

Perancangan Mesin *Reciprocator Spray Painting* untuk Proses Pengecatan pada Manufaktur *Leaf Springs* (Studi Kasus Departemen X di PT. XYZ)

Naufal Mumtaz Ramadhani¹, Ahmad Saepuddin^{2*}

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya

*Penulis Korespondensi, email: ahmadsaepuddin@unesa.ac.id

Received: 15/04/2026

Revised: 28/04/2026

Accepted: 06/05/2026

Abstract. The frame structure of a reciprocator spray painting machine plays a crucial role in maintaining the stability of the drive system during the painting process in leaf spring manufacturing. This study aims to design the frame of a reciprocator spray painting machine and evaluate its structural strength through a static analysis approach using Finite Element Analysis (FEA) simulation in SolidWorks 2024. The frame was designed with overall dimensions of $1200 \times 995 \times 286$ mm using UNP $100 \times 50 \times 5$ mm steel channel profiles made of ASTM A36 Steel. Simulation was performed using blended curvature-based mesh with 359014 nodes and 185,856 elements, fixed support boundary conditions at all four frame legs, and a load of 868 kg representing peak dynamic load. Validation was conducted by comparing manual analytical calculations with FEA simulation results. Results show a maximum von mises stress of 61.34 MPa (stress utilization ratio of 24.5% relative to the 250 MPa yield strength), maximum displacement of 0.35 mm within the 1.0 mm allowable limit, and a minimum Factor of Safety (FoS) of 4.06, satisfying the required $SF = 4.0$ for dynamic loads per the Faires standard. The relative error between manual calculations and simulation was minimal: 0.049% for von Mises stress, 5.41% for displacement, and 0.49% for FoS. The frame design is structurally validated and safe for operation, providing a technical design reference for reciprocator spray painting machines in the automotive leaf spring manufacturing industry.

Keywords: Reciprocator, Leaf springs, Spray painting, Machine design, Frame analysis

Abstrak. Struktur rangka mesin *reciprocator spray painting* berperan penting dalam menjaga kestabilan gerak sistem penggerak selama proses pengecatan pada manufaktur *leaf springs*. Penelitian ini bertujuan merancang rangka mesin *reciprocator spray painting* dan menganalisis kekuatan strukturalnya melalui pendekatan analisis statik menggunakan simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) berbasis SolidWorks 2024. Rangka dirancang dengan dimensi $1200 \times 995 \times 286$ mm menggunakan profil besi UNP $100 \times 50 \times 5$ mm berbahan ASTM A36 Steel. Simulasi dilakukan dengan *blended curvature-based mesh* dengan 359014 *node* dan 185856 elemen, kondisi batas *fixed support* pada keempat kaki rangka, dan beban sebesar 868 kg sebagai representasi beban puncak dinamis. Validasi dilakukan melalui perbandingan perhitungan manual dan simulasi FEA. Hasil menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum sebesar 61,34 MPa (rasio utilisasi 24,5% terhadap *yield strength* 250 MPa), *displacement* maksimum 0,35 mm di bawah batas izin 1,0 mm, dan *factor of safety* (FoS) minimum 4,06 memenuhi persyaratan $SF = 4,0$ untuk beban dinamis berdasarkan standar Faires. Kesalahan relatif antara perhitungan manual dan simulasi sangat kecil, yaitu 0,049% untuk *von mises stress*, 5,41% untuk *displacement*, dan 0,49% untuk FoS. Rancangan rangka dinyatakan aman secara struktural dan dapat dijadikan acuan teknis perancangan mesin *reciprocator spray painting* pada industri manufaktur *leaf springs*.

Kata Kunci: Reciprocator, Leaf springs, Spray painting, Perancangan mesin, Analisis rangka

I. PENDAHULUAN

Reciprocator merupakan alat yang diaplikasikan PT. XYZ untuk membantu dalam *spray painting* (proses pengecatan) pada manufaktur *leaf springs* (pegas daun). Dimana *spray painting* menjadi hal terpenting dalam memenuhi kualitas pengecatan dan perlindungan produk untuk memenuhi kebutuhan kustomer [1]. Alat ini berfungsi

menggerakkan *spray gun* (pistol semprot) ke atas dan bawah. Dimana, gerakan ini dapat diatur panjang langkah dan kecepatannya melalui sistem kontrol [2]. Selain itu penggunaan alat ini dapat mengurangi ketergantungan kerja, mengendalikan kualitas dan keseragaman cat [3]-[5].

Alat ini belum bisa diaplikasikan secara efektif dikarenakan alat ini mengandalkan naik-turun

sebagai gerakan utamanya saja. Sehingga rancangan ini dibuat agar alat tersebut bekerja secara efektif dalam menggerakkan *spray gun* dengan tambahan gerakan maju-mundur dan osilasi. Penelitian oleh Kenzo Yanagida menjelaskan bahwa pengembangan *reciprocator* dapat membantu alat ini bekerja secara efektif dan optimal [6].

Dalam mengevaluasi rancangan ini benar-benar aman. Terdapat salah satu evaluasi yakni terhadap struktur rangka, dimana rangka berperan dalam menahan beban kerja dari berbagai komponen yang menjadikannya krusial. Beban kerja yang diterima berupa beban statis yaitu sistem itu sendiri secara tetap dan beban dinamis ketika sistem bergerak [7]-[8]. Oleh karena itu, keamanan dalam penggunaan mesin ini perlu diperhitungkan untuk memastikan kekuatan dan keamanan rangka.

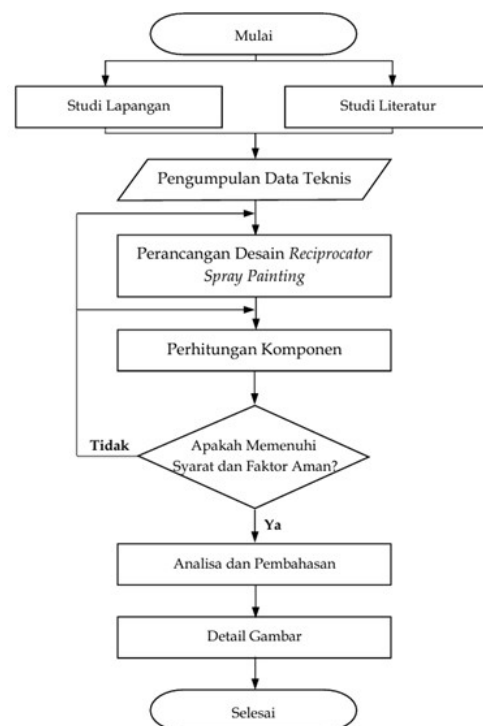
Beberapa penelitian terdahulu menegaskan bahwa metode FEA (*Finite Elemen Analysis*) menggunakan bantuan software SolidWorks berperan penting dalam mengevaluasi struktur rangka. Berdasarkan penelitian oleh Fardana *et al.* (2024) pada mesin *brush sander*, mengatakan bahwa analisis berbasis simulasi menggunakan SolidWorks dapat mengoptimalkan desain, dan meminimalkan resiko kegagalan produk [9]. Temuan serupa oleh Sharma *et al.* (2023) bahwa struktur rangka dapat dioptimalkan melalui simulasi numerik untuk mencegah *underdesign* dan *overdesign* [10]. Selain itu, proses simulasi dapat mengetahui *von mises stress* (tegangan), *strain* (regangan), *displacement* (perpindahan), dan *factor of safety* (faktor keamanan) pada rangka [11]-[13].

Oleh sebab itu, penelitian-penelitian tersebut memiliki kesamaan dalam metode yang digunakan, yang membedakan dari konteks penelitian ini secara spesifik adalah belum terdapat penelitian yang mengevaluasi struktur rangka mesin *reciprocator spray painting* yang menuntut kekakuan tinggi. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan merancang rangka mesin *reciprocator spray painting* dan menganalisis kekuatan strukturalnya melalui pendekatan analisis statik menggunakan simulasi FEA berbasis SolidWorks 2024.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi dalam rancangan rangka yang disesuaikan dengan kebutuhan aktual di lapangan sebagai acuan teknis bagi industri sejenis yang membutuhkan desain dengan kekakuan tinggi dan validasi struktural menggunakan perhitungan manual dan simulasi FEA yang membuktikan keamanan rangka. Penelitian ini dibatasi pada analisis statik sehingga analisis *fatigue* dan sambungan las berada di luar lingkup penelitian ini.

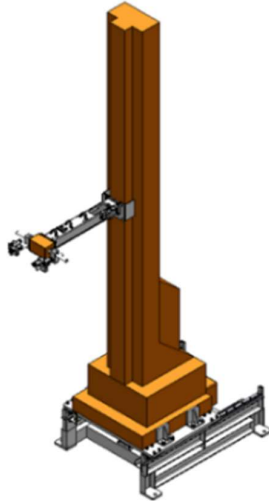
II. METODOLOGI

Tujuan utama penelitian ini adalah mengevaluasi kekuatan dan keamanan rangka pada mesin *reciprocator spray painting* dengan menganalisa *von mises stress* (tegangan), *displacement* (lendutan), dan *factor of safety* (faktor keamanan). Adapun alur proses penelitian agar sejalan dengan tujuan sehingga mendapatkan hasil yang diinginkan, dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



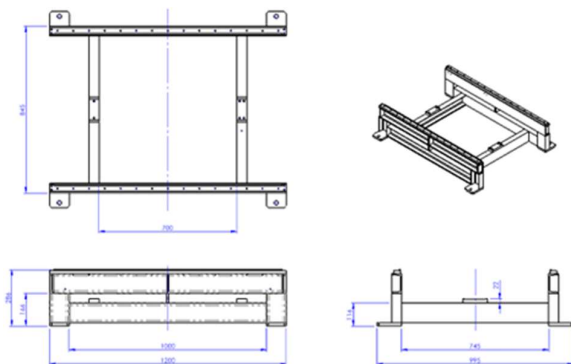
Gambar 1. Diagram Alur Proses Penelitian
(Sumber: Dokumen Penelitian)

A. Perancangan desain mesin reciprocator spray painting



Gambar 2. Mesin Reciprocator Spray Painting
(Sumber: Dokumen Penelitian)

Mesin ini terdiri sistem tambahan maju-mundur dan sistem osilasi *spray gun*. Dari sistem tersebut terdapat komponen-komponen seperti motor, transmisi daya, *guideways*, *bearing*, rangka, dll untuk memastikan sistem bekerja dengan baik. Dilihat di Gambar 3 adalah desain rangka mesin reciprocator spray painting. Dimana memiliki dimensi keseluruhan yaitu 1200 x 995 x 286, menggunakan besi UNP 100 x 50 x 5 dengan material ASTM A36.



Gambar 3. Sketsa Rancangan Rangka Mesin
Reciprocator Spray Painting
(Sumber: Dokumen Penelitian)

Tabel 1. Sifat Mekanis ASTM A36 Steel

Spesifikasi	Unit
Elastic Modulus	200000 N/mm ²
Mass Density	7850 kg/m ³
Tensile Strength	400 N/mm ²
Yield Strength	250 N/mm ² (250 MPa)

Pemilihan besi UNP dengan dimensi tertentu bertujuan untuk mengetahui perilaku dan karakteristik material tersebut dalam suatu lingkungan tertentu. Selain itu, penelitian ini menunjukkan fokus pada analisis material yang umum digunakan dalam konstruksi dan rekayasa struktural. Pemahaman mengenai kinerja struktural besi UNP dalam kondisi tertentu juga memberikan kontribusi penting dalam pengembangan desain dan keamanan struktural.

B. Perhitungan komponen

Pada komponen rangka ini, digunakan rumus untuk menghitung *von mises stress*, *displacement*, dan *factor of safety*, sebagai berikut:

1. Rumus-rumus dalam menghitung *von mises stress*: [14]

Rumus pembebanan F ,

$$F = m \times g \quad (1)$$

Keterangan:

m = berat benda kerja

g = gravitasi (9,81 m/s²)

Rumus luas permukaan A ,

$$A = P \times L \quad (2)$$

Keterangan:

P = panjang

L = lebar

Rumus tegangan geser M ,

$$M = F \times \frac{1}{2} \text{ panjang rangka mesin} \quad (3)$$

Rumus ($\tau_{x,y}$),

$$\tau_{x,y} = \frac{M}{2 \times A \times b} \quad (4)$$

Keterangan:

b = tebal penampang

Rumus titik berat rangka c ,

$$c = \frac{h}{2} \quad (5)$$

Keterangan:

h = panjang penampang

Rumus momen inersia I , [15]

$$I = \frac{b \times h^3}{12} \quad (6)$$

Keterangan:

b = lebar penampang

Rumus tegangan normal σ_t ,

$$\sigma_t = \frac{M \times c}{I} \quad (7)$$

Rumus tegangan maksimum (*von mises stress*),

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{x,y})^2} \quad (8)$$

2. Rumus dalam menghitung *displacement*: [14]

$$\delta = \frac{F \times L^3}{48 \times E \times I} \quad (9)$$

Keterangan:

L = panjang rangka

E = *elastic modulus*

3. Rumus dalam menghitung *factor of safety*: [14]

$$SF = \frac{\text{yields strength}}{\text{maximal von mises stress}} \quad (10)$$

C. Parameter simulasi

Dalam penelitian ini simulasi dilakukan dengan beberapa asumsi sebagai berikut:

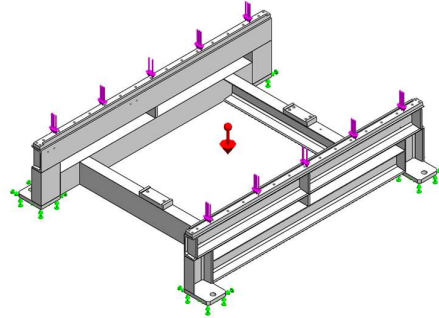
1. Analisis pada kondisi statik, sehingga *fatigue* dan beban impak tidak dianalisis.
2. Kondisi sambungan antar komponen diasumsikan kaku (*rigid joint*) yang mewakili sambungan las.
3. Beban statis yang diterapkan secara merata sebesar 868 kg, dua kali beban operasional normal sebagai representasi beban puncak dinamis.

Batas keamanan material pada struktur rangka ditetapkan dengan minimal *safety of factor* sebesar 4.0. Dimana dipilih karena mempertimbangkan jika adanya beban kejut dan impak selama mesin beroperasi [16]. Dalam menjaga kekakuan dan konsistensi sistem *reciprocator*, ditetapkan batas lendutan maksimum sebesar 1,0 mm. Untuk parameter dalam melakukan simulasi rangka ini, sebagai berikut:

4. Boundary conditions

Dilihat pada Gambar 4, *fix support* diterapkan di keempat kaki rangka yang mempresentasikan kondisi rangka dikunci secara kaku seperti struktur bangunan dengan menggunakan baut angkur. Dalam memperhitungkan berat struktur sendiri,

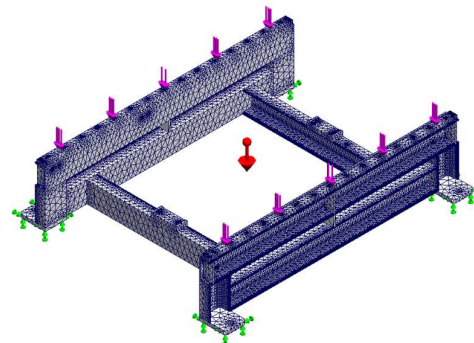
diterapkan gravitasi 9,81 m/s² pada seluruh model. Beban penggerak sebesar 868 kg diterapkan secara konstan sebagai beban sepanjang lintasan aktual pada pergerakan mesin yang memiliki panjang 1200 mm.



Gambar 4. *Boundary Conditions*
(Sumber: Dokumen Penelitian)

5. Meshing

Pemodelan *mesh* menciptakan elemen-elemen yang mempresentasikan struktur komponen. Pada penelitian ini menggunakan *blended curvature-based mesh* yang secara otomatis menyesuaikan kepadatan elemen terhadap kelengkungan geometri [9]. Dengan meshing yang baik, analisis simulasi dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan relevan terhadap kondisi *real* yang dihadapi oleh komponen atau struktur yang dianalisis. Ukuran elemen maksimum yang digunakan adalah 69,2218 mm dan ukuran elemen minimum adalah 3,46109 mm, dengan menghasilkan total 359.014 node dan 185.856 elemen. Konfigurasi mesh ini dipilih karena mampu menangkap distribusi tegangan secara akurat pada profil penampang UNP dengan geometri yang relatif sederhana.



Gambar 5. *Meshing*
(Sumber: Dokumen Penelitian)

D. Validasi rancangan

Validasi berupa hasil dari simulasi rancangan tidak jauh beda dengan estimasi desain yang telah diperhitungkan melalui analisis perhitungan agar mencegah terjadinya *overdesign* yang dimana rancangan terlalu kaku dan memakan biaya material dan *underdesign* yang dimana adanya lendutan berlebih dan tidak sesuai dengan faktor keselamatan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil perhitungan dan simulasi

Hasil perhitungan *von mises stress* sebagai berikut,

Perhitungan pembebanan pada rangka menggunakan Rumus 1,

$$\begin{aligned} F &= m \times g \\ F &= 868 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ F &= 8515,08 \text{ N} \end{aligned}$$

Perhitungan luas permukaan menggunakan Rumus 2,

$$\begin{aligned} A &= P \times L \\ A &= 1200 \text{ mm} \times 995 \text{ mm} \\ A &= 1194000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan tegangan geser menggunakan Rumus 3,

$$\begin{aligned} M &= F \times \frac{1}{2} \text{ panjang rangka mesin} \\ M &= 8515,08 \text{ N} \times \frac{1}{2} 1200 \\ M &= 5109048 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan $(\tau_{x,y})$ menggunakan Rumus 4,

$$\begin{aligned} \tau_{x,y} &= \frac{M}{2 \times A \times b} \\ \tau_{x,y} &= \frac{5109048 \text{ Nmm}}{2 \times 1194000 \text{ mm}^2 \times 5 \text{ mm}} \\ \tau_{x,y} &= 0,428 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Titik berat menggunakan Rumus 5,

$$\begin{aligned} c &= \frac{h}{2} \\ c &= \frac{100 \text{ mm}}{2} \\ c &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen inersia menggunakan Rumus 6,

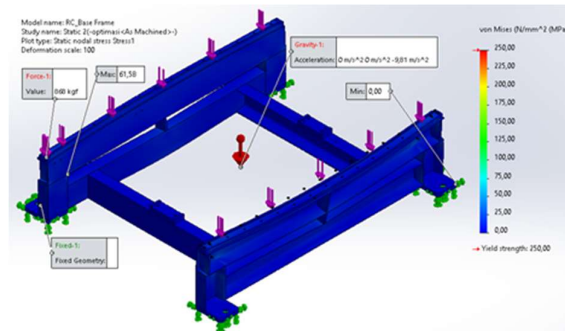
$$\begin{aligned} I &= \frac{b \times h^3}{12} \\ I &= \frac{50 \text{ mm} \times (100 \text{ mm})^3}{12} \\ I &= 4166666,667 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Perhitungan tegangan normal menggunakan Rumus 7,

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \frac{M \times c}{I} \\ \sigma_t &= \frac{5109048 \text{ Nmm} \times 25 \text{ mm}}{4166666,667 \text{ mm}^4} \\ \sigma_t &= 61,309 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Karena $\sigma_t = \sigma_x$, maka tegangan maksimum *von mises stress* digunakan Rumus 8,

$$\begin{aligned} \sigma_{max} &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{x,y})^2} \\ \sigma_{max} &= \frac{61,309 \text{ N/mm}^2 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{61,309 \text{ N/mm}^2 - 0}{2}\right)^2 + (0,428 \text{ N/mm}^2)^2} \\ \sigma_{max} &= 61,309 \text{ N/mm}^2 \approx 61,31 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Gambar 6. Simulasi *Von Mises Stress*
(Sumber: Dokumen Penelitian)

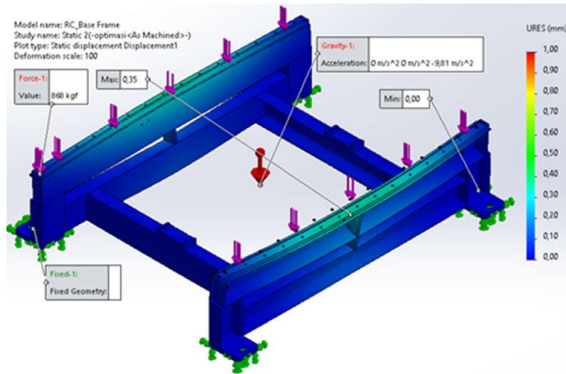
Dari hasil simulasi *von mises stress* yang telah dilakukan, rangka mendapatkan nilai tegangan maksimum sebesar 61,58 MPa yang ditunjukkan pada Gambar 6 yang ditandai dengan warna biru. Warna biru ini menunjukkan bahwa tegangan maksimum aman dan jauh dari batas *yields strength*.

Kemudian, hasil perhitungan *displacement* sebagai berikut, digunakan Rumus 9,

$$\delta = \frac{F \times L^3}{48 \times E \times I}$$

$$\delta = \frac{8515,08 \text{ N} \times (1200)^3}{48 \times 200000 \text{ N/mm}^2 \times 4166666,667 \text{ mm}^4}$$

$$\delta = 0,37 \text{ mm}$$



Gambar 7. Simulasi *Displacement*
(Sumber: Dokumen Penelitian)

Hasil perhitungan *displacement* menunjukkan perubahan bentuk akibat beban yang diberikan yaitu 0,37 mm. Dari hasil simulasi *displacement* yang telah dilakukan, *displacement* pada rangka memiliki maksimum sebesar 0,35 mm yang ditunjukkan pada Gambar 7 yang ditandai warna hijau. Warna hijau ini menunjukkan bahwa rangka masih dalam batas aman atau rata-rata.

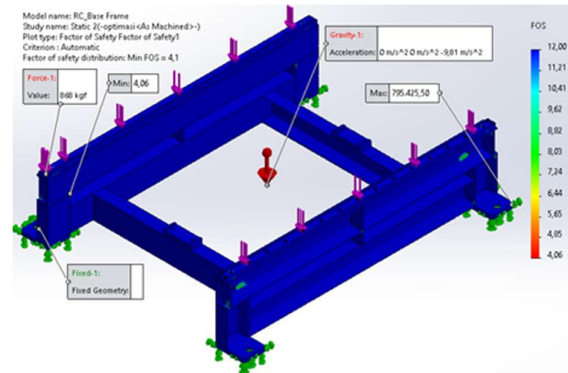
Setelah itu, diperoleh hasil perhitungan *factor of safety* sebagai berikut:

Digunakan persamaan 10,

$$SF = \frac{\text{yields strength}}{\text{maximal von mises stress}}$$

$$SF = \frac{250 \text{ MPa}}{61,31 \text{ MPa}}$$

$$SF = 4,08$$



Gambar 8. Simulasi *Factor of Safety*
(Sumber: Dokumen Penelitian)

Hasil perhitungan *factor of safety* menunjukkan faktor keamanan pada rangka yaitu 4,08. Dari hasil simulasi *factor of safety* yang telah dilakukan, *factor of safety* pada rangka memiliki min *FoS* 4,06 yang ditandai dengan warna biru dan maks *FoS* 795.425,5 yang ditandai dengan warna biru pekat, dapat dilihat pada Gambar 8. Warna biru ini menunjukkan rangka memiliki min *FoS* yang aman

B. Pembahasan

Hasil berdasarkan perhitungan manual dan simulasi ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Penelitian

Analisa	Perhitungan	Simulasi	Batas Izin
<i>Von mises stress</i>	61,31 MPa	61,34 MPa	250 MPa
<i>Displacement</i>	0,37 mm	0,35 mm	1 mm
<i>Factor of safety</i>	4,08	4,06	3 – 4

Berdasarkan Tabel 2, selisih antara hasil perhitungan manual dan simulasi FEA menunjukkan perbedaan nilai yang sangat kecil dan dapat diterima. Kesalahan relatif *von mises stress* antara perhitungan manual 61,31 Mpa dan simulasi 61,34 MPa sebesar 0,049%, *displacement* antara perhitungan manual 0,37 mm dan simulasi 0,35 mm sebesar 5,41%, dan *factor of safety* antara perhitungan manual 4,08 dan simulasi 4,06 sebesar 0,49%. Deviasi ini merupakan hal yang wajar karena perhitungan manual mengasumsikan geometri ideal dengan penampang seragam,

sedangkan simulasi FEA memperhitungkan geometri tiga dimensi aktual yang lebih kompleks. Pada simulasi dan perhitungan *displacement*, diperoleh nilai simulasi lebih rendah dari perhitungan, yang mengindikasikan bahwa rangka aktual bersifat lebih kaku dibandingkan model analitik satu dimensi. Hasil perhitungan terhadap perhitungan manual dan simulasi konsisten dengan penelitian oleh Rahmadani *et al.* (2023) pada rangka mesin *roll bending portable* mengatakan bahwa selisih antara perhitungan dengan simulasi relatif dekat, begitu juga penelitian oleh Mustaqim *et al.* (2024) dalam memperhitungkan dan simulasi rangka. Hal ini merupakan kondisi yang menguntungkan dan lebih konservatif dari sisi keamanan.

Dapat dinyatakan bahwa hasil perhitungan terhadap simulasi yang dilakukan pada rangka menghasilkan rangka tidak *overdesign* dan tidak *underdesign*, mengindikasikan efisiensi desain yang optimal antara keamanan dan penggunaan material. Secara analitis, nilai *von mises stress* maksimum 61,34 MPa merepresentasikan rasio utilisasi tegangan hanya 24,5% terhadap *yield strength* material 250 MPa, menunjukkan bahwa rangka masih memiliki kapasitas beban yang signifikan. Hasil ini konsisten dengan studi FEA rangka mesin lainnya oleh Fardana *et al.* (2024) melaporkan *von mises stress* aman dimana seberapa jauh beban dan lentur mempengaruhi struktur rangka pada mesin *brush sander*, sementara Prasetyo *et al.* (2020) menunjukkan *von mises stress* memvalidasi FoS yang memadai pada rangka mesin TDF, dimana keduanya dengan material baja struktural yang setara [9], [17]. Selain itu, pembebanan ini konsisten dengan penelitian yang dilakukan oleh Kristiawan *et al.* (2023) pada pembebanan merata sepanjang pergerakan konveyor [18]. Pembebanan sebesar 868 kg pada rangka besi UNP 100 x 50 x 5 mm terbukti aman dikarenakan *von mises stress* maksimum tidak melebihi batas *yield strength* yaitu 250 Mpa. *Displacement* maksimum sebesar 0,35 mm setara rasio defleksi L/1200 terhadap panjang rangka 1200 mm, jauh di bawah batas lendutan izin L/1000 untuk mesin presisi berdasarkan standar struktur bangunan. Tingkat keamanan atau *factor of*

safety sebesar 4,06, memenuhi dan melampaui persyaratan $SF = 4,0$ untuk beban dinamis pada baja berdasarkan standar Faires dalam *Design of Machine Elements*. Hal ini juga sejalan dengan penelitian Furqani *et al.* (2022) menunjukkan tingkat keamanan berdasarkan standar Dobrovolsky dalam kondisi dinamis [19]. Maka, rancangan rangka terbukti aman secara struktural berdasarkan seluruh kriteria evaluasi karena memenuhi *safety factor* dengan beban dinamis, dan profil besi UNP 100 x 50 x 5 mm berbahan ASTM A36 Steel terbukti tepat dan efisien untuk aplikasi ini. Dengan demikian dipastikan perancangan komponen rangka pada mesin *reciprocator spray painting* ini aman digunakan pada kondisi operasional dengan beban dinamis, sehingga memberikan dasar yang kuat untuk proses fabrikasi, dan juga tingkat kegagalan saat beroperasi yang terjadi rendah. Penelitian ini juga memperluas validitas temuan ke domain baru berupa struktur mesin *reciprocator spray painting* dengan beban merata dan sistem presisi dengan kekakuan yang lebih tinggi.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini memberikan kontribusi berupa rancangan dan validasi struktural rangka mesin *reciprocator spray painting* yang belum pernah dirancang secara spesifik untuk konteks manufaktur *leaf springs* sebelumnya. Hasil validasi membuktikan bahwa profil besi UNP 100 x 50 x 5 mm berbahan ASTM A36 Steel mampu menahan beban statis hingga 868 kg dengan faktor keamanan yang memadai, sehingga rancangan ini dapat dijadikan acuan teknis dalam pengembangan sistem otomasi pengecatan *leaf springs* di industri manufaktur otomotif. Selain itu, pendekatan simulasi FEA yang diterapkan dalam penelitian ini dapat diadopsi oleh industri sebagai metode evaluasi desain rangka mesin sebelum proses fabrikasi, guna meminimalkan risiko kegagalan struktur sekaligus mengoptimalkan penggunaan material.

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa:

1. Perancangan struktur rangka *reciprocator spray painting* terbukti memiliki kekakuan yang tinggi

dan keamanan yang memadai. Ditunjukkan oleh *yields strength* dengan nilai 61,34 MPa dimana di batas elastis material yang bisa kembali jika tidak ada beban yang diberikan, lendutan sebesar 0,35 mm terhadap gaya yang diberikan.

2. Rancangan yang dihasilkan menunjukkan tingkat kegagalan yang rendah. Hasil ditunjukkan oleh tingkat keamanan yang baik sebesar 4,08 yang sesuai dari minimal *safety of factor* 4,0.

Berdasarkan hasil analisis kekuatan struktur yang menunjukkan bahwa rancangan rangka telah memenuhi seluruh kriteria keamanan dan faktor aman beban dinamis yang dipersyaratkan. Terdapat saran untuk meningkatkan keandalan struktur rangka pada mesin *reciprocator spray painting* proses pengecatan *leaf springs*, saran yang diberikan berfokus pada optimasi desain sebagai berikut:

1. Diperlukan analisis frekuensi untuk memastikan tidak terjadi resonansi.
2. Perlu variasi geometri rangka agar memperoleh hasil yang lebih akurat.
3. Juga, diperlukan pengembangan dengan variasi struktur besi lainnya supaya dapat dibandingkan kekuatannya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penyampaian Penulis mengucapkan rasa terimakasih sebesar-besarnya kepada PT. XYZ atas semua fasilitas yang telah memberikan izin, data teknis, serta kesempatan untuk melakukan studi lapangan sehingga perancangan ini dapat diselesaikan dengan baik. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada dosen pembimbing dan seluruh rekan yang telah memberikan saran dan bantuan teknis selama proses penelitian ini sehingga dapat berjalan dengan lancar dan mencapai tujuan yang diinginkan.

REFERENSI

- [1] D. Gleeson *et al.*, “Generating Optimized Trajectories for Robotic Spray Painting,” *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 19, no. 3, pp. 1380–1391, Jul. 2022, doi: 10.1109/TASE.2022.3156803.
- [2] K. Gedam and S. Kumar, “Automation for the Process of Powder Coating through Reciprocator using PLC,” *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, vol. 4, no. 4, pp. 29–34, 2016, [Online]. Available: https://ijritcc.org/download/conferences/ICMTEST_2016/ICMTES T_2016_Track/1461912215_29-04-2016.pdf
- [3] O. Tiedje, S. Paustian, S. Rosenkranz, M. Hecker, and C. Tropea, “Detection of production relevant deviations in paint sprays,” *J. Coat. Technol. Res.*, vol. 22, no. 3, pp. 877–884, May 2025, doi: 10.1007/s11998-024-01015-1.
- [4] F. M. Zaki, E. Ismiah, and A. Wasiur Rizqi, “Analisis Kualitas Produksi Leaf Spring Type Volvo Dengan Metode Six Sigma Pada PT. XYZ,” *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 8, no. 4, Sep. 2023, doi: 10.32672/jse.v8i4.5948.
- [5] S. A. Aqila and N. B. Mulyono, “Implementation of DMAIC Framework to Reduce Defects in Spray Painting Process,” *Jurnal Impresi Indonesia*, vol. 4, no. 6, pp. 1847 – 1866, Jun. 2025, doi: 10.58344/jii.v4i6.6612.
- [6] K. Yanagida, “Recent Technological Trends in Electrostatic Powder Coating System,” *Journal of The Surface Finishing Society of Japan*, vol. 75, no. 1, pp. 26–31, Jan. 2024, doi: 10.4139/sfj.75.26.
- [7] A. Saleh and A. D. Muhammad, “Analisis dan Perancangan Rangka Mesin Pemotong Kentang Otomatis,” *Jurnal TEDC*, vol. 14, no. 2, May 2020, [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/ANALISIS-DAN-PERANCANGAN-RANGKA-MESIN-PEMOTONG-Saleh-Muhammad/fe9bd1b1a0-2bea074f4013bcf7c82030028dabf9>
- [8] M. P. Antartika, Budianto, M. Ari, and K. Suastika, “Perbandingan Hasil Analisis Metode Elemen Hingga Berbasis Software Dengan Simple Supported Calculation Pada Kapal 50 Pax Crane Barge,” *Jurnal Integrasi*, vol. 12, no. 1, pp. 72–78, 2020, [Online]. Available: <http://www.infometrik.com/2009/09/mengenal-uji-tarik-dan-sifat-sifat->

- [9] F. Fardana and F. Rhohman, "Analisa Simulasi Kekuatan Rangka pada Mesin *Brush sander* menggunakan Aplikasi Solidwork," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 24, no. 1, pp. 1–5, Mar. 2024, doi: 10.36706/jrm.v24i1.450.
- [10] A. Sharma, S. Thapa, B. Goel, R. Kumar, and T. Singh, "Structural Analysis And Optimization Of Machine Structure For The Measurement Of Cutting Force For Wood," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 64, pp. 833 – 846, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.aej.2022.09.030.
- [11] Sabarudin and F. Rhohman, "Analisa Kekuatan Rangka Mesin Press Paving Semi Otomatis," *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)*, vol. 7, no. 3, pp. 1023–1030, Aug. 2023, [Online]. Available: <https://proceeding.unpkediri.ac.id/index.php/inotek/>
- [12] R. Ibrahim and F. F. Ridha, "Perancangan Desain Rangka dan Analisis Kekuatan Rangka Mesin Pengiris Singkong CV Phonna Raya Machinery Menggunakan Software Solidworks," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan IV (SENASTITAN IV)*, 2024.
- [13] H. Kuncoro and A. Yudha Pratama, "Analisis Rangka Mesin Pemisah Kuning Telur Menggunakan Software SolidWorks 2020," *PRESISI*, vol. 25, no. 1, 2023.
- [14] M. Mustaqim, Y. S. Pramesti, and I. Setyowidodo, "Rancang Bangun Rangka Mesin Pengolah Kompos Kapasitas 5kg/Menit," *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)*, vol. 8, no. 2, pp. 730–738, 2024.
- [15] Y. Yunus and F. M. Ridwan, "Perancangan Konveyor Terintegrasi Dengan Meja Angkat Untuk Penanganan Bahan Target Mesin Berkas Elektron," *Prosiding Seminar Nasional ReTII*, pp. 063–077, 2021, [Online]. Available: <http://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII>
- [16] V. M. Faires and R. M. Wingren, *Design of Machine Elements*, 4th ed. New York, Macmillan, 1897.
- [17] E. Prasetyo, R. Hermawan, M. N. I. Ridho, I. I. Hajar, H. Hariri, and E. A. Pane, "Analisis Kekuatan Rangka Pada Mesin Transverse Ducting Flange (TDF) Menggunakan Software Solidworks," *Rekayasa*, vol. 13, no. 3, pp. 299–306, Dec. 2020, doi: 10.21107/rekayasa.v13i3.8872.
- [18] T. Kristiawan, T. Setiyawan, and P. Yanuar, "Analisa Penggunaan Support Frame Lama Pada Desain Baru Screw Conveyor Machine Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Jurnal Mesin Nusantara*, vol. 6, no. 1, Jul. 2023, doi: 10.29407/jmn.v6i1.18847.
- [19] I. Furqani, R. K. Arief, and M. Muchlisinalahuddin, "Analisis Kekuatan Rangka Mesin Perontok Padi Menggunakan Solidworks 2019," *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, vol. 6, no. 2, p. 42, Nov. 2022, doi: 10.30588/jeemm.v6i2.1201.