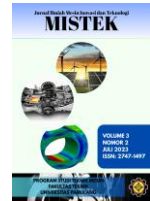




JURNAL TEKNIK MESIN MISTEK MESIN INOVASI DAN TEKNOLOGI



ANALISIS SUDUT MATA PISAU MESIN PENCACAH KERTAS DENGAN COMPUTER AIDED ENGINEERING (CAE)

Gilang Romadon¹, Sukandar², Mohamad Sjahmanto³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : gilangromadon0912@gmail.com¹

Masuk : 27 Mei 2023

Direvisi : 10 Juni 2023

Disetujui : 28 Juli 2023

Abstrak: Komponen utama yang menentukan keberhasilan proses pencacahan adalah *blade* atau mata pisau. Karena itu, analisis mata pisau perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum tahap manufaktur. Metode yang umum digunakan peneliti untuk menganalisis tegangan, regangan, dan *safety factor* dilakukan melalui simulasi dengan variasi beban 10 kg, 20 kg, dan 30 kg serta sudut mata pisau 35°. Berdasarkan hasil simulasi, beban 30 kg menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 146,968 N/mm², sementara beban 10 kg menghasilkan tegangan terendah yaitu 48,98 N/mm². Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan beban pada bahan AISI 304 berbanding lurus dengan peningkatan tegangan yang muncul. Regangan maksimum terjadi pada pembebanan 30 kg dengan nilai $3,6 \times 10^{-4}$, sedangkan beban 10 kg menghasilkan regangan $1,2 \times 10^{-4}$. Dengan demikian, semakin besar beban yang diterapkan, semakin besar pula nilai regangan yang menandakan deformasi bentuk yang lebih signifikan. Simulasi *safety factor* memperlihatkan tren penurunan nilai ketika beban meningkat. Pada beban 10 kg, *safety factor* mencapai nilai tertinggi 5,3, sedangkan pada beban 30 kg nilainya menurun menjadi 1,5. Oleh sebab itu, pada pembebanan 30 kg, mata pisau dari bahan AISI 304 berada pada kondisi mendekati atau melampaui batas kekuatan materialnya.

Kata Kunci: Analisis Tegangan, Deformasi, *Safety Factor*, AISI 304, Mesin Pencacah Kertas.

Abstract: The main component that determines the success of the shredding process is the blade. Therefore, it is essential to analyze the blade before proceeding to the manufacturing stage. A commonly used method by researchers to analyze stress, strain, and safety factor is simulation with varying loads of 10 kg, 20 kg, and 30 kg, as well as a blade angle of 35°. Based on the simulation results, the 30 kg load produced the highest stress value of 146.968 N/mm², while the 10 kg load produced the lowest stress value of 48.98 N/mm². These findings indicate that the increase in load on AISI 304 material is directly proportional to the increase in stress. The maximum strain occurred at a load of 30 kg with a value of 3.6×10^{-4} , while the 10 kg load resulted in a strain of 1.2×10^{-4} . This shows that a greater applied load results in a higher strain value, indicating more significant deformation. The safety factor simulation revealed a decreasing trend as the load increased. At a load of 10 kg, the safety factor reached its highest value of 5.3, whereas at 30 kg it decreased to 1.5. Therefore, at a load of 30 kg, the AISI 304 blade approaches or even exceeds the material's strength limit.

Keywords: Stress Analysis, Deformation, *Safety Factor*, AISI 304, Paper Shredder Machine.

PENDAHULUAN

Kertas merupakan salah satu bahan yang paling banyak digunakan dalam kehidupan manusia, baik di rumah, kantor, maupun lingkungan pendidikan. Tingginya tingkat konsumsi kertas menjadikannya sebagai salah satu sumber limbah padat terbesar. Produksi kertas yang berasal dari kayu pohon memberikan dampak negatif terhadap lingkungan karena berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem dan mempercepat laju deforestasi. Oleh karena itu, upaya pengelolaan limbah kertas menjadi hal yang sangat penting dalam mendukung keberlanjutan lingkungan. Melalui praktik daur ulang kertas, pemanfaatan kembali limbah kertas tidak hanya mampu menjaga keseimbangan alam, tetapi juga membantu mengurangi emisi gas rumah kaca serta mendukung program pengelolaan limbah nasional [1].

Di lingkungan akademik, aktivitas administrasi dan pembelajaran sering kali menghasilkan jumlah limbah kertas yang cukup besar. Meskipun kertas secara alami mudah terurai, akumulasi limbah kertas dalam jumlah besar dapat menimbulkan permasalahan baru jika tidak dikelola dengan baik [2]. Daurlang kertas bekas menjadi alternatif solusi yang

bernilai ekonomis karena mampu mengurangi biaya produksi dan menambah pendapatan masyarakat dari hasil pengolahan limbah [3]. Untuk menunjang proses daur ulang, diperlukan peralatan yang efektif dalam mengubah kertas bekas menjadi potongan kecil yang siap diolah kembali. Mesin pencacah kertas berperan penting dalam tahapan ini, karena proses pencacahan yang baik akan menghasilkan ukuran serat yang sesuai untuk proses daur ulang berikutnya.

Menurut Noormansyah (2021), rancangan mesin pencacah kertas tipe *zig-zag* memiliki kapasitas pencacahan hingga 42,1 kg/jam dengan kebutuhan daya 200 watt [4]. Dalam perancangan mesin ini, analisis terhadap komponen pisau menjadi aspek penting karena pisau menerima beban terbesar selama proses pemotongan. Penelitian serupa oleh Ahmad Kholil et al. (2018) juga menegaskan bahwa desain dan diameter pisau sangat memengaruhi hasil cacahan serta tingkat keausan pisau [5]. Dengan demikian, perancangan dan analisis kekuatan pisau menjadi hal krusial untuk memastikan performa mesin pencacah berjalan optimal dan aman.

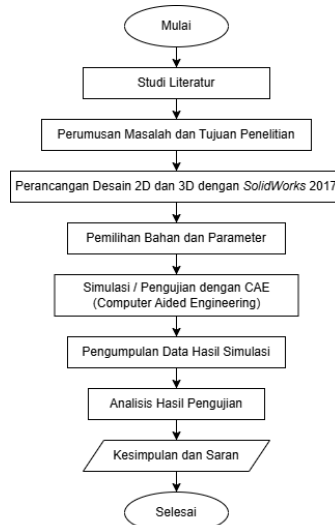
Mata pisau pada mesin pencacah umumnya dibuat dari bahan logam seperti AISI 304 yang memiliki sifat tahan korosi dan kekuatan tarik yang tinggi. Namun, saat menerima beban potong yang besar, mata pisau berpotensi mengalami tegangan, regangan, serta penurunan faktor keamanan (*safety factor*). Untuk itu, analisis kekuatan struktur menggunakan metode *Computer Aided Engineering* (CAE) menjadi langkah penting untuk memprediksi respon material terhadap beban tertentu. Analisis ini memungkinkan peneliti mengetahui distribusi tegangan, regangan, dan nilai *safety factor* secara akurat sebelum proses manufaktur dilakukan.

Penelitian ini difokuskan untuk menganalisis tegangan, regangan, dan *safety factor* pada mata pisau mesin pencacah kertas berbahan AISI 304 dengan variasi pembebanan 10 kg, 20 kg, dan 30 kg serta sudut mata pisau 35°. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan acuan dalam perancangan dan pengembangan mesin pencacah kertas yang lebih efisien, aman, dan tahan lama.

METODOLOGI

Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian menggambarkan tahapan kegiatan yang dilakukan secara sistematis mulai dari perumusan masalah hingga penarikan kesimpulan. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1, yang menjelaskan urutan proses penelitian dari awal hingga akhir.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Metode Pengumpulan Data

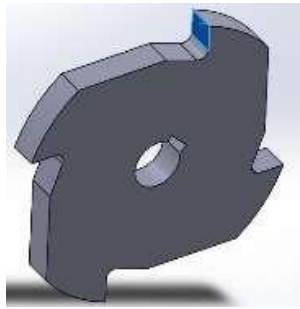
Data penelitian diperoleh melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan. Tahap pertama adalah studi literatur, yaitu pengumpulan data sekunder dari berbagai sumber seperti buku, jurnal ilmiah, artikel, serta referensi daring yang relevan dengan topik penelitian mengenai mesin pencacah kertas dan analisis kekuatan material menggunakan *Computer Aided Engineering* (CAE). Tahap berikutnya adalah konsultasi dan wawancara dengan dosen pembimbing untuk memastikan arah penelitian dan validitas pendekatan analisis yang digunakan. Selain itu, dilakukan juga observasi dan dokumentasi dengan cara mengamati proses simulasi serta mencatat data hasil analisis berupa nilai tegangan (*stress*), regangan (*strain*), dan faktor keamanan (*safety factor*) yang diperoleh dari hasil simulasi. Data yang terkumpul dari ketiga tahap tersebut digunakan sebagai dasar analisis dan pembahasan dalam penelitian ini.

Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik Mesin Universitas Pamulang, berlokasi di Jl. Surya Kencana No.1, Pamulang Barat. Lokasi ini dipilih karena memiliki fasilitas yang memadai untuk mendukung kegiatan simulasi dan analisis, serta sesuai dengan kebutuhan penelitian terkait desain dan analisis kekuatan mata pisau mesin pencacah kertas.

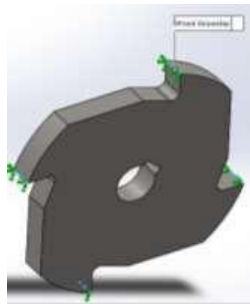
Proses Simulasi

Proses simulasi dilakukan untuk menganalisis kinerja mata pisau mesin pencacah kertas menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* 2017 dengan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Mata pisau yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ukuran ketebalan 30 mm dan tinggi 150 mm, serta terbuat dari material AISI 304. Desain mata pisau ditampilkan pada Gambar 2, di mana model rancangan terdiri dari empat mata pisau yang diatur secara simetris pada poros pemotong. Model tiga dimensi ini menjadi dasar untuk proses simulasi yang bertujuan memperoleh distribusi tegangan, regangan, dan *safety factor* pada berbagai kondisi pembebanan.



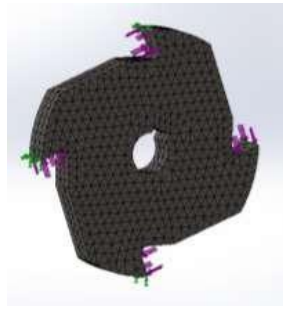
Gambar 2. Desain Mata Pisau

Pada tahap awal simulasi, bagian *Fixed Geometry* didefinisikan sebagai titik tumpuan yang dianggap tidak bergerak. Area ini berfungsi sebagai batas referensi yang akan menahan gaya selama proses simulasi berlangsung. Penerapan *Fixed Geometry* penting untuk memastikan bahwa mata pisau tetap berada pada posisi diam dan tidak mengalami perpindahan selama proses analisis. Selanjutnya, pembebanan diberikan pada empat titik utama di permukaan pisau, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Variasi beban yang digunakan dalam simulasi meliputi 10 kg, 20 kg, dan 30 kg, untuk menganalisis pengaruh beban terhadap nilai tegangan (*stress*), regangan (*strain*), dan faktor keamanan (*safety factor*).



Gambar 3. Mata Pisau Force Sebagai Pembebanan

Proses *meshing* dilakukan untuk membagi model geometri mata pisau menjadi elemen-elemen kecil yang disebut *nodes* dan *elements*. Tahapan ini dikenal dengan istilah *Mesh Density*, yaitu tingkat kepadatan elemen pada model yang menentukan akurasi hasil analisis. Pada penelitian ini, pengaturan kepadatan *mesh* dilakukan dengan menyesuaikan *mesh factor* antara skala *coarse* hingga *fine*. Pengaturan ini mempengaruhi jumlah *nodes* dan tingkat detail analisis yaitu semakin tinggi kepadatan *mesh* maka semakin banyak jumlah elemen yang dihasilkan, sehingga hasil simulasi menjadi lebih akurat. Namun demikian, peningkatan kepadatan *mesh* juga akan memperbesar kebutuhan waktu dan kapasitas komputasi. Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan antara tingkat akurasi hasil dengan kemampuan sumber daya perangkat yang digunakan. Gambaran hasil *meshing* pada model mata pisau ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Mesh Density Mata Pisau

Material yang digunakan dalam simulasi adalah baja tahan karat AISI 304, yang memiliki sifat mekanik dan ketahanan korosi yang baik. Material ini banyak digunakan untuk komponen yang membutuhkan kekuatan tinggi dan ketahanan terhadap deformasi permanen. Spesifikasi mekanik material AISI 304 yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

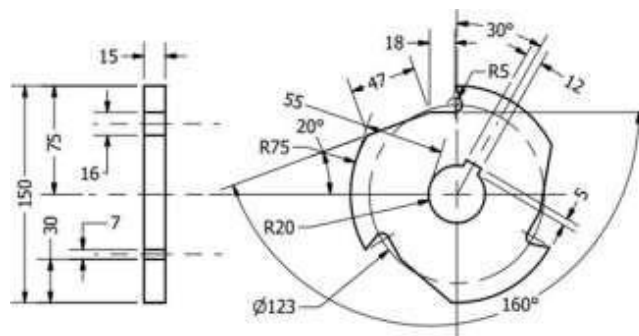
Tabel 1. Spesifikasi Baja AISI 304

Sifat Material	Nilai	Satuan
Modulus Elastisitas	$1,9 \times 10^{11}$	N/m ²
Rasio Poisson	0,29	-
Modulus Geser	$7,5 \times 10^{10}$	N/m ²
Massa Jenis	8000	kg/m ³
Kekuatan Tarik (Tensile Strength)	517.017.000	N/m ²
Kekuatan Tekan (Compressive Strength)	-	N/m ²
Kekuatan Luluh (Yield Strength)	206.807.000	N/m ²
Koefisien Muai Panas	$1,8 \times 10^{-5}$	1/K
Konduktivitas Termal	16	W/(m·K)
Kalor Jenis	500	J/(kg·K)
Rasio Redaman Material	-	-

AISI 304 memiliki kekuatan tarik sekitar 515 MPa dan kekuatan luluh sekitar 205 MPa, yang menunjukkan kemampuannya menahan beban tarik tanpa mengalami retak atau deformasi permanen. Nilai-nilai tersebut menjadikan AISI 304 sangat sesuai digunakan sebagai material mata pisau mesin pencacah kertas karena mampu menahan beban tinggi sekaligus memiliki ketahanan terhadap aus dan korosi. Dengan karakteristik tersebut, material ini diharapkan dapat memberikan hasil simulasi yang optimal dalam menilai kinerja struktur pisau terhadap berbagai variasi beban.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis perhitungan dilakukan untuk menentukan dimensi serta karakteristik mekanik dari komponen utama mesin pencacah kertas, khususnya pada bagian mata pisau. Tujuan dari analisis ini adalah memperoleh faktor-faktor penting seperti torsi, tegangan, dan regangan yang berpengaruh terhadap performa mata pisau. Geometri mata pisau ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan spesifikasi utama perancangan mesin disajikan pada Tabel 2.



Gambar 4. Geometri Mata Pisau

Tabel 2. Spesifikasi Perancangan Mesin

Spesifikasi	Nilai
Diameter pisau	150 mm (0,015 m)
Luas penampang masukan	750 mm ²
Modulus elastis kertas	0,10268 N/mm ²
Putaran motor	1400 rpm

Perhitungan torsi pada mata pisau mesin pencacah kertas dilakukan menggunakan persamaan dasar:

$$T = F \times r$$

di mana T adalah torsi (N·m), F adalah gaya (N), dan r adalah jari-jari pisau (m). Dengan diameter pisau sebesar 150 mm (0,15 m), maka jari-jarinya adalah 0,075 m. Berdasarkan perhitungan, diperoleh nilai torsi untuk setiap variasi pembebanan sebagai berikut:

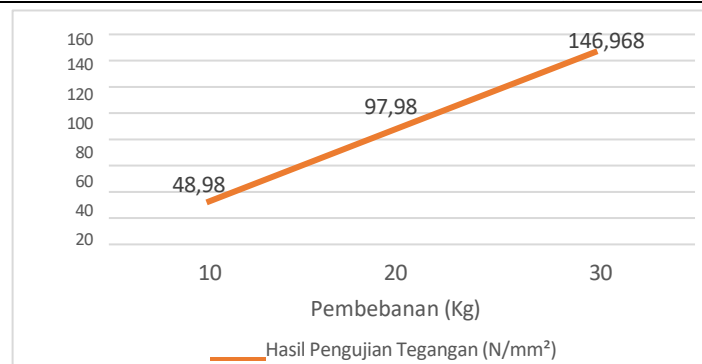
- Pada beban 10 kg, $T = 10 \times 0,075 = 7,5 \text{ N.m}$
- Pada beban 20 kg, $T = 20 \times 0,075 = 15 \text{ N.m}$
- Pada beban 30 kg, $T = 30 \times 0,075 = 22,5 \text{ N.m}$

Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diberikan, semakin tinggi nilai torsi yang dihasilkan. Torsi merupakan gaya putar yang dihasilkan ketika suatu benda dikenai gaya pada jarak tertentu dari sumbu putarnya. Pada mata pisau mesin pencacah kertas, torsi digunakan untuk menggerakkan poros sehingga menghasilkan gaya potong yang dibutuhkan untuk mencacah kertas. Dengan demikian, peningkatan beban secara langsung meningkatkan torsi yang dihasilkan oleh sistem.

Material mata pisau yang digunakan adalah AISI 304, yaitu baja tahan karat dengan kekuatan tarik dan ketahanan korosi yang baik. Sifat ini menjadikan AISI 304 ideal untuk aplikasi pemotongan, karena mampu menahan beban dinamis dan tekanan tinggi tanpa mengalami deformasi signifikan. Hasil perhitungan torsi untuk masing-masing pembebanan mengindikasikan bahwa bahan ini cukup kuat untuk menahan beban 10–30 kg dalam kondisi operasional normal. Data hasil simulasi tegangan (*stress*) menggunakan metode *Finite Element Analysis* ditunjukkan pada Tabel 3. Nilai tegangan maksimum dan minimum diperoleh dari hasil simulasi pada tiga variasi pembebanan, yaitu 10 kg, 20 kg, dan 30 kg.

Tabel 3. Hasil Tegangan (*Von Mises Stress*)

Simulasi	Beban 10 Kg (N/mm ²)	Beban 20 Kg (N/mm ²)	Beban 30 Kg (N/mm ²)
Tegangan maksimum	48,98	97,98	146,968
Tegangan minimum	9,8	19,612	29,418



Gambar 5. Hasil Pengujian Tegangan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa beban 30 kg menghasilkan tegangan tertinggi sebesar 146,968 N/mm², sedangkan beban 10 kg menghasilkan tegangan terendah sebesar 48,98 N/mm². Kenaikan nilai tegangan sebanding dengan peningkatan beban yang diterapkan, yang sesuai dengan prinsip dasar mekanika material bahwa tegangan berbanding lurus terhadap gaya luar yang bekerja. Dengan demikian, semakin besar pembebanan pada mata pisau AISI 304, semakin besar pula tegangan yang timbul. Fenomena ini memperlihatkan bahwa pada beban tertinggi (30 kg), mata pisau bekerja mendekati batas kekuatan materialnya. Oleh karena itu, analisis lanjutan terhadap nilai regangan dan *safety factor* diperlukan untuk memastikan apakah material masih berada dalam batas aman operasional pada kondisi pembebanan maksimum.

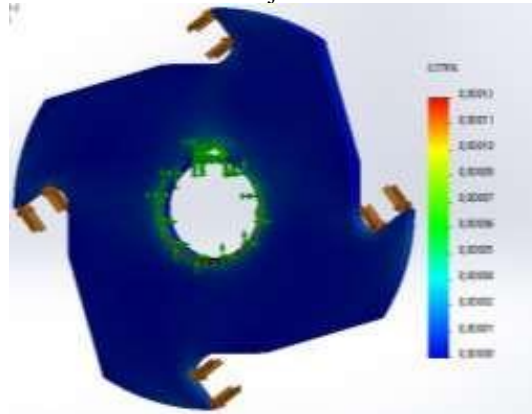
Simulasi Regangan Mata Pisau Mesin Pencacah Kertas

Simulasi regangan pada mata pisau mesin pencacah kertas bertujuan untuk memperkirakan besarnya deformasi yang terjadi ketika pisau menerima beban pemotongan. Analisis ini penting untuk mengoptimalkan desain dan pemilihan material, agar mata pisau mampu menahan pembebanan tinggi tanpa mengalami kerusakan struktural. Proses simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks 2017* dengan material AISI 304, melalui tiga variasi pembebanan, yaitu 10 kg, 20 kg, dan 30 kg. Model 2D dan 3D mata pisau dibuat terlebih dahulu sebelum dilakukan analisis elemen hingga (*Finite Element Analysis*).

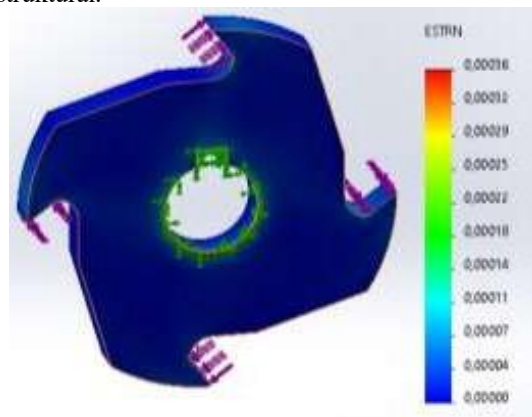
Hasil simulasi menunjukkan bahwa regangan maksimum umumnya terjadi pada bagian sudut pisau, yang merupakan area kritis karena menerima konsentrasi tegangan tertinggi. Pada visualisasi hasil simulasi, perubahan warna dari biru tua hingga kuning menunjukkan peningkatan nilai regangan, sedangkan warna merah menandakan area dengan regangan maksimum yang berpotensi mengalami deformasi.

A. Simulasi Regangan dengan Beban 10 Kg

Pada pembebanan 10 kg, hasil simulasi menunjukkan nilai regangan maksimum sebesar $1,2 \times 10^{-4}$, sementara regangan minimum adalah 0,000. Visualisasi hasil simulasi (Gambar 6) memperlihatkan area biru dengan nilai regangan sekitar $2,2 \times 10^{-5}$, yang menunjukkan bahwa struktur mata pisau masih berada dalam kondisi aman. Area berwarna merah menandakan titik kritis dengan nilai sekitar $1,1 \times 10^{-4}$, namun nilai ini masih dalam batas elastisitas material AISI 304. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pada pembebanan 10 kg, mata pisau tidak mengalami deformasi permanen dan masih bekerja dalam batas aman.

**Gambar 6. Regangan Pembebanan 10 Kg****B. Simulasi Regangan dengan Beban 30 Kg**

Pada pembebanan 30 kg, hasil simulasi menunjukkan nilai regangan maksimum sebesar $3,6 \times 10^{-4}$, sedangkan nilai regangan minimum tetap 0,000. Visualisasi hasil simulasi (Gambar 7) memperlihatkan area biru dengan nilai regangan sekitar $7,0 \times 10^{-5}$ yang masih dianggap aman, sedangkan area merah mencapai nilai $3,2 \times 10^{-4}$, menunjukkan titik kritis pada bagian sudut mata pisau. Walaupun regangan meningkat cukup signifikan dibandingkan pembebanan 10 kg, hasil analisis menunjukkan bahwa mata pisau masih mampu menahan beban tanpa mengalami kegagalan struktural.

**Gambar 7. Regangan Pembebanan 30 Kg**

Nilai regangan hasil simulasi dari ketiga variasi pembebanan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Regangan Mata Pisau Mesin Pencacah Kertas

Simulasi	Beban 10 Kg	Beban 20 Kg	Beban 30 Kg
Regangan maksimum	$1,2 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$3,6 \times 10^{-4}$
Regangan minimum	0,000	0,000	0,000



Gambar 8. Hasil Pengujian Regangan

Hasil simulasi pada tabel menunjukkan bahwa regangan meningkat secara proporsional terhadap penambahan beban. Beban 30 kg menghasilkan regangan tertinggi sebesar $3,6 \times 10^{-4}$, sedangkan beban 10 kg menghasilkan regangan terendah sebesar $1,2 \times 10^{-4}$. Peningkatan regangan ini menunjukkan bahwa semakin besar gaya yang diterapkan pada mata pisau, semakin besar pula deformasi yang terjadi. Meskipun demikian, nilai regangan yang diperoleh masih berada dalam batas elastisitas material AISI 304, sehingga tidak menimbulkan deformasi permanen.

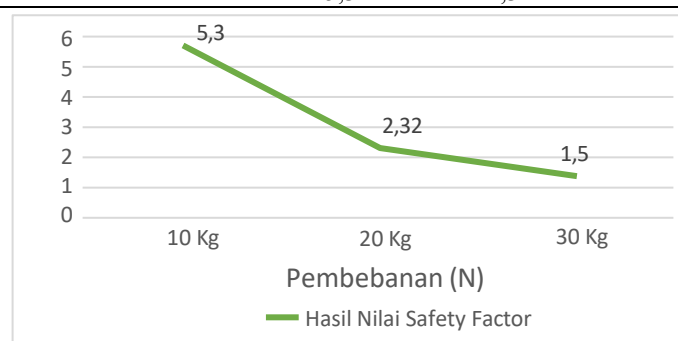
Analisis ini membuktikan bahwa peningkatan beban pemotongan pada mata pisau mesin pencacah kertas menyebabkan peningkatan regangan yang signifikan. Namun, selama nilai regangan masih berada di bawah batas elastis material, mata pisau dapat berfungsi dengan aman dan efisien. Hal ini penting untuk memastikan umur pakai pisau yang lebih panjang serta mengurangi risiko kerusakan selama operasi mesin.

Simulasi Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Simulasi faktor keamanan dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan beban kerja maksimum. Nilai faktor keamanan menunjukkan perbandingan antara kekuatan material terhadap beban yang diterima. Hasil simulasi menunjukkan adanya penurunan nilai faktor keamanan seiring bertambahnya beban. Nilai faktor keamanan tertinggi terdapat pada pembebanan 10 kg sebesar 5,3, menurun menjadi 2,32 pada beban 20 kg, dan mencapai nilai terendah 1,5 pada beban 30 kg.

Tabel 4. Hasil Simulasi Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Simulasi	Beban 10 Kg	Beban 20 Kg	Beban 30 Kg
Faktor keamanan	5,3	2,32	1,5



Gambar 8. Hasil Simulasi *Safety Factor*

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa peningkatan beban mengakibatkan penurunan faktor keamanan. Semakin besar beban yang diterapkan pada mata pisau, semakin tinggi tegangan yang dialami material. Ketika tegangan mendekati atau melampaui batas kekuatan material, risiko deformasi dan kerusakan meningkat, yang ditunjukkan oleh turunnya nilai faktor keamanan. Pada beban 30 kg, nilai faktor keamanan sebesar 1,5 menandakan bahwa mata pisau mulai mendekati batas kekuatan materialnya. Oleh karena itu, pembebanan berlebih perlu dihindari untuk menjaga keandalan dan umur pakai mata pisau mesin pencacah kertas.

Analisis Perhitungan Aktual Mata Pisau Mesin Pencacah Kertas

Analisis perhitungan aktual dilakukan untuk mengetahui besarnya gaya dan luas penampang yang bekerja pada mata pisau mesin pencacah kertas. Perhitungan ini bertujuan untuk memperoleh gambaran kuantitatif mengenai beban kerja yang diterima oleh material pisau selama proses pencacahan berlangsung. Faktor-faktor yang mempengaruhi gaya pemotongan meliputi berat beban, jenis material kertas yang dicacah, serta desain dan kondisi operasional mesin pencacah itu sendiri.

A. Gaya yang Bekerja pada Mata Pisau

Gaya yang bekerja pada mata pisau dihitung menggunakan persamaan dasar gaya gravitasi adalah $F = m \times g$, di mana:

- F = gaya (N),
- m = massa beban (kg), dan
- g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Berdasarkan persamaan tersebut, diperoleh hasil perhitungan gaya pada tiga variasi pembebanan sebagai berikut:

- Untuk beban 10 kg, $F = 10 \times 9,81 = 7,5 \text{ N}$
- Untuk beban 20 kg, $F = 20 \times 9,81 = 196,2 \text{ N}$
- Untuk beban 30 kg, $F = 30 \times 9,81 = 294,3 \text{ N}$

Dalam perhitungan ini, nilai percepatan gravitasi $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ digunakan sebagai nilai standar percepatan gravitasi di permukaan bumi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gaya meningkat secara proporsional terhadap pertambahan massa beban. Seluruh hasil gaya dinyatakan dalam satuan Newton (N), yang merupakan satuan baku untuk gaya dalam sistem internasional (SI).

B. Luas Penampang Mata Pisau

Luas penampang merupakan faktor penting dalam menentukan besarnya tegangan yang dialami oleh mata pisau. Nilai ini bergantung pada bentuk geometri dan ukuran pisau yang digunakan. Pada penelitian ini, lebar pisau (b) adalah 100 mm, dan ketebalan pisau (t) adalah 10 mm. Dengan demikian, luas penampang yang didapat adalah sebagai berikut:

$$A = b \times t$$

$$A = 100 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} = 1000 \text{ mm}^2$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa luas penampang mata pisau adalah 1000 mm^2 . Nilai ini digunakan sebagai dasar untuk perhitungan tegangan dan analisis struktural pada simulasi *Finite Element Analysis (FEA)*.

Dari hasil analisis ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar massa beban yang diterapkan pada pisau, semakin besar pula gaya potong yang bekerja pada bidang penampangnya. Kombinasi antara gaya yang tinggi dan luas penampang tertentu akan menentukan besarnya tegangan yang terjadi pada material. Oleh karena itu, pemahaman mengenai gaya dan luas penampang sangat penting untuk memastikan bahwa material mata pisau memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban kerja tanpa mengalami deformasi atau kegagalan struktural.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan simulasi yang dilakukan pada mata pisau mesin pencacah kertas menggunakan material AISI 304, dapat disimpulkan bahwa peningkatan beban berpengaruh signifikan terhadap nilai tegangan, regangan, dan faktor keamanan.

1. Hasil simulasi tegangan menunjukkan nilai tertinggi terjadi pada pembebanan 30 kg, yaitu $146,968 \text{ N/mm}^2$, sedangkan nilai terendah terdapat pada pembebanan 10 kg sebesar $48,98 \text{ N/mm}^2$. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban diberikan, semakin tinggi tegangan yang timbul pada material.

2. Hasil simulasi regangan memperlihatkan bahwa pembebanan 30 kg menghasilkan regangan maksimum sebesar $3,6 \times 10^{-4}$, sedangkan pada pembebanan 10 kg diperoleh regangan sebesar $1,2 \times 10^{-4}$. Kondisi ini mengindikasikan bahwa beban yang lebih besar menimbulkan deformasi yang lebih signifikan pada mata pisau.
3. Hasil simulasi *safety factor* menunjukkan penurunan nilai seiring bertambahnya beban. Nilai faktor keamanan tertinggi diperoleh pada pembebanan 10 kg sebesar 5,3, dan terendah pada 30 kg sebesar 1,5. Penurunan ini disebabkan oleh peningkatan beban yang tidak sebanding dengan kemampuan material menahan tegangan. Pada beban 30 kg, nilai faktor keamanan menunjukkan bahwa material AISI 304 mendekati batas kekuatannya, bahkan berpotensi melampauinya jika terjadi pembebanan berlebih.
4. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa desain dan pemilihan material mata pisau sangat berpengaruh terhadap performa dan ketahanan mesin pencacah kertas.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran dapat diajukan untuk pengembangan selanjutnya. Pertama, sebelum memulai proses perancangan suatu proyek, perlu dilakukan identifikasi desain secara menyeluruh serta perhitungan dimensi dan parameter kerja agar hasil yang diperoleh sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi teknis. Kedua, pemilihan bahan dan material hendaknya disesuaikan dengan fungsi serta kondisi kerja mesin agar daya tahan dan efisiensi operasi dapat terjaga. Ketiga, dalam penelitian selanjutnya, variasi yang dikaji tidak hanya pada aspek pembebanan, tetapi juga pada jenis material mata pisau. Hal ini akan memberikan gambaran lebih komprehensif mengenai pengaruh variasi bahan terhadap kekuatan, ketahanan aus, serta umur pakai mata pisau mesin pencacah kertas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Arfah, "Pemanfaatan Limbah Kertas Menjadi Kertas Daur Ulang Bernilai Tambah oleh Mahasiswa," *Bul. Utama Tek.*, vol. 13, no. 1, pp. 28–31, 2017, doi: 10.30743/but.v13i1.257.
- [2] G. Giacosa, C. Barnett, D. G. Rainham, and T. R. Walker, "Characterization of Annual Air Emissions Reported by Pulp and Paper Mills in Atlantic Canada," *Pollutants*, vol. 2, no. 2, pp. 135–155, 2022. doi: 10.3390/pollutants2020011.
- [3] T. Andari and R. Lusiana, "Peningkatan Kesejahteraan Masyarakat Desa Sukolilo melalui Pemanfaatan Limbah Kertas menjadi Produk Bernilai Ekonomi," *J. Terap. Abdimas*, vol. 2, pp. 48–59, 2017, doi: 10.25273/jta.v2i0.976.
- [4] D. Noormansyah, "Analisa Mata Pisau Type Zig-Zag Pada Mesin Pencacah Kertas Kapasitas 42 Kg/Jam," *J. Tek. Mesin J. Sains dan Teknol. Tek. Mesin Unisma*, vol. 16, no. 2, pp. 34–39, 2021.
- [5] A. Kholil, A. A. Juhur, and Wahyu, "Hubungan Diameter Mata Pisau dan Ring terhadap Hasil Cacahan Mesin Pencacah Gelas Plastik 220 mL dengan Metode VDI 2221," *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 5, no. 1, pp. 19–25, Apr. 2018, doi: 10.21009/JKEM.5.1.4.