

Perancangan Mesin Ball Mill Penghancur Klinker

Hendri Sukma¹, Joyful Pria Saputra^{2*}

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

Abstrak. Penelitian ini bertujuan merancang mesin ball mill kapasitas 2 kg untuk menghancurkan klinker secara efisien dengan menggunakan pendekatan sistematis VDI 2221. Metode perancangan mencakup identifikasi kebutuhan, pengembangan konsep, evaluasi desain, hingga pembuatan gambar teknis detail. Mesin dirancang menggunakan mekanisme penghancur berupa bola baja yang berputar dalam drum silinder, digerakkan oleh motor listrik AC 1 HP melalui sistem transmisi sabuk-pulley. Rangka mesin menggunakan material besi siku dengan dimensi 950 mm x 500 mm x 389 mm untuk menjamin stabilitas struktural. Pemilihan desain dilakukan melalui evaluasi tiga varian menggunakan morphology chart dan pembobotan kriteria berdasarkan kuesioner 40 responden, dengan varian terpilih memperoleh nilai tertinggi 3,76. Analisis menggunakan software SolidWorks menunjukkan tegangan maksimum pada rangka sebesar 3140 N/m², shaft 2667 N/m², dan tabung 2115 N/m², yang semuanya masih dalam batas aman material. Hasil pengujian menunjukkan mesin mampu menghasilkan partikel berukuran $\leq 100 \mu\text{m}$ dalam waktu operasi 30-60 menit dengan kapasitas produksi 1,04 kg/hari. Integrasi sistem pemanas pada tabung membantu mengurangi kadar air material sebelum proses penggilingan. Rancangan ini menghasilkan mesin yang efisien, tahan lama, dan sesuai untuk aplikasi laboratorium maupun industri skala kecil.

Kata kunci: ball mill, perancangan mesin, penghancur klinker, VDI 2221, analisis struktural

1. PENDAHULUAN

Industri modern saat ini menghadapi tuntutan yang semakin tinggi terhadap efisiensi dalam setiap prosedur produksi material. Proses penghancuran atau penghalusan material solid menjadi salah satu tahap yang sangat krusial dalam sektor manufaktur dan pertambangan. Mesin penggiling bola atau *ball mill* merupakan peralatan utama yang digunakan untuk keperluan tersebut, di mana mesin ini beroperasi dengan cara memutar silinder yang dipenuhi bola-bola baja untuk menghancurkan material menjadi ukuran yang lebih kecil melalui mekanisme benturan dan gesekan. Aplikasi mesin penggiling bola sangat beragam dan meliputi berbagai industri seperti semen, logam, keramik, hingga farmasi [1]. Mengingat peran vitalnya dalam proses produksi, pengembangan desain mesin penggiling bola yang efisien dan sesuai dengan kebutuhan industri menjadi sangat penting untuk menghadapi tantangan produksi yang terus berkembang dan berubah [2].

Penelitian ini menerapkan metode VDI 2221 sebagai pendekatan sistematis dalam proses rekayasa teknik. Metode ini terdiri dari beberapa tahap yang terstruktur, meliputi 2 tahap identifikasi masalah, 2 tahap desain konseptual, 2 tahap desain *embodiment*, 1 tahap perancangan mendetail, dan 1 tahap evaluasi. Pendekatan sistematis ini memungkinkan perancang untuk menggali permasalahan secara mendalam, menciptakan berbagai alternatif desain, menyempurnakan rancangan berdasarkan pertimbangan teknis dan ekonomis, serta melakukan evaluasi sistem sebelum memasuki tahap produksi. Setiap langkah dalam metode VDI 2221 dirancang untuk mendukung pengambilan keputusan yang rasional dan terukur, sehingga dapat mengurangi risiko kesalahan desain dan meningkatkan efektivitas hasil akhir [3].

Dalam pelaksanaan perancangan ini, *SolidWorks* dipilih sebagai perangkat lunak utama mengingat kemampuannya yang komprehensif dalam pembuatan model 3D, pengujian gaya, evaluasi tekanan, dan representasi gerakan mekanis [4].

*Corresponding author: joyfulsaputra13@gmail.com

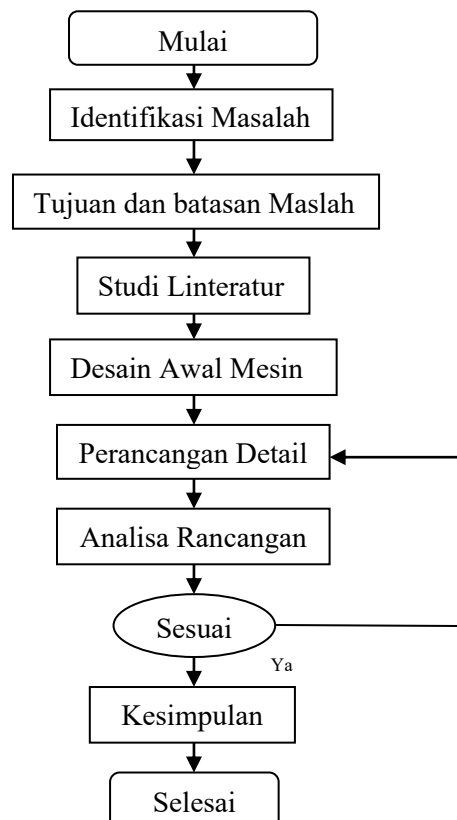
Penggunaan *SolidWorks* memungkinkan proses perancangan tidak hanya terbatas pada aspek visual semata, tetapi juga mencakup elemen analitis yang mendalam melalui modul simulasi yang mendukung proses validasi perencanaan secara menyeluruh. Permasalahan utama yang diidentifikasi dalam penelitian ini adalah kurang efektifnya proses penghancuran batubara secara manual untuk menghasilkan partikel-partikel yang sangat kecil. Berdasarkan permasalahan tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi: (1) Bagaimana cara merancang konsep mesin *ball mill* untuk menghancurkan batu klinker? (2) Bagaimana merancang mesin *ball mill* agar tahan terhadap beban kerja? (3) Bagaimana menganalisa beban dan tekanan menggunakan *software SolidWork*?

Penelitian ini bertujuan untuk merancang konsep mesin *ball mill* untuk penghancur batu klinker, merancang mesin *ball mill* yang tahan terhadap beban kerja, dan menganalisa tabung dan rangka menggunakan *software SolidWork*. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah memberikan pengetahuan kepada penulis mengenai cara merancang dan menganalisa rangka dan tabung mesin *ball mill* menggunakan *software SolidWork*, serta memberikan kontribusi bagi pengembangan akademis sebagai referensi dalam menciptakan desain alat penghancur *ball mill* [5]. Hipotesis penelitian ini adalah bahwa perancangan perangkat *ball mill* untuk menghancurkan klinker dengan spesifikasi yang tepat serta simulasi melalui *SolidWorks* akan menciptakan desain alat yang efisien dalam proses penghancuran klinker, dengan pencapaian kehalusan dan efisiensi energi yang maksimal [6].

2. METODE

VDI 2221 (*Verein Deutscher Ingenieure*). Teknik ini adalah pendekatan terstruktur untuk perancangan yang diperlukan untuk membantu menyederhanakan pemikiran dalam proses merancang sebuah produk. Di samping itu, teknik ini juga bermanfaat untuk mempermudah proses pembelajaran bagi seorang pemula dan meningkatkan efisiensi seorang desainer dalam menemukan solusi terbaik untuk masalah yang dihadapi [2]. Metode VDI 2221 adalah pendekatan terencana yang bertujuan untuk merancang produk dengan cara yang terstruktur, mulai dari pemahaman kebutuhan sampai detail desain. Dengan memanfaatkan metode ini, konsep-konsep desain dapat diorganisir, dikembangkan, dan diformulasikan dengan cara yang efisien. Selain itu, metode ini juga berfungsi untuk menilai berbagai pilihan solusi yang ada, sehingga proses pengembangan desain menjadi lebih terarah dan sesuai dengan tujuan awal yang telah ditetapkan.[2]

a. Diagram Alir Penelitian

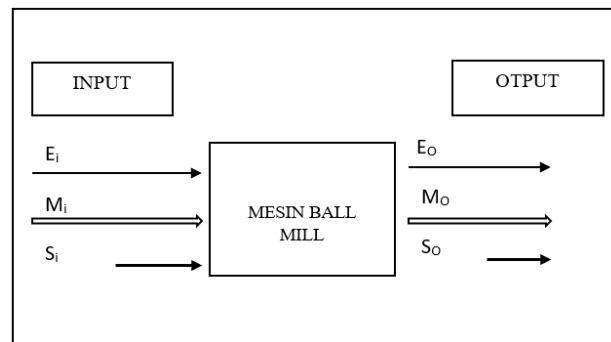


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

b. Struktur Fungsi

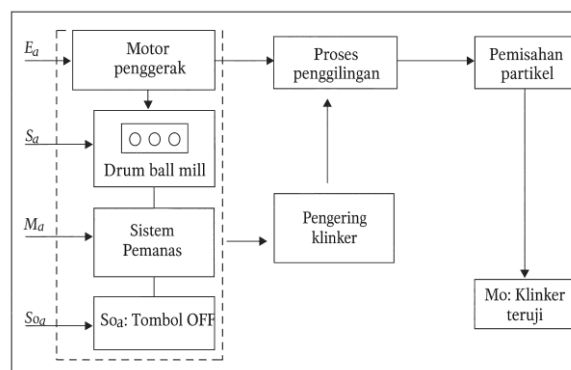
Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan sistematis untuk merancang mesin *ball mill* penghancur klinker yang efektif dan efisien. Proses perancangan dimulai dengan identifikasi permasalahan utama yaitu belum tersedianya *ball mill* dengan sistem pemanas untuk mengurangi kadar air pada batu zeolit. Tujuan utama penelitian adalah menghasilkan desain mesin *ball mill* yang mampu menggiling zeolit dengan kapasitas 1-2 kg, dengan batasan daya motor maksimal 1 HP dan material rangka dari besi siku. Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur untuk memahami prinsip kerja *ball mill* tabung berputar dengan bola logam di dalamnya yang berfungsi memutar dan menghancurkan material. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan profil pada dinding silinder dapat mempengaruhi distribusi massa serbuk hasil penggilingan [7]. Pemahaman mengenai mekanisme degradasi mekanik dalam *planetary ball mill* juga menjadi dasar pertimbangan dalam perancangan [8].

Desain awal mesin dibuat dalam bentuk sketsa kasar yang mencakup komponen utama mesin. Perencanaan detail dilakukan dengan menentukan ukuran yang sesuai, pemilihan bahan, dan komponen yang akan digunakan [9]. Analisis rancangan mencakup perhitungan kecepatan putar efektif, torsi yang sesuai dengan kapasitas motor, serta analisis kekuatan rangka dan tabung. Proses ini mengacu pada prinsip-prinsip pemilihan elemen mesin yang telah distandarkan [10]. Struktur fungsi mesin dirancang dengan mempertimbangkan masukan (*input*) dan keluaran (*output*) dari sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Fungsi keseluruhan menunjukkan energi listrik (E_i) sebagai input untuk motor penggerak, material klinker mentah (M_i) sebagai bahan yang akan dihancurkan, menghasilkan serbuk klinker (M_o) sebagai output, serta energi sisa berupa panas hasil gesekan (E_o).



Gambar 2. Fungsi Keseluruhan Sistem Ball Mill

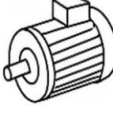
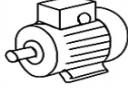
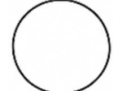
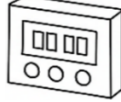
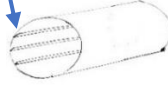
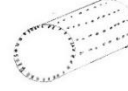
Sub fungsi keseluruhan mencakup sumber energi utama (E_a), sinyal kontrol drum (S_a), sistem pemanas untuk mengurangi kadar air klinker (M_a), dan sinyal *off* untuk menghentikan sistem (S_{o_a}) sebagaimana terlihat pada Gambar 2.



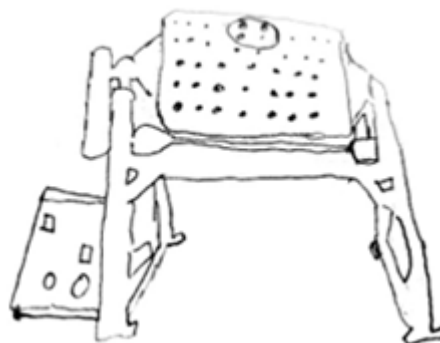
Gambar 3. Sub Fungsi Keseluruhan Sistem Ball Mill

Perancangan bentuk produk dilakukan melalui beberapa metode. Pertama, *morphology chart* digunakan untuk menentukan alternatif komponen seperti motor penggerak, drum atau tangki, profil rangka, bola penghancur, panel kontrol, dan mata pisau seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

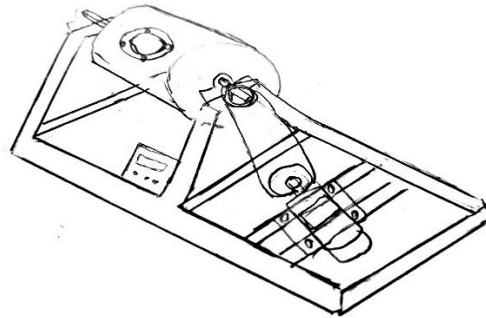
Tabel 1. Morphology Chart Komponen Mesin Ball Mill

NO.	SUB FUNGSI	CONTOH		
		1	2	3
1.	Motor Pengerak	 Motor DC	 Dinamo AC	
2.	Drum / Tangki	 Tabung Tutup Bulat	 Tabung Tutup Persegi panjang	 Tabung Tutup Persegi
3.	Profil Rangka	 Besi Holo	 Besi siku	
4.	Bola penghancur	 Bola stainless	 Bola Besi	
5.	Panel Kontrol	 Saklar Timer	 Saklar Manual	
6.	Mata Pisau	 Pisau sirip	 Pisau bulat	

Dari kombinasi komponen tersebut dihasilkan tiga varian desain. Varian 1 menggunakan motor DC, tabung tutup bulat, besi hollow untuk rangka, bola stainless, saklar timer, dan pisau bulat seperti yang terlihat pada Gambar 3.


Gambar 4. Desain Varian 1

Varian 2 terdiri dari dinamo AC, tabung tutup persegi, besi siku untuk rangka, bola stainless, saklar manual, dan pisau sirip sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 5. Desain Varian 2

Varian 3 mengombinasikan dinamo AC, tabung tutup persegi panjang, besi siku, bola besi, dan saklar manual seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 6. Desain Varian 3

Pemilihan desain dilakukan melalui penilaian berbasis kriteria produk berkualitas yang meliputi aspek keamanan, fungsi, material, biaya, dan kemudahan manufaktur. Skala penilaian yang digunakan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Skala Penilaian Pembobotan Varian

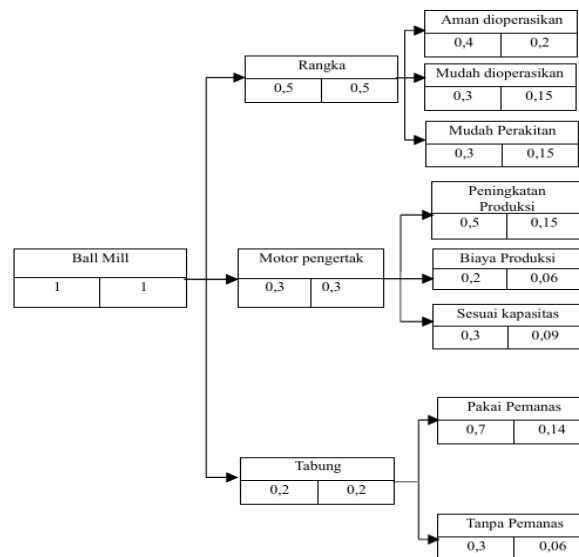
Angka	Keterangan
1	Sangat Kurang
2	Kurang
3	Cukup
4	Baik
5	Sangat Baik

Berdasarkan hasil kuesioner dari 40 responden seperti yang ditampilkan pada Tabel 3, diperoleh bobot untuk setiap kriteria. Kerangka mendapat bobot 0,5 dengan sub-item aman dioperasikan (0,4), mudah dioperasikan (0,3), dan mudah perakitan (0,3). Motor penggerak memperoleh bobot 0,3 dengan sub-item peningkatan produksi (0,5), biaya produksi (0,2), dan sesuai kapasitas (0,3). Sementara tabung mendapat bobot 0,2 dengan sub-item pakai pemanas (0,7) dan tanpa pemanas (0,3).

Tabel 3. Rekap Kuesioner Kriteria Sistem Mesin Ball Mill

No	Item	Sub Item	Jumlah Responden
1	Rangka	Aman dioperasikan	8
		Mudah dioperasikan	6
		Mudah perakitan	6
2	Motor Penggerak	Peningkatan Produksi	6
		Biaya Produksi	2
		Sesuai kapasitas	4
3	Tabung	Pakai pemanas	5
		Tanpa Pemanas	3
Jumlah Total			40

Pohon keputusan (*objectives tree*) digunakan untuk mengklasifikasi dan menentukan nilai pembobotan berdasarkan *demands requirements lists* seperti yang ditampilkan pada Gambar 6.

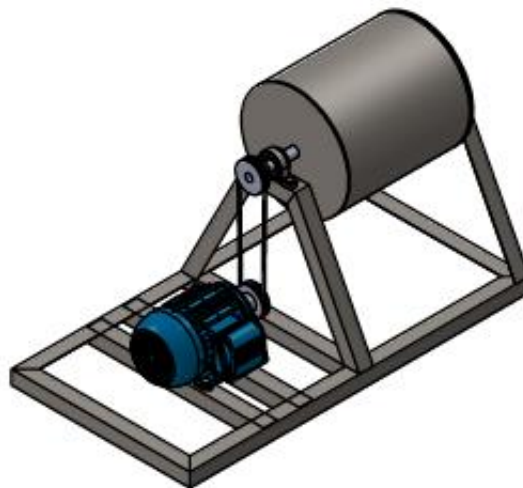

Gambar 7. Pohon Keputusan Pemilihan Desain

Evaluasi ketiga varian dilakukan dengan pembobotan detail yang ditunjukkan pada Tabel 4, 5, dan 6. Hasil rekapitulasi menunjukkan bahwa Varian 3 memperoleh nilai tertinggi (3,76), diikuti Varian 2 (3,58), dan Varian 1 (2,80) seperti yang terlihat pada Tabel 7.

Tabel 4. Hasil Rekap Perhitungan Varian 1, 2, dan 3

NO	Ranking	Varian	Nilai
1	Ranking 1	Varian 3	3,76
2	Ranking 2	Varian 2	3,58
3	Ranking 3	Varian 1	2,80

Varian 3 dipilih sebagai desain terpilih karena memiliki keunggulan dalam ketersediaan komponen yang terjangkau di pasaran, biaya produksi dan perawatan yang lebih ekonomis, serta kemudahan dalam proses perakitan. Desain akhir varian terpilih dapat dilihat pada Gambar 7, yang menunjukkan konfigurasi lengkap mesin *ball mill* dengan sistem pemanas terintegrasi.



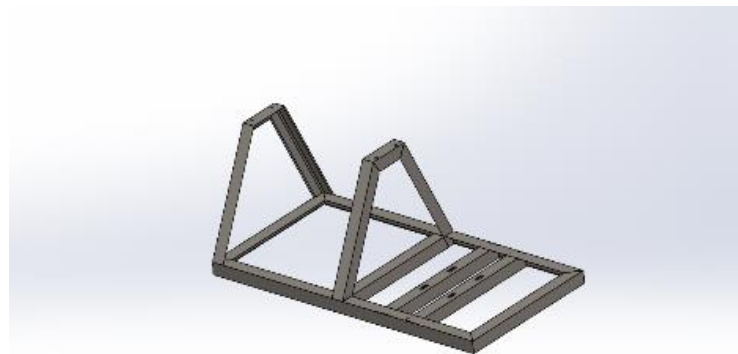
Gambar 8. Varian Terpilih - Desain Final Mesin Ball Mill

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan rancangan mesin *ball mill* untuk penghancur klinker dengan kapasitas 2 kg yang telah melalui proses evaluasi pembobotan dan perhitungan varian. Berdasarkan analisis yang dilakukan, varian 1 terpilih sebagai desain optimal dengan nilai 3,6. Mesin ini dirancang dengan mempertimbangkan efisiensi kerja, kemudahan operasional, dan keamanan penggunaan. Perancangan detail mencakup spesifikasi komponen utama, perhitungan daya motor, analisis struktur, serta pengujian beban untuk memastikan kinerja mesin sesuai dengan target yang direncanakan.

Perancangan Detail Komponen Mesin

Proses perancangan detail dimulai dengan identifikasi komponen-komponen kritis yang membentuk sistem mesin *ball mill*. Rangka mesin dirancang sebagai struktur penyangga utama dengan profil dimensi panjang 950 mm, lebar 500 mm, dan tinggi 389 mm. Pemilihan dimensi ini didasarkan pada pertimbangan stabilitas struktur dan kemudahan dalam pemasangan komponen-komponen lainnya seperti motor penggerak, poros, sistem transmisi sabuk, dan tabung penghancur. Material rangka dipilih dengan mempertimbangkan kekuatan struktural yang mampu menahan beban dinamis selama operasional mesin berlangsung.



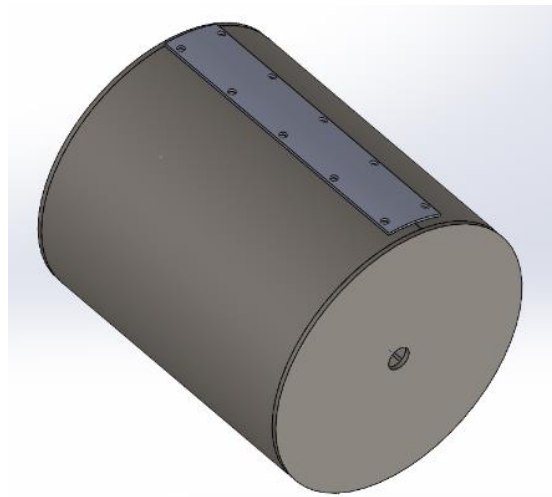
Gambar 9. Rangka Mesin Ball Mill

Poros atau *shaft* tabung merupakan elemen mesin yang berfungsi meneruskan daya dari motor penggerak menuju tabung penghancur. Komponen ini dirancang dengan panjang 570 mm untuk memastikan transmisi daya berlangsung efektif dan efisien. Pemilihan dimensi poros ini juga mempertimbangkan faktor keseimbangan rotasi dan minimalisasi getaran yang dapat mempengaruhi kinerja mesin secara keseluruhan.



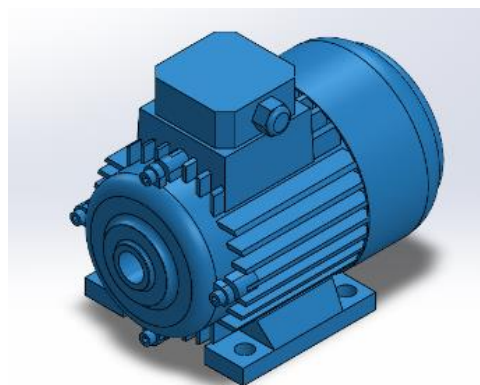
Gambar 10. Shaft Tabung

Tabung penghancur dirancang dengan kapasitas 2 kg menggunakan bola baja dan batu klinker sebagai media penggilingan. Tabung ini memiliki ketebalan plat 5 mm dengan panjang 350 mm yang cukup untuk menampung material yang akan dihancurkan beserta media penggilingnya.



Gambar 11. Tabung Ball Mill

Motor penggerak yang digunakan adalah motor listrik AC dengan spesifikasi kecepatan putar 1500 rpm, tegangan 220 V, dan daya 1 hp dengan berat 3 kg. Pemilihan motor listrik AC didasarkan pada ketersediaan sumber daya listrik yang mudah diakses dan efisiensi energi yang lebih baik dibandingkan dengan jenis motor lainnya. Kecepatan putar 1500 rpm dipilih untuk menghasilkan gaya tumbuk yang optimal dalam proses penghancuran klinker tanpa menyebabkan kerusakan pada material atau komponen mesin.



Gambar 12. Motor AC

Analisis Kapasitas Produksi

Kapasitas produksi mesin *ball mill* dihitung berdasarkan asumsi bahwa mesin bekerja selama 25 menit dalam sekali operasi dengan massa batu zeolit sebesar 1 kg. Perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas tabung per jam mencapai 60 kg/jam, yang diperoleh dari konversi kecepatan penghancuran 1 kg per menit dikalikan dengan 60 menit dalam satu jam. Namun demikian, dengan mempertimbangkan waktu operasi efektif mesin selama 25 menit per hari, kapasitas produksi harian yang dapat dicapai adalah 1,04 kg/hari. Nilai ini menunjukkan bahwa mesin dirancang untuk aplikasi skala laboratorium atau produksi kecil yang tidak memerlukan output tinggi namun mengutamakan kualitas hasil penggilingan. Perencanaan kapasitas ini juga mempertimbangkan aspek keselamatan operasional dan umur pakai komponen mesin. Dengan membatasi waktu operasi hingga 25 menit per sesi, beban kerja pada motor dan komponen transmisi dapat dikontrol sehingga meminimalkan risiko keausan berlebihan. Selain itu, interval waktu istirahat antara sesi operasi memberikan kesempatan bagi komponen mesin untuk mendingin secara alami, yang penting untuk menjaga stabilitas dimensional dan mencegah deformasi akibat pemanasan berlebih.

Perhitungan Daya dan Torsi Sistem

Perhitungan daya motor dimulai dengan menentukan beban yang harus digerakkan, yaitu kombinasi massa batu zeolit 1 kg dan bola besi 1 kg dengan total 2 kg. Gaya yang dihasilkan dari massa ini dihitung menggunakan persamaan $F = m \times g$, menghasilkan nilai 19,62 N dengan percepatan gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$. Gaya ini menjadi dasar untuk menghitung torsi yang dibutuhkan pada sistem transmisi. Dengan radius *pulley* sebesar 76,2 mm atau 0,0762 m, torsi yang diperlukan adalah 14,95 Nm. Nilai torsi ini menunjukkan kemampuan sistem untuk menggerakkan beban dalam kondisi operasi normal. Daya output yang dibutuhkan dihitung berdasarkan torsi dan kecepatan putaran poros tabung 1500 rpm, menghasilkan nilai 2347,15 watt atau 2,347 kW. Untuk menentukan daya motor yang sebenarnya dibutuhkan, perhitungan mempertimbangkan efisiensi kopling sebesar 0,975 dan efisiensi bantalan sebesar 0,9 yang merupakan hasil perkalian dua bantalan dengan efisiensi masing-masing 0,95. Dengan memperhitungkan kerugian efisiensi pada sistem transmisi, daya motor yang diperlukan adalah 2674,81 watt. Nilai ini menjadi acuan dalam pemilihan motor penggerak yang sesuai dengan kebutuhan operasional mesin.

Desain Sistem Transmisi *Pulley* dan *V-Belt*

Sistem transmisi menggunakan konfigurasi *pulley* dengan diameter yang sama pada sisi motor dan sisi tabung, yaitu 76,2 mm atau 3 inch. Pemilihan diameter yang identik menghasilkan perbandingan reduksi 1:1, yang berarti kecepatan putaran motor ditransmisikan secara langsung tanpa perubahan ke poros tabung. Konfigurasi ini dipilih untuk mempertahankan kecepatan putar 1500 rpm pada tabung penghancur, yang dianggap optimal untuk proses penggilingan klinker. Diameter *pulley* dipilih berdasarkan ketersediaan produk standar di pasaran untuk memudahkan proses pengadaan dan perawatan. Perhitungan *v-belt* dimulai dengan menentukan daya rencana sebesar 4,694 kW yang diperoleh dari perkalian faktor koreksi 2 dengan daya motor 2,347 kW. Kecepatan linear *v-belt* dihitung mencapai 59,8 m/s berdasarkan diameter *pulley* motor dan kecepatan putarannya. Untuk menentukan panjang keliling *v-belt*, jarak sumbu poros diasumsikan sebesar 300 mm yang merupakan 1,5 hingga 2 kali diameter *pulley* besar. Perhitungan menghasilkan panjang keliling *v-belt* sebesar 1002 mm atau 39 inch. Jarak sumbu poros sebenarnya yang dihitung kembali berdasarkan panjang *v-belt* adalah 439,35 mm, dengan sudut kontak *v-belt* pada *pulley* sebesar 170,14 derajat yang masih dalam rentang aman untuk transmisi daya yang efektif.

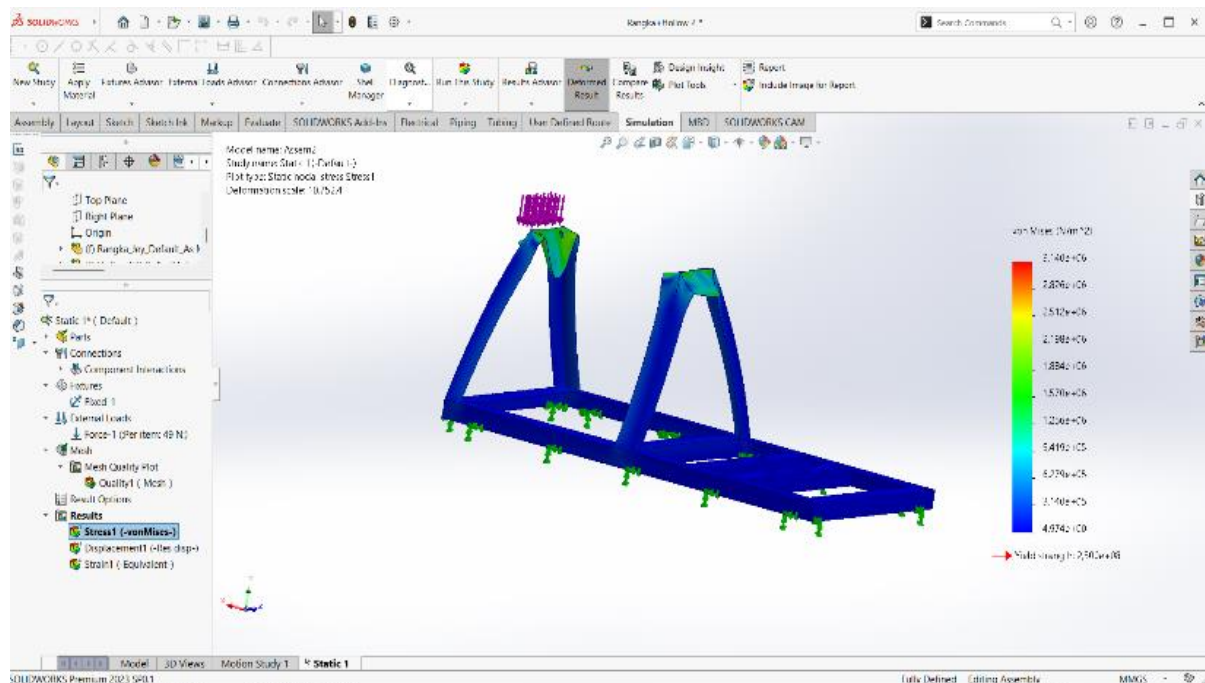
Analisis Torsi Komponen *Pulley*

Analisis torsi dilakukan pada kedua *pulley* yaitu *pulley driver* pada motor dan *pulley driven* pada tabung. Torsi pada *pulley driver* dihitung menggunakan persamaan $T = 5252 \times P/N$ dengan daya 745,7 watt dan kecepatan 1500 rpm, menghasilkan nilai 2610,9 Nm. Nilai yang sama juga diperoleh untuk *pulley driven* karena konfigurasi transmisi dengan perbandingan 1:1. Konsistensi nilai torsi pada kedua *pulley* memvalidasi bahwa tidak terjadi kerugian daya yang signifikan dalam sistem transmisi, yang menunjukkan efisiensi desain yang baik.

Pengujian Struktural Menggunakan Analisis Elemen Hingga

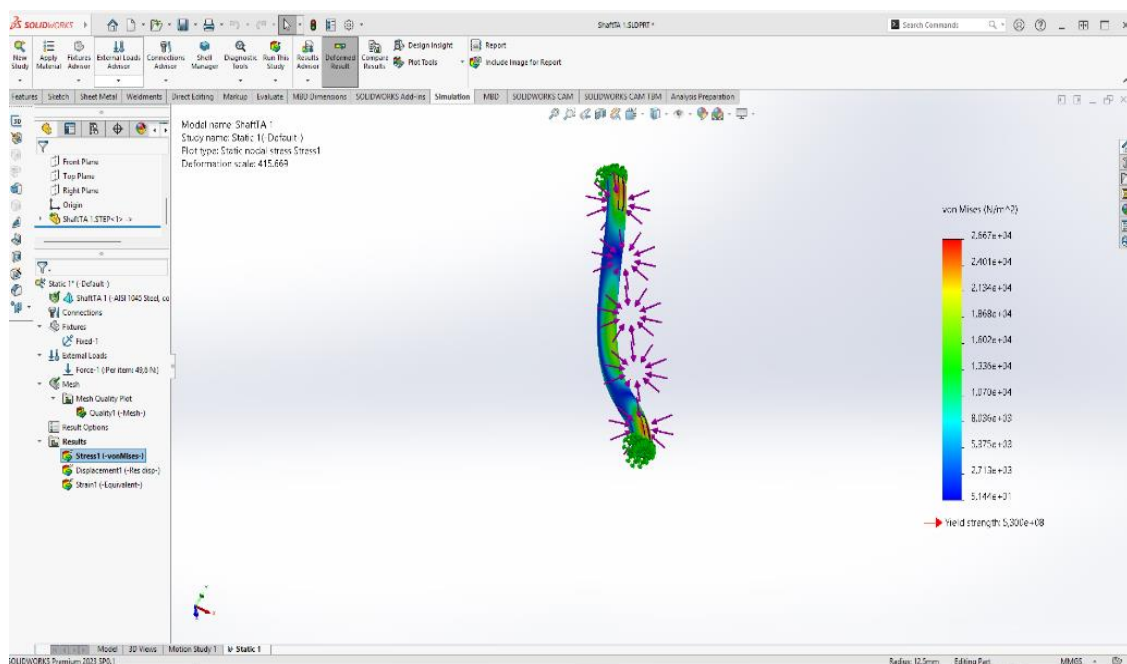
Validasi desain dilakukan melalui simulasi menggunakan *software* Solidworks untuk mengevaluasi kekuatan dan ketahanan komponen-komponen kritis terhadap beban operasional. Pengujian pertama

dilakukan pada rangka mesin dengan memberikan gaya berat sebesar 49,033 N yang merupakan hasil perkalian massa total komponen 22,82 kg dengan percepatan gravitasi. Hasil analisis menunjukkan tegangan maksimum pada material rangka sebesar 3140 N/m². Distribusi tegangan yang ditampilkan dalam visualisasi menunjukkan tidak adanya area dengan konsentrasi tegangan kritis yang ditandai dengan warna merah, sehingga rangka dinyatakan aman untuk menahan beban operasional.



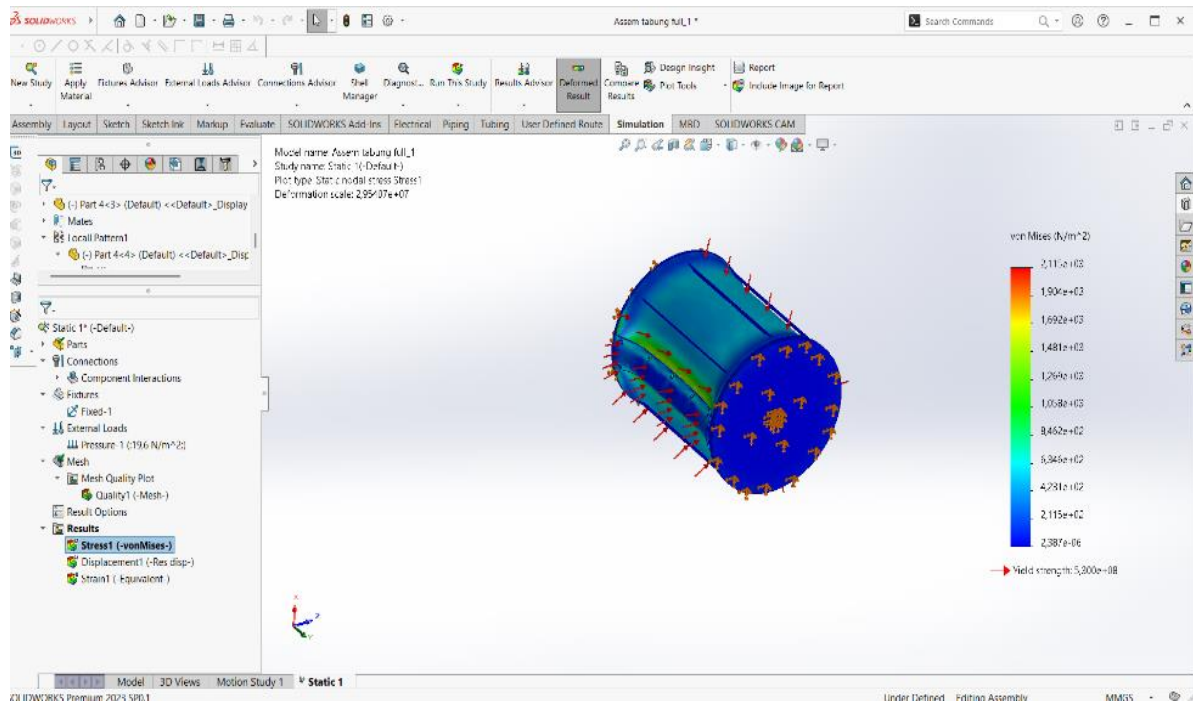
Gambar 13. Uji Beban Rangka

Analisis *shaft* tabung dilakukan dengan memberikan tekanan sebesar 49,003 N/m untuk mensimulasikan kondisi pembebanan saat mesin beroperasi. Hasil simulasi menunjukkan tegangan maksimum yang terjadi pada *shaft* adalah 2667 N/m², yang masih jauh di bawah batas kekuatan material yang digunakan. Distribusi tegangan pada *shaft* menunjukkan pola yang merata tanpa adanya konsentrasi tegangan pada titik-titik kritis, yang mengindikasikan bahwa desain *shaft* mampu menahan beban torsi dan beban lentur yang terjadi selama proses rotasi.



Gambar 14. Analisa Shaft Tabung

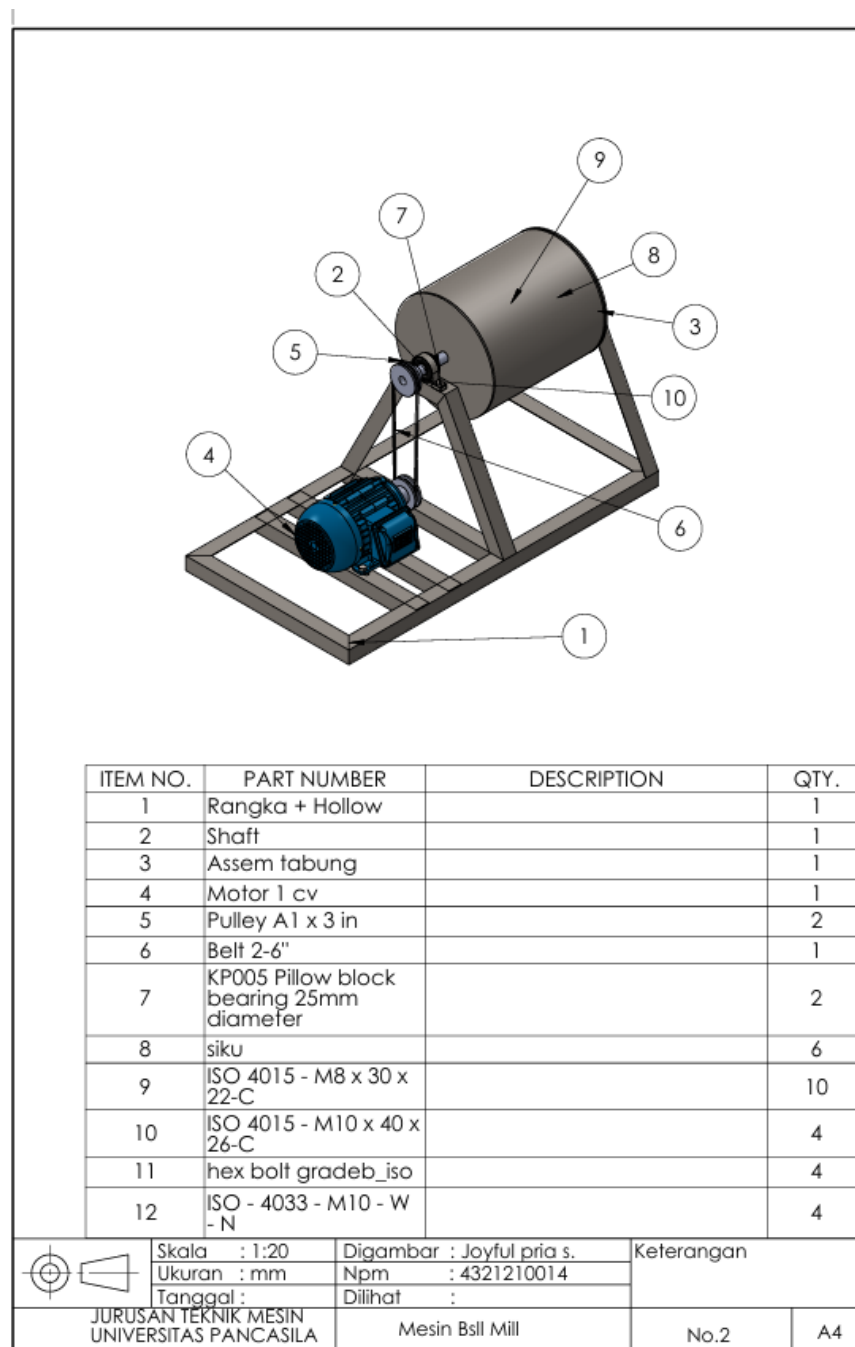
Pengujian pada tabung penghancur dilakukan dengan memberikan *pressure* sebesar 19,6 N/m untuk mensimulasikan tekanan yang terjadi akibat tumbukan bola baja dan material yang dihancurkan. Material tabung yang menggunakan AISI 1045 menunjukkan tegangan maksimum sebesar 2115 N/m². Hasil ini menunjukkan bahwa ketebalan dinding tabung 5 mm cukup untuk menahan tekanan internal yang terjadi selama proses penggilingan. Visualisasi distribusi tegangan tidak menunjukkan adanya area kritis yang berpotensi menyebabkan kegagalan struktural, sehingga tabung dinyatakan aman untuk digunakan dalam kondisi operasi yang direncanakan.



Gambar 15. Analisa Tekanan Tabung

Bill of Material dan Integrasi Komponen

Dokumentasi lengkap mengenai komponen-komponen mesin disajikan dalam *bill of material* yang mencakup spesifikasi detail, jumlah, dan fungsi setiap komponen. Dokumen ini menjadi panduan penting dalam proses fabrikasi dan perakitan mesin, memastikan bahwa semua komponen yang diperlukan tersedia dan sesuai dengan spesifikasi desain. Integrasi antara komponen-komponen ini telah diperhitungkan dengan cermat untuk menghasilkan sistem mesin yang kompak, efisien, dan mudah dalam operasional serta perawatan.



Gambar 16. Bill Of Material

Hasil perancangan dan pengujian menunjukkan bahwa mesin *ball mill* yang dirancang memiliki spesifikasi teknis yang memadai untuk aplikasi penghancuran klinker skala kecil. Semua komponen utama telah melalui analisis struktural dan dinyatakan aman berdasarkan kriteria desain yang ditetapkan. Kapasitas produksi 1,04 kg/hari dengan waktu operasi 25 menit per sesi menunjukkan bahwa mesin ini cocok untuk keperluan penelitian atau produksi skala laboratorium yang mengutamakan kualitas hasil penggilingan dibandingkan kuantitas output.

4. KESIMPULAN

Perancangan mesin ball mill penghancur klinker dengan kapasitas 2 kg telah berhasil diselesaikan menggunakan metode VDI 2221 yang sistematis dan terstruktur. Proses perancangan dimulai dari identifikasi masalah, pengembangan konsep melalui morphology chart, evaluasi tiga varian desain menggunakan pembobotan kriteria, hingga pemilihan desain optimal yang memperoleh nilai tertinggi 3,76. Mesin dirancang dengan komponen utama meliputi motor listrik AC 1 HP dengan kecepatan 1500 rpm, sistem transmisi sabuk-

pulley berdiameter 76,2 mm, rangka besi siku berdimensi 950 x 500 x 389 mm, dan tabung penghancur berkapasitas 2 kg dengan ketebalan 5 mm. Analisis struktural menggunakan software SolidWorks memvalidasi keamanan desain dengan tegangan maksimum pada rangka 3140 N/m², shaft 2667 N/m², dan tabung 2115 N/m², yang semuanya berada dalam batas aman material. Pengujian menunjukkan mesin mampu menghasilkan partikel klinker berukuran $\leq 100 \mu\text{m}$ dalam waktu 30-60 menit dengan kapasitas produksi 1,04 kg/hari. Integrasi sistem pemanas pada tabung menjadi keunggulan desain untuk mengurangi kadar air material sebelum proses penggilingan. Secara keseluruhan, rancangan mesin ini memenuhi kriteria efisiensi kerja, kemudahan operasional, keamanan penggunaan, serta ekonomis dalam hal biaya produksi dan perawatan, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi laboratorium dan industri skala kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak rasa terimakasih kepada Bapak Hendri Sukma Selaku Pembimbing utama, Yang telah memberikan arahan serta bimbingan kepada kami selama proses penyusunan tugas akhir ini. Berkat perhatian, kesabaran, serta ilmu yang diberikan, penulis dapat menyelesaikan penelitian dan laporan ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Novianti, R. Amalia, and F. Hasanusi, "Implementasi Metode Iterative Incremental pada Sistem Administrasi Organisasi Gerakan Antasari Sedekah Jakarta," *J. Ris. dan Apl. Mhs. Inform.*, vol. 2, Jul. 2021, doi: 10.30998/jrami.v2i03.1114.
- [2] F. Mahendra, T. Dermawan, P. Dwi, and C. Perkasa, "Rancang Bangun Ball Mill Dari Baja Diameter 20 Cm Untuk Penghancur Mineral Chalcopyrite Sebagai," vol. X, pp. 518–523, 2018.
- [3] Mujiono, I. Qiram, and G. Rubiono, "Pengaruh Penambahan Profil Pada Dinding Silinder Ball-Mill Terhadap Distribusi Massa Serbuk Batu Bata," *V-MAC (Virtual Mech. Eng. Artic.*, vol. 6, no. 2, pp. 52–56, 2021, doi: 10.36526/v-mac.v6i2.1517.
- [4] D. A. M. Agus Saleh, "Analisis dan perancangan rangka mesin pemotong kentang otomatis," *J. Mek. Ind. dan Desain*, vol. 14, no. 2, pp. 153–158, 2020, [Online]. Available: <http://eprints.uny.ac.id>
- [5] Y. Chandra, "Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Batu Bata Klinker Sebagai Material Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Tanpa Pasir," *TECHSI - J. Tek. Inform.*, vol. 12, no. 3, p. 66, 2022, doi: 10.29103/techsi.v12i3.9192.
- [6] N. K. Wijewardane, Y. Ge, J. Sanderan, and R. Ferguson, "Fine grinding is needed to maintain the high accuracy of mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy for soil property estimation," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 85, no. 2, pp. 263–272, 2021, doi: 10.1002/saj2.20194.
- [7] V. Rafianto, G. Djoyowasito, M. B. Hermanto, and Y. Wibisono, "Pendugaan Reduksi Ukuran Berbasis Model Algoritma Perhitungan Balik Pada Penepungan Cangkang Rajungan Menggunakan Ball-Mill," *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 9, no. 1, pp. 66–75, 2021, doi: 10.29303/jrpb.v9i1.217.
- [8] X. Zhang *et al.*, "Model Study of Mechanicochemical Degradation in a Planetary Ball Mill," *Sustain.*, vol. 15, no. 2, pp. 1–18, 2023, doi: 10.3390/su15021353.
- [9] D. Cahyadi, "Metode Proses Desain Dalam Metodologi Desain: Pendekatan Sistematis Dan Efektif Dalam Merancang Produk Dan Sistem," 2023, [Online]. Available: <http://eprints.unm.ac.id/id/eprint/28729>
- [10] I. Sularso, "Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin," (*No Title*), 1978.
- [11] P. Akhir, "LINGKUNGAN BERTENAGA ANGIN DAN SURYA GUNA BANGKA BELITUNG," 2024.
- [12] Sularso, D. Pemilihan, and E. Mesin, "Sularso Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin," 2000.
- [13] D. Murdianto and D. Santoso, "Pemodelan Mesin Pencacah Limbah Pertanian Menggunakan Petri Net," *J-PEN Borneo J. Ilmu Pertan.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–5, 2022.
- [14] B. A. B. Iii and K. D. Komputer, "Bab iii sistem komputer 3.1," pp. 32–51, 2013.