Terbit online pada laman web jurnal
http://ejournal2.pnp.ac.id/index.php/jtm

JURNAL Teknik Mesin

Vol. 18 No. 2 (2025) 224 - 230 ISSN Media Elektronik: 2655-5670

Analisa Kekuatan Rangka Pada Mesin Lapping Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Vicky Eriandi[1], Kusdi Prijono[2]
[1.2]Prodi Teknik Mesin, Teknik, Universitas Pamulang
Vickyeriandi375@gmail.com[1],dosen00656@unpam.ac.id[2]

Abstract

This study aims to analyze the frame strength of a lapping machine using the Finite Element Method (FEM) based on SolidWorks software. The lapping machine requires a strong and stable frame structure to effectively withstand operational loads without experiencing significant deformation. The machine frame is designed using UNP profile steel with ASTM A36 specifications and is analyzed through simulation involving stress, strain, and safety factor to ensure its reliability. The research methodology includes literature review, 3D modeling of the machine frame, determination of the loading parameter of 12.737 N, material selection, and simulation processes involving fixed geometry setup, meshing, and result evaluation. The simulation results show a maximum stress of 3.294 MPa, a maximum displacement of 571.884 mm, and a minimum safety factor of 3.2. As a comparison, theoretical calculations were carried out to verify the simulation results, which showed consistency within acceptable error margins. The conclusion of this study indicates that the lapping machine frame design meets structural safety criteria and is suitable for industrial operation. FEM simulation proves to be effective in validating structural strength before the production stage, thereby saving development time and costs.

Keywords: Lapping Machine, Frame Strength, Finite Element Method (FEM), SolidWorks, Stress, Displacement, Safety Factor

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan rangka pada mesin lapping menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) berbasis perangkat lunak *SolidWorks*. Mesin lapping memerlukan struktur rangka yang kuat dan stabil untuk menahan beban operasional secara efektif tanpa mengalami deformasi yang signifikan. Rangka mesin dirancang menggunakan profil besi UNP ASTM A36 dengan memanfaatkan analisis simulasi berupa tegangan (*stress*), regangan (*strain)*, dan faktor keamanan (*safety factor*) untuk memastikan keandalannya. Metodologi penelitian mencakup studi literatur, pemodelan 3D rangka mesin, penentuan parameter pembebanan sebesar 12.737 N, pemilihan material, serta proses simulasi yang melibatkan tahapan *fixed geometry*, *meshing*, dan evaluasi hasil simulasi. Hasil simulasi menunjukkan tegangan maksimum sebesar 3.294 MPa, perubahan bentuk maksimum sebesar 571.884 mm, dan faktor keamanan minimum sebesar 3.2. Sebagai pembanding, perhitungan teoritis dilakukan untuk memverifikasi hasil simulasi, yang menunjukkan kesesuaian dengan galat relatif dalam batas yang dapat diterima. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa desain rangka mesin lapping telah memenuhi kriteria keamanan struktur dan dapat digunakan dalam operasional industri. Simulasi *FEM* terbukti efektif dalam memvalidasi kekuatan struktur sebelum proses produksi dilakukan, sehingga dapat menghemat biaya dan waktu pengembangan.

Kata kunci: Mesin Lapping, Kekuatan Rangka, Metode Elemen Hingga (FEM), SolidWorks, Tegangan, Displacement, Safety Factor

1. Pendahuluan

Dalam dunia industri, proses dari produksi adalah hal yang sangat penting. Dalam proses produksi pastinya membutuhkan peralatan, apalagi yang bergerak dalam bidang industri berat atau dalam pembuatan mesin. Mesin lapping merupakan salah satu alat yang berperan penting dalam proses finishing permukaan, terutama untuk menghasilkan tingkat kekasaran dan ketelitian yang tinggi pada benda kerja logam. Keandalan dan efektivitas proses lapping sangat dipengaruhi oleh kekuatan struktur rangka mesin yang digunakan [1].

Rangka mesin memiliki peran vital sebagai penopang seluruh komponen dan sebagai peredam *Finite Element Method* (FEM) beban mekanis selama proses kerja berlangsung. Oleh karena itu, perancangan dan analisa kekuatan struktur rangka

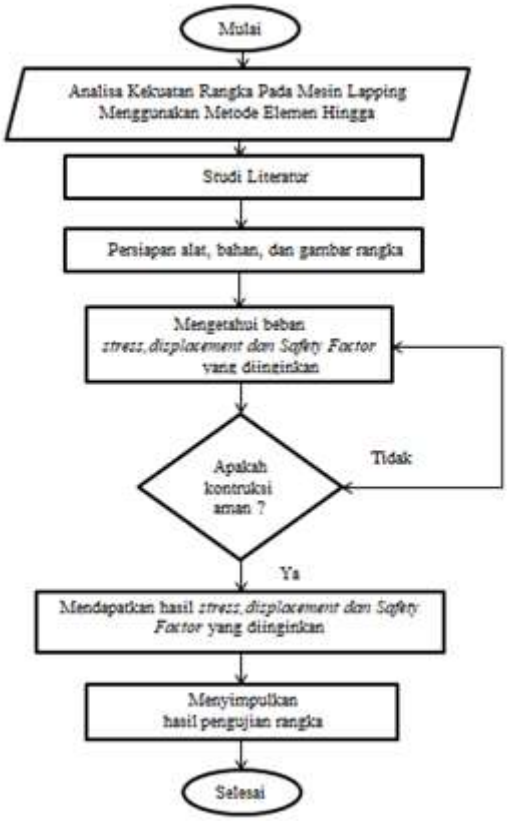
mesin menjadi aspek krusial untuk menjamin kestabilan, keamanan, serta umur pakai mesin secara keseluruhan. Salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam mengevaluasi kekuatan struktur adalah Metode Elemen Hingga, yang memungkinkan analisis distribusi tegangan, regangan, serta faktor keamanan melalui simulasi komputer [2].

Penelitian ini menerapkan metode elemen hingga menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* untuk menganalisis kekuatan struktur rangka mesin lapping yang terbuat dari material besi UNP. Besi UNP adalah jenis profil besi yang memiliki bentuk penampang menyerupai huruf "U". Profil ini biasanya terbuat dari baja karbon rendah, yang memberikan kekuatan struktural tinggi sekaligus fleksibilitas dalam penggunaannya [3]. Material ini dipilih karena sifat mekaniknya yang baik, seperti kekuatan tarik yang tinggi dan stabilitas terhadap beban berat. Dengan pendekatan simulasi ini, diharapkan perancang dapat memprediksi respon struktur terhadap beban aktual dan mengevaluasi apakah desain memenuhi kriteria keamanan yang telah ditentukan [4].

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung tegangan maksimum, deformasi, dan faktor keamanan rangka mesin lapping dalam kondisi pembebanan tertentu, dengan hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan berada dalam rentang 2,6 hingga 3,2, yang menunjukkan struktur berada dalam kondisi aman, serta membandingkannya dengan hasil perhitungan teoritis. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan desain mesin lapping yang lebih aman, efisien, dan ekonomis, serta menjadi referensi untuk penelitian lanjutan di bidang teknik mesin dan manufaktur [5].

2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan numerik berbasis simulasi untuk menganalisis kekuatan rangka mesin lapping dengan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) menggunakan perangkat lunak *SolidWorks Simulation 2025*.[6] Model rangka dirancang dalam bentuk 3D menggunakan profil UNP berukuran 120 × 55 × 6 mm dengan panjang maksimal 6000 mm dan material ASTM A36 yang memiliki *yield strength* 250 MPa, *tensile strength* 400 MPa, serta modulus elastisitas 200 Gpa [7]. Untuk *flowchar*t metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

2.1 Studi Literatur

2.1.1 Pengenalan Mesin Lapping

Mesin lapping adalah alat yang digunakan dalam proses pemesinan untuk menghasilkan permukaan yang halus dan akurat. Proses ini melibatkan penggosokan dua permukaan material dengan menggunakan partikel abrasif yang terdispersi dalam cairan, yang dikenal sebagai suspensi abrasif. fungsi dari mesin Lapping adalah untuk melakukan pengikisan sehingga benda yang diproses memiliki kerataan yang nyaris mendekati tingkat presisi mikron.

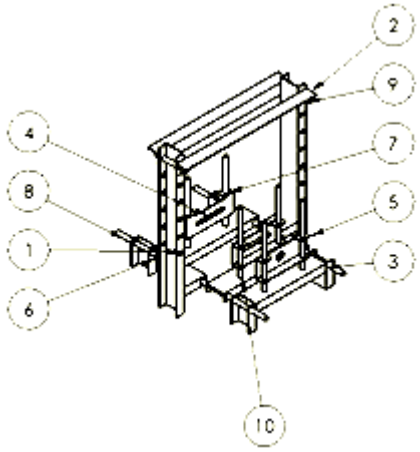
2.1.2 Peran Mesin Lapping

Mesin lapping memegang peran penting dalam proses finishing material, terutama untuk meningkatkan kehalusan dan presisi permukaan logam. Mesin ini dirancang untuk menghilangkan cacat mikro dan memperbaiki geometri material sehingga sesuai dengan standar industri.

2.2 Perencanaan Desain Rangka

Perencanaan desain merupakan tahapan awal yang krusial dalam proses perancangan mesin. Pembuatan desain dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Solidworks 2025*. Dalam perencanan simulasi dinamis maka diperlukan sebuah desain dari mesin yang akan dilakukan

simulasi berikut desain dari mesin yang akan dilakukan simulasi [8].



Gambar 2. Desain Rangka Mesin Lapping

Diantaranya : 1)pilar penopang, 2) *mounting motor*, 3) ass derat, 4) *mounting ball valve*, 5) *mounting motor*, 6*) support penopang ball valve*, 7) *stud bolt*, 8) poros penghubung, 9) pilar penopang, 10) *suppor*t penopang pilar.

2.3 Perhitungan & Simulasi Pembebanan Rangka
Dengan menggunakan profil besi UNP sebagai rangka mesin, kapasitas pembebanan maksimum *ball valve* menjadi acuan dalam menentukan dimensi dan kekuatan profil besi yang digunakan [7]. Beban maksimum yang diterima oleh *ball valve* akan ditransfer ke profil UNP sehingga profil harus mampu menahan beban tersebut tanpa mengalami deformasi atau kegagalan [9]. Sebelum menuju ke proses simulasi, perlu untuk mempersiapkan semua tahapan dibutuhkan diantaranya dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Komponen Pada Rangka

No	Komponen	Jumlah	Berat Komponen (Kg)
1	Motor	1	2
2	Bearing	4	1.6
3	Gearbox	1	2
4	Ball Valve	1	1.293
5	Seat/dudukan	1	1
6	Shaft	1	0.176
TOTAL			1.299,776 Kg = 12.737 N

Material rangka dirancang dalam bentuk 3D menggunakan profil UNP berukuran 120 × 55 × 6 mm dengan panjang maksimal 6000 mm dan material ASTM A36 yang memiliki spesifikasi pada Tabel 2.

Tabel 2. *Properties ASTM A36*

No	Sifat Mekanik	Nilai
1	*Tensile Strength*	400 – 500 MPa
2	*Yield Strength*	250 MPa
3	*Modulus of Elasticity*	200 GPa
4	*Possion Ratio*	0,260
5	*Elongation at Break*	20%

2.3.1 Perhitungan Luas Penampang (*P*)

Untuk melakukan perhitungan luas penampang yang direncanakan, dilakukan dengan menggunakan panjang penampang (P) dari rangka memiliki nilai 1000 mm serta lebar penampang dari rangka memiliki nilai 1000 mm, dapat menggunakan rumus berikut ini :

$$A = P \times L$$

Dimana:
A = Luas penampang
P = Panjang penampang
L = Lebar penampang
Diketahui:
P = 1000
L = 1000
Perhitungan:
A = $1000\ mm\ x\ 1000\ mm$
A = $1.000.000\ mm^2$

2.3.2 Perhitungan Momen

Untuk proses perhitungan momen yang direncanakan. Dimana total gaya yang dibebankan (*F*) memiliki nilai 12.737 N serta panjang rangka mesin memiliki nilai 1000 mm, pertama tama kita mencari momen (*M*) terlebih dahulu. Dapat menggunakan rumus berikut :

$$M = F\frac{1}{2}P$$

Dimana :
M = Momen
F = Total gaya yang dibebankan
P = Panjang rangka
Diketahui :
F = 12.737 N
P = 1000 mm Perhitungan :
Perhitungan :

$$M = 12.737 \times \frac{1}{2} \times 1000$$
$$M = 12.737 \times 500$$
$$M = 6.368.500\ N.mm$$

2.3.3 Perhitungan Tegangan Geser (τ_{xy})

Perhitungan tegangan geser yang direncanakan. Dimana momen(*M*) memiliki nilai $6.368.500\ N.mm$, luas penampang (*A*) memiliki nilai 1.000.000 mm^2 serta tebal rangka besi UNP (*b*) memiliki nilai 6 mm. Dapat menggunakan rumus berikut

$$\tau_{xy} = \frac{M}{2.A.B}$$

Maka,

$$\tau_{xy} = \frac{6.368.500}{2 \cdot 1.000.000 \cdot 6}$$

$$\tau_{xy} = \frac{6.368.500}{12.000.000}$$
$$\tau_{xy} = 0.530\ N/mm^2$$

2.3.4 Perhitungan Titik Berat

Untuk melakukan perhitungan titik berat dari rangka besi UNP (C) yang direncanakan, dimana panjang besi unp (h) memiliki nilai 120 mm. Dapat menggunakan rumus berikut :

$$C = \frac{h}{2}$$

Maka,

$C = \frac{120}{2}$

$C = 60\ mm$

2.3.5 Perhitungan Momen Inersia (I)

Untuk proses perhitungan momen inersia (I) dari rangka besi unp yang direncanakan, dimana panjang besi unp (B) memiliki nilai 120 mm serta tinggi rangka UNP (H) memiliki nilai 55 mm, dan panjang dimensi pada bagian dalam besi unp (b) memiliki nilai 108mm dan tinggi bagian dalam besi unp(h) memiliki nilai 49 mm. Dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\mathrm{I} = \frac{1}{12}\ (BH^3 - bh^3)$$

$I = \frac{1}{12}\ ((120 \times 55)^3 - (108 \times 49)^3)$

$I = \frac{1}{12}\ (1.392 \times 10^{-6}\ )$

$I = 1.160 \times 10^{-7}$

2.3.6 Perhitungan Tegangan Normal (σ_t, σ_x)

Untuk perhitungan tegangan normal (σ_t, σ_x) dari rangka besi unp yang direncanakan, dimana momen (M) memiliki nilai 112.210 N.mm serta titik berat dari rangka besi UNP (C) memiliki nilai 20 mm. Dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$\sigma_t = \frac{M\ .\ C}{I}$$

Maka,

$\sigma_t = \frac{6.368.500\ \cdot 60}{1.160 \times 10^{-7}}$

$\sigma_t = 3.294\ N/mm^2$

2.3.7 Perhitungan *Stress* (tegangan)

Setelah semua variabel ditemukan, selanjutnya tahap perhitungan tegangan (*stress)* dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$(\sigma\ maks) = \frac{\sigma t + \sigma y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma t + \sigma y}{2}\right)^2 + \left(\tau_{xy}\right)^2}$$

Dimana : $\sigma t = 3.294\ N/mm^2$

$\sigma y = 0$

$\tau_{xy} = 0.530\ N/mm^2$

Maka,

$$(\sigma\ maks) = \frac{3.294 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{3.294 + 0}{2}\right)^2 + (0.530)^2}$$

$(\sigma\ maks) = 3.294 N/mm^2$

2.3.8 Perhitungan Perubahan Bentuk

Untuk mengetahui nilai perubahan bentuk (*displacement*), dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$\delta = \frac{P\ .\frac{1}{2}.\ L^3}{48\ .E\ .\ I}$$

Dimana : P = 12. 737 N
L = 1.000 mm
E = 200.000 MPa
I = 1.160×10^{-7}

Maka, $\delta = \frac{12.737 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1000^3}{48 \cdot 200.000 \cdot 1.160 \times 10^{-7}}$

$\delta = 571.884\ mm$

2.3.9 Perhitungan *Safety Factor* (Faktor Keamanan)

Untuk mengetahui nilai faktor keamanan (safety factor), dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$SF = \frac{yield\ strength}{\sigma\ maks}$$

Dimana : $yield\ strength = 250\ MPa$

$\sigma\ maks = 3.294\ MPa$

Maka, $SF = \frac{250}{3.294}$

$SF = 0.075$

2.4 Simulasi *Finite Element Analysis* (FEA)

2.4.1 Penentuan Material Rangka

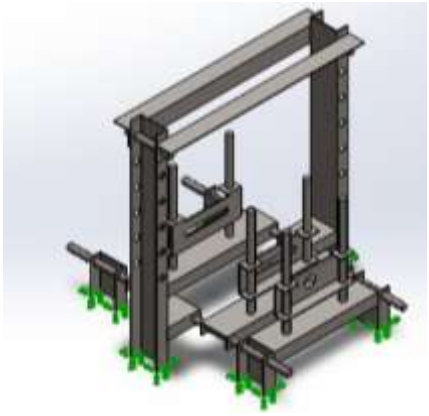
Material yang digunakan pada rangka yaitu besi unp ASTM A36 memiliki *yield strength* 250 N/mm2, *tensile strength* 400 N/mm2. Dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. *yield strength, tensile strength ASTM A36*

Property	*Value*	*Units*
Tensile Strength	400	N/mm^2
Yield Strength	250	N/mm^2

2.4.2 Penentuan *Fixed Geometry*

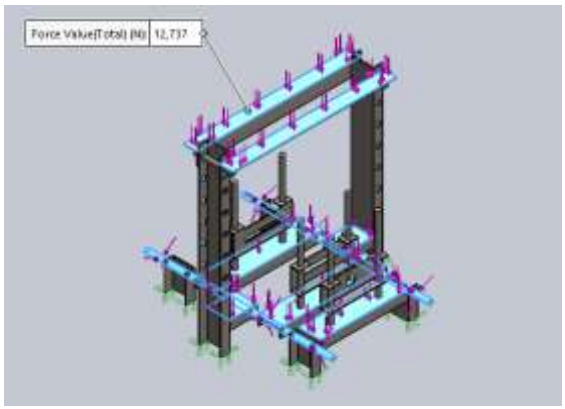
Berikutnya menentukan *fixed geometry* sebagai acuan tumpuan pada rangka mesin lapping sebanyak 6 tumpuan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Fixed Geometry

2.4.3 Penentuan Beban (*load*)

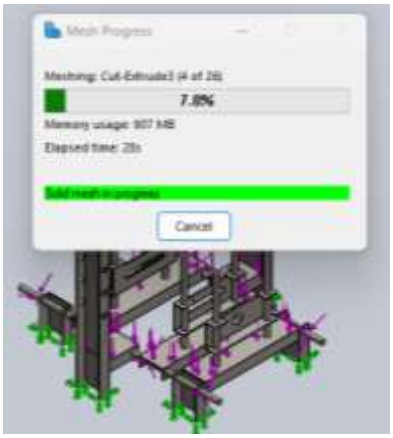
Penentuan beban dilakukan untuk mengetahui seberapa kuat rangka dudukan dalam menahan beban yang diterimanya. Dalam hal ini, kita mengasumsikan bahwa rangka mesin lapping dapat menahan seluruh beban dari komponen komponen yang telah dirakit [10]. Analisis beban pada rangka mesin lapping dengan total pembebanan komponen sebesar 12.737 N dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penentuan beban

2.4.4 Meshing

Penentuan *mesh* merupakan tahapan awal dalam proses simulasi pada struktur rangka mesin lapping. Tahapan ini berfungsi untuk memecah geometri model menjadi elemen-elemen kecil berbasis material, sehingga proses analisis dapat dilakukan dengan tingkat ketelitian yang lebih tinggi. Semakin halus ukuran mesh yang diterapkan, maka hasil simulasi yang diperoleh akan semakin mendekati kondisi nyata dari objek yang dianalisis[11][12].Untuk proses *meshing* dapat dilihat pada Gambar 4.



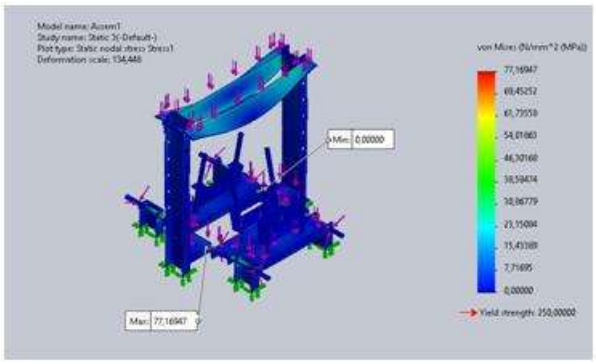
Gambar 4. *Meshing*

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Proses Simulasi FEA

3.1.1 Simulasi Tegangan (*Stress*)

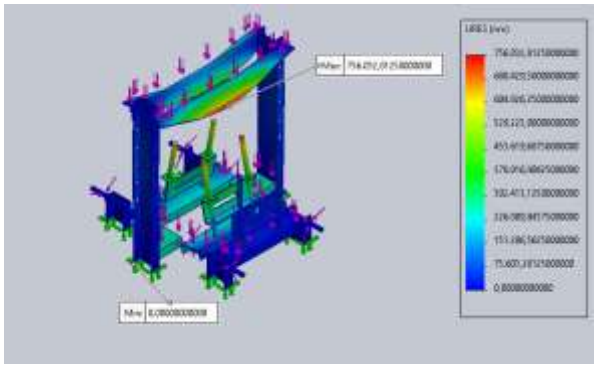
Pada simulasi tegangan dengan beban 12.737 N pada rangka dengan material ASTM A36 besi UNP ukuran $120 \times 55 \times 6$ mm, menghasilkan nilai maksimal 77.269 N/mm2 (MPa) dan nilai minimal 0,00 N/mm2 (MPa) dengan deformation scale 134.448. Dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Simulasi Tegangan *(Stress)*

3.1.2 Simulasi Perubahan Bentuk (*Displacement*)

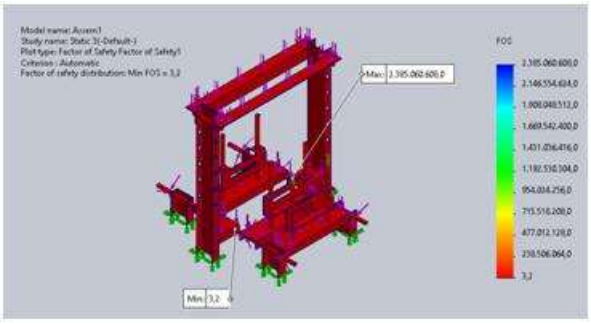
Pada simulasi perubahan bentuk, setelah dilakukan pembebanan sebesar 12.737 N. Menghasilkan nilai maksimal 756.032 mm dan minimal 0,00 mm dengan deformation scale 134.437 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Simulasi *Displacement*

3.1.3 Simulasi Faktor Keamanan *(Safety Factor)*

Faktor keamanan adalah parameter yang digunakan untuk memastikan keamanan susunan komponen mesin [13]. Simulasi faktor keamanan dianalisis untuk mengevaluasi seberapa baik material rangka mesin lapping mampu menahan gaya dari luar, seperti ditunjukan pada Gambar 7.



Gambar 7. *Safety Factor*

Faktor ini menunjukkan seberapa besar margin keamanan yang dimiliki suatu komponen, dengan membandingkan antara tegangan maksimum yang dapat ditahan material dengan tegangan kerja aktual yang diterimanya. Hasil simulasi menggunakan Software Solidworks pada rangka mesin lapping dengan beban 12.737 N mendapatkan nilai maksimal yaitu 2.385 dan minimal yaitu 3.2 [14].

3.2 Analisa Hasil *Finite Element Analysis (FEA*) Terhadap Perhitungan Teoritis dan Simulasi Menggunakan *Software Solidworks 2025*

Setelah mendapatkan hasil keseluruhan antara perhitungan teoritis dan simulasi menggunakan *software Solidworks 2025* hasil perhitungan teoritis *von misses stress, displacement,* dan *safety factor* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisa perbandingan simulasi dan teori

NO	Analisa	Simulasi	Teori	Galat
1	*von misses stress*	77.169	3.294	22.4 %
2	*Displacement*	756,032	571.884	32.2%
3	*Safety factor*	3.2	0.075	41.6%

4. Kesimpulan

Hasil simulasi menunjukkan nilai *von Mises stress* maksimum sebesar 77,169 MPa. Sementara itu, berdasarkan perhitungan teoritis, diperoleh nilai sebesar 3,294 MPa. Terjadi galat relatif sebesar 22.40%, yang mengindikasikan perbedaan signifikan antara hasil simulasi dengan pendekatan teoritis akibat asumsi pembebanan dan ketelitian geometri dalam simulasi lebih realistis. Nilai *displacement* maksimum berdasarkan hasil simulasi adalah 756,032 mm, sedangkan hasil perhitungan teoritis menghasilkan *displacement* sebesar 571,884 mm. Galat relatif sebesar 32,20% masih dalam batas yang wajar dan disebabkan oleh kompleksitas model dan distribusi beban aktual dalam simulasi. Faktor keamanan hasil simulasi menunjukkan nilai minimum 3,2, sedangkan hasil perhitungan manual sebesar 0,075. Galat sebesar 41.6% menunjukkan bahwa perhitungan manual cenderung konservatif dan hanya memperhitungkan kondisi ideal, sedangkan simulasi memperhitungkan distribusi beban dan kondisi batas yang lebih mendekati kenyataan. Penggunaan software simulasi seperti *SolidWorks* sangat membantu dalam memahami distribusi tegangan, lendutan, dan estimasi faktor keamanan yang lebih realistis dibanding metode manual konvensional.

Daftar Rujukan

[1] Sebastian, H., Purwaningsih, R., 2022. Analisis Nilai Produktivitas Mesin Lapping Dengan Pendekatan Overall Equipment Effectiveness Pada Pt. Fluid Science Dynamics Indonesia, Tbk. *Industrial Engineering Online Journal*, 11 (4).

[2] Kurniawan, D., Nugraha, A., Hardika, M. Y., Hilmy, Z., 2023. Analisa Kekuatan Dan Deformasi Menggunakan Metode ElemenHingga (Fem) Pada Kekuatan Pallet. *J. Jalasena*, 5 (1), pp. 12-16.

[3] Fakultas Teknik Medan Area, 2021. *Baja UNP: Keunggulan dan Aplikasinya dalam Konstruksi Modern* [Online] (Posted on July 11, 2024)

Available: https://teknik.uma.ac.id/2024/07/11/baja-unp-keunggulan-dan-aplikasinya-dalam-konstruksi-modern/ [accessed 13 July 2025]

[4] Purohita, H. V., Astomo Dwi S, Y. M., Oktavianus H, A. N., Istimur, L. H., Saputra, V., 2021. View of Analisis Daya Tahan Dan Kekuatan Frame Melalui Simulasi Statis Solidworks Pada Rancangan Mesin Pengolah Limbah Kardus Menjadi Papan Pengganti Kayu. *Ind. Mech. Des. Conf*, 3, pp. 1-5.

[5] Rozik, M. A., 2020. *Perancangan dan Analisis Kekuatan Rangka Mesin Pengayak Pasir Menggunakan Autodesk Inventor 2019*, Disertasi, pp. 1-9.

[6] Muhlisin, I., Sudiman., 2024. Pengaruh Variasi Beban terhadap Faktor Kekuatan Rangka Sepeda dari Bahan AISI 1035 Steel (SS) dengan Simulasi Solidworks, *Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual*, 9 (1), pp. 236-252.

[7] Dharmanto, A., Muzakki, A. H., Sholih, H., Domodite, A., 2025 Analysis of the strength of the frame construction on the nyamplung bean peeling machine using the finite element method. *Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika*, 12 (1), pp. 1-7.

[8] Uriansyah, F. A., Rhohman, F., 2024. Dinamic Simulation Solidworks pada Perancangan Mesin Brush Sander, *Jurnal Rekayasa Mesin*, 24 (1), pp. 15-19.

[9] Halim, A., Suryapradana, I., Radear, N. S., Gheitsa, Z. F., Akbar, P., 2025. Finite element analysis of fermentation frame design for cocoa beans using ASTM A36 material. *BIS Energy and Engineering*, 2, pp. 1-7.

[10] Kusuma, L. T., Mahmudi, H., 2023. Analisa Kekuatan Rangka Mesin Pengupas Kacang Tanah Menggunakan Software Solidworks. *INOTEK*, 7, pp. 384-392.

[11] Nugroho, H., Luddin, M., 2019. The Effect of Leadership on Work Effectiveness of the Corps Supply Officer at Tni Al Mabes. *Int. J. Mech. Eng. Technol*, 10 (4), pp. 343-348.

[12] Lubis, S. Y., Enrico, H. P. P., Askolani, A. P., Ariyanti, S., 2022. Study Komparasi Tegangan Von Misses Material Komposit Polymer Berpenguat Serat Bambu Komponen Front Splitter Mobil. *Pros. SENAPENMAS*, 2 (1), pp. 823-831.

[13] Halim, A., Suryapradana, I., Radear N.S., Gheitsa Z.S., and Akbar P., 2025. Analisis Struktur Rangka Box Fermentasi Biji Kakao Menggunakan Metode Elemen Hingga. *J. Rekayasa Mesin*, 20 (1), pp. 105-114.

[14] Firdaus, M. R., Kardiman., Hanifi, R., 2023. Simulasi Faktor Keamanan Dan Pembebanan Frame Pada Turbin Angin Type Darrieus, Jurnal Kajian Teknik Mesin, 8 (2), pp. 1-19.