

ANALISIS TEGANGAN DAN REGANGAN PADA MATA PISAU MESIN PENCACAH KERTAS MENGGUNAKAN SIMULASI SOLIDWORKS

STRESS AND STRAIN ANALYSIS OF PAPER CHOPPING MACHINE BLADES USING SOLIDWORKS SIMULATION

¹Adin, ²Joni Arif, ³Resa Hardianto, ⁴Muhammad Ammar Habibie Robbani, ⁵Muhammad Iqbal Yasin

^{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 : ¹dosen10121@unpam.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan struktur mata pisau pada mesin pencacah kertas skala rumah tangga menggunakan metode simulasi berbasis elemen hingga (Finite Element Method/FEM). Komponen utama yang dianalisis adalah mata pisau pencacah, yang berperan penting dalam proses penghancuran limbah kertas. Untuk mensimulasikan kondisi kerja aktual, dilakukan pembebanan statis sebesar 10 kg, 20 kg, dan 30 kg pada permukaan mata pisau. Proses pemodelan dan simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks untuk mengetahui distribusi tegangan Von Mises dan deformasi maksimum yang terjadi pada mata pisau. Material yang digunakan dalam simulasi adalah baja SKD11, yang dikenal memiliki kekuatan tinggi dan ketahanan terhadap aus. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada ketiga variasi beban tersebut, nilai tegangan yang terjadi masih berada di bawah batas elastis material. Artinya, desain mata pisau masih tergolong aman untuk digunakan dalam kondisi operasional dengan beban maksimum 30 kg. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa desain mata pisau mesin pencacah kertas mampu menahan beban operasional hingga 30 kg tanpa mengalami kegagalan struktural. Rekomendasi dari penelitian ini adalah untuk mempertimbangkan efisiensi desain dan material agar dapat menekan biaya produksi serta meningkatkan umur pakai komponen.

Kata Kunci: Mata Pisau, Mesin Pencacah Kertas, Tegangan Von Mises, SolidWorks, Beban 30 kg.

ABSTRACT

This study aims to analyze the structural strength of the blade on a household-scale paper shredder using a finite element method (FEM). The main component analyzed is the shredder blade, which plays a crucial role in the waste paper shredding process. To simulate actual operating conditions, static loads of 10 kg, 20 kg, and 30 kg were applied to the blade surface. The modeling and simulation process was performed using SolidWorks software to determine the Von Mises stress distribution and maximum deformation occurring in the blade. The material used in the simulation was SKD11 steel, known for its high strength and wear resistance. The simulation results showed that under all three load variations, the stress values remained below the material's elastic limit. This means that the blade design is still considered safe for use under operational conditions with a maximum load of 30 kg. The analysis concluded that the paper shredder blade design can withstand operational loads of up to 30 kg without experiencing structural failure. This study recommends considering design and material efficiency to reduce production costs and increase component lifespan.

Keywords: Blade, Paper Shredder, Von Mises Stress, SolidWorks, 30 kg Load.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang mekanika telah mendorong efisiensi dalam proses daur ulang limbah, salah satunya melalui penggunaan mesin pencacah kertas. [1,2] Mesin ini berfungsi untuk menghancurkan dokumen atau limbah kertas menjadi ukuran yang lebih kecil sehingga memudahkan pengolahan selanjutnya. Salah satu komponen utama

dalam mesin pencacah adalah mata pisau, yang berperan langsung dalam proses pemotongan dan sangat rentan terhadap kerusakan akibat beban mekanis berulang.[3,4] Ketahanan mata pisau terhadap tegangan dan regangan sangat penting untuk menjamin efisiensi dan umur pakai mesin. Mata pisau yang tidak dirancang dengan analisis yang tepat dapat mengalami keausan dini, patah, atau deformasi yang berdampak pada keseluruhan performa mesin.[5,6,7] Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis teknis untuk mengetahui sejauh mana mata pisau mampu menahan beban selama proses pencacahan berlangsung.[8,9] kebutuhan akan efisiensi dalam pengelolaan dokumen, terutama dalam proses daur ulang dan pemusnahan arsip, semakin meningkat. Salah satu solusi yang banyak digunakan adalah mesin pencacah kertas (paper shredder), yaitu perangkat mekanis yang berfungsi untuk mereduksi ukuran kertas menjadi potongan-potongan kecil.[10,11] Alat ini tidak hanya membantu dalam pengelolaan limbah kertas, tetapi juga berperan penting dalam menjaga kerahasiaan dokumen. Komponen utama yang berperan langsung dalam proses pencacahan adalah mata pisau.[12,13] Performa mata pisau sangat menentukan keberhasilan mesin dalam mencacah kertas secara efisien, cepat, dan aman. Namun demikian, dalam praktiknya, mata pisau sering mengalami permasalahan seperti keausan dini, patah, maupun deformasi akibat beban kerja yang berlebihan.[14] Permasalahan ini umumnya terjadi karena kurangnya analisis teknis dalam proses perancangan pisau, khususnya terkait dengan ketahanan terhadap tegangan dan regangan yang timbul selama proses pencacahan berlangsung. Ketahanan mekanis mata pisau sangat penting untuk menjamin umur pakai alat dan stabilitas operasional mesin. Oleh karena itu, diperlukan kajian mendalam mengenai karakteristik mekanika dari mata pisau yang meliputi kekuatan material, sudut potong, distribusi tegangan, gaya potong, hingga potensi deformasi.[15]

Pemanfaatan perangkat lunak berbasis Computer Aided Engineering (CAE) seperti SolidWorks Simulation dapat membantu menganalisis kekuatan dan kelemahan struktur mata pisau dengan akurat dan efisien. Simulasi ini mampu memprediksi distribusi tegangan dan regangan akibat pembebanan tertentu, tanpa harus melakukan uji coba fisik yang memakan waktu dan biaya. Selain itu, variasi pembebanan yang disimulasikan dapat memberikan gambaran mengenai batas aman penggunaan material dan desain komponen. Melalui analisis tegangan dan regangan menggunakan simulasi SolidWorks, penelitian ini bertujuan memberikan kontribusi terhadap perancangan mata pisau mesin pencacah kertas yang lebih kuat, efisien, dan tahan lama. Diharapkan hasil

penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pengembangan desain mesin pencacah kertas skala rumah tangga maupun industri kecil menengah (IKM) di Indonesia.

II. METODE PELAKSANAAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif melalui simulasi numerik berbasis elemen hingga (Finite Element Method/FEM). Tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis kekuatan dan respon tegangan pada mata pisau mesin pencacah kertas terhadap beban statis aktual sebesar 10 kg, 20 kg, dan 30 kg. Adapun tahapan metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah

Tahap awal dimulai dengan identifikasi permasalahan pada mesin pencacah kertas skala rumah tangga, terutama pada komponen mata pisau yang berpotensi mengalami kerusakan akibat beban berlebih.

2. Studi Literatur

Melakukan kajian pustaka dari jurnal, buku teknik, dan dokumen teknis yang berkaitan dengan desain pisau pencacah, metode elemen hingga, dan pemilihan material teknik seperti SKD11, SKH51, dan C45.

3. Pemodelan Komponen

Membuat model 3D mata pisau menggunakan perangkat lunak **SolidWorks** sesuai dengan dimensi aktual mesin pencacah kertas.

4. Penentuan Material

Menentukan material utama mata pisau yang akan dianalisis, yaitu baja SKD11. Material ini dipilih karena memiliki kekuatan tarik tinggi dan tahan terhadap abrasi.

5. Penerapan Beban

Memberikan beban statis sebesar 10 kg, 20 kg, dan 30 kg secara bertahap pada permukaan mata pisau yang bersentuhan langsung dengan kertas. pengujian beban statis dilakukan untuk mengetahui respon dan ketahanan mata pisau mesin pencacah kertas terhadap gaya tekan yang diterima selama proses pencacahan. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban statis secara bertahap pada permukaan mata pisau yang bersentuhan langsung dengan kertas. Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebesar 10 kg, 20 kg, dan 30 kg, yang diaplikasikan secara bertahap untuk mensimulasikan variasi beban kerja yang mungkin terjadi selama operasi mesin.

6. Analisis FEM

Melakukan analisis tegangan dan deformasi menggunakan fitur Simulation pada SolidWorks untuk mengetahui distribusi tegangan Von Mises dan deformasi maksimum.

7. Evaluasi Hasil

Membandingkan hasil tegangan yang diperoleh dengan batas elastis material untuk menentukan keamanan desain. Jika tegangan < yield strength, maka struktur dianggap aman.

8. Kesimpulan dan Rekomendasi

Menarik kesimpulan dari hasil simulasi serta memberikan saran untuk desain lebih lanjut atau pemilihan material yang lebih ekonomis.

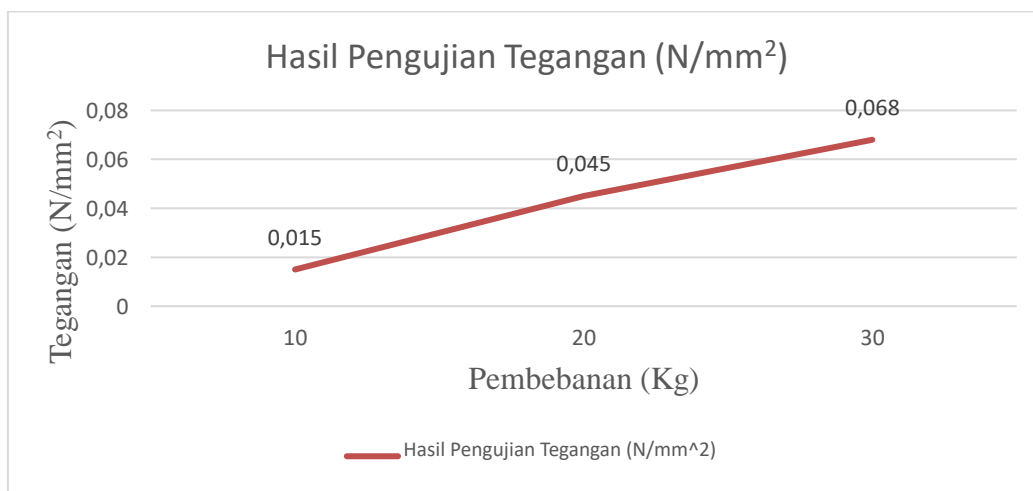
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

. Hasil Penyajian data yang diperoleh dari pengujian tegangan 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. dibawah ini menunjukkan hasil *Von Miss Stress*

Tabel 1. Hasil Tegangan

Simulasi	Beban		
	10 Kg	20 Kg	30 Kg
Tegangan Maksimum	0.015 N/mm ²	0.045 N/mm ²	0.068 N/mm ²
Tegangan Minimum	0.002N/mm ²	0.008 N/mm ²	0.011N/mm ²

Gambar menunjukan grafik hasil pengujian tegangan pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan 3 variasi pembebanan 10 Kg, 20 Kg dan 30 Kg terlihat gambar 1 berikut:



Gambar 1. Hasil Pengujian Tekanan

Berdasarkan analisis kata yang diberikan, proses simulasi strain analysis dilakukan dengan membebani bahan AISI 304 pada tiga variasi pembebanan yaitu 10 Kg, 20 Kg, dan 30 Kg. Hasil simulasi tegangan menunjukkan bahwa beban 30 Kg memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 0.068 N/mm², sedangkan beban 10 Kg memiliki nilai terendah yaitu sebesar 0.015 N/mm². Ini menunjukkan bahwa semakin tinggi pembebanan yang diterapkan pada bahan AISI 304, semakin tinggi pula nilai tegangan yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan prinsip mekanika, di mana tegangan akan meningkat seiring dengan peningkatan pembebanan. Dalam kasus ini, beban 30 Kg menghasilkan tegangan yang lebih tinggi daripada beban 10 Kg.

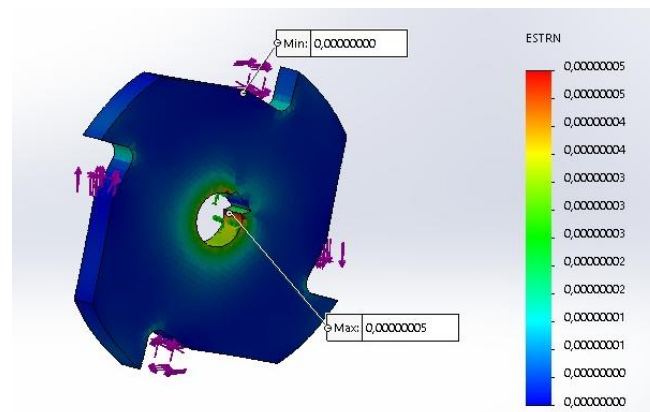
A. Simulasi Regangan Mata Pisau Mesin Pencacah Kertas

Tujuan simulasi regangan pada mata pisau mesin pencacah kertas adalah untuk memperkirakan besarnya regangan yang terjadi pada mata pisau akibat pembebanan saat melakukan pemotongan kertas. Simulasi regangan dapat membantu mengoptimalkan desain dan material dari mata pisau sehingga dapat menahan beban pemotongan yang tinggi dan menghindari kerusakan pada mata pisau serta mesin pencacah kertas. Dalam simulasi regangan, penggunaan software seperti SolidWorks dapat membantu dalam memodelkan mata pisau dan mengaplikasikan pembebanan yang realistis. Simulasi dapat dilakukan dengan menggunakan variasi pembebanan Pemberian beban dengan variasi 10 Kg, 20 Kg, dan juga 30 Kg yang diakibatkan dari penambahan komponen pada mata pisau mesin pencacah kertas. Setelah melakukan pemodelan 2D dan 3D menggunakan software *SolidWorks* 2017, dilanjutkan dengan proses simulasi dengan menggunakan material Aisi 304. Sehingga didapatkan hasil berupa regangan maksimum yang terjadi pada daerah sudut mata pisau, dapat dilihat dari hasil simulasi terdapat perubahan warna pada biru tua menjadi hijau menuju kuning yang menandakan terjadi konsentrasi regangan maksimum dan tanda merah menunjukan nilai ketahanan dan ketahanan. Dari simulasi mata pisau mesin pencacah kertas dengan variasi 3 beban 10 Kg, 20 Kg, dan 30 Kg yang telah dilakukan didapatkan nilai regangan dari mata pisau mesin pencacah kertas sebagai berikut:

B. Simulasi Regangan Mata Pisau Mesin Pencacah Kertas Beban 10 Kg

Pada hasil *Strain* maksimum dan minimum pada mata pisau mesin pencacah kertas pembebanan 10 Kg seperti yang terlihat pada gambar 2 yaitu angka *Strain*

minimum pada angka 2.48×10^{-11} dan maksimum ditunjukkan pada bagian yang berwarna merah menunjukkan angka 7.97×10^{-9} .

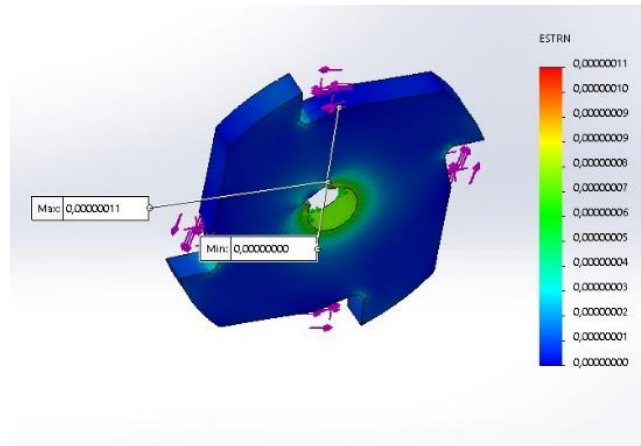


Gambar 2. Regangan pembebanan 10 Kg

Berdasarkan analisis kata yang diberikan, simulasi Strain pada SolidWorks dilakukan pada mata pisau mesin pencacah kertas yang terbuat dari bahan AISI 304 dengan gaya beban sebesar 10 Kg. Pada gambar simulasi (gambar 4.6), terdapat dua nilai strain yang dihitung dan diberi tanda dengan warna biru dan merah. Nilai strain dekat dengan warna biru (1.39×10^{-9}) menunjukkan bahwa struktur mata pisau dalam kondisi aman. Ini berarti bahwa pada pembebanan 10 Kg, mata pisau mampu menahan beban tersebut tanpa risiko kegagalan struktural. Warna biru digunakan sebagai indikator bahwa nilai strain pada titik tersebut masih berada dalam batas aman. Nilai strain dekat dengan warna merah (7.31×10^{-9}) menunjukkan titik tidak aman atau titik kritis pada mata pisau pencacah kertas. Ketika pembebanan mencapai nilai ini, terdapat potensi kerusakan atau kegagalan pada struktur mata pisau. Warna merah digunakan untuk menandai titik ini sebagai peringatan bahwa nilai strain telah melewati batas aman. Dengan demikian, berdasarkan hasil simulasi Strain pada SolidWorks, pada beban 10 Kg, mata pisau terbuat dari bahan AISI 304 dinyatakan aman karena nilai strain yang dihasilkan berada dalam batas yang dapat ditoleransi oleh struktur.

C. Simulasi Regangan Mata Pisau Mesin Pencacah Kertas Beban 20 Kg

Pada hasil *Strain* maksimum dan minimum pada mata pisau mesin pencacah kertas pembebanan 20 Kg seperti yang terlihat pada gambar 3 yaitu angka *Strain* minimum pada angka 4.97×10^{-11} dan maksimum ditunjukkan pada bagian yang berwarna merah menunjukkan angka 1.59×10^{-8} .



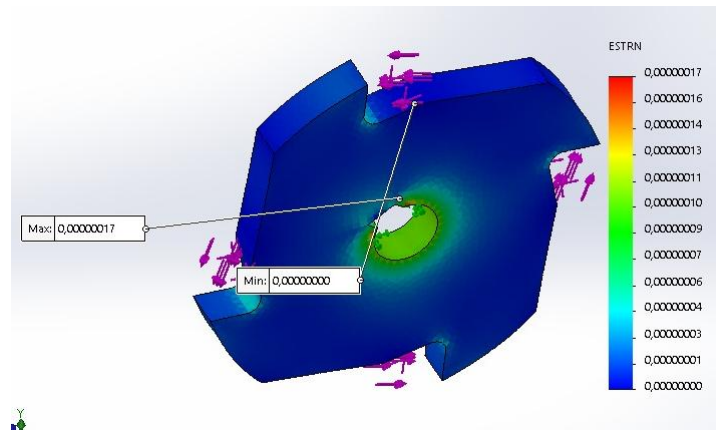
Gambar 3. Regangan pembebanan 20 Kg

Hasil pengujian pada gambar 3 menggunakan simulasi Strain pada SolidWorks pada mata pisau mesin pencacah kertas yang terbuat dari bahan AISI 304 dengan gaya beban 20 Kg. Pada gambar tersebut, kalkulasi nilai yang dekat dengan warna biru menunjukkan nilai 2.70×10^{-9} dengan keterangan "hasil struktur pengujian aman", sementara angka yang dekat dengan warna merah menunjukkan nilai 1.46×10^{-8} dengan keterangan "titik tidak aman" atau "titik kritis" pada mata pisau pencacah kertas. Dari penjelasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa dalam hasil simulasi, terdapat dua nilai strain yang dihitung. Nilai strain yang dekat dengan warna biru (2.70×10^{-9}) menunjukkan bahwa struktur mata pisau masih dalam kondisi aman. Artinya, pada pembebanan 20 Kg, mata pisau mampu menahan beban tersebut tanpa risiko kegagalan struktural. Namun, nilai strain yang dekat dengan warna merah (1.46×10^{-8}) menunjukkan titik tidak aman atau titik kritis pada mata pisau pencacah kertas. Ini mengindikasikan bahwa ketika pembebanan mencapai titik ini, ada potensi kerusakan atau kegagalan pada struktur mata pisau.

D. Simulasi Regangan Mata Pisau Mesin Pencacah Kertas Beban 30 Kg

Pengujian regangan pada mata pisau mesin pencacah kertas dilakukan dengan memberikan beban statis sebesar 10 kg, 20 kg, dan 30 kg secara bertahap. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui bagaimana perilaku deformasi atau regangan material mata pisau ketika dikenai beban bertingkat. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Computer Aided Engineering (CAE) untuk memperoleh visualisasi dan data numerik terkait distribusi regangan yang terjadi pada permukaan pisau. Pada hasil *Strain* maksimum dan minimum pada mata pisau mesin pencacah kertas pembebanan 30

Kg seperti yang terlihat pada gambar 4 yaitu angka *Strain* minimum pada angka 7.45×10^{-11} dan maksimum ditunjukkan pada bagian yang berwarna merah menunjukkan angka 2.39×10^{-8} .



Gambar 4. Regangan pembebanan 30 Kg

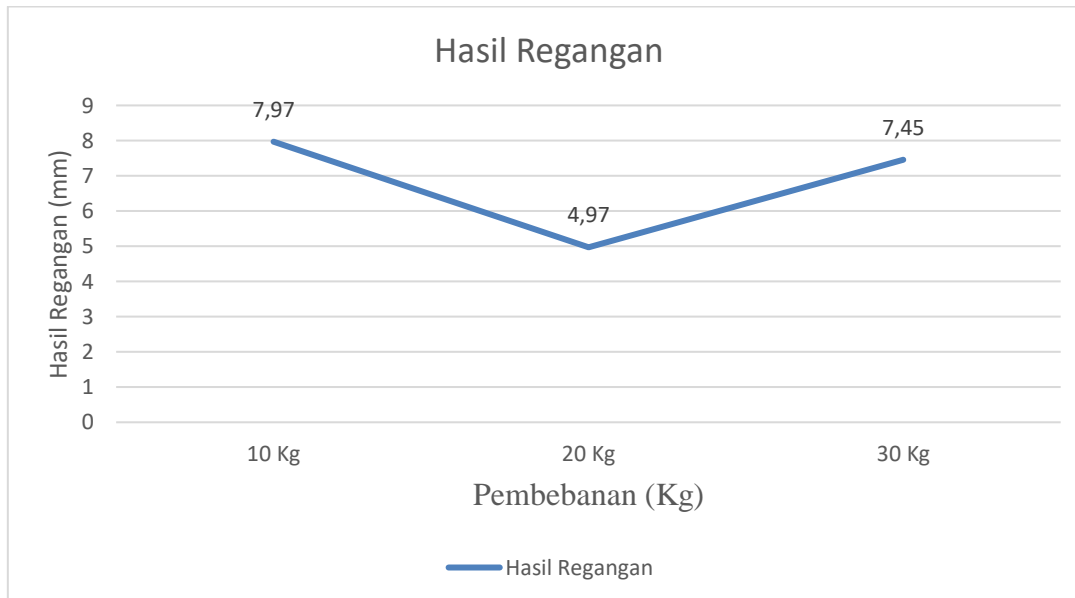
Pada hasil pengujian ketiga pada gambar 4. yang telah dilakukan simulasi *Strain* pada solidwork dari mata pisau mesin pencacah kertas dengan gaya beban yang diberikan sebesar 30 Kg, pada gambar di atas memperlihatkan bahwa kalkulasi nilai yang didekat warna biru menunjukkan nilai 4.05×10^{-9} dengan keterangan hasil struktur pengujian aman, sedangkan angka yang didekat pada warna merah menunjukkan kalkulasi nilai 2.19×10^{-8} titik tidak aman atau bisa disebut dengan titik kritis pada mata pisau pencacah kertas. Kemudian proses simulasi pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan beban 30 Kg dengan metode *Strain* secara hasil perhitungan dinyatakan aman karena beban yang diberikan masih dapat ditahan oleh mata pisau mesin pencacah kertas. Hasil Penyajian data yang diperoleh dari pengujian regangan seperti terlihat pada tabel 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 Regangan

Simulasi	Beban		
	10 Kg	20 Kg	30 Kg
Regangan Maksimum	7.97×10^{-9}	4.97×10^{-11}	7.45×10^{-11}
Regangan Minimum	2.48×10^{-11}	1.59×10^{-8}	2.39×10^{-8}

Gambar menunjukan grafik hasil pengujian regangan pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan 3 variasi pembebanan 10 Kg, 20 Kg dan 30 kg Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Computer Aided Engineering (CAE) untuk memperoleh

visualisasi dan data numerik terkait distribusi regangan yang terjadi pada permukaan pisau. Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada gambar sebelumnya, diperoleh data regangan maksimum yang terjadi pada setiap variasi beban gambar 5 sebagai berikut:



Gambar 5. Hasil pengujian regangan

Pada simulasi regangan, beban yang diterapkan pada mata pisau mesin pencacah kertas akan mempengaruhi regangan yang terjadi pada benda tersebut. Regangan adalah perubahan dimensi atau bentuk suatu benda saat diberi beban atau gaya. Semakin besar beban pemotongan yang diterapkan pada mata pisau mesin pencacah kertas, maka semakin besar pula regangan yang terjadi pada mata pisau tersebut. Jika regangan terlalu besar, maka mata pisau dapat mengalami deformasi atau bahkan kerusakan, yang dapat memengaruhi performa mesin pencacah kertas secara keseluruhan. Dengan melakukan simulasi regangan pada mata pisau mesin pencacah kertas, memastikan bahwa mata pisau dapat menahan beban pemotongan yang diterapkan pada mesin pencacah kertas secara aman dan efektif, sehingga memperpanjang umur pemakaian mesin pencacah kertas dan mengurangi biaya perbaikan atau penggantian komponen yang terkena kerusakan. Pada pembebanan 10 kg, nilai regangan maksimum yang terdeteksi adalah sebesar $7,97 \times 10^{-9}$ mm/mm, sedangkan pada pembebanan maksimum 30 kg, nilai regangan yang diperoleh adalah $7,45 \times 10^{-11}$ mm/mm. Nilai ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan deformasi yang terjadi masih sangat kecil dan berada jauh di bawah batas regangan ijin material baja (steel) secara umum, yang menandakan bahwa mata pisau masih berada dalam kondisi

aman secara struktural. Hasil menunjukkan nilai tertinggi terdapat pada beban 30 kg dengan nilai regangan 7.45×10^{-11} dan untuk beban 10 Kg nilai regangannya ialah 7.97×10^{-9}

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi tegangan dan regangan menggunakan software SolidWorks pada mata pisau mesin pencacah kertas dengan material AISI 304 dan tiga variasi beban (10 Kg, 20 Kg, dan 30 Kg), dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Tegangan Von Mises meningkat seiring dengan bertambahnya beban. Pada beban 10 Kg diperoleh tegangan maksimum sebesar 0.015 N/mm^2 , sedangkan pada beban 30 Kg meningkat menjadi 0.068 N/mm^2 . Hal ini sesuai dengan hukum mekanika bahwa tegangan akan sebanding dengan gaya yang diterapkan.
2. Nilai regangan tertinggi terjadi pada pembebanan 30 Kg, yaitu sebesar 2.39×10^{-8} . Sedangkan pada beban 10 Kg, nilai regangan maksimumnya hanya sebesar 7.97×10^{-9} . Perubahan warna dalam simulasi (dari biru ke merah) menunjukkan konsentrasi regangan di sudut pisau sebagai titik kritis.
3. Material AISI 304 terbukti mampu menahan beban hingga 30 Kg, berdasarkan hasil simulasi tegangan dan regangan yang menunjukkan bahwa nilai-nilai masih dalam batas aman. Tidak ditemukan deformasi berlebihan yang menunjukkan risiko kerusakan langsung pada struktur mata pisau.
4. Simulasi regangan menunjukkan bahwa regangan terbesar terjadi pada area sudut mata pisau, yang merupakan titik rawan deformasi dan perlu perhatian khusus dalam perancangan ulang atau saat proses pemotongan aktual terjadi.

B. SARAN

1. Disarankan penggunaan material AISI 304 tetap dipertahankan untuk aplikasi mesin pencacah kertas skala kecil hingga menengah, karena berdasarkan hasil simulasi material ini mampu menahan tegangan dan regangan dengan baik hingga beban 30 Kg.
2. Perlu dilakukan uji eksperimental secara langsung untuk memvalidasi hasil simulasi secara praktis, termasuk pengujian ketahanan pisau terhadap keausan dan retak mikro saat digunakan secara berulang.

3. Desain mata pisau sebaiknya dimodifikasi di bagian sudut, yaitu pada titik konsentrasi regangan maksimum, misalnya dengan memperhalus radius sudut atau menambah elemen penguat untuk mengurangi konsentrasi tegangan.
4. Untuk penggunaan jangka panjang atau beban lebih dari 30 Kg, disarankan mempertimbangkan material dengan ketahanan mekanik yang lebih tinggi, seperti baja paduan tinggi (SKD11 atau SKH51), guna menghindari deformasi permanen dan kerusakan dini

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih saya ucapkan kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Pamulang kampus Serang, rekan-rekan dosen dan mahasiswa yang telah membantu dan serta Tim peneliti dari Teknik Mesin dan Semua Pihak yang sudah berperan aktif dan sudah berkontribusi dan mendukung baik secara moral ataupun material

DAFTAR PUSTAKA

1. Budiman, A. (2018). *Dasar-dasar Elemen Hingga dan Aplikasinya dalam Teknik Mesin*. Yogyakarta: Andi.
2. Darmawan, A., & Rachman, H. (2020). Simulasi Tegangan dan Regangan pada Rangka Mesin dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Mesin Nusantara*, 8(2), 45–52.
3. Dewi, R. P., & Santosa, D. (2022). Analisis Kekuatan Bahan terhadap Beban Tarik Menggunakan Simulasi. *Jurnal Mesin dan Manufaktur*, 5(1), 10–17.
4. Hibbeler, R. C. (2016). *Mechanics of Materials* (10th ed.). Pearson Education.
5. Irfandi, R., & Sutrisno, T. (2019). Desain dan Analisis Struktur Rangka Mesin Pencacah Plastik. *Jurnal Rancang Bangun Mesin*, 7(3), 103–111.
6. Kartika, D., & Suryana, D. (2021). Analisis Struktur Mata Pisau pada Mesin Pencacah Sampah Organik. *Jurnal Teknologi Mesin Indonesia*, 10(2), 58–65.
7. Khan, M., & Liew, K. M. (2019). Finite Element Modelling and Simulation of Cutting Tool Performance. *International Journal of Mechanical Sciences*, 154, 398–410.
8. Kristiawan, M. (2017). *Finite Element Analysis dengan SolidWorks Simulation*. Bandung: Informatika.
9. Munir, A., & Rijal, A. (2021). Pengaruh Beban Terhadap Tegangan pada Baja Karbon. *Jurnal Sains dan Teknologi Mesin*, 6(1), 21–28.

10. Purnomo, Y. (2018). Simulasi Struktur Menggunakan SolidWorks Simulation untuk Desain Komponen Mesin. *Jurnal Mekanika Terapan*, 4(1), 33–40.
11. Putra, Y., & Wijaya, H. (2020). Analisis Tegangan pada Komponen Mesin dengan Variasi Beban. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(2), 72–79.
12. Rahmat, F., & Sitorus, B. (2022). Studi Perbandingan Material Mata Pisau Mesin Pencacah Kertas. *Jurnal Teknik Industri dan Mesin*, 12(1), 17–23.
13. Saputra, H., & Ramadhan, D. (2023). Evaluasi Struktur Mata Pisau dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Kajian Teknologi*, 9(1), 41–48.
14. Suryani, T. (2020). *Metode Penelitian Teknik*. Jakarta: Prenadamedia Group.
15. Yulian, D., & Hartanto, A. (2019). Analisis Kekuatan Material Stainless Steel terhadap Gaya Potong. *Jurnal Material dan Manufaktur*, 11(2), 88–95.