Kesehatan Kerja tidak diimbangi oleh upaya hukum yang tegas dan sanksi yang berat, sehingga banyak perusahaan dan tenaga kerja yang melalaikan Keselamatan dan Kesehatan Kerja tersebut. [5]. Dengan adanya keseriusan dari pemerintah dalam menangani dan memberikan pembedayaan kesejahteraan pekerja, penelitian melakukan analisis dan rekomendasi perbaikan metode Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada sebuah perusahaan distributor. pada sector industri manufaktur dan distributor masih banyak kecelakaan kerja dan penyakit akibat dari pekerjaan. Penelitian akan dilakukan pada PT. Bhinneka Ciria Artana yang merupakan perusahaan distributor, dimana perusahaan tersebut belum sepenuhnya memiliki Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja terlihat dari rekam jejak kecelakaan yang pernah terjadi dan juga beberapa kondisi lapangan yang mungkin terdapat beberapa bahaya yang terlihat pada data sepanjang perusahaan tersebut berdiri. Dengan data tersebut akan dilakukan identifikasi dengan metode *HIRARC* dimana metode tersebut akan memberikan gambaran bagaimana kecelakaan tersebut dapat terjadi dan juga dapat mengidentifikasi potensi bahaya dari suatu proses secara detail yang mungkin dapat menyebabkan suatu kerugian dari potensi bahaya tersebut.

¹Corresponding author: kirana.ririh@univpancasila.ac.id

2. TINJAUAN PUSTAKA

a. Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Keselamatan dan kesehatan kerja ialah sebuah pemikiran serta pelaksanaan yang bertujuan untuk menghindari terjadinya sebuah insiden, sebaliknya kecelakaan kerja merupakan sesuatu peristiwa yang tidak terduga yang bisa menyebabkan terganggunya proses pekerjaan yang sudah direncanakan, dalam penafsiran tersebut kalau maksud dari kecelakaan kerja tidak wajib senantiasa terdapatnya korban yang cedera maupun meninggal dunia. Sebagaimana tertuang dalam Undang – undang No. 1 tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, maka upaya Kesehatan dan Keselamatan Kerja bertujuan untuk mencegah dan mengurangi terjadinya kecelakaan dan penyakit akibat kerja dan menjamin setiap tenaga kerja dan orang disekitar yang berada ditempat kerja mendapat perlindungan atas keselamatannya dan sumber – sumber produksi dapat dipakai dan dipergunakan secara aman dan efisien sehingga proses produksi berjalan lancar.

b. *Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control (HIRARC)*

Bahaya adalah segala sesuatu termasuk situasi atau tindakan yang berpotensi menimbulkan kecelakaan atau cedera pada manusia, kerusakan atau gangguan lainnya. Karena hadirnya bahaya maka diperlukan upaya pengendalian agar bahaya tersebut tidak menimbulkan akibat yang merugikan. Risiko adalah manifestasi atau perwujudan potensi bahaya (*hazard event*) yang mengakibatkan kemungkinan kerugian menjadi lebih besar [1] [2]. HIRARC (*Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control*) merupakan serangkaian proses mengidentifikasi bahaya yang dapat terjadi dalam aktifitas rutin ataupun non rutin diperusahaan, kemudian melakukan penilaian risiko dari bahaya tersebut lalu membuat program pengendalian bahaya tersebut agar dapat dimini malisir tingkat risikonya ke yang lebih rendah dengan tujuan mencegah terjadi kecelakaan [3] [5].

- Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*).

Langkah awal yang dilakukan untuk pengembangan manajemen risiko adalah melakukan identifikasi bahaya. Identifikasi bahaya merupakan sebuah upaya atau usaha sistematis yang dilakukan untuk mengetahui dan menemukan bahaya didalam suatu aktivitas.

- Penilaian Risiko (*Risk Assessment*)

Analisa risiko dimaksudkan untuk menentukan besarnya suatu risiko dengan mempertimbangkan kemungkinan terjadinya dan besar akibat yang ditimbulkannya. Untuk dapat menghitung nilai resiko, perlu mengetahui dua komponen utama yaitu *Likelihood* (kemungkinan) dan *Severity* (tingkat keparahan) yang masing masing-mempunyai nilai cakupan poin satu sampai lima

Tabel 1 Skala *Likelihood*

Skala	Uraian	Deskripsi
1	Sangat jarang terjadi	<i>Almost never</i>
2	Mungkin dapat terjadi	<i>Unlikely</i>
3	Kadang – kadang dapat terjadi	<i>Possible</i>
4	Sering terjadi	<i>Likely</i>
5	Selalu terjadi	<i>Almost certain</i>

Tabel 2 Skala *Severity*

Skala	Uraian	Deskripsi
1	Tidak mengganggu proses pekerjaan, tidak ada cedera/luka, kerugian finansial kecil, biaya pengobatan <100 ribu	<i>Negligible</i>
2	Penanganan P3, tidak terlalu memerlukan bantuan dari luar, kerugian finansial sedang, biaya pengobatan > 1 juta	<i>Minor</i>
3	Mebutuhkan perawatan medis, terganggunya pekerjaan, kerugian finansial cukup besar, biaya pengobatan < 10 juta	<i>Moderate/serious</i>
4	Hilang hari kerja, cacat permanen/sebagian, kerusakan lingkungan yang sedang, kerugian finansial yang besar, biaya pengobatan < 50 juta	<i>Major</i>
5	Meninggal dunia, cacat permanen/serius, kerusakan lingkungan yang parah, kerugian finansial yang sangat besar, biaya pengobatan > 50 juta	<i>catastrophic</i>

- Pengendalian Risiko (*Risk Control*)

Dari Tabel *Likelihood* dan *Severity* tersebut, dapat dihasilkan suatu matriks kemungkinan dan dampak yang terbagi dalam 5 kuadran sesuai dengan level prioritas penanganan, berikut tabel matriksnya :

Tabel 3 Risk Matrix

Likelihood	Consequence (Severity)				
	1 (Negligible)	2 (Minor)	3 (Moderate/serious)	4 (Major)	5 (Catastrophic)
5 (Almost Certain)	5	10	15	20	25
4 (Likely)	4	8	12	16	20
3 (Possible)	3	6	9	12	15
2 (Unlikely)	2	4	6	8	10
1 (almost Never)	1	2	3	4	5

Kendali (kontrol) terhadap bahaya dilingkungan kerja adalah tindakan- tindakan yang diambil untuk meminimalisir atau mengeliminasi risiko kecelakaan kerja melalui eliminasi, substitusi, perancangan *engineering*, pengendalian administrasi dan alat pelindung diri [6].



Gambar 1 Hierarki Pengendalian Risiko

c. Diagram FISHBONE

Diagram *fishbone* adalah suatu alat visual untuk menggambarkan secara grafik yang detail dari penyebab- penyebab yang berhubungan dengan suatu permasalahan. Konsep dasar dari diagram *fishbone* ini adalah dibagian kepala ditempatkan atau diisi dengan dasar dari permasalahan atau permasalahan utama. Kemudian pada bagian sirip dan duri diisi dengan penyebab- penyebab dari atau sumber- sumber dari permasalahan tersebut [4].

3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini menggunakan 2 metode. Sebelum menggunakan metode dilakukan teknik pengumpulan data dimana digunakan untuk mendapatkan informasi dan data agar tujuan penelitian dapat dicapai. Berikut adalah teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini : Observasi, *Brainstorming*, Kuisiner, dan Dokumentasi. Untuk mengetahui nilai dari seberapa sering terjadinya (*likelihood*) dan seberapa tinggi tingkat keparahan (*severity*) yang ada pada setiap kejadian atau setiap potensi bahaya, peneliti melakukan wawancara (*brainstorming*) kepada kepala gudang di PT. Bhineka Ciria Artana. Selanjutnya teknik pengolahan data merupakan tahap lanjutan dari pengumpulan dan identifikasi data yang telah diperoleh. Maka teknik pengolahan dan analisis data ditunjukkan untuk mengetahui faktor penyebab terjadinya kecelakaan dengan menggunakan metode yang tepat. Berikut ini adalah tahapan – tahapan yang dilakukan dalam pengolahan dan analisis data dengan HIRARC : Identifikasi penyebab kecelakaan dengan metode *Hazzard Identification*, Perhitungan nilai risiko dengan skala *Severity* dan *Likehood*, dan Menentukan nilai risiko berdasarkan *Risk Matrix*; sedangkan langkah tambahan menggunakan *Fishbone* untuk membantu menentukan faktor, dan yang terakhir penentuan rekomendasi usulan – usulan perbaikan dengan *Risk control* [7][8] [9][10]

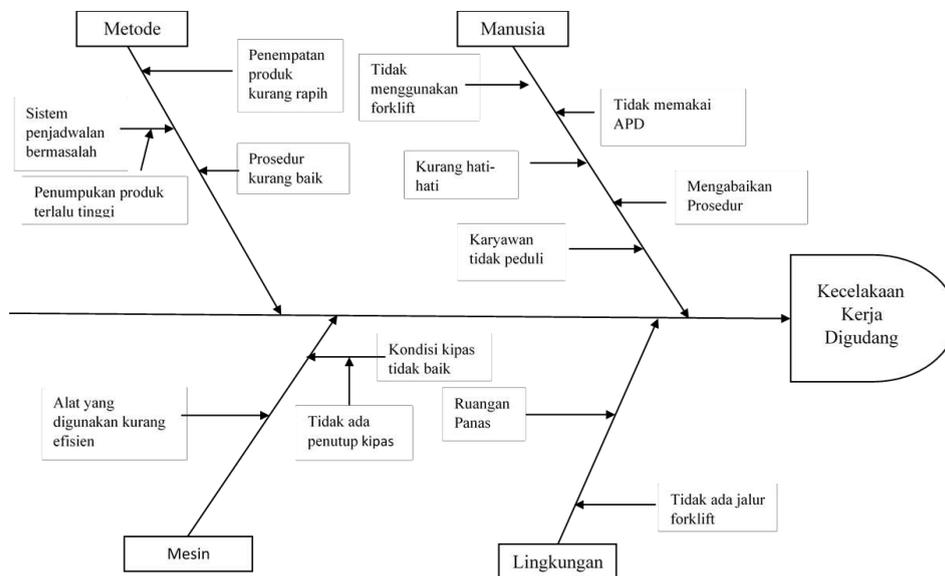
4. ANALISIS

Hasil analisis lapangan dan wawancara menunjukkan beberapa identifikasi aktifitas dan risiko yang ditimbulkan sebagaimana yang terdapat pada tabel berikut :

Tabel 4 Hasil *Brainstorming*

Aktifitas	Risiko	Nilai	
		Likelihood	Severity
Pemotongan plat besi	Jari terluka karena terjepit (R1)	2	4
	Terluka atau tergores baling-baling (R2)	2	4
Mobilitas pekerja	Kesulitan keluar gudang (R3)	1	5
Pengambilan produk	Tertiban atau tertimpa produk yang jatuh (R4)	3	2
	Karyawan Terjatuh (R5)	4	5
Pengangkutan barang	Punggung terasa pegal dan sakit (R6)	5	3
Pemindahan produk	Tersandung produk (R7)	5	3
	Tertabrak forklift (R8)	3	4

Langkah berikutnya adalah mengidentifikasi atau menetapkan faktor-faktor penyebab masalah terjadinya kecelakaan kerja dibagian gudang PT. Bhineka Ciria Artana. Dengan adanya faktor-faktor penyebab terjadinya kecelakaan kerja ini, maka harus dilakukan tindakan pencegahan. Setelah semua risiko dapat teridentifikasi, dilakukan penilaian risiko (*risk assessment*) melalui analisa dan evaluasi risiko. Analisa risiko dimaksudkan untuk menentukan besarnya suatu risiko dengan mempertimbangkan kemungkinan terjadinya dan besar akibat yang ditimbulkannya. Berdasarkan hasil analisa dapat ditentukan peringkat risiko sehingga dapat dilakukan pemilihan risiko yang memiliki dampak besar terhadap perusahaan dan risiko yang ringan atau dapat diabaikan. Berdasarkan hasil dari nilai risiko, selanjutnya akan ditentukan tingkat risiko. Penentuan tingkat risiko ini berada pada *risk mapping* dengan lima tingkatan yaitu dengan tingkatan *very low, low, medium, high, dan extreme*. Untuk menentukan peringkat tersebut dapat dilihat pada table *risk matrix* berikut ini.



Gambar 2 Diagram *Fishbone* Kecelakaan Kerja di Gudang

Tabel 5 Hasil *Risk Mapping*

Likelihood	Severity				
	1 (Negligible)	2 (Minor)	3 (Moderate/seriou)	4 (Major)	5 (Catastrophic)
1 (Almost Never)			(R6),(R7)		
2 (Unlikely)					(R5)

Likelihood	Severity				
	1 (Negligible)	2 (Minor)	3 (Moderate/seriou)	4 (Major)	5 (Catastrophic)
3 (Possible)		(R4)		(R8)	
4 (Likely)				(R1),(R2)	
5 (Almost Certain)					(R3)

Tujuan dari pengendalian risiko (*risk control*) ini adalah untuk meminimalisir tingkat risiko dari suatu potensi bahaya yang teridentifikasi. Beberapa risiko yang terdapat dalam kategori *medium risk*, *high risk*, dan *extreme risk* akan diolah dengan *risk control*. Pengendalian risiko (*risk control*) tersebut dilakukan untuk meminimalisir atau menghilangkan risiko yang terjadi. Berikut merupakan tabel pengendalian risiko yang akan menjelaskan beberapa kategori pengendalian risiko dan rekomendasi perbaikan untuk mengurangi atau menghilangkan tingkat kecelakaan kerja yang pernah terjadi dan tingkat kecelakaan kerja yang masih sering terjadi pada aktifitas - aktifitas di gudang PT. Bhineka Ciria Artana.

Tabel 6 Sumber dan Risiko Bahaya

NO	Aktifitas	Risiko	Sumber Bahaya	Nilai		Risk Rating	Risk Level
				Likelihood	Severity		
1	Pemotongan plat besi	Jari terluka karena terjepit (1)	Tidak memakai APD dan kurang hati-hati	2	4	8	Medium
		Terluka atau tergores baling-baling (2)	Tidak ada penutup kipas	2	4	8	Medium
2	Mobilitas pekerja	Kesulitan keluar gudang (3)	Tidak ada pintu darurat	1	5	5	Medium
3	Pengambilan produk	Tertiban atau tertimpa produk yang jatuh (4)	Penumpukan produk yang terlalu tinggi	3	2	6	Medium
		Pekerja terjatuh (5)	Alat yang digunakan kurang efisien	4	5	20	Extreme
4	Pengangkutan barang	Punggung terasa pegal dan sakit (6)	Tidak menggunakan forklift	5	3	15	High
5	Pemindahan produk	Tersandung produk (7)	Penempatan produk yang kurang rapih	5	3	15	High
		Tertabrak forklift (8)	Tidak ada jalur untuk forklift	3	4	12	High

Tabel 7 Rekomendasi Perbaikan Risiko

No	Aktifitas	Risiko	Sumber Bahaya	Nilai		Risk Rating	Risk Level	Kategori	Rekomendasi Perbaikan
				Likelihood	Severity				
1		Jari terluka karena terjepit (R1)	Tidak memakai APD dan kurang hati-hati	2	4	8	Medium	APD	Membuat atau memperbarui SOP untuk mewajibkan para karyawan memakai APD saat bekerja

No	Aktifitas	Risiko	Sumber Bahaya	Nilai		Risk Rating	Risk Level	Kategori	Rekomendasi Perbaikan
				Likelihood	Severity				
	Pemotongan plat besi	Terluka atau tergores baling-baling (R2)	Tidak ada penutup kipas	2	4	8	Medium	Substitusi	Perlu mengganti atau membeli kipas baru yang lebih aman
2	Mobilitas pekerja	Kesulitan keluar gudang (R3)	Tidak ada pintu darurat	1	5	5	Medium	Substitusi	Perlu penataan ulang desain gudang untuk membuat atau menambahkan minimal 1 pintu darurat

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Faktor - faktor yang menjadi penyebab terjadinya kecelakaan kerja dibagian gudang PT. Bhineka Ciria Artana ada 4 kategori, yaitu kategori manusia, kategori metode, kategori lingkungan dan kategori mesin. Melalui metode *Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control* (HIRARC) telah teridentifikasi bahwa terdapat 8 sumber bahaya dengan 8 risiko, dengan 1 risiko masuk kedalam kategori *extreme risk*, 3 risiko masuk kedalam kategori *high risk*, dan 4 risiko masuk kedalam kategori *medium risk*.

Dari semua risiko yang teridentifikasi tersebut, ditemukan risiko yang tertinggi adalah alat yang digunakan untuk mengambil barang tidak efisien, dimana risiko tersebut memiliki nilai *likelihood* 4 dan *severity* 5 dengan kategori *extreme risk*. Rekomendasi perbaikan dari risiko tersebut adalah membuat atau memperbarui SOP untuk mewajibkan para karyawan memakai APD saat bekerja, Perlu mengganti atau membeli kipas baru yang lebih aman pada pemotongan plat besi, diperlukannya penggantian alat tersebut dengan alat yang lebih baik dan lebih efisien agar karyawan lebih aman dalam melakukan pekerjaan. Perusahaan lebih tegas dalam mengambil tindakan untuk pelanggaran – pelanggaran yang telah dilakukan untuk meminimalisir kecelakaan kerja yang mengakibatkan kerugian pada perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. M. Saedi, J. J. Thambirajah, and A. Pariatamby, "A HIRARC model for safety and risk evaluation at a hydroelectric power generation plant," *Saf. Sci.*, vol. 70, pp. 308–315, 2014.
- [2] K. Moreno-Sader, C. Alarcón-Suesca, and A. D. González-Delgado, "Application of environmental and hazard assessment methodologies towards the sustainable production of crude palm oil in North-Colombia," *Sustain. Chem. Pharm.*, vol. 15, no. January, pp. 1–10, 2020.
- [3] M. Agwu, "The Effects of Risk Assessment (Hirarc) on Organisational Performance in Selected Construction Companies in Nigeria," *Br. J. Econ. Manag. Trade*, vol. 2, no. 3, pp. 212–224, 2012.
- [4] T. Luo, C. Wu, and L. Duan, "Fishbone diagram and risk matrix analysis method and its application in safety assessment of natural gas spherical tank," *J. Clean. Prod.*, vol. 174, pp. 296–304, 2018.
- [5] S. Irawan, T. W. Panjaitan, and L. Yenny Bendatu, "Penyusunan Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control (HIRARC) di PT," *J. Titra*, vol. 3, no. 1, pp. 15–18, 2015.
- [6] T. Ihsan, T. Edwin, and R. Octavianus Irawan, "Analisis Risiko K3 Dengan Metode Hirarc Pada Area Produksi Pt Cahaya Murni Andalas Permai," *J. Kesehat. Masy. Andalas*, vol. 10, no. 2, p. 179, 2017. [7] R. Alfatiyah, "Analisis Manajemen Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja dengan Menggunakan Metode HIRARC pada Pekerja Seksi Casting," *J. Mesin Teknol. (SINTEK Jurnal)*, vol. 11, no. 2, pp. 88–101, 2017.
- [8] I. W. G. E. Triswandana and N. K. Armaeni, "Penilaian Risiko K3 Konstruksi Dengan Metode Hirarc," vol. 4, no. 1, pp. 2581–2157, 2020.
- [9] D. N. Syakbania and A. S. Wahyuningsih, "Higeia Journal of Public Health," *Higeia J. Public Heal. Res. Dev.*, vol. 1, no. 3, pp. 84–94, 2018.
- [10] R. N. Putri and M. Trifiananto, "Analisa Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control (Hirarc) Pada," pp. 2–3, 2019.

SUBMISSION 26

Proses Pembuatan Rangka Konstruksi Concentrated Solar Power Skala Laboratorium Tipe *Ground Base*

Hanief Rizki Akmal¹ dan Dwi Rahmalina¹

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

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk membuat rangka konstruksi tipe *ground base* dan bertujuan untuk mengetahui kinerja dan fungsi dari rangka konstruksi tipe *ground base*. Pemanfaatan salah satu potensi alam sangat melimpah adalah energi tenaga matahari. Teknologi *Concentrated Solar Power (CSP)* adalah sebuah proses yang berfungsi menangkap radiasi sinar matahari dan memfokuskan sinar matahari ke satu titik yaitu *parabolic dish*, *Concentrated Solar Power (CSP)* skala lab dilengkapi dengan *Thermal Energy Storage (TES)* dan *Free Piston Stirling Engine (FPSE)* serta dilengkapi dengan *solar tracking system*. Metode perancangan yang digunakan adalah metode *Design for manufacture and assembly (DFMA)*, dimana setiap proses pengerjaan alat mengacu pada *standard operation procedure (SOP)* yang sudah ditentukan dan pada proses perakitan dikerjakan secara berurutan sesuai dengan *operation process chart (OPC)*. permesinan yang digunakan yaitu mesin bubut, gerinda, milling, las listrik. Proses pembuatan ini yaitu proses pembuatan rangka konstruksi *concentrated solar power* skala laboratorium tipe *ground base*. Pada langkah pertama yaitu mempersiapkan desain yang akan dibuat dengan ukuran skala laboratorium, menyiapkan alat dan bahan, membuat memperhitungkan ketelitian agar komponen-komponen dapat terpasang dengan baik, terakhir melakukan inspeksi atau pengecekan setelah konstruksi rangka dibuat. Komponen yang terdapat pada alat ini terdiri dari komponen yang dibuat, dalam pembuatan konstruksi rangka CSP terdapat 62 proses pengerjaan dengan waktu pengerjaan mencapai 502 menit.

Kata Kunci-Design for manufacturing assembly; Ground base; Konstruksi rangka.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan listrik di Indonesia sudah menjadi kebutuhan yang sangat penting bagi masyarakat. Akan tetapi penyebaran penduduk yang tidak merata serta masih banyak daerah terpencil yang menjadikan kendala utama untuk melakukan pendistribusian pembangkit listrik ke setiap pelosok negeri kita ini. Maka wajar kalau kita masih banyak menjumpai masyarakat di pedesaan, pesisir pantai dan daerah pegunungan yang belum merasakan penerangan listrik karena tidak terjangkau oleh pembangkit listrik negara (PLN). Sebagai upaya untuk memenuhi kebutuhan listrik dan penanggulangan sulitnya mendapatkan listrik di sebagian daerah, maka diperlukan suatu inovasi baru yaitu energi alternatif. [1]. Teknologi *Consentrated Solar Power (CSP)* adalah sebuah proses yang berfungsi menangkap radiasi sinar matahari dan memfokuskan sinar matahari ke satu titik yaitu *parabolic dish*. [2].

Salah satu komponen yang sangat penting ialah rangka konstruksi. Rangka konstruksi *parabolic disc* adalah suatu bagian pondasi dalam membuat *Consentrated Solar Power (CSP)* tipe *gound base* yang memiliki fungsi untuk menahan beban keseleruhan komponen dan dirancang secara sederhana agar mampu meletakkan semua komponen yang ada. [3]. Proses manufaktur merupakan langkah-langkah yang sangat penting dilakukan untuk membuat komponen suatu mesin atau suatu produk dari bahan baku mentah diubah menjadi produk akhir, dari penelitian sebelumnya yang membahas mengenai rangka konstruksi tipe *parabolic dish*, tidak terdapat dudukan *dollar tracking* dan dudukan untuk parabola dengan dimensi yang kecil. Proses manufaktur pada penelitian kali ini, salah satu prosesnya yaitu proses pengrollan untuk membuat dudukan *parabolic* dengan dimensi yang lebih besar, adapun tambahan dari penelitian kali ini yaitu membuat manfuaktur untuk dudukan *solar tracking*. [4] Tujuan dari pembuatan rangka konstruksi *concentrated solar power* skala laboratorium tipe *ground base* ini adalah untuk membuat rangka yang terstruktur, mudah digunakan, dan mudah dilakukan *maintenance* untuk perawatannya. [5]

2. METODOLOGI

Secara umum dapat dijelaskan dalam skema untuk diagram alir dari proses pembuatan rangka konstruksi *concentrated solar power* tipe *parabolic dish* akan dilakukan seperti pada Gambar 1.

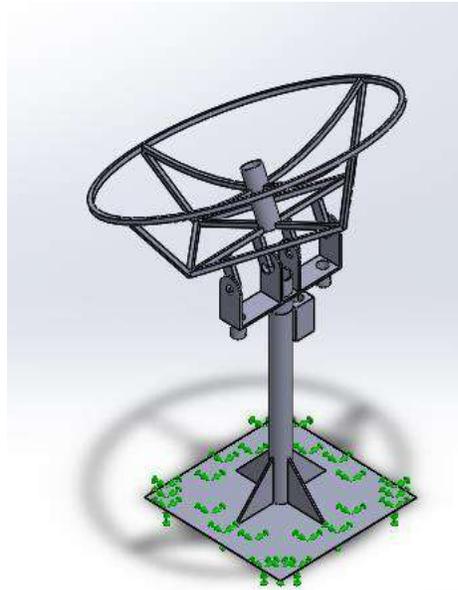
¹Corresponding author: hanifrizkiakmal10@gmail.com



Gambar 1. Diagram alir penelitian

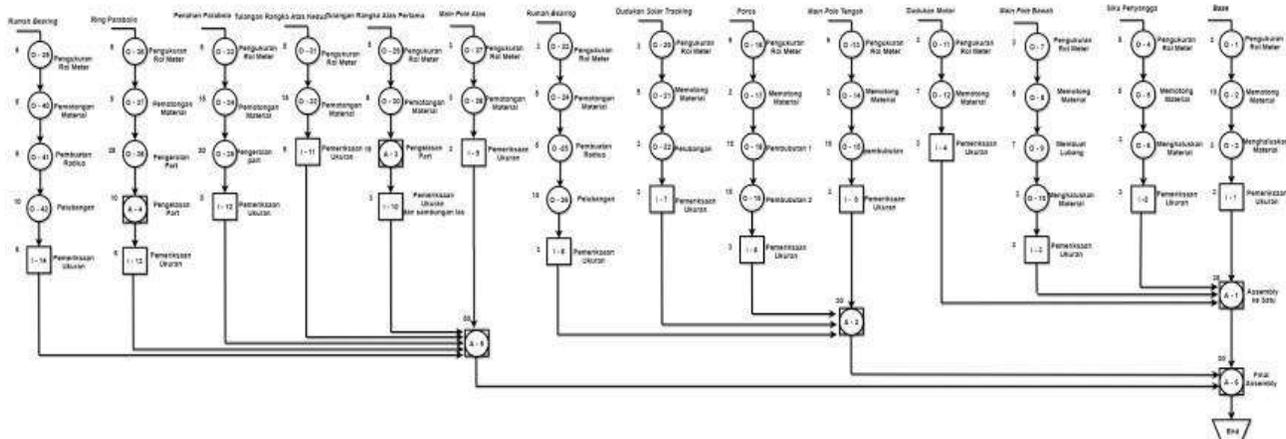
Berikut adalah penjelasan dari tahapan yang dilakukan dalam diagram alir penelitian:

Langkah-langkah yang dilakukan pada proses pembuatan rangka konstruksi *concentrated solar power* skala laboratorium tipe *ground base* yaitu memulai proses pembuatan dengan mengikuti setiap tahapan alur yang ada pada *flowchart*, lalu untuk mendapatkan hasil yang maksimal perlu dilakukan Identifikasi masalah dalam penelitian yang akan dibuat. Identifikasi masalah juga merupakan mempelajari masalah suatu objek penelitian dan mencari solusi untuk memecahkan masalah tersebut. Dalam mengidentifikasi masalah ini hasil studi sebelumnya dilakukan agar proses manufaktur mendapatkan hasil yang lebih baik dari sebelumnya. Sehingga alat yang dihasilkan dapat berguna dan sesuai dengan kebutuhan. Identifikasi masalah ini bertujuan untuk mencari kekurangan dan kelebihan dari hasil penelitian sebelumnya. Tahap selanjutnya yaitu melakukan studi literatur dengan mencari referensi yang berasal dari jurnal, buku-buku, skripsi dan tesis untuk mendapatkan informasi mengenai alat dan bahan yang baik untuk digunakan. Setelah mendapatkan data-data yang akurat proses selanjutnya ialah menyiapkan alat dan bahan yang digunakan saat proses manufaktur pembuatan rangka konstruksi *concentrated solar power* tipe *ground base*. Alat dan bahan sendiri didapatkan dari *bill of material* (BOM) hasil perancangan. Adapun alat yang digunakan yaitu mesin gerinda, mesin frais/milling, mesin bor tangan, *cutting machine*, mesin las listrik, mesin *bending* dan bahan yang digunakan adalah besi silinder, besi hollow. Setelah menyiapkan alat dan bahan dilakukan proses manufaktur yang terdiri dari proses pelubangan, pemotongan, pengerolan dan pengelasan yang menggunakan mesin milling, gerinda tangan, mesin las dan mesin roll. Setelah dilakukan proses manufaktur rangka konstruksi *concentrated solar power* tipe *ground base* adalah pengujian fungsional. Pada tahap ini dilakukan proses pengujian fungsional setiap komponen untuk mengetahui apakah rangka alat konstruksi *concentrated solar power* tipe *ground base* sudah dapat berfungsi dengan baik dan aman. Jika ada ketidaksesuaian fungsi pada komponen maka akan kembali ke proses manufaktur untuk dilakukan perbaikan. Dalam pengujian fungsional, terdapat pengukuran untuk mengetahui apakah ukuran rangka alat yang dibuat sudah sesuai gambar kerja atau belum dan juga uji fungsi yang bertujuan untuk mengetahui apakah rangka sudah dapat berfungsi sebagaimana mestinya atau masih ada kekurangan. Setelah itu dilakukan analisa fungsional untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan dari Data analisa penting untuk mengetahui sejauh mana tingkat keberhasilan pembuatan alat ini mulai dari perancangan sampai proses manufaktur. Dari setiap proses yang dilakukan, didapatkan hasil dari penelitian tersebut yang dijadikan kesimpulan. Membuat laporan Akhir dari hasil Pembuatan dimulai dari latar belakang sampai dengan kesimpulan.



Gambar 3. Desain konstruksi rangka *concentrated solar power* skala laboratorium tipe *ground base*

Operation process chart (OPC) adalah salah satu teknik yang paling penting dalam perencanaan produksi, karena dalam suatu produksi diagram alir digunakan dalam berbagai cara sebagai gambaran perencanaan dan pengendalian, manfaat *operation process chart* (OPC).[8]



Keterangan			
Simbol	Kegiatan	Jumlah	Waktu (menit)
○	operasi	42	295
□	inspeksi	14	42
◻	assembly	6	165
Total		62	502

Gambar 4. *Operation Process Chart* (OPC)

Pada keterangan gambar diatas yang membahas tentang *Operation Process Chart* (OPC), dimana peneliti dapat mengetahui proses apa saja yang dilakukan dan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengetahui proses pengerjaannya, seperti pada

proses operasi yang terdiri dari pelubangan, pemotongan, pengrollan, pengukuran, dan pembubutan, serta terdiri 42 operasi membutuhkan waktu 295 menit. Lalu pada tahapan inspeksi atau pengecekan membutuhkan 14kali inspeksi per komponen dengan waktu 42 menit. Pada proses *assembly* atau penggabungan yang dilakukan sebanyak 6 kali membutuhkan waktu 165 menit.

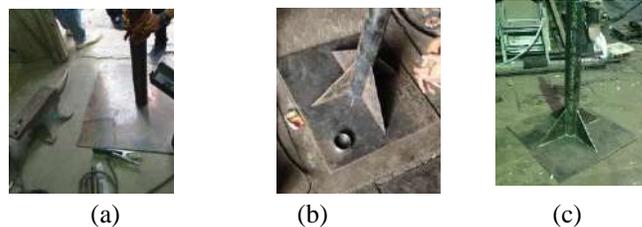
Tabel 1. komponen rangka konstruksi CSP *type ground base*

No	Nama Komponen	Jumlah	Material	Keterangan
1.	<i>Rangka bagian bawah</i>	1 bagian	<i>Plain carbon steel</i>	Dibuat
2.	<i>Rangka bagian tengah</i>	1 bagian	<i>Plain carbon steel</i>	Dibuat
3.	<i>Rangka bagian atas</i>	1 bagian	Besi plat	Dibuat
4.	<i>Shaft</i>	1pcs	Baja St.41	Dibuat

Berdasarkan tabel 2 dapat diketahui jumlah proses pembuatan rangka konstruksi *concentrated solar power* tipe *parabolic dish* adapun proses dalam pembuatannya terdiri dari 62 proses dengan jumlah waktu pengerjaan mencapai 502 menit sudah termasuk dengan proses yang dilakukan secara berulang.

A. Pembuatan *rangka bagian bawah*

Langkah awal pada pembuatan rangka bagian bawah yaitu menyiapkan alat dan bahan dimana alat yang digunakan antara lain mesin gerinda, meteran, mistar, siku, mesin frais/*milling*, mesin las dan bahan yang digunakan adalah besi silinder dengan diameter 89mm tebal 11mm panjang 750mm dan besi plat dengan tebal 5mm dan 3mm selanjutnya yaitu melakukan proses pemotongan pengelasan untuk akhirnya di *assembly* dengan menggunakan mesin las (lihat gambar 5).



Gambar 5. Rangka bagian bawah: (a) penyambuan base dengan main pole (b) pengelasan sirip (c) pengelasan dudukan motor

B. Pembuatan *rangka bagian tengah*

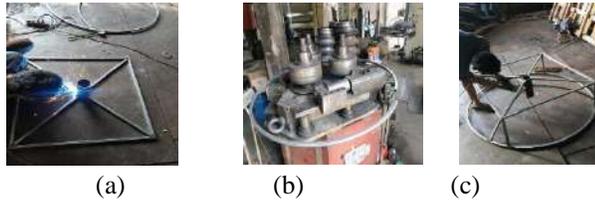
Rangka bagian tengah atau yang berfungsi sebagai dudukan *solar tracking* Pada langkah pertama yaitu menyiapkan material seperti besi silinder dengan ukuran diameter 89mm dengan panjang 230mm dan besi plat dengan tebal 3mm adapun alat yang digunakan antara lain mesin gerinda, meteran, mistar, siku, mesin frais/*milling*, mesin las selanjutnya yaitu melakukan proses pemotongan pengelasan untuk akhirnya di *assembly* dengan menggunakan mesin las (lihat gambar 6).



Gambar 6. rangka bagian tengah : (a) pelubangan (b) penyambungan dudukan solar tracking

C. Pembuatan rangka bagian atas

Rangka bagian atas atau yang berfungsi sebagai penahan parabolic dish pada langkah pertama yaitu menyiapkan material seperti besi silinder dengan ukuran diameter 89mm dengan panjang 150 mm dan besi hollow ukuran 2mm × 2mm dengan tebal 1,6mm adapun alat yang digunakan antara lain mesin gerinda, meteran, mistar, siku, mesin roll, mesin las selanjutnya yaitu melakukan proses pemotongan pengelasan untuk akhirnya di assembly dengan menggunakan mesin las.



Gambar 7. Rangka bagian atas : (a) pengelasan hollow dengan silinder (b) pengerolan (c) pengelasan

D. Pembuatan shaft

Melakukan pengukuran material sesuai dengan desain yang sudah dibuat oleh tim perancangan dan proses pembubutan agar selanjutnya masuk ke proses pemotongan menggunakan *cutting wheel* dan mesin bubut.



Gambar 8. Pemotongan material dengan mesin *cutting*

Langkah selanjutnya yaitu masuk kedalam proses pembubutan sesuai dengan desain yang sudah ditentukan (lihat gambar 8).



Gambar 8. Hasil proses pembubutan

Dalam pengujian fungsional yang telah dilakukan pada masing-masing komponen seperti parabola berlapis polimer perak, pengunci ketinggian, pengunci putaran, rangka untuk memutar parabola berfungsi dengan sebagai mana dengan syarat fungsinya karena telah dilakukan pengecekan seperti:

1. Pengukuran, pengujian pengukuran bertujuan untuk mengetahui apakah ukuran rangka CSP yang dibuat sudah sesuai gambar kerja atau belum. Dalam pengujian ini didapat ukuran yang sesuai antara gambar pada *design* dengan rangka asli. Perhitungan ukuran dilakukan untuk mengetahui kesalahan ketika proses pengerjaan. Metode yang digunakan adalah pengukuran.

Tabel 2 Dimensi Pengukuran Rangka

Keterangan	Dimensi Pada <i>Design</i>	Dimensi Pada <i>Real</i>
Panjang	1.300 mm	1.300 mm
Lebar	1.300 mm	1.300 mm
Tinggi	1.860 mm	1.860 mm

- Uji Fungsi, setelah melakukan pengujian pengukuran, langkah selanjutnya menguji fungsi dari rangka. Uji fungsional bertujuan untuk mengetahui apakah rangka sudah dapat berfungsi sebagaimana mestinya atau masih ada kekurangan. Hasil dari uji fungsi ini yaitu terpasangnya komponen-komponen seperti motor listrik, dudukan *bearing*, poros dapat terpasang dengan baik.

ANALISIS BIAYA

Dalam proses manufaktur alat sistem *concentrated solar power* skala laboratorium tipe *ground base* diperlukan sebuah rancangan anggaran biaya guna untuk memonitoring pengeluaran dalam pembelian material ataupun biaya tenaga kerja. Berikut adalah data rancangan anggaran biaya untuk alat sistem *concentrated solar power* skala laboratorium tipe *ground base*

Tabel 3. Rancangan anggaran biaya komponen

No	Komponen	Jumlah	Harga
1.	Pipa besi Ø89 mm Sch 40 × 1450 mm	1 batang	Rp 360.000
2.	Pipa besi Ø40 mm Sch 80 × 150 mm	1 batang	Rp 37.500
3.	Pipa besi Ø60 mm Sch 40 × 400 mm	1 batang	Rp 150.000
4.	Besi pejal Ø20 mm × 1.000 mm	1 batang	Rp 15.000
5.	Hollow 20 mm × 20 mm	3 batang	Rp 320.000
6.	Plat besi 8 mm × 400 mm × 400 mm	1 lembar	Rp 285.000
7.	Plat besi 5 mm × 1110 mm × 610 mm	1 lembar	Rp 356.250
8.	Plat besi 2 mm × 70mm × 20 mm	1 lembar	Rp 10.000
9.	Ball bearing 6208 ZZ	1 pcs	Rp 47.000
10.	Tappered bearing 30208	1 pcs	Rp 39.000
11.	Ball bearing 6804 ZZ	4 pcs	Rp 88.000
12.	Pillow block Ø80 mm	4pcs	Rp 270.000
Total Biaya			Rp 1.977.750

Tabel 4. Rancangan anggaran biaya total

No	Kegiatan	Anggaran
1.	RAB pembelian komponen	Rp 1.977.750
2.	RAB pemesanan	Rp 4.350.000
3.	RAB material habis pakai	Rp 84.000
Total Biaya		Rp. 6.411.750

Berdasarkan tabel 6 harga rangka konstruksi *concentrated solar power* skala laboratorium tipe *ground base*, yaitu sebesar Rp 6.411.750,- .

KESIMPULAN

Proses pembuatan ini yaitu proses pembuatan rangka konstruksi *concentrated solar power* skala laboratorium tipe *ground base*. Pada langkah pertama yaitu mempersiapkan desain yang akan dibuat dengan ukuran skala laboratorium, menyiapkan alat dan bahan, membuat memperhitungkan ketelitian agar komponen-komponen dapat terpasang dengan baik, terakhir melakukan inspeksi atau pengecekan setelah konstruksi rangka dibuat. Komponen yang terdapat pada alat ini terdiri dari komponen yang dibuat, dalam pembuatan konstruksi rangka CSP terdapat 62 proses pengerjaan dengan waktu pengerjaan mencapai 502 menit. Anggaran biaya bahan baku komponen yaitu mencapai angka sebesar Rp 1.977.750,- , anggaran biaya untuk permesinan sebesar Rp 4.350.000,- dan biaya material habis pakai sebesar Rp 84.000. Sehingga hasil akhir biaya yang dikeluarkan adalah sebesar Rp 6.411.750,-.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan dan penulis mengucapkan terimakasih kepada Jurusan Teknik Mesin Universitas Pancasila Jakarta atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini. Dan juga kepada Reza Abdu Rahman, M.T yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Rusman, "Pengaruh Variasi Beban Terhadap Efisiensi Solar Cell Dengan Kapasitas 50 Wp," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 84–90, 2017.
- [2] K. Lovegrove and W. S. Csiro, "Introduction to concentrating solar power (CSP) technology," *Conc. Sol. Power Technol. Princ. Dev. Appl.*, vol. 2, pp. 3–15, 2012.
- [3] F. S. Rudini, "Perancangan Fasilitas Kerja Proses Pengelasan Yang Ergonomis Dengan Menggunakan Metode Design For Manufacture And Assembly (DFMA) Di Bengkel Las Wen," *Performa Media Ilm. Tek. Ind.*, vol. 18, no. 1, pp. 9–15, 2019.
- [4] S. Kalpakjian and S. Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology*, 6 th. India: Pearson, 2009.
- [5] G. . Hasibuan Y.k, Rambe, "Rancangan Perbaikan Stopcontact Melalui Pendekatan Metode DFMA (Design For Manufacturing And Assembly) pada PT. XYZ," *E-Jurnal Tek. Ind. FT USU*, vol. 1, no. 2, pp. 34–39, 2013.
- [6] G. Boothroyd, P. Dewhurst, and W. Knight, *Product Deisgn for Manufacture and Assembly*, 3 th. United Stated: CRC Press, 2011.
- [7] A. Rachmi, T. D. Susanto, and A. Herdiyanti, "Pembuatan Standard Operating Procedure (SOP) Service Desk Berdasarkan Kerangka Kerja Itil V3 dengan Menggunakan Metode Analisis Gap Layanan (Studi Kasus : PT .XYZ, Tangerang)," *J. Tek. Pomits*, vol. 3, no. 2, pp. 175–180, 2014.
- [8] A. Laksmi, R. N. Rachmadita, and R. Sandora, "Desain Proses Produksi Survival Knife dengan Metode Operation Process Chart di Perusahaan Manufaktur," *Proc. Conf.*, vol. 2, no. 1, pp. 2–5, 2018.

SUBMISSION 28

Perakitan Mesin Transverse Ducting Flange (TDF)

Eko Prasetyo¹, Rudi Hermawan¹, Istihara Ibnu Hajar¹, dan Muhammad Naufal Ibnu Ridho¹

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

Abstrak. Zaman modern ini, aktivitas perdagangan di dunia perindustrian semakin pesat, tentunya dengan kemajuannya teknologi yang semakin canggih. Dengan begitu, setiap perusahaan dituntut untuk terus berambisi dan berkompetisi dengan para pesaingnya yaitu perusahaan industri lain, agar mendapatkan timbal balik dan memuaskan kebutuhan para pelanggannya. Manufaktur merupakan proses pembuatan yang dimana membuat komponen suatu produk dimulai dari bahan mentah sampai menjadi barang jadi dan untuk proses perakitan merupakan suatu proses penyambungan antara komponen dengan komponen lain untuk menjadi suatu produk sesuai apa yang diinginkan. Tujuan pada penelitian ini yaitu merakit mesin *Transverse Ducting Flange* (TDF) sehingga mesin tersebut dapat terealisasi sesuai yang diharapkan. Metode DFMA terkombinasi dari istilah DFM dan DFA yaitu (*Design for Manufacturing*) dan (*Design for Assembly*), sehingga akan terdefinisi sebagai desain suatu produk atau komponen yang dapat memudahkan proses manufaktur dan proses perakitan dengan komponen lain untuk menjadi satu kesatuan produk. Hasil penelitian menunjukkan perakitan yang telah dilakukan pada mesin TDF ini yaitu melakukan perakitan yang berupa pemasangan roller mounting lower side, pemasangan komponen transmisi grup 1 sampai dengan grup 5, pemasangan roller mounting upper side, pemasangan roller, pemasangan komponen transmisi utama, pemasangan penutup atau cover mesin, dan yang terakhir pemasangan komponen kelistrikan.

Kata Kunci- DFA; DFMA; Ducting; Flange; Perakitan; Roller; TDF.

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Zaman sekarang, aktivitas di perindustrian semakin pesat, tentunya dengan kemajuannya teknologi yang semakin canggih. Dengan begitu, setiap perusahaan dituntut untuk terus berambisi dan berkompetisi dengan para pesaingnya, agar mendapatkan timbal balik dan memuaskan kebutuhan para pelanggan. Perakitan adalah proses penyusunan dan pemasangan beberapa bagian komponen menjadi suatu alat atau mesin yang mempunyai fungsi tertentu. Pemasangan dilakukan pada mesin TDF, mesin TDF adalah Mesin TDF dengan kepanjangannya yaitu *transverse ducting flange*, merupakan mesin membentuk (*forming*) dengan menggunakan komponen *roller* sebagai media pembentukan benda kerja. *Roll forming* juga disebut *contour roll forming* adalah proses pembengkokan kontinu dimana menghasilkan bentuk sesuai dengan bentuk dari *roller* tersebut kedalam bentuk yang diinginkan.

Maka dari itu pada penelitian ini akan dilakukan proses perakitan mesin *Transverse Ducting Flange* (TDF) yang nantinya akan digunakan untuk membuat komponen *flange ducting*, yang dimana *flange* ini berfungsi sebagai penghubung sambungan antar *ducting*, sehingga menjadi satu kesatuan yang berfungsi sebagai media penyaluran udara yang sering dijumpai pada gedung-gedung perkantoran, pusat perbelanjaan, hotel dan gedung lainnya. Proses perakitan yang dilakukan yaitu memasangkan komponen-komponen mesin TDF yang sudah ada, dengan menambah komponen *roller* agar mesin dapat bekerja secara efisien, dan sehingga dapat memudahkan operator dalam pengoperasian mesin tersebut, dan tidak lupa untuk menganalisa perbandingan dari produk yang dihasilkan oleh kedua mesin tersebut, sehingga uji coba yang dilakukan oleh mesin yang akan dimodifikasi akan mempertimbangkan produk dan penggunaan mesin yang akan dipilih nantinya. Dan dalam penelitian ini akan membahas sebagaimana yang tertera pada judul laporan yaitu “Perakitan Mesin *Transverse Ducting Flange*”

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari pada penyusunan penelitian ini adalah untuk mengetahui:

1. Penggunaan mesin perkakas pada komponen yang dirakit untuk mesin TDF.
2. Tahap perakitan atau *assembly* pada mesin TDF.
3. Pengujian fungsional pada mesin TDF.

C. Cakupan Penelitian

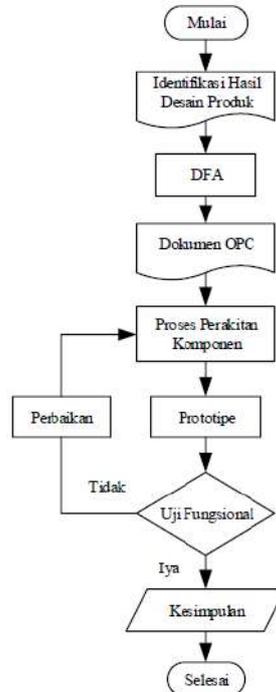
Berdasarkan tujuan penelitian dari perakitan mesin *transverse ducting flange* adapun cakupan masalah, yaitu :

1. Metode perakitan yang digunakan adalah DFMA yang merujuk pada bagian DFA.
2. Perakitan dilakukan di PT. Defa Angkasa Utama

¹Corresponding author: istiharaibnuhajar00@gmail.com

2. METODE PENELITIAN

Dalam perakitan mesin TDF memerlukan metode dan tahap-tahap untuk menentukan proses perakitan yang akan dilakukan, metode penelitian yang dilakukan yaitu metode DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*) yang berujuk pada bagian DFA (*Design for Assembly*) yang dimana pada bagian metode ini berisikan dokumen OPC (*Operation Process Chart*) dan dengan pemaparan diagram alir (*flowchart*) penelitian ini yang akan dijelaskan tahapan untuk menentukan apakah proses perakitan alat ini akan berjalan dengan baik atau tidak. Berikut adalah diagram alir dari penelitian ini :



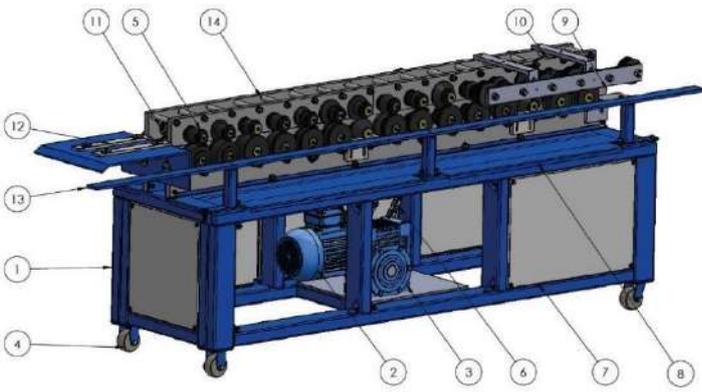
Gambar 1 Diagram Alir Proses Perakitan.

Dari proses identifikasi desain hasil perancangan tersebut akan menghasilkan daftar bahan atau material dan komponen yang terdapat pada BOM (*Bill of Material*). Setelah identifikasi desain hasil perancangan diperoleh daftar kebutuhan bahan dan komponen sebagai berikut :

1. Identifikasi hasil desain produk/perancangan

Berikut adalah gambar rancangan alat berupa BOM (*Bill of Material*) dari desain komponen keseluruhan mesin TDF:

Tabel 1 *Bill of Material* (BOM).

Gambar	Keterangan		
	No.	Nama Komponen	Jumlah
	1	Rangka Mesin	1
	2	Motor Listrik	1
	3	<i>Gearbox</i>	1
	4	<i>Trolley Wheels</i>	4
	5	<i>Roller</i>	60
	6	<i>Chain</i>	2
	7	<i>Base Cover</i>	8
	8	<i>Top Cover</i>	2
	9	<i>Roller Mounting Lower Side</i>	2
	10	<i>Roller Mounting Upper Side</i>	4
	11	<i>Gear</i>	44
	12	<i>Stopper</i>	2
	13	Rel	1
	14	<i>Shaft</i>	68

2. Identifikasi kebutuhan bahan dari komponen yang dibuat. Komponen yang akan dibuat dari mesin TDF ini yaitu:

- a. Rangka utama mesin
- b. Penutup sisi atas rangka (kanan)
- c. Penutup sisi atas rangka (kiri)
- d. Penutup bawah tipe 1
- e. Penutup bawah tipe 2
- f. Penutup bawah tipe 3
- g. Penyangga benda kerja
- h. Alas komponen transmisi
- i. Pin pasak

3. Identifikasi kebutuhan komponen yang dibeli. Komponen yang akan dibeli dari mesin TDF ini yaitu:

Tabel 2 Daftar Komponen yang Dibeli.

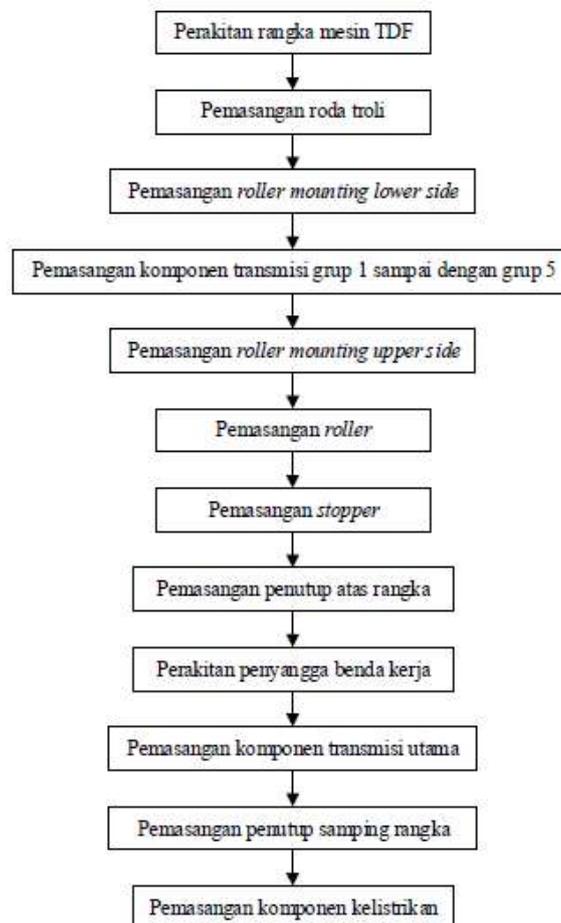
No.	Nama komponen	Spesifikasi	Jumlah
1	<i>Roller Mounting Upper Side</i>	(2129 × 200 × 25) mm	2
2	<i>Roller Mounting Lower Side 1</i>	(994 × 107 × 25) mm	2
3	<i>Roller Mounting Lower Side 2</i>	(1088 × 107 × 25) mm	2
4	<i>Gear 1</i>	Ø89 × 22 mm	12
5	<i>Gear 2</i>	Ø89 × 22 mm	2

No.	Nama komponen	Spesifikasi	Jumlah
6	<i>Gear 3</i>	Ø115 × 22 mm	15
7	<i>Gear 4</i>	Ø68 × 22 mm	15
8	<i>Shaft 1</i>	Ø40 × 194 mm	12
9	<i>Shaft 2</i>	Ø40 × 165 mm	2
10	<i>Shaft 3</i>	Ø45 × 307 mm	15
11	<i>Shaft 4</i>	Ø45 × 307 mm	2
12	<i>Shaft 5</i>	Ø20 × 192 mm	24
13	<i>Roller</i>	-	60
14	<i>Roller karet</i>	Ø97 × 38 mm	6
15	<i>Batang stopper</i>	350 × 45 × 10 mm	2
16	<i>Batang rel</i>	2969 × 60 × 10 mm	1
17	<i>Sprocket</i>	Ø117 × 40 mm	4
18	Motor listrik	Type : BLA-100L 2-4 Volt : 220/380 RPM : 1420 A : 1,4 – 6,38 HP : 4 KW : 3	1
19	<i>Gearbox</i>	Type NMRV : 110 Ratio : 1 :30	1
20	<i>Poros gearbox</i>	Ø 40 × 300 mm	1
21	<i>Pasak tipe 1</i>	20 × 7,5 mm	95
22	<i>Pasak tipe 2</i>	50 × 7,5 mm	2
23	<i>Bearing</i>	6007 2RS (<i>snap ring</i>)	64
24	<i>Bearing</i>	6007 2RS (<i>not - snap ring</i>)	76
25	<i>Bearing</i>	6005 RS	4
26	<i>Bearing</i>	<i>Needle Roller Bearing</i> Ø25 mm × 20 mm	6
27	<i>Rantai</i>	Panjang 3000 mm	2
28	<i>Baut L</i>	M10, panjang 107 mm, kepala baut 12 mm	8
29	<i>Baut L + kepala</i>	M6, panjang 38 mm	12
30	<i>Baut</i>	M12, panjang 186 mm	12
31	<i>Mur</i>	M12	48
32	<i>Ring per</i>	M12	48
33	<i>Washer</i>	M12	48
34	<i>Mur</i>	M16	24

No.	Nama komponen	Spesifikasi	Jumlah
35	Ring per	M16	24
36	Washer	M16	24
37	Baut L	M6	67
38	Ring per	M6	67
39	Fender washer	M6	67
40	Trolley Wheels	Rigid (Ranger Germany)	2
41	Trolley Wheels	Flexible (Ranger Germany)	2
42	Controller	Merek : VYBA Tipe : VB QS5 - 15\S	1
43	Stop kontak	Legrand 3e+E 32A	1
44	Kabel listrik	10 meter	1

3. HASIL

Mengacu pada diagram alir penelitian ini, kegiatan utama yang dilakukan yaitu merakit setiap komponen dari mesin dan kemudian mengujinya. Dalam penelitian ini memiliki alur atau tahapan pada proses perakitan yang dimana akan dimulai dari mempersiapkan alat dan bahan terlebih dahulu sebelum melakukan perakitan. Terdapat dua tahap perakitan yang pertama yaitu perakitan rangka mesin dan yang kedua yaitu perakitan keseluruhan komponen mesin. Alur atau tahap perakitan mesinnya sebagai berikut:



Gambar 2 Alur Perakitan.

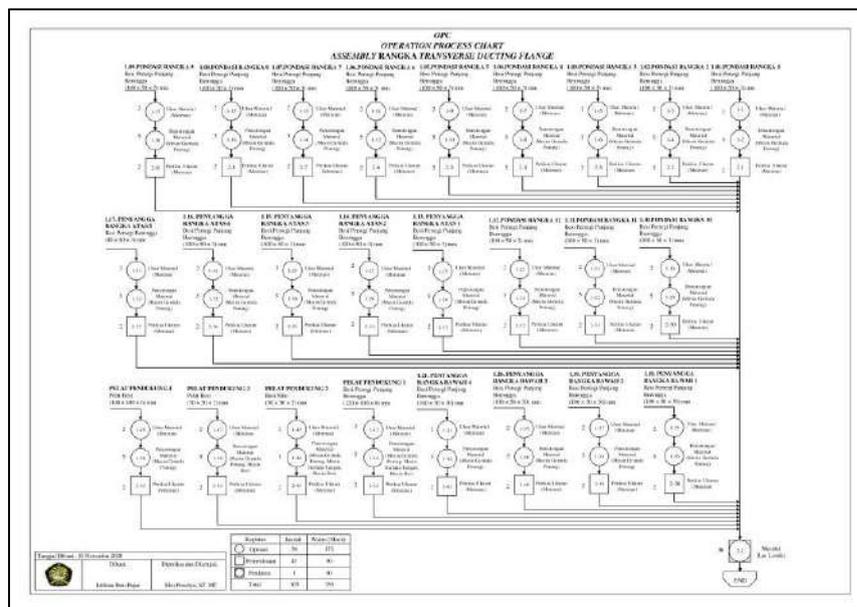
1. Tahap pertama

Tahap pertama perakitan yang dilakukan yaitu merakit rangka terlebih dahulu, karena rangka ini merupakan suatu bagian mendasar dari pada proses perakitan. Perakitan yang dilakukan yaitu dengan proses pengelasan, yang dimana menyatukan batang perbatang yang telah disiapkan perbagian atau perukuran dan beserta bagian pendukungnya. Dengan konfigurasi pemotongannya sebagai berikut:

Tabel 2 Konfigurasi Pemotongan Komponen Rangka

Ukuran (mm)	Bahan/Material	Panjang (mm)	Jumlah
100 × 50 × 3,2	Besi persegi panjang berongga / <i>galvanis steel</i>	2152	2
100 × 50 × 3,2	Besi persegi panjang berongga / <i>galvanis steel</i>	1952	2
100 × 50 × 3,2	Besi persegi panjang berongga / <i>galvanis steel</i>	618	2
100 × 50 × 3,2	Besi persegi panjang berongga / <i>galvanis steel</i>	479	8
100 × 50 × 3,2	Besi persegi panjang berongga / <i>galvanis steel</i>	429	4
100 × 50 × 3,2	Besi persegi panjang berongga / <i>galvanis steel</i>	418	4
40 × 40 × 3	Besi kotak berongga / <i>galvanis steel</i>	1952	1
100 × 100 × 8	Besi pelat / <i>plain carbon steel</i>	-	4
77 × 42 × 2	Besi pelat / <i>plain carbon steel</i>	-	2
50 × 50 × 2	Besi pelat / <i>plain carbon steel</i>	-	32
100 × 100 × 6	Besi pelat / <i>plain carbon steel</i>	-	4

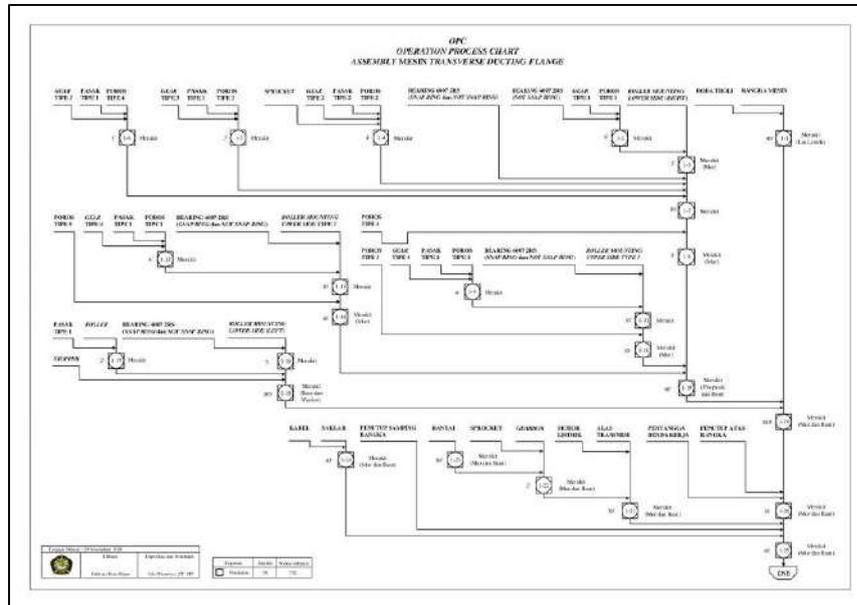
Jenis pengelasan yang dilakukan yaitu las elektroda terbungkus, dengan spesifikasi busur elektrodanya yaitu E6013 RB-26 dan beserta mesin lasnya yaitu mesin las trafo. Alat bantu perakitan lainnya yaitu alat takik atau *crane* yang berfungsi sebagai media untuk mengangkat benda kerja yang memiliki beban berlebih, sehingga memudahkan proses berlangsungnya dalam perakitan. Berikut ditampilkan suatu alur atau *operation process chart* (OPC) yang terdapat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3 Operation Process Chart Assembly Rangka Mesin TDF.

2. Tahap kedua

Lalu setelah dilakukan perakitan pada komponen rangka mesin, maka selanjutnya perakitan komponen per komponen dari pada mesin TDF. Alat bahan yang dibutuhkan saat perakitan yaitu berupa kunci inggris, palu baja, gemuk/oli, kunci L, tensioner dan takik. Berikut ditampilkan suatu alur atau *operation process chart* (OPC) yang terdapat pada gambar di bawah ini:



Gambar 4 *Operation Process Chart* Assembly Mesin TDF.



Gambar 5 Hasil Perakitan Mesin *Transverse Ducting Flange* (TDF)

Setelah komponen-komponen mesin TDF selesai dirakit, selanjutnya akan dilakukan uji fungsional untuk melihat fungsi pada mesin tersebut apakah bekerja dengan baik atau adanya kendala.



Gambar 5 Uji Fungsional Mesin *Transverse Ducting Flange* (TDF)

Dalam pengujian fungsional ini diperlukan benda kerja pelat BJLS dengan ketebalan 0,8 mm untuk diuji proses pengerolannya. Hasil pengujiannya yaitu sebagai berikut:

1. Pembentukan benda kerja atau produk yang dihasilkan masih belum sempurna, dikarenakan jarak pemasangan posisi *roller* dengan *mounting* tidak sesuai dengan proses pembentukannya, sehingga produk mengalami pembentukan yang berbeda dari yang diinginkan. Untuk produk yang dihasilkan masih tidak merata dibagian pemotongannya, dan pembentukannya juga mengalami kemiringan.
2. Motor listrik berputar secara normal dan mampu menghantarkan putaran pada komponen *gearbox*.
3. Setelah putaran direduksi, putaran pada komponen *sprocket* dan rantai berfungsi dengan baik, karena mampu menghubungkan *sprocket* satu dengan *sprocket* yang lainnya, sehingga meneruskan daya putar untuk menggerakkan poros beserta *gear*.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari proses pembuatan mesin *transverse ducting flange* ini yaitu sebagai berikut:

1. Alat atau mesin dan bahan pembantu dalam proses perakitan yaitu berupa kunci inggris, palu baja, gemuk/oli, kunci L, tensioner, mesin las trafo dan takik.
2. Tahapan utama dalam perakitan yang telah dilakukan pada mesin TDF ini yaitu: (1) Perakitan rangka mesin TDF, (2) Pemasangan *roller mounting lower side*, (3) Pemasangan komponen transmisi grup 1 sampai dengan grup 5, (4) Pemasangan *roller mounting upper side*, (5) Pemasangan *roller*, (6) Pemasangan komponen transmisi utama, (7) Pemasangan penutup atau *cover* mesin, dan yang terakhir (8) Pemasangan komponen kelistrikan.
3. Uji fungsional yang didapat dari pada penelitian mesin TDF ini yaitu:
 - a. Pembentukan benda kerja atau produk yang dihasilkan masih belum sempurna, dikarenakan jarak pemasangan posisi *roller* dengan *mounting* tidak sesuai dengan proses pembentukannya. Untuk solusi dari pada kendala yang terjadi yaitu perlu dilakukan pembongkaran dan merakit kembali komponen *roller* dengan menyesuaikan dan memperhatikan jarak antara *roller* dengan *mounting*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur tercurahkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas karunia-Nya, maka penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik meski jauh dari kata sempurna. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan penelitian ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Eko Prasetyo, ST. MT., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan dalam penyusunan penelitian ini;
 - (2) Ir. Rudi Hermawan, MM. MT., selaku dosen jurusan Teknik Mesin, Universitas Pancasila dan sekaligus pimpinan PT. Defa Angkasa Utama, yang telah menyediakan tempat untuk menjalankan penelitian ini;
 - (3) Orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
 - (4) Sahabat yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.
- Akhir kata, semoga penelitian ini membawa manfaat bagi pembangun ilmu, terkhusus selaku penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Hitomi, “*Manufacturing Systems Engineering*,” New Delhi : Vinod Vinishtha, (1999).
- [2] M. Groover, “*Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes and Systems*,” John Wiley Sons, (2010).
- [3] Boothroyd, Geoffrey; Dewhurst, Peter; and Knight, Winston, *Product Design for Manufacture and Assembly*. New York: Marcel Dekker, Inc., (2002).
- [4] Syafa’at, “Peta Rakitan, Peta Proses Operasi Dan Diagram Tali pada Analisis Aliran Bahan Puller Jaws,” *J. Ilmiah Momentum*, Vol. 3, No. 1:6 – 12(2007).

SUBMISSION 30**Analisis Perencanaan Kebutuhan Bahan Baku Hospital Bed Menggunakan *Material Requirement Planning***Nur Yulianti Hidayah¹, dan Angela Valerie Putri¹¹Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

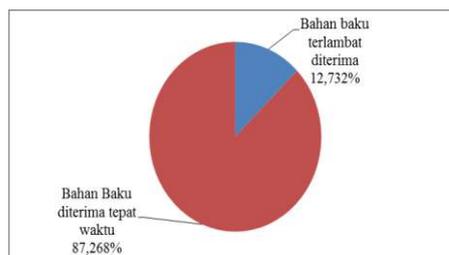
Abstrak. Perencanaan kebutuhan bahan baku perlu dilakukan untuk memenuhi segala kebutuhan bahan baku untuk proses produksi suatu produk. Produk yang menjadi objek penelitian ini adalah *hospital bed*. Perusahaan yang memproduksi *hospital bed* kerap kali mengalami keterlambatan dalam penerimaan bahan baku yang menyebabkan proses produksi terhambat. Tujuan dari penelitian ini adalah menyusun perencanaan kebutuhan bahan baku *hospital bed* selama periode Juli- Desember 2020 menggunakan *Material Requirement Planning* dengan teknik *lot size Lot for Lot*, *Economic Order Quantity* (EOQ), dan *Period Order Quantity* (POQ). Hasil perhitungan menunjukkan penyusunan perencanaan kebutuhan bahan baku *hospital bed* selama periode Juli-Desember 2020 dengan teknik *lot size Period Order Quantity* memiliki total biaya persediaan terendah yaitu sebesar Rp 9.648.013.

Kata Kunci- *Hospital Bed, Perencanaan Kebutuhan Bahan Baku, MRP, Teknik Lot Size, Total Biaya Persediaan*

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, bidang industri semakin berkembang menuju pembangunan berkelanjutan di era industri 4.0. Pembangunan dan kemajuan industri di Indonesia telah berkembang pesat dan sedang dihadapkan pada persaingan yang meningkat dari segi teknologi, ilmu pengetahuan, serta kemajuan dalam proses produksi yang dilakukan. Perusahaan perlu meningkatkan performansinya agar dapat bersaing dengan perusahaan lainnya. Perusahaan perlu memperhatikan beberapa aspek penting dalam menghadapi tingginya tingkat persaingan yang sedang terjadi dan akan terjadi, salah satunya adalah dalam menyusun perencanaan produksi. Menyusun suatu perencanaan produksi merupakan proses awal yang dilakukan sebelum memulai proses produksi. Dalam perencanaan produksi, menentukan jumlah produksi menjadi salah satu tujuan bagi perusahaan untuk mengantisipasi terjadinya kelebihan maupun kekurangan jumlah produksi. Perencanaan kebutuhan bahan baku perlu dilakukan untuk memenuhi segala kebutuhan bahan baku untuk proses produksi suatu produk. Maka, dibutuhkan suatu perencanaan material untuk memenuhi kebutuhan bahan baku dengan tepat sesuai lead time pemesanan dengan menggunakan *Material Requirement Planning* (MRP) sehingga kegiatan untuk memenuhi permintaan konsumen tidak terhambat dan mengurangi terjadinya overstock maupun stockout. *Material Requirement Planning* (MRP) dapat didefinisikan sebagai suatu teknik yang sistematis dalam penentuan kuantitas serta waktu dalam proses pengendalian kebutuhan bahan terhadap komponen-komponen permintaan yang saling bergantung [1]. Fungsi MRP adalah untuk menentukan kebutuhan terhadap bahan baku dan menentukan rencana pemesanan bahan baku [2]. Objek dalam penelitian ini adalah *hospital bed*. Dalam kegiatan produksi *hospital bed*, perusahaan menerapkan sistem produksi *make to stock*. Perusahaan melakukan *stock raw material* dan *assembly*. Namun, saat gudang sudah penuh maka proses *assembly* untuk persediaan akan dihentikan dan hanya melakukan *stock raw material* saja.

Kendala yang saat ini terjadi pada rantai produksi *hospital bed* adalah bahan baku yang dibutuhkan tidak *ready stock*, bahan baku yang dipesan tidak datang tepat waktu, dan bahan baku yang sudah sampai tidak sesuai dengan kebutuhan sehingga perlu dilakukan pemesanan ulang dan membutuhkan waktu lebih lama. Kendala-kendala yang terjadi dapat menyebabkan proses produksi terhambat sehingga terjadi keterlambatan dalam penyelesaian pesanan dan biaya produksi menjadi bertambah. Dalam melakukan pemesanan bahan baku, perusahaan belum menerapkan metode untuk membuat suatu perencanaan kebutuhan bahan baku dan pemesanan baru dilakukan ketika bahan baku yang diperlukan sudah tidak ada *stock* ataupun *stock* di gudang tidak mencukupi. Berdasarkan data yang diperoleh dari perusahaan terjadi keterlambatan penerimaan bahan baku dari *supplier* pada bulan September-Oktober 2019. Gambar 1 merupakan data keterlambatan penerimaan bahan baku yang telah dipesan pada bulan September-November 2019.



Gambar 1 Persentase Keterlambatan Penerimaan Bahan Baku Bulan September-November 2019.

¹Corresponding author: nurhidayah@univpancasila.ac.id

Dari gambar 1 dapat dilihat bahwa terjadi keterlambatan penerimaan bahan baku yang dipesan dari *supplier* pada bulan September-November 2019 dengan persentase sebesar 12,732% dan bahan baku yang diterima tepat waktu sebesar 87,268%. Berdasarkan data pada gambar 2 maka dibutuhkan perencanaan kebutuhan bahan baku yang tepat untuk menghindari terjadinya keterlambatan penerimaan bahan baku yang dapat menyebabkan jadwal proses produksi terhambat sehingga perusahaan tidak dapat memenuhi permintaan konsumen tepat waktu.

2. METODE

a. Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan merupakan studi awal yang dilakukan untuk menentukan suatu permasalahan yang terjadi dan teori-teori yang digunakan dalam penelitian.

1. Studi Lapangan. Studi lapangan dilakukan di divisi alat kesehatan yang berlokasi Manggarai, Jakarta. Objek penelitian ini adalah perencanaan kebutuhan bahan baku produk *hospital bed* dengan menggunakan *Material Requirement Planning* (MRP). MRP merupakan suatu konsep dalam manajemen produksi yang membahas cara yang tepat dalam perencanaan kebutuhan bahan baku dalam proses produksi. Sistem MRP adalah suatu prosedur logis yang dirancang untuk menerjemahkan jadwal induk produksi menjadi “kebutuhan bersih” untuk semua *item*. MRP dikembangkan untuk membantu perusahaan manufaktur dalam mengatasi kebutuhan akan *item-item* dependent secara baik dan efisien. Suatu *item* memiliki dependent demand bila permintaan terhadap *item* tersebut dipengaruhi akan permintaan terhadap *item* yang lain [3].
2. Studi Pustaka. Studi pustaka digunakan untuk memperoleh informasi berdasarkan penelitian yang dilakukan. Sumber studi literatur berupa buku-buku dan jurnal dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Literatur yang digunakan sebagai referensi adalah buku-buku dan jurnal mengenai teori perencanaan produksi serta MRP.

b. Pengumpulan Data

Data terkait yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh dari perusahaan yaitu sebagai berikut :

- Data peramalan permintaan *hospital bed* selama tahun 2020 (tidak ada perubahan hasil peramalan selama bulan Januari-Mei 2020).
- Data *bill of material*, jadwal kedatangan bahan baku (*schedule receipt*) dan *lead time* untuk masing-masing bahan baku *hospital bed*.
- Jumlah hari kerja dan jam kerja.
- Data persediaan bahan baku di gudang.
- Data biaya-biaya yang terdiri dari harga bahan baku per unit, biaya pemesanan bahan baku dan biaya penyimpanan bahan baku.

c. Pengolahan dan Analisis Data

Tahapan yang dilakukan pada pengolahan dan analisis data yaitu sebagai berikut

- Membuat perencanaan produksi *hospital bed* periode Juli-Desember 2020. Perencanaan produksi merupakan pernyataan rencana produksi ke dalam bentuk agregat yang akan dijadikan sebagai acuan untuk merancang jadwal induk produksi [4]. Dalam membuat perencanaan produksi *hospital bed* periode Juli-Desember 2020, peneliti menggunakan metode *trial and error* dengan variasi jam kerja.
- Menyusun jadwal induk produksi periode Juli-Desember 2020. Jadwal induk produksi merupakan suatu pernyataan tentang produk akhir dari suatu perusahaan industri manufaktur yang merencanakan produksi berkaitan dengan kuantitas dan periode waktu [1].
- Menyusunan MRP *hospital bed* menggunakan metode lot size POQ, EOQ dan L4L. Penyusunan MRP dilakukan untuk menentukan jumlah kebutuhan bersih berdasarkan kebutuhan kotor dari jadwal induk produksi dengan tahapan sebagai berikut [5]:
 - a. Proses *netting*, menentukan jumlah kebutuhan bersih. Perhitungan dilakukan dengan cara mengurangi jumlah kebutuhan kotor dengan jumlah persediaan pada awal perencanaan dan jumlah material yang sedang dipesan.
 - b. Proses *lotting*, menentukan besarnya pesanan setiap *item* dengan menggunakan metode *lot size* atau teknik penetapan ukuran lot. Ada beberapa cara untuk menentukan ukuran lot dalam sebuah sistem MRP yang juga digunakan pada penelitian ini, yaitu [6]:
 - 1) *Periode order Quantity* (POQ). Teknik lot ini membuat pesanan berdasarkan dengan menjumlahkan kebutuhan bersih pada periode yang akan datang. Untuk menghitung ukuran lot dengan metode POQ menggunakan rumus sebagai berikut:

$$t_0 = \sqrt{\frac{2A}{Di}}$$

POQ to arrive in week $t =$ Total gross requirements for P week, including week $t -$ on hand inventory balance at the end of week $t-1$
(2)

- 2) *Economic Order Quantity* (EOQ). Pada teknik EOQ ini besarnya ukuran lot atau jumlah pemesanan adalah tetap dengan memperhatikan biaya pemesanan dan biaya penyimpanan yang ekonomis. Berikut perhitungan lot size dengan EOQ:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2AD}{i}}$$

Dimana :

D = jumlah permintaan per periode

A = biaya pemesanan per satu kali pesam i =

biaya penyimpanan per unit per tahun

- 3) *Lot for Lot* (L4L). *Lot fot Lot* merupakan teknik lot yang digunakan perusahaan saat ini. Pada teknik ini jumlah pemesanan adalah sesuai dengan kebutuhan pada periode yang akan datang. Untuk menghitung jumlah pemesanan yang akan dilakukan dengan menggunakan metode L4L, digunakan perhitungan sebagai berikut:

$lot\ size\ to\ arrive\ in\ week\ t =$ Gross requirements for week $t -$ on hand inventory end of week $t-1$

- c. *Offesting*, dilakukan untuk menentukan waktu melakukan pemesanan untuk memenuhi kebutuhan dengan memperhatikan *lead time* pemesanan. Rencana pemesanan diperoleh dengan mengurangi periode dibutuhkan material dengan *lead time*.
- d. *Explosion*, pada proses ini dilakukan penentuan kebutuhan kotor untuk *item* atau material pada level yang lebih rendah.
- e. Mengulangi tahap *netting*, *lotting*, *offseting*, dan *explosion* untuk setiap item.
 - Menghitung total biaya persediaan bahan baku *hospital bed* untuk masing-masing metode *lot size* yang digunakan.
 - Memilih teknik lot yang tepat untuk digunakan dalam perencanaan bahan baku berdasarkan total biaya terendah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Data Peramalan Permintaan

Data peramalan permintaan *hospital bed* diperoleh dari perusahaan. Data yang dikumpulkan adalah peramalan permintaan tahun 2020. Data peramalan permintaan untuk *hospital bed* periode Juli-Desember 2020 ditampilkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Data Permintaan *Hospital Bed*.

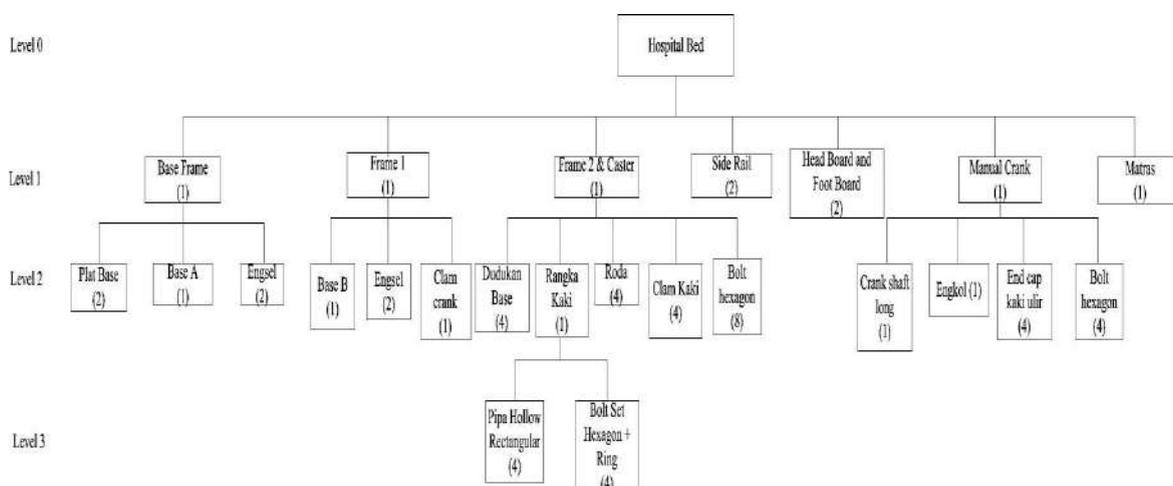
Data Permintaan <i>Hospital Bed</i>	Kolom A (detik)
Juli	21
Agustus	35
September	24
Oktober	27
November	19
Desember	13

b. Bill of Material

Bill of material merupakan gambaran produk akhir yang terdiri dari bahan baku yang diperlukan untuk merakit atau memproduksi suatu produk. Data *bill of material hospital bed* diperoleh dari perusahaan. Berikut merupakan *bill of material hospital bed* yang disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 2.

Tabel 2 *Bill of Material.*

Level	No.	Bahan Baku	Qty	Decision	
				Make	Buy
0		<i>Hospital Bed</i>	1	√	
1	1.1	<i>Base Frame</i>	1	√	
1	1.2	<i>Frame 1</i>	1	√	
1	1.3	<i>Frame 2 & Caster</i>	1	√	
1	1.4	<i>Side Rail</i>	2		√
1	1.5	<i>Head and foot board</i>	2		√
1	1.6	<i>Manual Crank</i>	1	√	
1	1.7	<i>Matras</i>	1		√
2	2.1.1	<i>Plat Base</i>	2		√
2	2.1.2	<i>Base A</i>	1		√
2	2.1.3	<i>Engsel</i>	2		√
2	2.2.1	<i>Base B</i>	1		√
2	2.2.2	<i>Engsel</i>	2		√
2	2.2.3	<i>Clam Crank</i>	1		√
2	2.3.1	<i>Dudukan Base</i>	4		√
2	2.3.2	<i>Rangka Kaki</i>	1	√	
2	2.3.3	<i>Roda</i>	4		√
2	2.3.4	<i>Clam kaki</i>	4		√
2	2.3.5	<i>Bolt Hexagon</i>	8		
2	2.6.1	<i>Crank Shaft long</i>	1		√
2	2.6.2	<i>Engkol</i>	1		√
2	2.6.3	<i>End cap kaki ulir</i>	4		√
2	2.6.4	<i>Bolt hexagon</i>	4		√
3	3.3.1.1	<i>Pipa Hollow Rectangular</i>	4		√
3	3.3.1.2	<i>Bolt Set Hexagon + Ring</i>	4		√



Gambar 2 *BOM Hospital Bed*

c. Pengolahan Data

- 1) *Perencanaan Produksi*. Perencanaan produksi disusun untuk menentukan jumlah produk akhir yang akan diproduksi pada setiap periode dimana data kebutuhan produk *hospital bed* diperoleh dari hasil peramalan pada periode Juli-Desember 2020. Dalam membuat perencanaan produksi digunakan metode *trial and error* dengan variasi jam kerja. Penyusunan perencanaan produksi adalah sebagai berikut :

Kapasitas regular time bulan Juli = Jumlah hari kerja x jam kerja/hari

$$= 22 \text{ hari} \times 7 \text{ jam/hari} = 154 \text{ jam}$$

Jam kerja yang dibutuhkan untuk periode Juli = Jumlah permintaan x waktu siklus/unit

$$= 21 \text{ unit} \times 4,3 \text{ jam/unit} = 90,3 \text{ jam}$$

Maka, didapatkan hasil perencanaan produksi Hospital Bed seperti yang disajikan pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3 Perencanaan Produksi *Hospital Bed* Periode Juli-Desember 2020

Bulan	Permintaan (Unit)	Jam Kerja Tersedia	Jam Kerja Yang Dibutuhkan	Overtime (Jam)	Undertime (Jam)
Juli	21	154	90,3	0	63,7
Agustus	35	140	150,5	10,5	0
September	24	154	103,2	0	50,8
Oktober	27	147	116,1	0	30,9
November	19	147	81,7	0	65,3
Desember	13	140	55,9	0	84,1

Tabel 4 Perencanaan Produksi Per Minggu *Hospital Bed* periode Juli-Agustus 2020

Bulan	Jumlah Produksi (unit)	Minggu ke-			
		1	2	3	4
Juli	21	5	5	5	6
Agustus	35	10	10	5	10
September	24	6	6	6	6
Oktober	27	7	7	7	6
November	19	4	5	5	5
Desember	13	3	3	4	3

- 2) *Jadwal Induk Produksi*. Penyusunan jadwal induk produksi dilakukan untuk menentukan jumlah produksi akhir pada setiap periode. Penyusunan jadwal induk produksi untuk *hospital bed* dibuat dalam mingguan selama periode Juli-Desember 2020 seperti yang terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Jadwal Induk Produksi

Bulan	Jumlah Produksi (unit)		Minggu ke-			
			1	2	3	4
Juli	21	RT	5	5	5	6
		OT	-	-	-	-
		Jumlah	5	5	5	5
Agustus	35	RT	5	5	5	5
		OT	5	5	-	5
		Jumlah	10	10	5	10
September	24	RT	6	6	6	6
		OT	-	-	-	-
		Jumlah	6	6	6	6
Oktober	27	RT	7	7	7	6
		OT	-	-	-	-
		Jumlah	7	7	7	6
November	19	RT	4	5	5	5
		OT	-	-	-	-
		Jumlah	4	5	5	5
Desember	13	RT	3	3	4	3
		OT	-	-	-	-
		Jumlah	3	3	4	3

- 3) *Perencanaan Kebutuhan Bahan Baku Hospital Bed dengan MRP*. Setelah dilakukan penyusunan Jadwal Induk Produksi *Hospital Bed* untuk periode Juli-Desember 2020 kemudian dilakukan penyusunan MRP dilakukan dengan menggunakan teknik *lot size* L4L, EOQ, dan POQ. Dalam penyusunan MRP dibutuhkan data-data *inventory*, *schedule receipt*, *leadtime*, biaya pemesanan, dan biaya penyimpanan untuk setiap bahan baku. Data yang dibutuhkan dalam penyusunan MRP dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Data yang dibutuhkan dalam MRP

Level	Bahan Baku	Qty	Lead Time	On Hand Inventory (unit)	Schedule Receipt (unit)	Biaya (Rp)		
						Unit	Penyimpanan /unit/minggu	Pesan
0	<i>Hospital Bed</i>	1	4,3 Jam		-			
1	<i>Base Frame</i>	1	30 menit	10	-			
1	<i>Frame 1</i>	1	30 menit	10	-			
1	<i>Frame 2 & Caster</i>	1	45 menit	5	-			
1	<i>Side Rail</i>	2	2 minggu	20	-	685000	1712,5	175000
1	<i>Head and foot board</i>	2	2 minggu	40	-	620000	1550	175000
1	<i>Manual Crank</i>	1	35 menit		-			
1	<i>Matras</i>	1	1 minggu	15	-	726000	1815	155000
2	<i>Plat Base</i>	2	1 minggu	10	-	29400	73,5	75000
2	<i>Base A</i>	1	2 minggu	10	-	220000	550	75000
2	<i>Engsel</i>	2	1 minggu	40	-	11600	29	75000
2	<i>Base B</i>	1	2 minggu	10	-	449000	1122,5	75000

2	Engsel	2	1 minggu	40	-	11600	29	75000
2	Clam Crank	1	1 minggu	15	-	33000	82,5	75000
2	Dudukan Base	4	1 minggu	20	-	19700	95	75000
2	Rangka Kaki	1	40 menit	5	-			
2	Roda	4	1 minggu	40	-	33000	82,5	40000
2	Clam kaki	4	1 minggu	24	-	18700	46,75	75000
2	Bolt Hexagon	8	1 minggu	220	-	2500	6,25	12000
2	Crank Shaft long	1	2 minggu	14	-	462000	1155	100000
2	Engkol	1	1 minggu	10	-	41400	103,5	75000
2	End cap kaki ulir	4	1 minggu	24	-	9200	23	75000
2	Bolt hexagon	4	1 minggu	220	-	2500	6,25	12000
3	Pipa Hollow Rectangular	4	1 minggu	30	-	200000	500	60000
3	Bolt Set Hexagon + Ring	4	1 minggu	160	-	3000	8,75	12000

- 4) *Perhitungan MRP dengan Lot for Lot*. Pada teknik *lot sizing lot for lot* jumlah pemesanan sesuai dengan kebutuhan. Teknik lot for lot digunakan oleh perusahaan saat ini. Adapun perhitungan MRP dengan teknik *lot size lot for lot* disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil Perhitungan MRP dengan *Lot for Lot*

Bahan Baku	Total Inventory (Unit)	Jumlah Inventory Akhir (Unit)	Frekuensi Pemesanan	Total Biaya (Rp)
Plat Base	0	0	21	1.575.000
Base A	5	0	21	1.577.750
Base B	5	0	21	1.580.613
Clam Crank	14	0	20	1.501.155
Engsel	20	0	21	1.575.580
Dudukan Base	0	0	22	1.650.000
Roda	12	0	22	880.990
Clam kaki	4	0	22	1.650.187
Bolt Hexagon	288	0	20	241.800
Side Rail	10	0	22	3.867.130
Head and foot board	60	0	21	3.768.000
Crank Shaft long	0	0	20	2.000.000
Engkol	0	0	21	1.575.000
End cap kaki ulir	0	0	21	1.575.000
Pipa Hollow Rectangular	10	0	22	1.325.000
Bolt Set Hexagon + Ring	428	0	18	219.745
Matras	15	0	21	3.282.225
Total				29.845.175

Berdasarkan perhitungan MRP dengan *lot for lot* pada tabel 7 didapatkan total biaya persediaan sebesar Rp 29.845.175.

- 5) *Perhitungan MRP dengan EOQ*. *Lot size EOQ* akan digunakan pada bahan baku *hospital bed* yang diperoleh dengan cara membeli dari *supplier* luar, sementara bahan baku yang dibuat atau diproduksi sendiri oleh perusahaan menggunakan *lot size lot for lot*. Pada teknik *lot sizing EOQ*

jumlah pemesanan sesuai dengan perhitungan kebutuhan yang ekonomis. Hasil perhitungan jumlah pemesanan yang ekonomis dengan EOQ disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Hasil Perhitungan EOQ

Bahan Baku	Demand/minggu	EOQ (unit)
<i>Side Rail</i>	12 unit	50
<i>Head and foot board</i>	12 unit	52
Matras	6 unit	33
<i>Plat Base</i>	12 unit	157
<i>Base A</i>	6 unit	41
Engsel	24 unit	250
<i>Base B</i>	6 unit	29
<i>Clam Crank</i>	6 unit	105
Dudukan Base	24 unit	195
Roda	24 unit	152
Clam kaki	24 unit	278
<i>Crank Shaft long</i>	6 unit	33
Engkol	6 unit	94
End cap kaki ulir	24 unit	198
<i>Bolt hexagon</i>	70 unit	519
<i>Pipa Hollow Rectangular</i>	24 unit	76
<i>Bolt Set Hexagon + Ring</i>	24 unit	257

Setelah itu dilakukan perhitungan MRP untuk masing-masing bahan baku hospital bed dengan ukuran lot EOQ, didapatkan hasil yang disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9 Perhitungan MRP dengan EOQ

Bahan Baku	Total Inventory (Unit)	Jumlah Inventory Akhir (Unit)	Frekuensi Pemesanan	Total Biaya (Rp)
<i>Plat Base</i>	1898	66	2	289.503
<i>Base A</i>	433	4	3	463.150
<i>Base B</i>	287	26	5	407.288
<i>Clam Crank</i>	1122	88	2	202.454
Engsel	2426	12	2	220.354
Dudukan Base	2278	69	3	441.410
Roda	1672	112	4	257.940
Clam kaki	2852	44	2	284.044
<i>Bolt Hexagon</i>	5921	169	3	73.007
<i>Side Rail</i>	780	42	5	2.211.140
<i>Head and foot board</i>	630	22	5	1.851.500
<i>Crank Shaft long</i>	351	17	4	805.405
Engkol	1183	64	2	272.441
<i>End cap kaki ulir</i>	2350	102	3	279.050
<i>Pipa Hollow Rectangular</i>	754	16	7	797.000
<i>Bolt Set Hexagon + Ring</i>	3210	138	2	52.088

Matras	362	8	4	1.277.030
Total				10.184.804

Berdasarkan perhitungan MRP dengan EOQ pada tabel 9 didapatkan total biaya persediaan sebesar Rp 10.184.804.

- 6) *Perhitungan MRP dengan POQ. Lot size POQ* akan digunakan untuk perencanaan bahan baku *hospital bed* yang diperoleh dengan cara membeli dari supplier luar sedangkan bahan baku yang diproduksi sendiri menggunakan *lot size lot for lot*. Pada teknik *lot sizing POQ* waktu pemesanan sesuai dengan periode waktu yang optimal dengan jumlah pemesanan tergantung pada kebutuhan selama periode optimal. Waktu pemesanan adalah tetap sesuai dengan perhitungan POQ. Adapun perhitungan dengan teknik *lot size POQ* disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10 Perhitungan POQ untuk Bahan Baku *Hospital Bed*

Bahan Baku	POQ (minggu)
<i>Side Rail</i>	5
<i>Head and foot board</i>	5
Matras	6
<i>Plat Base</i>	14
<i>Base A</i>	7
Engsel	15
<i>Base B</i>	5
<i>Clam Crank</i>	18
Dudukan Base	9
Roda	7
Clam kaki	12
<i>Crank Shaft long</i>	6
Engkol	16
End cap kaki ulir	9
<i>Bolt hexagon</i>	8
<i>Pipa Hollow Rectangular</i>	4
<i>Bolt Set Hexagon + Ring</i>	11

Setelah itu dilakukan perhitungan MRP untuk masing-masing bahan baku *hospital bed* dengan ukuran lot berdasarkan pemesanan ekonomis dengan POQ, didapatkan hasil seperti tersaji pada Tabel 11.

Tabel 11 Perhitungan MRP dengan POQ

Bahan Baku	Total Inventory (Unit)	Jumlah Inventory Akhir (Unit)	Frekuensi Pemesanan	Total Biaya (Rp)
<i>Plat Base</i>	1298	0	2	245.043
<i>Base A</i>	353	0	3	419.150
<i>Base B</i>	241	0	5	645.523
<i>Clam Crank</i>	811	0	2	366.908
Engsel	2804	0	2	231.316
Dudukan Base	1852	0	3	400.940
Roda	1412	0	3	236.490
Clam kaki	2504	0	2	618.248
<i>Bolt Hexagon</i>	4452	0	3	63.825
<i>Side Rail</i>	470	0	5	1.680.110
<i>Head and foot board</i>	564	0	4	1.574.200
<i>Crank Shaft long</i>	275	0	4	717.625

Engkol	758	0	2	228.453
End cap kaki ulir	1684	0	3	263.732
<i>Pipa Hollow Rectangular</i>	878	0	5	739.000
<i>Bolt Set Hexagon + Ring</i>	2064	0	2	42.060
Matras	306	0	4	1.175.390
Total				9.648.013

Berdasarkan perhitungan MRP dengan POQ pada tabel 11 didapatkan total biaya persediaan sebesar Rp 9.648.013.

- 7) *Total Biaya Persediaan Masing-Masing Lot Size*. Setelah membuat tabel MRP dengan menggunakan *lot for lot*, EOQ dan POQ selama bulan Juli-Desember 2020, kemudian dilakukan perhitungan total biaya persediaan dengan menjumlahkan total biaya penyimpanan dan biaya pemesanan bahan baku hospital bed. Untuk itu perencanaan produksi akan dibuat per minggu seperti yang disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12 Total Biaya Persediaan Masing-Masing *Lot Size*

<i>Lot Size</i>	Total Biaya Persediaan (Rp)
<i>Lot for Lot</i>	29.845.175
<i>Economic Order Quantity (EOQ)</i>	10.184.804
<i>Period Order Quantity (POQ)</i>	9.648.013

Berdasarkan tabel 4.81 total biaya persediaan terbesar dengan menggunakan *lot for lot* yaitu sebesar Rp 29.845.175 dan total biaya persediaan terkecil dengan menggunakan *period order quantity* yaitu sebesar Rp 9.648.013. Maka, perencanaan kebutuhan bahan baku *hospital bed* dengan MRP selama bulan Juli – Desember 2020 menggunakan teknik *lot size* yang dapat meminimalkan total biaya persediaan adalah *period order quantity (POQ)* .

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan perencanaan kebutuhan bahan baku *hospital bed* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penyusunan perencanaan produksi *hospital bed* untuk periode Juli-Desember 2020 dengan menggunakan variasi jam kerja, diketahui jam kerja yang tersedia lebih besar dari jam kerja yang dibutuhkan tetapi pada bulan Agustus 2020, jam kerja yang dibutuhkan pada bulan Agustus lebih besar daripada jam kerja yang tersedia sehingga dibutuhkan *overtime* sebesar 10,5 jam agar dapat memenuhi permintaan.
2. Jadwal induk produksi *hospital bed* periode Juli-Desember 2020 disusun berdasarkan perencanaan dan kapasitas produksi per minggu. Jumlah dan waktu pemesanan bahan baku *hospital bed* sesuai dengan jadwal pelepasan pesanan (*plan order release*) pada tabel MRP.
3. Teknik *lot sizing* yang memberikan biaya persediaan terendah pada metode MRP adalah *Period Order Quantity (POQ)* dengan biaya sebesar Rp 9.648.013 selama periode Juli 2020 – Agustus 2020. Pada *lot size POQ* tidak terdapat *inventory* bahan baku *hospital bed* di akhir minggu ke-24.
4. Dengan metode POQ total jumlah persediaan terbanyak dari minggu ke-1 sampai minggu ke-24 adalah komponen *bolt hexagon* sebanyak 4.452 unit, tetapi pada akhir periode semua komponen memiliki persediaan akhir sebanyak 0 (nol) unit, hal ini dikarenakan jumlah pemesanan komponen pada metode POQ sesuai dengan kebutuhan selama periode optimalnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Vincent Gaspersz. *Production, Planning, and Inventory Control*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. (2009).
- [2] Herjanto. *Manajemen Operasi dan Produksi*. Grasindo. Jakarta. (2009).
- [3] Kusuma, Trio Yonathan T. *Analisis Material Requirement Planning (MRP) di C-Maxi Alloycast*. Jurnal Teknik Industri. **Vol 05 No 02**. hal 81-94. UIN Sunan Kalijaga. Yogyakarta. (2017).
- [4] Rosnani Ginting. *Sistem Produksi*. Graha Ilmu. Yogyakarta. (2007).
- [5] Arman Hakim Nasution. *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Graha Ilmu. Yogyakarta. (2008).
- [6] J. Heizer and B. Render. *Operations Management Sustainability and Supply Chain Management*. 11th edition. Pearson Education Inc. New Jersey. (2014).

SUBMISSION 9

Rancang Bangun Integrasi Absensi Menggunakan RFID dan Kendali Peralatan Listrik berbasis IOT

Agung Saputra¹, Vector Anggit P¹, Gunady Haryanto¹, dan Bambang Riono Arsad²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

²Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Pembelajaran merupakan inti dari proses pendidikan. Dosen dan mahasiswa saling berinteraksi beraktivitas terstruktur yang di susun atau diprogramkan untuk dilaksanakan dalam proses belajar mengajar tersebut. Salah satu bagian dari proses belajar mengajar adalah kehadiran dosen dan mahasiswa dalam aktivitasnya. Kehadiran dan ketidakhadiran dosen dan mahasiswa merupakan masalah yang penting dalam pengelolaan mahasiswa karena hal ini sangat erat hubungannya dengan prestasi mahasiswa selama proses belajar. Selama ini pengelolaan absensi dosen dan mahasiswa di FTUP dilakukan secara manual dengan menuliskan kehadiran dosen dan mahasiswa di lembar kertas absensi. Kelemahan aktivitas absensi tersebut diantaranya pengelolaan yang harus di entry ke dalam sistem komputer dan saat ini terjadi pandemik covid-19 yang rentan dengan penularan melalui sentuhan fisik. Demikian pula pengendalian peralatan kelistrikan di kelas yang masih memakai tombol saklar sebagai sumber penularan. Di sisi lain, dosen dan mahasiswa memiliki identitas diri berupa kartu e-KTP dimana kartu tersebut tertanam RFID. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan rancang bangun peralatan absensi menggunakan RFID dan peralatan pengendali peralatan listrik di dalam ruang kuliah yang di terhubung menggunakan IOT. Metode penelitian menggunakan metode kualitatif dengan membuat prototype guna mendapatkan solusi dalam mencapai tujuan yang diinginkan. Pada hasil penelitian, prototype alat absensi dan alat kendali kelistrikan dibuat menggunakan nodeMCU dengan database yang terhubung melalui internet. Hasil pengujian prototype berjalan dengan baik, dimana jarak e-KTP dapat terdeteksi maksimal 1.5 cm dari permukaan alat absensi dan pengendalian kelistrikan dapat di kontrol melalui browser di smartphone setelah dosen memasuki ruang kelas.

Kata Kunci- Absensi; e-KTP; IOT; nodeMCU; RFID.

1. Pendahuluan

Aktivitas perkuliahan merupakan proses yang melibatkan berbagai macam tahapan yang dilakukan agar pendidikan berjalan dengan baik. Penilaian kepada mahasiswa merupakan cara yang dilakukan oleh pengajar untuk melihat kemampuan mahasiswa dalam memahami matakuliah yang diambilnya [1]. Penilaian akhir pengajar kepada mahasiswa biasanya terdiri dari beberapa komponen seperti kehadiran mahasiswa di kelas, tugas-tugas, ujian tengah semester dan ujian akhir semester [2]. Komponen penilaian tugas, ujian tengah semester dan ujian akhir semester dilakukan pada waktu yang terjadwal, namun kehadiran mahasiswa dilakukan setiap kali pertemuan kuliah. Umumnya proses mencatat kehadiran mahasiswa dilakukan secara manual dengan mahasiswa langsung membubuhkan paraf/tandatangan pada kertas absensi, yang kemudian kertas absensi tersebut di kembalikan ke jurusan/pihak administrasi untuk di masukkan kedalam database akademik untuk di simpan. Proses penyimpanan kedalam database akademik ini memakan waktu dan tenaga sehingga terjadi ketidakefektifan dalam prosesnya. Terkadang karena tidak adanya waktu dan tenaga untuk memasukkan data absensi sehingga proses pemasukkan absensi dilakukan di akhir semester.

Selain memakan waktu dan tenaga yang tidak sedikit, juga informasi absensi tidak dapat diperoleh secara cepat dan tepat oleh pengelola jurusan, dosen maupun oleh orang tua sehingga evaluasi kehadiran tidak dapat dilakukan secara efektif untuk mengendalikan mahasiswa dalam proses perkuliahan. Dilain pihak, saat ini di baik di Universitas maupun di Fakultas telah mengembangkan sistem informasi akademik yang menyediakan fitur dari pengisian krs, pengelolaan informasi nilai, sampai pemasukan kehadiran yang langsung di input oleh masing masing dosen. Fitur pemasukan kehadiran mahasiswa oleh dosen dilakukan satu persatu pada waktu perkuliahan yang hal ini menyita waktu perkuliahan. Untuk mengatasi kelemahan/hambatan pada proses absensi kehadiran perkuliahan tersebut diatas dan untuk pengembangan dalam sistem informasi akademik yang telah ada, perlu dilakukan pengembangan sistem absensi secara realtime menggunakan teknologi Internet Of Things dengan metode pengenalan RFID [3],[4] sehingga diharapkan proses absensi kehadiran mahasiswa dapat direkam secara realtime dan dapat dimanfaatkan data tersebut seketika sebagai basis informasi bagi proses evaluasi perkuliahan.

Pengembangan sistem ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam proses perkuliahan seperti:

1. Merekam waktu masuk dan selesai dosen mengajar.
2. Merekam waktu masuk mahasiswa.
3. Mendapatkan informasi tingkat kehadiran dan waktu masuk mahasiswa.
4. Memberikan informasi kepada orang tua atas kehadiran mahasiswa secara realtime melalui web.
5. Mendapatkan statistik kehadiran dosen dan mahasiswa yang dapat digunakan pengelola jurusan untuk tindakan evaluasi peningkatan proses belajar mengajar.

¹ Corresponding author: agung@univpancasila.ac.id

Pada penelitian terdahulu telah dilakukan pengembangan absensi menggunakan RFID [5],[6],[7],[8] berbasis mikrokontroler dengan metode akses yang bersifat lokal, dimana database disimpan pada komputer yang terhubung secara lokal. Demikian pula penelitian yang lalu oleh peneliti membuat pengendalian penerangan dengan metode polling menggunakan mikrokontroler NodeMCU [9] berbasis Internet Of Things [10], dimana hasil penelitian tersebut pengendalian relay yang menggerakkan penerangan berjalan secara realtime, karena metode yang digunakan masih refresh data berdasarkan timing yang telah di setting di awal. Diharapkan dengan penelitian ini terjadi integrasi sistem perkuliahan dapat lebih baik yang selain pengendalian kelistrikan dengan IOT juga dalam proses perkuliahan dapat di monitoring secara realtime.

Tujuan penelitian ini adalah membangun perangkat keras maupun perangkat lunak realtime monitoring kehadiran mahasiswa dan dosen berbasis Internet of Things dengan menintegrasikan pengendalian peralatan kelistrikan didalam kelas. Adapun ruang cakupan penelitian sebagai berikut:

1. Studi kasus yang digunakan dilakukan pada lingkungan Fakultas Teknik Universitas Pancasila.
2. Peralatan perangkat lunak dan keras menggunakan mikrokontroler nodeMCU
3. Model yang dikembangkan berkisar antara aktifitas perkuliahan dengan entitas dosen, mahasiswa dan petugas pengisi absensi dalam hal ini jurusan
4. Perangkat hasil penelitian berupa *prototype*.
5. Pengembangan dengan mengikuti infrastruktur yang telah tersedia di Fakultas Teknik Universitas Pancasila.

2. Metode Penelitian

2.1. Jenis Penelitian

Metode dalam penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian kualitatif. Dalam metode ini peneliti adalah sebagai instrument kunci, teknik pengumpulan data dilakukan dengan memahami dan menafsirkan makna berdasarkan perspektif peneliti.

2.2. Pendekatan Penelitian

Penelitian dengan judul Smart Monitoring Kehadiran Mahasiswa dan Dosen Secara Real Time Berbasis Internet Of Things menggunakan teknologi RFID memakai pendekatan penelitian saintifik yaitu pendekatan penelitian yang didasarkan ilmu pengetahuan dan teknologi, melalui tahap-tahap secara berurutan yaitu mengamati, kemudian merumuskan masalah, dilanjutkan dengan mengumpulkan data, dan dilakukan proses menganalisis untuk kemudian menarik sebuah kesimpulan.

2.3. Sumber Data

Didalam penelitian yang dilakukan ini, peneliti menggunakan menerapkan metode dalam pengambilan data, yaitu:

1. Observasi
Observasi adalah teknik dalam pengumpulan data yang sering dilakukan dalam metode penelitian ini. Observasi intinya adalah merupakan kegiatan dengan menggunakan pengamatan melalui pancaindera untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan dalam menjawab permasalahan penelitian. Hasilnya dapat berupa aktivitas, peristiwa, kejadian, objek atau suatu kondisi tertentu. Observasi ini dilakukan guna mendapatkan gambaran nyata suatu kejadian dalam menjawab pertanyaan dalam penelitian ini.
2. Studi Literatur
Studi literatur merupakan cara yang digunakan dalam pengumpulan data dengan cara menelusuri data-data maupun sumber-sumber yang berkaitan dengan topik penelitian ini. Pada penelitian yang dilakukan oleh penulis dengan memilih studi literatur untuk mengumpulkan data dan informasi dari buku-buku, internet serta jurnal-jurnal yang mempunyai kesamaan dalam tujuan penelitian ini.

2.4. Metode Pengumpulan Data

Guna mendapatkan informasi yang penulis butuhkan dilakukan langkah dalam menggunakan metode pengumpulan data dengan menelusuri literasi berupa studi pustaka. Proses pengumpulan data dan informasi dengan menelaah berbagai sumber literasi tertulis seperti buku referensi, jurnal ilmiah, literatur, karangan ilmiah, ensiklopedia, serta sumber lainnya yang terpercaya baik dalam bentuk tulisan ataupun dalam format digital yang berhubungan dengan objek yang sedang di teliti.

2.5. Instrumen Penelitian

Penelitian menggunakan beberapa alat bantu guna baik yang di buat dalam bentuk *prototype* guna mendukung tercapainya tujuan dalam penelitian. Alat bantu tersebut terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak yaitu:

1. Perangkat Keras
Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini guna mengembangkan, mengujicoba dan mengumpulkan data pada sistem ini terbagi menjadi beberapa bagian yang akan disusun sebagai sebuah *prototipe* sebagai berikut:

- a. Laptop Asus
- b. Lolin NodeMCU ESP8266
- c. RFID Reader type RC522 13.56 MHz
- d. LCD 20 kolom 4 baris.
- e. Buzzer
- f. RFID Tag (Kartu) berupa e-KTP
- g. Hard Disk Eksternal
- h. Koneksi internet
- i. Hosting dan domain server

2. Perangkat Lunak

Adapun perangkat lunak yang digunakan dalam aplikasi ini adalah sebagai berikut:

- a. Sistem Operasi Windows 10 Pro 64-bit
- b. Editor IDE Arduino programming
- c. Google Chrome
- d. XAMPP (Web Server yang berdiri sendiri (Localhost))
- e. MySQL (Manajemen Basis Data SQL)
- f. Editor PHP programming

2.6. Teknik Pengolahan dan Analisis Data

1. Pengolahan Data

Kegiatan pengolahan data guna mengkategorisasikan data-data lapangan, yang kemudian dilakukan manipulasi sehingga dapat menghasilkan kesimpulan untuk menarik sebuah keputusan. Metode pengolahan data yang digunakan dalam kegiatan ini adalah:

- a. Reduksi data sebagai kegiatan merangkum atau meng-kategorikan data sesuai dengan subjek guna memberikan gambaran yang lebih jelas.
- b. Coding data sebagai kegiatan guna penyesuaian data - data yang telah direkam pada saat melakukan penelitian.

2. Analisis Data

Analisis data sebagai proses atau upaya guna memecahkan masalah dan menguraikan masalah yang telah diperoleh menjadi informasi baru yang layak digunakan dalam penelitian. Analisis data kualitatif ini merupakan kegiatan yang dilakukan untuk menyaring data hasil penelitian untuk menjadi sebuah informasi yang baru guna lebih mudah dipahami yang dapat digunakan untuk membuat suatu kesimpulan dikemudian hari.

2.7. Metode Perancangan Alat

Pada penelitian ini digunakan metode Prototyping yaitu proses pengembangan sistem dibuat model agar memcepat dan pengujian terhadap sistem melalui proses interaksi yang berulang-ulang, sehingga metode ini sangat cocok digunakan untuk memahami masalah kebutuhan pengguna dalam membangun sistem yang sesuai dengan kebutuhannya.

2.8. Teknik Pengujian Alat

Guna mengetahui agar sistem ini telah berjalan sesuai tujuan penelitian dan mengetahui karakteristik dari tiap blok rangkaian serta proses kerja alat secara keseluruhan maka dilakukan pengujian terhadap sistem, pengujian ini meliputi perangkat keras dan perangkat lunak baik per-blok maupun keseluruhan sistem.

1. Pengujian Tiap Blok.

Pengujian dilakukan dari tiap-tiap blok rangkaian satu persatu guna untuk memastikan berjalan sesuai yang direncanakan, untuk melihat nilai masukan dan nilai keluaran pada masing-masing blok apakah telah sesuai dengan apa yang diperlukan dalam membangun sistem ini.

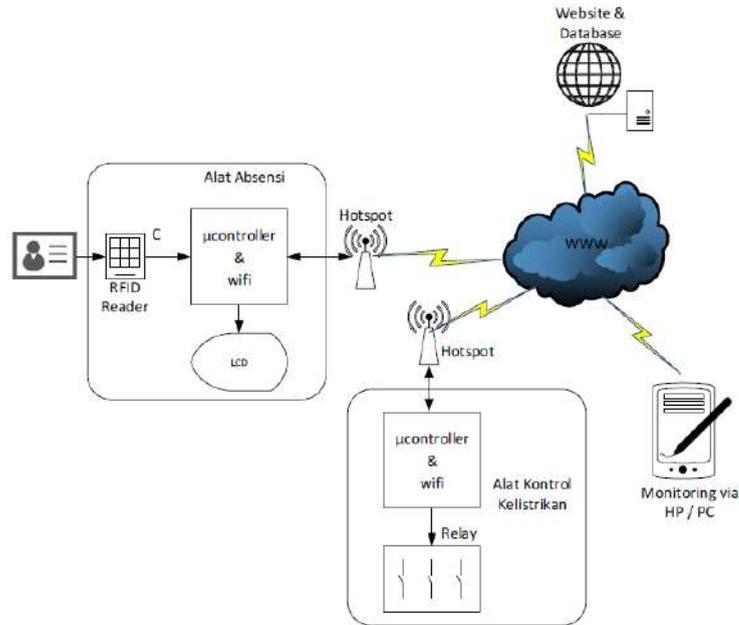
2. Pengujian Keseluruhan Sistem.

Pengujian sistem secara menyeluruh dikerjakan dengan harapan untuk memastikan apakah perangkat keras dan perangkat lunak sudah tersinkronisasi dan terintegrasi bersama dan menjalankan fungsi- fungsi sesuai dengan tujuan penelitian yang hendak di capai.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Desain sistem keseluruhan

Secara keseluruhan sistem kerja dari peralatan absensi menggunakan RFID dan pengendalian peralatan listrik berbasis IOT dapat dijelaskan pada gambar 1. Berikut.

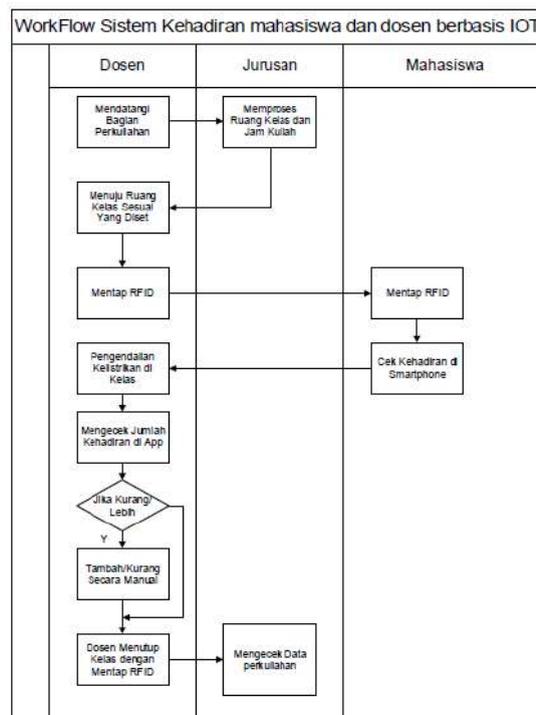


Gambar 1. Blok diagram sistem keseluruhan

Walaupun pada kenyataannya aplikasi Smart Monitoring Kehadiran Mahasiswa dan Dosen Secara Real Time Berbasis Internet Of Things secara keseluruhan sangatlah kompleks, namun pada perancangan prototype ini dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu :

1. Bagian pembacaan kartu RFID yang berupa RFID reader yang dihubungkan dengan mikrokontroller Node MCU dan Display hasil pembacaan kartu RFID
2. Bagian sistem kelistrikan ruangan yang terhubung melalui IOT dengan koneksi data berbasis mysql.
3. Bagian penyimpanan data pembacaan kode kartu RFID dan sistem informasi penjadwalan perkuliahan serta database kontrol kelistrikan

Secara keseluruhan, *Smart Monitoring Kehadiran Mahasiswa dan Dosen Secara Real Time Berbasis Internet Of Things* dilakukan pengendaliannya melalui program yang ada di sisi server. Data hasil tangkapan dari sistem absensi di kirim melalui jaringan komputer/internet menuju server yang berada di hosting.

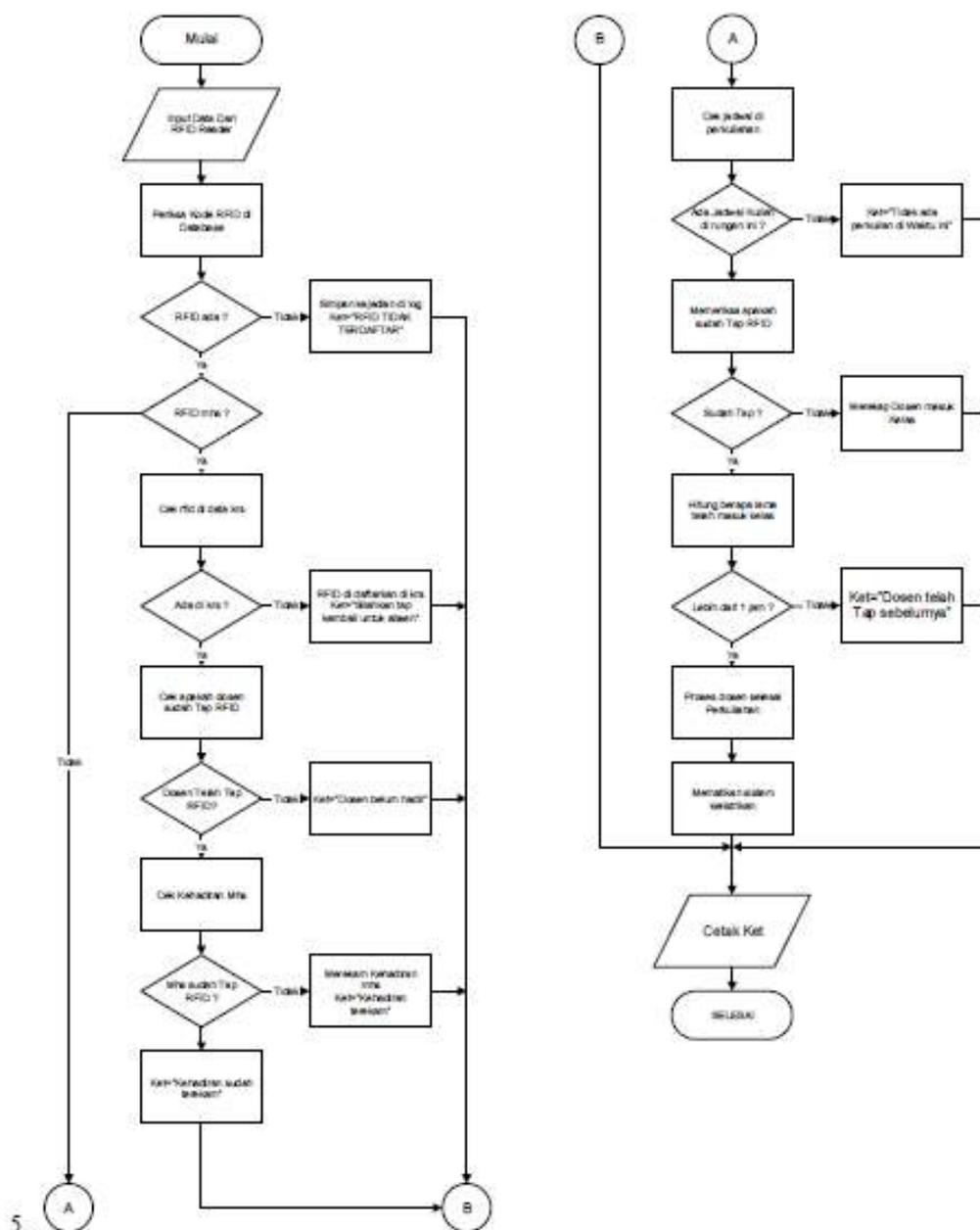


Gambar 2. Alur absensi dosen dan mahasiswa

Dosen dan mahasiswa pada waktu memasuki ruang kelas, sebelumnya memastikan bahwa waktu perkuliahan sudah sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan sebelumnya. Sebelumnya identitas dosen dan mahasiswa terlebih dahulu di simpan di database. Identitas tersebut berisikan nomor dosen dan mahasiswa, kemudian nama dosen dan nama mahasiswa. Setiap dosen dan mahasiswa diwajibkan mempunyai kartu RFID. Kartu RFID yang digunakan dalam prototype ini menggunakan e-KTP [11]. Penggunaan e-KTP merupakan pilihan yang tepat dengan alasan sebagai berikut :

1. Menekan biaya operasional dalam pencetakan kartu baru bagi pengguna sistem absensi RFID.
2. Setiap dosen dan mahasiswa saat ini telah mempunyai e-KTP, dimana e-KTP tersebut merupakan kartu RFID yang dikeluarkan oleh pemerintah.
3. Setiap dosen dan mahasiswa pasti akan membawa selalu ketika berpergian dan menjaga e-KTP dengan baik.
4. Meminimalisasi penitipan absensi karena umumnya e-KTP jarang di titipkan ke orang lain.

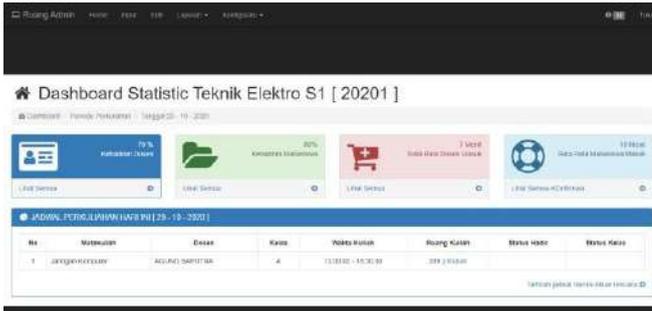
Secara garis besar sistem absensi bekerja dengan memastikan keseluruhan rangkaian prosedur perkuliahan sesuai dengan yang telah di tetapkan. Tergambar pada skema alur sistem absensi pada gambar 3.



Gambar 3. Flowchart sistem absensi

3.2. Desain antarmuka perangkat lunak

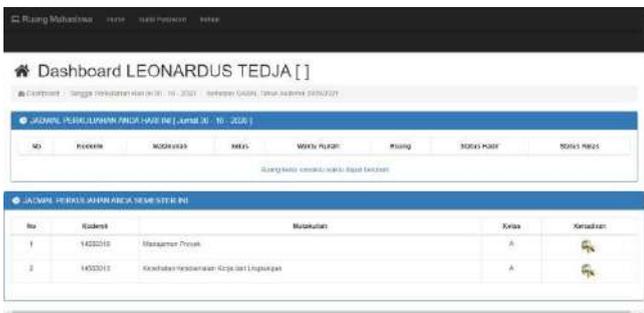
Desain antarmuka aplikasi ini adalah sebuah aplikasi yang di desain berbasis web. Mahasiswa dan Dosen dapat memonitoring melalui online 24 jam melalui internet. Desain aplikasi ini ada 4 pengguna yang berbeda yaitu, administrasi perkuliahan, bagian umum, dosen dan mahasiswa. Aplikasi ini di tempatkan di hosting internet dengan bahasa pemrograman PHP dan database Mysql.



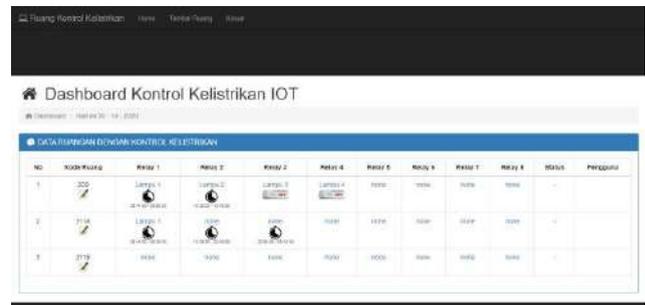
Gambar 4. Halaman muka untuk pengelola perkuliahan



Gambar 5. Halaman muka untuk dosen



Gambar 6. Halaman muka untuk mahasiswa



Gambar 7. Halaman muka untuk kontrol kelistrikan

3.3. Desain antarmuka perangkat keras

Prototype perangkat keras yang telah dibangun pada penelitian ini terdiri dari 2 buah alat absensi, 1 buah alat pengenalan kode RFID dan 2 buah alat pengontrol kelistrikan.



Gambar 8. Prototype alat absensi RFID berbasis IOT



Gambar 9. Alat pembaca kode RFID



Gambar 10. Prototype alat kontrol kelistrikan

3.3. Pengujian keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan dengan melakukan percobaan menggunakan skenario perkuliahan. Dosen yang sudah di setting jadwal dan kelas pada hari senin jam 09.40-11.20 di ruang 209. Kartu e-KTP sebelumnya telah di daftarkan di database server. Hasil pengujian tersaja pada tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Tapping e-KTP dosen dan mahasiswa

No	Waktu	Tapping e-KTP	Status Data	Keterangan display LCD
1	09.30	Dosen	Gagal	Saat ini belum ada perkuliahan di ruang 209
2	09.35	Mahasiswa	Gagal	Tidak ada kuliah di ruang 209 cek kembali jadwal kuliah
3	09.41	Mahasiswa	Gagal	Hai, Dosen belum TAP RFID
4	09.42	Dosen	Berhasil	Terekam kuliah-ke 2 Kelas A Ruang 209
5	09.42	Mahasiswa	Berhasil	Absensi terekam Kelas A
6	10.00	Dosen	Gagal	Telah absen 18 myl Kelas A Ruang 209
7	11.00	Dosen	Berhasil	Anda Menutup kuliah Kelas A Ruang 209
8	11.10	Mahasiswa	Gagal	Hai... matakuliah sudah selesai

Secara keseluruhan dosen dan mahasiswa dapat melakukan absensi perkuliahan sesuai dengan skenario yang telah di rancang. Dosen dan mahasiswa harus memenuhi kondisi waktu dan ruang yang telah di tetapkan agar data absensi terekam di database server.

3.4. Pengujian pembacaan e-KTP

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan jarak e-KTP yang masih bisa terdeteksi dari alat pembacaan RFID. Pengukuran dilakukan dari sisi luar box, dimana box yang digunakan berbahan plastik. RFID *reader* dipasang di dalam box dengan posisi menempel di sisi dalam box. Pengujian ini berguna bagi dosen dan mahasiswa agar tidak perlu menempelkan e-KTP ke box, namun cukup didekatkan pada jarak yang telah diukur sebelumnya. Posisi e-KTP tegak lurus dengan sisi box yang terdapat RFID *reader* didalam nya. Hasil pengukuran terbaca pada tabel 2.

Tabel 2. Pengujian jarak Tapping e-KTP dosen dan mahasiswa vs RFID-reader

No	Jarak (cm)	Status	Waktu (detik)
1	0	Terbaca	1
2	0.5	Terbaca	1
3	1.0	Terbaca	1
4	1.5	Terbaca	1
5	2.0	Tidak terbaca	0

4. Kesimpulan

Hasil yang dicapai dalam perancangan, pembuatan prototype, dan hasil pengujian alat dan sistem yang telah dibuat dapat disimpulkan bahwa :Jarak maksimum pengenalan kartu e-KTP oleh rfid reader maksimum 1,5 cm dengan kecepatan pembacaan setiap 1 detik. Sistem absensi dosen dan mahasiswa dilakukan dengan mentap kartu e-KTP dan informasi kegagalan dan berhasil kehadiran tertampil langsung di layar LCD.. Sistem ini memerlukan koneksi internet untuk mengakses dan merekam data, dimana database di letakan di server hosting. Pengelola perkuliahan, dosen dan mahasiswa dapat langsung memantau data-data absensi dengan mengakses alamat hosting yang telah ditentukan melalui jaringan internet. Hasil pengujian system keseluruhan berhasil mendeteksi kartu e-KTP dosen dan mahasiswa dalam simulasi prosedur perkuliahan dengan waktu dan ruangan yang telah ditentukan sebelumnya, dimana bila memenuhi syarat absensi terekam dan bila tidak memenuhi syarat absensi tidak terekam atau di tolak.

DAFTAR PUSTAKA

1. Balfanz, R., & Byrnes, V. (2006). *Closing the mathematics achievement gap in high poverty middle schools: Enablers and constraints*. Journal of Education for Students Placed at Risk, 11, 143–159.
2. Setiawa, D. F. (2019). *Motif Eksternal Kehadiran Mahasiswa Pada Mata Kuliah Evaluasi Pembelajaran*. Jurnal Pendidikan Ekonomi UM Metro, 13-22.
3. Finkensteller, K. (2010). *RFID HANDBOOK*. Chippenham, Wiltshire, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
4. Perret, E. (2014). *Radio Frequency Identification and Sensors From RFID to Chipless RFID*. London: John Wiley & Sons, Inc. .
5. Abdullah, B., Achmad Ubaidillah M.s, & Kunto Aji Wibisono. (2017). *Perancangan Sistem Absensi Sekolah Menggunakan RFID Berbasis Internet Of Thing di SMPN 1 Kamal* . Seminar Nasional Fortei Regional 7 , 1-5.
6. Edy Prasetyo, Syamsul Ariwibowo, & Taryudi,M.T. (2019). Sistem Absensi Berbasis Rfid. Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Volume 4 Tahun 2019 , 278-281.
7. Metro, J. P. (1008). *Sistem Absensi Menggunakan Teknologi RFID*. Jakarta: Departemen Teknik Elektro UI.
8. Prakoso Setyo Sambodo, & Setiawan Assegaff. (2020, Juni). *Analisis Dan Perancangan Sistem Absensi Berbasis RFID Pada Majelis Tafsir Al-Qur'an (MTA) Perwakilan Kota Jambi* . Vol 5 No 2, pp. 164-176.
9. Thakur, M. R. (2015). *NodeMCU ESP8266 Communication Methods and Protocols Programming with Arduino IDE*.
10. Tripaty, B., & Anuradha, J. (n.d.). *Internet Of Things (IOT) Technologies, Applications, Challenges, and Solutions*. Taylor & Francis.
11. Tempo.co. *Pakar: e-KTP rawan di retas*. tempo.co: <https://tekno.tempo.co/read/482368/pakar-e-ktp-rawan-diretas/full&view=ok> . (2013, Mei 22) [Accessed on 20 Oct 2020]

SUBMISSION 10**Perancangan Mesin Perontok Kedelai**Rahmat mujiyanto¹, dan Hasan Hariri¹¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Perontokan dan pemisahan kedelai dari kotoran sebagian besar masih dilakukan dengan cara tradisional. Hal ini tentunya membutuhkan banyak waktu dan tenaga sehingga laju produksi rendah. Menanggapi permasalahan tersebut, perlu dilakukan perancangan mesin perontok kedelai agar proses produksi lebih efisien. Hasil dari penelitian ini didapat spesifikasi setiap komponen sebagai berikut : diameter drum perontokan 41 cm, panjang silinder perontok 65cm dengan diameter 37 cm, pully penggerak 10 cm dengan putaran motor 1400 rpm, pully yang digerakan sebesar 25 cm dengan putaran out put 570 rpm, diameter poros 2,5 cm, dimensi ayakan yaitu : panjang 29 cm dan lebar 20 cm, daya motor yang dibutuhkan untuk menggerakkan silinder 0,501 Hp, sedangkan daya yang terpasang 1 Hp. Secara keseluruhan data rancangan tersebut memenuhi syarat untuk dirancang bangun.

Kata Kunci-Kedelai; Mesin; Perontok.

1. PENDAHULUAN

Kedelai merupakan salah satu tanaman polong-polongan dan merupakan sumber utama minyak nabati dan protein utama dunia. Kedelai adalah tanaman pangan utama strategis terpenting setelah padi dan jagung. Konsumsi kedelai oleh masyarakat Indonesia dipastikan akan terus meningkat setiap tahunnya mengingat beberapa pertimbangan seperti bertambahnya populasi penduduk, peningkatan pendapatan per kapita, kesadaran masyarakat akan gizi makanan. Faktor yang mempengaruhi peningkatan kebutuhan akan kedelai dapat dilihat dengan meningkatnya konsumsi masyarakat terhadap tahu dan tempe, serta untuk pasokan industri kecap [1]. Untuk memenuhi kebutuhan yang terus meningkat pemerintah melakukan beberapa perbaikan sebagai upaya peningkatan produksi kedelai. Diantara proses perbaikan yang dilakukan pemerintah adalah melelekan perluasan lahan, luas lahan tanam kedelai meningkat dari 526,79 ribu ha pada tahun 2003 menjadi 567,62 ribu ha pada tahun 2012. Selain perluasan lahan, perbaikan juga dilakukan terhadap pengetahuan petani baik dalam proses pemilihan benih, pemupukan, dan proses pascapanen[2].

Penanganan pascapanen kedelai merupakan semua kegiatan yang dilakukan sejak kedelai dipanen sampai dengan kedelai siap disimpan maupun diolah untuk dikonsumsi. Kegiatan penanganan pascapanen adalah sebagai berikut: proses pemanenan, pengeringan, proses perontokan, pengayakan biji kedelai serta penyimpanan. Tujuan dari kegiatan pascapanen adalah untuk menjaga kualitas kedelai agar tetap sama seperti pada waktu dipanen dan untuk mengurangi kehilangan biji kedelai saat pelaksanaan kegiatan pascapanen. Proses perontokan kedelai biasanya dilakukan para petani dengan cara memukul pohon kedelai yang telah dicabut dan dikeringkan dengan pelepah daun pohon kelapa untuk merontokan kedelai dari pohonnya. Setelah itu dilakukan proses pengayakan secara manual untuk memisahkan antara biji kedelai dengan kulit dan daunnya. Proses yang panjang tersebut tentunya membutuhkan banyak tenaga dan juga waktu yang tidak singkat[3].

Selain masalah waktu dan tenaga, kehilangan susut bobot pada saat proses pemanenan maupun perontokan juga menjadi masalah serius yang harus dihadapi oleh para petani yang hingga saat ini masih belum dapat dicegah. Proses penanganan pasca panen dapat dikatakan dengan baik apabila biji kedelai yang dicapat sebanyak-banyaknya tanpa banyak kerusakan pada biji seperti biji belah dan lainnya. Kehilangan biji dan kerusakan biji kedelai dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya umur panen dan juga alat yang digunakan kurang tepat, baik dalam sudut gigi perontok maupun kecepatan putar silinder[4]. Dengan memperhatikan kondisi diatas, maka perlu dilakukan upaya untuk merubah cara penanganan pasca panen kedelai menjadi lebih cepat dan efisien. Salah satu metode untuk menyelesaikan masalah tersebut adalah dengan melakukan perancangan mesin berteknologi tepat guna yang mampu meningkatkan laju produksi dan lebih efisien baik dari waktu maupun tenaga manusia.

B. Tujuan

Tujuan dari perancangan mesin perontok kedelai ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapat konsep rancangan mesin perontok kedelai yang lebih efisien
2. Mendapatkan spesifikasi komponen utama pada mesin perontok kedelai.
3. Menganalisis kekuatan rangka yang ditetapkan pada mesin perontok kedelai

C. Cakupan Penelitian

1. Metode perancangan yang dipakai adalah Ullrich-Eppinger.
2. Software yang digunakan solidwork.

2. METODE PENELITIAN

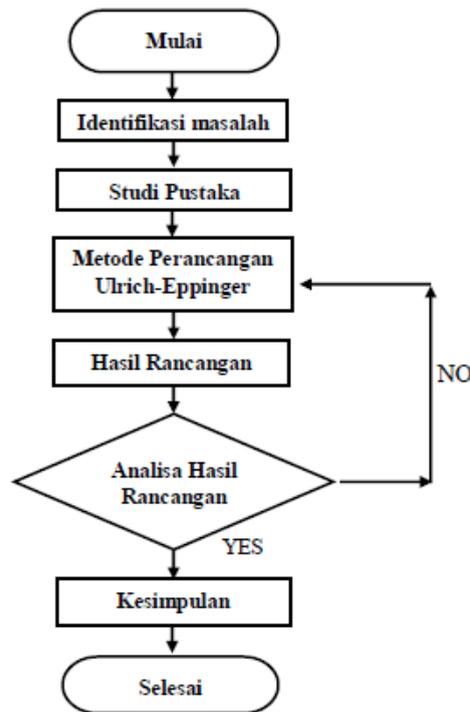
Proses pengembangan produk secara umum terdiri dari beberapa tahapan atau yang disebut dengan fase. Proses pengembangan produk yang akan dilakukan terdiri dari 4 fase, yaitu :

1. Fase 0 (perencanaan). Kegiatan ini merupakan kegiatan awal proses pengembangan produk aktual.
2. Fase 1 (pengembangan konsep). Yaitu uraian dari fungsi, bentuk, dan tampilan produk disertai dengan spesifikasi dari produk.

¹ Corresponding author: rahmatmuji571@gmail.com

3. Fase 2 (perancangan tingkat sistem). Output fase ini meliputi tata letak produk dan spesifikasi secara fungsional dari subsistem produk.
4. Fase 3 (perancangan detail). output dari fase ini adalah bentuk *geometri*, bahan, identifikasi seluruh komponen baik yang dibuat maupun dibeli[5].

Dalam perancangan produk terdapat tiga aspek utama yaitu fleksibilitas, efisien dan kemudahan panda proses operasional untuk mempermudah aktivitas manusia. Penyusunan konsep dalam proses perancang dimulai dengan menentukan serangkaian kebutuhan pelanggan untuk dijadikan spesifikasi target dan diakhiri dengan terciptanya beberapa pilihan konsep produk. Setelah terbentuknya pilihan konsep tersebut maka dilakukan proses seleksi konsep untuk menentukan konsep yang akan dilanjutkan.



Gambar 1 Diagram alir proses pembuatan

Keterangan:

Kegiatan perancangan dimulai dengan menentukan judul mesin yang akan dibuat. Setelah ditentukan produk apa yang akan dikembangkan dilakukan proses identifikasi masalah. Proses identifikasi masalah merupakan suatu cara bagaimana kita melihat, menduga, memperkirakan, dan menguraikan serta menjelaskan apa yang menjadi masalah para petani dalam melakukan proses paska panen kedelai.

Untuk studi pustaka dilakukan dengan cara mengumpulkan berbagai sumber pembahasan tentang mesin perontok kacang kedelai melalui *browsing* diinternet maupun dari sumber buku yang membahasnya. Setelah tercukupinya data yang dibutuhkan, langkah selanjutnya adalah melakukan proses perancangan dengan menggunakan metode ullrich-eppinger.

3. PEMBAHASAN DAN HASIL

Pada perancangan mesin perontok kedelai ini menggunakan metode perancangan Ulrich-Eppinger. Proses awal yang dilakukan yaitu melakukan identifikasi kebutuhan bertujuan untuk mencari informasi tentang keinginan ataupun harapan dari pelanggan mengenai mesin perontok kacang kedelai, dari keinginan tersebut maka dapat diperoleh target spesifikasi mesin yang akan dibuat. Penetapan spesifikasi bertujuan untuk mempermudah dalam melakukan proses identifikasi kendala yang mungkin dihadapi untuk mencapai solusi optimal. Spesifikasi desain disusun dengan membedakan apakah sebuah persyaratan desain yang diutarakan konsumen merupakan sebuah keharusan yang harus dipenuhi (*demand/D*) atau keinginan (*wishes/W*) yang dapat dilihat pada tabel 1.

- Kapasitas : 125 kg/jam
- Putaran poros : 570 rpm

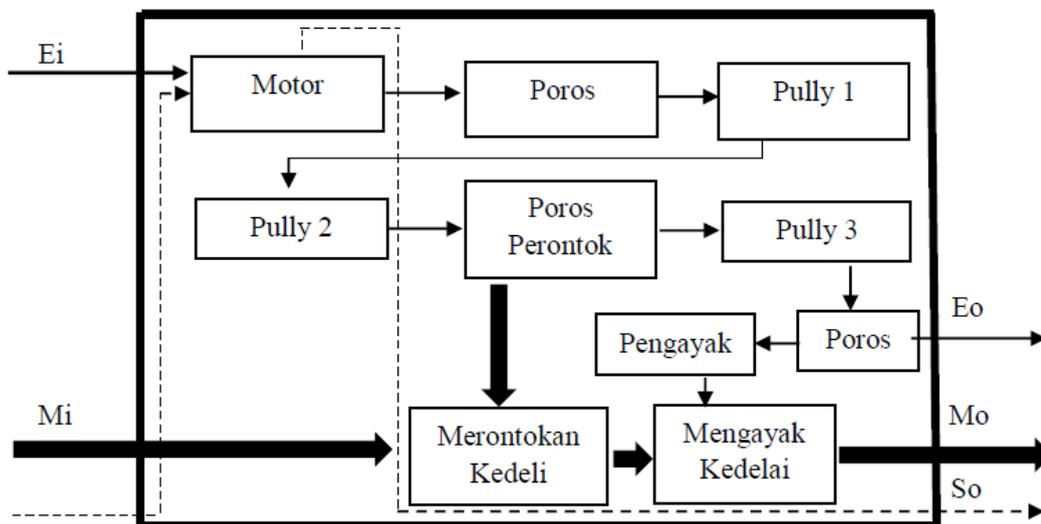
Berdasarkan target spesifikasi yang diperoleh, maka dilakukan penggalihan konsep produk yang mungkin sesuai dengan kebutuhan konsumen. langkah awal dari penyusunan konsep ini adalah dengan membuat struktur fungsi dan sub fungsi dari mesin perontok kedelai. Struktur fungsi dan sub fungsi dari mesin perontok kedelai dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3.

Tabel 1 Target Spesifikasi Produk

No.	Tuntutan Perancangan	Target Spesifikasi	Tingkat Kebutuhan
1.	Aplikasi	Dapat dioperasikan semua kalangan	D
2.	Material	Bahan baku/komponen mudah didapat	W
		Dapat digunakan untuk 3 – 5 tahun kedepan	D
		Mudah dalam proses pengerjaanya	D
		Harga material terjangkau	W
3.	Perawatan	Komponen mudah untuk diganti	D
		Pada saat pembersihan tidak harus membongkar	D
		Perawatan tidak mahal	W
4.	Transportasi	Mesin mudah untuk dipindahkan	W
5.	Out put	Kedelai rusak lebih sedikit	W
		Kedelai terpisah dari kotoran	D



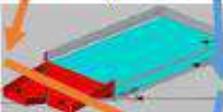
Gambar 2 Fungsi Keseluruhan



Gambar 3 Sub Fungsi Keseluruhan

Setelah dibuat stuktur fungsi keseluruhan dan sub fungsinya, maka langkah selanjutnya adalah mencari prinsip-prinsip solusi untuk memenuhi sub-sub fungsi tersebut. Dalam hal ini, metode yang digunakan adalah metode kombinasi, yaitu metode yang mengkombinasi semua prinsip solusi yang ada dalam bentuk metriks seperti yang terlihat pada tabel 2.

Tabel 2 Solusi Fungsi

No	Fungsi	Solusi fungsi	
		1	2
1	Sumber penggerak	 Motor AC	 Motor Bensin
2	Pnerus daya	 Pully and belt	 Rante and spoket
3	Poros perontok	 Tipe1	
4	Pengayak	 Tipe1	 Tipe 2
5	Rangka	 Tipe1	 Tipe 2
6	Tombol on/of	 Tipe1	 Tipe 2

V1

V2

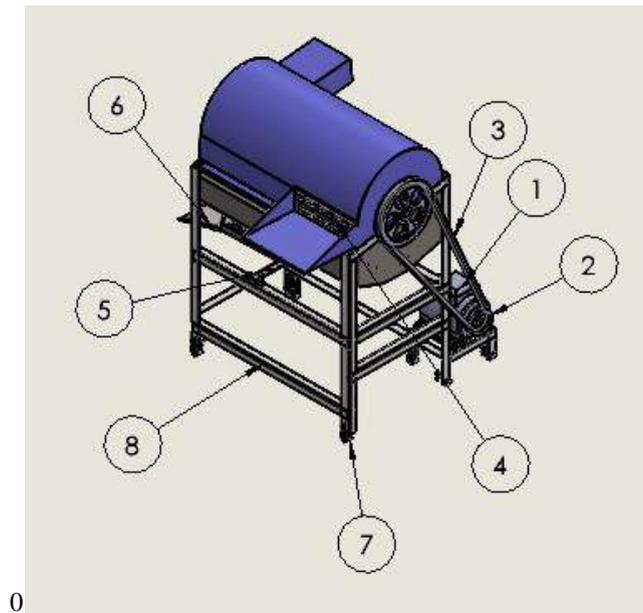
V1

Dari hasil kombinasi pada tabel prinsip solusi dihasilkan kombinasi sebagai berikut :
 Varian 1 : 1-1, 2-2, 3-1, 4-1, 5-1, 6-1
 Varian 2 : 1-1, 2-1, 3-1, 4-1, 5-2, 6-2
 Varian 3 : 1-2, 2-1, 3-1, 4-2, 5-2, 6-1

Selanjutnya adalah melakukan evaluasi dengan memberikan pembobotan pada masing-masing variasi solusi oleh pihak konsumen. Hasil dari evaluasi yang diperoleh untuk produk ini dituliskan selengkapnya dalam tabel 3.

Tabel 3 Pembobotan

No	Kriteria Evaluasi	Point	Varian 1		Varian 2		Varian 3	
			Point		Point		Point	
1	Mudah dioperasikan	35%	3	1,05	3,15	1,10	3.05	1
2	Mudah perawatan	25%	3,1	0,77	3,26	0,81	3	0,75
3	Mudah dipindahkan	10%	3,5	0,35	3,2	0,32	2.8	0,28
4	Desain sederhana	30%	3	0,90	3.15	0.94	2.9	0,87
Total penilaian		100%	12.6	3,07	12,76	3,17	11,7	2,90
Peringkat			II		I		III	
Keputusan			TIDAK		LANJUTKAN		TIDAK	



Gambar 4 Varian terpilih

Keterangan :

1. Motor
2. Belt
3. Pully
4. Poros perontok
5. Poro
6. Pengayak
7. Roda
8. Rangka

Setelah mendapatkan varian untuk dilanjutkan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan untuk mendapatkan spesifikasi akhir dari komponen mesin perontok kedelai.

A. Diameter drum [6]

$$\frac{Q}{A \times p} = \frac{\pi \times d \times n \times 2}{60 \times 1000} \quad (1)$$

$$\frac{125 \text{ kg/jam}}{0,0005 \text{ m}^2 \times 211 \text{ kg/m}^3} = \frac{3,14 \times d \times 570 \text{ rpm}}{60 \times 1000}$$

$$13,397 \text{ m/min} = \frac{3,14 \times d \times 570 \text{ rpm}}{60 \times 1000}$$

$$d = 40,313 \text{ cm}$$

B. Diameter poros [7]

- Menghitung daya rencana

$$Pd = fc \times P \quad (2)$$

$$Pd = 1,5 \times 0,208$$

$$Pd = 0,312 \text{ kWh}$$

- Menghitung torsi

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{Pd}{n^2} \quad (3)$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{0,312}{570}$$

$$T = 528,982 \text{ Nm}$$

- Tegangan geser

$$\sigma_B = 18\% \times 58 \quad (4)$$

$$\sigma_B = 10,44$$

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{sf1 \times sf2}$$

$$\tau_a = \frac{10,44}{6 \times 3}$$

$$\tau_a = 0,58 \text{ kg/mm}^2$$

- Diameter poros

$$ds \geq \left[\left(\frac{5,1}{\tau_a} \right) Kt \times Cb \times T \right]^{1/3} \quad (5)$$

$$ds \geq \left[\left(\frac{5,1}{0,58 \text{ kg/mm}^2} \right) 1,5 \times 2 \times 528,982 \text{ N/m} \right]^{1/3}$$

$$ds \geq 23 \text{ mm} \quad (\text{poros yang direncanakan adalah } 25 \text{ mm})$$

C. Silinder perontok

Pada perancangan silinder perontok, baut digunakan sebagai mata perontok. Hal ini dimaksudkan untuk memudahkan proses pengerjaan dari silinder perontok. Untuk dudukan baut digunakan plat dengan ketebalan 3 mm yang terbuat dari baja SC37. Baut yang digunakan adalah baut M12 dengan panjang 50 mm terbuat dari baja SC 37 (JIS 65101), baut ini mempunyai kekuatan tarik 37 kg/mm^2 atau $362,6 \text{ N/mm}^2$.

D. Perencanaan pully [8]

- Perhitungan reduksi

$$I = n_1/n_2 \quad (6)$$

$$I = 1400/570$$

$$I = 2,45$$

- Diameter pully

$$I = Dp/dp \quad (7)$$

$$Dp = i \times dp$$

$$Dp = 2,45 \times 10 \text{ cm}$$

$$Dp = 24,5 \text{ cm}$$

Dimana :

$$\text{Diameter pully 1 (dp)} = 10 \text{ cm}$$

$$\text{Diameter pully 2 (Dp)} = 25 \text{ cm}$$

E. Perencanaan v belt [8]

- Panjang keliling sabuk

$$L = 2 \times C \frac{\pi}{2} (Dp + dp) + \frac{1}{4c} (Dp - dp)^2 \quad (8)$$

$$L = 2 \times 56 + \frac{3,14}{2} (24,5 + 10) + \frac{1}{4,56} (24,5 - 10)^2$$

$$L = 112 + 54,16 + 0,938$$

$$L = 167,098 \text{ cm}$$

- Sudut kontak sabuk

$$\theta = 180^\circ - \frac{(Dp - dp)/2}{c} \quad (9)$$

$$\theta = 180^\circ - \frac{(24,5 - 10)/2}{56}$$

$$\theta = 180^\circ - 0,129$$

$$\theta = 179,871$$

- Kecepatan keliling

$$V = \frac{\pi \times dp \times n}{60 \times 1000} \quad (10)$$

$$V = \frac{3,14 \times 100 \times 1400}{60 \times 1000}$$

$$V = 7,32 \text{ m/s}$$

F. Dimensi ayakan [9]

- Luas penampang ayakan yang dibutuhkan

$$Q = V \times A \times \text{massa jenis kedelai} \quad (11)$$

$$125 \text{ kg/jam} = 13,397 \text{ m/jam} \times A \times 311 \text{ kg/m}^3$$

$$0,401 \text{ m}^3/\text{jam} = 13,397 \text{ m/jam} \times A$$

$$0,029 \text{ m}^2 = A$$

- Dimensi rencana ayakan

$$Ad = A \times fc \quad (12)$$

$$Ad = 290 \text{ cm}^2 \times 2$$

$$Ad = 580 \text{ cm}^2$$

Perbandingan panjang dan lebar adalah 1,5 : 1

Panjang : 28,896 cm

Lebar : 19,264 cm

G. Diameter poros ayakan [9]

- Torsi

$$T = F \times l \text{ ayakan} \quad (13)$$

$$T = 20,43 \text{ N} \times 0,19 \text{ m}$$

$$T = 3,924 \text{ Nm}$$

- Diameter poros

$$ds \geq \left[\left(\frac{5,1}{\tau_a} \right) Kt \times Cb \times T \right]^{1/3} \quad (14)$$

$$ds \geq \left[\left(\frac{5,1}{0,58 \text{ kg/mm}^2} \right) 1,5 \times 2 \times 3,924 \right]^{1/3}$$

$$ds \geq 4,7 \quad (\text{Poros yang direncanakan adalah } 10 \text{ mm})$$

H. Perencanaan daya motor [10]

- Torsi

$$T = (F \text{ rontok} + F \text{ silinder}) \times r \quad (15)$$

$$T = (2100 + 35,924) \times 0,195 \text{ m}$$

$$T = 427,18 \text{ N}$$

- Menghitung kebutuhan daya

$$P = \frac{(T/1000)(2 \times \pi \times \text{rpm perontok}/60)}{102} \quad (16)$$

$$P = \frac{(427,18/1000)(2 \times 3,14 \times 570/60)}{102}$$

$$P = 0,249 \text{ kW}$$

- Menghitung rencana daya motor

$$Pd = fc \cdot P \quad (17)$$

$$Pd = 1,5 \times 0,249$$

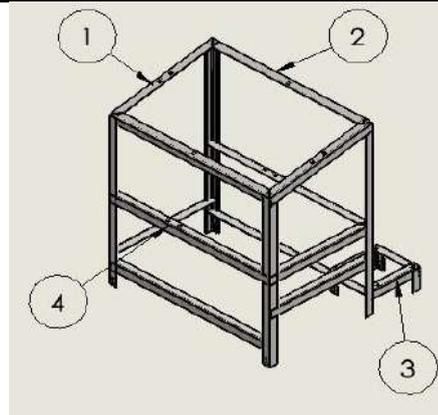
$$Pd = 0,3735 \text{ kW}$$

$$Pd = 0,501 \text{ hp}$$

Maka daya yang dibutuhkan masih dalam kemampuan motor yang dipakai yaitu 1 Hp.

I. Analisis pembebanan rangka

Material yang digunakan pada rangka mesin perontok kedelai ini adalah besi siku dengan ukuran $350 \times 350 \times 50$.
Dibawah ini adalah letak pembebanan pada rangka :

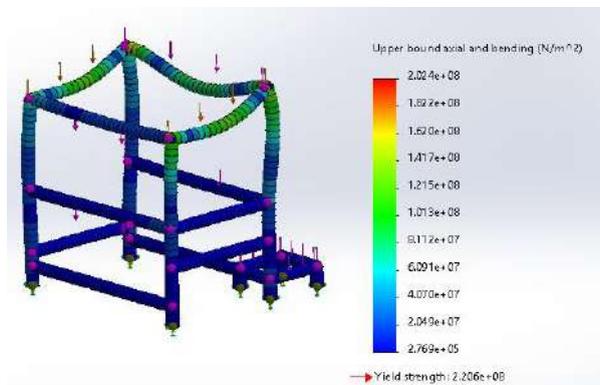


Gambar 5 Pembebanan pada rangka

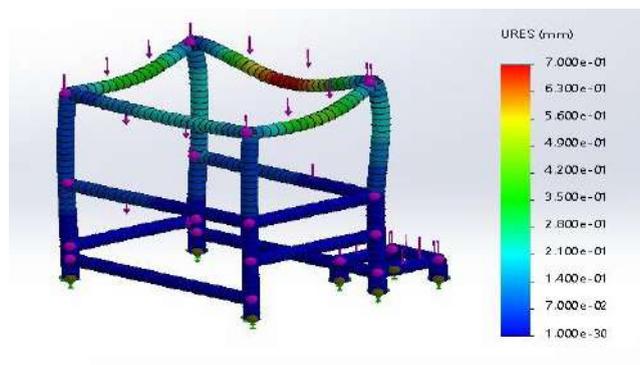
Tabel 3 Titik beban pada rangka

No	Letak Pebebanan	Beban Yang Diterima
1	Rangka bagian 1	2168,639 N
2	Rangka bagian 2	328,41 N
3	Rangka bagian 3	150,04 N
4	Rangka bagian 4	26,315 N

4. Hasil Analisis



Gambar 6 Hasil analisis tegangan pada rangka



Gambar 7 Hasil analisis *displacement* pada rangka

Hasil analisis dari pembebanan rangka dengan tegangan terbesar yaitu ditunjukkan pada area berwarna merah. Kesimpulannya rangka dengan material ini aman digunakan karena karena tegangan maksimal yang terjadi tidak melebihi batas *yield strength*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6. Adapun pada analisis *displacement* yang telah dilakukan, *displacement* terbesar ditunjukkan oleh area yang berwarna merah dengan nilai sebesar $7,000e-01$ mm, ditunjukkan pada gambar 7.

5. Kesimpulan

Konsep dari rancangan yang ditetapkan adalah sebuah mesin perontokan dengan tipe drum tertutup dengan tambahan sistem pengayakan untuk memisahkan kedelai dengan daun-kering dan tangkai. Spesifikasi komponen pada mesin perontok kedelai adalah sebagai berikut : motor listrik 1 HP dengan kecepatan putar mesin 1400 rpm, diameter poros 25 mm, pully penggerak 100 mm, pully yang digerakan 250 mm, diameter drum perontok 410 mm, serta dimensi ayakan 290 mm × 200 mm dengan diameter poros ayakan sebesar 10 mm. Analisis pada rangka dilakukan pembebanan pada bagian rangka nomer 1 dengan beban 2168,639N, untuk bagian rangka kedua diberikan beban sebesar 328,41 N, untuk bagian rangka nomor 3 diberikan beban sebesar 150,04N, dan untuk bagian rangka nomor 4 diberikan beban sebesar 26,315N, dari hasil analisa dengan menggunakan solidwork menunjukkan hasil tegangan terbesar tidak melebihi batas *yield strength*, hal itu menunjukkan rangka yang dipakai aman untuk digunakan.

Ucapan Terima Kasih

Saya ucapkan terimakasih keypad universitas pancasila yang telah memfasilitasi segala kebutuhan dalam proses penelitian ini, dan untuk bapak ir hasan hariri yang telah membimbing saya dalam menyelesaikan penelitian ini saya ucapkan terimakasih atas waktu, tenaga dan pikiran yang anda luangkan untuk mengarahkan saya dalam melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. N. Nurrahman, "EVALUASI KOMPOSISI ZAT GIZI DAN SENYAWA ANTIOKSIDAN KEDELAI HITAM DAN KEDELAI KUNING," *J. Apl. Teknol. Pangan*, vol. 4, no. 3, pp. 89–93, 2015.
2. I. Yousida, "ANALISIS PENGENDALIAN PERSEDIAAN BAHAN BAKU PADA PABRIK TAHU SKM DI BANJARBARU," *J. Ilm. Ekon. Bisnis*, vol. 5, no. 2, pp. 246–255, 2019.
3. N. Sartika, S. Sutrisno, and E. Darmawati, "Operasionalisasi Mesin Perontok Multiguna untuk Kedelai Studi Kasus: Kecamatan Majalengka, Kabupaten Majalengka," *J. Keteknikan Pertan.*, 2016.
4. N. D. Sartika, S. Sutrisno, and E. Darmawati, "ANALISIS KEEKONOMIAN PENGOPERASIAN ALAT PERONTOK UNTUK KEDELAI (STUDI KASUS: KECAMATAN MAJALENGKA, KABUPATEN MAJALENGKA)," *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 6, no. 2, pp. 114–124, 2018.
5. K. T. Ulrich and S. D. Eppinger, *Product Design and Development: Fifth Edition*. 2012.
6. Basori, Marsudi, and B. R. Saputra, "Perancangan Mesin Perontok Jagung Dengan Kapasitas Produksi 300 Kg / Jam," *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 1, no. 1, pp. 7–14, 2018.
7. H. Priono, M. Y. Ilyas, A. R. Nugroho, D. Setyawan, L. Maulidiyah, and R. A. Anugrah, "Desain Pencacah Serabut Kelapa dengan Penggerak Motor Listrik," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 3, no. 1, pp. 23–28, 2019.
8. A. Nurjaman, "Analisis Mesin Pemutar Es Krim Dengan Sistem Control Timer," vol. 6, no. 1, pp. 171–180, 2014.
9. A. Sateria *et al.*, "Rancang Bangun Mesin Pengayak Pasir Untuk Meningkatkan Produktivitas Pengayakan Pasir Pada Pekerja Bangunan," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 11, no. 1, pp. 8–13, 2019.
10. A. Sutrisna, S. Kamaharudin, D. Panuh, and J. Raharjo, "PERANCANGAN MESIN PENGHANCUR DAUN KERING MENGGUNAKAN LIMA MATA PISAU," *J. Renew. Energy Mech.*, vol. 2, no. 2, pp. 66–80, 2019.

SUBMISSION 11**Perancangan Mesin Pengayak Getar Kapasitas 2 m³/jam**Bambang Sulaksono¹ dan A. Mastiko¹¹¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Ayakan adalah sebuah alat yang berguna untuk memisahkan suatu benda ke dalam besaran - besaran tertentu. Mesin pengayak multi fungsi sistem kontinu dengan penggetar eksentrik merupakan salah satu upaya penerapan teknologi tepat guna untuk membantu proses pengayakan menjadi lebih efektif tanpa membutuhkan banyak tenaga manusia serta prosesnya yang lebih cepat dibandingkan dengan pengayakan manual. Kemudian screen dibuat dua tingkat sehingga dapat memisahkan kedalam tiga ukuran. Penggerak mesin menggunakan motor listrik yang kemudian ditransmisikan ke pulley melalui V-belt. Dimensi pengayak ini adalah $P = 1500 \text{ mm} \times L = 600 \text{ mm} \times T = 100 \text{ mm}$ Hasil dari perhitungan rancangan adalah sebagai berikut : Daya motor listrik 0,5 Hp dengan 670 rpm, dengan putaran yang direncanakan adalah 182,72 rpm = 3 putaran/detik, dengan rencana kemiringan ayakan 10°, diperkirakan material bergerak turun 10 mm tiap putaran atau 0.01 m/putaran. Kapasitas mesin adalah 800 kg/jam.

Kata Kunci- Getar; Pengayak multifungsi; Roda eksentrik.

PENDAHULUAN

Paradigma sebagian besar masyarakat Indonesia selama ini menganggap sampah sebagai bahan yang sudah tidak memiliki nilai guna maupun nilai ekonomi. Berbagai cara untuk menanggulangi timbulnya sampah dilakukan seperti membangun Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Pengelolaan sampah di Indonesia merupakan permasalahan yang belum dapat ditangani atau dimanfaatkan dengan baik. Kegiatan pengurangan sampah baik di masyarakat sebagai penghasil sampah maupun di tingkat kawasan masih sekitar 5% sehingga sampah tersebut dibuang ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sementara lahan TPA tersebut sangat terbatas. Komposisi sampah terbesar di TPA selain sampah organik (60%) terdapat sampah non organik yaitu sampah plastik (15%). dikarenakan sulitnya untuk memperoleh makanan dan berlingkungan. Dan tumbuhan yang hidup pada area tanah tersebut juga terkena dampaknya. Selain itu kadar oksigen dalam tanah semakin sedikit, sehingga lahan tanah sulit untuk bernafas dan akhirnya mati.

Selain itu cara untuk memanfaatkan sampah plastik yaitu dengan metode daur ulang. Dalam proses daur ulang limbah plastik, tahap pertamanya adalah proses pencacahan menggunakan mesin pencacah plastik. Pencacahan merupakan proses daur ulang plastik bekas yang mempunyai fungsi mengolah plastik bekas menjadi bahan baku sekunder berupa serpihan. Dengan adanya masalah di atas maka penulis merancang mesin pengayak sampah pengayakan sampah merupakan pemisahan berbagai campuran partikel padatan yang mempunyai berbagai ukuran untuk memisahkan material yang masih dapat diproses dan tidak dapat diproses kembali dengan menggunakan ayakan. Proses pengayakan digunakan sebagai alat pembersih, pemisah kontaminan yang ukurannya berbeda dengan bahan baku sebelum memasuki tahapan pengolahan sampah selanjutnya.

¹ Corresponding author: apriyantomastiko500@gmail.com



Gambar 1. Pengaya

Gambar 1 menunjukkan pengayakan. Pengayakan merupakan satuan proses pemisahan dari berbagai ukuran bahan untuk dipisahkan ke dalam 2 atau 3 kategori dengan menggunakan ayakan. Setiap kategori yang keluar dari ayakan mempunyai ukuran yang seragam. Proses pengayakan juga digunakan sebagai alat pembersih, pemisah kontaminan yang ukurannya berbeda dengan bahan baku. Pengayakan memudahkan kita untuk mendapatkan pasir dengan ukuran yang seragam. Dengan demikian pengayakan dapat didefinisikan sebagai suatu metoda pemisahan berbagai campuran partikel padat sehingga didapat ukuran partikel yang seragam serta terbebas dari kontaminan yang memiliki ukuran yang berbeda dengan menggunakan alat pengayakan. Pengayakan dengan berbagai rancangan telah banyak digunakan dan dikembangkan secara luas pada proses pemisahan butiran-butiran berdasarkan ukuran. pengayakan yaitu pemisahan bahan berdasarkan ukuran mesin kawat ayakan, bahan yang mempunyai ukuran lebih kecil dari diameter mesin akan lolos dan bahan yang mempunyai ukuran lebih besar akan tertahan pada permukaan kawat ayakan. Bahan-bahan yang lolos melewati lubang ayakan mempunyai ukuran yang seragam dan bahan yang tertahan dikembalikan untuk dilakukan penggilingan ulang. Jenis-jenis pengayak (*screen*) dengan berbagai desain telah digunakan secara luas pada proses pemisahan butiran-butiran berdasarkan ukuran yang terdapat pada mesin-mesin sortasi, tetapi pengayak juga digunakan sebagai alat pembersih, pemisahan kontaminan yang berbeda ukurannya dari bahan baku.

Istilah-istilah yang digunakan dalam pengayakan (*screen*) yaitu :

- a. *Under size* yaitu ukuran bahan yang melewati celah ayakan.
- b. *Over size* yaitu ukuran bahan yang tertahan oleh ayakan.

Berdasarkan dari latar belakang, rumusan masalah pada perancangan ini adalah

- a. *Screen aperture* yaitu bukaan antara individu dari kawat ayakan.
- b. *Mesh number* yaitu banyaknya lubang-lubang per 1 inci.
- c. *Screen interval* yaitu hubungan antara diameter kawat kecil pada seri ayakan standar.

Pada Gambar 2 hakikatnya prinsip kerja dari mesin pengayak getar ini adalah menjadikan sampah organik yang telah di cacah menjadi bentuk sampah serpihan atau hasil ayakan dengan ukuran 1 mm -5 mm. Dengan hasil tersebut bisa untuk memudahkan dalam proses pembuatan pupuk organik. Salah satu contoh bentuk kompos yang dapat dilihat.



Gambar 2. kompos

2. METODOLOGI

Berdasarkan gambar 3 maka dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Latar Belakang

Salah satu cara untuk memanfaatkan sampah organik yaitu dengan metode daur ulang. Salah satu metode daur ulang tersebut adalah dengan perancangan mesin pengayak getar kapasitas 2m²/jam.

2. Rumusan Masalah

bagaimana desain perancangan mesin pengayak getar kapasitas 2 m²/jam, komponenapa saja yang digunakan pada perancangan mesin pengayak getar kapasitas 2m²/jam, bagaimana proses parameter utama pada mesin pengayak kapasitas 2 m²/jam.

3. Batasan Maslah

Melakukan perancangan mesin pengayak kapasitas 2 m²/jam.

4. Tujuan

Menghasilkan desain perancangan mesin pengayak kapasitas 2 m²/jam., menentukan komponen yang digunakan pada perancangan mesin pengayak kapasitas 2 m²/jam., memahami proses perancangan mesin pengayak kapasitas 2 m²/jam.

5. Studi Lapangan dan Studi

Literatur

Dalam perancangan ini adalah studi literatur dan survei lapangan. Yang dilakukan pada tahap studi literatur yaitu membuat identifikasi dari literatur atau perancangan yang sudah ada sebelumnya. Dan pada tahap survei lapangan yaitu meninjau cara kerja dan parameter utama pada mesin pencacah plastik yang sudah ada sebelumnya.

6. Identifikasi Permasalahan

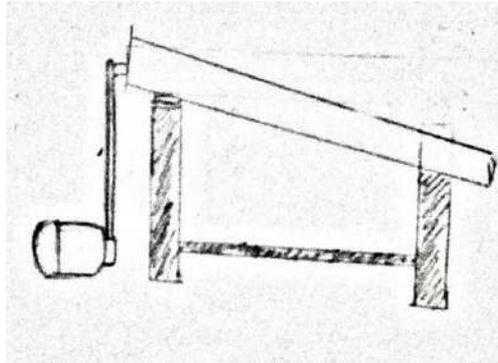
Identifikasi permasalahan merupakan uraian kegiatan pengumpulan data atau informasi dari perancangan yang sudah ada dan yang diperlukan untuk perancangan mesin pengayak kapasitas 2 m²/jam.

7. Analisis dan Perancangan

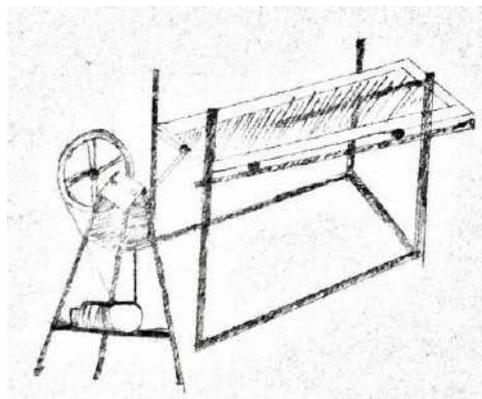
1. Perhitungan torsi
2. Menghitung daya motor
3. Menghitung kapasitas mesin
4. Menghitung beban material

8. Kesimpulan

Menyimpulkan hasil dari perancangan berdasarkan analisis dan perancangan yang telah dilakukan.



Gambar 3 Varian 1



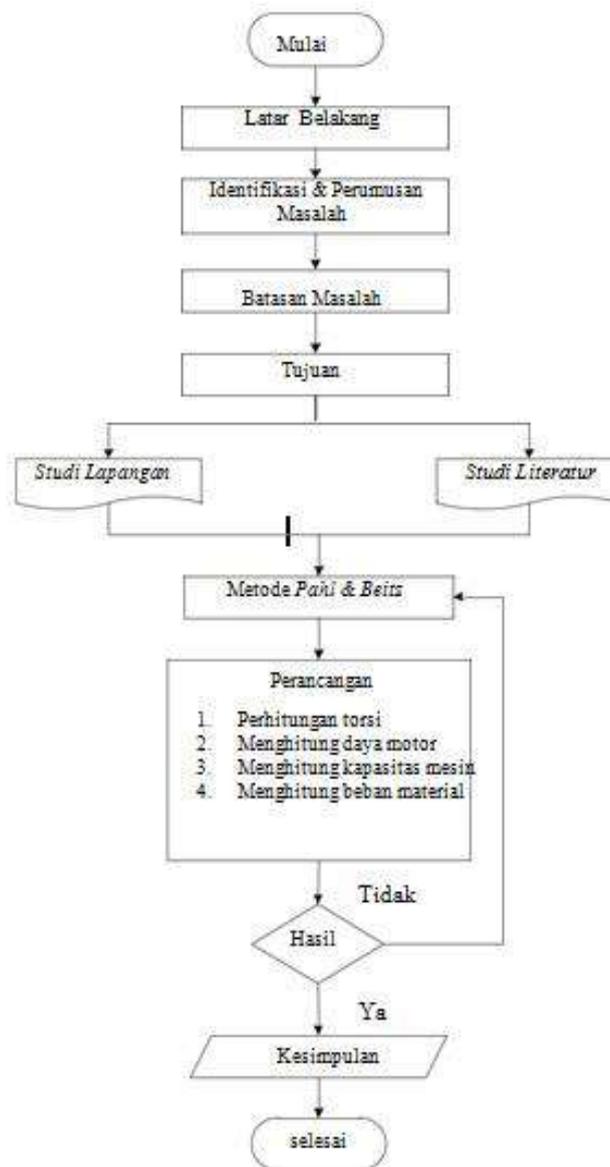
Gambar 4 Varian 2

Prinsip kerja dari mesin pengayak getar ini adalah mengubah energi listrik menjadi mekanik, dimana *input* dari mesin ini adalah sampah organik. Dimana pada saat sampah dimasukkan kedalam penadah akan diayak oleh dengan getaran sehingga akan memilah sampah yang dibutuhkan dan tidak.

Kriteria Pemilihan Desain

Dalam menentukan kriteria pemilihan desain adalah sebagai berikut :

- a. Material Mesin
 1. Tahan Getaran
 2. Tahan Korosi
- b. Efisiensi
 1. Mudah dioperasikan
 2. Ramah Lingkungan
- c. Mudah dirawat
 1. Jenis Perawatan
 2. Frekuensi Perawatan

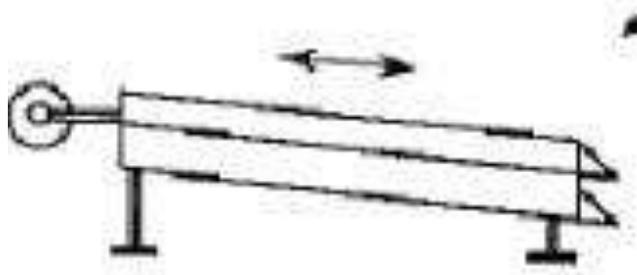


Gambar 5 Diagram Alir
Tabel 1 Keputusan desain

No	Kriteria	Bobot	Varian 1		Varian 2	
			Nilai	Bobot Nilai	Nilai	Bobot Nilai
1	Tahan Geseran	0,25	3	0,75	4	1
2	Tahan Kerosi	0,25	3	0,75	4	1
3	Mudah dioperasikan	0,15	2	0,3	3	0,45
4	Rendah Lingkaran	0,15	3	0,45	3	0,15
5	Jenis Perawatan	0,1	2	0,2	3	0,3
6	Frekuensi Perawatan	0,1	3	0,3	2	0,2
	Total	1	16	2,75	19	3,15

Tahapan Penelitian

Gambar 3 memperlihatkan sistem gerak mesin pengayak Proses perancangan telah mendapatkan desain dari mesin pengayak kompos tipe *vibrating screen* yang menggunakan komponen mesin yang mudah dalam proses fabrikasinya, mudah dalam pengoperasian dan perawatannya. Mesin pengayak pasir cetak ini cara kerjanya adalah kompos dimasukkan dalam bak penampungan melalui saluran masuk kompos, lalu bak penampungan bergerak maju mundur yang digerakkan oleh poros engkol untuk proses pengayakan.



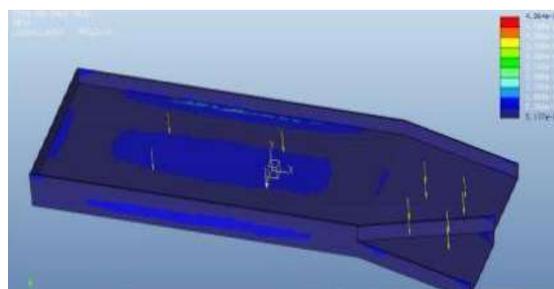
Gambar 6 bak penampung

Mekanisme kerja mesin pengayak getar adalah sebagai berikut

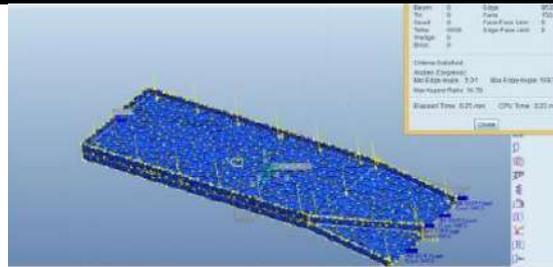
1. Motor dialiri dengan arus listrik, dengan menghubungkan stop kontak dengan arus listrik 0,5 HP.
2. Motor terhubung dengan pulley, kemudian pulley tersebut menggerakkan poros engkol melalui poros penghubung, poros engkol berputar menggerakkan ayakan dengan arah maju mundur yang bertumpu pada roda dengan melewati rel pada ayakan.
3. Ketika screen kompos sudah bergerak maka kotoran sisa ayakan yang tidak bisa melewati lubang ayakan akan keluar melalui hopper keluar yang paling atas. Sedangkan kompos yang masuk melewati lubang ayakan yang kasar akan keluar melalui saluran keluar nomor 2 dari atas, kemudian untuk kompos hasil ayakan yang paling halus akan keluar melalui saluran ayakan yang paling besar yang paling bawah pada mesin ayakan tersebut.
4. Untuk hasil ayakan yang digunakan adalah kompos yang paling halus yang melewati saringan ayakan yang mempunyai mesh count 30. Proses akan berjalan terus menerus sesuai kapas

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui nilai von mises stress. Diketahui nilai F maksimal pada pengujian adalah 53N. Pada analisis static di pro engineer, nilai F yang telah didapatkan tadi dimasukkan sebagai force total yang bekerja pada rangka. Setelah force terdefinisi, meshing pun bisa dilakukan dan hasil analisis bisa didapatkan diantaranya adalah sebagai berikut.



Gambar 7 Meshing



Gambar 8 Hasil analisis von mises stress

Analisa Beban Material pada Bak Ayakan Besarnya gaya centripetal yang terjadi. Untuk menghitung, dapat digunakan rumus (2.13) pada halaman 18, maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$F = m v^2/r$$

Dimana :

r = Jarak eksentrik = 3 mm = 0,03m Volume maksimum material pada bak saringan dapat dihitung :

p = Panjang saringan = 1,5 m l= Lebar saringan = 0,60 m t = Tinggi material = 0,03 m

$$V = p \cdot l \cdot t$$

$$= 1,5 \text{ m} \cdot 0,60 \text{ m} \cdot 0,03 \text{ m}$$

$$= 0,027 \text{ m}^3$$

Jadi massa material pada bak saringan :

$$m = V \cdot P$$

$$= 0,027 \text{ m}^3 \cdot 120 \text{ kg/m}^3$$

$$= 3,2 \text{ kg}$$

Menghitung Putaran Pengayakan menentukan torsi Diketahui pembebanan pada rangka ayakan serta *mesh* ayakan 1,8 kg, kemudian berat pulley 0,5 kg dan jari-jari pembebana 600 mm akan dilakukan perhitungan sebagai berikut. Untuk menghitung torsi, dapat digunakan rumus (2.2) pada halaman 14, maka digunakan rumus tersebut.

M = rangka ayakan + beban material

$$M = 5,5$$

$$F = m \times g$$

$$= 5,5 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$= 53 \text{ N}$$

$$= F \times r$$

$$= 53 \times 0,54$$

$$= 28,6 \text{ N.m}$$

Pemilihan motor yang diperlukan untuk mencari spesifikasi motor yang diperlukan untuk mesin pemilah sampah diketahui nilai *force* 2,3 N, lalu torsi yang didapat 28,6 N.m

Menghitung kebutuhan spesifikasi :

$$P = \frac{28,6 \times 100}{5252} = (0,5 \text{ HP}) (372,8 \text{ watt})$$

Dengan :

P : Daya (Hp)
T : Torsi (N.m)
n : Jumlah putaran per-menit (rpm).

Menghitung arus yang diperlukan dengan perkiraan tegangan 220V, 372,8 watt = 0,3728 kW.

Arus/ampere motor (I) :

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{372,8 \text{ watt}}{220 \text{ V}} = 1,69 \text{ amper}$$

I: Arus (Ampere) P : Daya (Watt) V : Tegangan (Voltage)

Didapat perhitungan diatas kita dapat daya motor yang dibutuhkan untuk memutar rangka ayakan dan *mash* sebesar 5,5 kg. setara dengan 0,5 HP oleh sebab itu disini peneliti menyesuaikan dengan spesifikasi yang berada dipasaran mendekati perhitungan maka dipilih motor 0,5 Hp, setelah didapat spesifikasi motor yang akan digunakan menggunakan motor AC 1 fasa dengan putaran motor sesuai spesifikasi yang terdapat dipasaran 670 rpm. Untuk mengetahui putaran yang digunakan pada pengayakan, terlebih dahulu menghitung diameter puli penggerak dan diameter puli yang digerakkan, Untuk menghitung, dapat digunakan rumus (2.11) pada halaman 18, maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{Dp}{dp} \quad Dp = \frac{dp \cdot n_1}{n_2}$$

Dimana :

Dp = Diameter puli yang digerakkan
= 11 inchi = 279mm
dp = Diameter puli penggerak
= 3 inchi = 76,2 mm
n1 = Putaran puli penggerak
= 670 rpm sesuai stationer motor listrik

Maka :

$$n_2 = \frac{dp \cdot n_1}{Dp}$$

$$= \frac{3 \cdot 670}{11}$$

$$= 182,72 \text{ rpm}$$

Dalam menentukan kapasitas pengayak, dipengaruhi oleh luasan bak ayakan dan getaran, dimana putaran yang direncanakan adalah 182,72 rpm = 3 putaran/detik, dengan rencana kemiringan ayakan 10°, diperkirakan material bergerak turun 10 mm tiap putaran atau 0.01 m/putaran, maka dapat diasumsikan kecepatan material (v).

$$v = 3 \text{ putaran/s} \cdot 0,01 \text{ m/putaran} \quad v = 0,03 \text{ m/s}$$

Luas penampang aliran (A) :

$$\text{Tinggi maksimum material} = 3 \text{ mm} = 0,03 \text{ m}$$

$$\text{Lebar ayakan} = 600 \text{ mm} = 0,60 \text{ m}$$

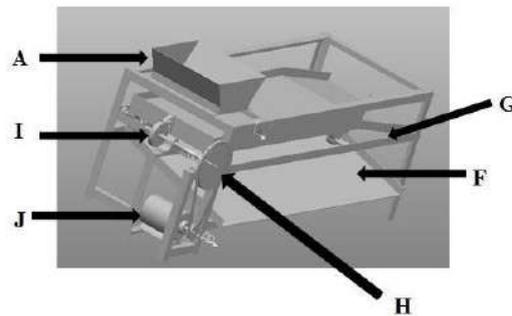
$$\text{Maka } A = \text{Lebar} \times \text{Tinggi}$$

$$= 0,60 \text{ m} \times 0,03 \text{ m}$$

$$= 0,018 \text{ m}^2$$

Untuk menghitung kapasitas, dapat digunakan rumus (2.12) pada halaman 18, maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q &= v \cdot A \\ &= 0,03 \text{ m/s} \cdot 0,018 \text{ m}^2 \\ &= 0,00054 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 2 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$



Gambar 9 Desain terpilih

Keterangan :

- A. Hopper masuk
- B. Ayakan dengan mesh count 20
- C. Ayakan dengan mesh count 30
- D. Hopper kotoran sisa ayakan
- E. Hopper kompos kasar
- F. Hopper kompos yang halus
- G. Rell untuk dudukan roda
- H. Pulley
- I. Poros engkol
- J. Motor listrik
- K. Roda karet sintetis
- L. Belt

4. SIMPULAN

Dari proses rancangan mesin pengayak getar maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut : Dari kedua konsep varian maka terpilih satu varian yang dijadikan untuk menjadi alat pengayak getar dengan masing-masing nilai yaitu varian 1 dengan nilai 2,75, varian 2 dengan nilai 3,15. Maka varian 2 terpilih menjadi konsep. Mendapatkan hasil perhitungan daya motor listrik yang dibutuhkan untuk memutar disc sebesar 0,391 Hp maka dibulatkan menjadi 0.5 Hp. Mendapatkan komponen-komponen yang diperlukan dalam perancangan mesin pengayak getar

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amin. M. N., Oktiawan. W, Wardan. I. W, "Pemanfaatan Zona Pasca Operasi Penimbunan Sampah di TPA Blondo Kabupaten Semarang," Jurnal Teknik Lingkungan vol. 3, no. 2, pp. 54–67, 2015.
- [2] S Mochamad, N. H. Arip, dan M Zahrul, "Rancang Bangun Mesin Pencacah Plastik Sebagai Bahan Baku Mesin Pirolisis Skala Komunal," Jurnal Mekanika dan Sistem Termal, Vol. 1 No.2, pp.43-48, 2016.
- [3] Widighda. A.R, Kusuma I.G.B.W, Santhiarsa I.G.N, Dwidiani N.M, " Analisa Getaran Mekanik Pada Panser Badak,". Jurnal METTEK Vol. 3, No 2, pp 120 – 125, 2017.
- [4] G. Pahl and W. Bei tz. 2007. Engineering Design: A Systematic Approach; Springer
- [5] L. Son, R. Afandi, "Analisis Frekuensi Pribadi Dan Modus Getar Struktur Pesawat Tanpa Awak Tipe Flying Wings," Jurnal Sistem Mekanik dan Termal ISSN : 2597- 4483, Vols. Vol. 02, No. 02, pp. 36-42, 2018.
- [6] A. Yanto, "Analisa Unjuk Kerja Pengayak Getar Sebagai Sistem Getaran Dua Derajat Kebebasan terhadap Pengayakan Abu Sekam Padi," Jurnal Momentum ISSN : 1693-752X, vol. Vol. 15 No. 2, pp. 125-129, 2013.
- [7] Naharuddin, "Pengaruh Jenis Tumpuan terhadap Frekuensi Pribadi pada Getaran Balok Lentur," Jurnal Ilmiah Matematika Terapan ISSN : 2540-766X, Vols. Vol. 6, No. 1, pp. 68- 74, 2009.
- [8] Siahaan.E.W.B, S.T, M.T," Perancangan Mesin Pengayak Pasir Dengan Kapasitas 6,5 m³/jam Dari *Bottom Ash* Di PLTU Labuhan Angin," JURNAL DARMA AGUNG Volume XXVI, Nomor 1,2018: 460 - 475.
- [9] P. Purwaningrum, "Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik di Lingkungan," *JTL*, Vol 8 No.2, pp. 141-147, 2016

SUBMISSION 16**Fabrikasi Tangki Bahan Bakar Biodiesel B30 Pada Engine Diesel Jiang Fa R175**Rizqi Fajar Apriliansyah¹, dan Nafsan Upara¹¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Biodiesel adalah metil ester yang merupakan hasil reaksi transesterifikasi trigliserida atau reaksi esterifikasi minyak nabati. Biodiesel dikenal sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan karena emisi gas buang yang dihasilkan relatif lebih bersih dibandingkan bahan bakar fosil. Selain itu biodiesel tidak beracun dan kandungan belerangnya juga sangat kecil dan yang tak kalah penting adalah bahan bakunya berasal dari minyak nabati yang tersedia dalam jumlah berlimpah dan dapat diperbarui. Dikarenakan menggunakan bahan bakar biodiesel B30 dibutuhkan tangki yang dibuat khusus karena sifat B30 jika ditampung kurun waktu tertentu akan menghasilkan gel dan mempengaruhi kondisi tangki.

Kata Kunci- *Biodiesel; Tangki biodiesel B30.*

PENDAHULUAN

Biodiesel adalah metil ester yang merupakan hasil reaksi transesterifikasi trigliserida atau reaksi esterifikasi minyak nabati. Biodiesel dikenal sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan karena emisi gas buang yang dihasilkan relatif lebih bersih dibandingkan bahan bakar fosil. Selain itu biodiesel tidak beracun dan kandungan belerangnya juga sangat kecil dan yang tak kalah penting adalah bahan bakunya berasal dari minyak nabati yang tersedia dalam jumlah berlimpah dan dapat diperbarui [1].

Minyak sawit termasuk minyak biodiesel yang memiliki kadar lemak jenuh yang tinggi. Minyak sawit berwujud setengah padat pada temperatur ruangan dan memiliki beberapa jenis lemak jenuh asam laurat (0.1%), asam miristat (1%), asam stearat (5%), dan asam palmitat (44%). Minyak sawit juga memiliki lemak tak jenuh dalam bentuk asam oleat (39%), asam linoleat (10%), dan asam alfa linoleat (0,3%)[2]. Seperti semua minyak nabati, minyak sawit tidak mengandung kolesterol[6] meski konsumsi lemak jenuh diketahui menyebabkan peningkatan kolesterol lipoprotein densitas rendah dan lipoprotein densitas tinggi akibat metabolisme asam lemak dalam tubuh[3]. Minyak sawit juga GMO free, karena tidak ada kelapa sawit termodifikasi genetik (GMO) yang dibudidayakan untuk menghasilkan minyak sawit. Dalam penggunaan di Indonesia, pemerintah mendorong untuk dicampur dengan minyak diesel dan saat ini sudah sampai biodiesel B30 dimana 30% minyak sawit dan 70% minyak diesel. Motor diesel atau engine diesel untuk transportasi darat dan laut diminta untuk menggunakan bahan B30 oleh pemerintah, disisi lain dikuatirkan pengaruh B30 terhadap unjuk kerja engine diesel[4].

Adanya penelitian tentang pengaruh bahan bakar B30 terhadap motor diesel dan perlengkapan motor diesel lainnya yang dilakukan oleh peneliti lainnya, dimana penelitian ini bagian dari team tersebut dengan ditugaskan untuk membuat atau fabrikasi tangki penampungan bahan bakar B30, sehingga tugas akhir ini fokusnya adalah membuat tangki bahan bakar B30 untuk digunakan dalam menampung bahan bakar B30.

METODE PENELITIAN

Penelitian terdiri dari tiga tahapan, yaitu tahap perancangan, manufaktur, dan pengujian kinerja. Pada tahap perancangan, metode pedekatan sistematis Pahl & Beitz digunakan untuk menentukan desain terbaik. Tahapan metode Pahl & Beitz meliputi perencanaan dan penjelasan tugas, perencanaan konsep produk perencanaan bentuk, serta perencanaan detail. Bench marking dilakukan untuk mendapatkan spesifikasi dan perbandingan produk yang ada di pasaran. Pemilihan variasi desain dilakukan untuk mendapatkan desain terbaik. Dalam pembuatan tangki ini menggunakan metode *Desain For Manufacturing Assembly (DFMA)* yang dapat menghasilkan *Standard Operation Procedure (SOP)* dan *Operation Process Chart (OPC)* dalam langkah manufaktur yang dilakukan.

¹ Corresponding author: rizqifajar1997@gmail.com

A. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam proses fabrikasi tangki bahan bakar biodiesel ini adalah sebagai berikut :

- 1) Plat *stainless steel* 304



Gambar 1. Plat *stainless steel* 304

Gambar 1 diatas menunjukkan bentuk fisik dari plat *stainless steel* 304 yang akan digunakan sebagai bahan utama untuk fabrikasi tangki bahan bakar biodiesel B30 karena sifat ketahanan terhadap korosi yang baik, kekuatan mekanik, kemampuan las, serta harga yang relative terjangkau.

- 2) Mesin roll



Gambar 2. Mesin roll

- 3) Mesin las



Gambar 3. Mesin las

Gambar 3 diatas adalah mesin las yang digunakan dalam fabrikasi tangki untuk menyambungkan setiap komponen. Jenis pengelasan yang digunakan adalah SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) atau las busur listrik yang menggunakan mesin las tipe lakoni falcon 120e dan kawat las yang digunakan adalah tipe EDZONA-110 khusus *stainless steel*

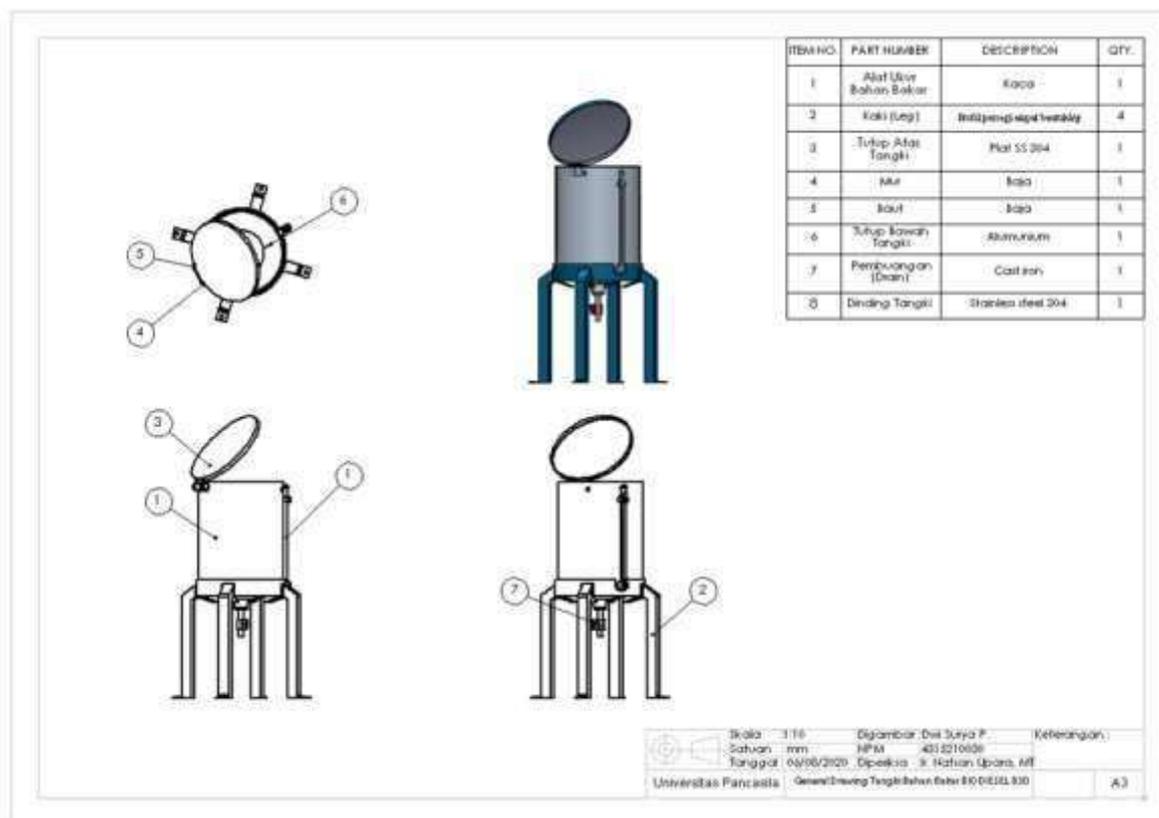
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Dasar pemilihan komponen

Dasar pemilihan komponen merupakan suatu hal yang sangat penting dalam proses fabrikasi tangki untuk penelitian performance engine Diesel Jiang Fa R175A menggunakan bahan bakar B30, dari dasar pemilihan komponen dapat menentukan setiap komponen yang digunakan, material yang digunakan, serta dapat menentukan banyaknya komponen yang digunakan pada saat proses fabrikasi tangki.

B. Bill Of Material (BOM)

Berdasarkan perancangan dari tim yang sudah dibuat maka didapatkan *Bill Of Material* (BOM) yang akan digunakan :



Gambar 4. Desain tangki

C. Jenis-jenis komponen

Komponen-komponen pada *Bill Of Material* dibedakan menjadi 2 macam yaitu komponen yang dibeli dan komponen yang dibuat. Berikut adalah daftar dari setiap komponen yang dibeli dan komponen yang dibuat. Tabel 1 merupakan komponen yang dibeli pada proses fabrikasi tangki, berikut nama-nama komponennya.

Tabel 1. Komponen yang dibeli

No.	Nama Komponen	Jumlah
1.	Pengukuran Tinggi Fluida	1
2.	Mur	1
3.	Baut	1
4.	Filter	1
5	Valve	1

Tabel 2 merupakan komponen yang dibeli pada proses fabrikasi tangki, berikut nama-nama komponennya.

Tabel 2. Komponen yang dibuat

No.	Nama Komponen	Jumlah
1.	Dinding Tangki	1
2.	Kaki (<i>leg</i>) Tangki	4
3.	Kepala (<i>head</i>) Tangki	1

D. Standar Operation Procedure (SOP)

Dari dasar pemilihan komponen diatas bahwa komponen dibagi menjadi dua jenis yaitu komponen yang dibeli dan komponen yang dibuat. Berikut ini adalah *Standard Operation Procedure* (SOP) manufaktur berdasarkan komponen pada tangki B30 yang terdiri dari *Standar Operation Procedure* dinding tangki, *Standar Operation Procedure* rangka dan *Standar Operation Procedure* tutup tangki.

E. Prosedure fabrikasi/manufaktur

- 1) Fabrikasi dinding tangki.
- 2) Fabrikasi kepala (*head*) tangki.
- 3) Fabrikasi penyambungan dinding tangki ke kepala (*Head*) Tangki.
- 4) Fabrikasi kaki (*leg*) tangki.
- 5) Fabrikasi penyambungan kaki ke *body* tangki.

F. Proses *assembly* tangki biodiesel B30

Setelah melakukan proses permesinan pembuatan setiap komponen yang dibuat dan mendapatkan setiap komponen yang dibeli maka dapat dilakukan proses *assembly* secara keseluruhan pada tangki B30 sebagai berikut :

1. Proses *assembly* pertama adalah menyatukan rangka dan tangki dengan cara menempatkan tangki pada penyangga rangka sesuai dengan dudukan yang telah dibuat.



Gambar 5. *Assembly* rangka dengan dinding tangki

2. Pada proses *assembly* selanjutnya adalah memasang kaca ukur pada dinding tangki dengan memasukan kedua dudukan kaca ukur yang sudah terdapat ulir pada dinding tangki yang sudah dilubangi dan kemudian dudukan tersebut dikencangkan dengan mur. Agar menghindari kebocoran, mur tersebut dilapisi dengan lem.



Gambar 6. *Assembly* kaca ukur

3. Proses *assembly* selanjutnya adalah memasang filter bahan bakar pada bagian dalam tangki dengan menyatukan pipa yang menempel pada filter ke dalam lubang pada tangki, kemudian menambahkan seal pada pipa dan dikencangkan menggunakan mur.



Gambar 7. *Assembly* filter

4. Proses *assembly* selanjutnya adalah menyatukan tutup tangki dengan tangki menggunakan baut dan mur.



Gambar 8. *Assembly* tutup tangki

G. Hasil manufaktur tangki biodiesel B30

Berikut merupakan hasil dari proses manufaktur dari setiap komponen tangki yang sudah dibuat dan diassembly.



Gambar 9. Hasil manufaktur tangki biodiesel B30

Tangki ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- 1) Dimensi tangki memiliki panjang 0,34 m dan diameter 0,24 m.
- 2) Kapasitas tangki 15 liter.
- 3) Digunakan untuk bahan bakar biodiesel B30.

H. Pengujian fungsional tangki biodiesel B30

Dalam pengujian fungsional yang telah dilakukan pada tiap komponen tangki biodiesel B30 seperti tangki, tutup tangki, valve dan filter agar sesuai dengan fungsinya masing-masing. Tangki dilakukan pengujian tes kebocoran menggunakan air, pengujian ini dilakukan selama 24 jam. Setelah pengujian selesai, dilakukan pengecekan kembali pada tangki, hasilnya tidak terjadi kebocoran dan tangki dapat berfungsi sebagai penampung bahan bakar.

KESIMPULAN

Pada pembuatan tangki ini menggunakan metode *Desain For Manufacturing Assembly* (DFMA) yang dapat menghasilkan *Standard Operation Procedure* (SOP) dan *Operation Process Chart* (OPC) dalam langkah manufaktur yang dilakukan. Tangki yang dibuat dapat menampung bahan bakar sebanyak 15 liter, bahan bakar yang digunakan ada dua jenis, solar dan biodiesel B30. Pengujian fungsi pada tangki sudah sesuai dan baik tanpa adanya kebocoran, untuk pengujian kinerja pada saat dilakukan pengujian, tangki berfungsi dengan baik sebagai penampung bahan bakar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan dan penulis mengucapkan terimakasih kepada Jurusan Teknik Mesin Universitas Pancasila Jakarta atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. S. J. Ojolo, J. I. Orisaleye, and A. O. Adelaja, "Development of a high speed abrasive cutting machine," *J. Eng. Res.*, vol. 15, no. 3, pp. 1–8, 2010.
2. P. Irawan, "Diktat elemen mesin," *Diklat Elem. Mesin*, vol. 1–3, no. 12, p. 124, 2011.
3. M. Eng Wanto, ST and Mp. Senja, Spd., "Rancang bangun peralatan pemrosesan biodiesel," *Ranc. bangun peralat. Pemrosesan biodiesel*, vol. 3, no. 062, pp. 1–6, 2014.
4. K. Pendidikan, D. A. N. Kebudayaan, D. Jenderal, G. Dan, and T. Kependidikan, "Teknologi biodiesel," *Tek. energi terbarukan*, vol. 3, no. 12, pp. 9–14, 2015.
5. S. Asia, "Palm oil," *J. Int.*, vol. 3, no. 8, pp. 1–13, 2011.
6. R. B. Letters, A. M. Studiorum, and V. Fanin, "Lipolytic activity of lipases from different strains of *Yarrowia lipolytica* in hydrolysed vegetable fats at low temperature and water activity," *Mater. Methods*, vol. 16, no. 6, pp. 46–52, 2011.

7. R. P. Mensink and M. B. Katan, "Effect of dietary fatty acids on serum lipids and lipoproteins," J. Int., vol. 12, no. 8, pp. 911–919, 2012.
8. T. H. E. United and S. Of, "Design and construction of large, welded, low-pressure storage tanks," API stand., vol. 552, no. 620, pp. 11–14, 1996.
9. Yaser, "Comparision of fuel properties of biodiesel fuels produced from different oils to determine the most suitable feedstock type," Fuel, vol. 264, no. August 2019, 2020.
10. M. F. Ashby, "Materials selection second edition mechanical design," J. Int., vol. 5, no. 5, pp. 65–83, 2016.

SUBMISSION 18

Perancangan Tangki Bahan Bakar Biodiesel B30 Pada Engine Diesel Jiang FA R175 A

Dwi Surya Prayogi¹, dan Nafsan Upara¹

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

Abstrak. Sistem bahan bakar Biodiesel merupakan sebuah inovasi untuk memanfaatkan energi bahan bakar biodiesel atau B30 yang memanfaatkan reaksi esterifikasi minyak nabati. Biodiesel ini merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan karna emisi gas buangnya yang sangat rendah tak hanya bagi mesin kendaraan pribadi juga sangat berpengaruh kepada perekonomian negara. Untuk mengembangkan bahan bakar nabati seperti biodiesel ini sendiri memerlukan tempat penampungan bahan bakar (tangki) yang dirancang khusus untuk jenis bahan bakar biodiesel yang sesuai spesifikasi. Pada penelitian ini, perancangan dilakukan menggunakan metode Pahl & Beitz, yang digunakan untuk merancang tangki bahan bakar B30 berbentuk Silinder Vertikal. Dan material yang akan digunakan yaitu stainless steel 304 dengan tebal plat 3mm, dengan menggunakan rangka Profil persegi empat bentuk leg dengan ketebalan 3mm. Hasil simulasi kekuatan rangka utama saat menahan beban yang dilakukan menggunakan software solidworks 2018 menunjukkan nilai *safety factors* sebesar 342.90.

Kata Kunci- Perancangan; Tangki Bahan Bakar B30.

1. PENDAHULUAN

Adanya penelitian tentang pengaruh bahan bakar B30 terhadap motor diesel dan perlengkapan motor diesel lainnya yang dilakukan oleh peneliti lainnya, dimana penelitian ini bagian dari team tersebut dengan ditugaskan untuk merancang Tangki penampung bahan bakar B30, sehingga tugas akhir ini akan melakukan rancangan untuk tangki B30. B30 adalah bahan bakar biodiesel dengan 30% mengandung minyak kelapa sawit dan 70% adalah minyak diesel. Penggunaan bahan bakar diesel B30 adalah suatu program pemerintah dalam rangka mengurangi ketergantungan import minyak diesel khusus untuk transportasi diperlihatkan tabel 1.

Tabel 1. Penggunaan BBM pada sektor transportasi di Indonesia [1]

Tahun	AVGAS	AVTUR	MGGAS	Minyak tanah	Minyak solar	Minyak diesel	Minyak bakar	Total
2005	17	13.682	101.867	67.395	175.519	5.893	33.431	357.802
2006	19	14.303	96.458	59.412	164.656	3.289	33.554	374.691
2007	12	14.845	105.940	58.872	166.448	1.781	35.756	383.453
2008	11	15.526	114.796	46.536	175.148	1.196	34.594	388.107
2009	9	16.262	129.255	28.332	173.134	959	31.190	379.142
2010	15	22.780	146.575	18.093	174.669	990	23.719	388.241

*Setara Barel Minyak

Selain itu pemerintah memanfaatkan berlimpahnya produksi minyak sawit untuk dapat digunakan didalam negeri. Menurut Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti Bahan Bakar Minyak, Pemerintah mengumumkan rencana Indonesia untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar minyak.

Tabel 2. Penetapan kewajiban minimal pemanfaatan biodiesel sebagai Campuran BBM

Jenis Sektor	Septem ber 2013	Janua ri 2014	Janua ri 2015	Janua ri 2016	Janua ri 2020	Janua ri 2025	Keterangan
Rumah Tangga	-	-	-	-	-	-	Saat ini tidak ditentukan.
Transportasi PSO	10%	10%	10%	20%	20%	25%	Terhadap Kebutuhan total
Transportasi Non PSO	3%	10%	10%	20%	20%	25%	Terhadap Kebutuhan total
Industri dan Komersial	5%	10%	10%	20%	20%	25%	Terhadap Kebutuhan total
Pembangkit Listrik	7,5%	20%	25%	30%	30%	30%	Terhadap Kebutuhan total

Biodiesel adalah bahan bakar terbarukan ramah lingkungan, yang terbuat dari minyak nabati. Tangki di sini identik dengan tangki yang digunakan untuk penyimpanan pada tekanan rendah (< 15 lbf/in²) maupun tekanan atmosfer. [1] Bila tangki tersebut mempunyai tekanan. Tangki memiliki beberapa tipe ,dan tiap-tiap tipe memiliki kelebihan dan kekurangan serta kegunaannya masing-masing.[2]

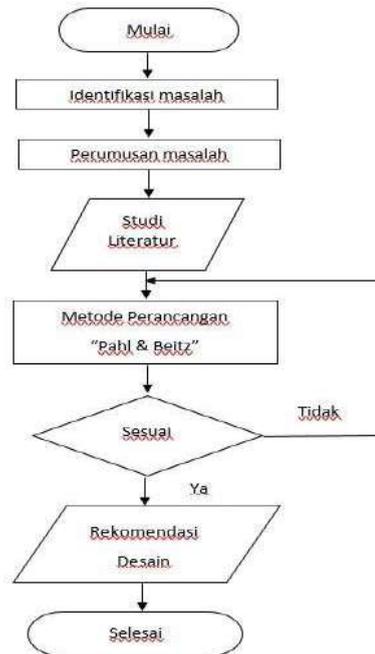
2. METODE PENELITIAN

A. Metode yang digunakan

Metode yang digunakan pada perancangan ini yaitu menggunakan metode *pahl & beitz* Merancang disini berarti menyusun dan mendapatkan hal-hal yang baru, dalam melakukan proses perancangan metode yang dapat digunakan cukup bervariasi. Namun, setiap metode perancangan mempunyai ciri khas tersendiri, tetapi secara umum meliputi beberapa fase atau tahapan perancangan yaitu: fase perencanaaan, fase perancangan konsep

¹ Corresponding author: dwisuryaprayogi87@gmail.com

produk, fase perancangan bentuk, fase perancangan detail, fase perancangan manufaktur dan fase produksi. Metodologi penelitian dilakukan melalui tahap-tahap sebagai berikut ini.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Gambar 1. Merupakan penjelasan dari tahapan yang dilakukan pada perancangan tangki bahan bakar B30 untuk mendapatkan rancangan yang sesuai dengan spesifikasi kebutuhan yang diinginkan.[3] Dengan mengumpulkan data, menentukan cara-cara pemilihan rancangan yang tepat dan optimal yang memenuhi persyaratan perancangan.

B. Perhitungan Volum Tangki

1. Volume Tangki (V)

$$\begin{aligned}
 V &= \pi \cdot r^2 \cdot H \\
 &= 3,14 \times 0,12^2 \times 0,34 \\
 &= 0,01537344 \text{ m}^3 \approx 0,0153 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Data & keterangan :

$$\begin{aligned}
 V &= \text{Volume tangki (m}^3\text{)} \\
 r &= \text{Nominal jari-jari tangki bagian dalam (m) = 0,12 m} \\
 H &= \text{Tinggi tangki (m) = 0,34 m}
 \end{aligned} \tag{1}$$

2. Berat Bahan Bakar dan Tekanan Pada Tangki

a. Bahan Bakar Solar

- Massa jenis solar (ρ) = 870 kg/m³
- Volume tangki (V) = 0,0153 m³ (hasil perhitungan 4.2.1)

Massa Bahan Bakar Solar :

$$m_s = V \times \rho$$

$$m_s = 0,0153 \times 870 \text{ ms} = 13,31 \text{ kg}$$

Berat Bahan Bakar Solar (Ws)

$$W_s = m_s \times g = 13,31 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 131 \text{ N} \text{ Dimana , } g : \text{ gravitasi} = 9,81 \text{ m/s}^2 \tag{2}$$

b. Bahan bakar B30

- Massa jenis B30 (ρ) = 890 kg/m³ (spesifikasi B30 berdasar SNI 7182: 2015)
- Volume tangki (V) = 0,0153 m³ (hasil perhitungan 4.2.1)

Massa Bahan Bakar B30 :

$$\begin{aligned} mb &= V \times \rho \\ mb &= 0,0153 \times 890 \\ mb &= 13,617 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat Bahan Bakar B30 (W_b)

$$W_b = mb \times g = 13,617 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 134 \text{ N} \text{ Dimana , } g : \text{ gravitasi} = 9,81 \text{ m/s}^2 \quad (3)$$

c. Tekanan Pada Tangki

➤ Dinding Tangki

Tekanan statis pada tangka adalah berat bahan bakar terbesar dibagi dengan luas dinding tangki, persamaannya :

$$P = W/A$$

Dimana:

- P : tekanan fluida pada dinding tangki
- W : berat bahan bakar terbesar dipilih berat B30 ($W_b = 134 \text{ N}$)
- A : luas dinding tangki = $\pi \cdot Di \cdot h$
- Di : diameter dalam tangki = 0,24 m
- h : tinggi tangki kotor = 0,34 m
- Luas dinding Tangki, $A = \pi \cdot 0,24 \cdot 0,34 \approx 0,26 \text{ m}^2$

$$\text{Tekanan statis dinding tangki, } P = 134 \text{ (N)} / 0,26 \text{ (m}^2\text{)} \approx 523 \text{ N/m}^2 \text{ (Pa)} \quad (4)$$

d. Ketebalan Dinding Tangki

ketebalan dinding Tangki menggunakan Persamaan API 650 pada bab 2 persamaan 2.7 dimana tangki akan dilakukan uji hidrostatis.

$$t_t = \frac{4.9D(H - 0.3)}{St} \quad (5)$$

Dimana:

$$D = Di = 0.24 \text{ m}$$

$$H = 0.34 \text{ m}$$

St : Tegangan yang diijinkan untuk kondisi pengujian *hidrostatik* (MPa) atau dalam (N/mm²)

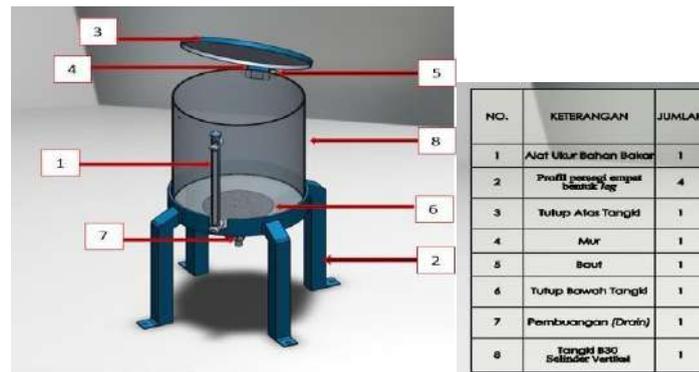
= 186 N/mm² untuk material ASTM 304 (dari table 2.7 Bab 2) sehingga tebal dinding tangki (t).

$$t = \frac{4.9 \times 0.24(0.34 - 0.3)}{186} \quad (6)$$

Karena diperdagangan terdapat tebal plat tersedia 3 mm, maka dipilih tebal dinding tangki adalah 3 mm.

C. Konsep Rancangan

Proses perencanaan konsep ini pada prinsipnya menghasilkan alternatif konsep– konsep produk. Dalam perencanaan didapatkan hasil varian terpilih dari proses metode *palh & Baitz* serta analisa konsep yang akan dirancang sebagai acuan untuk tahap berikutnya.[3]. Dalam perancangan produk tangki bahan bakar terdapat pemilihan mendasar dalam pemilihan material, Material yang digunakan di sini yaitu *Stainless steel* 304. Karna memiliki sifat seperti densitas, kekuatan, biaya dan ketahanan terhadap korosi. Langkah dalam menentukan pemilihan material adalah menerjemahkan, memeriksa persyaratan desain untuk mengidentifikasi kendala yang terdapat pada pemilihan material.[4]

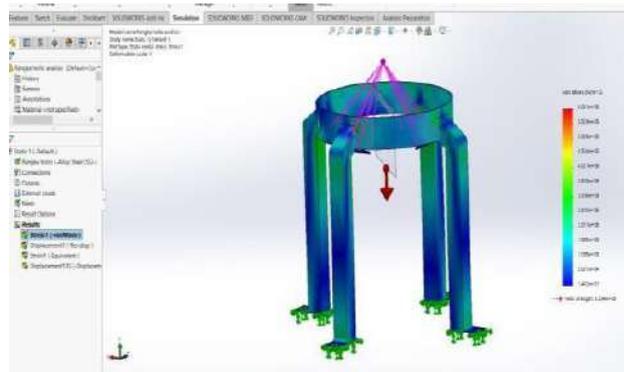


Gambar 2. Varian Terpilih Tangki B30

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perancangan desain yang dilakukan maka langkah selanjutnya yaitu dengan menganalisa desain tersebut.[6] Untuk mengetahui apakah perancangan desain tersebut sudah sesuai atau tidak, Dalam perancangan ini penulis menggunakan menggunakan *software solidworks*. ini dibuat oleh *Dessault System* dipergunakan perancangan komponen permesinan dan urutan part berupa *assembling* dengan tampilan 3D, agar dapat memperentasikan sebelum part aslinya dibuat menggunakan gambar 3D (*draing*) untuk gambar komponen permesinan.[7]

a. Analisis Beban Rangka dan safty factor



Gambar 3. Von Misses Stress Rangka

Jika dilihat dari hasil diatas, maka di dapat nilai minimal sebesar $1,442 \text{ e}+01\text{N/mm}^2$ dan di dapat nilai maksimal $6.031 \text{ e}+05 \text{ N/mm}^2$. Artinya jika dilihat dari warna kerangka sebagian besar yang masih berwarna biru kehijauan dapat disimpulkan dimensi dan material yang dipilih pada sistem aman pada force 15 Kg untuk menahan beban dari Tangki bahan bakar B30.

Tabel 3. Tabel properties AISI 304



$$(n) = \frac{206807 \text{ N/mm}^2}{6,031 \times 10^5 \text{ N/mm}^2}$$

$$= 0,34$$

Dimana:

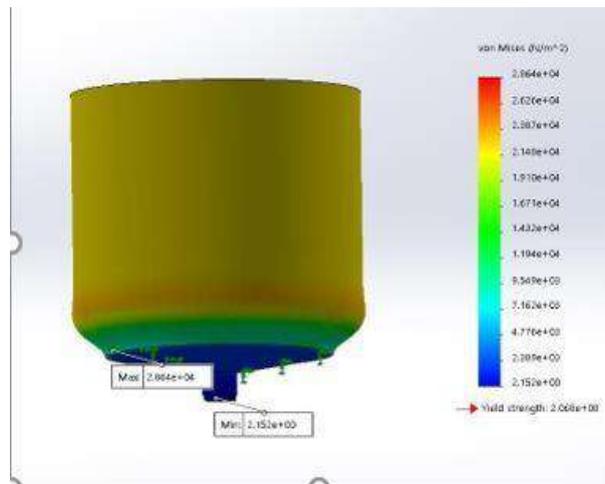
n = Faktor keamanan

S_y = Yield Strength material (N/m²)

σ_e = Tegangan von mises maksimum (N/m²)

Dari hasil perhitungan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa rangka untuk tangki bahan bakar B30 yang dirancang aman untuk menahan beban sebesar 0.134 N (13,7 Kg).[5]

b. Analisis Static Tangki B30 dan safty factor



Gambar 4. Von Mises Stress Tangki B30

Jika dilihat dari hasil diatas, maka di dapat nilai minimal sebesar 2.152e+00 N/mm² dan di dapat nilai maksimal 2.864+04 N/mm². Artinya jika dilihat dari warna kerangka sebagian besar yang masih berwarna hijau dapat disimpulkan dimensi dan material yang dipilih pada sistem aman pada force 134 N untuk menahan tekanan dari bahan bakar B30.

Tabel 4. Tabel properties AISI 304

Property	Value	Units
Elastic Modulus	190000	N/mm ²
Poisson's Ratio	0.29	N/A
Shear Modulus	75000	N/mm ²
Mass Density	8000	kg/m ³
Tensile Strength	517.017	N/mm ²
Compressive Strength		N/mm ²
Yield Strength	206.807	N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient	1.8e-05	/K
Thermal Conductivity	16	W/(m.K)

$$(n) = \frac{206807 \text{ N/mm}^2}{2,864 \times 10^4 \text{ N/mm}^2}$$

$$= 0,007$$

Dimana:

n = Faktor keamanan

S_y = Yield Strength material (N/m²)

σ_e = Tegangan von misses maksimum (N/m²)

Dari hasil perhitungan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa Analisa kekuatan tangki aman untuk menahan tekanan dari bahan bakar B30 sebesar 134 N.[5]

4. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan Tangki bahan bakar B30 diperoleh:

- Bentuk tangki = selinder vertical
- Diameter Dalam = 240 mm
- Tinggi Tangki = 340 mm
- Kapasitas = 15 l (m³)
- Material Tangki : SS 304
- Tebal tangki = 3 mm
- Tipe Support : 4 Leg
- Material Support : SS 304
- Assesories Tangki :
 - Alat pengukur tinggi bahan bakar, jumlah = 1 buah
 - Pembuangan (drain), jumlah = 1 buah

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan dan penulis mengucapkan terimakasih kepada Jurusan Teknik Mesin Universitas Pancasila Jakarta atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. M. Eng Wanto., & Mp. Senja., "Rancang bangun peralatan pemrosesan biodiesel". *J. Tek Mesin*, Vol. 3, No. 62, pp. 42-45, 2014.
2. Kustiasih, T., & Medawati, I., "Kajian Potensi Gas Metan (CH₄) dari Pengolahan Air Limbah Domestik Sebagai Upaya Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca". dalam *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin*, Jakarta, 2015.
3. L. A. Mendes, N. Back, and G. H. C. Oliveira, "Designing automated test systems: An adapted methodology inspired on Pahl and Beitz's systematic approach," *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 25, no. 6, pp. 945–950, 2010.
4. Sumarji., "Studi Perbandingan Ketahanan Korosi Stainless Steel Tipe SS 304 dan SS 201 Menggunakan Metode U-Bend Test secara Siklik dengan Variasi Suhu dan Ph," *J. Tek Mesin Rotor*, Vol. 4, No. 43, pp. 1–8, 2011.
5. I..Al Ichlas, "SIMULASI TEGANGAN VON MISES DAN ANALISA SAFETY FACTOR CRANE KAPASITAS 3 TON," *Din. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 02, pp. 85–88, 2017.
6. & K. . H. G. G.Pahl,W.Beits, J Feldhusen, *Engineering Design A Systematic Approach Third Edition*. Germany: Springer, 2015.
7. H. Helmiyansah, "Analisa Tegangan Pada Crankshaft Sepeda Motor Suzuki Smash Menggunakan Software Solidworks," *J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 3, p. 16, 2017.

SUBMISSION 19**Perancangan Mesin Pengurai Sabut Kelapa Menjadi Cocopeat**I Gede Eka Lesmana¹ dan Reyhan Rahman¹¹¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Seperti yang kita ketahui Indonesia merupakan salah satu penghasil kelapa terbesar dan sudah banyak sekali sabut-sabut kelapa yang sudah tidak terpakai lagi, pengeolahan sabut kelapa yang sudah tidak layak pakai dapat diolah kembali untuk mengurangi sampah sabut kelapa untuk mengantisipasi adanya gangguan kesehatan karena bila di buang sia-sia bisa menyebabkan masalah kesehatan untuk lingkungan sekitar masyarakat. Hasil dari pengolahan sabut kelapa tersebut dapat diolah menjadi kerajinan seperti membuat keset, tali, hingga media tanam. Sebab dari itu saya bertujuan untuk merancang sebuah mesin pengurai sabut kelapa menjadi cocopeat serta menjadikan produksinya lebih banyak dan cepat pengolahannya untuk masyarakat menengah kebawah dan menjadikannya nilai tambah dari limbah tersebut. Mesin ini akan dirancang dan menganalisis rangka mesin menggunakan software solidwork serta metode perancangan yang akan dipakai menggunakan metode G. Pahl dan W. Beitz. Adapun yang dipakai agar hasil ayakan tersebut lebih maksimal nantinya akan menggunakan ukuran ayakan dengan nomor 10 dan dengan ayakan nomor 40 menggunakan ayakan otomatis.

Kata Kunci- Cocopeat; Mesin pembuat cocopeat; Sabut kelapa

1. PENDAHULUAN**A. Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara tropis dengan hasil alam yang sangat melimpah salah satunya yaitu penghasil kelapa, salah satu contohnya berada di Kabupaten Indragiri Hilir yang terletak di Provinsi Riau dengan hasil buah kelapa sebesar 11,46% atau 429.110 ha luas perkebunan kelapa dari total 3.742.921 ha luas perkebunan kelapa rakyat secara nasional. Adapun bagian – bagian buah kelapa yaitu 65 % berat kernel (bagian tempurung, daging buah dan air) dan 35% berat serabut kelapa. Di dalam negeri sendiri banyak pengolahan sabut kelapa yang masih tradisional sehingga sangat tidak efisien dan memakan waktu yang lama. Dengan ini mengharuskan adanya pembaharuan teknologi dalam bidang pertanian, yaitu dengan cara menciptakan suatu alat pengurai sabut kelapa menjadi *cocopeat* yang dimana alat tersebut sudah dilengkapi mekanisme pengurai sekaligus mekanisme pengayakan secara bersamaan dari putaran mesin. Sayangnya pengolahan industri buah kelapa di Indonesia belum berjalan dengan baik. Padahal nantinya sabut kelapa ini dapat dikembangkan menjadi beragam produk, antara lain *cocopeat*, *cocofibre*, *cocomesh*, *cocopot*, *cocofiber board* dan *cococoir*. Bahan tersebut merupakan bahan baku pada industri matras, pot, kompos kering dan sebagainya [1].

Jika kita melihat negara-negara tetangga sudah menjadikan kelapa sebagai komoditi *ekspor* yang memasok kebutuhan dunia yang berkisar 75,7 ribu ton pada tahun 1990. Walaupun Indonesia negara dengan penghasil kelapa terbesar di dunia, harga pasar masing sangat rendah. Jika melihat tren yang semakin meningkat akan kebutuhan serat kelapa ini, maka dari itu diharapkan industri – industri akan dapat mengembangkan olahan dari sabut kelapa ini khususnya industri dalam negeri sendiri. Hasil samping pengolahan serat sabut kelapa berupa butiran-butiran gabus sabut kelapa, dikenal dengan nama *cocopeat*.

Sabut kelapa yang sudah dihancurkan menjadi serbuk halus akan disebut juga dengan kata lain *cocopeat*. Sedangkan *fiber* sabut kelapa didapat dari serat sabut kelapa yang sudah dihancurkan terlebih dahulu. Selain ekonomis *cocopeat* merupakan media tanam yang ramah lingkungan karena dibuat dari kulit ari dari tempurung kelapa yang sifatnya terbarukan (organik). Sesuai dengan namanya *cocopeat* berasal dari kelapa, lapisan atau bagian kelapa yang bisa dibuat menjadi *cocopeat* disebut *mesocarp*, bagian *mesocarp* ini tuahnya berbentuk serbuk dan paling banyak pada bagian sabut serta menempel di tempurung [2].

Pada perancangan mesin ini nanti akan menggunakan motor listrik yang nantinya dihubungkan dengan *pulley-belt* yang akan menggerakkan poros mata pisau pemotong sabut kelapa [3]. Dengan bantuan alat ini maka diharapkan dapat membantu para pengolah sabut kelapa menengah ke bawah agar dapat mengolah atau memperlakukan limbah kelapa dengan maksimal dan memiliki nilai jual tinggi.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian dalam Perancangan Mesin Pengurai Sabut Kelapa Menjadi *Cocopeat* ialah :

1. Konstruksi yang sesuai dengan apa yang diinginkan dan sesuai dengan alat yang akan dibuat
2. Mendesain *part* mesin pengurai sabut kelapa menjadi *cocopeat* dengan *software Solidworks*
3. Mesin pengurai sabut kelapa menjadi *cocopeat* menggunakan motor listrik sebagai penggerak utama
4. Menganalisa mesin pengurai sabut kelapa menjadi *cocopeat* dengan *software Solidworks*

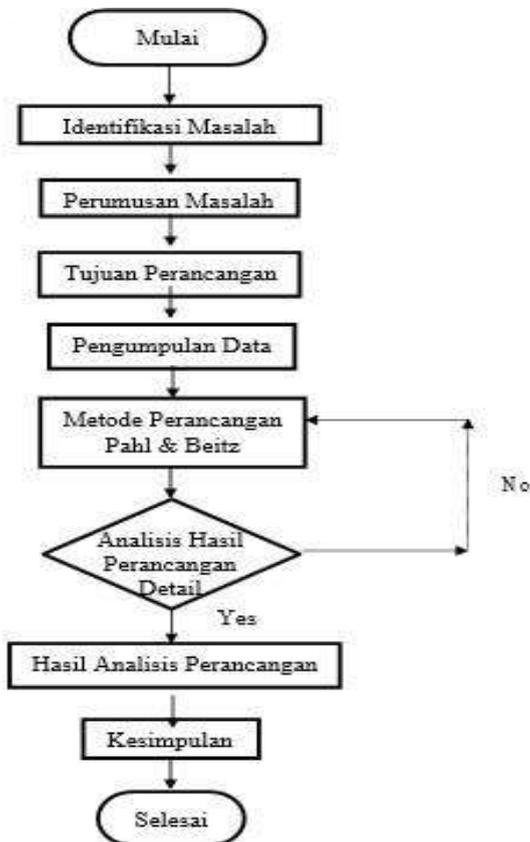
¹ Corresponding author: reyhanrahmann@gmail.com

C. Cakupan Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian dari perancangan mesin pengurai sabut kelapa menjadi *cocopeat* adapun batasan masalah, yaitu :

1. Membuat desain dan menganalisis desain menggunakan *software Solidworks*
2. Metode perancangan yang digunakan adalah G.Pahl dan W.Beitz
3. Alat ini menggunakan penggerak dari motor listrik dengan daya 0,5 HP

2. METODE PENELITIAN



Gambar 1 Diagram Alir Perancangan

Keterangan :

Memulai dengan memikirkan alat yang dapat membantu meringankan beban masyarakat dalam mengerjakan pekerjaannya. Mengidentifikasi kebutuhan konsumen atau pelanggan guna mengetahui apa yang dibutuhkan. Perumusan masalah pada Mesin Pengurai Sabut Kelapa Menjadi *Cocopeat* ini diantaranya perancangan konstruksi, perancangan komponen, sistem kerja mesin dan output produk mesin. Pada perancangan mesin ini tujuannya adalah agar masyarakat dapat mendapat kenyamanan dan kemudahan pada mesin ini. Dengan pengumpulan data yang dilakukan dengan cara studi literatur atau pustaka. Penyusunan karya ilmiah ini dengan judul Perancangan Mesin Pengurai Sabut Kelapa Menjadi *Cocopeat* ini menggunakan metode perancangan G. Pahl dan W. Beitz [4]. Hal ini dikarenakan pengembangan mesin yang sudah ada dipasaran lalu dikembangkan agar kerja mesin lebih praktis, nyaman dan efisien dibandingkan dengan mesin yang telah ada sebelumnya. Alasan pemilihan metode Perancangan Pahl and Beitz ini dikarenakan metode ini sesuai dengan perancangan yang ada pada laporan ini yakni output perancangan ini hanya sampai hasil perancangan saja bukan alat atau mesin sebenarnya atau bahkan prototype dari mesin yang telah dirancang. Tahap selanjutnya menganalisa bagian rangka mesin dan membuatnya dalam perancangan detail [5].

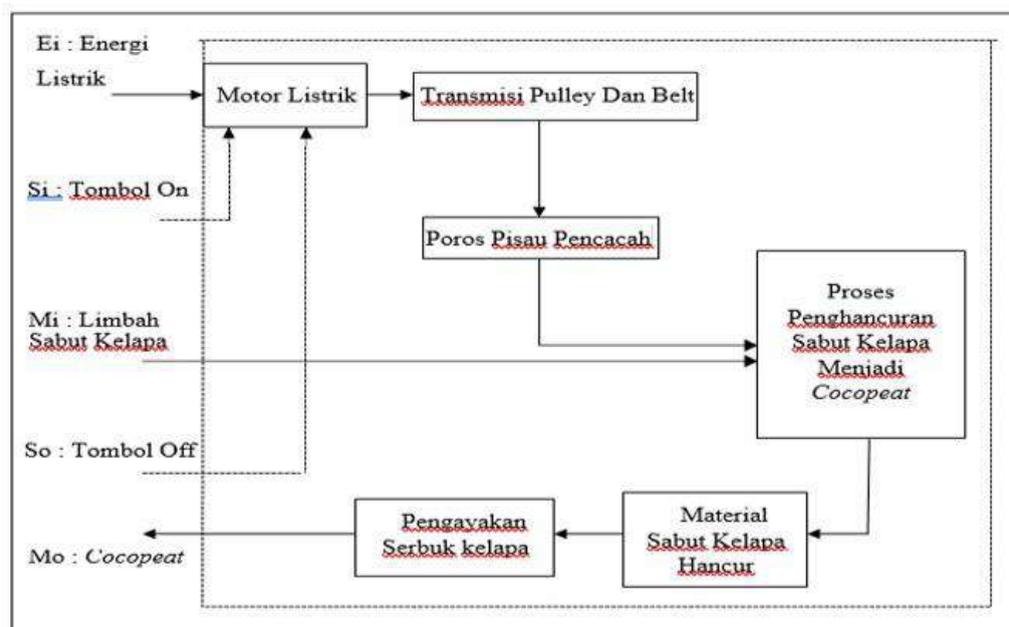
Pada awalnya penelitian ini dilakukan di pasar seroja Bekasi untuk melakukan pengecekan alat yang sudah ada agar dapat dikembangkan dari kekurangan sebelumnya. Setelah itu membuat penggambaran dengan 3 desain varian dengan cara menyebarkan kuesioner hingga pada nantinya akan terpilih 1 varian terpilih. Tahap selanjutnya mulai melakukan perhitungan pulley dan V-Belt, daya memotong sabut kelapa, ukuran poros serta melakukan analisis kekuatan rangka.

3. PEMBAHASAN DAN HASIL

A. Struktur Fungsi Keseluruhan Dan Sub Fungsi Keseluruhan



Gambar 2 Struktur Fungsi Keseluruhan



Gambar 3 Sub Fungsi Keseluruhan

Struktur fungsi adalah masukan dan keluaran suatu sistem teknik untuk menjalankan tugas tertentu. Struktur fungsi mesin pengurai sabut kelapa menjadi *cocopeat* terdiri dari 2 unsur yaitu fungsi keseluruhan dan sub fungsi keseluruhan. Dalam fungsi keseluruhan mesin pengurai sabut kelapa terdapat 3 *input* dan 1 *output*. Adapun input fungsi keseluruhan yaitu energi masukan menggunakan energi listrik, material yang digunakan yaitu sabut kelapa yang sudah kering, dan sinyal yang dioperasikan oleh operator. Setelah ketiga input dimasukkan langkah selanjutnya yaitu proses penghancuran sabut kelapa dan menghasilkan *output* yaitu hancur menjadi serbuk. Dalam sub fungsi keseluruhan mesin pengurai sabut kelapa ada beberapa tahapan input. Sumber energi yang didapat dari energi listrik untuk menggerakkan motor listrik, lalu diteruskan oleh komponen transmisi [6]. Setelah itu diteruskan ke tools untuk proses penghancuran sabut kelapa. Pada input material terdapat sabut kelapa yang nantinya akan di hancurkan dahulu oleh tools pisau pencacah. Pada input sinyal, operator menyalakan motor listrik [7]. Setelah proses tersebut didapatkan output berupa sabut kelapa yang sudah menjadi serbuk.

B. Solusi Sub Fungsi

Setelah membuat tabel persyaratan dan struktur fungsi maka selanjutnya yang dicari adalah solusi sub fungsi, metode yang digunakan dalam mencari solusi sub fungsi adalah metode kombinasi. Setelah menggunakan metode kombinasi langkah selanjutnya menentukan alternatif solusi sub fungsi. Solusi sub fungsi digunakan untuk membuat varian - varian yang nantinya akan dilakukan pembobotan dan dimana akan menjadi satu varian terpilih yang nantinya varian tersebut yang akan dibuat menjadi perancangan detail.

Tabel 1 Solusi Sub Fungsi

No	Sub Fungsi	Varian		
1	Daya Sumber Penggerak	 Motor Listrik 2 HP	 Motor Listrik 0.5 HP	 Motor Listrik 1 HP
2	Jumlah Mata Pisau	 5 mata pisau	 42 mata pisau	 15 mata pisau
3	Transmisi	 Sproket Rantai	 Pulley dan belt	
4	Jenis Profil Besi	 Besi Square Tube	 Besi Rectangular Tube	 Besi Siku
5	Ukuran ayakan	 Ayakan Mesh 40	 Ayakan Mesh 20	

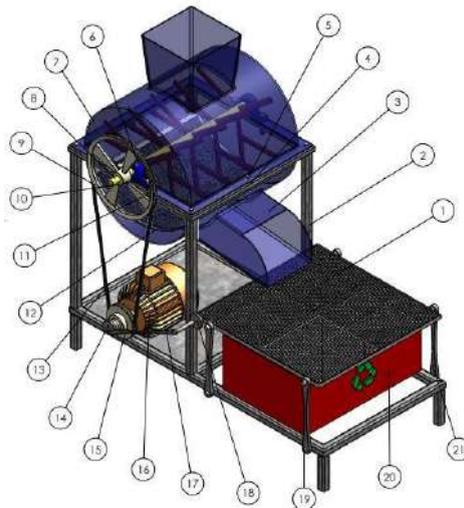
Keterangan Simbol :

Varian 1 :  1.2 – 2.2 – 3.2 – 4.3 – 5.2

Varian 2 :  1.3 – 2.1 – 3.1 – 4.2 – 5.2

Varian 3 :  1.2 – 2.3 – 3.3 – 4.1 – 5.1

Pada gambar dibawah ini merupakan hasil dari varian terpilih. Setelah itu melakukan perhitungan untuk mendapatkan spesifikasi akhir dari komponen mesin pengurai sabut kelapa menjadi *Cocopeat* ini.



Gambar 4 Varian Terpilih Mesin Pengurai Sabut Kelapa Menjadi *Cocopeat*

Keterangan gambar :

1. Pengayak Mesh 40
2. Rangka
3. Assembly Cover Bawah Dengan Pisau
4. Mur M10
5. Baut M10
6. *Pillow Block Bearing*
7. Cover Atas
8. Poros Pengurai
9. *Pulley Diameter 400mm*
10. Baut M16
11. Mur M16
12. Pengayak Mesh 10
13. *V-Belt*
14. Penggerak Pembantu Motor Listrik
15. *Pulley Diameter 160mm*
16. Motor Listrik
17. Lengan Ayun Penghubung Motor Listrik
18. Penggerak Pembantu Pengayak
19. Poros Lengan Ayun
20. Bak penampung
21. Lengan Ayun Pengayak

C. Perhitungan Daya Memotong Sabut Kelapa [8]

$$P_1 = f \times \frac{\pi \times d \times n}{100 \times 60} \times z \quad (1)$$

Dimana : f = Gaya pemotongan (N) $F = m \times g = 153,202 \text{ N}$

v = Kecepatan Potong (m/s)

z = Jumlah Mata Pisau = 15

d = Jarak sumbu poros dengan dipotong (cm) = 250 mm = 0,25 m

n = Putaran (rpm) = 359,45 rpm

m = Massa poros + pisau = 15671 kg

$$\begin{aligned} \text{Jawab : } P_1 &= f \times \frac{\pi \times d \times n}{100 \times 60} \times z \\ &= f \times \frac{153,202 \text{ N} \times 3,14 \times 0,25 \times 359,45}{100 \times 60} \times 15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{648431 \times 103}{6000} \\
 &= 108,071 \text{ watt} \\
 &= 0,108 \text{ KW} \\
 &= 0,134 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

D. Perhitungan Pulley dan V-Belt [9]

- Panjang Sabuk

$$L = \pi (R1 + R2) + 2x + \frac{(R2-R1)^2}{x} \quad (2)$$

Dimana : L = Panjang v belt (mm)
R1 = Jari – jari pulley penggerak (mm)
R2 = Jari –jari pulley yang digerakkan (mm)
x = Jarak antara dua pulley (mm)

Diketahui : R1 = 80 mm
R2 = 200 mm
x = 768 mm

Jawab :

$$\begin{aligned}
 L &= \pi (R1 + R2) + 2x + \frac{(R2-R1)^2}{x} \\
 &= 3,14 (80 + 200) + 2 (768) + \frac{(120)^2}{768} \\
 &= 879,2 + 1536 + \frac{14400}{768} \\
 &= 2433,95 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Kecepatan

$$V = \pi \times D1 \times N1 ; \frac{\pi \times D1 \times N1}{60} \quad (3)$$

Dimana V = Kecepatan sabuk (m/s)
D1 = Diameter pulley penggerak (m)
N1 = Putaran mesin (rpm)
 $V = \frac{\pi \times D1 \times N}{60}$
 $= \frac{3,14 \times 0,16 \times 1330}{60}$
= 11,136 m/s

- Rasio Kecepatan Pulley

$$\frac{N2}{N1} = \frac{d1}{d2} \quad (4)$$

Dimana N1 = Kecepatan putaran pulley penggerak (rpm)
d1 = Diameter pulley penggerak (mm)
N2 = Kecepatan putaran pulley digerakkan (rpm)
d2 = Diameter pulley digerakkan (mm)

$$\begin{aligned}
 \frac{N2}{1330} &= \frac{160}{400} \\
 N2 &= \frac{160 \times 1330}{400} \\
 N2 &= 532 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

E. Perhitungan Poros [10]

- a. Daya Transmisi dari Motor
 1. Daya motor (P motor) = 0,5 HP × 1 = 0,5 kW
 2. Putaran motor (n motor) = 1330 rpm
- b. Faktor Koreksi (fc) : 1,0
- c. Material Poros : ST 37 C (Stainless Steel), dengan kekuatan tarik = 37 kg/mm²

d. Daya Perencanaan :

$$Pd = fc \times P \quad (5)$$

$$Pd = 1,0 \times 0,5 \text{ kW}$$

$$Pd = 0,5 \text{ kW}$$

e. Torsi Poros (T) :

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{pd}{n1} \quad (6)$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{0,5}{1330}$$

$$T = \frac{974000 \times 0,5}{1330}$$

$$T = 366,16 \text{ kg.mm}$$

f. Tegangan geser yang diizinkan (τ_a , kg/m) :

1. Diketahui safety factor 1 (Sf_1) = 6,0

2. Diketahui safety factor 2 (Sf_2) = 2

$$3. \tau_A = \frac{\sigma_B}{Sf_1 \times Sf_2} \quad (7)$$

$$\tau_A = \frac{37 \text{ kg/mm}^2}{6 \times 2}$$

$$\tau_A = 3,083 \text{ kg/mm}^2$$

g. Perencanaan diameter poros

1. Diketahui faktor koreksi (Kt) = 1,5

2. Faktor pembebanan lentur (Cb) = 2

$$3. D_s = \left[\frac{5,1}{\tau_A} \times Kt \times Cb \times T \right]^{1/3} \quad (8)$$

$$D_s = \left[\frac{5,1}{4,838} \times 1,5 \times 2 \times 366,16 \text{ kg/mm}^2 \right]^{1/3}$$

$$D_s = [1153 \times 40]^{1/3}$$

$$D_s = 10,48 \text{ mm}$$

Maka pemilihan poros yang sesuai yaitu berukuran diameter 10,5 mm.

h. Bila torsi dibebankan pada suatu diameter poros (D_s , mm), maka tegangan geser (τ , kg/mm²) yang terjadi adalah :

$$\tau = \frac{5,1 \times T}{D_s^3} \quad (9)$$

$$\tau = \frac{5,1 \times 366,16 \text{ kg.mm}}{10,5^3}$$

$$\tau = \frac{1867,41}{1157,62}$$

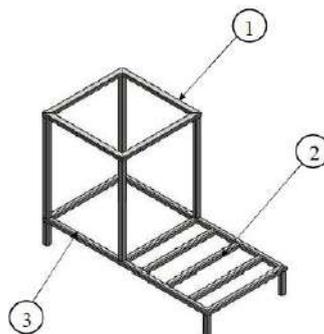
$$\tau = \frac{1867}{1158}$$

$$\tau = 1,61 \text{ kg/mm}^2$$

$$\tau = 1,6 \text{ kg/mm}^2$$

F. Analisis Pembebanan Rangka

Analisis yang dilakukan yaitu adalah analisis kekuatan rangka dalam menerima beban kerja pada mesin pengurai sabut kelapa ini. Analisa menggunakan software solidworks, dengan menganalisa beban statis pada rangka. Pembebanan dilakukan untuk menguji rangka dengan pembebanan di 3 titik rangka Dengan hasil pembebanan sebagai berikut ini :



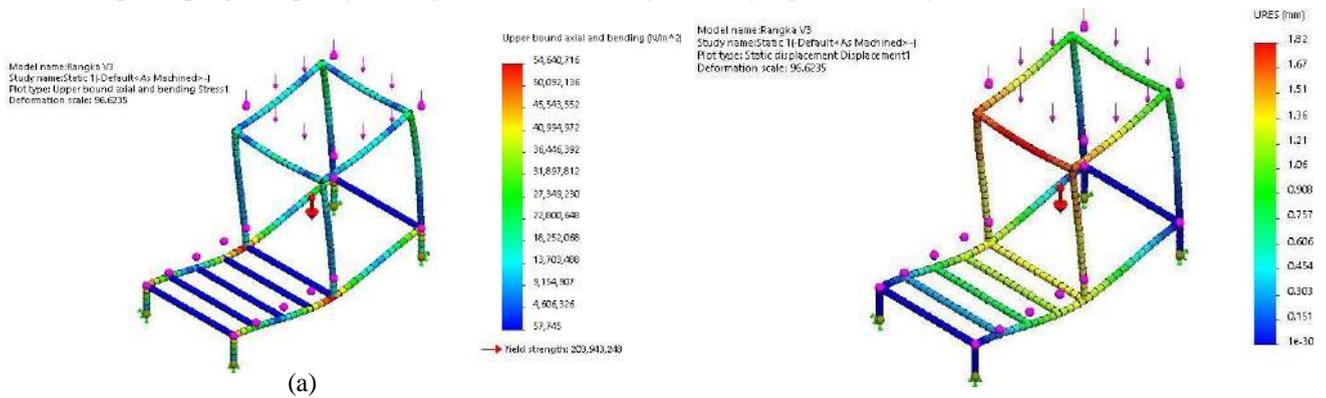
Gambar 5 Titik Pembebanan Pada Rangka

Tabel 2 Spesifikasi Rangka

Jenis rangka	Square Tube 40 × 40 × 4 mm
Material	Galvanized Steel
Kekuatan tarik	315 MPa (31500000000 N/m ²)
Kekuatan luluh	173 MPa (17300000000 N/m ²)
Massa jenis	7850 kg/m ³

a. Pembebanan Titik 1

Pembebanan pertama dilakukan pada bagian atas rangka. Bagian ini yang akan menumpu cover atas, cover bawah, poros pengurai, pulley, serta *pillow block bearing*. Beban yang dikenakan yaitu sebesar 1245,87 N.



(a)

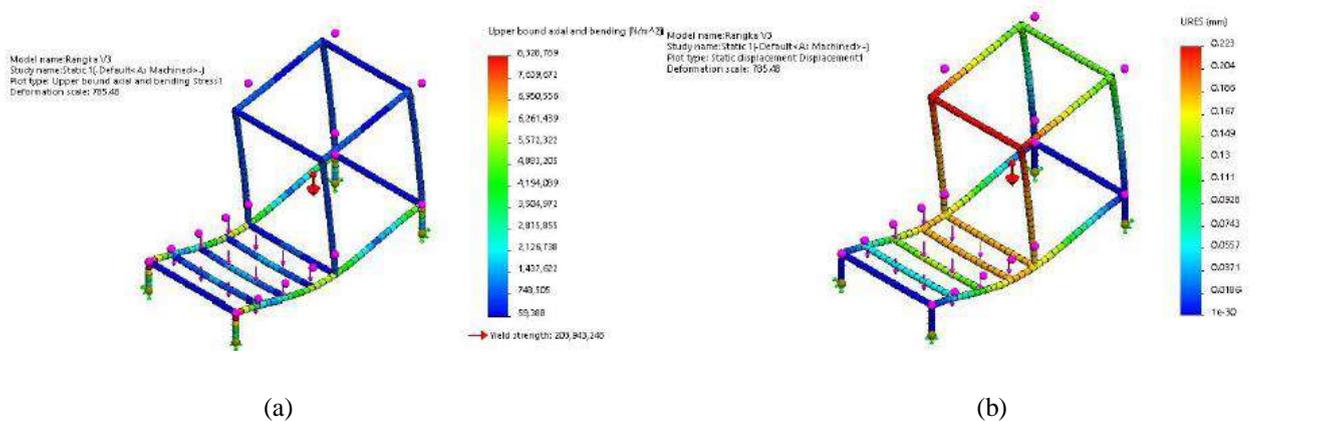
(b) Gambar 6 : (a) Tegangan Rangka Titik 1; (b) Displacement

Rangka Titik 1

Bahwa tegangan besar yang terjadi yaitu pada area berwarna merah dengan tegangan sebesar 54.640.716 N/m² atau senilai 54,64 MPa dan yang terendah dengan area berwarna biru dengan tegangan sebesar 57,745 N/m² Sementara itu hasil analisis *displacement* menunjukkan bahwa *displacement* besar yang terjadi ditunjukkan dengan area berwarna merah sebesar 1,82 mm.

b. Pembebanan Titik 2

Pembebanan kedua dilakukan pada bagian bawah kiri rangka. Bagian ini yang akan menumpu bak penampung *cocopeat*, dan pengayak. Beban yang dikenakan yaitu sebesar 65,35 N.



(a)

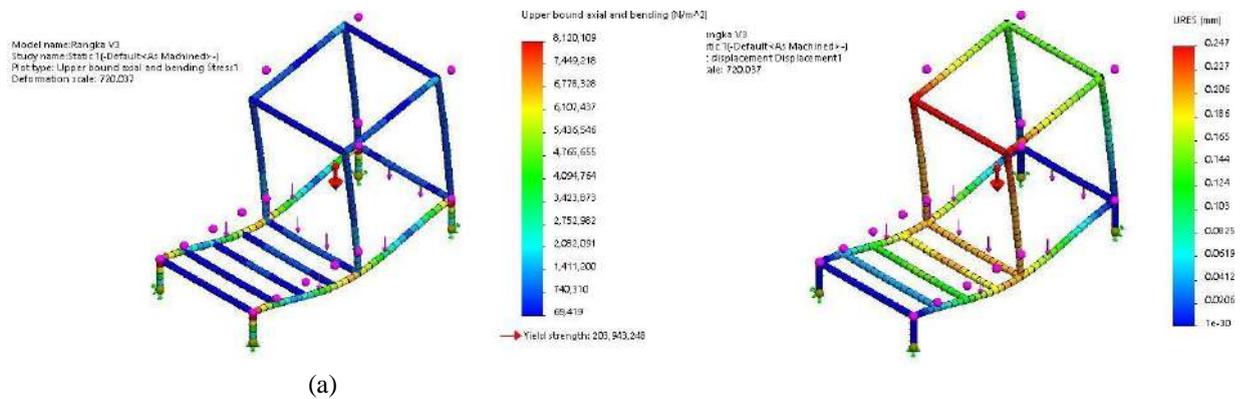
(b)

Gambar 7 : (a) Tegangan Rangka Titik 2; (b) Displacement Rangka Titik 2

Bahwa tegangan besar yang terjadi yaitu pada area berwarna merah dengan tegangan sebesar $8.328.789 \text{ N/m}^2$ atau senilai 8,32 MPa dan yang terendah dengan area berwarna biru dengan tegangan sebesar $59,388 \text{ N/m}^2$. Sementara itu hasil analisis *displacement* menunjukkan bahwa *displacement* besar yang terjadi ditunjukkan dengan area berwarna merah sebesar 0,223 mm.

c. Pembebanan Titik 3

Pembebanan ketiga dilakukan pada bagian bawah kanan rangka. Bagian ini yang akan menumpu motor listrik. Beban yang dikenakan yaitu sebesar 75,57 N



(b) Gambar 8 : (a) Tegangan Rangka Titik 3; (b) *Displacement*

Rangka Titik 3

Bahwa tegangan besar yang terjadi yaitu pada area berwarna merah dengan tegangan sebesar $8.120.109 \text{ N/m}^2$ atau senilai 8,12 MPa dan yang terendah dengan area berwarna biru dengan tegangan sebesar $69,419 \text{ N/m}^2$. Sementara itu hasil analisis *displacement* menunjukkan bahwa *displacement* besar yang terjadi ditunjukkan dengan area berwarna merah sebesar 0,247 mm.

5. KESIMPULAN

Konsep hasil dari perancangan mesin pengurai sabut kelapa ini menggunakan 2 ayakan dengan nomor mesh 10 dan dengan ayakan nomor 40 menggunakan ayakan otomatis. Adapun metode perancangan yang dipakai menggunakan metode G. Pahl dan W. Beitz. Untuk motor listrik menggunakan 0,5 HP dengan hasil perhitungan yang didapat yaitu daya memotong sabut kelapa sebesar 0,134 HP, untuk Panjang sabuk 2433,95 mm, kecepatan sabuk 11,136 m/s, rasio kecepatan *pulley* sebesar 532 rpm. Untuk poros sendiri menggunakan material ST 37 C (Stainless Steel) kemudian di dapat torsi poros sebesar 366,16 kg.mm, perencanaan diameter poros 10,5 mm. Sedangkan untuk analisis pada rangka dengan pembebanan di titik 1 sebesar 1245,87 N, titik 2 sebesar 65,35 N, titik 3 sebesar 75,57 N.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ucapkan terimakasih kepada Universitas Pancasila yang telah memfasilitasi segala kebutuhan dalam proses penelitian ini, serta kepada seluruh panitia SEMRESTEK 2020 ini dan untuk bapak I Gede Eka Lesmana, ST., MT yang telah membimbing saya dalam menyelesaikan penelitian ini saya ucapkan terimakasih atas waktu, tenaga dan pikiran yang anda luangkan untuk mengarahkan saya dalam melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Bastian, S. Rohman, “Pemanfaatan Sabut Kelapa Sebagai Bahan Baku Industri (Otomotif, Rumah Tangga, Pertanian) Yang Bernilai Ekonomis Guna Meningkatkan Perekonomian Masyarakat Desa Di Kecamatan Glagah Kabupaten Banyuwangi”. *J. Alakaba*, vol. 1, no. 2, pp. 28–38, 2017.
- [2] L. Kurnia, Supraptiningsih, Shofia Hattarina, “PKM Kelompok Industri Pengolahan Limbah Sabut Kelapa (*Cocopeat*) Di Kabupaten Dan Kota Probolinggo Provinsi Jawa Timur” *J. Ilmiah et al*, vol. 2, no. 2, pp 22-38, 2018.
- [3] Tenaya, A. Atmika *et al.*, “Karakteristik Traksi dan Kinerja Transmisi,” *J. Teknik Mesin – Udayan*, vol. 3, no. 2, pp. 20–25, 2012.

-
- [4] Iqbal R Pamungkas, B. Sulaksono, M. Munandar, A. Suwandi, and M. F. Fajar, "Perancangan Mesin Tube Notcher Menggunakan Metode G. Pahl dan W. Beitz," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 20–32, 2019.
- [5] M. Rizali, "Desain Sistem Transmisi Sabuk Gigi Dengan Bantuan Perangkat Lunak Berbasis Visual Basic" *J. Pendidikan Teknik Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 377–386, 2013.
- [6] Z. Supriyadi, A. Wibowo, and A. Farid, "Peningkatan Kinerja Aerator Tambak Dengan Variasi Pulley," *Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 65–68, 2015.
- [7] A. Puspawan, A. Nuramal, A. Suandi, Nurul Iman, Zuliantoni, "Corrective Maintenance Bearing on Rolling Machine of 1 st and 2 nd Crepper Jumbo (Case Study in PTPN VII of Padang Pelawi Bussines Unit , Selama Regency , Bengkulu Province)," *J. Teknosia*, vol. 3, no. 2, pp. 45–51, 2017.
- [8] L. Rusdiyana, E. Widiyono, M. Mursid, D. Jurusan, T. Mesin, and F. Industri, "Analisa Gaya dan Daya Mesin Pencacah Rumput Gajah Berkapasitas 1350 kg/jam," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 7, no. 2, pp. 163–172, 2015.
- [9] Yusmartato, R. Nasution, Armansyah, "Analisis Arus Motor Induksi Rotor Sangkar Dengan mengubah Jumlah Kutub," *Buletin Utama Teknik*, vol. 14, no. 2, 2019.
- [10] C. B. Nugroho, "Analisis Solidwork pada Rangka Mesin Press Bottle Jack 20 Ton dengan Perbedaan Material Type AISI," *J. Integr*, vol. 8, no. 1, pp. 12–15, 2016.

SUBMISSION 23**Analisis Pengaruh Waktu Perebusan Serat Bambu Apus (*Gigantochloa Apus*) Pada Larutan NaOH Terhadap Beban Tarik**Dede Lia Zariatini¹, Muhammad Alfian Ravizqi¹, Ansor Salim Siregar¹¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Penggunaan material yang ramah lingkungan menjadi salah satu hal yang perlu dipertimbangkan dan dikembangkan saat ini. Keadaan pada alam adalah faktor yang menjadi pertimbangannya, dikarenakan sulitnya suatu material terurai dengan alam. Serat bambu apus memiliki potensi yang baik sebagai penguat pada komposit dan merupakan sumber dari alam. Pada penelitian ini, uji tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik serat bambu apus dari berbagai perlakuan. Penelitian ini menggunakan metode true experimental, dengan pengujian uji tarik sesuai standar ASTM D 3379-75. Dalam penelitian ini, digunakan serat bambu apus tanpa perendaman larutan NaOH, 60 menit perendaman larutan NaOH, 90 menit perendaman larutan NaOH dan 120 menit perendaman larutan NaOH. Pembuatan serat bambu untuk uji tarik dilakukan dengan metode chemical ekstraksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat bambu perendaman larutan NaOH dengan variasi waktu 90 menit memiliki kekuatan tarik paling tinggi dengan nilai rata-rata kekuatan tarik 1,904,40 N/mm² dibanding variasi serat perendaman yang lain. Perbedaan kekuatan tarik dari berbagai variasi disebabkan oleh sifat dan karakteristik serat akibat perendaman NaOH yang berbeda pula. Perendaman NaOH bertujuan untuk memperbaiki sifat permukaan untuk menghilangkan zat lignin dan lilin pada serat bambu apus untuk meningkatkan kekuatan ikatan antara serat dan matriks. Tetapi pada konsentrasi 5% NaOH pada perendaman 60 menit dan 120 menit menurunkan kekuatan tariknya dikarenakan zat dan komposisi kimia pada serat terdegradasi dan melemahkan kekuatan serat.

Kata Kunci- *Chemical Ekstraksi, Kekuatan Tarik, Serat Bambu Apus.*

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai salah satu negara tropis di dunia memiliki sumber daya bambu yang cukup potensial. Sumber daya bambu yang cukup melimpah tersebut perlu ditingkatkan pemanfaatannya agar dapat memberi sumbangan terhadap pertumbuhan ekonomi nasional. [1] Bambu sebagai bahan material alam yang relatif murah karena mudah didapat merupakan bahan yang kurang diperhatikan dan kurang dioptimalkan pemakaiannya di dunia konstruksi. Perannya sebagai tumbuhan serba guna, bambu dapat digunakan sebagai alternatif bahan konstruksi, sehingga peranan kayu sebagai bahan konstruksi menjadi berkurang yang akhirnya dapat mengurangi terjadinya penebangan hutan.[2] ada 143 jenis bambu di Indonesia. Di Jawa, diperkirakan hanya ada 60 *species* bambu. Diantaranya *species* di Jawa, ada juga 16 *species* di pulau lainnya, 26 diantaranya telah diperkenalkan, tetapi 14 diantaranya hanya tumbuh di Kebun Raya Bogor dan Cibodas.[1]

Di Indonesia bambu dapat dijumpai baik di daerah pedesaan maupun di dalam kawasan hutan. Semua jenis tanah dapat ditanami bambu kecuali tanah di daerah pantai. Pada tanah ini sekalipun terdapat bambu, pertumbuhannya lambat dan batangnya kecil. Tanaman bambu dapat dijumpai mulai dari dataran rendah sampai dataran tinggi, dari pegunungan berbukit dengan lereng curam sampai landai.[3] Bambu mempunyai berbagai kegunaan dan manfaat jika dikembangkan, Pengolahan bambu tergantung pada penggunaan atau pemanfaatannya. Selain untuk dimanfaatkan sendiri oleh masyarakat, sekarang produk olahan bambu sudah banyak diekspor ke luar negeri seperti furnitur, kerajinan / *handycraft*, sumpit, tusuk gigi dan lain-lain.[2] Dari sifat positif yang dimiliki bambu tersebut ada beberapa kekurangan diantaranya yaitu kurang kuat menahan gaya geser baik akibat pembebanan jangka panjang maupun pembebanan jangka pendek. Kekuatan tarik beberapa jenis bambu ada yang lebih tinggi dari kekuatan tarik baja, hanya saja umur bambu jauh di bawah baja serta ketahanan terhadap cuaca merupakan hal yang perlu diperhatikan.[2]

Komposit serat alam seperti serat bambu mempunyai keunggulan antara lain sifatnya yang dapat diperbarui, dapat didaur ulang dan dapat terbiodegradasi di lingkungan. Namun serat bambu memiliki kelemahan yaitu mengandung kadar gula yang tinggi sebanyak 42,4-53,6%, lignin 19,8-26,6% dan kadar air sebanyak 15-20%. Serat bambu juga memiliki sifat kusut dan mudah menyerap air.[4] Perlakuan kimiawi tertentu dari serat alami diperlukan untuk meningkatkan *compatibility* serat alami sebagai bahan penguat komposit. Modifikasi kimia secara langsung mempengaruhi struktur serat dan mengubah komposisi kimia serat, serta mengurangi kecenderungan serat untuk menyerap kelembapan, sehingga akan memberikan ikatan yang lebih baik antara serat dan matriks. Ini akan menyebabkan material komposit dengan sifat mekanik dan termal yang jauh lebih baik.[5]

Kekuatan serta kekakuan serat tanaman terutama bergantung kepada kandungan selulosa dan meningkatkan kandungan selulosa merupakan salah satu kunci dalam meningkatkan kinerja serat. Perlakuan alkali dari serat alam adalah metode perlakuan kimia yang dikenal dapat meningkatkan kandungan selulosa dengan menghilangkan hemiselulosa dan lignin.[6]

¹ Corresponding author: alfianravizqi@gmail.com

perlakuan alkali merupakan metode umum untuk membersihkan dan memodifikasi permukaan pada serat untuk mengurangi tegangan permukaan dan meningkatkan adesi antar muka antara serat alami dan matriks polimer.[7]

Tabel 1 Properties dari berbagai serat alam [11]

Serat alami	Masa jenis (10^{-3}kg, M^{-3})	Selulosa (%)	lignin	Sudut Migrro fibrilla (derajat)
kelapa	1,150	43	45	30-49
Pisang	1,350	65	5	11
Sisal	1,450	70	12	20-25
Jerami	1,450	63	11,7	8
Bambu	600-800	60,8	32,2	2-10

Morisco menyatakan bahwa bambu apus memiliki kekuatan lentur $502,3 - 1240,3 \text{ kg/cm}^2$. modulus elastisitas lentur $57,515 - 121,334 \text{ kg/cm}^2$, keteguhan tarik $1231 - 2859 \text{ kg/cm}^2$. Sifat mekanis bambu apus tanpa buku lebih besar dibandingkan dengan bambu apus dengan bukunya. Berikut penelitian dari Morisco tentang spesifikasi kekuatan material pada bambu apus [3].

Tabel 2 Spesifikasi kekuatan material bambu apus [18]

Spesifikasi Kekuatan Material	
Diameter	4 - 13 cm
Panjang	8 - 30 m
Tebal	15 mm
Tarik	280,37 MPa
Tekan	121,63 MPa
Geser	11,89 MP

Penelitian oleh Samsudi Raharjo (2012) mempelajari pengaruh perlakuan alkali pada kekuatan tarik komposit matriks epoksi yang diperkuat dengan 40% berat serat rambut manusia. Perlakuan alkali (NaOH) dilakukan dengan merendam rambut manusia dalam larutan NaOH 5%, dan waktunya bervariasi dari 0 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Data yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwasanya kekuatan tarik optimal rambut yang direndam dalam larutan NaOH 5% meningkat sebesar 28,862 MPa dibandingkan dengan larutan NaOH 5% yang tidak diberi perlakuan alkali 25,038 MPa.[15] Pada tahun 2014 penelitian juga dilakukan oleh Firman, penelitian tentang pengaruh larutan alkali pada kekuatan tarik tandan kosong kelapa sawit. Perlakuan alkali (NaOH) dilakukan dengan cara merendam STKKS dalam larutan NaOH menggunakan variasi waktu 120, 240, dan 360 menit. Alhasil menunjukkan bahwa kekuatan tarik rata-rata serat yang

diberi perlakuan alkali adalah 0,032927 MPa, dan kekuatan tarik rata-rata dari serat yang tidak diberi perlakuan alkali adalah 0,017247 MPa.[16]

Supaya penelitian ini yang dilakukan dapat terfokus, maka ada beberapa batasan masalah : bambu yang di uji adalah bambu Apus, karena bambu Apus banyak ditemukan di Indonesia. Pengujian beban tarik terhadap serat bambu yang direbus dengan temperatur 70°C dalam larutan NaOH untuk 3 variasi waktu yaitu 60 menit, 90 menit dan 120 menit. Karena keterbatasan kemampuan alat uji yang digunakan maka data yang direkam hanya beban tarik pada saat serat mengalami putus, sehingga tidak mendapatkan dari grafik tegangan-regangan. Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan karakteristik & analisis pengaruh waktu perebusan serat bamboo pada larutan NaOH terhadap beban tarik. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan alternatif penggunaan bahan baku pengganti kayu yang makin berkurang ketersediaanya.

2. METODELOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian eksperimen (*experimental research*) bertujuan mengetahui besarnya kekuatan tarik pada material serat bambu Apus pada larutan NaOH dengan variasi waktu (0, 60, 90 dan 120) menit. Adapun alat dan bahan yang digunakan baik untuk pengujian maupun pembuatan spesimen yaitu kompor, panci, jangka sorong digital, termometer, moisture meter, dan mesin uji tarik. Serta bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah NaOH (*Natrium Hidroksida*), H₂O, serat bambu Apus.

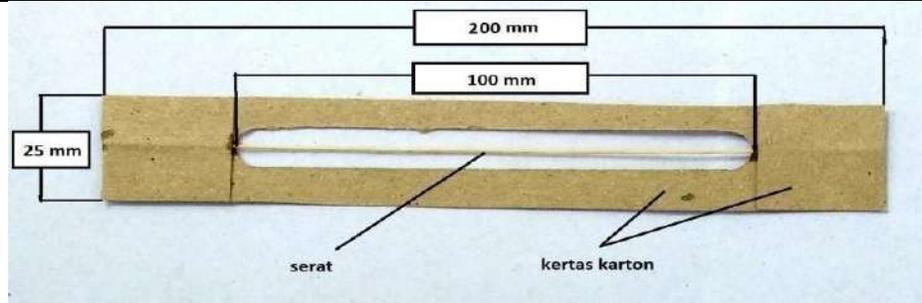
Bambu yang digunakan adalah bambu Apus, potong bambu dengan ukuran Panjang 20 cm. kemudian serut bambu yang telah dipotong agar menjadi daging bambu dengan ukuran ketebalan 1 mm. Daging bamboo yang sudah didapatkan dengan cara diserut lalu direndam di dalam larutan alkali (NaOH 5%) dengan variasi waktu perendaman (0, 60, 90, dan 120) menit, dengan mengontrol suhu di 70°C.



Gambar 1 (a) Daging bambu; (b) Proses perebusan daging bambu dan pengontrolan suhu 70°C [22]

Setelah itu serat dicuci dengan menggunakan air bersih dan selanjutnya direndam dalam air bersih untuk menghilangkan efek NaOH. Serat dikeringkan dengan metode *sun drying* atau pengeringan alami. Setelah proses pengeringan sudah dilakukan, selanjutnya proses pemisahan serat bambu hingga benar terpisah atau menjadi serat tunggal. Serat yang sudah terpisah atau serat kemudian dicek kadar airnya menggunakan moisture meter. Sebelum ke tahap pengujian, serat tunggal yang ingin diuji terlebih dahulu diukur diameternya menggunakan jangka sorong digital bertujuan untuk sebagai parameter dalam penelitian ini. Namun demikian sebelum ke pengujian tarik terlebih dahulu membuat spesimen menggunakan kertas karbon sesuai standar uji ASTM D 3379-75 dengan ukuran panjang 200 mm.

Dalam pengujian ini didasarkan pada American Standard Testing Methods (ASTM), untuk pengujian standar yang digunakan pengujian uji tarik menggunakan ASTM D 3379-75.[20].



Gambar 2 Spesimen uji tarik

Spesifikasi alat uji tarik :

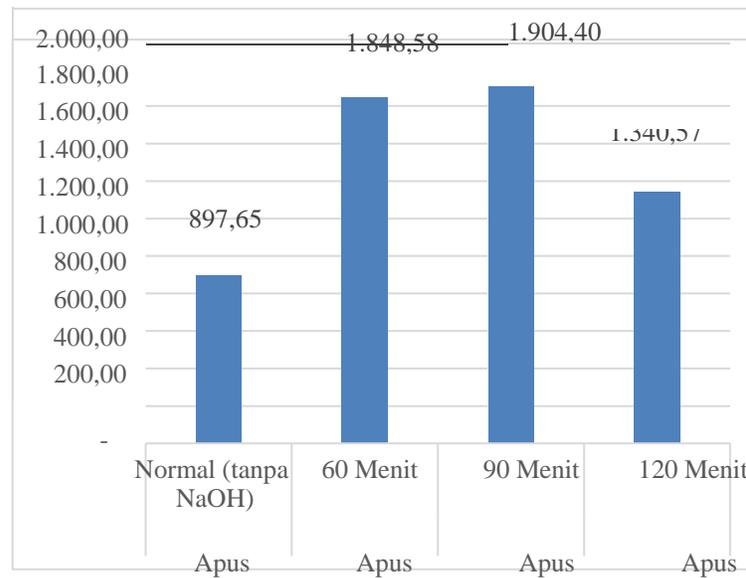
- Beban maksimal 2500 N
- Dimensi alat memiliki panjang 400 mm, lebar 400 mm, dan tinggi 750 mm
- Berat alat 15 kg
- Maksimal tekanan udara sebesar 5 bar
- Dimensi maksimal benda uji adalah panjang 200 mm, lebar 35 mm dan tebal 10 mm



Gambar 3 Mesin uji tarik [19]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian tarik dilakukan pada serat tunggal bambu apus dengan tanpa perlakuan NaOH, dan serat bambu tunggal diberi perlakuan NaOH 5% dengan variasi waktu 60 menit, 90 menit dan 120 menit. Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian yang diperoleh dari masing-masing spesimen tanpa perlakuan dan yang diberi perlakuan NaOH. hasil pengujian tarik yang dilakukan yaitu kekuatan tarik rata-rata.



Gambar 4 Grafik rata-rata kekuatan tarik serat tunggal bambu apus (*gigantochloa apus*) yang diberi perlakuan perendaman NaOH selama 60 menit, 90 menit, 120 menit dan tanpa perlakuan NaOH

Berdasarkan grafik pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata kekuatan tarik serat bambu apus tanpa perlakuan larutan NaOH lebih rendah dengan Nilai 897,65 N/mm², sedangkan serat bambu yang diperlakukan larutan NaOH 5% dengan variasi waktu 60 menit, 90 menit dan 120 menit menunjukkan nilai rata-rata kekuatan tarik yang paling optimal di variasi waktu 90 menit dengan nilai 1,904,40 N/mm². Hal ini menunjukkan paling efektif untuk meningkatkan serat bambu apus, pada variasi waktu 120 menit.

Perlakuan larutan NaOH 5% dengan *chemical ekstraksi method* pada suhu 70 °C pada serat bambu apus mempengaruhi dari sifat fisik serat tersebut, dan juga sangat mempengaruhi dari nilai rata-rata kekuatannya paling optimal di variasi waktu 90 menit. Pengujian ANOVA juga dilakukan pada penelitian ini menggunakan *Software Minitab*. Hipotesis yg diambil :

H0 : Perbedaan perlakuan terhadap serat tidak memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik

H1 : Perbedaan perlakuan terhadap serat memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
PERLAKUAN	3	20197956	6732652	11.80	0.000
Error	116	66209287	570770		
Total	119	86407244			

Model Summary

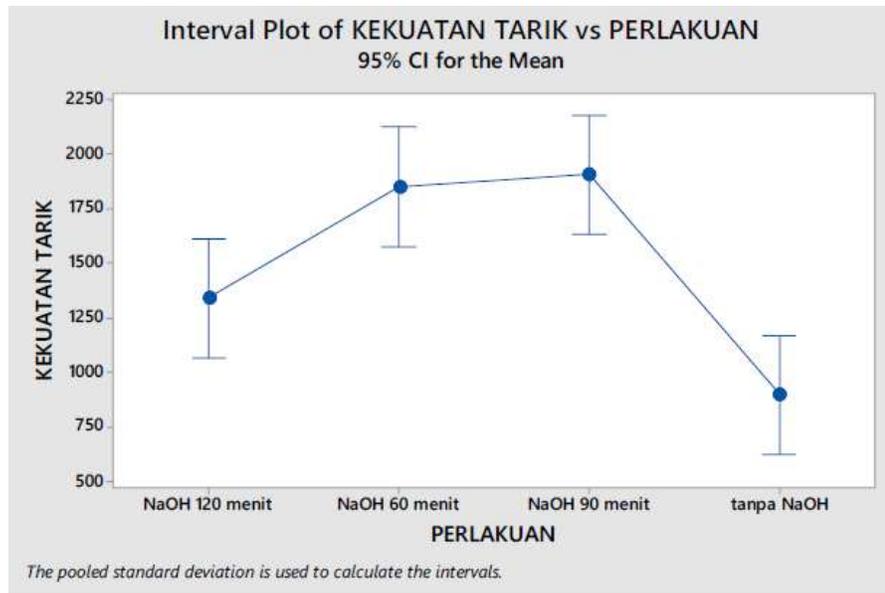
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
755.493	23.38%	21.39%	18.00%

Means

PERLAKUAN	N	Mean	StDev	95% CI
NaOH 120 menit	30	1340.6	540.5	(1067.4, 1613.8)
NaOH 60 menit	30	1849	741	(1575, 2122)
NaOH 90 menit	30	1904	1102	(1631, 2178)
tanpa NaOH	30	897.7	477.3	(624.5, 1170.8)

Pooled StDev = 755.493

Gambar 5 Hasil perhitungan ANOVA



Gambar 6 Grafik hasil uji ANOVA

Hasil perhitungan ANOVA menggunakan minitab, nilai kekuatan tarik memberikan kesimpulan tentang hasil uji hipotesis analisis variansi. Keputusan yang diambil terhadap analisis variansi data eksperimen untuk nilai uji tarik, dilihat pada Gambar 4.6 nilai probabilitas (0,000) lebih kecil dari nilai α . Tingkat signifikansi dari asumsi Uji ANOVA dari 120 sampel adalah 5%. Yang berarti $P < \alpha = 0,05$, Maka dapat diambil keputusan Hipotesis nol ditolak dan Hipotesis satu diterima. kesimpulannya perbedaan perlakuan terhadap serat memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa Serat bambu apus tanpa perlakuan larutan NaOH dengan nilai rata-rata kekuatan tarik paling rendah sebesar 897,65 N/mm² dibandingkan serat bambu apus yang diberi perlakuan larutan NaOH sebesar 5 % dari variasi waktu perebusan 60 menit, 90 menit dan 120 menit dengan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 1,848,58 N/mm², 1,904,40 N/mm², 1,340,57 N/mm². ini menunjukkan bahwa perlakuan larutan NaOH terhadap serat bambu apus sangat penting untuk meningkatkan sifat seratnya, pada di variasi waktu 120 menit nilai rata-rata kekuatan Tarik mengalami penurunan dikarenakan kadar selulosa pada serat telah mengalami kerusakan sehingga membuat kekuatan tarik serat menjadi rendah. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka saran rencana penelitian selanjutnya yaitu :

1. Dalam penelitian ini karena keterbatasan kemampuan alat uji sehingga tidak mendapatkan dari grafik tegangan-regangan, untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat menambahkan grafik tegangan-regangan.
2. Proses perebusan serat bambu dengan larutan NaOH agar selalu mengontrol suhu agar tetap stabil di 70°C.
3. Untuk penelitian selanjutnya, meneliti karakteristik serat bambu apus dengan pengaruh perendaman NaOH 10 % dengan waktu perendaman 120 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Manik, P., "Analisa kekuatan tarik dan kekuatan lentur balok laminasi kombinasi bambu petung dan bambu apus untuk komponen kapal kayu", *Jurnal Perkapalan*, vol. 13, no. 3, pp. 142–151, 2016.
- [2] Charomaini, M., "*Budidaya Bambu Jenis Komersial*", Bogor : IPB Press, 2014.
- [3] Widjaya, E. A., "*Identikit Jenis-Jenis Bambu Di Kepulauan Sunda Kecil*", Bogor: Puslitbang Biologi, 2001.
- [4] Witono, K., Irawan, Y. S., Soenoko, R., dan Suryanto, H., "Pengaruh Perlakuan Alkali (NaOH) Terhadap Morfologi dan Kekuatan Tarik Serat Mendong," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 4, no. 3, pp. 227–234, 2013.
- [5] Abdelmouleh, M., and Boufi, S., "Science and Short natural-fibre reinforced polyethylene and natural rubber composites : Effect of silane coupling agents and fibres loading," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 67, pp. 1627–

- 1639, Tunisia, 2007.
- [6] Kim, J. T., and Netravali, A. N., "Composites : Part A Mercerization of sisal fibers : Effect of tension on mechanical properties of sisal fiber and fiber-reinforced composites," *journal Composite Part A*, vol. 41, no. 9, pp. 1245–1252, 2010.
- [7] Sapuan, S. M., and Bachtiar, D., "Mechanical Properties of Sugar Palm Fibre Reinforced High Impact Polystyrene Composites," *procedia Chemistry*, vol. 4, pp. 101–106, 2012.
- [8] Bruder, R., Baier, B and Meier, C., "Bamboo : Structure and Culture", *Utilizing.bamboo in the Industrial.Context with Reference. to its Structural and Culture Dimension*, Aus Yibin, China, 2007.
- [9] Sutardi, S. R., Nadjib, N and Muslich, M., "Informasi Sifat Dasar dan Kemungkinan Penggunaan 10 jenis Bambu", Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Badan Penelitian, Pengembangan dan Inovasi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Bogor, 2015.
- [10] Irawan, A. P., Sukania, I. W., "Kekuatan Tekan dan Flexural Material Komposit Serat Bambu Epoksi," *Tek Mesin*, vol. 14, no. 2, pp. 59–63, Jakarta, 2013.
- [11] Manuputty, M dan Berhиту, P. T., "Pemanfaatan Material Bambu Sebagai Alternatif Bahan Komposit Pembuatan Kulit Kapal Pengganti Material Kayu Untuk Armada Kapal Rakyat yang Beroperasi di Daerah Maluku," *Jurnal teknologi*, vol. volume 7, no. 2, pp. 788–794, 2010.
- [12] Kosjoko, "Kekuatan Tarik dan Bending Bahan Komposit Serat Bambu Tali (*Gigantocoloa Apus*) Bermatriks Polyester," *Jurnal Info Teknik*, vol. 15, no. 2, pp. 139–148, Jember, 2014.
- [13] Rahmanto, M. H., Palupi, A. E., "Analisa Kekuatan Tarik dan Impak Komposit Berpenguat Serat Kelapa dan Tebu dengan Perendaman NaOH dan menggunakan Resin Polyester," *Jurnal teknik mesin*, vol. 7, pp. 31–40, Surabaya, 2019.
- [14] Rachmat, S., "Studi Pengaruh Perlakuan Alkali dan Panas Terhadap Sifat Mekanik Serat Kenaf Untuk Bahan Komposit," *Jurnal Ilmu Kemaritiman Manajemen dan Transp.*, vol. 14, pp. 1–11, Yogyakarta, 2016.
- [15] Amin, M dan Raharjo, S., "Pengaruh perlakuan alkali terhadap kekuatan tarik bahan komposit serat rambut manusia," *Seminar Nasional Hasil Penelitian.*, Semarang, 2012.
- [16] Supriadi, H., Sarvetlana, S dan Gultom, F., "Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Kekuatan Tarik Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Digunakan pada Komposit Serat Tkks," *jurnal mechanical*, vol. 5, pp. 38–44, 2014.
- [17] Meidiana, E., "Kimdas Senyawa NaOH," *Jurnal Penelitian Kimia.*, Surabaya, 2018.
- [18] Pramono, S. W. C., "Pengaruh Waktu Perendaman dan Jenis Larutan Terhadap Kekuatan Tarik Serat Nanas," *jurnal teknik mesin*, vol. 14, no. 01, pp. 21–26, 2013.
- [19] Ikhsan, N., "Proses Manufaktur dan Uji Kinerja Alat Uji Tarik dengan Beban Maksimal 2500 N," Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila, Jakarta, 2020.
- [20] ASTM D3379-75, "Standard Test Method for Tensile Strength and Young ' s Modulus for High-Modulus Single-Filament Materials," vol. 75, no. Reapproved 1989, pp. 1–5, 2000.
- [21] Mukti, G. W., "Pengaruh Perendaman NaOH Terhadap Kekuatan Impak Komposit Sandwich Bambu Kertas Yang Bersifat Serap Bising," Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2012.
- [22] Zakikhani, P., Zahari, R., Sultan, M. T. H and Majid, D. L., "Extraction and Preparation of Bamboo Fibre-Reinforced Composite", *journal material and design.*, Vol. 63, pp. 820-828, 2014.

SUBMISSION 25**Analisis Kekuatan Sambungan Las Crushing Welding Pada Bahan Alumunium 5052**Alditiyo Ibrahim¹, dan Setijono¹¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Kemajuan industri dalam bidang teknologi penyambungan material berkembang dengan cepat, baik di bidang logam maupun non logam. Pengelasan adalah teknik penyambungan antara dua logam atau lebih yang menggunakan energi listrik sebagai mediatornya. Pengelasan sangat memerlukan perhatian khusus karena rancangan las, seperti langkah – langkah pengelasan dan karakteristiknya harus memperhatikan kesesuaian dengan kegunaan konstruksi serta kondisi sekitar. Pada penelitian ini, analisis yang dilakukan ialah mencari kekuatan sambungan las dari pengelasan tipe gesek dengan material alumunium 5052. Dimana terdapat tiga pengujian yaitu pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan pengujian mikrostruktur. Berdasarkan hasil analisa dari semua pengujian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa welding 1 memiliki kekuatan tarik dengan penambahan panjang 0,00494 m dan beban maksimal sebesar 872,79 N dengan nilai kekerasan vickers sebesar 114,7 dibandingkan welding 2 yang hanya memiliki penambahan panjang 0,0042 m dan beban maksimal 118,56 N dengan nilai kekerasan vickers 100,9.

Kata Kunci- Alumunium; Pengelasan gesek; Sambungan las.

PENDAHULUAN

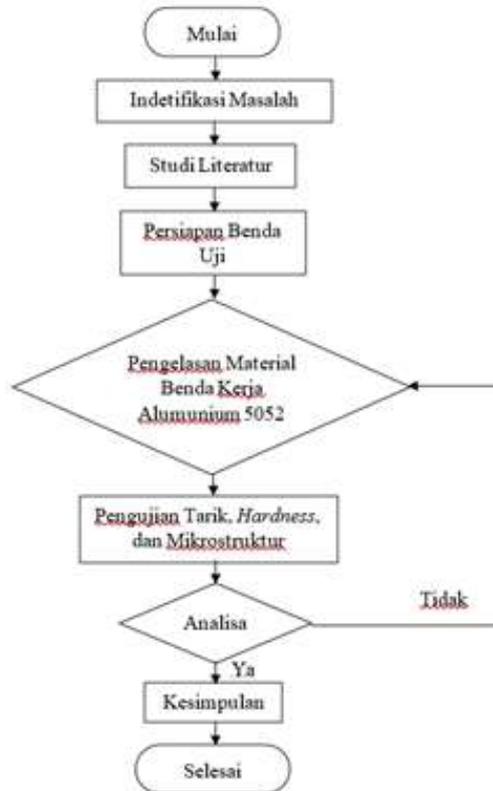
Pengelasan merupakan suatu proses penggabungan logam yang menyatu akibat dari energi panas yang dihasilkan oleh elektroda dari kawat las, dengan menggunakan logam pengisi atau tidak menggunakan logam pengisi.[1]. Dalam hal ini ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pengelasan yaitu tata cara pengelasan dalam merencanakan suatu penelitian, saat ini teknologi pengelasan diimplementasikan secara luas, mulai dari aplikasi yang sederhana sampai yang paling rumit.[2].

Friction crush welding (FCW) adalah pengelasan dimana menyatukan dua material dengan memanfaatkan panas yang berasal dari dua proses, yaitu gesekan dan tekanan pahat yang berbentuk cakram ke material benda kerja. Sebagian besar dari proses pengelasan ini biasanya digunakan pada pengelasan logam tipis. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah alumunium dengan tipe 5052 dengan tebal 0,002 m memiliki density sebesar 2,6989 gr/cm³, titik lebur 660 °C, hantaran panas 0,49 cal/det °C dan massa atom 26,98 gr/mol. Pengujian sambungan las yang akan digunakan adalah uji tarik, uji kekerasan dengan menggunakan metode *hardness vickers test*, dan uji mikrostruktur. Mesin las gesek penghancur menggunakan motor listrik dengan kecepatan putar 5000 rpm. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *tensile strength* sambungan las *crushing welding* pada material alumunium, nilai kekerasan pada material uji las *crushing welding* dan perubahan dari struktur mikro pada permukaan material alumunium akibat dari pengelasan gesek.[3]

METODE PENELITIAN

Penelitian ini lebih memfokuskan pada analisis kekuatan las. Pada tahap analisis menggunakan metode penelitian sebagai alat bantu untuk dapat menggambarkan proses penelitian. Tahapan ini meliputi pemilihan bahan material, persiapan material, pemotongan dan penekukan material, pengujian dan analisa. Berikut ini adalah diagram alir penelitian :

¹ Corresponding author: alditiyoo@gmail.com



Gambar 1. Diagram alir tahapan penelitian

A. Identifikasi masalah

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *tensile strength* sambungan las *crushing welding* pada material aluminium, nilai kekerasan pada material uji las *crushing welding* dan perubahan dari struktur mikro pada permukaan material aluminium akibat dari pengelasan gesek.

B. Benda uji

Pada pemilihan benda uji, bahan penelitian yang digunakan adalah aluminium plat 5052 dengan ketebalan 0,002m.

1. Plat aluminium 5052



Gambar 2. Plat aluminium 5052

Gambar 2 diatas menunjukkan bentuk fisik dari plat aluminium 5052 yang akan digunakan untuk pengelasan gesek sifat ketahanan terhadap korosi dan panas yang baik dan sifat material yang ringan sehingga dapat memudahkan proses pengelasan.

2. Mesin *crushing welding*



Gambar 3. Mesin *crushing welding*

Gambar 3 diatas adalah mesin akan digunakan untuk pengelasan gesek menggunakan *rotating disk* tipe material S45C dengan rpm gerinda sebesar 5000.

C. Pengelasan Material Benda Kerja Alumunium 5052

Pada proses pengelasan ini menggunakan jenis pengelasan *crushing welding*, dimana material alumunium 5052 tersebut dipotong menjadi beberapa bagian kemudian ditebuk dan ditempatkan saling berhadapan agar dapat digesekan dengan piringan cakram (*rotating disc*). Piringan cakram ini bersentuhan dengan material yang akan disambung dengan cara berputar dan memberi tekanan pada material yang sudah ditebuk sehingga terjadi perpindahan elektron pada material benda kerja yang ditebuk akan hancur dan membentuk material benda kerja yang lunak dan mencair karena panas dari gesekan.

D. Pengujian

Setelah spesimen dilakukan proses pengelasan selanjutnya dilakukan tiga proses pengujian sebagai berikut :

1. Alat uji tarik



Gambar 4. Alat uji tarik

Gambar 4 adalah alat uji tarik *gotech* LA 1000 yang digunakan untuk mengetahui perbandingan tegangan dan regangan akibat dari gesekan dan tekanan pahat dari suatu material yang dilas.

2. Alat uji kekerasan *vickers*



Gambar 5. Alat uji kekerasan

Gambar 5 adalah alat uji kekerasan *vickers mitsuzawa* yang digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan terhadap benda uji yang dilas.

3. Alat uji metalografi



Gambar 6. Mikroskop metalografi

Gambar 6 diatas adalah alat uji metalografi yang digunakan untuk mengetahui dan mendapatkan hasil pembentukan pengelompokan atom campuran dalam satu paduan tunggal.

E. Analisa

Data dari hasil pengujian, kemudian dilakukan analisa untuk mengetahui tegangan, regangan, nilai kekerasan, dan mikrostruktur yang berubah akibat pengelasan gesek berdasarkan tipe aluminium yang dipakai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Persiapan benda uji

Pada persiapan material benda uji adapun beberapa tahap yang dilakukan sebelum melakukan proses pengujian perencanaan proses pengujian antara lain sebagai berikut :

1. Proses pertama menyiapkan material benda uji aluminium 5052 dengan ketebalan 0,002 m.



Gambar 7. Plat aluminium 5052

2. Selanjutnya memotong material benda uji dengan dimensi spesimen 0,1m dan lebar 0,05 sebanyak 8 potong.



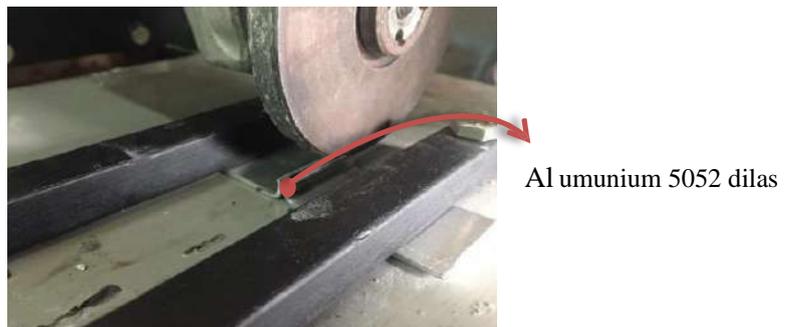
Gambar 8. Pemotongan benda uji

3. Material benda uji yang telah dilakukan pemotongan dilakukan penekukan membentuk sudut 90°. Dicekam pada rel pengelasan kemudian dihadapkan saling berhadapan dan diberi jarak untuk dilakukan proses pengelasan *crushing welding*.



Gambar 7. Penjepitan benda uji

4. Pada saat proses pengelasan, piringan cakram (*rotating disc*) bersentuhan dengan material benda uji dengan cara berputar.



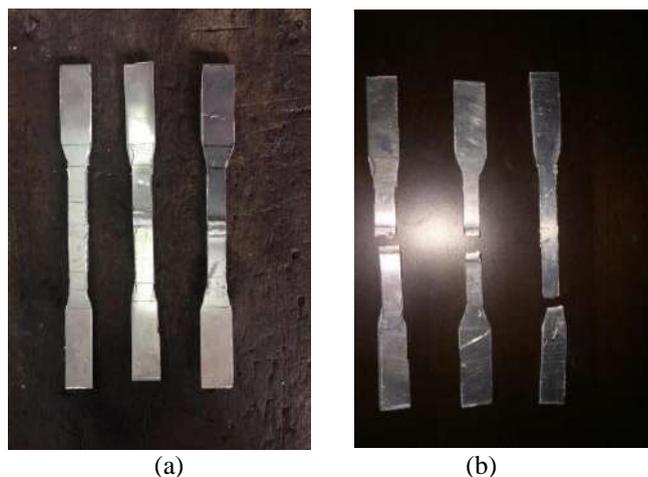
Gambar 8. Proses pengelasan

5. Material yang telah dilas, dilakukan pengujian dengan perbedaan *welding 1* yang mempunyai gaya gesek sebesar 3,410 N dan gaya tekan 905 N. Pada *welding 2* mempunyai gaya gesek 3,411 N dan gaya tekan 1452,72 N, kemudian dibandingkan dengan material yang tidak dilas, proses pengujian ini meliputi :
 - a. Pengujian tarik
 - b. Pengujian kekerasan *vickers*
 - c. Pengujian metalografi
6. Data yang didapat dari hasil pengujian, dilakukan analisa untuk mengetahui tegangan, regangan, nilai kekerasan dari suatu material, dan mendapatkan hasil pembentukan pengelompokan atom campuran dan perubahan struktur mikro yang terjadi setelah dilakukan pengelasan.

B. Pengujian benda uji

1. Uji Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui nilai dari suatu regangan dan tegangan dari hasil pengelasan gesek, pengujian ini dilakukan menggunakan standar ASTM E8. Untuk pengujian tarik pada aluminium 5052 perlu disiapkan adalah benda uji yang terdiri dari 3 sampel dimana 2 sampel dilakukan pengelasan gesek dan 1 sampel tanpa dilakukan pengelasan gesek dengan menggunakan dimensi yang sama.



Gambar 9. (a) Sebelum pengujian tarik (b) Sesudah pengujian tarik

Untuk mencari tegangan teknis, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan rumus :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (1)$$

Untuk mencari regangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan rumus :

$$\varepsilon = \frac{L_i - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

Hubungan antara tegangan dan regangan disebut dengan modulus young yang dapat dihitung menggunakan rumus :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

Tabel dibawah ini merupakan hasil dari pengujian tarik dari 3 sampel yang digunakan dalam pengujian tarik.

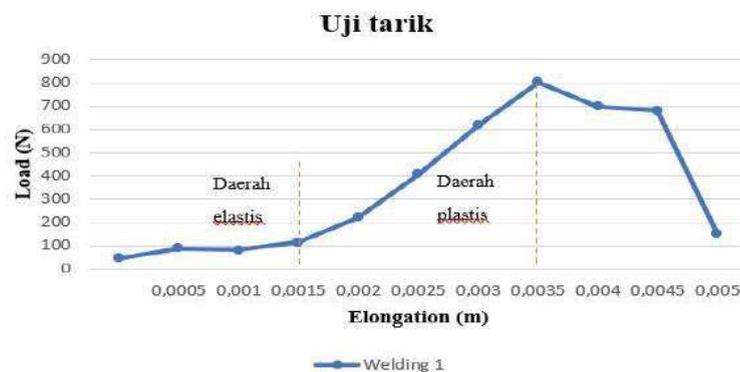
Tabel 1. Hasil uji tarik aluminium 5052

Sampel Spesimen	Width (m)	Height (m)	Sectional Area (m ²)	Maximum Load (N)	Elongation (m)
Base	0,125	0,002	0,025	4957,75	0,01511
Welding 1	0,125	0,002	0,025	872,79	0,00494
Welding 2	0,125	0,002	0,025	118,56	0,0042

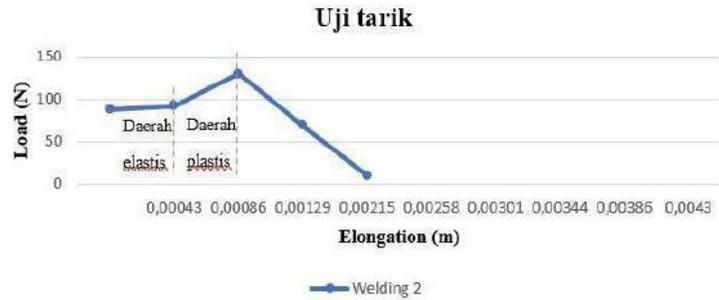
Setelah hasil uji tarik dari ketiga sampel yang digunakan didapatkan grafik pengujian dari masing- masing sampel.



Gambar 10. Grafik hasil uji tarik pada *base*



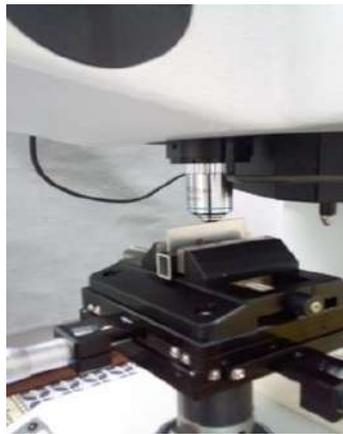
Gambar 11. Grafik hasil uji tarik pada *welding 1*



Gambar 12. Grafik hasil uji tarik pada *welding 2*

2. Uji kekerasan

Pada pengujian kekerasan ini mengacu pada ASTM E384 tentang pengujian kekerasan *vickers*. Hal yang perlu dipersiapkan pada spesimen uji kekerasan adalah dimensi dari spesimen tidak disebutkan tetapi banyak percobaan yang dilakukan sebanyak 3 titik percobaan pada setiap material. Pengujian ini menggunakan indenter piramida berlian berbentuk persegi dengan sudut wajah 136°.



Gambar 13. Proses uji kekerasan alat *vickers*



Gambar 14. Hasil uji kekerasan alat *vickers*

Untuk mengetahui nilai kekerasan terhadap benda uji dapat dihitung diagonal rata-rata dengan menggunakan persamaan rumus sebagai berikut :

$$D = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (4)$$

Dan untuk menghitung angka kekerasan dapat dihitung menggunakan persamaan rumus sebagai berikut :

$$HV = \frac{F}{A} \times \sin \frac{136^\circ}{2} \quad (5)$$

Adapun nilai dari hasil uji kekerasan dengan metode *vickers* dapat ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

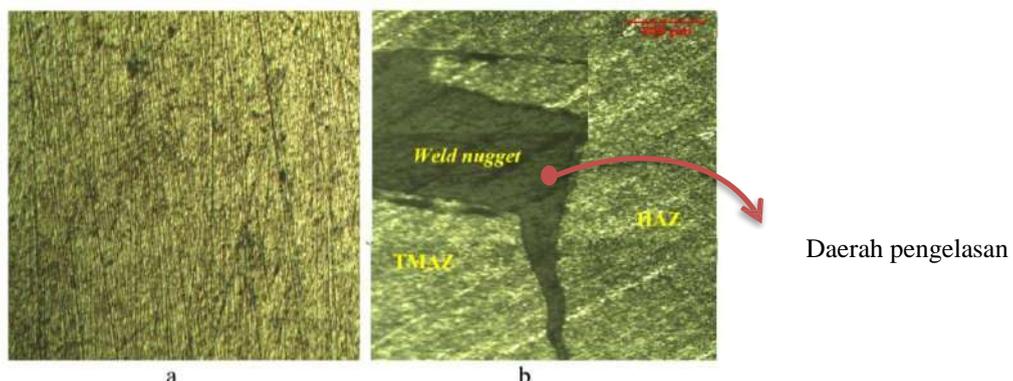
Tabel 2. Tabel uji kekerasan *vickers*

Sampel	Nilai kekerasan			Beban total (N)
	D1 (m)	D2 (m)	HV	
Base	0,07806	0,07194	98,9	2942 N
	0,07477	0,07601	97,8	
	0,07761	0,0696	102,6	
Rata-rata HV base			99,7	
Welding 1	0,07038	0,07409	106,6	
	0,06447	0,07265	118,3	
	0,07209	0,06451	119,2	
Rata-rata HV welding 1			114,7	
Welding 2	0,07353	0,0722	104,7	
	0,07775	0,07812	91,5	
	0,07038	0,07409	106,6	
Rata-rata HV welding 2			100,9	

3. Uji mikrostruktur

Pengujian mikrostruktur ini menggunakan mikroskop cahaya. Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi akibat adanya proses pengelasan dengan metode *friction crushing welding*, yaitu didaerah *weld nugget*, TMAZ dan HAZ. Pada pengelasan *friction crushing welding* paduan aluminium 5052 hanya terjadi penghalusan partikel-partikel pada daerah *weld nugget* dan tidak terjadi perubahan fase karena pada pengelasan ini tidak menggunakan logam pengisi.

Daerah las (*weld nugget*) daerah yang mengalami deformasi plastis dan pemanasan selama proses pengelasan sehingga menghasilkan rekristalisasi yang menghasilkan butiran halus didaerah pengadukan. *Termomechanically affected zone* (TMAZ) adalah transisi antara logam induk dan daerah las yang mengalami deformasi struktur tetapi tidak terjadi rekristalisasi. *Heat affected zone* (HAZ) adalah daerah yang mengalami siklus termal tetapi tidak mengalami deformasi plastis dan perubahan sifat mekanik.



Gambar 15.(a) Struktur mikro base metal aluminium 5052 (b) Struktur mikro daerah pengelasan gesek

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian tarik plat aluminium 5052 didapatkan nilai sebagai berikut. Pada kondisi *base* memiliki nilai *elongation* sebesar 0,01511 m dan *maximum load* 4957,75 N. Pada kondisi *welding 1* memiliki nilai *elongation* sebesar 0,00494 m dan *maximum load* 872,79 N. Pada kondisi *welding 2*, memiliki nilai *elongation* 0,0042 m dan *maximum load* 118,56 N. Dengan demikian nilai uji tarik *welding 1* lebih baik dibandingkan *welding 2*. Berdasarkan hasil dari pengujian kekerasan dengan metode *vicker* didapatkan nilai kekerasan rata-rata pada kondisi *base* 99,7. Pada kondisi *welding 1* memiliki nilai kekerasan rata-rata 114,7 dan *welding 2* memiliki nilai kekerasan rata-rata 100,9. Dengan demikian nilai kekerasan *welding 1* lebih baik dibandingkan *welding 2*. Berdasarkan hasil dari pengujian mikro struktur pada bagian yang terjadi pengelasan gesek mengalami deformasi plastis sehingga menghasilkan rekristalisasi namun daerah TMAZ dan HAZ tidak mengalami deformasi plastis dengan penetrasi optimal saat hasil lasan masuk pada material yang di las sebesar 0,002 m.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan dan penulis mengucapkan

terimakasih kepada Jurusan Teknik Mesin Universitas Pancasila Jakarta atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. W. Li, s. Shi, f. Wang, z. Zhang, t. Ma, and j. Li, “numerical simulation of friction welding processes based on abaqus environment,” *j. eng. sci. technol. rev.*, vol. 5, no. 3, pp. 10–19, 2012.
2. S. Huda, j. Waluyo, and t. Fintoro, “analisa pengaruh variasi arus dan bentuk kampuh pada pengelasan smaw terhadap distorsi sudut dan kekuatan tarik sambungan butt-joint baja aisi 4041,” *j. fak. teknol. ind.*, vol. 2, no. 1, pp. 17–23, 2013.
3. G. S. B. And a. S. Jamwal, “friction crush welding of aluminium alloy 6061 t-6,” *guru nanak dev eng.coll.*, vol. 9, no. 2, pp. 101–104, 2017.
4. P. D. T. O. Prof. Dr. Ir. Harsono wiryosumarto, *teknologi pengelasan logam*, 8th ed. jakarta: pt pradnya paramita, 2000.
5. John norrish, *advance welding processes*, 1st ed. camride, england: woodhead publishing limited, 2012.
6. S. Khotasa, “analisa pengaruh variasi arus dan bentuk kampuh pada pengelasan smaw terhadap kekuatan impact sambungan butt joint pada plat baja a36,” *institut teknologi sepuluh nopember*, 2016.
7. A. Gill, “an experimental approach to study the effect of process parameters on an experimental approach to study the effect of process parameters on tensile strength of friction welded interface of dissimilar metals aisi304 / 4340 chandigarh,” vol. 4, no. 1, pp. 249–260, 2018.
8. F. A. Besler, p. Schindele, r. J. Grant, and m. J. R. Stegmüller, “friction crush welding of aluminium, copper and steel sheetmetals with flanged edges,” *j. mater. process. technol.*, vol. 234, pp. 72–83, 2016.
9. M. Tiwan, mt. Aan ardian, “penyambungan baja aisi 1040 batang silinder pejal dengan friction welding,” *pengayakan*, no. 37, pp. 1–4, 2013.
10. A. O. Brien, “welding handbook,” *weld. handb.*, vol. 1, no. 4, pp. 23–28, 2011.

SUBMISSION 15**Sistem Monitoring Kadar Polutan di Udara dengan Platform IoT**Ridi Arjono Lumban Gaol^{1*}, Dewanto Indra Krisnadi¹, Muhammad Yaser¹, dan Untung Priyanto¹¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Kualitas udara mengambil peran penting bagi kehidupan makhluk hidup dipermukaan bumi. Udara mengandung oksigen yang dibutuhkan manusia untuk bernafas. Namun selain oksigen, terdapat zat lainnya di dalam udara seperti karbondioksida, karbonmonoksida, nitrogen, gas ozon, sulfur dioksida, partikulat, asap dan sebagainya. Kandungan yang ada dalam udara jika melebihi batas yang ditentukan dapat disebut sebagai polutan yang menyebabkan terjadinya polusi udara. Pada studi ini dirancang sebuah sistem yang dapat memonitoring polutan seperti gas karbonmonoksida, gas karbondioksida dan partikel debu. Sistem ini bersifat mobile, dapat digunakan didalam maupun diluar ruangan. Sistem ini menggunakan Arduino uno R3 sebagai pengendali, sensor MQ-7 untuk gas CO, sensor MQ-135 untuk gas CO₂, sensor GPY1010AU0F untuk partikel debu, modul GPS NEO-6MV2 sebagai penanda lokasi pengujian dan SIM 800L V2 sebagai modul komunikasi GPRS untuk mengirim data ke server. Dari hasil pengujian didapat sensor sensor MQ-7 memiliki akurasi sebesar 90,81%, sensor MQ-135 memiliki akurasi sebesar 83,85% dan sensor GPY1010AU0F memiliki akurasi sebesar 96,80%. Modul GPS memiliki rata-rata error sebesar 4,26 meter. Hasil pembacaan sensor ditampilkan pada website dengan lokasi pengujianya.

Kata Kunci- Internet of Things; Polutan; Sensor GPY1010AU0F; Sensor MQ-7; Sensor MQ-135.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan aktivitas manusia telah memicu pencemaran udara. Pada saat ini penurunan kualitas udara di beberapa kota di wilayah Indonesia terus meningkat diakibatkan beberapa hal diantaranya pertumbuhan industri dan perkembangan kendaraan bermotor yang semakin pesat sebanding dengan pertumbuhan penduduk yang makin meningkat dan tidak sebanding dengan pertumbuhan ruang terbuka hijau dan pelestarian kawasan hijau khususnya pada wilayah perkotaan. Polusi udara merupakan suatu kondisi tercampurnya unsur-unsur berbahaya ke dalam atmosfer yang dapat merusak lingkungan sehingga dapat berakibat penurunan kualitas lingkungan dan dapat berbahaya bagi kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan. Pencemaran udara dapat bersumber dari alam seperti aktivitas gunung berapi, kebakaran hutan, gas alam beracun, kegiatan manusia seperti industri, transportasi, dan bahkan aktivitas didalam rumah yang terbuang bebas ke udara sehingga menyebabkan penurunan kualitas udara[1].

Polutan yang ada di udara tidak dapat terdeteksi oleh mata maupun tercium oleh hidung, karena gas berbahaya seperti karbon monoksida tidak berbau sehingga manusia tidak akan menyadari keberadaan gas berbahaya tersebut [2]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dibutuhkan solusi untuk dapat meminimalisir efek yang dapat mengganggu kesehatan khususnya pernafasan. Penelitian ini bertujuan untuk memonitoring kualitas udara lingkungan sekitar dan menggunakan teknologi *internet of things* sehingga informasi kualitas udara dapat diakses dengan mudah. Pada penelitian ini membuat sebuah sistem mobile yang dapat memonitoring gas CO, CO₂ dan partikel debu, dan hasil monitoring ditampilkan pada web berbasis maps. perangkat sensor dan komponen lainnya yang digunakan dalam perancangan alat ini berbeda dengan penelitian- penelitian sebelumnya [2],[14].

2. KAJIAN PUSTAKA DAN TEORI**A. Kajian Pustaka**

Beberapa penelian telah dilakukan berkaitan dengan monitoring kualitas udara berbasis IoT diantaranya penelitian [2] yang membahas tentang prototipe alat pendeteksi kualitas udara dalam ruangan dengan menggunakan mikrokontroler Wemos dan sensor MQ135 yang terhubung dengan platform IoT sebagai sistem monitoring dan notifikasi. Modul sensor MQ135 sebagai detektor kualitas udara, mengirimkan sinyal input untuk diproses oleh mikrokontroler Wemos board. Modul wifi yang terdapat pada Wemos board mengirimkan nilai yang terbaca oleh sensor ke platform IoT Thingspeak yang merekam data logging dalam bentuk grafik. Dalam hal ini, Thingspeak berfungsi sebagai bagian dari sistem monitoring. Sedangkan sebagai sistemnotifikasi digunakan platform IoT Blynk apps. Penelitian lainnya [14] merancang alat pemantau kualitas udara polutan CO dan CO₂ berbasis IoT (Internet of Things). Dalam pembuatan alat pemantau polutan udara menggunakan sensor MQ-7 untuk mendeteksi gas CO dan menggunakan sensor MH-Z19 untuk memantau gas CO₂. Pada studi ini dimodifikasi penelitian sebelumnya dengan menambahkan monitoring partikel debu yang tidak dibahas pada penelitian sebelumnya [2], [14]. Disamping itu perangkat sensor dan komponen lainnya yang digunakan dalam perancangan alat ini berbeda dengan penelitian- penelitian sebelumnya.

*Corresponding author: ridiarjonolumbangaol@gmail.com

B. Polutan

Udara merupakan campuran beberapa gas yang terdapat pada atmosfer yang komposisinya tidak selalu konstan dan pencemaran udara pada atmosfer paling banyak disebabkan oleh aktivitas manusia [3]. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 41 tahun 1999 tentang baku mutu udara ambien, Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dari komponen lain ke dalam udara turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya [4]. Beberapa polutan yang dimonitoring dalam penelitian ini diantaranya :

- Karbon Monoksida
Karbon monoksida memiliki rumus kimia (CO) yaitu suatu gas yang tidak berasa, tidak berbau dan tidak berwarna. Gas Karbon monoksida terdiri dari atom karbon dan atom oksigen yang berikatan kovalen.
- Karbon Dioksida
Karbon dioksida (CO₂) merupakan gas tak berwarna yang memiliki kerapatan sekitar 60% lebih rapat dari pada udara (1.225 g/L). Karbon dioksida terdiri dari karbon atom kovalen ganda terikat ke dua oksigen atom.
- Partikel Debu
Partikel debu (*Particulate matter*) merupakan campuran dari berbagai senyawa anorganik dan organik yang tersebar di udara dengan diameter kurang dari 1 mikron sampai 500 mikron. Partikel debu dapat masuk melalui saluran pernafasan ke dalam tubuh manusia karena partikel debu dapat berada di atmosfer untuk waktu yang lama.

C. Internet of Things

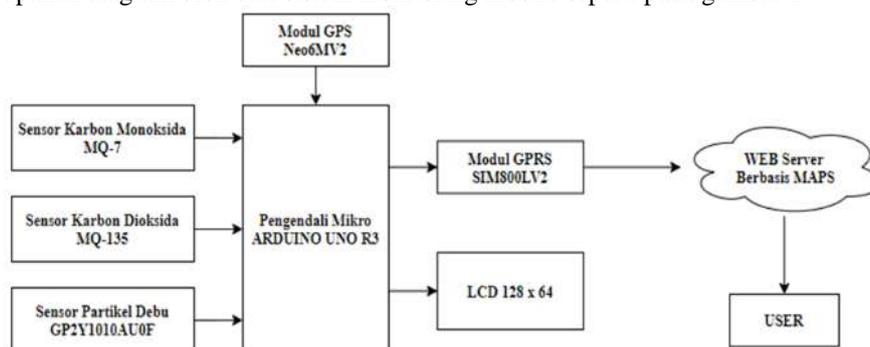
IoT atau Internet of Things adalah sebuah teknologi dengan menggunakan jaringan internet yang dapat berfungsi sebagai komunikasi, pengendalian, dan kerjasama antar perangkat keras. IoT muncul sebagai bentuk perkembangan dari teknologi informasi dan jaringan internet. Internet of Things merupakan sebuah konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet. Dengan semakin berkembangnya infrastruktur internet, maka kita menuju babak berikutnya, di mana bukan hanya smartphone atau komputer saja yang dapat terkoneksi dengan internet. Namun berbagai macam perangkat akan terkoneksi dengan internet. Misalnya : peralatan elektronik, otomotif, peralatan yang dapat dikenakan manusia (wearables), dan termasuk perangkat apa saja yang semuanya tersambung ke jaringan lokal dan global menggunakan sensor dan atau aktuator yang tertanam.

3. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan dan implementasi sistem monitoring kualitas udara pada penelitian ini terdiri dari perancangan perangkat keras (hardware) dan perancangan perangkat lunak (software).

A. Perancangan perangkat keras

Berikut ini merupakan diagram blok dari sistem monitoring mobile seperti pada gambar.1

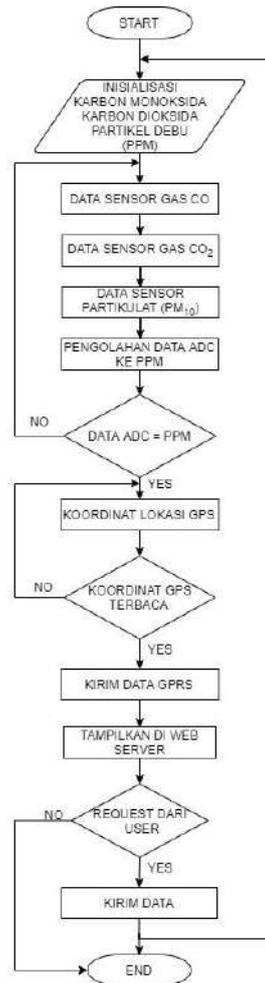


Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Sistem monitoring kualitas udara mobile pada penelitian ini dirancang menggunakan pengendali mikro Arduino uno R3 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan beberapa sensor untuk mengukur kadar gas karbon monoksida (CO), kadar gas karbon dioksida (CO₂), dan partikel debu. Pengendali mikro Arduino uno R3 berfungsi sebagai pusat kendalinya untuk mengolah data dari hasil pembacaan sensor, kemudian akan menampilkan hasil pembacaan dari sensor ke LCD. Pengendali mikro juga mengirim hasil pembacaan sensor dan hasil pembacaan koordinat oleh modul GPS ke website menggunakan modul komunikasi GPRS. Data hasil pengukuran kadar gas tersebut dapat diakses pada website berupa data informasi kualitas udara dengan lokasi pengukurannya.

B. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak merupakan pemrograman pada pengendali mikro menggunakan Arduino IDE. Berikut ini diagram alir sistem ini.



Gambar 2. Diagram Alir Sistem Monitoring mobile

Gambar .2 di atas menunjukkan proses sistem dari pembacaan sensor, kemudian data akan diolah oleh pengendali mikro lalu ditampilkan pada LCD, data juga akan dikirimkan ke web berbasis maps dengan modul GPRS.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dibahas rata-rata hasil dari pengujian sensor yang dibandingkan dengan data rata-rata KLHK dan BMKG untuk mengetahui keakuratan sensor. Pada bagian ini juga membahas hasil perhitungan akurasi modul GPS dan pengujian untuk mendapat nilai delay pengiriman data ke server.

A. Pengujian sensor Karbon Monoksida (MQ-7)

Pengujian sensor karbon monoksida dilakukan di dalam dan luar ruangan. Untuk menentukan keakuratan sensor, pengujian dilakukan di luar ruangan dengan membandingkan rata-rata hasil pengujian dengan 33 sampel data dengan data rata-rata KLHK depok. Pengujian dilakukan di jalan raya depok. Berikut ini hasil pengujiannya.

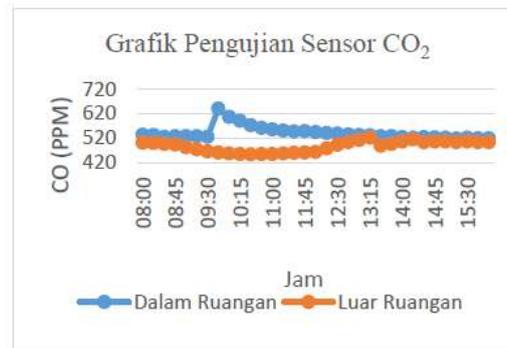


Gambar.3 Grafik Pengujian sensor MQ-7

Dari gambar.3 diatas, dapat dilihat hasil pengujian kadar gas karbon monoksida lebih besar di luar ruangan dibandingkan dengan di dalam ruangan. Hal tersebut diakibatkan karena pengujian dilakukan di jalan raya dan banyak aktivitas kendaraan yang melintas, hal tersebut juga yang mempengaruhi kadar karbon monoksida pada pengujian ini memiliki nilai yang naik turun drastis, sementara pengujian di dalam ruangan kadar karbon monoksida cenderung sama karena tidak banyak aktivitas yang dapat menghasilkan kadar gas karbon monoksida. Hasil rata-rata pengujian diluar ruangan adalah 114,43 PPM dan rata-rata KLHK Depok adalah 126 PPM, sehingga didapat akurasi sebesar 90,81%.

B. Pengujian Sensor Karbon Dioksida (MQ-135)

Pengujian sensor gas karbon dioksida dilakukan di dalam dan di luar ruangan. Untuk menentukan keakuratan sensor gas karbon dioksida ini pengujian dilakukan di luar ruangan dengan membandingkan rata-rata hasil pengujian dengan 33 sampel data dengan data rata-rata BMKG. Pengujian dilakukan di jalan raya depok.



Gambar.4 Grafik pengujian sensor MQ-135

Dari gambar.4 diatas dapat dilihat hasil pengujian di dalam maupun di luar ruangan dimana hasil pembacaan atau kadar gas karbon dioksida di luar ruangan lebih besar daripada di dalam ruangan walaupun nilainya hampir sama. Hal tersebut diakibatkan banyaknya aktivitas kendaraan bermotor yang melintas pada saat pengujian yang tentunya mempengaruhi nilai kadar gas karbon dioksida di luar ruangan. Dari hasil rata-rata pengujian adalah 485,54 PPM dan rata-rata BMKG adalah 418 PPM, sehingga didapat akurasi sebesar 83,85%.

C. Pengujian Sensor Partikel Debu (GPY1010AU0F)

Pengujian dilakukan di dalam dan di luar ruangan. Hasil pengujian yang dilakukan di luar ruangan akan dibandingkan dengan data rata-rata KLHK depok untuk menentukan keakuratan sensor partikel debu ini. Pengujian dilakukan di jalan raya depok. Berikut hasil pengujiannya.



Gambar.5 Grafik Pengujian sensor GPY1010AU0F

Dari Gambar.5 diatas dapat dilihat hasil pengujian sensor partikel debu di dalam maupun di luar ruangan. Hasil pengujian di luar ruangan memiliki nilai yang lebih besar karena pada saat pengujian dilakukan, banyak kendaraan bermotor yang melintas yang tentunya akan menghasilkan banyak partikel debu tersebar keudara. Hasil rata-rata pengujian didalam ruangan adalah sebesar 6,91 µg/m³. Hasil rata-rata pengujian adalah 50,33 µg/m³ dan rata-rata KLHK Depok adalah 52 µg/m³, sehingga didapat akurasi sebesar 96,8%.

D. Pengujian Modul GPS (Neo6MV2)

Pengujian modul GPS dilakukan saat kondisi cuaca cerah. Pengujian ini diambil sebanyak 20 data dari hasil pembacaan modul GPS. Hasil pembacaan modul GPS yang didapat akan dihitung jarak *error* nya. Sebagai contoh perhitungan jarak *error* pada data pembacaan pertama dari modul GPS pada pengujian modul GPS didalam ruangan adalah sebagai berikut:

Koordinat Smartphone: Latitude = -6,346515, Longitude = 106,824441,

Koordinat modul GPS: Latitude = -6,346476, Longitude = 106,824447



Gambar .7 Tampilan Website

Pada pengujian modul GPRS ini dapat dihitung juga delay pengiriman data oleh sistem mobile ini ke server. Tabel.2 dibawah ini menunjukkan hasil pengujiananya.

Tabel.2 Delay pada Sistem Mobile

No.	Data		Waktu		Selisih(detik)
	Sensor	GPS	Kirim	Terima	
1	Data 1	Data 1	08.15	08.17	2
2	Data 2	Data 2	08.30	08.31	1
3	Data 3	Data 3	08.45	08.46	1
4	Data 4	Data 4	09.00	09.02	2
5	Data 5	Data 5	09.15	09.16	1
Rata-rata delay					1,4

Dari table.2 diatas dapat dilihat rata-rata delay pengiriman data sebesar 1,4 detik. Delay terjadi karena perubahan sinyal pada tempat pengujian dilakukan.

F. Kesimpulan

Dari pengujian yang dilakukan diperoleh hasil dan kesimpulan sebagaimana berikut

1. Akurasi dari tiap sensor yaitu 90,81% untuk Sensor MQ-7. Akurasi sebesar 83,85% untuk sensor MQ-135. dan akurasi 96,8% untuk sensor GPY1010AU0F. Hasil pembacaan sensor kurang akurat karena pada pengujian data pembacaan sensor dibandingkan dengan data rata-rata milik KLHK Depok dan data BMKG. Modul GPS memiliki akurasi 6,78 didalam ruangan dan 4,26 meter diluar ruangan dengan pengambilan data sebanyak 20 kali pada lokasi yang sama. Hasil tersebut cukup baik karena pada datasheet modul GPS ini memiliki tingkat akurasi dengan range 2,5-10 meter.
2. Delay pada saat pengiriman data ke server menggunakan modul GPRS relatif kecil dengan waktu rata-rata 1,4 detik.
3. Proses sinkronisasi modul GPS dengan satelit untuk membaca koordinat lokasi membutuhkan waktu sekitar 10-15 detik pada pengujian diluar ruangan dan 30-40 detik saat pada pengujian didalam ruangan.
4. Konektivitas sistem mobile menggunakan modul GPRS dengan server dipengaruhi oleh tempat pengujian, dimana konektivitas saat pengujian diluar ruangan lebih baik dibandingkan saat pengujian didalam ruangan.

Daftar Pustaka

- [1] A. G. Simandjuntak. Pencemaran Udara. Buletin Limbah. vol. 11. 2013.
- [2] J. M. Waworundeng and O. Lengkong. Sistem Monitoring dan Notifikasi Kualitas Udara dalam Ruangan dengan Platform IoT. Cogito Smart Journal. vol. 4. pp. 94-103. 2018.
- [3] S. Fardiaz. Polusi air dan udara: Kanisius. 1992.
- [4] Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999. Pengendalian Pencemaran Udara." Lembaran Negara RI Tahun. 1999.

-
- [5] B. Chandra. Pengantar Kesehatan Lingkungan. Penerbit Buku Kedokteran EGC.ed: Jakarta.. 2006.
- [6] K. L. Hidup. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: Kep-45/MenLH/10/1997 .Indeks Standar Pencemar Udara. ed: Jakarta. 1997.
- [7] F. D. Petruzella. elektronik Industri. Yogyakarta: Erlangga. 2001.
- [8] W. Budiharto. Perancangan Sistem dan Aplikasi Mikrokontroler. Elex Media Komputindo. Jakarta. 2005.
- [9] H. Z. Abidin. Penentuan posisi dengan GPS dan aplikasinya Jakarta. PT Pradnya Paramita. 2007.
- [10] B. Hofmann-Wellenhof. H. Lichtenegger. and J. Collins. Global positioning system: theory and practice. Springer Science & Business Media. 2012.
- [11] P. Abidoeye, I. C. Obagbuwa. Models for integrating wireless sensor networks pollution monitoring. IEEE Sensors Journal. vol. 10. pp. 1666-1671. 2010.
- [12] Anto .the Internet of Things. IET Wireless Sensor Systems. vol. 7. pp. 65-72. 2017.
- [13] A. Al-Fuqaha. M. Guizani. M. Mohammadi. M. Aledhari. and M. Ayyash. Internet of things: A survey on enabling technologies. protocols. and applications. IEEE communications surveys & tutorials. vol. 17. pp. 2347-2376. 2015.
- [14] Hardian.S, Resmana.L, Iwan.H ,Pemantauan kualitas udara polutan gas Co dan Co2 berbasis IoT . Jurnal Teknik Elektro, Vol. 12, No. 1, Maret 2019, 26-31

SUBMISSION 17**Pemetaan Perilaku (*Behavioral Mapping*) Pejalan Kaki dan Pesepeda di Kawasan Berorientasi Transit Dukuh Atas Jakarta**Ashri Prawesthi D.^{1*}¹Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Kawasan Berorientasi Transit dalam Bahasa Inggris dikenal dengan Transit Oriented Development (TOD) yang selanjutnya dalam tulisan ini disingkat menjadi Kawasan TOD, sedang marak dikembangkan di Indonesia guna mengatasi permasalahan transportasi perkotaan, khususnya kemacetan dan penggunaan moda transportasi publik. Salah satu prinsip-prinsip standar Kawasan TOD mengembangkan kawasan adalah untuk berjalan kaki dan bersepeda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku pejalan kaki dan pesepeda di kawasan TOD Dukuh Atas dengan menggunakan metode penelitian kuantitatif. Analisis menggunakan pemetaan perilaku (*behavioral mapping*) yang kemudian diberikan deskripsi kesimpulannya. Sebagai hasil akan diperoleh identifikasi jenis dan frekuensi perilaku pejalan kaki dan pesepeda, serta menunjukkan kaitan antara perilaku tersebut dengan kebutuhan ruang bagi pejalan kaki dan pesepeda yang efektif dan efisien sebagai wujud perancangan yang memadai di kawasan TOD Dukuh Atas.

Kata Kunci- *Dukuh Atas; Pejalan kaki; Pesepeda; TOD.*

1. PENDAHULUAN

Salah satu tujuan pengembangan Transit Oriented Development (TOD) adalah mewujudkan lingkungan ramah pejalan kaki dan pesepeda. Kawasan TOD Dukuh Atas di Jakarta Pusat, telah ditetapkan berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan pada: 1) Peraturan Menteri ATR/BPN Nomor 16 Tahun 2017; 2) Peraturan Daerah DKI Jakarta Nomor 1 Tahun 2012; 3) Peraturan Daerah DKI Jakarta Nomor 1 Tahun 2014; dan 4) Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 67 Tahun 2019.

Kawasan TOD Dukuh Atas, dianggap telah memiliki kriteria seperti: kawasan direncanakan atau ditetapkan sebagai pusat kegiatan; Kawasan tersebut yang dilayani atau direncanakan untuk dilayani oleh Angkutan Umum Massal berbasis rel dan Angkutan Umum lainnya; dan kawasan tersebut berada pada kawasan dengan kerentanan bencana rendah disertai dengan mitigasi untuk mengurangi risiko bencana. Potensi yang dimiliki Kawasan TOD Dukuh Atas ini adalah:

- a. Menjadi titik transit utama dari beberapa moda;
- b. Pusat pergerakan orang untuk menunjang fungsi kawasan ekonomi;
- c. Terletak di daerah strategis Jakarta Pusat yaitu Kawasan Sudirman – Menteng;
- d. Integrasi Fungsi Komersial dengan Hunian sangat baik;
- e. Potensi sebagai pusat pertumbuhan ekonomi baru di pusat Kota Jakarta. Lokasi dalam kawasan segitiga emas dan berdekatan dengan fungsi ekonomi skala nasional maupun internasional.

Pengembangan Kawasan TOD Dukuh Atas diarahkan pada perwujudan integrasi kawasan antara simpul transit dengan kawasan sekitar, termasuk menciptakan lingkungan ramah pejalan kaki dan pesepeda. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku pejalan kaki dan pesepeda di Kawasan TOD Dukuh Atas, agar terciptanya lingkungan ramah pejalan kaki dan pesepeda sebagai prinsip kawasan TOD dapat terpenuhi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam menyelesaikan penelitian ini, beberapa tinjauan pustaka yang digunakan sesuai judul penelitian adalah sebagai berikut:

a. Kawasan TOD

TOD adalah konsep pengembangan atau pembangunan kota yang memaksimalkan penggunaan lahan yang bercampur dan terintegrasi dengan mengedepankan gaya hidup yang sehat (berjalan kaki dan bersepeda) dan penggunaan angkutan umum massal [1].

Menurut Calthorpe, konsep TOD adalah konsep yang memadukan antara perumahan berkepadatan sedang sampai tinggi, dengan fungsi publik, perkantoran, perdagangan dan jasa di dalam sebuah pengembangan campuran (*mixed use*) [2]. Calthorpe melihat karakter lingkungan seperti ini sebagai panduan desain neo-tradisional untuk menciptakan lingkungan yang berkelanjutan.

Lingkungan yang terbentuk berdasarkan Calthorpe tersebut diharapkan memiliki nilai tambah yang berpusat pada integrasi antara jaringan angkutan umum massal dengan jaringan moda transportasi tidak bermotor, serta

*Corresponding author: ashripd@gmail.com

pengurangan penggunaan kendaraan bermotor, tentunya disertai pengembangan kawasan campuran dan padat dengan intensitas pemanfaatan ruang sedang hingga tinggi [3].

Institute for Transportation and Development Policy (ITDP) sebuah *Non-Government Organization (NGO)* menerbitkan prinsip-prinsip dasar TOD. Dalam pedomannya yang berjudul *TOD Standard 2.1*, terdapat 8 prinsip TOD yang harus diterapkan dalam pengembangan kawasan TOD, yaitu: 1) Berjalan Kaki/walk; 2) Bersepeda/Cycle; 3) Menghubungkan/Connect; 4) Angkutan Umum/Transit; 5) Campuran/Mix; 6) Memadatkan/Densify; 7) Merapatkan/Compact, dan 8) Beralih/Shift.

b. Pejalan kaki

Pejalan kaki dalam kesehariannya berpindah pindah dari suatu tempat ke tempat lainnya menggunakan kakinya sebagai alat transportasinya [4]. Berjalan kaki juga diiringi oleh berbagai kegiatan yang dilakukan oleh pejalan kaki, misalnya dengan saling berdiskusi, bermain gadget dan lain lain. Berjalan kaki dengan kecepatan rendah memberikan keuntungan bagi para penikmatnya, yaitu dapat mengamati lingkungan secara detail dan merasakan lingkungan sekitar [4].

Pendapat lain juga dinyatakan oleh Gideon Geovani [5] yaitu dengan berjalan dapat menghubungkan beranekaragam fungsi kawasan terutama kawasan perdagangan, kawasan budaya dan kawasan permukiman. Menurut Spreiregen [6] pejalan kaki bebas dalam menentukan langkahnya, berhenti, berbelok dan bebas mengatur kontak dengan lingkungan sekitarnya, sehingga berjalan kaki bukan hanya moda transportasi namun juga sebagai komunikasi sosial masyarakat [4].

Adapun faktor yang dipengaruhi oleh jarak tempuh pejalan kaki antara lain: 1) Waktu, kepentingan dalam berjalan kaki mempengaruhi waktu para pejalan kaki. Apabila berjalan kaki menuju ke tempat kerja yang terbatas waktu maka waktu berjalan kaki relatif cepat, sebaliknya apabila pejalan kaki bertujuan untuk rekreasi maka waktu berjalan kaki akan relatif lama; 2) Kenyamanan, kenyamanan dalam berjalan kaki juga dipengaruhi oleh lingkungan yang ada serta kondisi dari pejalan kaki. Adapun kondisi jalur pejalan kaki akan berfungsi baik untuk kenyamanan pejalan kaki yang meliputi: a. Kelancaran, semakin mudahnya rute yang ditempuh pejalan kaki maka akan meningkatkan minat pejalan kaki; b. Jarak/Lama/Panjang, jalur pejalan kaki tidak boleh terlalu Panjang dan menimbulkan banyak ruang kosong, karena akan sulit untuk membentuk kontak sosial antar pejalan kaki; c. Lebar/Keluasan, berjalan kaki dapat dirasakan kenikmatannya saat dilakukan Bersama sama oleh karena itu lebar jalur pejalan kaki harus bisa menampung 2 orang atau lebih; 3. Fasilitas Kendaraan, dengan adanya parkir yang jauh dari tempat bekerja akan membuat pengendara dapat merasakan berjalan kaki setelah kendaraan diparkirkan.

c. Pesepeda

Penggunaan sepeda di kawasan TOD mengacu pada interkoneksi antara titik transit dan jaringan transportasi umum yang menghubungkan berbagai zona (residensial, komersial, ruang publik, dsb). ITDP menganalisis bahwa terdapat 2 sasaran yang harus dituju dalam mengintegrasikan penggunaan sepeda pada TOD. Yang pertama adalah bagaimana menyediakan jaringan infrastruktur bersepeda yang lengkap dan aman, lalu yang kedua tentang bagaimana menyediakan lokasi parkir penyimpanan sepeda yang aman dan cukup untuk pengguna. Dua sasaran ini bertujuan untuk memprioritaskan jaringan transportasi non kendaraan bermotor, khususnya dalam mengakses transit publik [7].

Menurut ITDP [1], lokasi stasiun *bikeshare* perlu memperhatikan aspek keamanan, kenyamanan dan berorientasi pada lokasi transit publik dengan prinsip kriteria lokasi sebagai berikut:

- Menentukan kepadatan stasiun *bikeshare* menggunakan radius (200 m; 250 m; 300 m; 400 m dan 500 m);
- Letak stasiun harus dekat dengan *mass transit*;
- Letak stasiun dapat berada di *bike lane* eksisting dan/atau *on streets* yang aman dan aksesibel untuk pesepeda;
- Letak stasiun dapat berada di dekat persimpangan jalan agar memudahkan dalam melakukan perjalanan *multi trip*;
- Lokasi stasiun terletak di antara tempat-tempat yang menarik kegiatan dalam waktu yang berbeda;
- Letak stasiun tidak boleh berdekatan dengan jalur tertentu, seperti jalur kereta, jalur keluar-masuk pabrik atau area-area kosong (*underused*).
- Lokasi-lokasi lain yang dapat menjadi pertimbangan adalah: *space* pada *on street parking*, *space* yang tidak sering digunakan oleh pejalan kaki, area pada bawah *flyover* yang tidak penuh dengan kendaraan.

Idealnya, lokasi *bikeshare* mengacu pada 2 kriteria lokasi; (1) *On Sidewalk*, dimana harus terdapat pepohonan yang melindungi area dari panas matahari, memiliki jarak minimal 2 meter dari clear walking space, dekat dengan intersections, dekat dengan titik transit transportasi massal, memiliki high visibility dan pencahayaan yang baik, kemudahan akses bagi pengguna dan dekat dengan sarana-prasarana sepeda. (2) *On street*, yaitu dekat dengan intersections, dekat dengan titik transit transportasi massal, memiliki high visibility dan pencahayaan yang baik, volume kendaraan dan kecepatan tempuh yang rendah, dekat dengan sarana-prasarana sepeda dan tidak menghalangi drainase [9]. Titik parkir yang disarankan harus memenuhi target kepadatan, keterhubungan dengan titik transit, mendukung zona aman bersepeda, terletak pada *mixed use area* termasuk zona perkantoran, serta menghindari *physical barriers* seperti *gated area* dan pembatas infrastruktur [10].

3. METODE PENELITIAN

a. Pemetaan Perilaku (*Behavioral Mapping*)

Terdapat empat dimensi dalam melakukan studi perilaku-lingkungan antara lain; **pelaku, kegiatan, tempat (ruang), dan waktu**. Untuk memenuhi unsur-unsur tersebut penelitian ini menggunakan metode *behavioral mapping* (pemetaan perilaku). Metode *behavioral mapping* adalah teknik observasi sistematis yang digunakan untuk merekam kegiatan seseorang atau sekelompok orang di suatu tempat (ruang) dalam jangka waktu tertentu. Terdapat dua cara yang digunakan dalam penelitian ini untuk melakukan pemetaan perilaku yaitu: (1) *place-centered mapping* dan (2) *person-centered mapping* yang akan dijelaskan sebagai berikut:

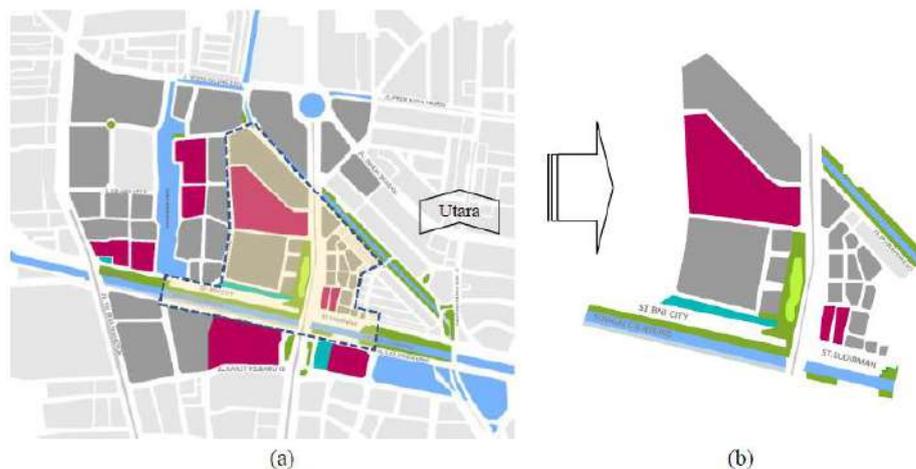
- Pemetaan berdasarkan tempat (*place-centered mapping*) adalah teknik ini digunakan untuk mengetahui bagaimana manusia atau sekelompok manusia memanfaatkan, menggunakan, atau mengakomodasikan perilakunya dalam suatu situasi waktu dan tempat tertentu. Peneliti menggunakan peta dasar dan harus akrab dengan situasi tempat atau area yang diamati. Peneliti mencatat perilaku dengan menggambarkan simbol-simbol pada peta dasar.
- Pemetaan berdasarkan pelaku (*person-centered mapping*) adalah teknik untuk menaekankan pada pergerakan manusia pada suatu periode waktu tertentu. Tahap yang dilakukan adalah mengikuti pergerakan dan aktivitas yang dilakukan oleh orang atau sekelompok orang yang diamati. Pengamatan dilakukan dengan membuat sketsa-sketsa dan catatan-catatan pada peta dasar.

Kedua cara di atas digunakan pada penelitian ini. Hal ini dikarenakan kedua cara tersebut sangat diperlukan untuk memetakan kebutuhan akan ruang bagi pejalan kaki dan pesepeda, baik dari segi luas, orientasi dan alur perjalanan yang dilewati.

b. Lokasi Pengamatan

Lokasi pengamatan merupakan bagian dari Kawasan TOD Dukuh Atas, Jakarta Pusat. Lokasi pengamatan dibagi menjadi 2 yaitu yang berdasarkan tempat (*place-centered mapping*) ditentukan pada:

- Simpul transit Stasiun MRT Dukuh Atas, Stasiun *Railink* BNI City dan Stasiun Komuter Line Sudirman;
- Lokasi-lokasi ruang publik yaitu: terowongan Jalan Kendal, Taman Dukuh Atas, Jalan Blora dan Taman Stasiun Sudirman.
- Untuk *person-centered mapping*, ditentukan waktu pengamatan adalah pada pukul 06.00 – 09.00 WIB dan 16.00 – 19.00 WIB setiap hari dari hari Senin hingga Minggu.



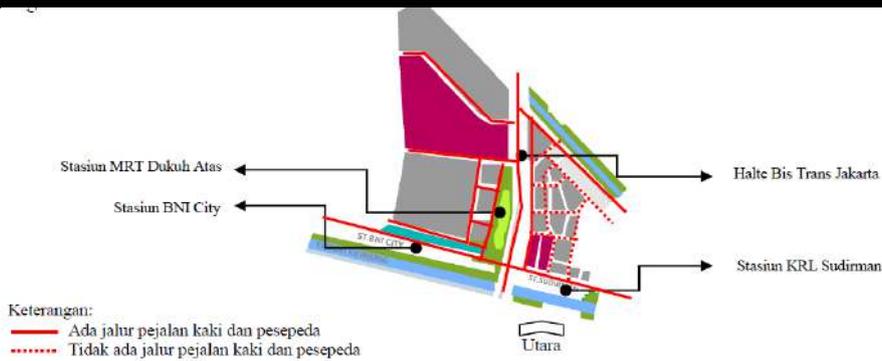
Gambar 1. Lokasi Kawasan TOD Dukuh Atas (a) dan Lokasi Penelitian (b)
Sumber: Tim Peneliti, 2020

4. PEMBAHASAN

Untuk mengetahui perilaku pejalan kaki dengan menggunakan *behavioral mapping* di Kawasan TOD Dukuh Atas, beberapa hasil yang dapat dipaparkan adalah sebagai berikut:

a. Ketersediaan Jalur Pejalan Kaki dan Pesepeda

Ketersediaan jalur pejalan kaki dan pesepeda di Kawasan TOD Dukuh Atas, khususnya pada fokus pengamatan, belum seluruhnya tersedia. Jika dilihat dari lingkungan sekitar simpul transit, jalur pejalan kaki dan pesepeda dapat ditemui. Namun untuk ketersediaan di seluruh kawasan, tidak ada. Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. Ketersediaan Jalur Pejalan Kaki dan Pesepeda di Fokus Lokasi Penelitian

Sumber: Tim Peneliti, 2020

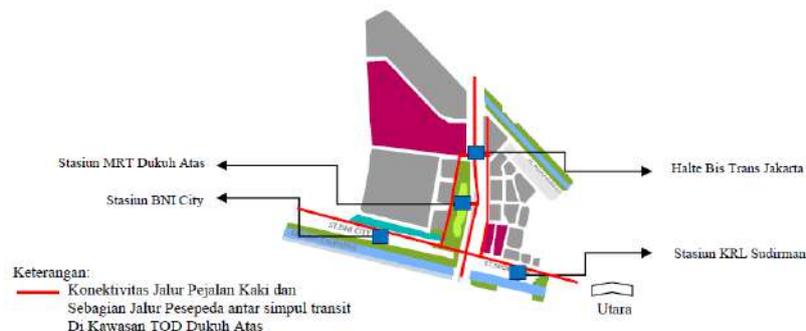


Gambar 3. Kondisi Jalur Pejalan Kaki dan Pesepeda di Fokus Lokasi Penelitian
 Sumber: Tim Peneliti, 2020

Pada gambar 3. di atas, dapat diceritakan kondisi jalur pejalan kaki yang sudah mengakomodasi kaum difabel. Selain itu, dimensi jalur pejalan kaki serta material penutup jalur yang sudah dapat dikatakan nyaman bagi penggunaannya. Untuk faktor keamanan, sudah terdapat CCTV di beberapa titik. Sedangkan untuk penerangan di malam hari, jalur pejalan kaki tersebut juga sudah dilengkapi dengan penerangan yang memadai. Sayangnya, jalur pesepeda belum tersambung dengan baik di kawasan.

b. Konektivitas Jalur Pejalan Kaki dan Pesepeda dengan Simpul Transit

Meskipun jalur pesepeda masih belum menerus (*continuous*) antara masing-masing titik simpul transit, namun tidak demikian halnya untuk jalur pejalan kaki. Jalur pejalan kaki sebagai konektivitas atau penyambung antar simpul transit, sudah tersedia di Kawasan TOD Dukuh Atas.



Gambar 4. Konektivitas Jalur Pejalan Kaki dan Pesepeda antar Simpul Transit di Fokus Lokasi Penelitian
 Sumber: Tim Peneliti, 2020

Berdasarkan pengamatan serta penyebaran pertanyaan kepada pejalan kaki di sekitar kawasan, dapat diketahui bahwa waktu tempuh dari satu simpul transit ke simpul transit yang lain, memakan waktu rata-rata tidak lebih dari 10 menit. Konektivitas jalur pejalan kaki dapat dikatakan sesuai dengan prinsip konsep TOD yang mendukung lama berjalan maksimal 10 menit dari dan menuju titik transit. Keberadaan simpul-simpul transit di Kawasan Dukuh Atas serta keterjangkauan pejalan kaki dan pesepeda menuju dan dari simpul transit sesuai dengan ketentuan pada Permen PU No.3/PRT/M/2014 [8] yang menyatakan bahwa kawasan harus terintegrasi dengan tempat pergantian moda transportasi umum.

c. Perilaku Pejalan Kaki dan Pesepeda di Kawasan TOD Dukuh Atas

Sebelum menjelaskan perilaku pejalan kaki dan pesepeda, terlebih dahulu dapat digambarkan pola pergerakan pejalan kaki dan pesepeda di sekitar simpul MRT Dukuh Atas sebagai berikut:



Gambar 5. Pola Pergerakan Pejalan Kaki dan Pesepeda di Sekitar Simpul Transit Kawasan TOD Dukuh Atas
Sumber: Tim Peneliti, 2020

Kemudian berdasarkan hasil pengamatan, perilaku pejalan kaki dan pesepeda dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Pengamatan Perilaku Pejalan Kaki dan Pesepeda di Kawasan TOD Dukuh Atas

No.	Foto	Keterangan	Waktu
1		Penumpukan di sekitar Jalan Tanjung Karang, untuk menunggu Bis Trans Jakarta	Paling banyak terjadi di pagi hari 06.00 – 09.00 WIB dan 16.00 – 20.00 WIB. Siang hari sangat sepi dikarenakan panas terik dan juga kawasan merupakan kawasan pekerja/ perkantoran yang lebih banyak berada di ruang kerja dari pada di luar ruang kerja.
2		Penumpukan pejalan kaki di depan Stasiun Sudirman dan MRT Dukuh Atas	Paling banyak terjadi di pagi hari 06.00 – 09.00 WIB dan 16.00 – 20.00 WIB. Untuk perpindahan moda dari KRL menuju Bis Trans Jakarta.
3		PKL di Jalan Blora yang dapat mengundang pejalan kaki dan pesepeda berhenti	Hanya terjadi di hari Sabtu dan Minggu pukul 06.00 – 10.00

No.	Foto	Keterangan	Waktu
4		Pejalan kaki dan pesepeda yang menggunakan Jalan Jenderal Sudirman	Hanya terjadi di Hari Sabtu atau Minggu pada saat Car Free Day.
5		Perilaku pejalan kaki di siang hari pada waktu menunggu moda transportasi selain MRT.	Keadaan di siang hari dan hari kerja
6		Lokasi paling banyak dilalui oleh pejalan kaki. Menuju satu simpul transportasi ke simpul transportasi lain. Lokasi adalah Terowongan Jalan	Pemotretan di sore hari pukul 17.00 WIB setelah jam kerja.

Sumber: foto diambil berdasarkan hasil survei dan media detik.com serta liputan 6.com

Perilaku pejalan kaki paling banyak adalah di sekitar Jalan Tanjung Karang, yang merupakan simpul transit MRT Dukuh Atas. Lokasi selanjutnya adalah di depan Stasiun KRL Sudirman menuju Terowongan Kendal dan Jalan Blora. Umumnya, pejalan kaki berjalan sangat cepat untuk mendapatkan transportasi publik berikutnya, atau menuju tujuan yang ada di sekitar Kawasan TOD Dukuh Atas.

Waktu yang paling banyak digunakan untuk berjalan kaki atau bersepeda adalah pagi hari antara pukul 06.00 – 09.00 WIB dan 16.00 – 18.00 WIB setiap harinya. Untuk Hari Minggu atau libur, waktu penggunaannya akan lebih lama. Hal ini dapat disebabkan karena faktor panas matahari yang menjadi penyebab kegiatan pejalan kaki atau pesepeda tersebut banyak atau sedikit. Faktor lain adalah waktu kerja yang juga menjadi penyebab untuk mengurangi berjalan atau bersepeda di siang hari.

d. Kegiatan di Ruang Publik Sekitar TOD

Selain perilaku di jalur pejalan kaki dan pesepeda, perilaku lainnya juga diamati di sekitar ruang publik yang ada di Kawasan TOD Dukuh Atas.



Gambar 6. Pola Pergerakan Pejalan Kaki dan Pesepeda di Ruang Publik Kawasan TOD Dukuh Atas Ruang Publik Terowongan Kendal (a); Taman Budaya Dukuh Atas (b); Taman MRT Dukuh Atas (c)

Sumber: Tim Peneliti, 2020

Perilaku pejalan kaki juga disertai untuk bersantai, berolahraga, berekreasi atau sekedar beristirahat melepas lelah. Ada beberapa titik lokasi yang disediakan oleh Dinas Perhubungan, Pertamanan dan juga Badan Pengelola Trans Jakarta serta PT. MRT Jakarta, di sekitar Kawasan TOD Dukuh Atas sebagai ruang publik atau ruang bersama. Beberapa titik yang sudah ditata dengan baik adalah: Terowongan Jalan Kendal, Taman Budaya Dukuh Atas dan

Taman MRT Dukuh Atas. Lokasi-lokasi tersebut selalu ramai, baik siang atau malam, dan dijadikan tempat bersama bagi pengguna pejalan kaki dan pesepeda untuk bersantai atau beristirahat.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan peraturan yang berlaku, penyediaan sarana dan prasarana pejalan kaki dan pesepeda sudah sesuai dengan Permen PUPR Nomor 3 Tahun 2014 [8]. Sedangkan untuk tingkat kenyamanan, keamanan dan konektivitas di kawasan, perlu ditingkatkan dan juga dilakukan penelitian lebih lanjut lagi.

Beberapa faktor dapat mempengaruhi perilaku pejalan kaki dan pesepeda di Kawasan TOD Dukuh Atas. Faktor faktor tersebut seperti naungan jalur pejalan kaki dan pesepeda, cuaca, fasilitas, tujuan perjalanan dan kecepatan pejalan kaki dan pesepeda. Faktor tersebut dapat menimbulkan perilaku yang berbeda beda sehingga masyarakat dapat menghidupkan jalur pejalan kaki dan pesepeda yang ada.

Peranan jalur pejalan kaki dan pesepeda dalam melengkapi keseharian seringkali menimbulkan kenyamanan dan tidaknyaman pejalan kaki dan pesepeda. Di saat jalur pejalan kaki dan pesepeda dirasa panas untuk dilewati maka pejalan kaki dan pesepeda akan enggan melewati jalur tersebut atau bergerak lebih cepat. Namun hal ini akan berbeda apabila pada jalur tersebut terdapat fasilitas yang banyak digunakan orang untuk sekedar hiburan, atau yang sedang tren adalah tempat berfoto maupun dalam melengkapi kehidupan.

Hasil penelitian masih sangat tidak sempurna. Padahal hasil ini dapat digunakan untuk merencanakan dan merancang kebutuhan ruang bagi pejalan kaki dan pesepeda di kawasan TOD Dukuh Atas dan juga kawasan TOD lainnya di Indonesia. Untuk itu perlu penelitian serupa atau ulang yang dilakukan dengan metode yang lebih canggih seperti melihat perilaku atau jejak pejalan kaki dan pesepeda melalui GPS atau Wifi, sehingga pola pergerakan dan juga perilaku dapat terekam dengan baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan hasil penelitian yang dipersembahkan bagi Program Studi Arsitektur FTUP Jakarta. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Arsitektur FTUP Jakarta dan juga Sekolah Kajian Strategik dan Global Universitas Indonesia yang telah membantu dalam penyelesaiannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Institute for Transportation and Development Policy 2017 TOD Standard New York: Despacio Diakses dari www.itdp.org
2. Calthorpe P (1993). *The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream* (Canada: Princeton Architectural Press)
3. Peraturan Menteri ATR/BPN Nomor 16 Tahun 2017 tentang Pedoman Pengembangan Kawasan Berorientasi Transit.
4. Widodo, M. (2001). *Jalur Pejalan Kaki Jalan Pandanaran Semarang*. Semarang: Universitas Diponegoro.
5. Giovany , Gideon, (1977). *Human Aspect of Urban Form*. Oxford: Pergamon Press
6. Spreiregen, Paul D., (1965). *Urban Design: The Architecture of Town and Cities*, New York: Mc Graw Hill Book Company.
7. Edmonton City of Sustainable Development and Transportation Services Departments, 2012;
8. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/PRT/M/2014 tentang Pedoman Perencanaan, Penyediaan, dan Pemanfaatan Prasarana dan Sarana Jaringan Pejalan Kaki di Kawasan Perkotaan Indonesia.
9. A S Ningrum, W. Astuti dan H. Mukaromah: Kesesuaian pelayanan pergerakan pejalan kaki terhadap konsep transit oriented development (Studi kasus: kawasan Dukuh Atas, DKI Jakarta); ISSN: 1858-4837; E-ISSN: 2598-019X Volume 15, Nomor 1 (2020), <https://jurnal.uns.ac.id/region> DOI: 10.20961/region.v15i1.23188
10. Taslim Septia Prima; Luthfi Prayogi: Kajian Perilaku Pejalan Kaki Pada Kawasan Transit Oriented Development (TOD); *Jurnal Arsitektur Zonasi* Volume 3 - Nomor 1 – Februari 2020; p-ISSN 2621-1610.

SUBMISSION 31**Analisis *Life Cycle Cost* Pada Pengembangan Sistem *Bus Rapid Transit* Di Kota Bekasi**Ayu Anita Putri^{1*}, Herawati Zetha Rahman¹, dan Azaria Andreas¹¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Abstrak. Kota Bekasi merupakan salah satu kota yang berada di Provinsi Jawa Barat. Dengan peningkatan pertumbuhan penduduk dan Produk Regional Domestik Bruto (PDRB) setiap tahunnya. Hal tersebut mendorong peningkatan mobilitas masyarakat yang dapat menyebabkan kemacetan. Untuk itu diperlukan adanya perencanaan transportasi massal yang baik sehingga mampu mendorong minat masyarakat untuk menggunakan transportasi massal. Salah satu transportasi massal yang dapat digunakan yaitu Sistem *Bus Rapid Transit*. Dalam pengembangan proyek tersebut tidak terlepas dari biaya dengan metode analisa *Life Cycle Cost* yang mana dapat mengetahui biaya apa saja yang terdapat dalam pengembangan sistem *Bus Rapid Transit* dimulai dari tahap konstruksi sampai dengan tahap operasional. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengidentifikasi komponen *Life Cycle Cost* dan mengetahui apakah proyek layak atau tidak dari segi finansial. Indikator yang digunakan pada perhitungan kelayakan finansial adalah *Net Present Value* (NPV) dan *Internal Rate of Return* (IRR). Dari hasil penelitian didapatkan 3 komponen *Life Cycle Cost* yaitu *Capital Expenditure* (CAPEX), *Operational Expenditure* (OPEX), dan *Pendapatan* (*Revenue*). Hasil analisa Kelayakan Finansial dalam Pengembangan Sistem *Bus Rapid Transit* di Kota Bekasi yang dilakukan oleh Badan Usaha dan dengan Skema Dukungan Pemerintah sebesar 40% dan 60% “TIDAK LAYAK” secara finansial.

Kata Kunci-*Bus Rapid Transit, Life Cycle Cost, Kelayakan Finansial.*

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Kota Bekasi mencatat bahwa pertumbuhan penduduk kota Bekasi dari tahun 2015 hingga tahun 2020 rata-rata sebesar 1,02% atau sebesar 70.106 jiwa. Produk Regional Domestik Bruto (PDRB) juga mengalami peningkatan dari tahun 2014 hingga tahun 2018 rata-rata sebesar 1,09% atau sebesar 6,6 juta rupiah per tahun. Bertambahnya jumlah penduduk di Kota Bekasi sangat berpengaruh pada mobilitas masyarakat yang terjadi di daerah tersebut. Dengan adanya peningkatan mobilitas masyarakat, akan menimbulkan kepadatan arus lalu lintas di jalan raya. Kemacetan lalu lintas terjadi apabila kondisi lalu lintas di jalan raya mulai tidak normal atau tidak stabil dengan ditunjukkannya kecepatan operasi yang menurun relatif cepat akibat adanya hambatan yang timbul dan kebebasan bergerak relatif kecil. Persoalan lalu lintas tersebut lebih diperberat lagi dengan adanya keinginan masyarakat untuk lebih memilih menggunakan transportasi pribadi dari pada transportasi massal. Melihat permasalahan tersebut suatu badan usaha saat ini sedang berupaya membangun sarana dan prasarana untuk menunjang moda transportasi massal yang dapat mengangkut banyak orang sebagai alternatif untuk mengurangi kendaraan pribadi. Pengembangan sistem Bus Rapid Transit merupakan salah satu solusi yang diyakini mampu mengurangi penggunaan transportasi pribadi. Didalam Pengembangan sistem Bus Rapid Transit dengan berbagai fasilitas yang mendukung dengan baik tentunya tidak lepas dari biaya. Mulai dari perencanaan, pembangunan hingga ke tahap operasional transportasi. Biaya adalah jumlah segala usaha dan pengeluaran yang dilakukan dalam mengembangkan, memproduksi dan mengaplikasikan produk/proyek atau dengan kata lain merupakan biaya siklus hidup (*Life Cycle Costing* - LCC). Menurut Davis Langdong (2006) *Life Cycle Costing* merupakan teknik yang memungkinkan penilaian biaya komparatif dibuat selama periode waktu tertentu, dengan mempertimbangkan semua faktor ekonomi yang relevan baik dari segi biaya modal, modal penggantian aset dan operasional di masa depan memperkirakan total biaya kepemilikan. Dalam industri bangunan dan konstruksi, LCC diterapkan untuk menghitung biaya keseluruhan bangunan, sistem dan komponen bangunan. Berdasarkan dari permasalahan yang sudah diuraikan diatas dalam penelitian ini lokasi yang akan dijadikan sebagai pembahasan dalam pengembangan Bus Rapid Transit yaitu di Bekasi yang rutenya dimulai dari Universitas Binas Nusantara Bekasi sampai dengan Terminal Bekasi. Adapun tujuan dari analisa ini adalah mengidentifikasi komponen biaya yang digunakan untuk menghitung *Life Cycle Cost* dan mengetahui kelayakan finansial pengembangan Bus Rapid Transit di Kota Bekasi.

2. METODE**a. Metode Penelitian**

Pada penelitian ini menggunakan jenis pendekatan penelitian kuantitatif. Metode penelitian kuantitatif merupakan salah satu jenis penelitian yang spesifikasinya adalah sistematis, terencana dan terstruktur dengan jelas awal hingga pembuatan desain penelitiannya. Menurut Sugiyono, (2003) metode penelitian kuantitatif dapat diartikan

*Corresponding author: ayuanitaputri00@gmail.com

sebagai metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat potivisme, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu. Teknik Pengambilan sampel pada umumnya dilakukan secara random, pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian, analisis data bersifat kuantitatif dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan.

Lokasi penelitian ini terletak pada Kota Bekasi mulai dari Universitas Bina Nusantara Bekasi sampai dengan Terminal Bekasi dengan panjang jarak 8529 m dan terdiri dari 15 Halte. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data data tersebut didapatkan dari *Benchmarking* dan Data Inflasi pada tahun 2020. Adapun beberapa tahapan dalam analisa penelitian ini yaitu:

1. Analisis dengan metode *Life Cycle Cost* dimana data capex, opex dan pendapatan dianalisa untuk mendapatkan hasil nilai kelayakan NPV dan IRR.
2. Dilakukan analisis sensitivitas dengan megubah nilai suatu variabel pada parameter sensitivitas dan mengamati pengaruhnya terhadap kelayakan finansial. Analisis sensitivitas dalam penelitian ini mengasumsikan data capex.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

KOMPONEN BIAYA

CAPEX

Pengembangan Sistem *Bus Rapid Transit* Bekasi sepanjang 8,53 km yang terdiri dari 4,84 km jalur elevated dan 3,75 km sisanya merupakan jalur at grade. Berdasarkan perhitungan dari, total biaya awal Pengembangan Sistem *Bus Rapid Transit* Bekasi adalah 1,5 triliun rupiah. Biaya tersebut dari hasil *benchmarking* beberapa sumber yang serupa, disesuaikan dengan nilai tukar rupiah terhadap dolar. Rincian biaya awal Pengembangan Sistem *Bus Rapid Transit* di Bekasi dapat dilihat pada tabel:

Tabel 1. Nilai CAPEX (Capital Expenditure) Pengembangan Bus Rapid Transit Bekasi

Jenis Capex Utama	Total Biaya (dalam juta Rp.)
Pengembangan Jalan	
- Jalan Elevated	886.634
- Jalan At grade	246.171
- Spesial Bridge	143.710
- Ramp Naik	32.174
- Ramp Turun	59.192
Halte Bus Tipe 1	4.107
Halte Bus Tipe 2	10.678
Jembatan Penyeberangan Orang	51.619
Depo	2.432
Stasiun Pengisian Bahan Bakar	3.000
Bus non gandeng	25.200
Bus Gandeng	22.400
Penerangan Jalan	951
Rekayasa Lalu Lintas (marka dan persinyalan)	2.267
Intelligent Transportation System	658
Biaya Konsultasi Manajemen	44.736
Sub Total	1.535.929

OPEX

Biaya operasional dan pemeliharaan terdiri dari biaya gaji pegawai, bahan bakar dan utilitas untuk setiap halte. Rincian biaya operasional dan pemeliharaan dalam skala 5 tahunan pada Pengembangan Sistem *Bus Rapid Transit* Bekasi dapat dilihat pada tabel.

Tabel 2. Biaya Operasional Proyek dalam Skala 5 Tahunan Pengembangan Bus Rapid Transit Bekasi

Th ke	1	5	10	15
Tahun	2023	2027	2032	2037
Pegawai	3.937	6.649	7.712	10.734
Bahan Bakar	6.682	7.524	8.726	10.121
Utilitas	1.255	2.120	2.458	3.421

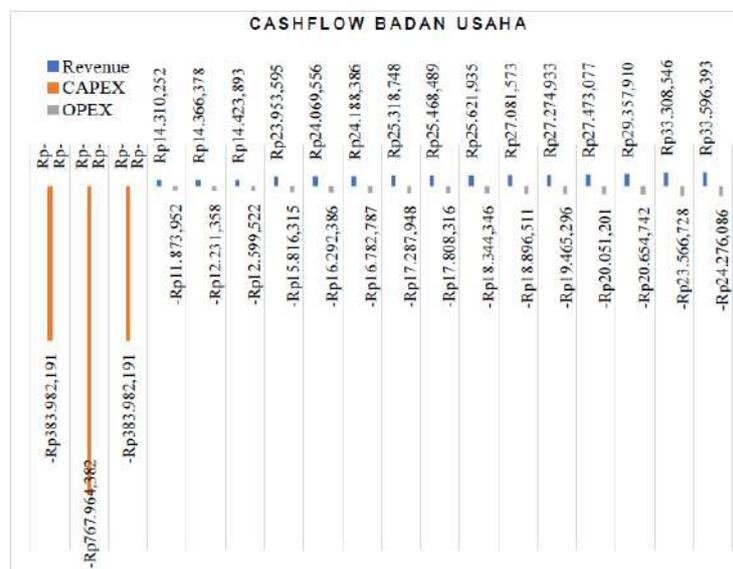
REVENUE

Pendapatan pada Pengembangan Sistem *Bus Rapid Transit* Bekasi bersumber dari penjualan tiket, sewa ruang ATM dan penyediaan ruang iklan. Harga tiket didapatkan dari harga tiket transjakarta tahun 2020, sewa ruang ATM dan ruang iklan harga didapatkan dari harga pada tahun 2020. Rincian biaya operasional dan pemeliharaan dalam skala 5 tahunan pada Pengembangan Sistem *Bus Rapid Transit* Bekasi dapat dilihat pada tabel.

Tabel 3. Pendapatan dalam Skala 5 Tahunan Pengembangan Bus Rapid Transit Bekasi

Thn Ke	1	5	10	15
Tahun	2023	2027	2032	2037
Tiket	2.268	4.802	7.814	13.245
Sewa Ruang ATM	432	691	691	778
Iklan	11.610	18.576	18.576	20.898
Total Pendapatan	14.310	24.070	27.082	34.921

Berdasarkan perhitungan Capex, Opex, dan Revenue didapatkan diagram Cashflow berikut ini:



Gambar 1 Diagram *Cashflow*

Pada tiga tahun pertama proyek belum memperoleh pendapatan karena masih dalam tahap konstruksi, sedangkan pada Tahun 2023 proyek sudah memperoleh pendapatan yang bersumber dari komponen pendapatan, serta adanya pengeluaran untuk biaya operasional dan pemeliharaan.

ANALISIS KEUANGAN

Dari beberapa komponen diatas, berikut perhitungan indikator kelayakan finansial dengan metode NPV dan IRR proyek Pengembangan *Bus Rapid Transit* Bekasi. Kelayakan Finansial proyek dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. Pendaptan dan Biaya Proyek dalam Skala 5 Tahunan menggunakan Investasi Badan Usaha

Thn Ke	1	5	10	15
Tahun	2023	2027	2032	2037
Arus Kas Operasional				
Penerimaan	-	14.310	24.070	27.082
Pengeluaran	-	11.874	18.897	24.276
Arus Kas Operasional		2.436	5.173	8.185
Arus Kas Investasi				
Investasi	383.982	-	-	-
Tambahan Investasi	-			
Arus Kas Investasi	383.982	-	-	-
Arus Kas Awal				
Arus Kas Akhir	383.982	2.436	5.173	8.185

Tabel 5. Arus Kas Proyek Dalam Skala 5 Tahunan menggunakan Investasi Badan Usaha

Th ke	1	5	10	15
Tahun	2023	2027	2032	2037
Pendapatan	14.310	24.070	25.468	34.921
Biaya Operasional dan Pemeliharaan	11.874	16.292	17.808	24.276
Marjin Kontribusi (EBITDA)	2.436	7.777	7.660	10.645
Biaya Penyusutan Aset Awal	49.706	49.706	49.706	49.706
Pend. Seb Bunga & Pajak (EBIT)	49.706	49.706	49.706	49.706

Tabel 6 Indikator Kelayakan dengan Metode NPV dan IRR Menggunakan Investasi Badan Usaha

Masa Operasional	15 Th	10 Th	5 Th
Project IRR	-7%	-15%	-28%
Project NPV	-198.497	-336.711	-504.869

Didapat hasil NPV sebesar Rp -198.497.000.000 dan IRR -7%, maka Project Pengembangan Bus Rapid Transit tidak layak dari segi finansial. Karena nilai IRR < suku bunga pinjaman dan NPV bernilai negatif. Oleh karena itu diperlukan skema pembiayaan yang melibatkan pihak lain yaitu dengan menambahkan Dukungan Pemerintah sebesar 40% dan 60%.

Berikut perhitungan indikator kelayakan finansial dengan metode NPV dan IRR proyek Pengembangan Bus Rapid Transit Bekasi dengan Skema Dukungan Pemerintah sebesar 40% dan 60%. Kelayakan Finansial proyek dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 7 Indikator Kelayakan dengan Metode NPV dan IRR dengan Skema Dukungan Pemerintah 40%

Masa Operasional	15 Th	10 Th	5 Th
Project IRR	-2%	-8%	-21%
Project NPV	90.245	-47.968	-216.126

Didapat hasil NPV sebesar Rp 90.245.000.000 dan IRR -2%, maka Project Pengembangan Bus Rapid Transit dengan Dukungan Pemerintah sebesar 40% atau sekitar Rp 607.213.779.310 tidak layak dari segi finansial. Karena nilai IRR < suku bunga pinjaman dan NPV bernilai negatif. Oleh karena itu dilakukan penambahan Dukungan Pemerintah sebesar 60%.

Tabel 6 Indikator Kelayakan dengan Metode NPV dan IRR dengan Skema Dukungan Pemerintah 60%

Masa Operasional	15 Th	10 Th	5 Th
Project IRR	2%	-3%	-14%
Project NPV	232.137	93.924	-74.234

Didapat hasil NPV sebesar Rp 232.137.000.000 dan IRR 2%, maka Project Pengembangan Bus Rapid Transit dengan Skema Dukungan Pemerintah sebesar 60% atau sekitar Rp 905.452.374.256 tidak layak dari segi finansial. Dapat dikatakan bahwa dengan Skema Dukungan Pemerintah sebesar 40% dan 60% proyek tidak layak secara finansial.

ANALISIS SENSITIVITAS

Analisis Sensitivitas dilakukan untuk mengetahui kemungkinan perubahan yang akan terjadi jika adanya perubahan pada beberapa parameter sensitivitas. Pada analisis sensitivitas ini hanya meninjau satu parameter yaitu kenaikan investasi. Parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap hasil perhitungan NPV dan IRR. Investasi diasumsikan mengalami perubahan kenaikan sebesar 10% dan 20%. Berikut analisis sensitivitas terhadap perubahan investasi pada Pengembangan Sistem *Bus Rapid Transit* di Kota Bekasi.

Skenario Kenaikan Investasi

 Tabel 7. Jika Investasi Mengalami Kenaikan 10% maka:
(dalam Rp. Juta)

Masa Operasional	15 Th	15 Th + Kenaikan
Project IRR	-7%	-8%
Project NPV	-198.497	-271.716

Tabel 8. Jika Investasi Mengalami Kenaikan 20% maka:
(dalam Rp. Juta)

Masa Operasional	15 Th	15 Th + Kenaikan
Project IRR	-7%	-9%
Project NPV	-198.497	-345.348

Penurunan nilai NPV dan IRR terjadi ketika terjadi kenaikan pada biaya investasi sebesar 10-20% diasumsikan sebagai kenaikan biaya investasi. Kenaikan biaya investasi sebesar 10% mampu menurunkan nilai NPV sebesar Rp 73.219.000.000 dan IRR sebesar 1%. Kemudian pada kenaikan biaya investasi sebesar 20% mampu menurunkan nilai NPV sebesar Rp 146.851.000.000 dan IRR sebesar 2%. Dapat dikatakan bahwa biaya investasi memiliki sensitivitas terhadap nilai NPV dan IRR.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan dalam penelitian ini dapat ditarik kesimpulan yaitu komponen biaya yang digunakan untuk menghitung *Life Cycle Cost* yaitu *Capital Expenditure*, *Operational Expenditure* dan *Revenue*. Sedangkan berdasar hasil analisis Pengembangan Sistem *Bus Rapid Transit* yang dilakukan oleh Badan Usaha tidak layak secara finansial. Dengan Skema Dukungan Pemerintah sebesar 40% dan 60% proyek tidak layak juga secara finansial.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Ibu dan Bapak pembimbing yang telah memberi dukungan dan membantu proses penulisan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Analysis of life cycle cost and public-private partnership in the development of Walini City as technology park. *International Journal of Technology*, 9(7), 1469–1479.
2. Badan Pusat Statistik, 2019. *Jumlah Penduduk Kabupaten Bekasi Tahun 2014-2019*
3. Husein R, (2016). *Sistem Bus Rapid Transit di Jakarta: Integrasi Perkotaan dan Dampak Lingkungan*. Univesitas Indonesia. 8-26.
4. Peraturan Daerah Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta No 10 Tahun 2014. *Tentang Pengelolaan Sistem Bus Rapid Transit*.
5. Bank Indonesia, 2020. Inflasi :<URL : <https://www.bi.go.id/id/moneter/inflasi/data/Default.aspx>> [Akses 20 Juli 2020]
6. Firsani, T., & Utomo, C. (2012). Analisa Life Cycle Cost pada Green Building Diamond Building Malaysia. *Teknik ITS*, 1(September (2012)), D34–D38.
7. Husein R, (2016). *Sistem Bus Rapid Transit di Jakarta: Integrasi Perkotaan dan Dampak Lingkungan*. Univesitas Indonesia. 8-26.
8. Iskandar, A., Alifen, R., & Budiman, J. (2016). Studi Komparasi Life Cycle Cost Pada Gedung Apartemen. *Dimensi Utama Teknik Sipil*, 3(1), 31–38.
9. (Fegel, 1986)Fegel, G. (1986). This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible. <https://books.google.com>. *Oxford University*, XXX, 60.