

ANALISIS PERHITUNGAN MATA PISAU MESIN PENCACAH KERTAS

ANALYSIS OF PAPER CHOPPING MACHINE BLADE CALCULATION

¹Alfian Ady Saputra, ²Attala Rangga Saputra, ³Fikri Romadhon, ⁴Hamdallah Syukri Syuhada,
⁵Muhammad Affan Rizkia Ramadhan

^{1,2,3,4,5}Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pamulang

Jl. Lintas Serang - Jakarta Kampung Malandang Kel. Kelodran Kec. Walantaka, Kota Serang - Banten

email : 1dosen10017@unpam.ac.id

ABSTRAK

Perancangan dan analisis mata pisau merupakan komponen penting dalam kinerja mesin pencacah kertas, terutama dalam menjamin efisiensi pencacahan dan ketahanan terhadap keausan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perhitungan dimensi, kekuatan, dan material mata pisau yang digunakan pada mesin pencacah kertas skala rumah tangga. Metode yang digunakan meliputi perhitungan gaya geser maksimum yang bekerja pada pisau saat proses pencacahan, pemilihan material berdasarkan sifat mekanik seperti kekerasan dan ketangguhan, serta simulasi tegangan menggunakan perangkat lunak CAD/CAE. Material pisau yang dianalisis adalah SKD-11, SKH-51, dan baja karbon C45, dengan mempertimbangkan tegangan maksimum, distribusi gaya potong, dan umur kelelahan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa material SKD-11 memberikan performa terbaik dalam hal ketahanan aus dan tegangan yang dapat ditahan. Dengan optimasi bentuk dan sudut pemotongan mata pisau, mesin dapat bekerja lebih efisien dan memiliki masa pakai yang lebih lama. Studi ini diharapkan menjadi dasar dalam pengembangan mesin pencacah kertas yang lebih andal dan ekonomis.

Kata kunci: Mata Pisau, Pencacah Kertas, Analisis Tegangan, SKD-11, Perhitungan Gaya Potong, CAE.

ABSTRACT

The design and analysis of the blade is an important component in the performance of a paper shredder, especially in ensuring shredding efficiency and resistance to wear. This study aims to analyze the calculation of dimensions, strength, and material of the blade used in a household-scale paper shredder. The methods used include calculating the maximum shear force acting on the blade during the shredding process, selecting materials based on mechanical properties such as hardness and toughness, and stress simulation using CAD/CAE software. The blade materials analyzed were SKD-11, SKH-51, and C45 carbon steel, considering the maximum stress, cutting force distribution, and fatigue life. The calculation results show that the SKD-11 material provides the best performance in terms of wear resistance and stress that can be withstood. By optimizing the shape and cutting angle of the blade, the machine can work more efficiently and have a longer service life. This study is expected to be the basis for developing a more reliable and economical paper shredder.

Keywords: blade, paper shredder, stress analysis, SKD-11, cutting force calculation, CAE.

I. LATAR BELAKANG

Sampah kertas tentu saja memberikan dampak buruk bagi lingkungan, baik dari segi keindahan maupun kesehatan. Metode daur ulang kertas dapat digunakan sebagai solusi pemanfaatan kertas agar dapat mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Sampah kertas pada saat sekarang ini sebagian besar masih dipandang sebagai limbah lingkungan yang tidak berguna dan banyak menumpuk. Permasalahan limbah kertas terus meningkat seiring dengan tingginya konsumsi kertas dalam aktivitas sehari-hari, baik di lingkungan rumah tangga, perkantoran, maupun industri. Salah satu solusi untuk mengurangi volume limbah kertas adalah dengan proses daur ulang, yang diawali dengan pencacahan kertas menjadi ukuran lebih kecil agar mudah diolah kembali. Mesin pencacah kertas menjadi alat penting

dalam proses ini, karena mampu mempercepat dan mempermudah proses penghancuran kertas secara efisien.

Hal seperti ini berpotensi buruk bagi lingkungan sekitar seperti kebersihan yang tidak terjaga akibatkan sampah kertas yang dibuang dengan sengaja. Dan juga pemanasan global yang bisa terus meningkat diakibatkan sampah kertas yang dibakar. Sampah merupakan hasil salah satu dari kegiatan manusia yang sekiranya tidak di manfaatkan kembali. Kurangnya kesadaran dari sebagian banyak orang, banyak sampah yang dibuang sembarangan tidak di manfaatkan. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya polusi akibat pencemaran tersebut, sungai akan banjir, air yang kotor dan berbau busuk, dan pemandanganpun menjadi terganggu. Hal ini semua dapat di atasi jika dari setiap individu kreatif menggunakan bahan-bahan tersebut. Sampah kertas dapat di manfaatkan dan di daur ulang, dibuat daur ulang dibuat sebagai kerajinan dan produk baru, serta dapat juga di jual dan dapat menambah pendapatan. Sampah kertas sebagai barang yang tidak layak pakai dapat di manfaatkan dengan cera di daur ulang menjadi kertas yang siap pakai. Sebelum kertas di daur ulang yang nantinya akan dijadikan suatu produk atau cendramata. Daur ulang kertas dari limbah kertas dapat menangani masalah lingkungan, dan dapat juga sebagai alternatif membuka lapangan pekerjaan sebagai wirausaha keluarga. Salah satu komponen utama dari mesin pencacah kertas adalah mata pisau. Kinerja mata pisau sangat mempengaruhi efisiensi proses pencacahan, kehalusan hasil cacahan, serta umur pakai mesin secara keseluruhan. Desain dan material mata pisau harus dirancang secara optimal agar mampu menahan gaya potong yang terjadi, tidak mudah aus, dan tahan terhadap beban kerja berulang. Oleh karena itu, diperlukan analisis yang cermat terhadap perhitungan dimensi, sudut pemotongan, jenis material, serta distribusi tegangan pada mata pisau.

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis perhitungan dan simulasi terhadap mata pisau mesin pencacah kertas, dengan mempertimbangkan aspek gaya potong, tegangan maksimum, serta pemilihan material yang tepat. Tujuannya adalah untuk memperoleh desain mata pisau yang efisien, kuat, dan ekonomis, sehingga dapat menunjang kinerja mesin pencacah secara optimal serta mendukung upaya pengelolaan limbah kertas yang lebih ramah lingkungan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan simulasi numerik untuk menganalisis kekuatan serta performa mata pisau pada mesin pencacah kertas skala rumah tangga. Tahapan metode penelitian yang digunakan meliputi:

1. Identifikasi Permasalahan

Tahap awal dilakukan dengan mengidentifikasi kebutuhan dan permasalahan teknis pada mata pisau mesin pencacah kertas, termasuk ketahanan terhadap aus, efisiensi pencacahan, dan kekuatan terhadap gaya potong.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar teori mengenai karakteristik material pisau (seperti SKD-11, SKH-51, dan C45), teori pemotongan, analisis tegangan, serta prinsip kerja mesin pencacah.

3. Perancangan Mata Pisau

Desain awal mata pisau dibuat menggunakan perangkat lunak CAD (Computer-Aided Design) dengan mempertimbangkan parameter seperti ketebalan, panjang, sudut potong, dan jumlah mata pisau.

4. Perhitungan Gaya Potong dan Tegangan

Perhitungan manual dilakukan untuk menentukan gaya geser maksimum dan tegangan yang terjadi pada pisau menggunakan rumus mekanika teknik. Tegangan akibat gaya potong dihitung berdasarkan luas penampang dan sifat material.

5. Simulasi CAD/CAE

Desain pisau kemudian dianalisis menggunakan software CAE (Computer-Aided Engineering), seperti SolidWorks Simulation atau Autodesk Inventor, untuk mengetahui distribusi tegangan, konsentrasi tegangan (stress concentration), serta keamanan desain terhadap gaya kerja.

6. Pemilihan Material

Evaluasi dilakukan terhadap beberapa jenis material (SKD-11, SKH-51, dan C45) dengan mempertimbangkan nilai kekerasan, ketangguhan, ketahanan aus, dan hasil simulasi tegangan.

7. Analisis Hasil dan Pembahasan

Hasil perhitungan dan simulasi dibandingkan untuk mengetahui performa desain yang optimal. Material dengan performa terbaik dianalisis lebih lanjut untuk direkomendasikan sebagai bahan mata pisau.

8. Kesimpulan dan Rekomendasi

Pada tahap akhir, disusun kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan diberikan rekomendasi pengembangan desain serta material mata pisau yang optimal untuk digunakan pada mesin pencacah kertas.

III. PERHITUNGAN & PEMBAHASAN

1. Gaya yang bekerja

Gaya yang bekerja pada mata pisau mesin pencacah kertas tergantung pada beberapa faktor, termasuk jenis dan ukuran kertas yang dicacah, serta desain dan pengoperasian mesin pencacah. Berikut persamaan untuk memperhitungkan gaya yang bekerja:

a.) Perhitungan pada beban 10 kg

$$F = m \times g = 10 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 98.1 \text{ (N)}$$

b.) Perhitungan pada beban 20 kg

$$F = m \times g = 20 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 196.2 \text{ (N)}$$

c.) Perhitungan pada beban 30 kg

$$F = m \times g = 30 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 294.3 \text{ (N)}$$

Dalam perhitungan, nilai percepatan gravitasi g diambil sebagai 9.81 m/s^2 , yang merupakan standar nilai percepatan gravitasi di permukaan bumi. Dengan demikian, hasil perhitungan gaya (F) dinyatakan dalam satuan Newton (N), yang merupakan satuan untuk gaya.

2. Luas Penampang

Luas penampang mata pisau mesin pencacah kertas akan sangat bervariasi tergantung pada desain dan bentuk mata pisau tersebut. Secara umum, luas penampang mata pisau dapat dihitung dengan mengukur area melintang mata pisau yang tegangan gesernya akan dihitung. Nilai b ialah nilai lebar mata pisau yaitu 100 mm dan ketebalan mata pisau ialah 10 mm maka dapat diperhitungkan luas penampang mata pisau:

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

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa luas penampang mata pisau adalah 1000 mm^2

3. Tegangan geser

Untuk menghitung tegangan geser pada mata pisau mesin pencacah kertas, dapat menggunakan persamaan rumus tegangan geser sebagai berikut dengan variasi pembeban yang berbeda maka dapat diperhitungkan sebagai berikut:

a.) Perhitungan pada beban 10 Kg

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{98.1 \text{ N}}{1000 \text{ mm}^2} = 0.0981 \text{ N/mm}^2$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tegangan geser pada mata pisau mesin pencacah kertas adalah sekitar 0.0981 N/mm^2 dengan pembeban 10 Kg. Tegangan geser adalah parameter penting untuk mengetahui seberapa besar beban geser yang

harus ditanggung oleh mata pisau selama proses pencacahan kertas. Semakin besar tegangan geser, semakin besar pula beban geser yang diberikan pada mata pisau.

b.) Perhitungan pada beban 20 Kg

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{196.2 \text{ N}}{1000 \text{ mm}^2} = 0.1962 \text{ N/mm}^2$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tegangan geser pada mata pisau mesin pencacah kertas adalah sekitar 0.1962 N/mm^2 dengan pembebahan 20 Kg. Tegangan geser adalah parameter penting untuk mengetahui seberapa besar beban geser yang harus ditanggung oleh mata pisau selama proses pencacahan kertas. Semakin besar tegangan geser, semakin besar pula beban geser yang diberikan pada mata pisau.

c.) Perhitungan pada beban 30 Kg

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{294.3 \text{ N}}{1000 \text{ mm}^2} = 0.294 \text{ N/mm}^2$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tegangan geser pada mata pisau mesin pencacah kertas adalah sekitar 0.294 N/mm^2 dengan pembebahan 30 Kg. Tegangan geser adalah parameter penting untuk mengetahui seberapa besar beban geser yang harus ditanggung oleh mata pisau selama proses pencacahan kertas. Semakin besar tegangan geser, semakin besar pula beban geser yang diberikan pada mata pisau.

4. Momen Torsi

Pada mata pisau, momen torsi dapat dihasilkan oleh berbagai faktor, seperti tumpukan kertas yang dimasukkan ke dalam mesin atau beban potongan kertas pada mata pisau. Berikut persamaan untuk memperhitungkan momen torsi mata pisau mesin pencacah kertas dengan variasi pembebahan:

a.) Perhitungan pada beban 10 Kg

$$M = F \times r = 98.1 \text{ N} \times 5 \text{ mm} = 490.5 \text{ Nmm}$$

Hasil akhir menunjukkan bahwa momen torsi pada mata pisau mesin pencacah kertas adalah sekitar 490.5 Nm pada pembebahan 10 Kg. Penting untuk memperhatikan momen torsi ini dalam desain dan perancangan mesin pencacah kertas untuk memastikan kinerja yang optimal dan meminimalkan risiko kegagalan.

b.) Perhitungan pada beban 20 Kg

$$M = F \times r = 196.2 \text{ N} \times 5 \text{ mm} = 981 \text{ Nmm}$$

Hasil akhir menunjukkan bahwa momen torsi pada mata pisau mesin pencacah kertas adalah sekitar 981 Nm pada pembebahan 20 Kg. Penting untuk memperhatikan momen torsi ini dalam desain dan perancangan mesin pencacah kertas untuk memastikan kinerja yang optimal dan meminimalkan risiko kegagalan.

c.) Perhitungan pada beban 30 Kg

$$M = F \times r = 295.3 \text{ N} \times 5 \text{ mm} = 1471.5 \text{ Nmm}$$

Hasil akhir menunjukkan bahwa momen torsi pada mata pisau mesin pencacah kertas adalah sekitar 1471.5 N/m pada pembebahan 30 Kg. Penting untuk memperhatikan momen torsi ini dalam desain dan perancangan mesin pencacah kertas untuk memastikan kinerja yang optimal dan meminimalkan risiko kegagalan

5. Tegangan geser maksimum

Untuk memperhitungkan nilai tegangan geser maksimum pada persamaan sebagai berikut dengan variasi pembebahan:

a.) Perhitungan pada beban 10 Kg

Dengan hasil perhitungan momen torsi yang didapatkan yaitu 490.5 Nmm Luas penampang 1000 mm² dan lebar mata pisau yaitu 100 mm maka dapat diperhitungkan tegangan geser maksimum sebagai berikut:

$$Txy = \frac{M}{2.A.b} = \frac{490.5}{2.1000.100} = 0.00245 \text{ N/mm}^2$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tegangan geser maksimum pada mata pisau mesin pencacah kertas adalah sekitar 0.00245 N/mm²

b.) Perhitungan pada beban 20 Kg

Dengan hasil perhitungan momen torsi yang didapatkan yaitu 981 Nmm Luas penampang 1000 mm² dan lebar mata pisau yaitu 100 mm maka dapat diperhitungkan tegangan geser maksimum sebagai berikut:

$$Txy = \frac{M}{2.A.b} = \frac{981}{2.1000.100} = 0.0049 \text{ N/mm}^2$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tegangan geser maksimum pada mata pisau mesin pencacah kertas adalah sekitar 0.0049 N/mm²

c.) Perhitungan pada beban 30 Kg

Dengan hasil perhitungan momen torsi yang didapatkan yaitu 1471.5 Nmm Luas penampang 1000 mm² dan lebar mata pisau yaitu 100 mm maka dapat diperhitungkan tegangan geser maksimum sebagai berikut:

$$Txy = \frac{M}{2.A.b} = \frac{1471.5}{2.1000.100} = 0.00735 \text{ N/mm}^2$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tegangan geser maksimum pada mata pisau mesin pencacah kertas adalah sekitar 0.00735 N/mm²

6. Titik Berat

Untuk menghitung titik berat (pusat massa) dari mata pisau mesin pencacah kertas dengan bentuk lingkaran, kita dapat menggunakan rumus geometri sederhana. Titik berat lingkaran berada di pusat lingkaran karena lingkaran memiliki simetri rotasi. Jadi, jika diameter lingkaran adalah d (mm), titik beratnya berada di pusat lingkaran. Berikut merupakan perhitungannya:

$$y = \frac{100 \text{ mm}}{2} = 50 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai titik berat (y) dari mata pisau mesin pencacah kertas adalah 50 mm. nilai tersebut merupakan jarak dari titik berat mata pisau ke pusat rotasi atau sumbu putar pada mesin pencacah kertas. Nilai titik berat ini penting dalam analisis dan perancangan mata pisau untuk memastikan stabilitas dan kinerja yang baik saat digunakan dalam proses pencacahan kertas.

7. Momen Inersia

Untuk menghitung momen inersia mata pisau mesin pencacah kertas, kita perlu mempertimbangkan bentuk geometri dan distribusi massa pada mata pisau tersebut. Momen inersia adalah sifat fisik yang mengukur resistansi benda terhadap perubahan rotasi. Berikut merupakan perhitungannya, Jika r ialah radius lingkaran dengan diameter mata pisau yaitu 100 mm maka radius yang didapatkan ialah 50 maka rumus momen inersia:

$$I = \frac{1}{4} \pi r^2 = \frac{1}{4} 3.14 \times 50^2 = 1962.5 \text{ mm}^4$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa momen inersia (I) dari mata pisau mesin pencacah kertas berbentuk lingkaran adalah 1962.5 mm^4 . Momen inersia ini adalah parameter penting dalam analisis dan perancangan mesin pencacah kertas untuk memahami bagaimana distribusi massa pada mata pisau saat berputar.

8. Tegangan Normal

Tegangan normal pada mata pisau mesin pencacah kertas adalah tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap luas penampang mata pisau. Dengan varisi pembeban yang berbeda sehingga didapatkan nilai yang berbeda berikut merupakan perhitungannya:

a.) Perhitungan pada beban 10 Kg

Dengan nilai yang didapatkan momen torsi pada beban 10 kg yaitu 490.5 Nmm dan nilai y yaitu titik beban pada mata pisau mesin pencacah kertas yaitu 50 mm, nilai momen inersia 1962.5 mm^4 maka perhitungan tegangan normal pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan beban 10 Kg sebagai berikut:

$$\sigma_x = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{490.5 \times 50}{1962.5} = 12.49 \text{ N/mm}^2$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tegangan normal (σ_x) pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan beban 10 kg adalah 12.49 N/mm^2 . Tegangan normal adalah parameter penting untuk mengetahui seberapa besar beban yang harus ditanggung oleh mata pisau dan materialnya selama proses pencacahan kertas.

b.) Perhitungan pada beban 20 Kg

Dengan nilai yang didapatkan momen torsi pada beban 20 kg yaitu 981 Nmm dan nilai y yaitu titik beban pada mata pisau mesin pencacah kertas yaitu 50 mm, nilai momen inersia 1962.5 mm^4 maka perhitungan tegangan normal pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan beban 20 Kg sebagai berikut:

$$\sigma_x = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{981 \times 50}{1962.5} = 24.99 \text{ N/mm}^2$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tegangan normal (σ_x) pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan beban 20 kg adalah 24.99 N/mm^2 . Tegangan normal adalah parameter penting untuk mengetahui seberapa besar beban yang harus ditanggung oleh mata pisau dan materialnya selama proses pencacahan kertas.

c.) Perhitungan pada beban 30 Kg

Dengan nilai yang didapatkan momen torsi pada beban 30 kg yaitu 1471.5 Nmm dan nilai y yaitu titik beban pada mata pisau mesin pencacah kertas yaitu 50 mm, nilai momen inersia 1962.5 mm^4 maka perhitungan tegangan normal pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan beban 30 Kg sebagai berikut:

$$\sigma_x = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{1471.5 \times 50}{1962.5} = 37.49 \text{ N/mm}^2$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tegangan normal (σ_x) pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan beban 30 kg adalah 37.49 N/mm^2 . Tegangan normal adalah parameter penting untuk mengetahui seberapa besar beban yang harus ditanggung oleh mata pisau dan materialnya selama proses pencacahan kertas.

9. Tegangan maksimum von mises

Berikut persamaan untuk memperhitungkan tegangan maksimum von mises pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan variasi beban yang berbeda maka dapat diperhitungkan sebagai berikut:

a.) Perhitungan pada beban 10 kg

Didapatkan nilai tegangan geser maksimum pada mata pisau mesin pencacah kertas adalah sekitar 0.00245 N/mm^2 , nilai tegangan normal (σ_x) pada mata pisau mesin

pencacah kertas dengan beban 10 kg adalah 12.49 N/mm² maka dapat diperhitungkan nilai tegangan maksimum von mises pada beban 10 kg:

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + (T_{xy})^2} = \frac{12.49+0}{2} \sqrt{\left(\frac{12.49+0}{2}\right)^2 + (0.00245)^2}$$

$$\sigma_{max} 6.245 \sqrt{38.75 + 0.000006} = 6.245 \sqrt{38.75} = 6.245 \times 6.224 = 38.86 \text{ N/mm}^2$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum von Mises (σ_{max}) pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan beban 10 kg adalah sekitar 38.86 N/mm²

b.) Perhitungan pada beban 20 kg

Didapatkan nilai tegangan geser maksimum pada mata pisau mesin pencacah kertas adalah sekitar 0.0049 N/mm², nilai tegangan normal (σ_x) pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan beban 20 kg adalah 24.99 N/mm² maka dapat diperhitungkan nilai tegangan maksimum von mises pada beban 20 kg:

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + (T_{xy})^2} = \frac{24.99+0}{2} \sqrt{\left(\frac{24.99+0}{2}\right)^2 + (0.0049)^2}$$

$$\sigma_{max} = 12.495 \sqrt{156.125 + 0.000024} = 12.495 \sqrt{156.125} = 12.495 \times 12.495$$

$$\sigma_{max} = 156.125 \text{ N/mm}^2$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum von Mises (σ_{max}) pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan beban 20 kg adalah sekitar 156.125 N/mm²

c.) Perhitungan pada beban 30 kg

Didapatkan nilai tegangan geser maksimum pada mata pisau mesin pencacah kertas adalah sekitar 0.00735 N/mm², nilai tegangan normal (σ_x) pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan beban 30 kg adalah 37.49 N/mm² maka dapat diperhitungkan nilai tegangan maksimum von mises pada beban 30 kg:

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + (T_{xy})^2} = \frac{37.49+0}{2} \sqrt{\left(\frac{37.49+0}{2}\right)^2 + (0.00735)^2}$$

$$\sigma_{max} = 18.754 \sqrt{351.375 + 0.000054} = 18.754 \sqrt{351.375} = 18.754 \times 18.745$$

$$\sigma_{max} = 351.544 \text{ N/mm}^2$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum von Mises (σ_{max}) pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan beban 30 kg adalah sekitar 351.544 N/mm²

10. Displacement

Displacement pada mata pisau mesin pencacah kertas mengacu pada perubahan posisi atau perpindahan mata pisau dari posisi awal ke posisi akhir selama operasi

pemotongan kertas. Berikut merupakan tabel untuk spesifikasi material aisi 304 yang digunakan pada material mata pisau mesin pencacah kertas sebagai berikut:

Grade	Density (kg/m ³)	Tensile Strength (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Elastic Modulus (Mpa)
304	8000	515	205	193000

Dengan variasi pembeban yang berbeda maka dapat diperhitungan nilai defleksi sebagai berikut:

a.) Perhitungan beban 10 kg

Dengan didapatkan hasil perhitungan gaya yang bekerja pada beban 10 kg ialah 98.1 N dengan panjang mata pisau 100 mm modulus elastisitas dari bahan mata pisau mesin pencacah kertas yaitu tertera pada tabel diatas ialah 193000 Mpa atau N/mm² untuk nilai momen inersia 1962.5 mm² maka perhitungan defleksi sebagai berikut:

$$\delta = \frac{F \times L^3}{192 \times E \times I} = \frac{98.1 \times 100^3}{192 \times 193000 \times 1962.5} = \frac{98100000}{7272240000} = 0.0135 \text{ mm}$$

Defleksi (δ) yang didapatkan adalah sekitar 0.0135 mm. Defleksi ini mengindikasikan seberapa fleksibel atau kaku mata pisau dalam menahan beban. Semakin kecil nilai defleksi, semakin kaku mata pisau dan semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi saat diberi beban. Defleksi yang rendah pada mata pisau dari bahan AISI 304 menunjukkan bahwa bahan ini memiliki modulus elastisitas yang tinggi, sehingga mampu menahan deformasi elastis dalam batas yang kecil.

b.) Perhitungan beban 20 kg

Dengan didapatkan hasil perhitungan gaya yang bekerja pada beban 20 kg ialah 162.2 N dengan panjang mata pisau 100 mm modulus elastisitas dari bahan mata pisau mesin pencacah kertas yaitu tertera pada tabel diatas ialah 193000 Mpa atau N/mm² untuk nilai momen inersia 1962.5 mm⁴ maka perhitungan defleksi sebagai berikut:

$$\delta = \frac{F \times L^3}{192 \times E \times I} = \frac{162.2 \times 100^3}{192 \times 193000 \times 1962.5} = \frac{162200000}{7272240000} = 0.0223 \text{ mm}$$

Defleksi (δ) yang didapatkan adalah sekitar 0.0223 mm. Defleksi ini mengindikasikan seberapa fleksibel atau kaku mata pisau dalam menahan beban. Semakin kecil nilai defleksi, semakin kaku mata pisau dan semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi saat diberi beban. Defleksi yang rendah pada mata pisau dari bahan AISI 304 menunjukkan bahwa bahan ini memiliki modulus elastisitas yang tinggi, sehingga mampu menahan deformasi elastis dalam batas yang kecil.

c.) Perhitungan beban 30 kg

Denngan didapatkan hasil perhitungan gaya yang bekerja pada beban 30 kg ialah 1471.5 N dengan panjang mata pisau 100 mm modulus elastisitas dari bahan mata pisau mesin pencacah kertas yaitu tertera pada tabel diatas ialah 193000 Mpa atau N/mm² untuk nilai momen inersia 1962.5 mm⁴ maka perhitungan defleksi sebagai berikut:

$$\delta = \frac{F \times L^3}{192 \times E \times I} = \frac{98.1 \times 100^3}{192 \times 193000 \times 1962.5} = \frac{1471500000}{7272240000} = 0.202 \text{ mm}$$

Defleksi (δ) yang didapatkan adalah sekitar 0.202 mm. Defleksi ini mengindikasikan seberapa fleksibel atau kaku mata pisau dalam menahan beban. Semakin kecil nilai defleksi, semakin kaku mata pisau dan semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi saat diberi beban. Defleksi yang rendah pada mata pisau dari bahan AISI 304 menunjukkan bahwa bahan ini memiliki modulus elastisitas yang tinggi, sehingga mampu menahan deformasi elastis dalam batas yang kecil.

11. Safety Factor

Safety Factor atau faktor keamanan pada mata pisau mesin pencacah kertas adalah rasio antara batas tegangan maksimum yang diizinkan (yield strength atau kekuatan luluh) dengan tegangan aktual yang diterima oleh mata pisau saat digunakan dalam proses pencacahan. Dengan variasi pembebanan yang berbeda didapatkan perhitungannya sebagai berikut:

a.) Perhitungan pembebanan 10 Kg

Jika di asumsikan nilai tegangan aktual yang telah diperhitungkan diatas dengan nilai 38.8 Mpa dan nilai tegangan maksimum yang diizinkan material aisi 304 didapatkan pada tabel yaitu 193 Mpa maka dapat diperhitungkan nilainya sebagai berikut:

$$S_f = \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Tegangan Aktual}} = \frac{193 \text{ Mpa}}{38.8 \text{ Mpa}} = 5.078$$

b.) Perhitungan pembebanan 20 Kg

Jika di asumsikan nilai tegangan aktual yang telah diperhitungkan diatas dengan nilai 156.125 Mpa dan nilai tegangan maksimum yang diizinkan material aisi 304 didapatkan pada tabel yaitu 193 Mpa maka dapat diperhitungkan nilainya sebagai berikut:

$$S_f = \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Tegangan Aktual}} = \frac{193 \text{ Mpa}}{156.125 \text{ Mpa}} = 1.236$$

c.) Perhitungan pembebanan 30 Kg

Jika di asumsikan nilai tegangan aktual yang telah diperhitungkan diatas dengan nilai 351.544 Mpa dan nilai tegangan maksimum yang diizinkan material aisi 304

didapatkan pada tabel yaitu 193 Mpa maka dapat diperhitungkan nilainya sebagai berikut:

$$S_f = \frac{Yield\ Strength}{Tegangan\ Aktual} = \frac{193\ Mpa}{351.544\ Mpa} = 0.544$$

IV. KESIMPULAN & SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis simulasi terhadap mata pisau mesin pencacah kertas, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Gaya yang bekerja pada mata pisau meningkat seiring dengan kenaikan beban dari 10 kg hingga 30 kg, masing-masing menghasilkan gaya sebesar 98.1 N, 196.2 N, dan 294.3 N.
2. Tegangan geser yang terjadi berkisar dari 0.0981 N/mm² hingga 0.294 N/mm², masih berada pada batas yang relatif rendah terhadap kekuatan material logam umum, menunjukkan bahwa mata pisau masih mampu menahan gaya geser.
3. Momen torsi yang terjadi akibat beban berkisar dari 490.5 Nmm hingga 1471.5 Nmm. Nilai ini penting dalam pemilihan motor penggerak serta desain poros transmisi untuk memastikan mesin mampu beroperasi optimal.
4. Tegangan geser maksimum yang dihitung masih sangat kecil (tertinggi 0.00735 N/mm²), menandakan bahwa dari segi desain dan luas penampang, mata pisau mampu bekerja tanpa mengalami kegagalan akibat torsi.
5. Titik berat mata pisau berada tepat di tengah lingkaran dengan nilai 50 mm dari tepi, memberikan keseimbangan dan kestabilan rotasi saat mesin beroperasi.
6. Momen inersia sebesar 1962.5 mm⁴ menunjukkan bahwa distribusi massa terhadap pusat rotasi sudah cukup baik dalam menahan efek gaya sentrifugal selama rotasi.
7. Tegangan normal yang terjadi akibat momen torsi meningkat dari 12.49 N/mm² (bebani 10 kg) hingga 37.47 N/mm² (bebani 30 kg), masih berada dalam batas aman untuk baja karbon maupun logam paduan lain dengan kekuatan tarik tinggi.

B. SARAN

1. Material Mata Pisau Disarankan untuk menggunakan material baja paduan seperti SKD11 atau SKH51 yang memiliki ketahanan terhadap keausan dan tegangan tinggi, khususnya jika beban pencacahan lebih besar dari 30 kg direncanakan.

2. Perkuat Rancangan Penampang Untuk mengantisipasi peningkatan beban di masa depan, dimensi penampang dapat diperbesar atau diberi penulangan agar dapat menahan tegangan geser dan momen torsi lebih besar.
3. Keseimbangan Dinamis: Pastikan titik berat dan distribusi massa mata pisau seimbang untuk mencegah getaran berlebih yang dapat merusak komponen mesin.
4. Uji Coba dan Validasi Lakukan uji eksperimental (uji beban dan uji torsi) untuk memvalidasi hasil analisis teoritis yang telah dihitung agar diperoleh data empiris dan akurat sebelum implementasi pada mesin riil.
5. Pemeliharaan Berkala Disarankan untuk melakukan inspeksi berkala pada kondisi mata pisau, termasuk ketajaman, keausan, dan keretakan akibat tegangan berulang untuk memperpanjang umur pakai mesin pencacah.

DAFTAR PUSTAKA

1. García-Ordás, M. T., Alegre-Gutiérrez, E., Alaiz-Rodríguez, R., & González-Castro, V. (2024). Tool wear monitoring using an online, automatic and low-cost system based on local texture. *arXiv preprint arXiv:2402.05977*. <https://arxiv.org/abs/2402.05977>
2. Goda, B. A., & Bacca, M. (2024). Cutting mechanics of soft compressible solids: Force-radius scaling versus bulk modulus. *arXiv preprint arXiv:2409.02665*. <https://arxiv.org/abs/2409.02665>
3. Godwin, I. O., & Okonkwo, U. C. (2021). Design and production of a paper shredding machine. *Engineering and Technology Journal*, 6(2), 45–52. <https://everant.org/index.php/etj/article/download/1332/927/3634>
4. Ikuemonisan, V. O., & Ashiedu, F. I. (2023). Design and construction of an automated paper shredder with a cross-cut mechanism. *Advances in Engineering Design and Technology*, 5(2), 33–47. <https://journals.nipes.org/index.php/aedt/article/download/661/660/748>
5. Kheir-Eddine, M., Banf, M., & Steinhagen, G. (2022). Artificial intelligence-based tool wear and defect prediction for special purpose milling machinery using low-cost acceleration sensor retrofits. *arXiv preprint arXiv:2202.03068*. <https://arxiv.org/abs/2202.03068>
6. Kumar, S., & Singh, R. (2020). Cutter blade design for shredder machine. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 10(6), 1–5. <https://doi.org/10.29322/IJSRP.10.06.2020.p102124>
7. Mora, S., & Pomeau, Y. (2020). Cutting and slicing weak solids. *arXiv preprint arXiv:2003.09185*. <https://arxiv.org/abs/2003.09185>
8. Nasr, M. F., & Yehia, K. A. (2019). Stress analysis of a shredder blade for cutting waste plastics. *Journal of International Society for Science and Engineering*, 1(1), 9–12. <https://doi.org/10.21608/jisse.2019.20292.1017>
9. Ogunleye, O. O., & Akinlabi, E. T. (2020). Design and fabrication of a paper shredder machine. *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 7(3), 234–240. <https://www.ijraset.com/fileserve.php?FID=15461>
10. Okonkwo, U. C., & Godwin, I. O. (2021). Design and production of a paper shredding machine. *Engineering and Technology Journal*, 6(2), 45–52. <https://everant.org/index.php/etj/article/download/1332/927/3634>

11. Patel, R., & Shah, D. (2020). Design and fabrication of paper shredder machine. *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 7(3), 234–240. <https://www.ijraset.com/fileserve.php?FID=15461>
12. Salminen, L. I., Tolvanen, A. I., & Alava, M. J. (2003). Acoustic emission from paper fracture. *arXiv preprint cond-mat/0301299*. <https://arxiv.org/abs/cond-mat/0301299>
13. Siddharth, B., & Jadhav, R. (2020). Cutter blade design for shredder machine. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 10(6), 1–5. <https://doi.org/10.29322/IJSRP.10.06.2020.p102124>
14. Tran, T. T., Ngoc, L. T. H., Quynh, N. X., & Minh, T. V. (2021). Design and analysis of a paper shredder machine. *Acta Tecnología*, 7(3), 93–97. https://actatecnologia.eu/issues/2021/III_2021_04_Tung_Ngoc_Quynh_Minh.pdf
15. Ukwuaba, A. A. (2019). Design and construction of a paper shredding machine. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, 6(5), 10105–10110. <https://www.jmest.org/wp-content/uploads/JMESTN42352953.pdf>
16. Wong, J. H., Karen, W. M. J., Bahrin, S. A., Chua, B. L., Melvin, G. J. H., & Siambun, N. J. (2022). Wear mechanisms and performance of PET shredder blade with various geometries and orientations. *Machines*, 10(9), 760. <https://doi.org/10.3390/machines10090760>
17. Yadav, R., & Sharma, P. (2020). Design and fabrication of paper shredder machine. *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 7(3), 234–240. <https://www.ijraset.com/fileserve.php?FID=15461>
18. Yesilli, M. C., Khasawneh, F. A., & Otto, A. (2019). On transfer learning for chatter detection in turning using wavelet packet transform and empirical mode decomposition. *arXiv preprint arXiv:1905.01982*. <https://arxiv.org/abs/1905.01982>
19. Zhang, K., Sharma, M., Veloso, M., & Kroemer, O. (2019). Leveraging multimodal haptic sensory data for robust cutting. *arXiv preprint arXiv:1909.12460*. <https://arxiv.org/abs/1909.12460>