



Analisis Kekuatan Rangka Mesin Pencacah Nilam dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Nanang Endriatno^{1*}, La Ode Ahmad Barata², Salimin³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin Universitas Halu Oleo, Kendari 93232

Riwayat Artikel:

Diajukan: 09/11/2024
Diterima: 09/12/2024
Tersedia online
11/12/2024
Terbit: 30/12/2024

Kata Kunci:

Kekuatan Rangka
Simulasi
Gaya
Perpindahan
Keamanan

Keywords:

Frame Strength
Simulation
Force
Displacement
Safety

Abstrak

Rangka sering digunakan sebagai elemen penting dalam konstruksi mesin dan berbagai produk teknik lainnya. Kekuatan rangka menjadi sangat penting untuk memastikan struktur mampu menahan beban operasional saat digunakan. Kegagalan rangka dapat menyebabkan kerusakan serius, kecelakaan, dan kerugian finansial yang besar, sehingga evaluasi kekuatan rangka sebelum produksi menjadi langkah kritis dalam proses desain. Penelitian ini bertujuan menganalisis perilaku mekanis dari komponen atau rangka mesin pencacah nilam berdasarkan besar tegangan maksimum (*stress*), besar perpindahan (*displacement*), dan faktor keamanan (*safety factor*) rangka hasil desain. Metode penelitian dengan menggunakan teknologi simulasi elemen hingga merupakan pendekatan yang sangat efektif untuk menganalisis kinerja struktur rangka. Dengan memanfaatkan simulasi dapat dilakukan evaluasi menyeluruh terhadap berbagai parameter seperti tegangan, perpindahan dan kemananan rangka. Proses ini membantu dalam memprediksi respons struktur terhadap berbagai beban yang diterima sistem. Hasil simulasi menggunakan metode elemen hingga menunjukkan bahwa rangka profil L 40×40×3 mm dengan luas penampang 307,863 mm² dapat menahan beban maksimum 1000 N dengan deformasi maksimum sebesar 0,151 mm, yang terjadi pada pusat beban. Distribusi tegangan *von mises* menunjukkan tegangan yang terjadi pada baja profil L sebesar 23,16 MPa. Nilai tersebut jauh dibawah ambang batas kekuatan luluh material yaitu sebesar 207 MPa. Nilai *Safety Factor* minimum yang terjadi pada rangka adalah 8,94 ul dan tidak ada nilai *safety factor* dibawah 1. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rangka yang dianalisis aman dan memenuhi persyaratan desain yang telah ditetapkan. Simulasi kekuatan rangka adalah proses analisis berbasis komputer untuk mengevaluasi kinerja dan ketahanan struktur rangka terhadap berbagai kondisi beban, dengan memanfaatkan simulasi, perancang dapat memastikan bahwa rangka dapat menahan tegangan, deformasi, dan gaya yang bekerja pada struktur tanpa mengalami kegagalan.

Abstract

Frames are often used as essential elements in the construction of machines and various other engineering products. The strength of the frame is significant in ensuring that the structure can withstand operational loads when used. Frame failure can cause severe damage, accidents, and substantial financial losses, so evaluating the strength of the frame before production is a critical step in the design process. This study aims to analyze the mechanical behavior of the components or frames of the patchouli chopping machine based on the maximum stress, displacement, and safety factor of the designed frame. The research method using finite element simulation technology is an efficient approach to analyzing the performance of frame structures. By utilizing simulations, a comprehensive evaluation of various parameters such as stress, displacement, and frame safety can be carried out. This process helps predict the structure's response to multiple loads received by the system. The simulation results using the finite element method show that the L-profile frame 40×40×3 mm with a cross-sectional area of 307.863 mm² can withstand a maximum load of 1000 N with the maximum deformation of 0.2479 mm, which occurs at the load center. The von Mises stress distribution shows that the stress that occurs in the L-profile steel is 28.8 MPa. This value is far below the material yield strength threshold of 207 MPa. The minimum Safety Factor value that occurs in the frame is 15 ul, and there is no safety factor value below 1. The simulation results show that the analyzed frame is safe and meets the specified design requirements. Frame strength simulation is a computer-based analysis process that evaluates the performance and resistance of a frame structure to various load

*Penulis korespondensi: nanang.endriatno@uho.ac.id

©2024 PISTON: Jurnal Teknologi. Diterbitkan: Oleh Program Pendidikan Vokasi Teknik Mesin UHO Kendari

conditions. By utilizing simulation, designers can ensure that the frame can withstand the stresses, deformations, and forces acting on the structure without failure.

Pendahuluan

Mesin tepat guna adalah alat atau perangkat yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan spesifik dalam masyarakat, terutama di bidang pertanian, industri kecil, dan rumah tangga. Mesin-mesin ini dirancang agar praktis, mudah digunakan, dan efisien, serta biasanya lebih terjangkau dibandingkan mesin skala besar. Mesin-mesin tepat guna berfokus pada peningkatan produktivitas dan efisiensi kerja, serta mempermudah pekerjaan yang sebelumnya dilakukan secara manual [1][2]. Mesin pencacah nilam adalah alat yang digunakan untuk mencacah atau menggiling daun dan batang tanaman nilam agar lebih mudah diekstraksi minyak atsirinya. Proses ini penting dalam industri pengolahan minyak nilam karena membantu meningkatkan efisiensi dan hasil dari distilasi minyak [3][4][5][6]. Rangka mesin merupakan bagian penting dari konstruksi sebuah mesin, yang berfungsi sebagai kerangka atau struktur penopang semua komponen mesin. Desain rangka harus mempertimbangkan kekuatan, stabilitas, dan kemudahan penggunaan agar mesin dapat beroperasi dengan aman dan efisien [7]. Keamanan rangka mesin adalah aspek kritis dalam perancangan dan pembuatan mesin, karena memiliki dampak langsung pada keselamatan operator dan efisiensi operasional secara keseluruhan [8]. Desain rangka mesin dengan bantuan komputer umumnya dilakukan menggunakan perangkat lunak *Computer Aided Design* (CAD). Teknologi ini memungkinkan para insinyur dan desainer untuk membuat model 2D dan 3D yang detail serta menganalisis struktur secara virtual sebelum diproduksi [9].

Simulasi Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/FEM*) adalah teknik komputasi yang digunakan untuk menganalisis dan mengevaluasi kekuatan serta ketahanan struktur rangka mesin di bawah beban tertentu. Metode ini memecah struktur kompleks menjadi elemen-elemen kecil (*mesh*) dan menghitung respons tiap elemen terhadap gaya yang diberikan [10]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi tegangan untuk mengidentifikasi area dengan potensi konsentrasi tegangan tinggi yang dapat menjadi titik lemah dalam struktur, memvisualisasikan perpindahan atau deformasi struktur di bawah beban untuk memahami bagaimana komponen berperilaku saat menghadapi beban kerja, dan menganalisis keamanan rangka untuk memastikan bahwa struktur memiliki margin keselamatan yang memadai dalam berbagai kondisi beban. Simulasi kekuatan rangka merupakan langkah penting dalam merancang dan menganalisis struktur, dengan memastikan keamanan melalui simulasi, diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan kualitas desain rangka untuk aplikasi mesin pencacah.

Metode Numerik

Metode Penelitian yang digunakan untuk menganalisis kekuatan struktur rangka mesin pencacah nilam adalah metode elemen hingga. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/FEM*) adalah teknik analisis numerik yang digunakan untuk mengevaluasi performa mekanik suatu model, seperti distribusi tegangan, perpindahan, dan faktor keamanan [11]. Software yang digunakan adalah *Autodesk Inventor* yang menyediakan fitur untuk melakukan analisis ini melalui modul *Stress Analysis*. Dengan alat *Stress Analysis* di *Autodesk Inventor*, perancang dapat melakukan analisis kekuatan yang komprehensif dan akurat. Hal ini membantu dalam merancang komponen dan *assembly* yang aman, andal, dan efisien, serta memastikan produk yang dirancang memenuhi standar keamanan dan spesifikasi yang diinginkan sebelum diproduksi. Desain rangka yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada desain yang telah dirancang oleh peneliti dalam penelitian sebelumnya [6]. Pada penelitian tersebut, rangka dirancang menggunakan baja profil *L 40×40×3 mm* dengan data spesifikasi ditunjukkan pada **Tabel 1**. Profil baja ini dipilih karena karakteristiknya yang kuat dan mampu menahan beban dengan baik, serta fleksibilitasnya dalam berbagai aplikasi struktural.

Tabel 1. Data spesifikasi material untuk rangka mesin pencacah nilam [9]

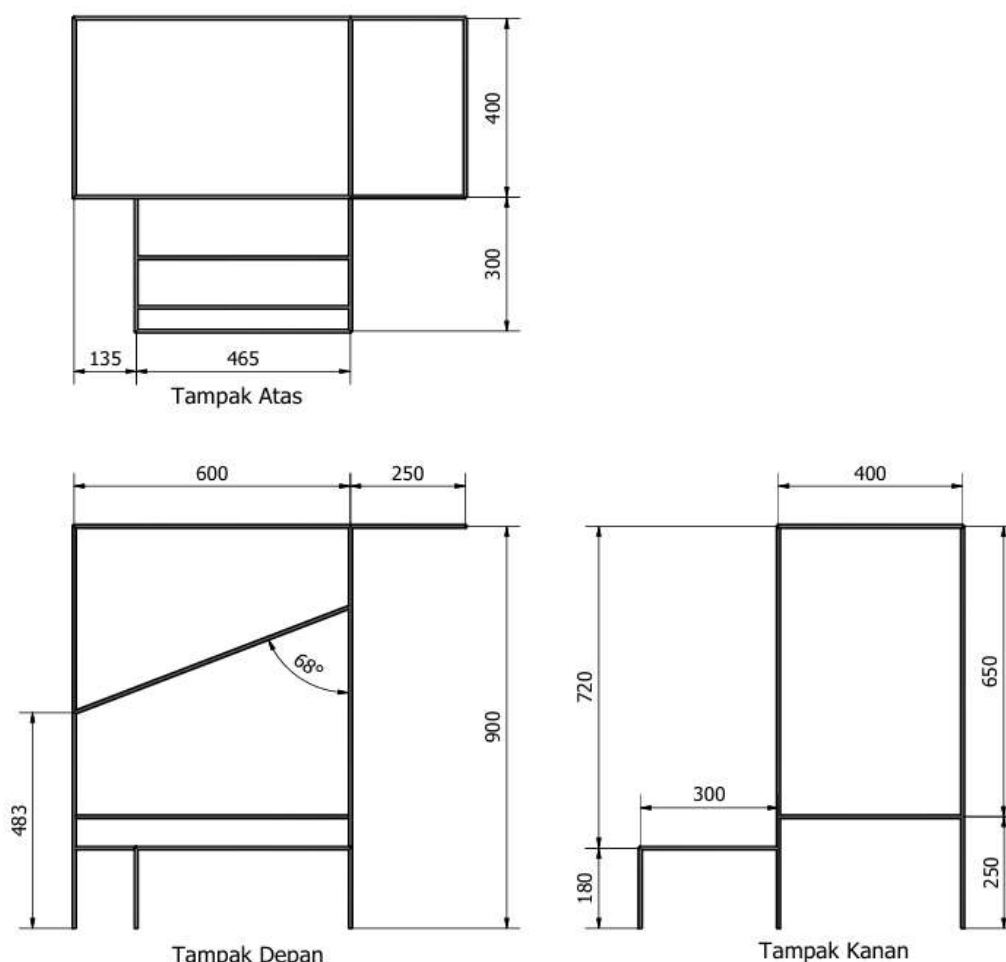
| Tipe Material | Baja Karbon Rendah, Profil L | ISO 657-1 L 40×40×3 |
|----------------|------------------------------|-------------------------|
| Umum | Massa Jenis | 7,850 g/cm ³ |
| | Kekuatan Luluh | 207 MPa |
| | Kekuatan Tarik Maksimum | 345 MPa |
| Tegangan | Modulus Young | 220 GPa |
| | Nilai Poisson | 0,275 ul |
| Sifat Geometri | Luas Penampang (A) | 307,863 mm ² |
| | Lebar Penampang | 40 mm |
| | Tinggi Penampang | 40 mm |
| | Pusat Penampang (x) | 11,196 mm |
| | Pusat Penampang (y) | 11,196 mm |

Penggunaan baja profil *L* memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi perilaku rangka dalam menghadapi tegangan dan deformasi, serta memastikan distribusi beban yang optimal pada struktur. Baja profil *L*, atau yang dikenal juga sebagai baja siku, adalah salah satu jenis profil baja yang sering digunakan dalam konstruksi dan pembuatan rangka mesin. Ketersediaan baja profil *L* cukup luas dan dapat ditemukan dalam berbagai ukuran dan ketebalan, tergantung pada kebutuhan spesifik. Dalam penelitian lanjutan ini, desain rangka tersebut dianalisis kembali menggunakan teknologi simulasi untuk memperdalam pemahaman mengenai kinerja struktur. Analisis ini mencakup pengukuran tegangan, perpindahan, dan analisis keamanan rangka, dengan tujuan untuk memvalidasi efisiensi dan keandalannya. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperkuat temuan dari penelitian sebelumnya tetapi juga mengoptimalkan desain untuk aplikasi yang lebih aman dan efektif.

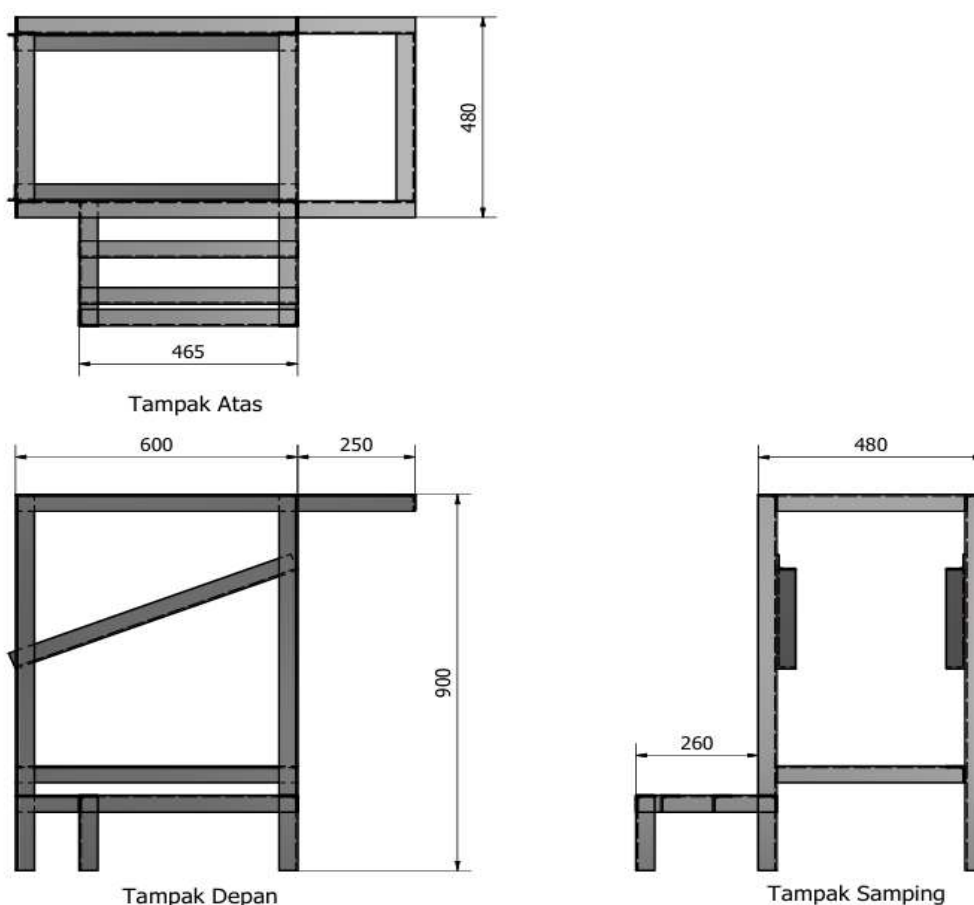
Berikut adalah tahapan umum dalam metode elemen hingga yang diawali dengan pemodelan rangka 2D, membuat desain 3D untuk profil rangka, dan tahap simulasi pembebanan untuk rangka [12]. Tahapan dari awal hingga tahap akhir dijelaskan dibawah ini:

1. Membuat Sketsa 2D Rangka mesin pencacah nilam

Membuat sketsa 2D di *Autodesk Inventor* adalah langkah awal yang penting dalam proses desain. Pembuatan sketsa diawali dengan memilih *Plane* (Bidang Kerja) *XY Plane*, *XZ Plane*, atau *YZ Plane*. Selanjutnya dilakukan penggambaran 2D *Sketch* menggunakan perintah seperti *Line*, *Circle*, *Rectangle*, *Arc*, dan lainnya. Setelah menggambar, berikan dimensi untuk menentukan ukuran elemen. Gambar Sketsa yang dibuat adalah garis kerangka kerja atau garis yang menjadi dasar untuk pembuatan *frame* seperti ditampilkan pada **Gambar 1** dibawah.



Gambar 1. Garis Kerangka untuk pembuatan *frame*



Gambar 2. Rangka Mesin Pencacah Nilam

2. Membuat Assembly (Perakitan Rangka)

Assembly di *Autodesk Inventor* adalah proses menggabungkan beberapa *part* (komponen individu) ke dalam satu *file assembly* (.iam) untuk membentuk produk atau sistem yang lebih kompleks. Desain rangka mesin pencacah menggunakan Baja Karbon Rendah (*Mild Steel*) ISO 657-1 dengan ukuran profil L 40×40×4 mm. Pembuatan Gambar *Assembly* yang telah dibuat menggunakan *frame generator* ditunjukkan pada **Gambar 2**. Fitur *Frame Generator* pada *Autodesk Inventor* digunakan untuk mempermudah proses pembuatan dan pemasangan rangka profil dalam desain struktur rangka. Dengan menggunakan fitur ini, peneliti dapat secara efisien menambahkan baja profil rangka L ke dalam model 3D tanpa perlu menggambar setiap elemen secara manual. Proses penggunaan *Frame Generator* melibatkan pemilihan jalur atau sketsa yang telah dibuat sebagai kerangka dasar, kemudian profil rangka dapat diaplikasikan pada jalur tersebut. *Inventor* menyediakan berbagai ukuran dan standar profil yang bisa dipilih sesuai kebutuhan proyek. Fitur ini juga memungkinkan modifikasi elemen rangka, seperti memotong, memperpanjang, atau menyesuaikan sambungan untuk memastikan rangka pas dan sesuai dengan spesifikasi desain.

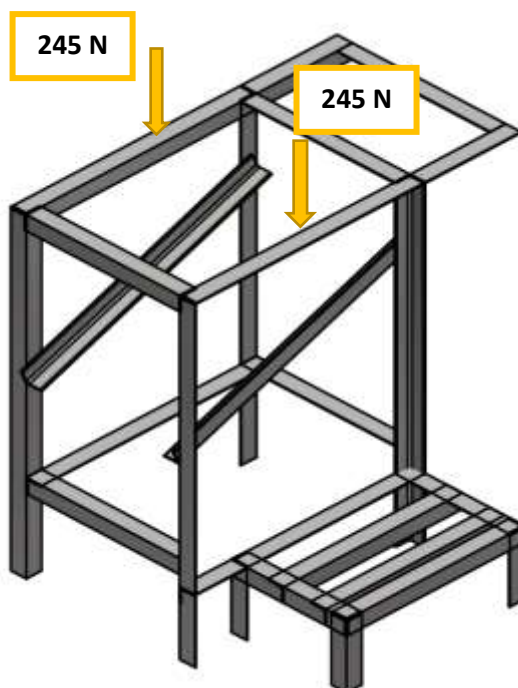
3. Analisis dan Simulasi

Simulasi di *Autodesk Inventor* adalah proses memodelkan dan menganalisis bagaimana sebuah desain akan berperilaku di bawah berbagai kondisi nyata, seperti pembebanan. Hal ini dapat menghemat waktu, biaya, dan usaha dalam pengembangan produk. Simulasi di *Autodesk Inventor* sangat berguna untuk menguji dan memvalidasi desain sebelum proses manufaktur, sehingga dapat mengurangi risiko kesalahan dan meningkatkan kualitas produk secara keseluruhan. Simulasi yang diterapkan adalah analisis statis di mana beban dan kondisi dianggap konstan selama analisis. Hasil simulasi dapat diketahui besar perpindahan, distribusi gaya, dan analisis keamanan untuk mengetahui apakah desain cukup kuat untuk menahan beban tanpa kegagalan. Pada proses simulasi gaya maksimum yang diterima oleh rangka adalah 2×245 N ditunjukkan pada **Gambar 3**. Spesifikasi beban mesin pencacah nilam dideskripsikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Spesifikasi beban yang diterima rangka mesin pencacah nilam

| Komponen | Jumlah | Berat Satuan | Berat Total (Kg) |
|------------------------------|--------|--------------|------------------|
| Berat Penutup (Cover) | 1 | 10,5 | 10,5 |
| Puli Pada poros | 1 | 3 | 3 |
| Baut Puli | 1 | 0,02 | 0,02 |
| Baut Penahan Puli pada Poros | 2 | 0,1 | 0,2 |
| Ring Baut Penahan Puli | 2 | 0,02 | 0,04 |
| Pisau Pemotong dan poros | 1 | 15 | 15 |
| Bantalan | 2 | 0,5 | 1 |
| Berat Nilam yang masuk | 1 | 20 | 20 |
| Total Massa (Kg) | | | 49,76 |
| Gaya Total (N) | | | 488,15 |
| Gaya Total/2 (N) | | | 244,07 |
| Gaya Total/2 dibulatkan (N) | | | 245 |

Dalam analisis dan simulasi struktur, tumpuan tetap (*fixed support*) digunakan untuk mensimulasikan kondisi di mana sebuah struktur atau komponen tidak dapat bergerak atau berotasi. Tumpuan ini menahan semua derajat kebebasan sehingga komponen tersebut tidak bisa berpindah atau mengalami pergerakan sudut. Sebelum dilakukan simulasi, terlebih dahulu dilakukan proses mesh dengan ukuran 0,1. Tahapan *mesh* dalam analisis elemen hingga (*finite element analysis* atau *FEA*) yang bertujuan untuk membagi struktur atau domain analisis menjadi bagian-bagian kecil yang disebut elemen. Elemen-elemen ini akan digunakan untuk menghitung respons dari struktur terhadap beban atau kondisi tertentu.



Gambar 3. Kondisi pembebanan yang diberikan pada rangka

Hasil dan Pembahasan

Data hasil simulasi desain pada *Autodesk Inventor* untuk *assembly* rangka menyediakan informasi penting yang dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut. Beberapa data utama yang diperoleh dari tahap awal simulasi tersebut meliputi: massa total yang menunjukkan berat keseluruhan rangka, luas area penampang profil, volume yang menunjukkan volume total material yang digunakan dalam *assembly*, pusat gravitasi (*center of gravity*) dari rangka, vektor gaya (*force vector*) sebagai informasi tentang arah dan besar gaya yang bekerja pada rangka. Dengan data-data ini, analisis lebih lanjut seperti optimasi desain dan simulasi kekuatan dapat dilakukan untuk memastikan bahwa struktur yang dirancang aman, efisien, dan memenuhi standar eteknik. Data geometri dan arah vektor gaya ditunjukkan pada **Tabel 3**.

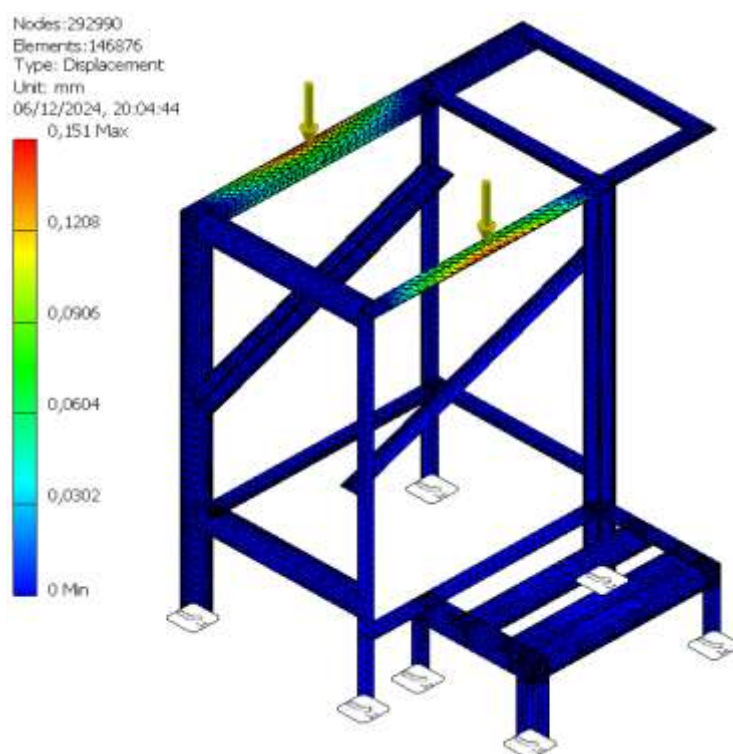
Tabel 3. Data Geometri Desain Rangka dan Vektor Gaya

| | |
|------------------------|---|
| Masa total | 58,235 kg |
| Luas Area Total | 49058,566 mm ² |
| Volume | 7418,419 mm ³ |
| Pusat Gravitasi Rangka | x=-88,000 mm y=-0,291 mm z=265,745 mm |
| Arah Beban | F _x = 0 N F _y =-245 × 2 N F _z =0 N |

Berikut akan dibahas hasil defleksi (*displacement*), Tegangan *Von Mises*, dan analisis keamanan dari struktu rangka hasil simulasi gaya statik.

A. Perpindahan (Displacement)

Perpindahan dalam analisis rangka di *Autodesk Inventor* mengacu pada seberapa jauh sebuah struktur atau komponen bergeser atau berubah posisi akibat adanya beban [13][14]. Analisis Perpindahan membantu memahami bagaimana rangka atau struktur berdeformasi ketika diberikan beban tertentu, baik itu tekanan, tarikan, atau gaya lainnya. Perpindahan yang diukur pada satu sumbu saja yaitu sumbu yang searah dengan arah beban, terlihat pada gambar kontur deformasi pada rangka, dimana deformasi maksimum terjadi pada tengah rangka atau pusat beban sebesar 0,151 mm. Nilai perpindahan pada pusat beban masih kecil dan nilai tersebut merupakan deformasi atau perpindahan maksimum yang terjadi pada struktur jika struktur menerima beban maksimum sebesar 245 N atau setara dengan 49,76 Kg. Hasil simulasi untuk nilai Perpindahan dapat dilihat pada **Gambar 4** dibawah.

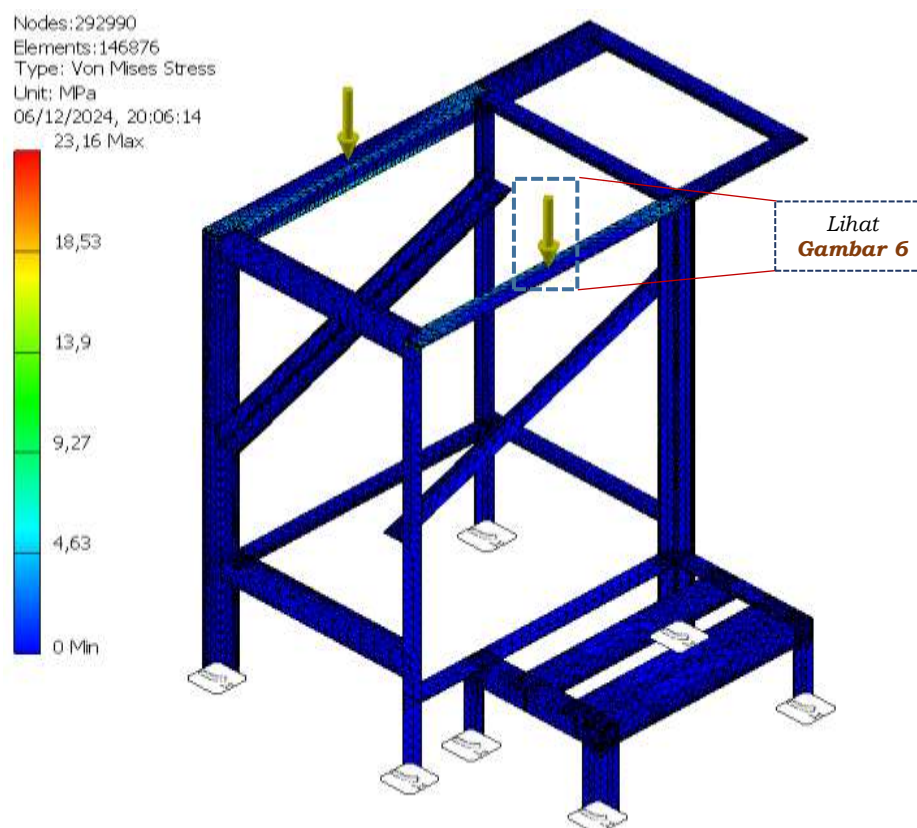


Gambar 4. Nilai Perpindahan hasil simulasi

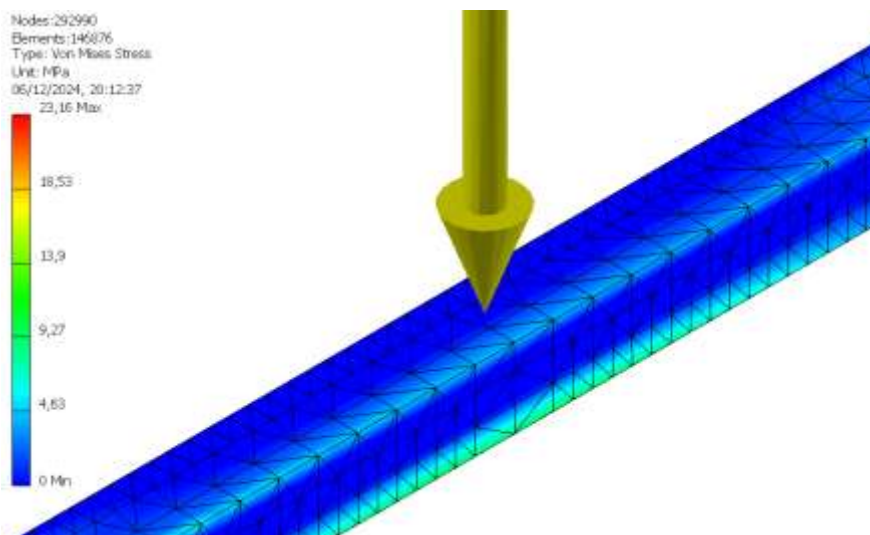
B. Gaya Hasil Simulasi

Dalam hasil simulasi di *Autodesk Inventor*, komponen gaya mencakup representasi vektor gaya yang diterapkan pada model dan bagaimana gaya tersebut mempengaruhi distribusi tegangan dan perpindahan [13]. Hasil simulasi ini membantu dalam memahami perilaku struktural komponen di bawah berbagai kondisi beban [12]. Hasil komponen gaya dalam simulasi *Inventor* membantu untuk mengidentifikasi potensi masalah dalam desain, memvalidasi kekuatan struktur, dan mengoptimalkan material serta geometri untuk memastikan keamanan dan efisiensi [15]. Hasil Simulasi menunjukkan *Von Mises Stress* maksimum = 23,16 MPa. **Gambar 5** menunjukkan hasil simulasi *Von Mises Stress* yang terjadi pada batang ketika diberikan gaya dari atas sebesar total 2×245 N. Hasil simulasi menunjukkan konsentrasi tegangan maksimum terjadi pada baja profil L bagian tengah atas. **Gambar**

6 menunjukkan detail hasil simulasi, daerah baja profil L bagian tengah atas juga mengalami defleksi maksimum, sehingga disarankan untuk memperkuat area tersebut guna meningkatkan daya tahan jangka panjang dari rangka mesin. *Von Mises* adalah kriteria kegagalan material yang digunakan dalam mekanika bahan dan rekayasa untuk menentukan apakah suatu material akan mengalami deformasi plastis di bawah beban tertentu. Beberapa penelitian telah menggunakan simulasi tegangan *Von Mises* pada perhitungan kekuatan rangka dan perencanaan komponen mesin [16][17][18].



Gambar 5. Hasil nilai *Von Mises Stress* dari simulasi

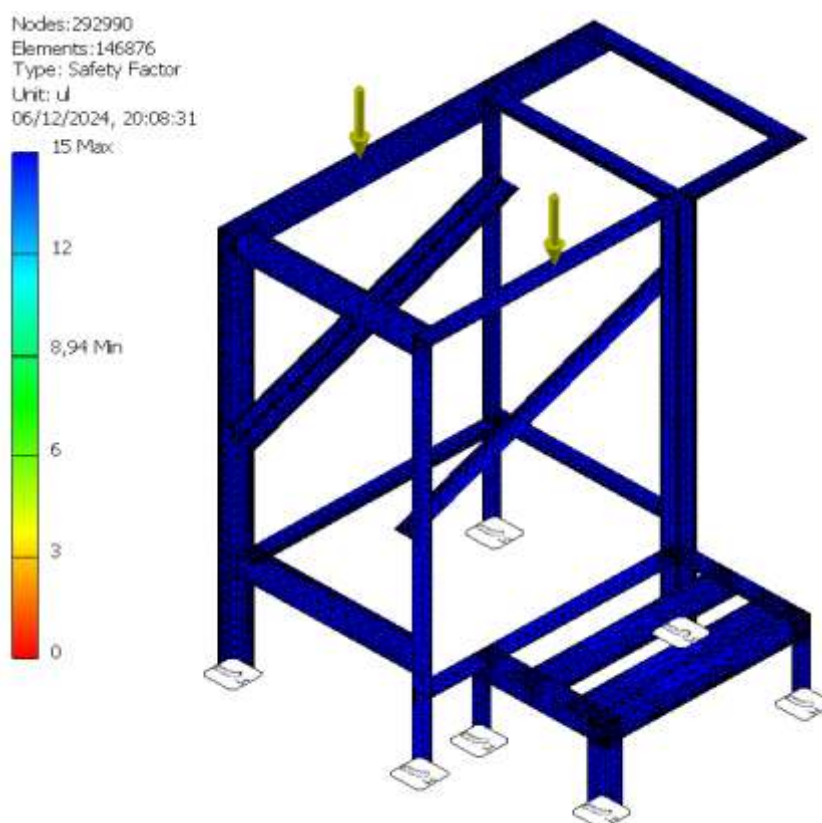


Gambar 6. Detail *Von Mises Stress* pada daerah pembebanan pada kondisi aktual simulasi

C. Analisis Keamanan Rangka

Analisis keamanan rangka melibatkan perbandingan kekuatan material maksimum terhadap tegangan maksimum yang dialami struktur [2][9]. Langkah penting ini untuk memastikan bahwa desain memenuhi persyaratan keselamatan dan kekuatan struktur. Desain rangka mesin pencacah menggunakan Baja Karbon Rendah (*Mild Steel*) ISO 657-1 *Hot Rolled Steel* dengan ukuran profil L 40×40×4 mm mempunyai kekuatan luluh 207 MPa dengan luas Profil L 307,863 mm² dan *safety factor*

minimum yang terjadi pada bagian rangka adalah 8,94 ul seperti ditunjukkan pada **Gambar 7**. Nilai *safety factor* lebih besar dari 1 (>1) sehingga tegangan yang terjadi pada batang masih batas aman.



Gambar 7. Hasil nilai *Safety Factor* dari simulasi

Nilai tegangan maksimum von mises yang terjadi adalah 23,16 MPa tersebut jauh dibawah ambang batas kekuatan luluh yaitu 207 MPa. Tegangan luluh (*yield strength*) adalah batas tegangan maksimum yang dapat diterima oleh suatu material sebelum mulai mengalami deformasi plastis permanen [19]. Di atas nilai ini, material tidak akan kembali ke bentuk semula ketika beban dihilangkan. Tegangan luluh merupakan parameter penting dalam perancangan desain struktur rangka mesin untuk memastikan bahwa komponen dapat menopang beban operasional tanpa mengalami kegagalan.

Simpulan

Tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis perilaku mekanis dari komponen atau rangka mesin pencacah nilam berdasarkan besar tegangan, deformasi dan keamanan rangka hasil desain. Hasil simulasi menggunakan metode elemen hingga menunjukkan bahwa rangka dapat menahan beban maksimum $2 \times 245 \text{ N}$ dengan deformasi maksimum sebesar 0,151 mm, yang berada dalam batas aman. Distribusi gaya menunjukkan menunjukkan Tegangan *Von Mises* maksimum 23,16 MPa, yang bekerja pada Profil L dengan luas penampang 307,863 mm². Nilai tersebut jauh dibawah ambang batas kekuatan luluh material yaitu sebesar 207 MPa. Nilai *Safety Factor* minimum yang terjadi pada rangka adalah 8,94 ul dan tidak ada nilai *safety factor* di bawah 1. Meski demikian, disarankan untuk memperkuat area gaya maksimum tersebut guna meningkatkan daya tahan jangka panjang. Secara keseluruhan, desain ini memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dan dianggap aman untuk digunakan. Simulasi kekuatan rangka adalah proses analisis berbasis komputer untuk mengevaluasi kinerja dan ketahanan struktur rangka terhadap berbagai kondisi beban, dengan memanfaatkan simulasi, perancang dapat memastikan bahwa rangka dapat menahan tegangan, deformasi, dan gaya yang bekerja pada struktur tanpa mengalami kegagalan sebelum prototipe fisik dibuat.

Daftar Pustaka

- [1] Ahmad Syahrizal Hamdani, Zetyawan Ardan, Muh. Maftuh, and Krismon La Maru, "Perancangan Mesin Penggiling Jagung untuk Pakan Ternak," *Pist. J. Teknol.*, vol. 8, no. 2, pp. 06–13, Dec. 2023, doi: 10.55679/pistonjt.v8i2.44.
- [2] Sularso., *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita, 2002.
- [3] D. J. Perkebunan, "Patchouli.," in *Nilam (Patchouli)*, 2019th ed., Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan, 2019, pp. 198–208. doi: 10.1079/9781780645599.0198.
- [4] M. Miswan, S. Salimin, and N. Endriatno, "Desain dan Analisa Mesin Pencacah Nilam Dengan Kapasitas 200 Kg/Jam," *Enthalpy J. Ilm. Mhs. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 4, p. 175, 2021, doi: 10.55679/enthalpy.v6i4.22573.

- [5] F. Prananda, R. Balaka, and N. Endriatno, "Analisis Perancangan Alat Pencacah Nilam Untuk Petani Nilam," *Enthalpy J. Ilm. Mhs. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, p. 13, 2024, doi: 10.55679/enthalpy.v9i1.46935.
- [6] N. Endriatno et al., "Pengenalan Mesin Pencacah Untuk Membantu Petani Nilam Di Desa Aoma Kecamatan Wolasi Kabupaten Konawe Selatan," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Ilmu Terapan*, vol. 5, no. 2. pp. 141-147, 2023.
- [7] E. A. Avallone and T. B. Iii, *Marks' standard handbook for mechanical engineers*, vol. 34, no. 06. 1997. doi: 10.5860/choice.34-3330.
- [8] R. S. Khurmi and J. K. Gupta, "A Textbook of Machine Design. Ram Nagar: Eurasia Publishing House (PVT)," *Engg. Serv.*, no. I, pp. 1-200, 2005.
- [9] A. Purkuncoro, Eko, *Pengenalan computer aided design 2d / 3d Assembly dan Animate menggunakan Autodesk Inventor Professional*. Malang: Universitas Wisnuwardhana Malang Press (Unidha Press), 2019.
- [10] L. A. N. Wibawa, *Simulasi Kekuatan Komponen Sarana Pengujian Roket Menggunakan Autodesk Inventor Professional 2017*. Garut: bukuKatta, 2018.
- [11] D. L. Logan, *A first course in the finite element method*, vol. 3, no. 2. Toronto: University of Wisconsin-Platteville, 1987. doi: 10.1016/0168-874x(87)90008-4.
- [12] A. Toteles and F. Alhaffis, "Analisis Material Kontruksi Chasis Mobil Listrik Laksamana V2 Menggunakan Software Autodesk Inventor," *Mach. J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 30-37, 2021.
- [13] R. M. Putra, "Analisa Kekuatan Rangka Mesin penghalus Arang Tempurung Kelapa Menggunakan Software Autodesk Inventor Student 2024," vol. 2, no. 1, pp. 130-144, 2024.
- [14] B. Setyono, "Perancangan Dan Analisis Kekuatan Frame Sepeda Hibrid 'Trisona' Menggunakan Software Autodesk Inventor," *J. IPTEK*, vol. 20, no. 2, p. 37, 2016, doi: 10.31284/j.ipitek.2016.v20i2.43.
- [15] L. A. N. Wibawa, "Desain Dan Analisis Tegangan Crane Hook Model Circular Section Kapasitas 5 Ton Menggunakan Autodesk Inventor 2017," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 10, no. 1, pp. 27-32, 2019, doi: 10.24176/simet.v10i1.2669.
- [16] M. Aswan, I. P. S. Negara, and I. G. O. Pujihadi, "Analisis Tegangan Pada Design Frame Mini Crane Portable Menggunakan Software Autodesk Inventor," *Semin. Nas. Terap. Ris. Inov. Ke-XX*, vol. 7, no. 1, pp. 9-16, 2021.
- [17] Eko Susetyo Yulianto, Doddi Yuniardi, Achmad Risa Harfit, and Candra Adi Setyawan, "Analisis Pulley Pada Mesin Pencacah Kaleng Beban Software Solidworks," *J. Ilm. Tek.*, vol. 3, no. 2, pp. 49-61, 2024, doi: 10.56127/juit.v3i2.1432.
- [18] Eko Aprianto Nugroho and Abdul Rahman Agung Ramadhan, "Desain Dan Analsis Rangka Pada Mesin Pengupas Biji Kopi Basah Menggunakan Software Solidworks," *J. Tek. dan Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 16-22, 2023, doi: 10.56127/jts.v2i2.762.
- [19] S. Khoiriah, "Desain Dan Analisis Kekuatan Pada Ladder," Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2020.

Ucapan penghargaan

Ucapan Terimakasih kepada Laboratorium Riset dan Komputasi Engineering Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo yang telah memfasilitasi penelitian sehingga terlaksana dengan baik.

Pernyataan Penulis

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam publikasi artikel ini. Semua penulis menyetujui penerbitan artikel ini.

Lampiran

Not available