



Analisis Pembebanan Pada Pisau Mesin Pencacah Sampah Organik Menggunakan CAE (*Computer Aided Engineering*)

Muhammad Hegel Umari^{1*}, Firdaus², Almadora Anwar Sani³

¹Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

^{2,3}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: bilborn206@gmail.com

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pembebanan pada pisau mesin pencacah sampah organik menggunakan pendekatan computer aided engineering (CAE) dengan material baja perkakas SKD 11. Empat variasi pembebanan, yaitu 688 N, 860 N, 1032 N, dan 1290 N, diuji melalui simulasi elemen hingga statik. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui distribusi tegangan Von Mises, displacement, dan factor keamanan (FOS). Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan Von Mises sebesar 249,407 MPa, displacement 2,781 mm, dan FOS 1,5 diperoleh pada beban maksimum 1290 N. Nilai tegangan total masih berada di bawah kekuatan pelepasan material SKD 11 sebesar 330 MPa, sehingga pisau tidak mengalami kegagalan struktural dalam kondisi pembebanan yang diteliti. Dengan menggunakan simulasi CAE untuk mengevaluasi variasi tegangan geser material sampah organik, keterbaruan penelitian ini untuk mengevaluasi batas aman operasional pisau pencacah. Untuk meningkatkan keamanan dan umur pakai pisau, batas pembebanan maksimum disarankan. Penelitian ini diharapkan dapat membantu dalam desain dan optimalisasi pisau pencacah sampah organik skala industri dan komunitas.

Kata kunci— Pisau schredder, finite element analysis, faktor keamanan, CAE

Abstract

This research aims to evaluate the load on the organic waste shredder knife utilizing a computer-aided engineering (CAE) methodology with SKD 11 tool steel material. Four loading variations of 688 N, 860 N, 1032 N, and 1290 N were evaluated using static finite element simulation. This analysis aims to ascertain the distribution of Von Mises stress, displacement, and factor of safety (FOS). The simulation results indicate that the Von Mises stress is 249.407 MPa, the displacement is 2.781 mm, and the factor of safety is 1.5 at a maximum load of 1290 N. The cumulative stress remains beneath the yield strength of SKD 11 material at 330 MPa; hence, the knife does not undergo structural failure under the examined loading circumstances. This study recently evaluated the safe functioning limitations of the shredding knife by employing CAE simulations to analyze the shear stress variation of organic waste material. A maximum load limit

is advised to improve the safety and longevity of the blades. This project aims to facilitate the design and optimization of blades for organic waste shredders at both industrial and community levels.

Keywords— *Schredder blade, Finite element analysis, safety factor, CAE*

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan bagian tak terhindarkan dari aktivitas manusia dan bila tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan masalah kesehatan serta pencemaran lingkungan. Menurut data SIPSN, timbunan sampah Indonesia tahun 2024 diperkirakan mencapai 27,74 juta ton. Bank Sampah Sakura Palembang hadir sebagai upaya mengurangi penumpukan sampah yang terbuang sia-sia.

Dalam proses pengolahan sampah organik, mesin pencacah memegang peranan penting. Mesin pencacah sampah organik digunakan untuk memotong dan mencacah sampah organik menjadi ukuran yang lebih kecil sehingga memudahkan dalam proses pengomposan [1]. Mesin pencacah ini dilengkapi dengan pisau yang harus mampu memotong berbagai macam material organik dengan tingkat kekerasan yang bervariasi. Ada empat langkah pengelolaan sampah yang aman dan mudah, dikenal 4R. *Reduce* (pengurangan), *reuse* (pemakaian kembali), *recycle* (daur ulang), dan *recovery* (transformasi) [2]. Mata pisau merupakan salah satu komponen penting pada mesin pencacah pengolahan kompos. Beberapa faktor penting dalam perancangan mesin pengaduk kompos meliputi pemilihan material dan bentuk bilah pengaduk, kekuatan konstruksi, kecepatan putaran untuk homogenisasi, serta kemudahan pengoperasian dan pemeliharaan [3].

Perubahan bentuk pada mata pisau adalah masalah umum yang terjadi akibat gesekan berulang antara pisau dan material yang diproses. Deformasi yang terjadi dapat mengurangi ketajaman pisau, meningkatkan energi yang diperlukan untuk pemrosesan, dan bahkan memperpendek umur mesin. Analisis ini dapat dilakukan menggunakan CAE (*Computer Aided Engineering*). Analisa kerusakan yang komprehensif yang bisa dimanfaatkan sebagai umpan balik dalam perbaikan desain, material, perlakuan panas, dan sebagainya terhadap sistem atau komponen. Suatu peralatan dinyatakan gagal apabila peralatan tersebut sudah tidak dapat digunakan sama sekali. Selain itu pengoperasian yang tidak efisien dan menimbulkan kerugian atau masalah safety [4]. FEA Biasa di gunakan untuk meng-analisis batas maksimal ketahanan suatu bagian dari produk/part atau material (*Stress analysis*) terhadap gaya yang akan di bebaskan pada produk tersebut [5].

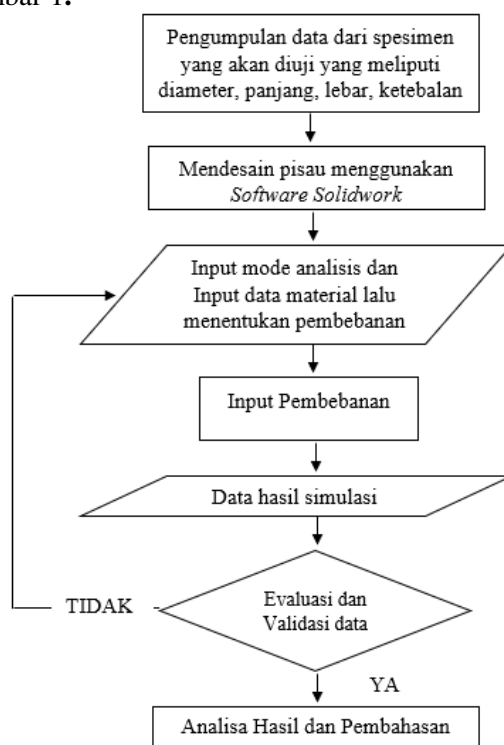
FEA memiliki kemampuan untuk membagi objek yang dianalisis menjadi beberapa bagian yang terbatas (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen, dan setiap elemen terhubung dengan elemen lainnya melalui nodal atau sambungan. Proses pembagian objek menjadi beberapa bagian ini dikenal sebagai proses *meshing* [6]. Bentuk *meshing* menggunakan elemen *tetrahedral*, dengan rasio *meshing* yang mendukung analisis *von mises stress*, *displacement*, dan *safety factor*, dengan variasi pembebanan yang digunakan [7]. Hal yang perlu dipertimbangan dalam kekuatan desain adalah faktor keamanan (*safety of factor* atau SOF) [8]. Faktor keamanan yang baik memiliki nilai antara 1-10, semakin besar nilai SOF yang dihasilkan, maka desain semakin kuat, jika nilai SOF kurang dari 1 atau sama dengan 1, maka desain pada benda tersebut akan mengalami kegagalan (*failure*) [9].

Berdasarkan dengan latar belakang diatas, penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui nilai tegangan, deformasi dan *safety factor* dari pisau pencacah tersebut. Studi sebelumnya telah membahas desain dan analisis pisau pencacah sampah dan plastik menggunakan metode analisis elemen terbatas (FEA), dengan fokus pada distribusi tegangan dan deformasi. Namun, sebagian besar penelitian masih terbatas pada satu kondisi pembebanan atau belum mengaitkan hasil simulasi dengan batas aman operasional yang didasarkan pada sifat material sampah yang dicacah. Penelitian ini menggunakan pendekatan CAE untuk menganalisis kekuatan pisau pencacah berbahan SKD 11 melalui variasi pembebanan karena belum adanya penelitian yang secara khusus mengevaluasi variasi pembebanan pisau pencacah sampah organik

berdasarkan rentang tegangan geser material sampah, serta efeknya terhadap faktor keamanan dan rekomendasi batas operasional pisau.

2. METODE PENELITIAN

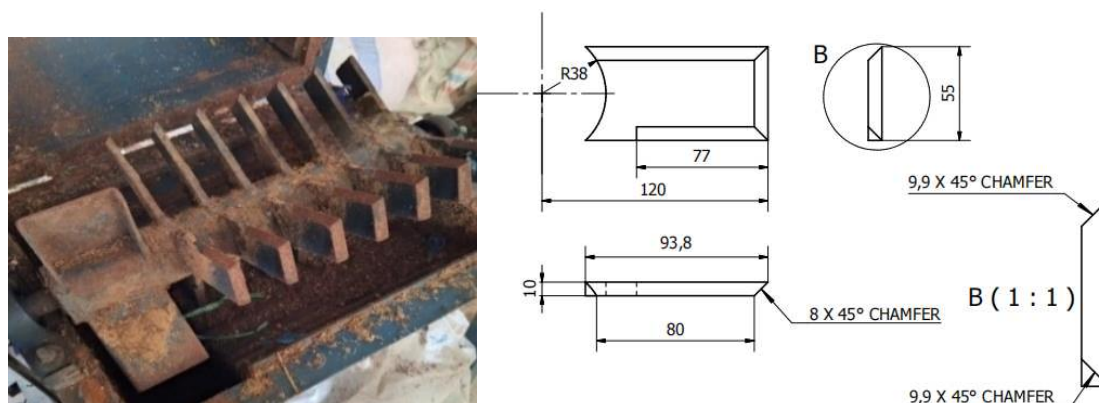
Konsep kajian yang akan dilakukan yaitu permodelan desain mata pisau dan uji analisis simulasi desain. Analisis ini memungkinkan untuk mendeskripsikan sistem nyata secara akurat dan andal, untuk mendapatkan besaran fisik yang diinginkan [10]. Material mata pisau yang digunakan yaitu SKD 11. Kajian ini menggunakan metode pendekatan analisis simulasi berdasarkan nilai tegangan *von misses*, *displacement*, dan *safety factor* sebagai acuan untuk memenuhi standar keamanan desain mata pisau. Karena tegangan maksimum di bawah tegangan luluh, deformasi elastis harus menjadi patokan dalam merancang suatu alat. Tahapan kajian diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Alur Penelitian

2.1 Objek Penelitian

Objek penelitian adalah pisau pencacah organik tipe *shredder* dengan material SKD 11. Baja SKD 11 ini termasuk jenis baja perkakas atau *tool steel* yaitu baja yang banyak digunakan pada bidang manufaktur sebagai *cutting*, *shear blades*, *stamping tools*, *punching*, *dies* dan sebagainya [11]. Untuk mempertahankan ketangguhan serta kekuatannya, baja SKD 11 biasanya melalui proses perlakuan panas, yaitu kombinasi pemanasan dan pendinginan logam atau paduan dalam kondisi padat dengan tujuan memperoleh sifat mekanik tertentu [12]. Mata pisau ini bisa bekerja dengan cara menekan, meremukkan, merobek serta menjepit cacahan [13]. Dimensi pisau adalah panjang 135 mm, lebar 55 mm, dan tebal 8 mm, dengan jumlah mata pisau sebanyak 21. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*. Gambar 2 memperlihatkan objek penelitian yang digunakan.



Gambar 2 Objek Penelitian

Tabel 1 Data Operasi Mata Pisau

No.	Geometri	Nilai
1.	Panjang sisi atas	80 mm
2.	Panjang sisi bawah	93.8 mm
3.	Ketebalan	9.9 mm
4.	Jumlah Mata Pisau	21 mm
5.	Jari-jari Poros	120 mm
5.	Tegangan geser sampah	0,8-1,5 Mpa
6.	Masa Jenis Sampah	600 kg/m ³ (SNI 19-3964-1994)

Tabel 2 Mechanical Properties SKD 11

No.	Nama	Ketereangan
1.	Mechanical Properties	SKD 11
2.	Elasticity Modulus	210 GPa.
3.	Shear modulus	80000 Mpa.
4.	Tensile Strenght	128 kgf/mm2
5.	Yield Strenght	330 MPa.

2.2 Alur Penelitian

1. Pengukuran Dimensi

Langkah awal pengujian dimulai dengan pengukuran dimensi fisik dari pisau pencacah menggunakan alat ukur presisi (seperti jangka sorong atau mikrometer). Dimensi yang diukur meliputi panjang, lebar, ketebalan, dan sudut kemiringan pisau. Hasil pengukuran ini menjadi acuan dalam pembuatan model digital 3D dan perhitungan gaya beban yang bekerja pada pisau.

2. Modeling 3D

Setelah data dimensi diperoleh, dilakukan proses pemodelan 3D pisau menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* 2024. Model 3D ini disusun secara detail dan akurat mengikuti ukuran aktual agar hasil simulasi mendekati kondisi nyata. Pemodelan mencakup bentuk geometri utama, *chamfer*, radius, serta orientasi sudut kemiringan mata pisau. Model ini selanjutnya digunakan sebagai basis dalam simulasi pembebanan statis.

3. Perhitungan Operasional

Sebelum simulasi dilakukan, diperlukan perhitungan parameter kerja pisau seperti disajikan dalam Rumus (1) sampai dengan Rumus (5). Sedangkan Tabel 3 merupakan hasil perhitungan gaya yang terjadi pada pisau.

- Luas penampang pisau (A)

$$A = \frac{1}{2} \cdot (a + b) \cdot t \quad (1)$$

A = Luas penampang (mm)

a = Panjang sisi atas (mm)

b = Panjang sisi bawah (mm)

t = Tinggi (mm)

- Gaya potong (F), dihitung menggunakan rumus:

$$F = A \times fs \quad (2)$$

fs : tegangan geser dari jenis sampah organik.

- Torsi (T) yang bekerja pada pisau berdasarkan:

$$T = F \times r, \quad (3)$$

r : jari-jari pisau (m)

- Kapasitas pemotongan (Q)

$$Q = \rho \cdot A \cdot V \cdot 3600 \quad (4)$$

Q = kapasitas pemotongan (Kg/jam)

ρ = massa jenis sampah (g/cm³)

V = kec. hasil pemotongan (m/min)

- Kecepatan Putaran Potong (V1)

$$V1 = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000 \cdot 60} \quad (5)$$

V1 = Kec. Putaran potong (m/s)

d = Diameter poros (mm)

n = Putaran Poros (rpm)

Tabel 3 Hasil Perhitungan Gaya yang Terjadi pada Pisau

No.	Data	Nilai	Satuan
1.	Kecepatan Putar	1200	RPM
2.	Kapasitan Cacahan	135	Kg/jam
3.	Gaya potong per Blade	688, 860, 1032, 1290	Newton
4.	Torsi	82.5, 103, 123.8, 154.8	Nm

4. Simulasi Pembebanan

Simulasi statik dilakukan dalam *SolidWorks Simulation* untuk melihat bagaimana struktur pisau merespons terhadap beban. Tahapannya meliputi:

- Menentukan jenis analisis Menggunakan *Static Analysis* untuk menghitung tegangan dan deformasi akibat beban diam (beban statik).
- Menetapkan batas (*Boundary Condition*).
- Titik *fixed geometry* ditentukan pada bagian basis pisau sebagai tumpuan.
- Titik pembebanan ditentukan pada sisi kerja mata pisau, mengikuti arah gaya dari proses pencacahan.
- Proses *Meshing*: Model 3D dibagi ke dalam elemen-elemen kecil berbentuk tetrahedral menggunakan metode *meshing*. Ukuran mesh dipilih menengah untuk keseimbangan antara kecepatan dan ketelitian simulasi.

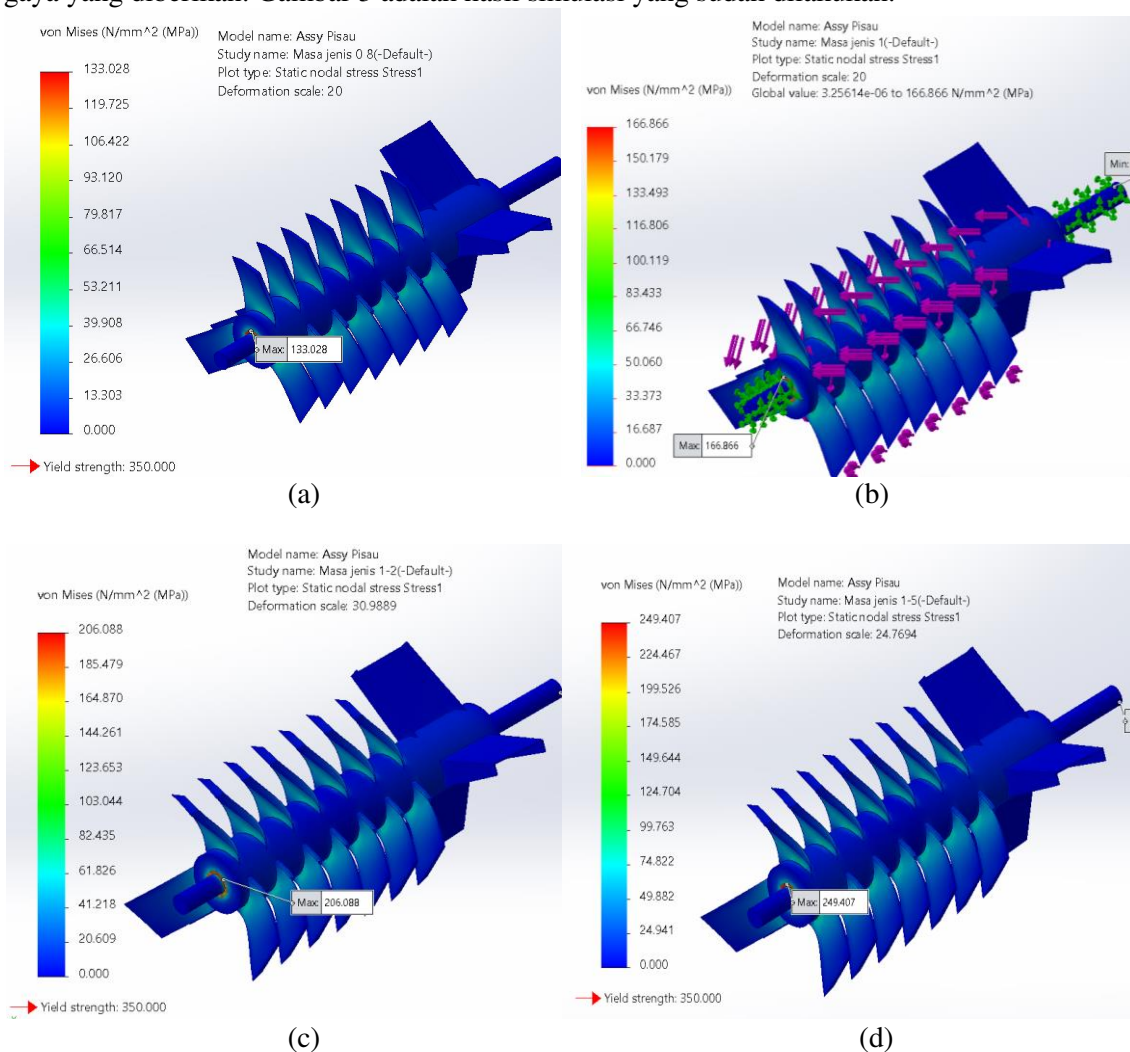
- Menjalankan Simulasi: Proses dijalankan dengan fitur *Run this study*. Hasilnya ditampilkan dalam kontur warna untuk masing-masing parameter, meliputi: *Von Mises stress*, *Total displacement*, *Safety factor*.

Beberapa faktor penting dalam perancangan mesin pengaduk kompos meliputi pemilihan material dan bentuk bilah pengaduk, kekuatan konstruksi, kecepatan putaran untuk homogenisasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

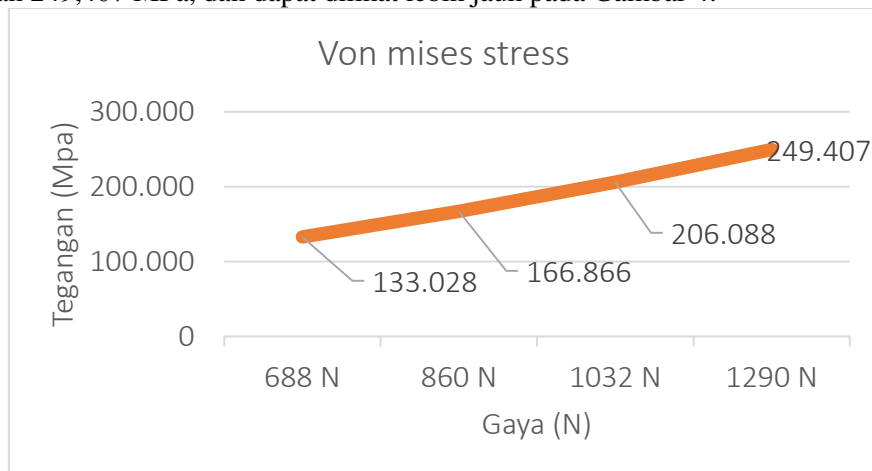
3.1 Hasil Simulasi Von Mises Stress

Tegangan *von Mises* merupakan tegangan yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada material yang menerima tegangan triaksial sehingga menghasilkan energi regangan dari model pembebanan yang diberikan ketika mendekati titik luluh (*yield strength*) [14]. Sebuah material akan mengalami patah, atau berubah bentuk ketika stress nya mencapai level tertentu [15]. Berdasarkan hasil simulasi masing-masing menunjukkan nilai yang berbeda berdasarkan gaya yang diberikan. Gambar 3 adalah hasil simulasi yang sudah dilakukan.



Gambar 3 (a) *Von Mises* beban 688 N (b) *Von Mises* beban 860 N (c) *Von Mises* beban 1032 N (d) *Von mises* beban 1290 N

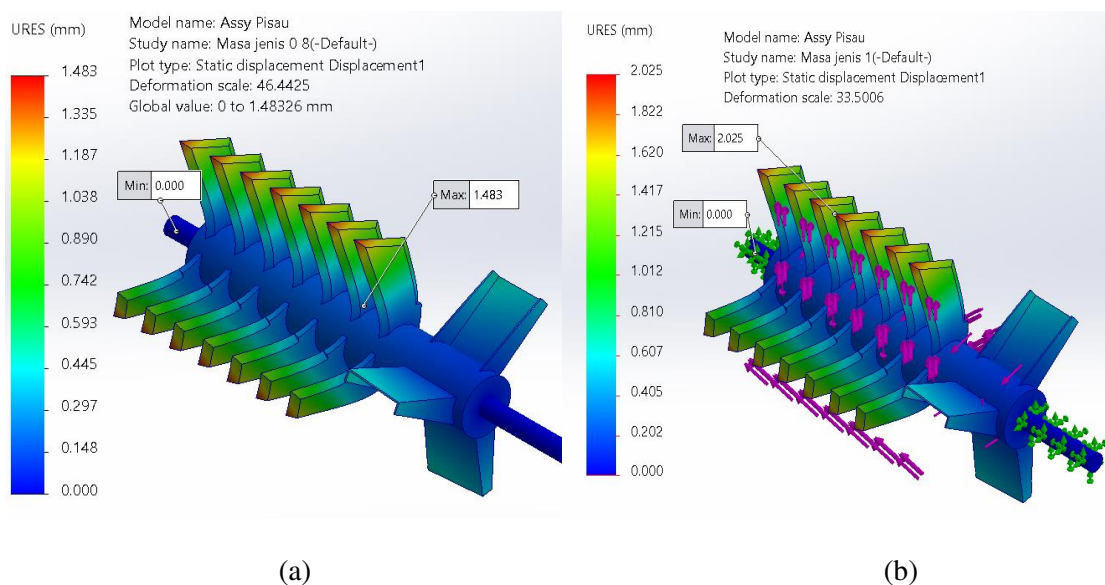
Berdasarkan variasi pada Gambar 3, nilai von mises maksimum yang diperoleh pada beban berturut-turut 688 N, 860 N, 1032 N dan 1290 N adalah sebesar 133,028 MPa, 166,866 MPa, 206,088 dan 249,407 MPa, dan dapat dilihat lebih jauh pada Gambar 4.

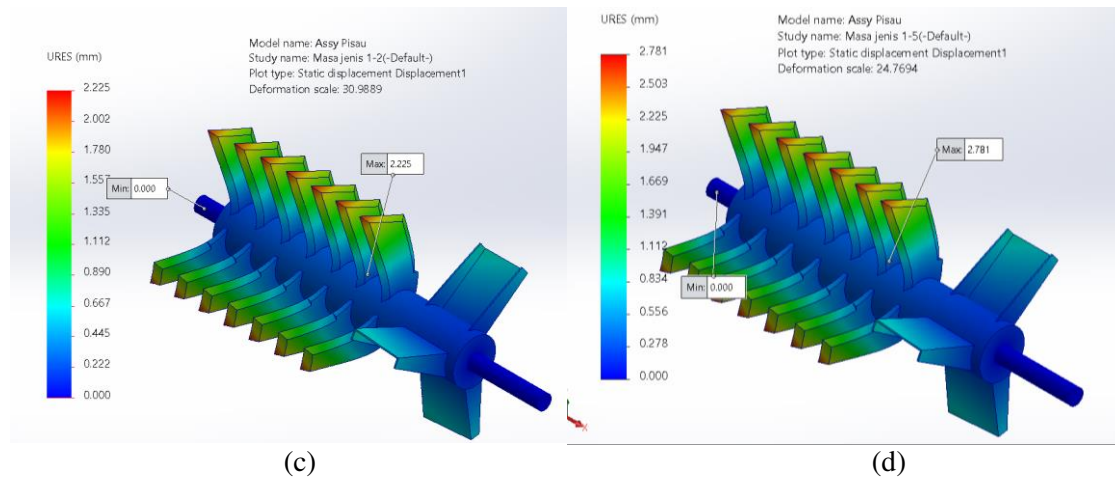


Gambar 4 Grafik *Von Mises Stress*

3.2 Hasil Simulasi Displacement

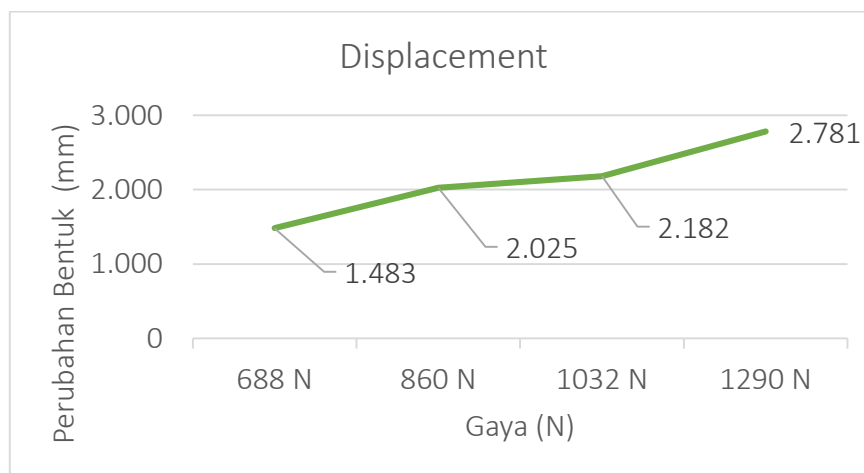
Indikator yang sangat penting untuk menentukan sebuah material itu kuat dan tidaknya menahan beban dapat dilihat pada nilai *deformasi* [16]. Perpindahan/lendutan adalah perubahan bentuk pada benda kerja dalam arah y (vertikal) akibat adanya pembebanan yang diberikan pada benda kerja tersebut [17]. Semakin kecil nilai deformasi, maka semakin kuat suatu material [18]. Berdasarkan hasil simulasi masing-masing menunjukkan nilai yang berbeda berdasarkan gaya yang diberikan. Berikut adalah hasil simulasi yang sudah dilakukan, seperti tersaji pada Gambar 5.





Gambar 5 (a) *Displacement* beban 688 N (b) *Displacement* beban 860 N (c) *Displacement* beban 1032 N (d) *Displacement* beban 1290 N

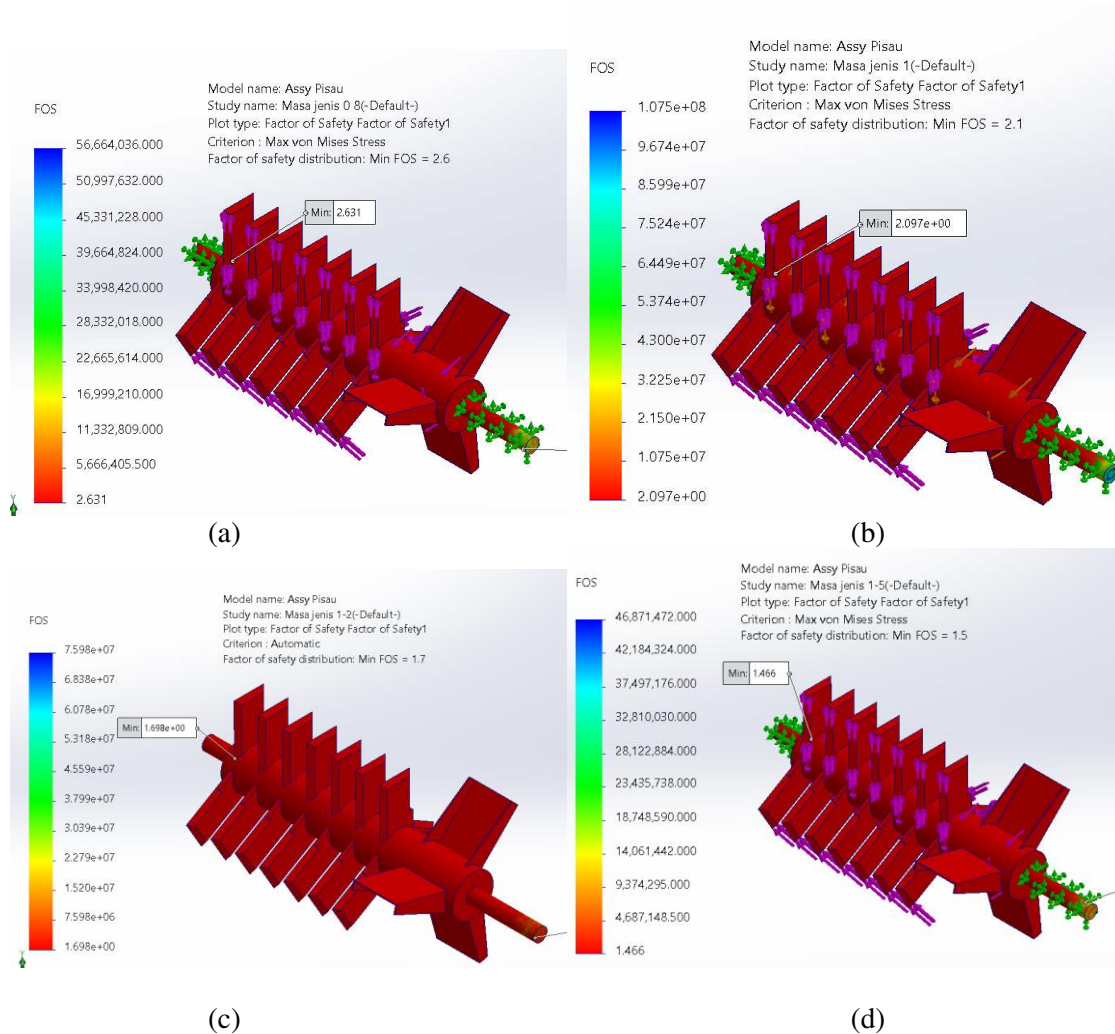
Berdasarkan variasi pada Gambar 5, nilai *Displacement* maksimum yang diperoleh pada beban berturut-turut 688 N, 860 N, 1032 N dan 1290 N adalah sebesar 1,483 mm, 2,025 mm, 2,182 mm dan 2,781 mm. Sedangkan nilai minimum yang diperoleh pada masing-masing beban adalah 0,000 mm, seperti tersaji pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik *Displacement*

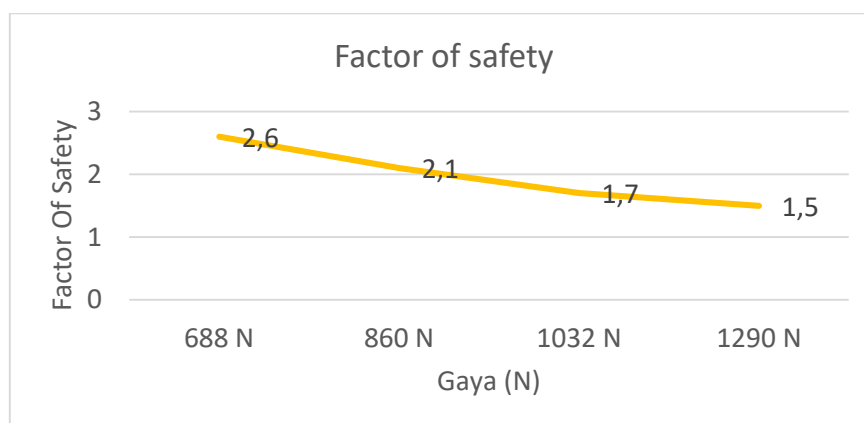
3.3 Hasil Simulasi Safety Factor

Nilai *safety factor* dapat diketahui dengan melakukan pengujian tegangan pada pemodelan suatu objek. *Safety Factor* adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik menerima beban dari luar, yaitu beban tekan maupun tarik. Faktor ini identik dengan perbandingan antara tegangan ijin (*Allowable Stress*) dengan tegangan terbesar (*Maximum Stress*) yang terjadi [19].



Gambar 7 (a) SOF beban 688 N (b) SOF beban 860 N (c) SOF beban 1032 N (d) SOF beban 1290 N

Berdasarkan variasi pada Gambar 7, nilai *Safety of factor* yang diperoleh pada beban berturut-turut 672 N, 840 N, 1008 N dan 1260 N adalah sebesar 2,6, 2,1, 1,7 dan 1,5 seperti tersaji pada Gambar 8. Faktor keamanan biasanya didefinisikan sebagai rasio antara tegangan maksimum (*maximum stress*) dan tegangan kerja (*working stress*).



Gambar 8 Grafik *Factor Of Safety*

3.4 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk table seperti pada tabel 3 dibawah.

Tabel 4. Hasil Pengujian

No.	Gaya (F)	Von Mises Stress (Mpa)		Displacement (mm)		Factor Of Safety
		MIN.	MAKS.	MIN.	MAKS.	
1	688	0	133,028	0	1,483	2,6
2	860	0	166,866	0	2,025	2,1
3	1032	0	206,088	0	2,182	1,7
4	1290	0	249,407	0	2,781	1,5

Pada pengujian pertama dengan beban 688 N, nilai tegangan *von mises* yang terjadi sebesar 133,028 MPa dengan *displacement* sebesar 1,483 mm dan *factor of safety* senilai 2,6. Dengan data tersebut maka pisau pencacah sampah organik di-kategorikan aman karena memiliki nilai tegangan *von mises* masih dibawah *yield strength* material dan nilai *factor of safety* diatas 1,5.

Di pengujian kedua dengan gaya 860 N, tegangan *von mises* adalah sebesar 166,866 Mpa, *displacement* sebesar 2,025 mm, dan *factor of safety* sebesar 2,1. Oleh karena itu, pengujian ini dikategorikan aman karena tegangan *von mises* masih di bawah *yield strength* material dan *factor of safety* di atas 1,5.

Di pengujian ketiga dengan gaya 1032 N, tegangan *von mises* adalah sebesar 206,088 Mpa, *displacement* sebesar 2,182 mm, dan *factor of safety* sebesar 1,7. Oleh karena itu, pengujian ini juga dikategorikan aman karena tegangan *von mises* masih di bawah *yield strength* material dan *factor of safety* di atas 1,5.

Sedangkan di pengujian terakhir dengan gaya 1290 N, tegangan *von mises* adalah sebesar 249,407 Mpa, *displacement* sebesar 2,781 mm, dan *factor of safety* sebesar 1,5. Pengujian juga masih dalam kategori aman karena tegangan *von mises* nya masih di bawah *yield strength* material dan *factor of safety* di atas 1,5. Akan tetapi mengingat nilai yang muncul setelah hasil pengujian yang hampir mendekati nilai *von mises* dan *safety factor* maka tidak disarankan untuk dilakukan pemotongan jenis sampah diatas 1,5 Mpa.

Tegangan *Von Mises* dan *displacement* meningkat secara linier sebagai akibat dari peningkatan beban, dan faktor keamanan menurun. Dalam situasi ini, pisau mendekati batas elastis material pada pembebanan tertinggi. Meskipun desain secara statik masih dianggap aman, penggunaan beban yang terus-menerus mendekati batas maksimum dapat menyebabkan kegagalan akibat kelelahan, terutama di daerah dengan konsentrasi tegangan tinggi. Akibatnya, temuan penelitian ini sangat penting untuk menentukan batas operasional aman dan metode perawatan dan penggantian pisau.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini memberikan kontribusi teknis berupa rekomendasi batas pembebanan maksimum pisau pencacah berbasis simulasi elemen hingga, yang dapat digunakan sebagai acuan dalam perancangan, pengoperasian, dan optimasi desain mesin pencacah sampah organik. Berdasarkan hasil analisis pembebanan pada pisau mesin pencacah sampah organik adalah sebagai berikut.

1. Tegangan maksimum *Von Mises* yang terjadi sebesar 249,407 MPa pada gaya 1290 N masih berada di bawah nilai *yield strength* material SKD 11 sebesar 330 MPa, sehingga pisau tidak mengalami kegagalan material dalam kondisi pembebanan maksimal yang dianalisis.

2. Nilai *displacement* maksimum yang terjadi sebesar 2,781 mm pada gaya 1260 N menunjukkan bahwa deformasi masih berada dalam batas toleransi dan tidak mengganggu fungsi pemotongan pisau secara signifikan.
3. Nilai *safety factor minimum* sebesar 1,5 pada gaya 1290 N menandakan bahwa desain pisau masih memenuhi batas aman menurut standar teknik, namun sudah berada pada ambang batas minimum yang disarankan.
4. Titik konsentrasi tegangan tertinggi ditemukan pada ujung pertemuan diameter besar dan kecil poros pisau, yang menjadi area kritis terhadap potensi kerusakan.
5. Berdasarkan hasil analisis pembebanan menggunakan pendekatan CAE, dapat disimpulkan bahwa pisau pencacah sampah organik berbahan SKD 11 masih memenuhi kriteria keamanan struktural pada seluruh variasi beban yang dianalisis. Tegangan maksimum *Von Mises* sebesar 249,407 MPa dan faktor keamanan minimum 1,5 menunjukkan bahwa desain pisau berada pada batas aman operasional.

5. SARAN

Adapun saran dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Optimalkan desain pisau untuk meningkatkan kekuatan struktur dan memperpanjang usia pakai.
2. Pertimbangkan material alternatif dengan kekuatan luluh lebih tinggi jika beban kerja meningkat.
3. Lakukan simulasi tambahan dan uji fisik untuk validasi hasil dan pengembangan lebih lanjut.
4. Lakukan perawatan dan inspeksi rutin guna mencegah deformasi berlebih dan kerusakan dini.
5. Disarankan mengacu pada standar desain mekanik dan keselamatan mesin (ISO atau SNI) dalam pengembangan desain pisau dan sistem pencacahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Redaksi Jurnal Teknik Politeknik Negeri Sriwijaya yang telah memberi kesempatan, sehingga artikel ilmiah ini dapat diterbitkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Nugraha, D. S. Pratama, S. Sopian, and N. Roberto, "Rancang bangun mesin pencacah sampah organik rumah tangga," *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, vol. 3, no. 3, 2019.
- [2] M. Nurdiansyah, S. Saparin, Y. Setiawan, and E. S. Wijianti, "Rancang bangun mesin pencacah sampah organik," *Machinery Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 4, no. 2, pp. 60–66, 2023, doi: 10.5281/zenodo.8048925.
- [3] B. Basuki, A. A. Ismail, D. A. Hasan, and M. Alif, "Perancangan mekanisme pengaduk kompos sampah organik dengan CAD/CAE," *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, vol. 8, no. 2, pp. 200–205, 2024.
- [4] T. Setiawan, F. Putri, and Karmin, "Kegagalan round steel link chain pada undertow system PT. Hindoli Mill Sungai Lilin," *Machinery Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 5, no. 2, pp. 81–91, 2024, doi: 10.5281/zenodo.12738651.
- [5] A. Z. Huda, "Desain ulang dan pembuatan komponen tripod bow stand dengan printer 3 dimensi," 2019.
- [6] A. A. Sani, I. Gunawan, Y. E. Fernandes, D. Suryana, and A. Nugraha, "Optimalisasi desain sambungan aluminium extrusion 2020 menggunakan metode finite element analysis (FEA)," *Austenit*, vol. 16, no. 1, pp. 9–14, 2024.
- [7] S. H. Pranoto, S. Yatnikasari, A. M. Noor, and R. Yaqin, "Desain dan analisis mata pisau pencacah untuk pengolahan sampah plastik menggunakan finite element analysis," *Jurnal Infotekmesin*, vol. 11, no. 2, pp. 147–152, 2020.

-
- [8] L. A. N. Wibawa, "Simulasi umur fatik rangka main landing gear menggunakan metode elemen hingga," *Dinamika dan Teknik Mesin: Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin*, vol. 10, no. 2, pp. 120–126, 2020.
 - [9] K. A. Abdillah and M. Erlian, "Analisis kegagalan pada rangka mesin perontok padi kapasitas 1 ton/jam menggunakan metode Von Mises," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 20, no. 2, pp. 13–18, 2020.
 - [10] L. Fiorillo, M. Cicciù, C. D'Amico, R. Mauceri, G. Oteri, and G. Cervino, "Finite element method and von Mises investigation on bone response to dynamic stress with a novel conical dental implant connection," *BioMed Research International*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/2976067.
 - [11] I. Saputra, N. P. Ariyanto, and M. Febri, "Pengaruh temperatur tempering terhadap pembentukan struktur mikro dan kekerasan baja SKD 11 untuk tool steel," *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)*, vol. 2, no. 1, pp. 10–13, 2020.
 - [12] R. I. Yaqin, B. H. Priyambodo, A. B. Prasetyo, and M. L. Umar, "Penerapan metode elemen hingga dalam pemilihan bahan pada desain pisau mesin pencacah plastik," *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, vol. 6, no. 2, pp. 85–98, 2021.
 - [13] U. K. Shofwan, J. Waluyo, and T. Hidayat, "Analisis perancangan mesin pencacah limbah plastik menggunakan pisau crusher dan shredder," *Jurnal Teknologi*, vol. 16, no. 1, pp. 28–36, 2023.
 - [14] B. A. Prasetyo and H. Yudiono, "Design analysis of eccentric shaft and docta rotogravure gearbox using finite element method," *SJME Kinematika*, vol. 7, no. 2, pp. 127–141, Dec. 2022.
 - [15] A. V. Hakim, I. Taufikurrahman, E. Sundari, and I. Gunawan, "Desain dan optimasi topologi roda gigi transportir pada mesin bubut Maximat," *Teknika*, vol. 19, no. 2, pp. 597–609, 2025, doi: 10.5281/zenodo.15522587.
 - [16] E. B. Putra, A. Fiveriati, I. G. N. B. Catrawedarma, E. N. Sari, and M. A. Wahid, "Desain dan analisis tegangan crane hook kapasitas 3 ton menggunakan simulasi numerik," *Journal of Scienteck Research and Development*, vol. 6, no. 1, pp. 1701–1710, 2024, doi: 10.56670/jsrd.v6i1.475.
 - [17] O. A. Pala'biran, R. S. Windah, and R. Pandaleke, "Perhitungan lendutan balok taper kantilever dengan menggunakan SAP2000," *Sipil Statik*, vol. 7, no. 8, pp. 1039–1048, 2019.
 - [18] L. A. N. Wibawa, "Desain dan analisis tegangan alat pengangkat roket kapasitas 10 ton menggunakan metode elemen hingga," *JETM*, vol. 2, no. 1, pp. 23–26, 2019.
 - [19] A. D. Pramudya, A. Fiveriati, M. A. Wahid, E. N. Sari, and I. G. N. B. Catrawedarma, "Analisis kekuatan keranjang skylift truck crane menggunakan metode elemen hingga," *Journal of Scienteck Research and Development*, vol. 6, no. 1, pp. 1711–1718, 2024, doi: 10.56670/jsrd.v6i1.474.