

## ANALISIS KEKUATAN RANGKA MESIN PENCACAH KERTAS KAPASITAS 10 KG MENGGUNAKAN ELEMEN HINGGA

### *STRENGTH ANALYSIS OF A FRAME OF A 10 KG CAPACITY PAPER CRUSHER USING FINITE ELEMENTS*

<sup>1</sup>Ahmad Mudai, <sup>2</sup>Rezi Ibrahimovic, <sup>3</sup>Triyansyah Dena Saputra, <sup>4</sup>Tubagus Fathurrohman, <sup>5</sup>Zaenal  
Aan Arifianto

<sup>1,2,3,4,5</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang  
Jl. Raya Jakarta Km 5 No.6, Kalodran, Kec. Walantaka, Kota Serang, Banten 42183  
email : <sup>1</sup>dosen10017@unpam.ac.id

#### ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan struktur rangka mesin pencacah kertas berkapasitas 10 kg yang menggunakan metode elemen hingga (finite element method/fem). Penelitian ini menggunakan perangkat lunak solidworks 2017. Analisis dilakukan dengan mengubah beban 100 n, 150 n, dan 200 n. Mengetahui tegangan maksimum (stress), perpindahan (displacement), dan faktor keamanan (safety factor) pada struktur rangka adalah tujuan utama penelitian ini. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum 8,92 mpa masih jauh di bawah batas leleh material *astm a36* sebesar 250 mpa, dan perpindahan maksimum 0,16 mm menunjukkan kekakuan yang baik dari struktur. Desain struktur memiliki faktor keamanan (fos) terendah sebesar 28,04, yang menunjukkan bahwa itu sangat aman dan layak digunakan. Studi ini memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan desain rangka mesin yang efektif dan tahan lama. Desain struktur memiliki faktor keamanan (fos) terendah sebesar 28,04, yang menunjukkan bahwa itu sangat aman dan layak digunakan. Penelitian ini memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan desain rangka mesin pengelolaan limbah kertas yang efektif dan tahan lama.

**Kata Kunci : Analisis, Rangka, Elemen Hingga, Kertas**

#### ABSTRACT

*The purpose of this study is to determine the strength of the frame structure of a 10 kg paper shredder machine using the Finite Element Method (Fem). This study uses Solidworks 2017 software. The analysis was carried out by changing the load to 100 N, 150 N, and 200 N. Knowing the maximum stress, displacement, and safety factor on the frame structure is the main objective of this study. The simulation results show that the maximum stress value of 8.92 MPa is still far below the yield limit of ASTM A36 material of 250 MPa, and the maximum displacement of 0.16 mm indicates good stiffness of the structure. The structural design has the lowest safety factor (Fos) of 28.04, which indicates that it is very safe and feasible to use. This study provides a strong basis for the development of an effective and durable machine frame design. The structural design has the lowest factor of safety (FOS) of 28.04, indicating it is highly safe and feasible for use. This research provides a solid foundation for developing an effective and durable paper waste management machine frame design.*

**Keywords : Analysis, Frame, Finite Element, Paper**

## I. PENDAHULUAN

Mesin pencacah kertas adalah komponen penting dalam industri pengolahan limbah dan daur ulang karena membantu mengurangi jumlah limbah kertas yang dibuat oleh manusia di era yang semakin peduli dengan lingkungan. Mesin-mesin ini mengurangi penggunaan pohon dan kontribusi sampah ke tempat pembuangan akhir. Ini meningkatkan kebutuhan akan mesin yang tahan lama dan kuat, sampah dapat digunakan sebagai bahan baku untuk industri kreatif untuk membuat produk dari sampah jenis tertentu. Menurut (Riyadi, Suyadi, and Sopyan 2020) Salah satunya adalah

sampah kertas. Data yang dikumpulkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup (KLHK) pada tahun 2020 menunjukkan bahwa Indonesia menghasilkan 34,5 juta ton sampah per tahun; dari jumlah ini, 12% terdiri dari sampah kertas dan karton, dan 43% masih belum dikelola dan merupakan limbah yang merusak lingkungan.(Vina Elvira 2025)

Seiring dengan meningkatnya aktivitas di sektor perkantoran, lembaga pendidikan, dan lembaga pemerintahan, volume arsip dan dokumen berbasis kertas juga terus meningkat. Tumpukan kertas berasal dari kegiatan administratif yang rumit, seperti surat-menyurat, penyimpanan data fisik, laporan berkala, dan dokumen legal. Setelah dokumen ini melewati masa pakai atau tidak lagi dibutuhkan, mereka harus dikelola dengan benar agar tidak menimbulkan masalah baru terkait keamanan data dan lingkungan(Raharjo, Hidayat, and Dzil Ikram 2024).

Hadirnya teknologi tepat guna seperti mesin pencacah kertas semakin menjadi solusi untuk masalah ini. Mesin pencacah kertas dapat menghancurkan dokumen dalam jumlah besar dengan cepat, efisien, dan aman. Teknologi ini secara signifikan dapat mengurangi waktu proses pemusnahan arsip dan meminimalkan kontak langsung pengguna dengan dokumen sensitif, sehingga mengurangi kemungkinan kebocoran informasi.(Januar Adam Anggito Abimanyu, Nur Rohmat 2022) Selain itu, tidak seperti pembakaran, penggunaan mesin pencacah kertas tidak menghasilkan emisi lingkungan. Bahkan cacahan kertas dapat didaur ulang menjadi produk ramah lingkungan lainnya, seperti kertas daur ulang, bahan kemasan, atau bahan dasar kertas baru. Ini pasti akan sejalan dengan upaya global untuk menerapkan prinsip keberlanjutan dan pengelolaan limbah yang bertanggung jawab.Hal tersebutlah yang menjadi salah satu keinginan kami mengambil penelitian ini . Dengan memengatkan aspek kualitas pada rangka mesin cacah kertas untuk mendapatkan suatu produk yang berkualitas .Adanya Mesin pencacah kertas ini semoga bisa membantu mengurangi tingkat sampah yang setiap hari nya menumpuk . Sampah kertas adalah sampah organik yang dapat hancur secara alami.. Kertas adalah benda dengan bidang tipis dan rata yang terbuat dari kompresi serat tumbuhan dan serat alam. Masyarakat menggunakan kertas setiap hari.

Media kertas tidak dapat dihindari di lingkungan perkantoran. Dalam perkantoran, media kertas paling sering digunakan untuk dokumen administrasi. Meningkatnya kebutuhan kertas mendorong industri kertas untuk meningkatkan jumlah produksinya. Serat yang digunakan untuk membuat kertas berasal dari pepohonan, jadi akan ada

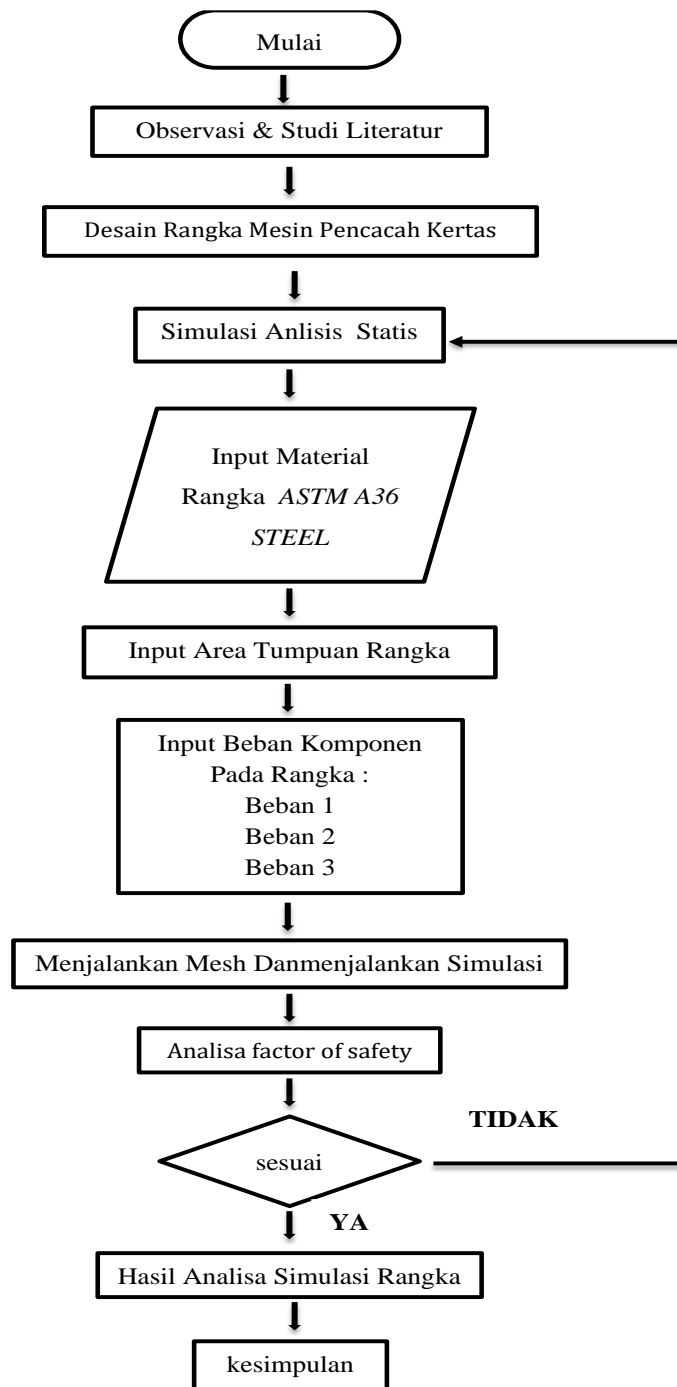
peningkatan penebangan pohon, yang berdampak negatif pada lingkungan (Moh. Azizi Hakim, Fahmi Qudratullah, Erik Heriyana, Sony Sukmara 2023a)

Analisis kekuatan sangat penting untuk memastikan keamanan dan efisiensi operasional mesin. Analisis ini memastikan bahwa rangka mesin tidak hanya kokoh tetapi juga mampu menahan beban kerja berkelanjutan. Dengan melakukan pemeriksaan menyeluruh, kelemahan rangka dapat ditemukan dan diperbaiki sejak tahap desain, sehingga mengurangi risiko kerusakan selama penggunaan mesin dan meningkatkan umur operasionalnya. Sangat penting untuk merencanakan dengan baik sebelum membuat produk dengan harga murah dan kualitas yang baik. (Nani Mulyaningsih, Wahyuchandra Ramadhani, and Sri Hastuti 2023) Dengan cara ini, mesin pencacah kertas dapat bersaing dengan produk lain di pasar. Mesin pencacah kertas ini tampak sederhana dan menarik, sehingga mungkin ditempatkan di ruang kantor dan kampus. Banyak sampah kertas dibuat di kantor, sekolah, dan kampus. (Arif and Pamulang 2023) Metode elemen hingga (*FEM*) adalah teknik analisis yang canggih untuk menguji kekuatan komponen mekanik. Ini memungkinkan perhitungan dan simulasi rinci dari respons struktur mesin terhadap beban. Ini memberi desainer kesempatan untuk mengoptimalkan penggunaan struktur dan material. Jumlah kertas yang tidak layak digunakan semakin meningkat, sehingga diperlukan mesin pencacah kertas yang dapat menangani banyak kertas. (Arif and Pamulang 2023)

## II. METODE PELAKSANAAN

Metodologi penelitian ini dimulai dengan membaca literatur tentang teknik mesin, artikel ilmiah, jurnal penelitian, dan dokumen teknis tentang perancangan struktur, metode elemen hingga (*Finite Element Method*), dan penggunaan perangkat lunak *CAD*, khususnya *SolidWorks*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengumpulkan informasi dan teori yang relevan sebagai dasar konseptual untuk merancang dan menganalisis rangka mesin pencacah kertas. Setelah proses pengumpulan literatur selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan pemodelan digital terhadap rangka mesin pencacah kertas dengan kapasitas 10 kg. Pemodelan ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks 2017*, yang tidak hanya digunakan untuk menggambar desain, tetapi juga untuk melakukan simulasi pembebanan. Simulasi ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana respon rangka terhadap gaya atau tekanan tertentu yang diberikan, sehingga dapat diketahui distribusi tegangan, perpindahan, serta kekuatan

struktur secara keseluruhan. Alur atau rute kegiatan penelitian dari awal hingga akhir digambarkan dalam diagram alir (*flowchart*) di Gambar 1bawah ini.



Gambar 1. diagram alir penelitian

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

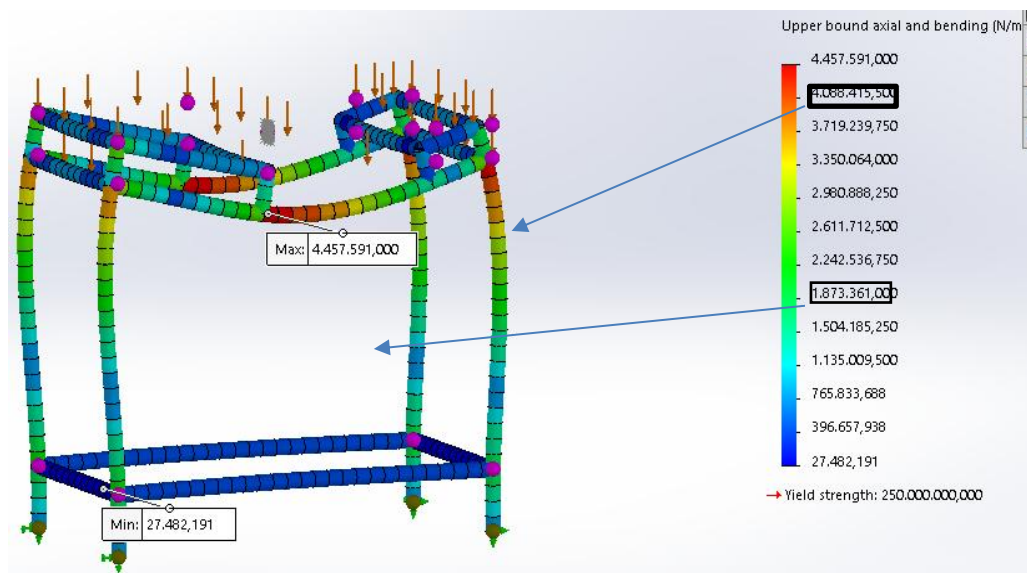
Tegangan, juga dikenal sebagai *stress* ( $\sigma$ ), adalah besaran mekanik yang menunjukkan seberapa besar gaya internal yang bekerja pada suatu material karena beban luar. Dalam kasus ini, tegangan dihasilkan dari gaya tekan vertikal yang diterapkan pada struktur rangka yang disimulasikan dalam *solidworks*. Metode elemen

hingga, yang memperhitungkan pengaruh aksial dan lentur secara bersamaan, digunakan untuk menghitung tegangan.

$$P = 100 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{100}{2.237 \times 10^{-4}} \\ &= 4.47 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \\ &= 0.447 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Hasil dari *stress analysis* adalah ini. *Software solidworks 2017* digunakan untuk mesin pencacah kertas. Analitik tegangan didasarkan pada teori kegagalan karena energi distorsi. Nilai analisis stres tidak boleh lebih besar dari nilai kekuatan pelepasan material karena ini menunjukkan bahwa desain tidak berhasil. Berikut adalah simulasi analisis stress dengan beban 100N di tunjukan pada gambar 2



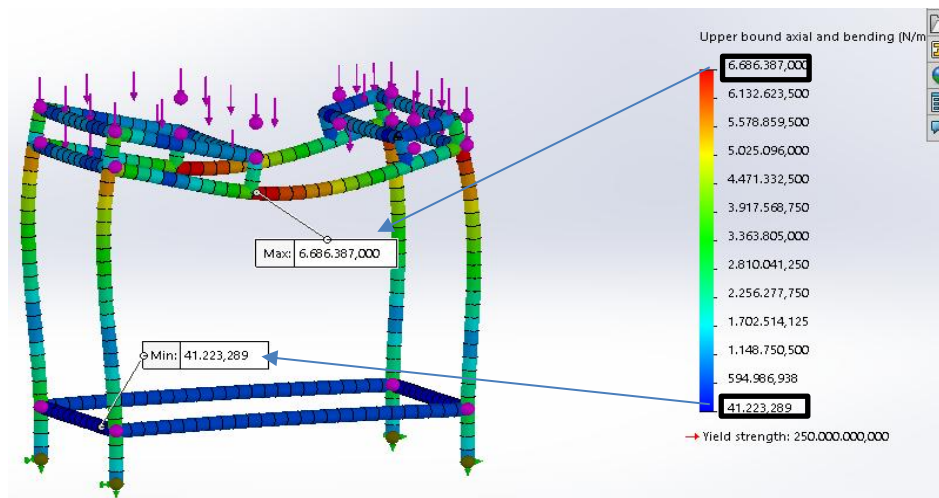
Gambar 1 hasil simulasi analisis stress simulasi beban 100N (*stress analysis*)

Hasil dari simulasi analisis tegangan menunjukkan bahwa pada saat rangka mesin pencacah kertas diberi beban sebesar 100 Newton, terjadi tegangan maksimum sebesar 4.457.591 N/m<sup>2</sup>, atau sekitar 4.46 mpa. Nilai tegangan ini sangat rendah dibandingkan dengan kekuatan luluh (yield strength) material yang digunakan, yang sekitar 250 mpa. Ini menunjukkan bahwa struktur rangka bekerja dalam wilayah elastis di mana deformasi yang terjadi bersifat sementara dan tidak permanen. Ini menunjukkan bahwa desain rangka dapat menahan beban tersebut.

$$P = 150 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{150}{2.237 \times 10^{-4}} \\ &= 6.70 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \\ &= 0.670 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Simulasi dilakukan dengan meningkatkan beban menjadi 150 Newton untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan beban terhadap distribusi tegangan pada rangka. Simulasi dengan beban 150N menunjukkan perubahan pola distribusi tegangan dan titik-titik konsentrasi gaya yang signifikan. Gambar 3 menunjukkan area bertegangan untuk data visualisasi hasil simulasi ini.



Gambar 2 Hasil Simulasi Analisis Stres Simulasi Beban 150N (*Stress Analysis*)

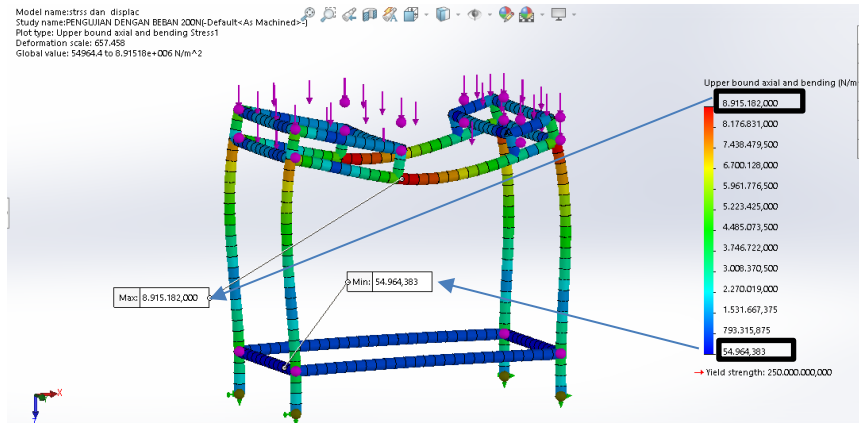
Dengan beban 150 Newton, tegangan maksimum adalah 6.686.387 N/m<sup>2</sup> (atau 6,69 mpa). Dengan beban 200 Newton, tegangan maksimum meningkat menjadi 8.915.182 N/m<sup>2</sup> (atau 8,92 mpa). Tidak ada deformasi permanen pada struktur yang dianalisis karena nilai-nilai ini jauh di bawah batas elastis material yang digunakan. Hubungan linier antara gaya yang diterapkan dan tegangan yang dihasilkan ditunjukkan oleh peningkatan tegangan seiring bertambahnya beban. Dalam rentang elastis material, tegangan sebanding dengan regangan selama tegangan tidak melampaui batas proporsionalitas material.

**P = 200 N**

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{200}{2.237 \times 10^{-4}} \\ &= 8.94 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \\ &= 0.894 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Menunjukkan distribusi tegangan maksimum terhadap variasi beban, yang menunjukkan hubungan linier yang menunjukkan bahwa desain struktur masih aman dan efisien dalam menerima beban hingga 200 Newton. Grafik ini memperkuat

kesimpulan bahwa tidak ada anomali atau konsentrasi tegangan yang dapat menyebabkan kegagalan struktur pada rentang pembebanan yang diuji. Dapat di lihat pada Gambar 4.



Gambar 3 Hasil Simulasi Analisis Stres Simulasi Beban 200N (*Stress Analysis*)

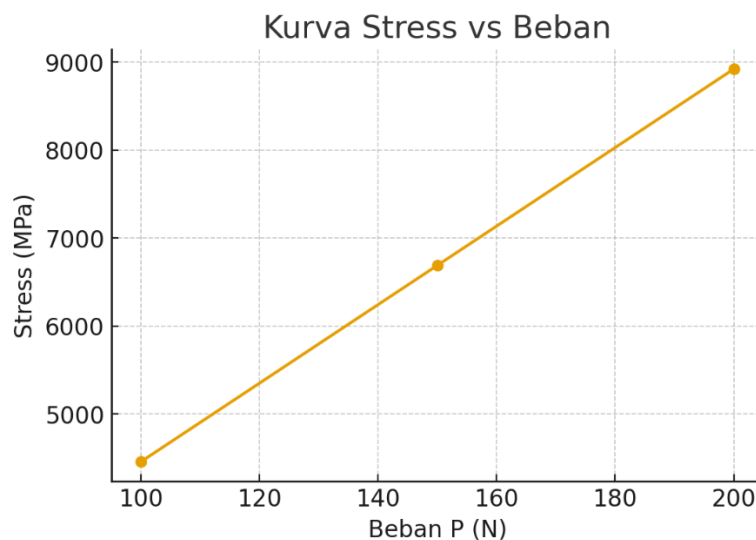
Secara umum, hasil simulasi menunjukkan bahwa, meskipun tegangan meningkat seiring dengan beban, nilai-nilai struktur tetap berada dalam zona aman. Ini menunjukkan bahwa desain struktur dapat menahan beban hingga 200 Newton tanpa mengalami deformasi plastis atau risiko kegagalan. Dengan demikian, struktur dapat dikategorikan sebagai stabil dan aman untuk digunakan di batas beban yang diuji. Dapat kita lihat pada Tabel 1

Tabel 1. Hasil Pengujian Stress Pada Rangka Beban 100 N, 150N Dan 300N

<b>NILAI STRESS MAX DARI HASIL SIMULASI DENGAN YIELD STRENGTH:</b>				
<b>No.</b>	<b>Beban (N)</b>	<b>Stress Max (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Yield Strength (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Rasio (%)</b>
1	100	4,46 MPA	250 MPA	1.78%
2	150	6,69 MPA	250 MPA	2.67%
3	200	8,92 MPA	250 MPA	3.57%

Hasil simulasi metode elemen hingga (*Finite Element Method*) menunjukkan bahwa nilai tegangan (stress) meningkat secara linear terhadap peningkatan beban yang diberikan pada rangka mesin pencacah. Pada pembebanan sebesar 100 N, tegangan maksimum tercatat sebesar 0,447 MPa. Ketika beban dinaikkan menjadi 150 N, tegangan meningkat menjadi 0,670 MPa, dan pada beban tertinggi 200 N, nilai tegangan mencapai 0,894 MPa. Peningkatan ini menunjukkan hubungan proporsional antara gaya eksternal yang diterapkan dengan respon tegangan pada struktur, sebagaimana dijelaskan oleh hukum Hooke untuk kondisi elastis material. Nilai-nilai tegangan yang dihasilkan masih jauh di

bawah batas leleh (yield strength) material ASTM A36 sebesar 250 MPa, sehingga dapat disimpulkan bahwa rangka bekerja sepenuhnya dalam kondisi elastis tanpa risiko kegagalan material. Dengan demikian, struktur rangka mesin pencacah dapat dikategorikan aman dan stabil terhadap beban operasional yang disimulasikan. Hubungan antara peningkatan beban dan distribusi tegangan divisualisasikan pada Gambar 5, yang menunjukkan persebaran tegangan maksimum berada pada titik tumpuan dan sambungan utama rangka.



Gambar 5. Grafik Stress

Grafik menunjukkan bahwa stress yang terjadi meningkat secara linear terhadap beban.

- Pada beban 100 N, stress sebesar 0.447 MPa.
- Pada beban 150 N, stress naik menjadi 0.670 MPa.
- Pada beban 200 N, stress mencapai 0.894 MPa.

Grafik pada hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan meningkat sebanding dengan besarnya beban yang diterapkan pada rangka mesin pencacah. Fenomena ini membuktikan adanya hubungan linear antara gaya luar dan respon material, sesuai dengan perilaku elastis berdasarkan hukum Hooke. Nilai tegangan maksimum (stress) yang dihasilkan dari setiap variasi pembebanan masih jauh lebih kecil dibandingkan dengan batas leleh (yield strength) material ASTM A36, yaitu sebesar 250 MPa. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa rangka tetap berada dalam kondisi aman dan elastis, tanpa indikasi kegagalan struktural maupun deformasi permanen. Temuan ini memperkuat hasil analisis sebelumnya bahwa desain rangka memiliki kekakuan dan

kekuatan struktural yang memadai untuk menahan beban operasional mesin secara efektif.

#### **IV. KESIMPULAN DAN SARAN**

##### **A. KESIMPULAN**

1. Rangka mesin pencacah kertas mampu menahan beban kerja hingga 200 N dengan displacement maksimum hanya 0,01592 cm (0,16 mm), menunjukkan kekakuan yang baik.
2. Tegangan maksimum tercatat 8,92 MPa pada beban 200 N, jauh di bawah batas leleh material ASTM A36 (250 MPa), sehingga struktur tetap bekerja dalam zona elastis.
3. Faktor keamanan minimum sebesar 28,04 pada beban 200 N, menunjukkan margin keamanan lebih dari 28 kali lipat terhadap beban kerja.
4. Secara keseluruhan, rangka mesin pencacah kertas dengan material ASTM A36 terbukti layak digunakan, mampu menahan kapasitas 10 kg tanpa deformasi atau tegangan berlebih.
5. Hasil FEA menunjukkan bahwa desain rangka sangat aman dan tahan terhadap kondisi operasional, mendukung penggunaan mesin secara andal dan konsisten.

##### **B. SARAN**

1. Lakukan pengujian mesin secara nyata untuk memverifikasi hasil simulasi FEA, terutama pada kondisi operasional dengan beban penuh.
2. Pertimbangkan perlakuan panas (heat treatment) atau penggunaan material alternatif untuk meningkatkan ketahanan aus dan umur pakai rangka.
3. Kembangkan desain modular pada rangka agar perawatan dan penggantian komponen lebih mudah dan cepat.
4. Lakukan analisis tambahan untuk beban dinamis atau kondisi ekstrim, seperti getaran mesin atau benturan saat pencacahan.
5. Pertimbangkan penambahan fitur penguat lokal (bracing) pada titik yang memiliki tegangan tinggi untuk meningkatkan kekakuan tanpa menambah berat berlebih.
6. Terapkan metode FEA pada komponen lain, seperti rotor atau pisau, untuk memastikan keseluruhan sistem mesin bekerja aman dan efisien.

#### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Saya mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Pamulang Kampus Serang, rekan-rekan dosen dan mahasiswa, serta Tim Peneliti Teknik

Mesin atas dukungan dan partisipasinya dalam kegiatan ini. Terima kasih juga kepada semua pihak yang telah berkontribusi, baik secara moral maupun material. Semoga kerja sama ini terus berlanjut dan memberikan manfaat bagi masyarakat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, Adam, Fergi Alamsyah, And Yudha C Utama. 2020. “Rancangan Dan Simulasi Mesin Pencacah Sampah Plastik Jenis Pete Dan Ldpe Metode ‘Single Group Cutter,’” 91.
- Anggara, M Robby, Irawan Malik, Almadora Anwar Sani, Mahasiswa Program, Studi Teknik, Mesin Produksi, Dan Perawatan, Et Al. 2023. “Perancangan Dan Analisis Struktur Statis Pada Meja Cnc Plasma Cutting Menggunakan Solidworks Informasi Artikel Abstrak” 4 (1): 2023. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7684151>.
- Arif, Syaiful, And Universitas Pamulang. 2023. “Analisis Rangka Pada Mesin Pencacah Kertas Menggunakan Software Solidworks,” No. October 2022. <https://doi.org/10.32493/jiptek.v4i1.25823>.
- Danial Fayyadh Mohd Idris, Mohd, And Mohd Faizal Esa. 2021. “Design, Analysis And Optimization Using Solidwork Simulation Of Chair Ladder.” *Progress In Engineering Application And Technology* 2 (2): 947–57. <https://doi.org/10.30880/peat.2021.02.02.086>.
- Fariz Luthfi Nurulhadi, And Rizal Hanifi. 2022. “Analisis Kekuatan Dan Desain Frame Mini Bike 20 Inch Menggunakan Pendekatan Elemen Method (FEM),” May.
- Felani, Ahmad, And Dony Hidayat Al-Janani. 2021. “Analisis Statis Konstruksi Dan Lance Tube Sootblower Tipe Motorised Rotary Menggunakan Software Solidworks 2016.” *Jurnal Rekayasa Mesin* 12 (2): 243–50. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2021.012.02.1>.
- Halim, Arfan, Ilmawan Suryapradana, Akbar P Perawatan Mesin, Politeknik Sinar Mas Berau Coal, Jl II Raja Alam, Kabupaten Berau, And Kalimantan Timur. 2025. “Analisis Struktur Rangka Box Fermentasi Biji Kakao Menggunakan Metode Elemen Hingga.” *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol. 20. <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>.
- Ismail, Furqani. 2022. “Pujono , Solidwoks.” *Analisis Kekuatan Rangka Mesin Protok Padi Menggunakan Solidworks 2019*.
- Januar Adam Anggito Abimanyu, Nur Rohmat, Syaiful Arif. 2022. “Analisis Rangka Pada Mesin Pencacah Kertas Menggunakan Software Solidworks” 4 (1): 27–35.
- Khoryanton, Ampala, Ardien Devri Karuniawan, And Farika Tono Putri. 2023. “Analisis Pembebanan Rangka Penopang Tangki IBC Dumping Table Hidrolik.” *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol. 18. <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>.