

**PENGARUH BEBAN MASUKAN TERHADAP KETAHANAN MATA PISAU
MESIN PENCACAH KERTAS SIMULASI BERBASIS FEM**

***THE EFFECT OF INPUT LOAD ON THE RESISTANCE OF PAPER CHOPPING
MACHINE BLADES FEM-BASED SIMULATION***

**¹Wahid Hasim, ²Bambang Ali Gunawan, ³Muhammad Affan Rizkia Ramadhan,
⁴Regi Ramadhan, ⁵Mohammad Rafli Juliansyah**

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

Jl. Raya Jakarta Km 5 No.6, Kalodran, Kec. Walantaka, Kota Serang, Banten 42183

email : ¹dosen03030@unpam.ac.id

ABSTRAK

Mesin pencacah kertas merupakan salah satu alat yang berfungsi untuk menghancurkan limbah kertas menjadi ukuran lebih kecil agar mudah didaur ulang dan dikelola. Komponen utama yang menentukan kinerja mesin ini adalah mata pisau pencacah, yang harus mampu menahan gaya potong dan tekanan selama proses pencacahan berlangsung. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan aktual mata pisau mesin pencacah kertas berdasarkan pembebanan yang terjadi dalam kondisi kerja nyata. Metode yang digunakan meliputi perhitungan tegangan maksimum menggunakan pendekatan teori von Mises serta analisis deformasi menggunakan perangkat lunak pemodelan 3D dan simulasi berbasis elemen hingga (Finite Element Method). Material pisau yang digunakan adalah baja SKD11, dengan dimensi dan geometri pisau disesuaikan terhadap desain mesin. Hasil analisis menunjukkan bahwa mata pisau mampu menahan beban kerja maksimum sebesar 10 kN dengan tegangan maksimum yang masih berada di bawah batas luluh material, serta deformasi yang terjadi masih dalam batas toleransi keamanan struktur. Berdasarkan hasil tersebut, mata pisau dinilai layak secara mekanik untuk digunakan dalam aplikasi pencacahan kertas rumah tangga maupun skala industri kecil. Temuan ini diharapkan menjadi acuan dalam pengembangan desain mesin pencacah yang lebih efisien dan tahan lama.

Kata kunci: Mesin Pencacah, Mata Pisau, Analisis Tegangan, Deformasi, Von Mises

ABSTRACT

A paper shredder is a tool used to crush paper waste into smaller pieces for easier recycling and management. The primary component determining the machine's performance is the shredder blade, which must be able to withstand cutting forces and pressure during the shredding process. This study aims to analyze the actual strength of a paper shredder blade based on loads encountered under real-world operating conditions. The methods used include maximum stress calculations using the von Mises theory approach and deformation analysis using 3D modeling software and finite element-based simulations (FEM). The blade material used is SKD11 steel, with the blade dimensions and geometry adjusted to the machine design. The analysis results indicate that the blade can withstand a maximum working load of 10 kN, with a maximum stress below the material's yield point, and the deformation within the structural safety tolerances. Based on these results, the blade is deemed mechanically feasible for use in household and small-scale industrial paper shredding applications. These findings are expected to serve as a reference in the development of more efficient and durable shredder designs.

Keywords: chopping machine, blade, stress analysis, deformation, von Mises

I. PENDAHULUAN

Masalah pengelolaan limbah kertas merupakan tantangan yang signifikan dalam upaya pelestarian lingkungan dan efisiensi sumber daya. [1,2]Kertas merupakan salah satu jenis limbah yang banyak dihasilkan baik dari sektor rumah tangga, perkantoran, hingga industri.[3,4] Untuk mendukung proses daur ulang, limbah kertas harus diproses terlebih

dahulu menjadi bentuk yang lebih kecil dan seragam. Salah satu solusi yang digunakan adalah mesin pencacah kertas.[5,6]

Kinerja mesin pencacah kertas sangat bergantung pada kualitas dan kekuatan mata pisau sebagai komponen utama dalam proses pemotongan. Jika mata pisau tidak didesain dan dihitung secara tepat, maka dapat mengakibatkan kerusakan dini, kegagalan fungsional, dan pemborosan energi serta biaya. [7,8]Oleh karena itu, analisis teknis terhadap mata pisau perlu dilakukan untuk memastikan ketahanannya terhadap gaya dan beban kerja yang terjadi saat pencacahan. Komponen utama yang berperan langsung dalam proses pemotongan kertas adalah mata pisau. Kualitas dan kekuatan mata pisau sangat menentukan efisiensi, kecepatan, dan daya tahan mesin secara keseluruhan.[9] Jika mata pisau tidak didesain secara akurat atau tidak mampu menahan beban pemotongan yang bekerja padanya, maka akan berpotensi mengalami keausan dini, deformasi permanen, bahkan kegagalan fungsi.[10] Hal ini tentu akan menurunkan performa mesin, meningkatkan biaya perawatan, dan mengganggu operasional. Oleh karena itu, diperlukan analisis teknis yang komprehensif terhadap mata pisau untuk memastikan ketahanannya terhadap gaya dan beban kerja yang terjadi saat proses pencacahan berlangsung.[11,12] Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah simulasi menggunakan perangkat lunak Computer Aided Engineering (CAE) yang mampu memvisualisasikan dan menghitung besarnya tegangan dan regangan yang terjadi pada pisau akibat beban kerja tertentu.[13,14] Dalam penelitian ini, dilakukan simulasi pembebanan statis bertingkat sebesar 10 kg, 20 kg, dan 30 kg pada permukaan mata pisau untuk mengkaji sejauh mana pisau dapat bertahan terhadap tekanan kerja yang realistis.[15] Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai regangan yang terjadi masih berada dalam batas aman, sehingga pisau dinyatakan layak untuk digunakan dalam kondisi operasional sebenarnya. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis perhitungan aktual pada mata pisau mesin pencacah kertas berdasarkan beban operasional yang diberikan, yaitu 10 kg, 20 kg, dan 30 kg. Dengan pendekatan analitis dan simulasi berbasis software teknik, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan desain, keandalan, dan umur pakai komponen pisau pencacah, khususnya untuk mesin skala rumah tangga maupun industri kecil.

II. METODE PELAKSANAAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dan analisis simulasi berbasis perangkat lunak Computer Aided Engineering (CAE) untuk mengevaluasi performa mata

pisau mesin pencacah kertas pada berbagai variasi beban. Metode yang digunakan terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Studi Literatur Dilakukan kajian terhadap referensi sebelumnya yang berkaitan dengan desain pisau pencacah, material pisau, prinsip kerja mesin pencacah, serta metode analisis tegangan dan gaya potong.
2. Perancangan Komponen Pisau Mata pisau didesain menggunakan software CAD (Computer-Aided Design) seperti SolidWorks atau Autodesk Inventor berdasarkan dimensi aktual dan standar material yang digunakan.
3. Pemilihan Material Material mata pisau yang digunakan dianalisis dari segi kekuatan dan ketahanan terhadap gaya geser dan keausan. Material yang umum digunakan misalnya SKD11 atau baja karbon tinggi.
4. Simulasi Beban Model pisau yang telah didesain kemudian dianalisis menggunakan software CAE dengan pembebanan sebesar 10 kg, 20 kg, dan 30 kg. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan maksimum (Von Mises), deformasi, dan faktor keamanan (safety factor).
5. Analisis Data Hasil simulasi dianalisis untuk menentukan performa mata pisau terhadap masing-masing variasi beban. Data dibandingkan dengan nilai kekuatan material untuk mengevaluasi apakah pisau bekerja dalam batas aman.
6. Kesimpulan dan Rekomendasi Berdasarkan hasil simulasi, dibuat kesimpulan mengenai kelayakan desain mata pisau serta rekomendasi peningkatan baik dari sisi geometri, material, maupun kondisi operasi mesin pencacah.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

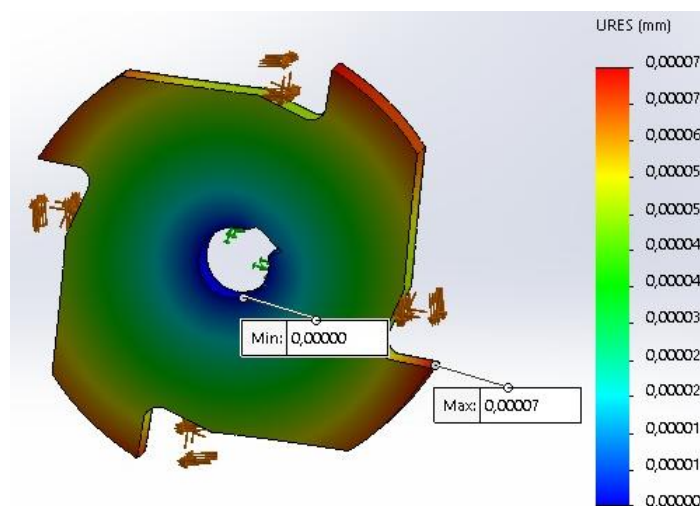
A. Simulasi Displacement Mata Pisau Mesin Pencacah Kertas

Simulasi displacement (perpindahan) pada mata pisau mesin pencacah kertas bertujuan untuk memperkirakan seberapa besar mata pisau bergerak atau berubah posisi saat diberi beban atau gaya pemotongan. Hal ini penting untuk diperhitungkan dalam perancangan mesin pencacah kertas agar mata pisau dapat bekerja dengan efektif dan aman. Simulasi displacement pada mata pisau mesin pencacah kertas dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak seperti SolidWorks dengan menggambarkan geometri mata pisau dan memberikan parameter-parameter seperti material dan beban pemotongan. Setelah simulasi dilakukan,

hasilnya akan menunjukkan perpindahan atau perubahan posisi dari mata pisau secara numerik dan visual. Pada simulasi displacement, nilai displacement yang terjadi dapat diketahui dengan melihat perubahan warna yang terjadi pada desain. Untuk warna merah menunjukan perubahan jarak terjauh dari titik awal, seperti yang dapat dilihat pada gambar dari simulasi yang dilakukan dengan variasi beban 10 Kg, 20 Kg, dan juga 30 Kg sebagai berikut:

B. Displacement Pada Mata Pisau Pembebanan 10 Kg

Dalam pengujian mesin pencacah kertas dengan beban 10 Kg, dilakukan pengukuran displacement maksimum dan minimum pada mata pisau. Hasil pengujian tersebut terlihat pada gambar 1. Displacement minimum tercatat pada angka 1.000×10^{-5} mm, sementara displacement maksimum ditunjukkan oleh area yang berwarna merah, menunjukkan angka 6×10^{-5} mm. Bahan yang digunakan untuk mata pisau mesin pencacah kertas adalah AISI 304.



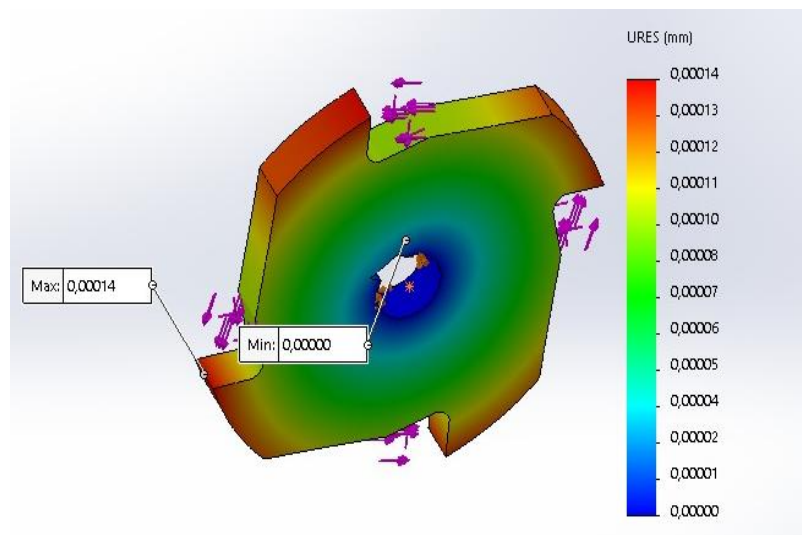
Gambar 1. Hasil Displacement Pembebanan 10 Kg

Berdasarkan hasil pengujian simulasi pada SolidWorks, pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan bahan AISI 304 dan beban gaya sebesar 10 Kg, terdapat dua angka displacement yang signifikan. Area yang berdekatan dengan warna biru menunjukkan nilai displacement sebesar 1×10^{-5} mm, dengan keterangan bahwa hasil struktur pengujian aman. Ini mengindikasikan bahwa mata pisau mampu menahan beban dengan baik pada kondisi tersebut. Namun, area yang berdekatan dengan warna merah menunjukkan nilai displacement sebesar 7×10^{-5} mm, dengan keterangan bahwa hasil struktur pengujian tidak aman. Hal ini menandakan adanya titik kritis pada rangka pencacah kertas, di mana mata pisau tidak dapat menahan beban dengan baik

pada area tersebut. Dalam proses simulasi mata pisau mesin pencacah kertas dengan beban 10 Kg menggunakan metode displacement, hasil perhitungan menunjukkan bahwa struktur pengujian dinyatakan aman. Hal ini berarti mata pisau masih mampu menahan beban yang diberikan secara memadai, sehingga dapat berfungsi dengan baik dalam proses pencacahan kertas.

C. Displacement Pada Mata Pisau Pembebanan 20 Kg

Dalam pengujian mesin pencacah kertas dengan beban 20 Kg, dilakukan pengukuran displacement maksimum dan minimum pada mata pisau. Hasil pengujian tersebut terlihat pada gambar 2 Displacement minimum tercatat pada angka 1.000×100 mm, sementara displacement maksimum ditunjukkan oleh area yang berwarna merah, menunjukkan angka 14×10^{-5} mm. Bahan yang digunakan untuk mata pisau mesin pencacah kertas adalah AISI 304.



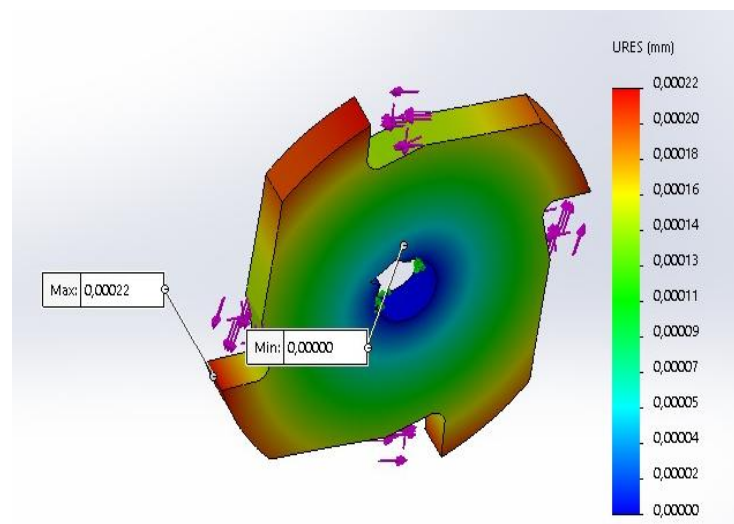
Gambar 2. Hasil Displacement Pembebanan 20 Kg

Berdasarkan hasil pengujian simulasi pada SolidWorks, pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan bahan AISI 304 dan beban gaya sebesar 20 Kg, terdapat dua angka displacement yang signifikan. Area yang berdekatan dengan warna biru menunjukkan nilai displacement sebesar 2×10^{-5} mm, dengan keterangan bahwa hasil struktur pengujian aman. Ini mengindikasikan bahwa mata pisau mampu menahan beban dengan baik pada kondisi tersebut. Namun, area yang berdekatan dengan warna merah menunjukkan nilai displacement sebesar 13×10^{-5} mm, dengan keterangan bahwa hasil struktur pengujian tidak aman. Hal ini menandakan adanya titik kritis pada rangka pencacah kertas, di mana mata pisau tidak dapat menahan beban dengan baik pada area tersebut. Dalam proses simulasi mata pisau mesin pencacah kertas dengan

beban 20 Kg menggunakan metode displacement, hasil perhitungan menunjukkan bahwa struktur pengujian dinyatakan aman. Hal ini berarti mata pisau masih mampu menahan beban yang diberikan secara memadai, sehingga dapat berfungsi dengan baik dalam proses pencacahan kertas.

D. Displacement Pada Mata Pisau Pembebanan 30 Kg

Dalam pengujian mesin pencacah kertas dengan beban 30 Kg, dilakukan pengukuran displacement maksimum dan minimum pada mata pisau. Hasil pengujian tersebut terlihat pada gambar 3. Displacement minimum tercatat pada angka 1.000×10^{-5} mm, sementara displacement maksimum ditunjukkan oleh area yang berwarna merah, menunjukkan angka 22×10^{-5} mm. Bahan yang digunakan untuk mata pisau mesin pencacah kertas adalah AISI 304.



Gambar 3 Hasil Displacement Pembebanan 30 Kg

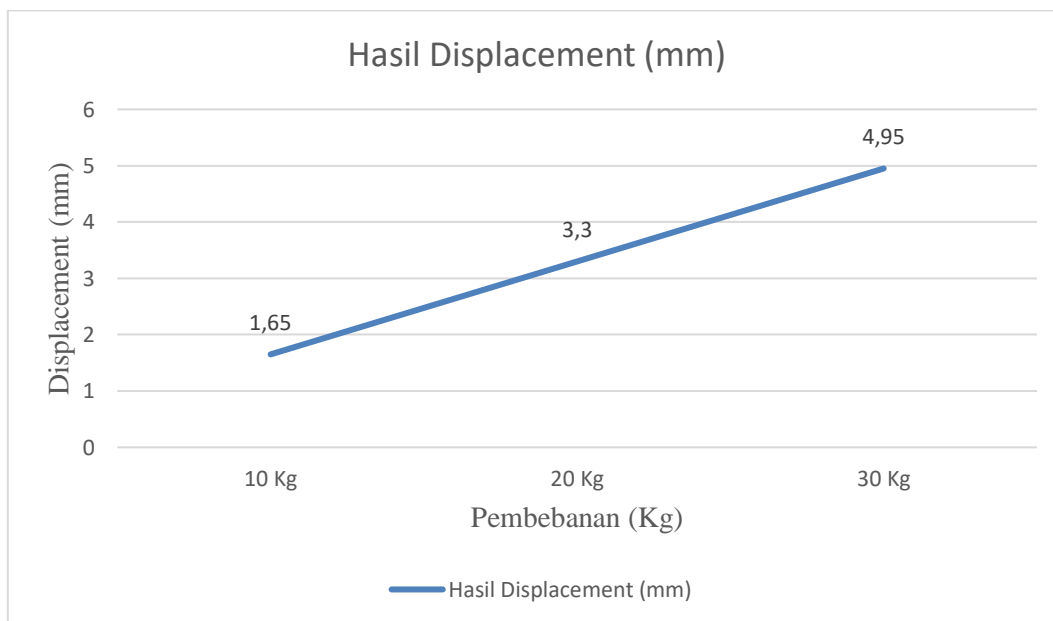
Berdasarkan hasil pengujian simulasi pada SolidWorks, pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan bahan AISI 304 dan beban gaya sebesar 30 Kg, terdapat dua angka displacement yang signifikan. Area yang berdekatan dengan warna biru menunjukkan nilai displacement sebesar 4×10^{-5} mm, dengan keterangan bahwa hasil struktur pengujian aman. Ini mengindikasikan bahwa mata pisau mampu menahan beban dengan baik pada kondisi tersebut. Namun, area yang berdekatan dengan warna merah menunjukkan nilai displacement sebesar 20×10^{-5} mm, dengan keterangan bahwa hasil struktur pengujian tidak aman. Hal ini menandakan adanya titik kritis pada rangka pencacah kertas, di mana mata pisau tidak dapat menahan beban dengan baik pada area tersebut. Dalam proses simulasi mata pisau mesin pencacah kertas dengan beban 30 Kg

menggunakan metode displacement, hasil perhitungan menunjukkan bahwa struktur pengujian dinyatakan aman. Hal ini berarti mata pisau masih mampu menahan beban yang diberikan secara memadai, sehingga dapat berfungsi dengan baik dalam proses pencacahan kertas. Hasil Penyajian data yang diperoleh dari pengujian Displacement seperti terlihat pada tabel 1 dibawah ini berdasarkan hasil simulasi pada gambar diatas pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan 3 variasi beban 10 Kg, 20 Kg, dan 30 Kg

Tabel 1. Hasil Displacement Pembebanan

Simulasi	Beban		
	10 Kg	20 Kg	30 Kg
Displacement	1.65×10^6 mm	3.30×10^6 mm	4.95×10^6 mm

Gambar 4 menunjukan grafik hasil pengujian displacement pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan 3 variasi pembebanan 10 Kg, 20 Kg dan 30 Kg gambar 4 berikut:



Gambar 4. Hasil displacement

Berdasarkan hasil simulasi displacement dengan menggunakan 3 variasi beban yaitu 10 Kg, 20 Kg dan juga 30 Kg. Menghasilkan nilai perubahan bentuk dengan pembebanan 10 Kg yaitu 1.65×10^6 mm yang terdapat dilihat pada gambar 4.10, nilai perubahan bentuk dengan beban 20 Kg yaitu 3.30×10^6 mm yang terdapat pada gambar 4.11, dan juga perubahan bentuk pada pembebanan 30 Kg yaitu 4.95×10^6 mm terlihat pada gambar 4.12. Semakin besar beban pemotongan yang

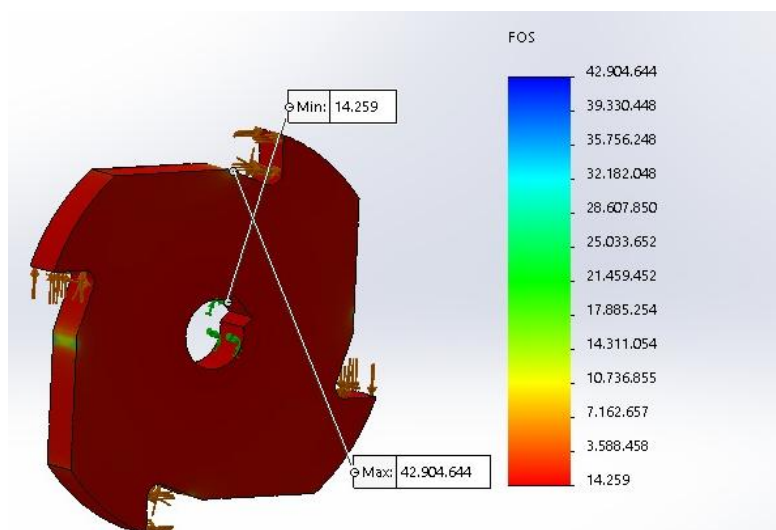
diterapkan pada mata pisau mesin pencacah kertas, maka semakin besar pula perubahan bentuk yang terjadi pada mata pisau tersebut. Jika beban terlalu besar, maka mata pisau dapat mengalami deformasi atau bahkan kerusakan.

E. Simulasi *Safety factor* Mata Pisau Mesin Pencacah Kertas

Simulasi *safety factor* pada mata pisau mesin pencacah kertas bertujuan untuk mengetahui seberapa aman atau andal mata pisau tersebut dalam melakukan proses pencacahan kertas. *Safety factor* pada mata pisau mesin pencacah kertas dapat dihitung dengan membandingkan tegangan maksimum yang terjadi pada mata pisau dengan tegangan leleh atau yield strength dari bahan yang digunakan pada mata pisau. Dalam simulasi *safety factor* mata pisau mesin pencacah kertas, beberapa faktor yang perlu diperhitungkan antara lain beban yang diterima oleh mata pisau selama proses pencacahan. *Safety factor* adalah factor yang digunakan untuk mengevaluasi kemandirian dari suatu bagian elemen mesin. Dimana kisaran factor kemandirannya dari 1 sampai 15 factor kemandirian yang baik harus lebih dari 1 untuk menghindari terjadinya kegagalan pada mata pisau mesin pencacah kertas. Warna biru menunjukkan bagian paling aman, dan warna merah menunjukkan bagian di luar batas aman. Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan variasi beban 10 Kg, 20 Kg, dan juga 30 Kg di dapatkan nilai sebagai berikut:

F. *Safety factor* Pada Mata Pisau Mesin Pencacah Pembebanan 10 Kg

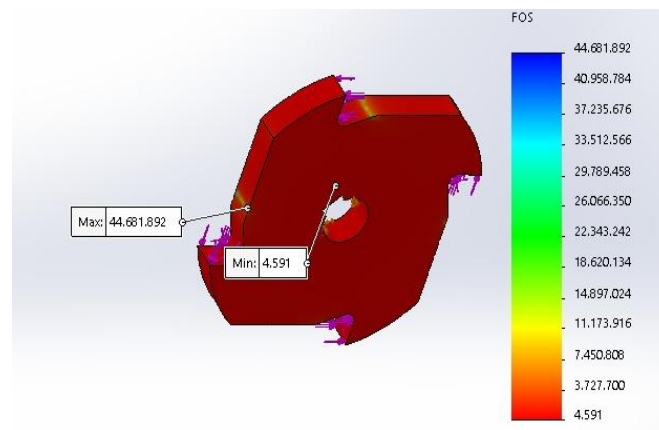
Pada hasil *Safety factor* maksimum dan minimum pada mata pisau mesin pencacah kertas seperti yang terlihat pada gambar 5. dibawah. yaitu nilai angka *Safety factor* aman menunjukkan pada angka 1.91×10^8 dan batas maksimum menunjukkan nilai angka 9.69×10^4 .



Gambar 5. Hasil *safety factor* Pembebanan 10 Kg

G. *Safety factor* Pada Mata Pisau Mesin Pencacah Pembebanan 20 Kg

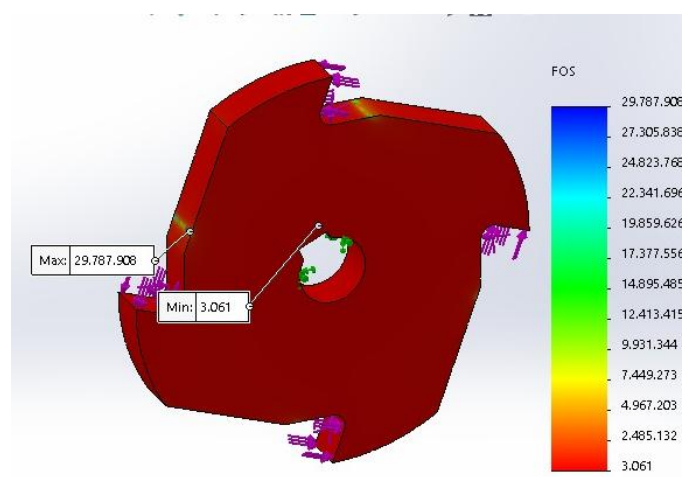
Pada hasil *Safety factor* maksimum dan minimum pada mata pisau mesin pencacah kertas seperti yang terlihat pada gambar 6.dibawah. yaitu nilai angka *Safety factor* aman menunjukkan pada angka 5.95×10^7 dan batas maksimum menunjukkan nilai angka 4.84×10^4 .



Gambar 6. Hasil *safety factor* Pembebanan 20 Kg

H. *Safety factor* Pada Mata Pisau Mesin Pencacah Pembebanan 20 Kg

Pada hasil *Safety factor* maksimum dan minimum pada mata pisau mesin pencacah kertas seperti yang terlihat pada gambar 7 dibawah. Analisis faktor keamanan (*Safety Factor*) merupakan aspek penting dalam mengevaluasi sejauh mana suatu komponen mampu menahan beban kerja tanpa mengalami kegagalan. Dalam konteks ini, mata pisau pada mesin pencacah kertas dianalisis untuk mengetahui nilai faktor keamanan berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak CAE (Computer Aided Engineering). yaitu nilai angka *Safety factor* aman menunjukkan pada angka 3.96×10^7 dan batas maksimum menunjukkan nilai angka 3.23×10^4 .



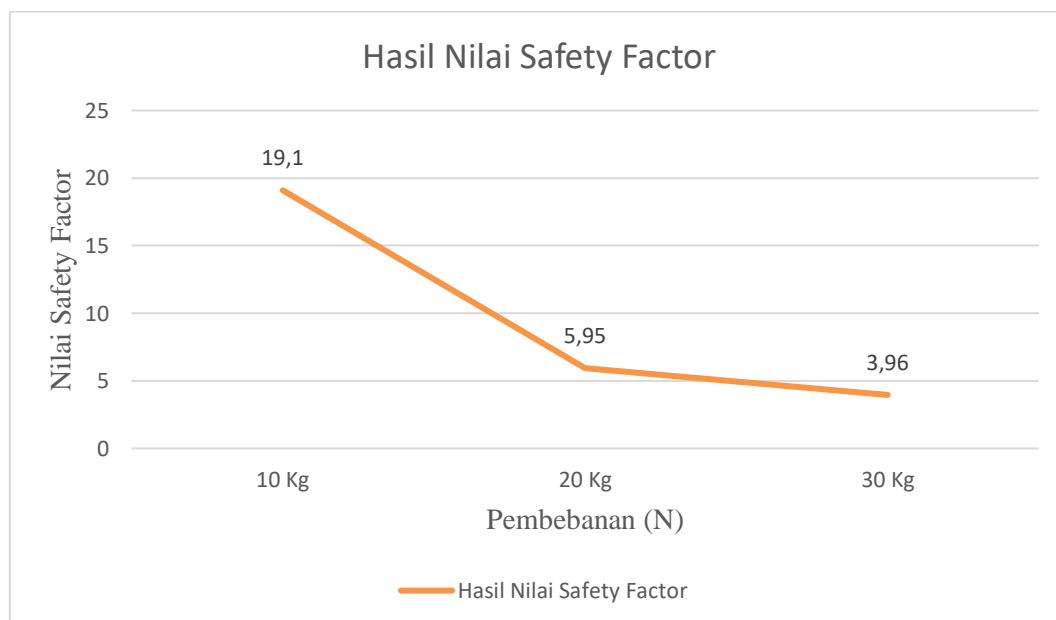
Gambar 7 Hasil *safety factor* Pembebanan 30 Kg

Hasil Penyajian data yang diperoleh dari pengujian *safety factor* seperti terlihat pada table 2 dibawah ini berdasarkan hasil simulasi pada gambar diatas pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan 3 variasi beban 10 Kg, 20 Kg, dan 30 Kg

Tabel 2. Hasil pengujian *safety factor*

Simulasi	Beban		
	10 Kg	20 Kg	30 Kg
<i>Safety factor</i>	1.91×10^8	5.95×10^7	3.96×10^7

Gambar 8 menunjukan grafik hasil pengujian *safety factor* pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan 3 variasi pembebanan 10 Kg, 20 Kg dan 30 Kg sebagai berikut:



Gambar 8. Hasil Simulasi *Safety factor*

Pada simulasi *safety factor*, beban yang diterapkan pada mata pisau mesin pencacah kertas dapat mempengaruhi hasil perhitungan *safety factor*. Jika beban yang diterapkan melebihi batas maksimum yang diizinkan, maka *safety factor* akan menurun. *Safety factor* adalah rasio antara kekuatan material dengan beban yang bekerja pada material tersebut. Semakin besar *safety factor*, semakin besar kemampuan material untuk menahan beban yang bekerja pada material tersebut tanpa mengalami kerusakan atau deformasi. Jika *safety factor* menurun, maka kemampuan material untuk menahan beban juga menurun, sehingga meningkatkan risiko terjadinya kerusakan atau kegagalan pada mesin pencacah kertas. Jadi, jika beban yang diterapkan pada mata pisau mesin pencacah kertas terlalu besar, maka *safety factor* akan menurun, sehingga meningkatkan risiko terjadinya

kerusakan atau kegagalan pada mesin. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan *safety factor* dengan tepat dan memperhatikan batas beban maksimum yang diizinkan pada mata pisau mesin pencacah kertas. Dapat dilihat pada gambar 8 Grafik hasil simulasi *safety factor* pada mata pisau mesin pencacah kertas hasil menunjukan grafik mengalami penurunan itu disebabkan beban yang berlebih tidak seimbang dengan kemampuan mata pisau tersebut hasil tertinggi pada beban 10 Kg yaitu 1.91×10^8 dan nilai terendah pada beban 30 Kg yaitu 3.96×10^7

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan metode elemen hingga (FEM) dengan perangkat lunak SolidWorks, diperoleh bahwa tegangan Von Mises yang terjadi pada mata pisau mesin pencacah kertas untuk beban 10 kg, 20 kg, dan 30 kg masih berada di bawah batas kekuatan material (SKD11), sehingga aman terhadap kerusakan atau kegagalan struktur.
2. Deformasi maksimum yang terjadi pada mata pisau akibat variasi pembebanan juga tergolong kecil dan tidak mempengaruhi kinerja operasional mesin secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa desain dan pemilihan material telah sesuai untuk aplikasi rumah tangga.
3. Desain mata pisau terbukti mampu menahan beban hingga 30 kg tanpa mengalami deformasi permanen, yang membuktikan bahwa struktur pisau cukup kuat dan efisien digunakan untuk proses pencacahan kertas secara terus-menerus.

B. SARAN

1. Untuk keperluan produksi massal atau penggunaan pada skala industri kecil, disarankan untuk melakukan pengujian langsung (eksperimental) sebagai validasi dari hasil simulasi FEM agar diperoleh data empiris yang lebih akurat.
2. Perlu dilakukan studi lanjutan untuk variasi geometri mata pisau atau penggunaan material alternatif seperti SKH51 atau C45 guna mengetahui perbandingan performa serta efisiensi biaya dan umur pakai.
3. Disarankan untuk memperhatikan aspek perawatan (maintenance) secara berkala pada bagian pisau, terutama dalam penggunaannya untuk waktu lama, agar tidak terjadi penurunan kinerja akibat keausan material.

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

- 1) Aditya, R., & Hidayat, A. (2021). *Perancangan dan Analisis Mata Pisau pada Mesin Pencacah Plastik Menggunakan SolidWorks*. Jurnal Teknik Mesin Nusantara, 9(2), 87-95.
- 2) Ahmad, S., & Nurhadi, M. (2020). *Pengaruh Variasi Beban terhadap Tegangan dan Deformasi pada Rangka Mesin Pencacah*. Jurnal Teknik Mesin dan Energi, 8(1), 45–52.
- 3) Anwar, F., & Susanto, B. (2021). *Analisis Tegangan dan Deformasi Struktur dengan Metode Elemen Hingga pada Mata Pisau Pencacah Sampah Organik*. Jurnal Rekayasa Mesin, 12(3), 67–74.
- 4) Arifin, M. (2019). *Dasar-Dasar Perancangan Mesin*. Yogyakarta: Deepublish.
- 5) Aryanto, H. (2018). *Teknik Pemilihan Material dalam Perancangan Mesin*. Bandung: Andi Offset.
- 6) Budiman, A., & Yulianto, R. (2022). *Studi Komparatif Material SKD11 dan SKH51 untuk Aplikasi Pisau Industri*. Jurnal Material Teknik, 6(1), 34–42.
- 7) Daryanto, T., & Saputra, D. (2021). *Analisis Kekuatan Struktur Mata Pisau Mesin Pencacah Plastik dengan Variasi Pembebanan*. Jurnal Mekanikal, 10(2), 88–96.
- 8) Hidayat, R. (2019). *Pemodelan Elemen Hingga dengan SolidWorks Simulation*. Jakarta: Erlangga.
- 9) Iskandar, D. (2022). *Desain Pisau Pencacah untuk Mesin Pengolahan Limbah Kertas*. Jurnal Teknik Mesin Inovatif, 5(3), 55–61.
- 10) Kurniawan, D., & Suryanto, T. (2020). *Pengaruh Bentuk Geometri Pisau terhadap Efisiensi Pencacahan*. Jurnal Rancang Bangun, 11(1), 29–36.
- 11) Nugroho, S., & Prasetyo, R. (2018). *Analisis Tegangan Von Mises pada Pisau Pencacah Menggunakan SolidWorks Simulation*. Jurnal Teknologi Mesin, 7(2), 77–84.
- 12) Prabowo, R. (2021). *Metode Elemen Hingga untuk Analisis Struktur Mekanik*. Surabaya: ITS Press.
- 13) Setiawan, A., & Hendra, R. (2020). *Pengaruh Variasi Beban terhadap Performa Pisau Mesin Pencacah Kertas*. Jurnal Teknologi Terapan Mesin, 4(2), 61–68.
- 14) Susilo, Y., & Mulyadi, E. (2019). *Analisis Kekuatan Material pada Komponen Mesin Pencacah dengan Beban Bertingkat*. Jurnal Rekayasa dan Aplikasi Teknik, 3(1), 40–46.

- 15) Yusuf, M., & Kadir, F. (2022). *Studi Eksperimental Pengujian Kekuatan Pisau Mesin Pencacah Berbasis FEM*. Jurnal Sains dan Teknologi, 14(4), 102–110.