

ANALISIS KEKUATAN RAK FRAME ASSEMBLY KARYA 300 DI PT. XYZ**Faizal Rangga Hadi Saputra^{1*}, Agung Nugroho¹**¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim
Jl. Raya Manyaran-Gunungpati, Nongkosawit, Gunungpati, Semarang 50224.

*Email: faizal_faizalrangghs22@gmail.com

Abstrak

Rak frame assembly merupakan salah satu fixture penting yang berfungsi menjaga posisi dan kestabilan rangka kendaraan selama proses perakitan Karya 300 di PT. XYZ. Berdasarkan hasil observasi, sejumlah rak mengalami penurunan kekuatan struktural akibat beban statis berulang dan degradasi material, sehingga berpotensi menurunkan akurasi proses perakitan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan mekanik rak frame assembly serta menghasilkan rekomendasi optimasi desain guna meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan ergonomi struktur. Metodologi penelitian meliputi observasi lapangan, pengukuran dimensi dan distribusi beban aktual, pemodelan tiga dimensi, serta analisis numerik menggunakan Metode Elemen Hingga (Finite Element Method/FEM) melalui SolidWorks Simulation. Analisis dilakukan terhadap parameter tegangan von Mises, perpindahan (displacement), regangan (strain), dan faktor keamanan (safety factor). Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain awal menghasilkan tegangan maksimum 6,61 MPa, perpindahan 0,146 mm, regangan $1,91 \times 10^{-5}$, dan faktor keamanan minimum 93,59. Setelah optimasi melalui modifikasi material, penambahan penopang depan, dan penyesuaian geometri rangka, tegangan maksimum menurun menjadi 2,89 MPa, perpindahan menjadi 0,0426 mm, regangan menjadi $1,00 \times 10^{-5}$, serta faktor keamanan meningkat menjadi 212,63. Temuan tersebut membuktikan bahwa optimasi desain efektif dalam meningkatkan kekuatan struktural, efisiensi material, serta kenyamanan dan keselamatan kerja pada lini perakitan.

Kata kunci: analisis kekuatan, finite element method, Solidworks Simulation, optimasi desain, assembly frame

1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur di Indonesia terus berkembang seiring meningkatnya kebutuhan pasar dan kemajuan teknologi. Pada sektor otomotif, khususnya produksi kendaraan roda tiga, perbaikan kualitas dan efisiensi proses menjadi faktor penting untuk mempertahankan daya saing nasional (Bakhtiar dkk., 2020). Kendaraan roda tiga berperan signifikan dalam mendukung aktivitas UMKM, distribusi barang, dan mobilitas masyarakat karena efisiensi biaya operasional yang lebih baik dibandingkan kendaraan niaga roda empat (Adzhani dkk., 2025). Hal ini menjadikan segmen roda tiga sebagai sektor strategis dalam menunjang ketahanan ekonomi nasional pada negara berkembang, termasuk Indonesia (Imansuri dkk., 2024).

PT. XYZ sebagai produsen kendaraan roda tiga dituntut untuk menjaga stabilitas dan kualitas produksi agar mampu memenuhi kebutuhan pasar. Salah satu upaya dalam meningkatkan kualitas adalah optimalisasi penggunaan alat bantu produksi seperti jig dan fixture. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa jig dan fixture memiliki peran penting dalam meningkatkan presisi perakitan, mempercepat waktu produksi, dan mengurangi risiko kecelakaan kerja (Hanandita dkk., 2023). Dengan penerapan alat bantu yang tepat, perusahaan dapat menjaga konsistensi dimensi produk serta meningkatkan efisiensi operasional.

Pada lini produksi Viar Karya 300, rak assembly frame merupakan fixture yang digunakan untuk menjaga posisi dan kestabilan rangka kendaraan selama proses perakitan. Namun, hasil observasi menunjukkan bahwa sebagian besar dari 14 unit rak frame mengalami kerusakan struktural pada bagian penyangga belakang dan dudukan depan. Kerusakan tersebut diduga disebabkan oleh beban siklik, kelelahan material, serta penurunan kekakuan komponen akibat penggunaan jangka panjang. Kondisi ini dapat mengurangi ketepatan posisi rangka, meningkatkan risiko cacat produk, serta memengaruhi keselamatan (Widodo & Prasetyo., 2025). Selain berdampak pada kualitas produk, kerusakan fixture dapat menyebabkan downtime yang meningkatkan biaya produksi. Oleh karena itu, evaluasi terhadap kondisi struktural jig dan fixture menjadi langkah strategis untuk

menjaga kontinuitas proses dan menekan risiko *defect* (Mairuhu & Latuputty., 2023). Analisis kekuatan struktur diperlukan untuk mengetahui distribusi tegangan, deformasi, dan tingkat keamanan konstruksi *fixture*, sehingga dapat digunakan sebagai dasar perbaikan desain dan peningkatan keandalannya.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Finite Element Method* (FEM) melalui perangkat lunak *SolidWorks Simulation* untuk mengevaluasi respons mekanik rak *frame assembly* berdasarkan kondisi pembebanan aktual. Analisis dilakukan terhadap parameter struktural berupa tegangan *von Mises*, *displacement*, *strain*, dan *safety factor*. Tujuan penelitian ini adalah merancang rekomendasi optimasi desain rak *frame assembly* yang dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan struktur, serta meningkatkan efisiensi dan keselamatan proses perakitan pada industri otomotif.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan dengan pendekatan simulasi numerik berbasis Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*/FEM) untuk menganalisis respons struktural rak *frame assembly* yang digunakan dalam proses perakitan kendaraan roda tiga di PT. XYZ. Observasi lapangan dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai kondisi operasional rak, pola distribusi beban, serta indikasi kerusakan struktural yang muncul selama penggunaan. Pengukuran dimensi geometris rak dilakukan menggunakan meteran dan jangka sorong sebagai dasar penyusunan model tiga dimensi, sedangkan massa rangka kendaraan ditentukan melalui timbangan digital untuk menetapkan nilai gaya pembebanan.

Pemodelan tiga dimensi rak *frame assembly* dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* berdasarkan data hasil pengukuran. Model tersebut kemudian dikonversikan menjadi model elemen hingga melalui modul *SolidWorks Simulation*. Proses *meshing* menggunakan jenis *curvature-based tetrahedral solid mesh* dengan tingkat kepadatan mendekati kategori *fine* guna meningkatkan ketelitian prediksi distribusi tegangan pada area kritis. Parameter *mesh* diatur dengan *minimum element size* sekitar 1,95 mm dan *mesh transition ratio* sebesar 1,6, serta aktivasi fitur peringatan distorsi elemen untuk memastikan kualitas *mesh*.

Material struktur ditetapkan sebagai *Alloy Steel* berdasarkan basis data material *SolidWorks*, dengan karakteristik mekanik meliputi modulus elastisitas sebesar 210 GPa, *Poisson's ratio* 0,29, dan *yield strength* 620 MPa. Kondisi batas diterapkan untuk merepresentasikan keadaan penumpu aktual rak, yaitu *roller/slider support* pada roda troli untuk membatasi perpindahan vertikal namun mengizinkan gerakan horizontal terbatas, serta *fixed support* pada bracket penopang sebagai tumpuan utama struktur. Pembebanan diberikan dalam bentuk beban statis terdistribusi yang dikonversikan dari massa rangka kendaraan Karya 300 sebesar 897,808 N, dan diaplikasikan pada enam titik pembebanan utama sesuai distribusi beban aktual.

Simulasi dilakukan menggunakan jenis analisis *Static Structural* untuk mengevaluasi respons elastis struktur terhadap pembebanan statis. Hasil simulasi mencakup distribusi tegangan *von Mises*, perpindahan (*displacement*), regangan (*strain*), dan nilai *factor of safety*, yang digunakan untuk mengetahui kekuatan mekanik struktural rak *frame assembly*. Hasil awal simulasi digunakan sebagai dasar identifikasi area kritis untuk optimasi desain melalui modifikasi geometris, yang kemudian dianalisis kembali menggunakan parameter pembebanan identik untuk memastikan peningkatan performa struktural.

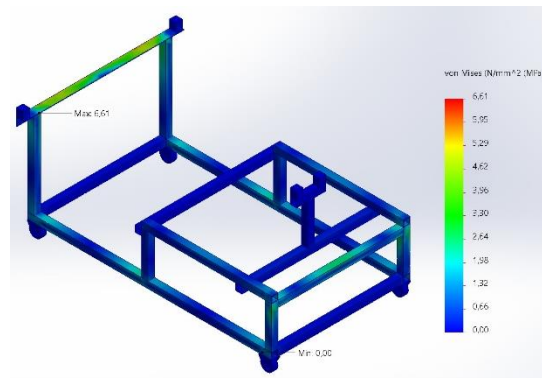
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kekuatan rak *frame assembly* Karya 300 dilakukan menggunakan *SolidWorks Simulation* dengan pembebanan statis sesuai kondisi aktual pada proses perakitan. Hasil simulasi berupa tegangan *von Mises*, *displacement* (perpindahan maksimum), *strain* (regangan), dan *safety factor*.

1. Tegangan *von Mises*

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *Solidworks Simulation* yang ditunjukkan pada Gambar 1. Tegangan *von Mises* desain rak *frame assembly* Karya 300, diperoleh distribusi tegangan *von Mises* pada rak *frame assembly* Karya 300. Tegangan maksimum yang terjadi adalah sebesar 6,61 MPa, sedangkan nilai minimum sebesar 0 MPa. Konsentrasi tegangan tertinggi terletak pada

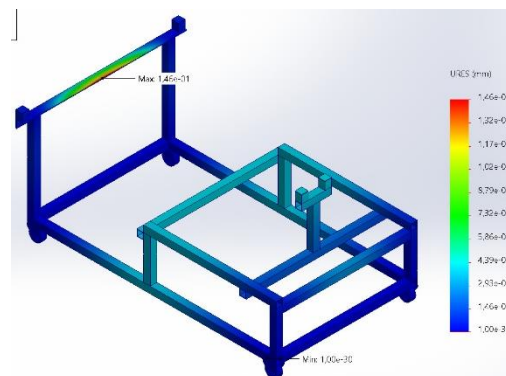
bagian sambungan vertikal rangka yang ditunjukkan dengan warna merah pada kontur, sedangkan sebagian besar struktur berada pada zona tegangan rendah (biru). Jika dibandingkan dengan sifat mekanik material *Alloy Steel*, yaitu *yield strength* sebesar 620,42 MPa, maka nilai tegangan maksimum yang muncul masih jauh di bawah batas luluh material.



Gambar 1. Tegangan *von Mises* desain rak *frame assembly* Karya 300

2. Displacement

Hasil simulasi *static displacement* pada rak *frame assembly* Karya 300 menggunakan *SolidWorks Simulation* yang ditunjukkan pada Gambar 2. *Displacement* desain rak *frame assembly* Karya 300, menunjukkan bahwa nilai perpindahan maksimum yang terjadi adalah sebesar $1,46 \times 10^{-1}$ mm atau sekitar 0,146 mm, sedangkan nilai minimum tercatat mendekati 0 mm. Perpindahan maksimum terjadi pada bagian elemen horizontal atas rangka yang ditandai dengan warna merah pada kontur hasil simulasi, sedangkan sebagian besar struktur berada pada zona perpindahan rendah (biru). Nilai perpindahan yang sangat kecil ini menunjukkan bahwa struktur memiliki kekakuan (*stiffness*) yang baik karena deformasi yang terjadi jauh di bawah ambang batas yang dapat memengaruhi fungsi maupun kestabilan konstruksi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa desain rak *frame assembly* Karya 300 mampu menahan beban yang diberikan tanpa mengalami deformasi yang signifikan, sehingga aman digunakan untuk aplikasi praktis

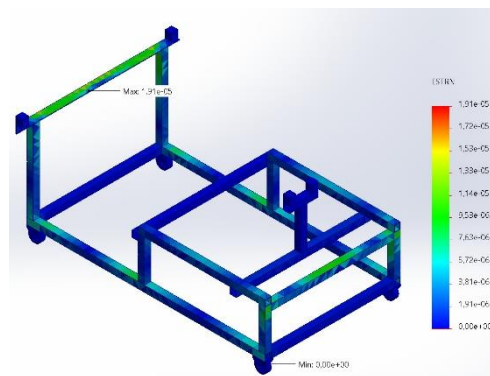


Gambar 2. *Displacement* desain rak *frame assembly* Karya 300

3. Regangan

Hasil simulasi regangan yang ditunjukkan pada Gambar 3. Regangan rak *frame assembly* Karya 300, diperoleh nilai regangan maksimum sebesar $1,91 \times 10^{-5}$ mm atau 0,0000191 mm, sedangkan nilai regangan minimum adalah 0, yang menunjukkan bahwa beberapa area struktur mengalami deformasi yang sangat kecil atau tidak signifikan. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi respons struktural rangka terhadap beban statis serta mengamati distribusi regangan yang terjadi di seluruh bagian struktur. Peta kontur regangan memperlihatkan gradasi warna dari biru hingga merah yang merepresentasikan perbedaan tingkat regangan pada struktur. Area berwarna merah menunjukkan konsentrasi regangan tertinggi, yang terletak pada bagian sambungan atas rangka belakang, menandakan bahwa bagian tersebut menerima beban terbesar selama proses

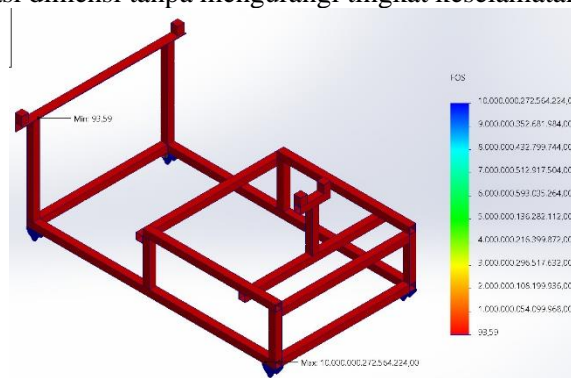
pembebanan. Nilai regangan yang relatif kecil mengindikasikan bahwa material *alloy steel* masih berada dalam batas elastisnya. Dengan demikian, deformasi yang terjadi bersifat sementara (elastis) dan struktur akan kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan.



Gambar 3. Regangan rak *frame assembly* Karya 300

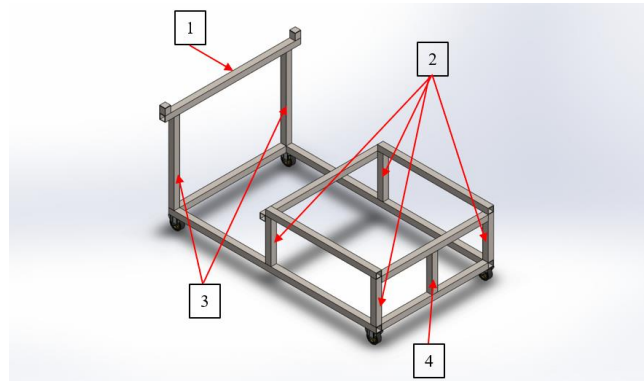
4. Safety Factor

Hasil analisis faktor keamanan yang ditunjukkan pada Gambar 4. *Safety factor* rak *frame assembly* Karya 300, menunjukkan nilai FOS minimum sebesar 93,59 yang terletak pada elemen rangka bagian bawah sebagai titik tumpuan utama. Nilai ini berada jauh di atas standar keamanan struktural yang umumnya direkomendasikan (*Factor of Safety* atau FOS 2–4), sehingga menandakan bahwa struktur memiliki margin keselamatan yang sangat besar. Distribusi FOS yang merata juga menunjukkan bahwa rak memiliki stabilitas dan keandalan struktural yang tinggi dalam menahan beban operasional. Dengan demikian, desain rak *frame* dapat dinilai aman untuk digunakan dalam proses perakitan. Namun, tingginya nilai FOS mengindikasikan bahwa efisiensi material masih dapat ditingkatkan melalui optimasi dimensi tanpa mengurangi tingkat keselamatan struktur.



Gambar 4. *Safety factor* rak *frame assembly* Karya 300

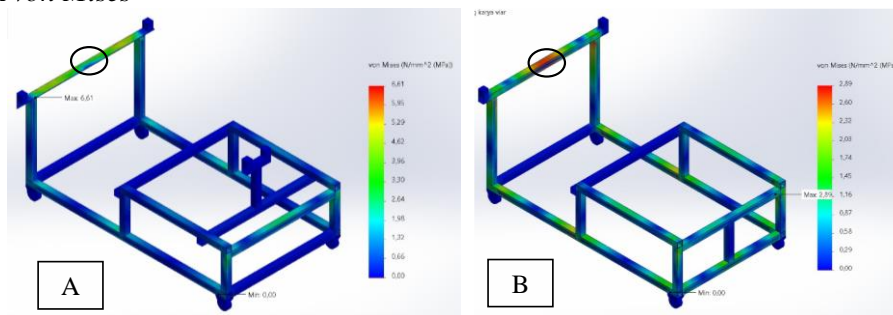
Setelah diketahui hasil simulasi pada desain awal, dilakukan proses optimasi desain untuk meningkatkan kinerja struktural rak *frame assembly*. Bagian yang menunjukkan konsentrasi tegangan, deformasi relatif tinggi, atau nilai faktor keamanan yang kurang efisien dianalisis lebih lanjut sebagai dasar perbaikan geometri. Langkah ini bertujuan menghasilkan desain yang lebih kuat, stabil, dan efisien secara material tanpa mengurangi tingkat keselamatan struktur. Model 3D rak *frame assembly* Karya 300 hasil optimasi ditunjukkan pada Gambar 5. Model 3D rak *frame assembly* Karya 300 hasil optimasi.



Gambar 5. Model 3D rak *frame assembly* Karya 300 hasil optimasi

Optimasi desain rak *frame assembly* Karya 300 dilakukan melalui modifikasi material dan geometri untuk meningkatkan kekuatan, stabilitas, dan kenyamanan operator. Material awal berupa besi siku 50cm×50cm×4 mm diganti menjadi *hollow* 40cm×40cm×3 mm agar memiliki ketahanan yang lebih baik (1). Ketinggian rak ditambah 40 mm untuk meningkatkan ergonomi proses perakitan (2), sedangkan ketinggian penopang belakang disesuaikan menjadi 584 mm (3). Selain itu, penopang tambahan ditambahkan pada bagian depan untuk memperkuat area yang menerima beban statis (4). Analisis kekuatan hasil optimasi desain yaitu:

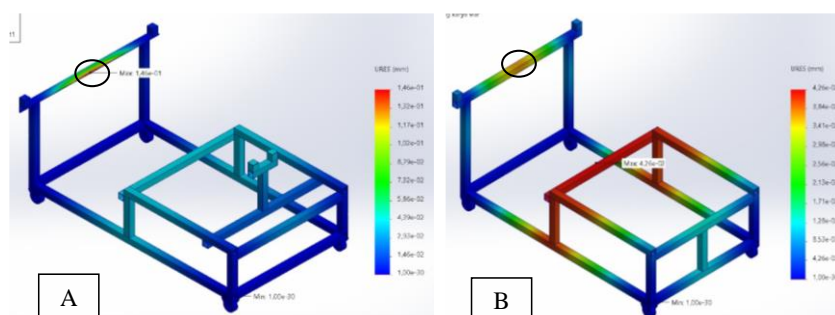
1. Tegangan *von Mises*



Gambar 6. Perbedaan *von Mises* antara (A) desain awal dan (B) hasil optimasi desain

Hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 6. Tegangan *von Mises* hasil optimasi desain, menunjukkan bahwa optimasi desain mampu menurunkan tegangan maksimum dari 6,61 MPa pada desain awal menjadi 2,89 MPa pada desain hasil modifikasi. Pada desain awal, tegangan terpusat pada sambungan rangka belakang, sedangkan setelah optimasi distribusinya menjadi lebih merata. Penurunan tegangan lebih dari 50% ini menandakan peningkatan kekakuan dan efektivitas penyaluran beban, sehingga optimasi desain secara langsung meningkatkan faktor keamanan dan keandalan struktural rak *frame assembly*.

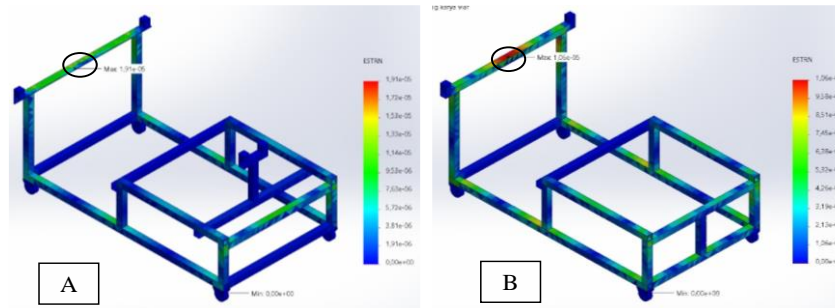
2. *Displacement*



Gambar 7. Perbedaan *displacement* antara (A) desain awal dan (B) hasil optimasi desain

Hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 7. Perbedaan *displacement* antara (A) desain awal dan (B) hasil optimasi desain, menunjukkan bahwa desain awal mengalami perpindahan maksimum 0,146 mm pada batang horizontal atas, yang mengindikasikan kekakuan lokal yang kurang baik. Setelah optimasi, *displacement* maksimum menurun menjadi 0,0426 mm, dengan nilai sekitar 0,0384 mm pada area kritis yang sama. Penurunan deformasi ini membuktikan bahwa optimasi desain mampu meningkatkan kekakuan dan stabilitas struktural rak *frame assembly*.

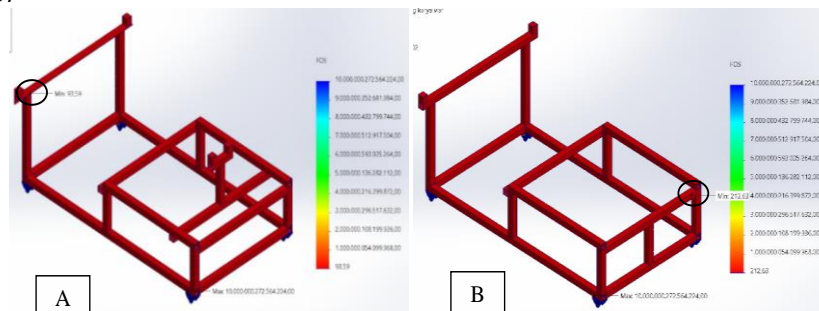
3. Regangan



Gambar 8. Perbedaan regangan antara (A) desain awal dan (B) hasil optimasi desain

Hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 8. Perbedaan regangan antara (A) desain awal dan (B) hasil optimasi desain, menunjukkan bahwa desain awal memiliki regangan maksimum $1,91 \times 10^{-5}$ mm, yang terpusat pada batang horizontal atas. Setelah optimasi, nilai tersebut menurun menjadi $1,00 \times 10^{-5}$ mm, menandakan deformasi yang lebih kecil dan distribusi kekakuan yang lebih baik. Penurunan ini menunjukkan bahwa optimasi desain efektif dalam meningkatkan integritas struktural rangka.

4. Safety Factor



Gambar 9. Perbedaan *safety factor* antara (A) desain awal dan (B) hasil optimasi desain

Hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 9. Perbedaan *safety factor* antara (A) desain awal dan (B) hasil optimasi desain, menunjukkan bahwa desain awal memiliki nilai *Factor of Safety* (FOS) minimum 93,59, yang meskipun aman, masih mencerminkan distribusi kekuatan yang kurang optimal. Setelah optimasi, nilai FOS meningkat menjadi 212,63, menunjukkan peningkatan efisiensi kekuatan dan kekakuan struktur. Dengan demikian, optimasi desain terbukti menghasilkan rak *frame* yang lebih stabil dan andal terhadap pembebanan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis elemen hingga menggunakan *SolidWorks*, tegangan maksimum pada rak *frame assembly* menurun dari 6,61 MPa pada desain awal menjadi 2,89 MPa setelah optimasi. Faktor keamanan juga meningkat dari 93,59 menjadi 212,63, menunjukkan peningkatan efisiensi dan kekuatan struktur. Observasi dan simulasi membuktikan bahwa kegagalan umumnya terjadi pada bagian depan rak akibat konsentrasi beban. Oleh karena itu, dilakukan optimasi melalui penambahan

penyangga depan, penggantian material rangka dari besi siku menjadi *hollow*, serta peningkatan ketinggian rak sebesar 4 cm untuk memperkuat struktur dan meningkatkan ergonomi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adzhani, I. A., Pramono, B., Setyawan Santoso, M., Wirayat, M. Y. F., Okdinawati, L., & Belgiawan, P. F. (2025). Battery Electric Vehicle Adoption in Indonesia: Insights from Consumer Preferences and Stakeholder Perspectives. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 11(3), 334–350. <https://doi.org/10.22146/jcef.22067>
- Bakhtiar, A., Dzakwan, B. R., Elfrida, M., Sipayung, B., & Pradhana, C. A. (2020). Penerapan Metode Six Sigma di PT Triangle Motorindo. 13(2), 113–119.
- Hanandita, H. S., Ubaidillah, Prabowo, A. R., Lenggana, B. W., Turnip, A., & Joelianto, E. (2023). Static Structural Analysis of Checking Fixture Frame of Car Interior Using Finite Element Method. *Automotive Experiences*, 6(3), 652–668. <https://doi.org/10.31603/ae.9860>
- Imansuri, F., Chayatunnufus, T., Safril, S., Sumasto, F., Purwojatmiko, B. H., & Salati, D. (2024). Reducing Defects Using DMAIC Methodology in an Automotive Industry. *Spektrum Industri*, 22(1), 1–13. <https://doi.org/10.12928/si.v22i1.171>
- Mairuhu, D., & Latuputty, R. (2023). Desain Jig Untuk Pembuatan Frame (Rangka) Sepeda Motor Pada Bengkel Politeknik Negeri Ambon. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Iron*, 5(1), 410–420. <https://doi.org/10.31959/jpmi.v5i1.1428>
- Widodo, A., & Prasetyo, J. (2025). Perancangan dan pembuatan jig and fixture dengan mesin Computer Numerical Control (CNC) milling di PT Prima Anugrah Teknik. *Jurnal Inkofar*, 9(1), 21–26.