



## DESAIN DAN MODIFIKASI STRUKTUR SASIS KENDARAAN LISTRIK RODA TIGA UNTUK PENINGKATAN FAKTOR KEAMANAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Yayang Permadi<sup>1\*</sup>, Revvan Rifada Pradiza<sup>1</sup>, Moh. Rizanto Juliansyah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknologi Mesin Politeknik Internasional Tamansiswa Mojokerto  
Jl Tamansiswa No. 30, Kota Mojokerto, Indonesia

<sup>2</sup>Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang  
Jl. Soekarno Hatta No.9, Malang, Indonesia

Email : [yayangpolitama@gmail.com](mailto:yayangpolitama@gmail.com), [revanrifada1@gmail.com](mailto:revanrifada1@gmail.com), [mohammad.rizanto@polinema.ac.id](mailto:mohammad.rizanto@polinema.ac.id)

\*Alamat Korespondensi: [yayangpolitama@gmail.com](mailto:yayangpolitama@gmail.com)

**Dikimkan: 19 September 2025. Direvisi: 21 November 2025. Diterima: 30 November 2025.**

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi struktur sasis kendaraan listrik roda tiga dengan fokus pada peningkatan faktor keamanan (factor of safety, FoS) melalui pendekatan modifikasi geometri dan material. Pemodelan tiga dimensi dilakukan menggunakan SolidWorks, sedangkan analisis numerik menggunakan metode elemen hingga di ANSYS Workbench. Skenario pembebanan statis diberikan pada rentang 0–600 kg dengan titik tumpu pada bagian pengendara dan kargo. Desain awal menunjukkan nilai FoS < 1 pada beban 200 kg, sehingga tidak memenuhi kriteria keamanan. Modifikasi tahap pertama berupa penambahan plat alas dan penguat pada cross members depan mampu meningkatkan FoS menjadi 1,02. Selanjutnya, modifikasi tahap kedua dengan penyesuaian material dan penguatan pada alas kargo menghasilkan FoS sebesar 1,29 dengan penurunan tegangan maksimum hingga 33% dibanding desain awal. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa kombinasi strategi penguatan struktural dan pemilihan material yang tepat mampu meningkatkan kinerja sasis hingga mencapai tingkat keamanan yang dapat diterima.

**Kata kunci:** sasis kendaraan listrik; metode elemen hingga; faktor keamanan, desain struktural

### Abstract

*This study aims to design and evaluate the chassis structure of a three-wheeled electric vehicle with a focus on improving the factor of safety (FoS) through geometric and material modifications. A three-dimensional model was developed using SolidWorks, while numerical analysis was conducted with the finite element method in ANSYS Workbench. Static loading scenarios were applied in the range of 0–600 kg, with load points positioned at the driver and cargo sections. The initial design showed an FoS value of less than 1 under a 200 kg load, indicating that it did not meet the safety criteria. The first modification, involving the addition of a base plate and reinforcements to the front cross members, increased the FoS to 1.02. A second modification, which included material adjustments and reinforcement of the cargo base, further improved the FoS to 1.29 while reducing the maximum stress by up to 33% compared to the initial design. These findings highlight that a combination of structural reinforcement strategies and appropriate material selection can significantly enhance chassis performance and achieve an acceptable safety level.*

**Keywords:** electric vehicle chassis; finite element method; safety factor; structural design

## PENDAHULUAN

Kendaraan listrik merupakan salah satu teknologi transportasi yang mengalami perkembangan pesat dalam upaya mendukung sistem mobilitas berkelanjutan [1], [2]. Selain didukung oleh kebijakan energi nasional, pertumbuhan e-commerce dan kebutuhan distribusi barang di wilayah perkotaan turut mendorong peningkatan permintaan kendaraan listrik roda tiga sebagai moda angkut barang yang

efisien dan ramah lingkungan [3], [4].

Sasis sebagai struktur utama kendaraan memiliki peran penting dalam menopang beban pengendara, penumpang, maupun kargo, serta berpengaruh terhadap aspek keselamatan, kenyamanan, dan umur pakai kendaraan [5], [6]. Desain sasis yang tidak optimal dapat menimbulkan deformasi berlebih maupun kegagalan material, sehingga analisis ketahanan struktural menjadi aspek yang wajib dilakukan sejak tahap perancangan [7].

Metode elemen hingga (finite element method, FEM) telah banyak digunakan untuk mengevaluasi performa sasis, baik dalam aspek statis maupun dinamis, karena mampu memberikan gambaran detail mengenai distribusi tegangan, deformasi, dan nilai factor of safety [8], [9], [10]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa rancangan awal sasis kendaraan listrik roda dua maupun roda tiga sering kali memiliki nilai factor of safety yang rendah pada titik kritis, khususnya di area cross members yang menerima beban dominan [11], [12].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, berbagai pendekatan telah dilakukan, seperti optimasi desain [13], penggunaan material multi-material [14], serta analisis modal untuk memastikan respon dinamis yang sesuai [15], [16]. Salah satu material penyusun struktur rangka kendaraan adalah aluminium [17]. Aluminium paduan 6061-T6 banyak dipilih karena memiliki kekuatan spesifik tinggi dan ketahanan korosi yang baik, sehingga cocok untuk aplikasi sasis kendaraan ringan [18]. Namun, kajian yang menggabungkan strategi modifikasi geometri dan penyesuaian material secara sistematis pada konteks kendaraan listrik roda tiga masih terbatas.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini difokuskan pada desain, modifikasi, dan evaluasi struktur sasis kendaraan listrik roda tiga menggunakan metode elemen hingga. Analisis dilakukan melalui pemodelan tiga dimensi, simulasi statis dengan variasi beban, serta evaluasi nilai factor of safety sebelum dan sesudah modifikasi. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan rancangan sasis dengan tingkat keamanan yang memadai melalui kombinasi strategi penguatan struktural dan pemilihan material yang tepat.

## METODE PENELITIAN

### Identifikasi Material Sasis Kendaraan Roda Tiga

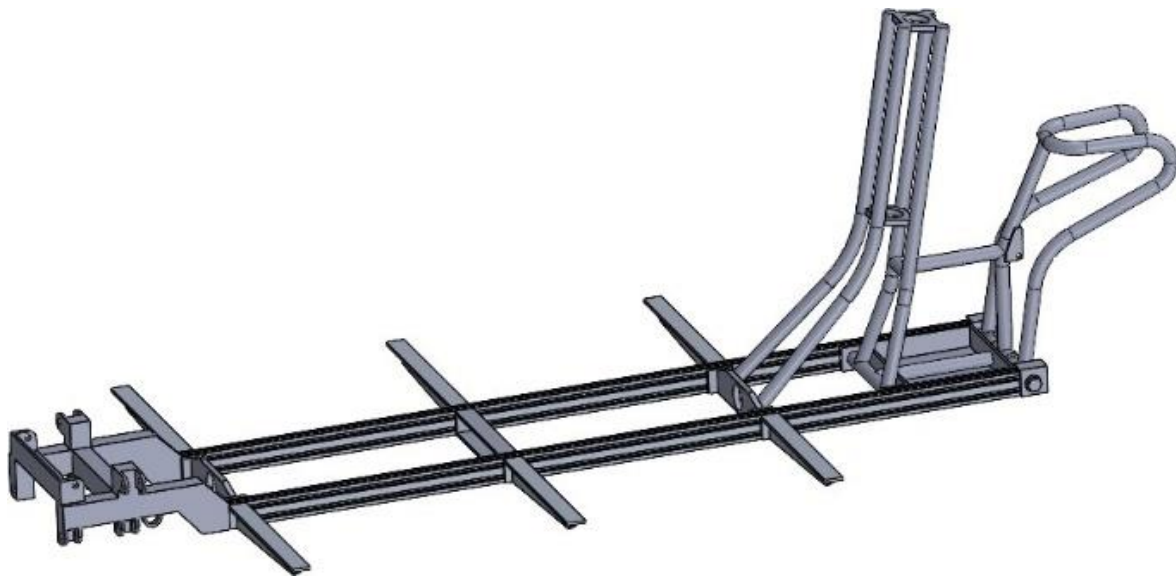
Material utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium paduan 6061-T6, dengan sifat mekanik antara lain modulus elastisitas 68,9 GPa, tegangan luluh 275 MPa, dan tegangan tarik maksimum 310 MPa [18]. Komponen struktural utama seperti long members, cross members, dan truss members pada sasis menggunakan material aluminium 6063-T5 yang memiliki ketahanan korosi baik dan sifat mampu bentuk yang sesuai untuk konstruksi rangka [19]. Sebagai pembanding, pada bagian alas kargo juga diuji penggunaan material alternatif berupa kayu mahoni yang dievaluasi pada tahap modifikasi. Data sifat mekanik material diperoleh dari ASM Handbook dan literatur bahan teknik [18]. Material kayu mahoni juga sempat dianalisis sebagai alternatif untuk alas kargo, namun hasil simulasi menunjukkan performa yang jauh lebih rendah dibandingkan aluminium 6061-T6, sehingga data tidak ditampilkan secara rinci.

Tabel 1. Sifat Mekanik Material Sasis Kendaraan Roda Tiga.

	Al-6061 T6	Al-6063 T5
Density (g/cm <sup>3</sup> )	2.7	2.7
Tensile strength (Ultimate) (Mpa)	310	185
Tensile strength (Yield) (Mpa)	275	145
Elastis modulus (Gpa)	69	69
Poisson's ratio (N/A)	0.33	0.33
Bulk modulus (GPA)	69	69
Shear modulus (Gpa)	26	26

### Pemodelan Sasis Kendaraan Listrik Roda Tiga

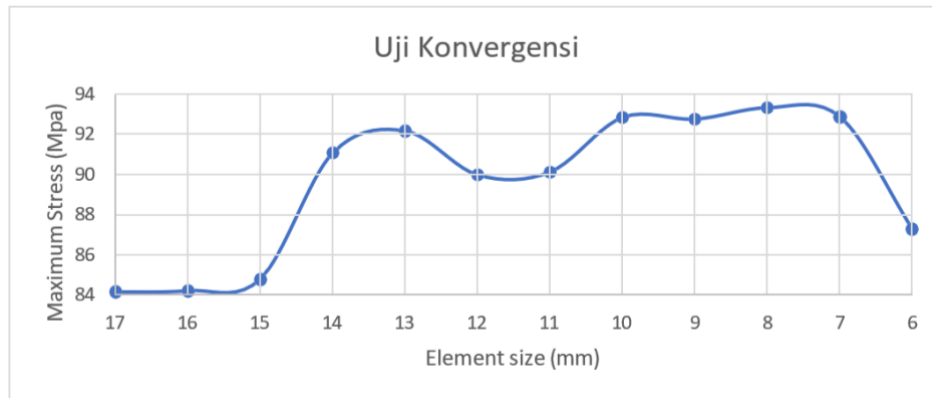
Desain sasis kendaraan listrik roda tiga dibuat menggunakan perangkat lunak SolidWorks, dengan konfigurasi *space frame* yang terdiri atas *long members*, *cross members*, dan *truss members* [5], [6]. Model tiga dimensi ini kemudian diekspor ke ANSYS Workbench untuk analisis numerik berbasis metode elemen hingga.



Gambar 1. Desain sasis kendaraan listrik roda tiga.

### Analisa Kovergensi Sasis Kendaraan Roda Tiga

Proses meshing dilakukan menggunakan elemen tetrahedral, dengan penghalusan mesh pada area yang diprediksi mengalami konsentrasi tegangan, terutama sambungan cross members depan dan alas kargo [8], [9], [10]. Untuk memastikan akurasi hasil simulasi, dilakukan uji konvergensi mesh dengan cara memvariasikan ukuran elemen sesuai [20]. Nilai tegangan maksimum yang diperoleh dibandingkan pada setiap variasi hingga selisih antar iterasi berada di bawah 5%, yang menandakan hasil sudah konvergen. Grafik hasil uji konvergensi ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Grafik uji konvergensi *mesh*

### Pembebanan pada Sasis Kendaraan Roda Tiga

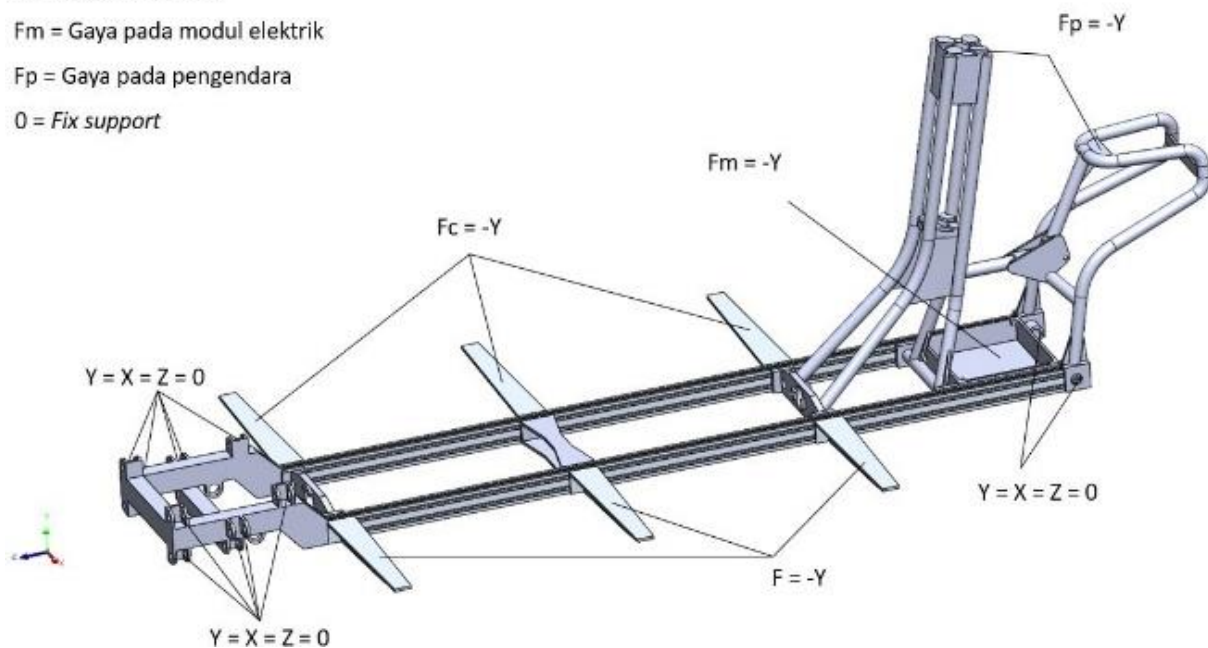
Skenario pembebanan ditetapkan pada rentang 0–600 kg, yang dikonversi menjadi gaya statis setara dan diaplikasikan pada titik beban pengendara dan kargo [3], [4]. Kondisi batas berupa fixed support diberikan pada titik hub roda depan dan belakang. Distribusi beban ini disesuaikan dengan asumsi penggunaan operasional kendaraan untuk transportasi perkotaan [11], [12]. Skema kondisi batas dan pembebanan divisualisasikan pada Gambar 3.

$F_c$  = Gaya pada cargo

$F_m$  = Gaya pada modul elektrik

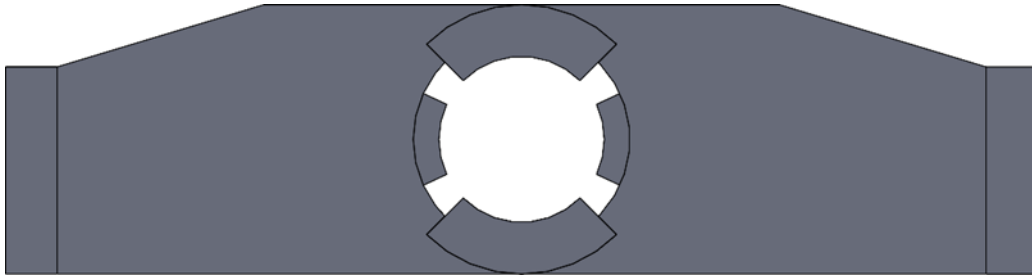
$F_p$  = Gaya pada pengendara

0 = *Fix support*

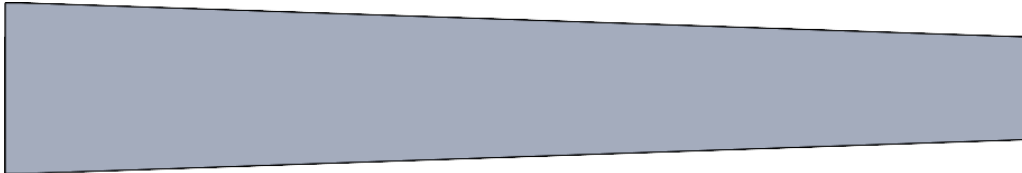


Gambar 3. Kondisi pembebanan dan boundary condition pada model sasis.

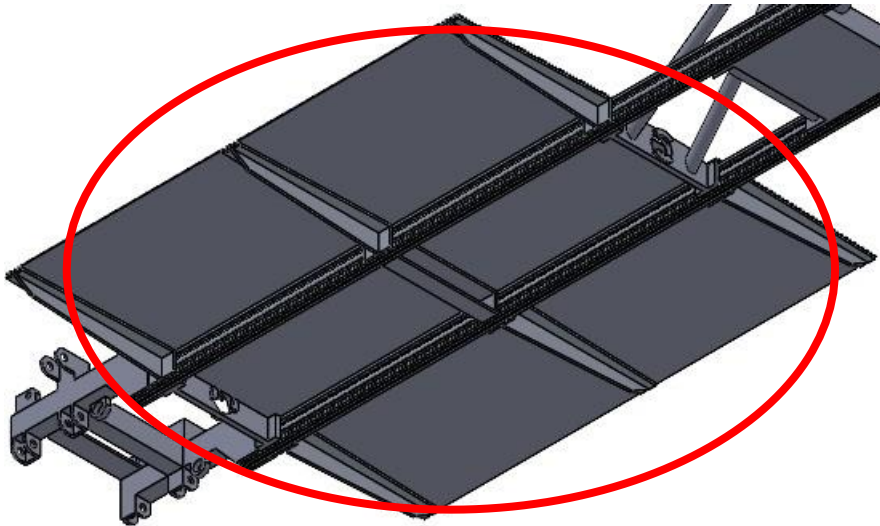
Analisis yang dilakukan difokuskan pada analisa statis untuk memperoleh distribusi tegangan, deformasi total, dan nilai factor of safety (FoS) dari struktur. Selanjutnya, hasil analisis digunakan untuk menentukan area kritis yang perlu dimodifikasi, yaitu *cross members* depan, *truss members* serta penopang kargo. Strategi modifikasi ini divisualisasikan pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6.



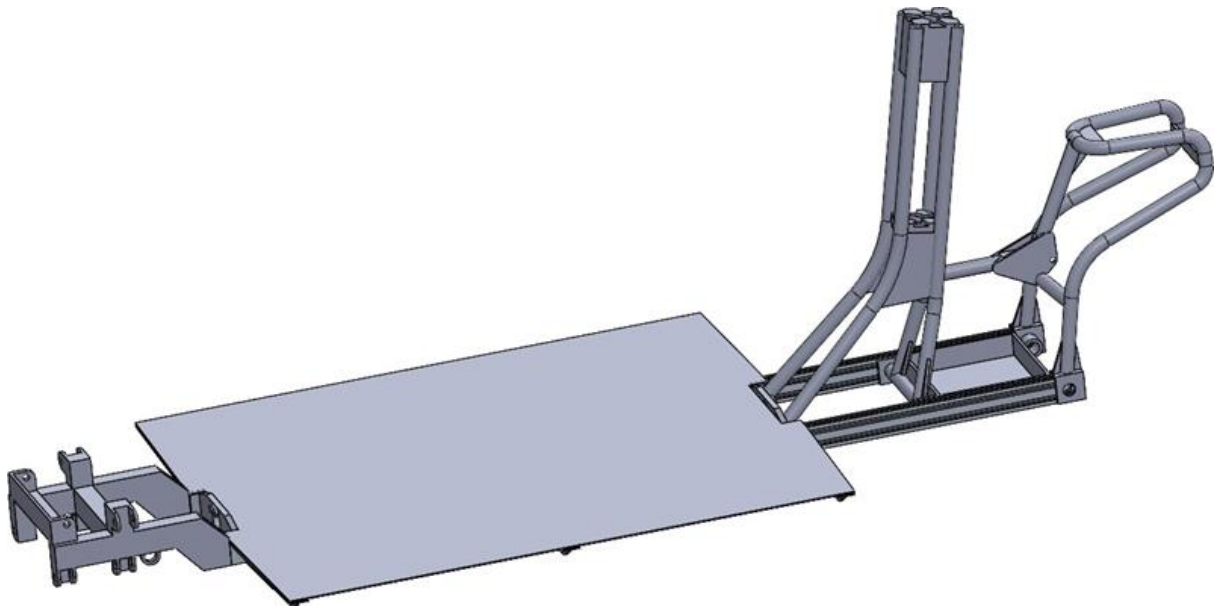
Gambar 4. *Cross members* depan modifikasi.



Gambar 5. Truss members modifikasi



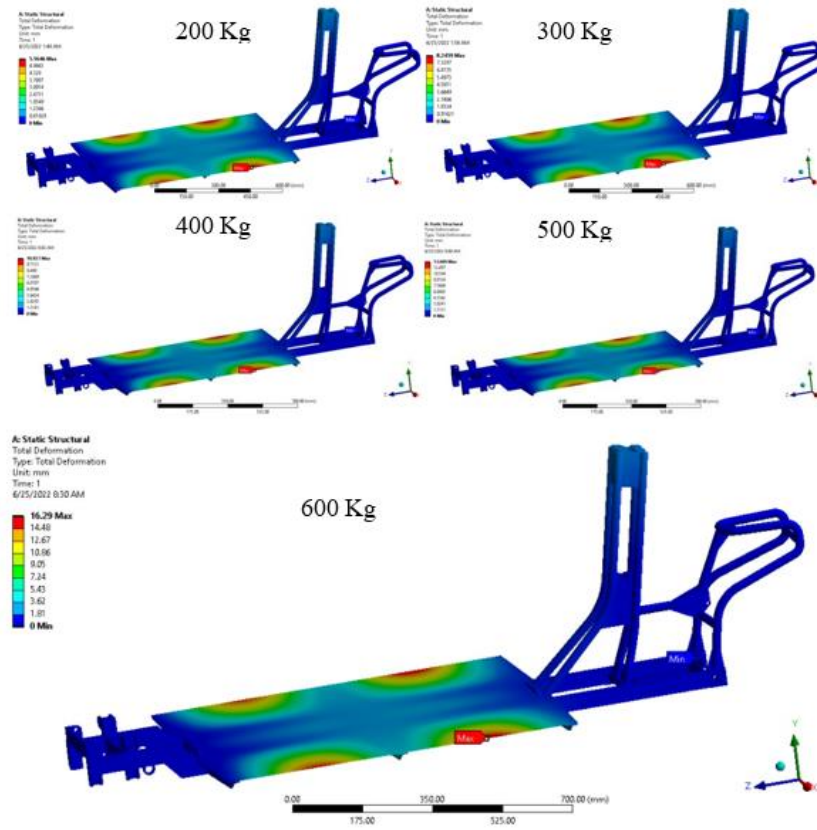
Gambar 6. Komponen tambahan penompang kargo.



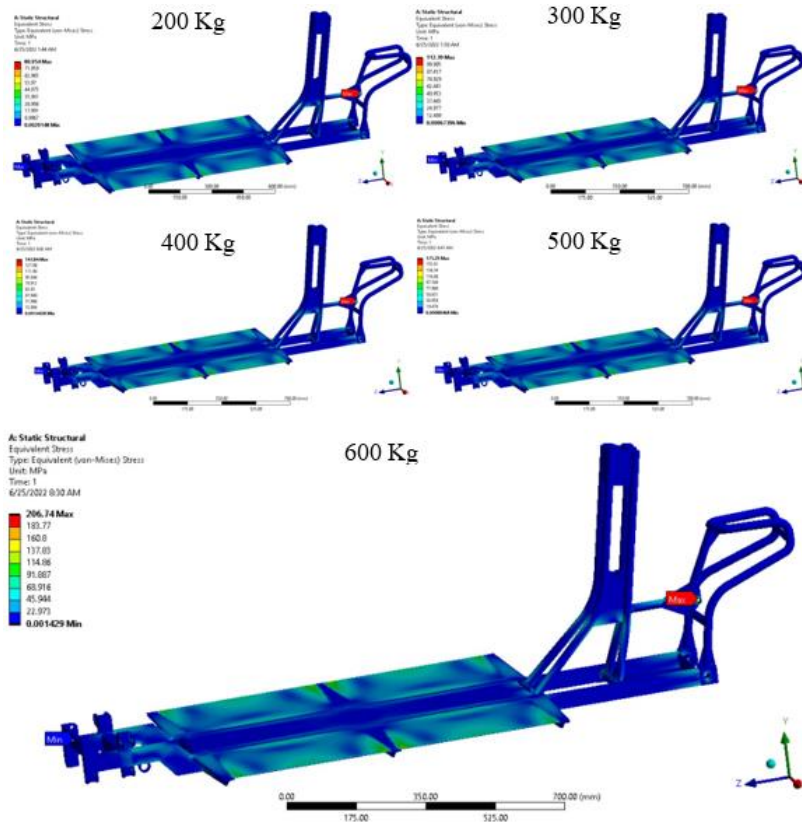
Gambar 7. Struktur kendaraan baru

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis statis pada desain awal sasis kendaraan listrik roda tiga menunjukkan bahwa struktur belum memenuhi kriteria keamanan. Pada kondisi beban 200 kg, nilai factor of safety (FoS) berada di bawah 1, yaitu 0,8624, dengan tegangan maksimum mencapai 95,94 MPa dan deformasi total sebesar 2,51 mm. Nilai ini menandakan bahwa struktur tidak mampu menahan beban operasional dengan aman. Untuk meningkatkan performa struktural, dilakukan Modifikasi 1 berupa penambahan plat alas dan penguat pada cross members depan. Hasil simulasi menunjukkan peningkatan nilai FoS menjadi 1,0221 pada beban 200 kg. Tegangan maksimum turun menjadi 80,95 MPa, meskipun deformasi total meningkat menjadi 5,56 mm. Kontur tegangan dan deformasi setelah modifikasi dapat dilihat pada Gambar 8. Tegangan maksimum Modifikasi 1 dan Gambar 9. Deformasi Modifikasi.

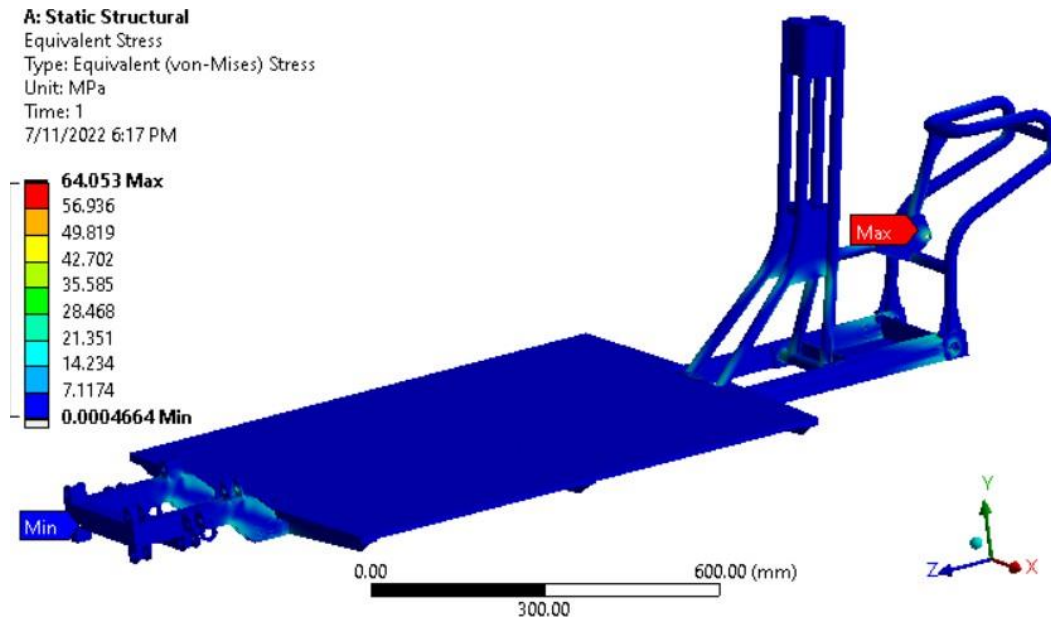


Gambar 8. Kontur deformasi modifikasi 1

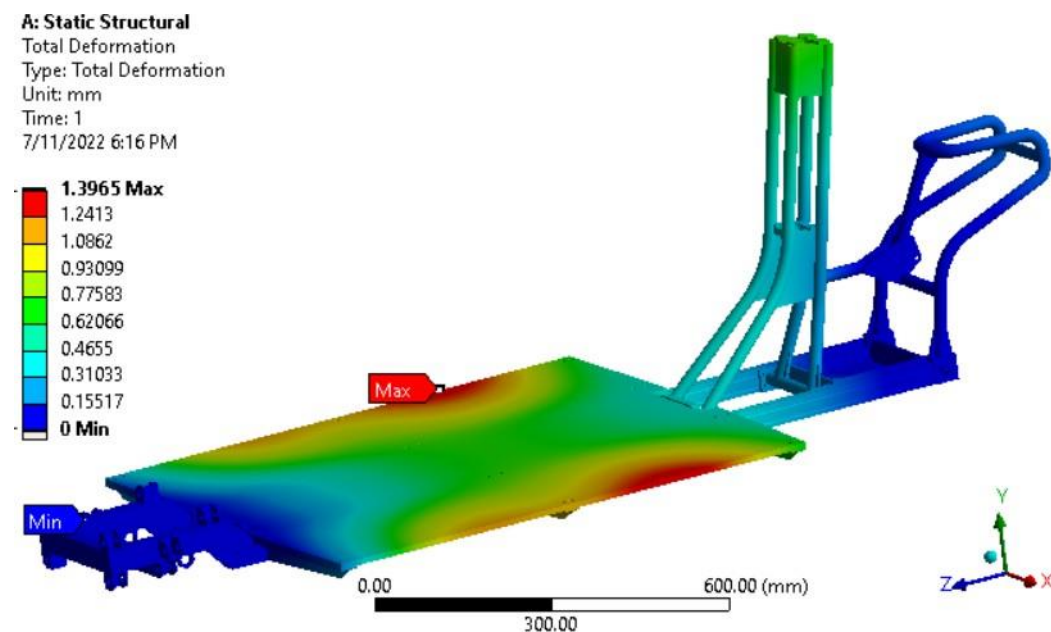


Gambar 9. Kontur tegangan maksimum modifikasi 1

Selanjutnya dilakukan Modifikasi 2 dengan penyesuaian material pada alas kargo serta perubahan geometri truss members. Modifikasi ini menghasilkan peningkatan signifikan dengan FoS sebesar 1,2917 pada beban 200 kg. Tegangan maksimum turun lebih lanjut menjadi 64,05 MPa, sementara deformasi total berkurang drastis menjadi 1,40 mm. Visualisasi hasil simulasi ditampilkan pada Gambar 10. dan Gambar 11.



Gambar 10. Kontur tegangan maksimum modifikasi 2



Gambar 11. Kontur deformasi modifikasi modifikasi 2

Perbandingan hasil analisis statis dari ketiga konfigurasi dirangkum pada Tabel 2 berikut.

Pada Modifikasi 1, meskipun tegangan maksimum menurun dibandingkan desain awal, deformasi total justru meningkat. Hal ini disebabkan oleh distribusi beban yang lebih terpusat pada area penguatan sehingga menimbulkan defleksi lokal yang lebih besar [21]. Namun, pada Modifikasi 2, perubahan geometri truss members dan penggunaan material berbeda pada alas kargo berhasil

mendistribusikan beban secara lebih merata. Akibatnya, tegangan maksimum menurun signifikan dan deformasi total juga berkurang drastis.

Tabel 2. Hasil analisis statis sasis kendaraan listrik roda tiga.

Konfigurasi	Beban (kg)	Tegangan Maksimum (MPa)	Deformasi (mm)	FoS
Desain Awal	200	95,94	2,51	0,8624
Modifikasi 1	200	80,95	5,56	1,0221
Modifikasi 2	200	64,05	1,40	1,2917

Dari Tabel 2 terlihat bahwa strategi modifikasi memberikan peningkatan signifikan terhadap kinerja struktural. Penambahan plat pada cross members (Modifikasi 1) berhasil menurunkan tegangan maksimum dan meningkatkan FoS, namun menyebabkan deformasi lebih besar. Sementara itu, kombinasi perubahan material dan geometri truss members (Modifikasi 2) menghasilkan peningkatan menyeluruh, dengan tegangan lebih rendah, deformasi yang lebih kecil, dan FoS yang mendekati standar aman ( $>1,3$ ).

Hasil ini menegaskan bahwa desain modifikasi berbasis evaluasi area kritis mampu meningkatkan faktor keamanan sasis kendaraan listrik roda tiga. Meskipun demikian, nilai FoS pada Modifikasi 2 masih sedikit di bawah target 1,3–1,5 yang umum digunakan untuk desain struktural kendaraan, sehingga studi lanjutan dengan optimasi geometri dan pemilihan material yang lebih tepat masih diperlukan.

## KESIMPULAN

Penelitian ini telah merancang dan mengevaluasi struktur sasis kendaraan listrik roda tiga berbasis aluminium paduan menggunakan metode elemen hingga dengan fokus pada analisis statis. Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain awal memiliki kelemahan struktural dengan nilai factor of safety (FoS) kurang dari 1 pada beban 200 kg, sehingga tidak memenuhi kriteria keamanan. Titik kritis ditemukan pada cross members depan yang menerima distribusi beban terbesar. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa melalui dua tahap modifikasi, performa sasis mengalami peningkatan signifikan. Modifikasi 1 berupa penambahan plat alas dan penguat pada cross members depan meningkatkan FoS menjadi 1,0221, meskipun deformasi total meningkat. Modifikasi 2 dengan penyesuaian material pada alas kargo serta perubahan geometri truss members memberikan hasil yang lebih optimal, dengan FoS sebesar 1,2917, penurunan tegangan maksimum hingga 33%, dan deformasi total yang lebih kecil dibanding desain awal.

Secara keseluruhan, strategi modifikasi yang diterapkan terbukti efektif dalam meningkatkan kinerja struktural dan mendekati nilai FoS ke batas aman desain kendaraan. Namun, untuk mencapai standar keamanan yang lebih tinggi ( $FoS \geq 1,3-1,5$ ), diperlukan penelitian lanjutan melalui optimasi geometri yang lebih detail, pemilihan material alternatif yang lebih kuat, serta validasi eksperimental agar hasil simulasi dapat terkonfirmasi secara praktis. Nilai FoS akhir sebesar 1,2917 sudah mendekati standar minimum desain struktural kendaraan ( $FoS \geq 1,3$ ). Untuk melakukan optimasi geometri sasis dengan pendekatan parametrik sehingga variasi dimensi cross members dan truss members dapat dievaluasi secara lebih sistematis. Selain itu, penggunaan material alternatif dengan kekuatan lebih tinggi, seperti baja ringan atau komposit, perlu dipertimbangkan agar faktor keamanan dapat ditingkatkan hingga melampaui batas minimal 1,3–1,5. Validasi eksperimental melalui uji beban statis pada prototipe fisik juga penting dilakukan untuk memverifikasi hasil simulasi numerik serta memastikan kelayakan rancangan dalam kondisi operasional nyata.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada UPPM Politeknik Internasional Tamansiswa Mojokerto atas dukungan dan fasilitas tempat untuk melaksanakan penelitian ini.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] M. S. Hossain, L. Kumar, M. M. Islam, and J. Selvaraj, "A Comprehensive Review on the Integration of Electric Vehicles for Sustainable Development," *J Adv Transp*, vol. 2022, pp. 1–26, Oct. 2022, doi: 10.1155/2022/3868388.
- [2] M. Gallo and M. Marinelli, "Sustainable Mobility: A Review of Possible Actions and Policies," *Sustainability*, vol. 12, no. 18, p. 7499, Sep. 2020, doi: 10.3390/su12187499.
- [3] A. Comi and L. Savchenko, "Last-mile delivering: Analysis of environment-friendly transport," *Sustain Cities Soc*, vol. 74, p. 103213, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103213>.
- [4] G. Aiello, S. Quaranta, A. Certa, and R. Inguanta, "Optimization of Urban Delivery Systems Based on Electric Assisted Cargo Bikes with Modular Battery Size, Taking into Account the Service Requirements and the Specific Operational Context," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 15, 2021, doi: 10.3390/en14154672.
- [5] M. Hilgers, *Chassis and Axles*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2023. doi: 10.1007/978-3-662-66614-2.
- [6] S. Stadler, M. Hirz, K. Thum, and P. Rossbacher, "Conceptual Full-Vehicle Development supported by Integrated Computer-Aided Design Methods," *Comput Aided Des Appl*, vol. 10, no. 1, pp. 159–172, Jan. 2013, doi: 10.3722/cadaps.2013.159-172.
- [7] M. Khot, C. K. A. M. S., S. S., and M. M., "Selection of Materials, Design and Analysis of FSAE Chassis for Different Engineering Application- A Comprehensive Review," *International Journal of Automotive Science And Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 136–157, 2025, doi: 10.30939/ijastech..1574611.
- [8] M. A. Sabtu, A. E. Admi, M. Mohamed Salleh, S. A. Osman, and S. A. Osman, "Finite Element Analysis of Stress Distribution in AL6061 Frame Structures Under Varying Applied Loads," *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 16, no. 2, Apr. 2024, doi: 10.30880/ijie.2024.16.02.027.
- [9] E. Madenci and I. Guven, *The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS®*. Boston, MA: Springer US, 2015. doi: 10.1007/978-1-4899-7550-8.
- [10] X. Chen and Y. Liu, *Finite Element Modeling and Simulation with ANSYS Workbench*. CRC Press, 2018. doi: 10.1201/9781351045872.
- [11] S. Balaguru, E. Natarajan, S. Ramesh, and B. Muthuvijayan, "Structural and modal Analysis of Scooter Frame for Design Improvement," *Mater Today Proc*, vol. 16, pp. 1106–1116, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.202>.
- [12] N. Ahirrao and S. Bhosle, "To Evaluate Chassis Frequency Harmonics of Vehicles by Modal Analysis and Measurement," in *Recent Trends in Mechanical Engineering*, G. S. V. L. Narasimham, A. V. Babu, S. S. Reddy, and R. Dhanasekaran, Eds., Singapore: Springer Singapore, 2020, pp. 685–693.
- [13] J. Christensen and C. Bastien, *Nonlinear Optimization of Vehicle Safety Structures*. Elsevier, 2016. doi: 10.1016/C2013-0-00069-2.
- [14] J. Altach, B. Bader, T. Fröhlich, D. Klaiber, and T. Vietor, "Approach to the systematic categorization and qualitative evaluation of multi-material designs for use in vehicle body structures," *Procedia CIRP*, vol. 84, pp. 908–915, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.339>.
- [15] E. Bonisoli, D. Lisitano, L. Dimauro, and L. Peroni, "A Proposal of Dynamic Behaviour Design Based on Mode Shape Tracing: Numerical Application to a Motorbike Frame," in *Dynamic Substructures, Volume 4*, A. Linderholt, M. S. Allen, R. L. Mayes, and D. Rixen, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 149–158.
- [16] J. He and Z.-F. Fu, *Modal analysis*. Butterworth-Heinemann, 2001. Accessed: Sep. 18, 2025. [Online]. Available: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1970304959813428373.bib?lang=ja>
- [17] Fadelan, "PENGARUH KELANGSINGAN KOMPONEN STRUKTUR PIPA ALMUNIMUM PASARAN PADA BEBAN KRITIS STRUKTUR," *MULTITEK INDONESIA*, vol. 10, no. 1, pp. 8–18, Oct. 2016, doi: 10.24269/mtkind.v10i1.234.
- [18] C. F. C., *Elements of Metallurgy and Engineering Alloys*, vol. 117. ASM International, 2008. doi: 10.31399/asm.tb.emea.9781627082518.
- [19] Y. Jing, Q. Sun, and Y. Zhao, "Design of Z Profile Roller Tooling and Research on Roller Clearance," *Machines*, vol. 11, no. 7, p. 767, Jul. 2023, doi: 10.3390/machines11070767.
- [20] H. A. Wicaksono, M. D. P. Lamura, M. I. Maula, J. J., and T. I. Winarni, "Analisis Grid Independence pada Simulasi Finite Element Method Geometri Lumbar 4: Keseimbangan antara Akurasi dan Efisiensi Komputasi," *ROTASI*, vol. 27, no. 1, pp. 52–56, Jan. 2025, doi: 10.14710/rotasi.27.1.52-56.

- [21] A. K. Ary, A. R. Prabowo, and F. Imaduddin, "Structural Assessment of an Energy-Efficient Urban Vehicle Chassis using Finite Element Analysis – A Case Study," *Procedia Structural Integrity*, vol. 27, pp. 69–76, 2020, doi: 10.1016/j.prostr.2020.07.010.