

Strength and Deformation Analysis of the Tubular Space Frame of the Megathrust Electric Car with Variations in Dimensions and Materials Using the Finite Element Analysis (FEA) Method

Adityo^{1*}, Wanda Afnison¹, Waskito¹, Delima Yanti Sari¹

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Padang, INDONESIA

*Corresponding author: adityoa067@gmail.com

Received August 30th 2025; Revised October 22th 2025; Accepted October 24th 2025

Abstract

The development of electric vehicles in Indonesia has grown rapidly, supported by the Indonesian Electric Car Competition (KMLI) which encourages innovation in designing lightweight yet strong vehicle frames. The tubular space frame of the “Megathrust Electric” car previously used ASTM A36 steel with a total weight of 32 kg, which was considered inefficient as it increased power consumption and reduced overall performance. This study aims to analyze the effect of pipe dimension variations and alternative materials, namely Aluminium alloy 6061 and 6063, on the strength and deformation of the frame. The method employed is Finite Element Analysis (FEA) using SolidWorks software under static loading conditions that represent real operating scenarios. The pipe variations examined include 19.05 mm diameter with 2.5 mm thickness and 25.4 mm diameter with 2 mm thickness. The simulation results show that the 25.4 × 2 mm Aluminium alloy 6061 configuration provides the best structural performance with a maximum stress of 55.07 MPa, deformation of 1.583 mm, and a safety factor (FOS) of 5.012. In contrast, the 19.05 × 2.5 mm Aluminium alloy 6063 configuration is lighter but exhibits higher stress (184.4 MPa) and a lower safety factor (1.161). Therefore, the Aluminium Alloy 6061 pipe with 25.4 mm diameter is recommended as the optimal frame design, offering a balance between strength, stiffness, and weight efficiency to support the performance of electric vehicles in competition.

Keywords: *Electric Vehicle; Tubular Space Frame; Aluminium Alloy; Finite Element Analysis; Safety Factor*

Analisis Kekuatan dan Deformasi Rangka *Tubular Space Frame* Mobil Listrik Megathrust Electric dengan Variasi Dimensi Serta Material Menggunakan Metode Finite Element Analysis (FEA)

Abstrak

Perkembangan kendaraan listrik di Indonesia semakin pesat, salah satunya melalui ajang Kompetisi Mobil Listrik Indonesia (KMLI) yang mendorong inovasi desain rangka kendaraan yang ringan namun tetap kuat. Rangka *tubular space frame* pada mobil listrik "Megathrust Electric" sebelumnya menggunakan material ASTM A36 dengan bobot mencapai 32 kg, yang dinilai kurang efisien karena menambah konsumsi daya dan menurunkan performa kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi dimensi pipa serta material alternatif Aluminium alloy 6061 dan 6063 terhadap kekuatan dan deformasi rangka. Metode yang digunakan adalah *Finite Element Analysis* (FEA) melalui perangkat lunak *SolidWorks* dengan pembebanan statis yang merepresentasikan kondisi kerja nyata. Variasi dimensi yang diteliti meliputi pipa berdiameter 19,05 mm dengan ketebalan 2,5 mm, serta pipa berdiameter 25,4 mm dengan ketebalan 2 mm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi pipa $25,4 \times 2$ mm berbahan Aluminium alloy 6061 menghasilkan performa struktural terbaik dengan tegangan maksimum sebesar 55,07 MPa, deformasi 1,583 mm, dan faktor keamanan (FOS) 5,012. Sementara itu, konfigurasi $19,05 \times 2,5$ mm berbahan Aluminium alloy 6063 lebih ringan, tetapi memiliki tegangan maksimum lebih tinggi (184,4 MPa) dan faktor keamanan rendah (1,161). Dengan demikian, rangka berbahan Aluminium Alloy 6061 berdiameter 25,4 mm direkomendasikan sebagai desain optimal karena mampu memberikan keseimbangan antara kekuatan, kekakuan, dan efisiensi bobot untuk mendukung performa mobil listrik dalam kompetisi.

Kata kunci: Mobil Listrik; *Tubular Space Frame*; Aluminium Alloy; *Finite Element Analysis*; Faktor Keamanan

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi kendaraan listrik semakin pesat, didorong oleh meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya penggunaan energi ramah lingkungan. Mobil listrik kini bukan lagi sekadar konsep masa depan, melainkan sudah menjadi bagian dari solusi transportasi modern untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meminimalisir emisi gas buang. Salah satu bentuk dukungan terhadap inovasi ini di Indonesia terlihat dari ajang Kompetisi Mobil Listrik Indonesia (KMLI), di mana berbagai tim dari perguruan tinggi berlomba menciptakan kendaraan listrik terbaik, termasuk tim dengan mobil listrik "MEGATHRUST ELECTRIC".

Salah satu aspek penting dalam desain mobil listrik adalah struktur rangka atau *chassis*. *Chassis* berperan sebagai kerangka utama yang menopang semua komponen kendaraan dan memastikan kestabilan serta keamanan saat mobil melaju. "MEGATHRUST ELECTRIC" menggunakan jenis *tubular space frame*, yakni rangka yang tersusun dari pipa-pipa logam yang disusun secara geometris untuk membentuk struktur yang kuat namun tetap ringan. Jenis rangka ini banyak digunakan karena mampu mendistribusikan beban secara merata, menjaga kestabilan kendaraan, serta meningkatkan efisiensi energi. Pemilihan pipa *hollow* berbentuk bulat diprioritaskan karena memiliki distribusi tegangan yang lebih merata pada seluruh penampang saat menerima beban tekan, tarik, dan puntir, sehingga lebih tahan terhadap deformasi dan tekuk lokal (*local buckling*) dibandingkan profil kotak atau persegi (Hibbeler, 2018; Ricchard G. Budynas, 2020). Selain itu, pipa bulat memiliki momen inersia yang tinggi terhadap beratnya, memberikan kekakuan optimal dengan bobot yang lebih ringan (Nain & Sharma, 2015). Dari sisi manufaktur, pipa bulat juga lebih mudah dibengkokkan tanpa menimbulkan kerusakan lokal dan lebih mudah dilakukan sambungan multi sudut menggunakan teknik

seperti *fish mouth cut*, serta mengurangi distorsi akibat pengelasan karena distribusi panas yang lebih merata (Dixit et al., 2016; R.S. Khurmi, 2005). Namun, dalam implementasi sebelumnya, rangka mobil Megathrust menggunakan material ASTM A36, sebuah baja karbon struktural yang cukup kuat tetapi memiliki massa jenis tinggi, sehingga menghasilkan bobot *chassis* mencapai 32 kg. Berat berlebih ini menjadi tantangan signifikan karena berdampak pada peningkatan konsumsi daya, penurunan akselerasi, dan berkurangnya efisiensi jelajah kendaraan. Selain itu, beban berlebih juga mempengaruhi pusat gravitasi dan manuverabilitas kendaraan, terutama dalam kontes seperti KMLI yang menekankan efisiensi dan performa dinamis. Kondisi ini menunjukkan perlunya pengembangan ulang desain rangka dengan mempertimbangkan material alternatif yang lebih ringan namun tetap kuat, serta dimensi pipa yang optimal. Gambar berikut menunjukkan desain rangka generasi sebelumnya yang menjadi dasar evaluasi dalam penelitian ini.



Gambar 1. Rangka Mobil Megathrust Electric Terdahulu

Aluminium alloy 6061 dan 6063 dipilih sebagai kandidat material alternatif karena memiliki massa jenis sekitar 2.700 kg/m^3 , sekitar 65% lebih ringan dari ASTM A36 yang massa jenisnya 7.850 kg/m^3 , sehingga mampu mengurangi bobot rangka secara signifikan. Aluminium alloy juga memiliki ketahanan korosi yang tinggi, kemudahan proses manufaktur, serta rasio kekuatan terhadap berat yang baik. Aluminium 6061 memiliki kekuatan tarik dan kekakuan yang lebih tinggi, sedangkan 6063 memiliki sifat lebih mudah dibentuk dan hasil akhir permukaan yang baik (Hasanudin et al., 2019; Mardji et al., 2018). Penelitian-penelitian sebelumnya membuktikan bahwa penggunaan aluminium alloy pada rangka kendaraan listrik mampu meningkatkan efisiensi energi tanpa mengorbankan kekuatan struktural.

Tubular space frame memiliki banyak keunggulan dalam segi kekuatan dan kekakuan, namun sangat dipengaruhi oleh dua faktor utama: ketebalan dan ukuran pipa yang digunakan. Pemilihan material dan ketebalan pipa yang tepat menjadi sangat penting untuk mencapai struktur yang seimbang antara kekuatan dan bobot. (Shiddieqy, 2015) pernah menganalisis kekuatan rangka mobil listrik Braja Wahana dengan variasi ketebalan profil *hollow* dan menemukan bahwa ketebalan rangka memiliki pengaruh langsung terhadap distribusi tegangan dan deformasi. Temuan ini memperkuat urgensi untuk mengkaji bagaimana ketebalan dan jenis material memengaruhi performa struktural pada *tubular frame* mobil listrik.

Metode *Finite Element Analysis* (FEA) menjadi pendekatan yang banyak digunakan untuk menguji kekuatan rangka. FEA memungkinkan desainer untuk memprediksi bagaimana rangka akan merespon berbagai beban dan tekanan tanpa harus membuat prototipe fisik. Penelitian oleh (Tsirogiannis et al., 2019) menekankan bahwa FEA mampu mengidentifikasi titik-titik lemah pada *chassis* serta membantu menentukan desain terbaik berdasarkan hasil simulasi tegangan dan deformasi. (Ismail et al., 2019) juga membuktikan efektivitas metode ini dalam menganalisis *displacement* dan tegangan *Von Mises* pada rangka mobil listrik Gentayu. Simulasi statik yang dilakukan oleh (Hendrawan et al., 2018) terhadap

rangka mobil Ababil menggunakan *SolidWorks* pun menunjukkan bahwa FEA efektif untuk menguji struktur sebelum produksi fisik dilakukan. Hal serupa juga dilakukan oleh (Hasanudin et al., 2019) dalam menganalisis rangka Malem Diwa X.2, yang menunjukkan kemampuan FEA dalam mengidentifikasi titik lemah struktur.

Berdasarkan hal tersebut, penting bagi tim "MEGATHRUST ELECTRIC" untuk tidak hanya berfokus pada desain rangka yang kuat, tetapi juga efisien secara massa. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan dan deformasi rangka *tubular space frame* mobil listrik "MEGATHRUST ELECTRIC" melalui variasi ketebalan dan ukuran pipa, dengan material alternatif Aluminium alloy 6061 dan 6063 yang memiliki massa jenis lebih ringan dari ASTM A36. Simulasi dilakukan menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) di perangkat lunak *SolidWorks*. Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh desain rangka yang tidak hanya kokoh menghadapi beban, tetapi juga memiliki efisiensi bobot tinggi guna mendukung performa kendaraan dalam ajang kompetisi.

II. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang dilakukan adalah kuantitatif karena berfokus pada analisis numerik untuk mengevaluasi kekuatan dan deformasi rangka *tubular space frame* mobil listrik "Megathrust Electric". Pendekatan ini dilakukan dengan melakukan simulasi berbasis *Finite Element Analysis* (FEA) menggunakan perangkat lunak *SolidWorks Simulation*. Data yang diperoleh berupa angka, seperti nilai tegangan maksimum (*Von Mises stress*), deformasi maksimum, serta faktor keamanan (*Factor of Safety*).

Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi ketebalan pipa (2,0 mm dan 2,5 mm) serta diameter pipa (19,05 mm dan 25,4 mm) dari material Aluminium alloy 6061 dan Aluminium alloy 6063. Variabel terikat meliputi tegangan maksimum (*Von Mises Stress*), deformasi total (*Displacement*), dan *factor of safety* (FOS) yang diperoleh dari hasil simulasi FEA. Variabel kontrol mencakup kondisi pembebanan, jenis material, batasan tumpuan (*boundary conditions*), dan *meshing* yang digunakan.

Bahan yang dianalisis berupa model rangka *tubular space frame* dari material Aluminium alloy 6061 dan Aluminium alloy 6063. Properti material yang digunakan meliputi modulus elastisitas, *Poisson's ratio*, *yield strength*, *ultimate tensile strength*, dan massa jenis.

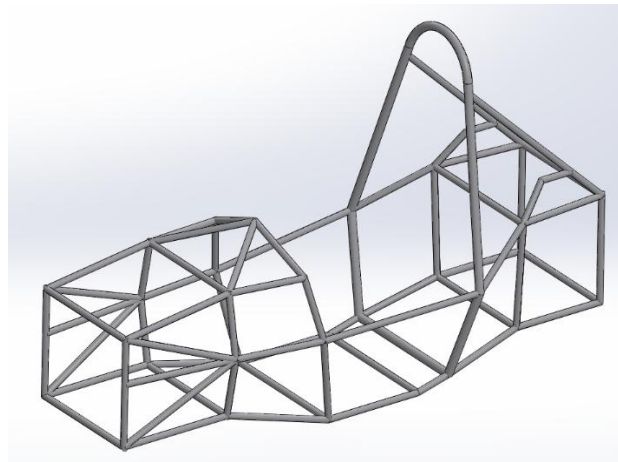
Tabel 1. Material Properti Aluminium Alloy 6061 (AZoM.com Ltd, 2013)

Property	Value	Units
Elastis Modulus	69000	N/mm ²
Poisson's Ratio	0,33	N/A
Yield Strength	276	N/mm ²
Ultimate tensile strength	310	N/mm ²
Mass Density	2700	Kg/m ³

Tabel 2. Material Properti Aluminium Alloy 6063 (AZoM, 2005)

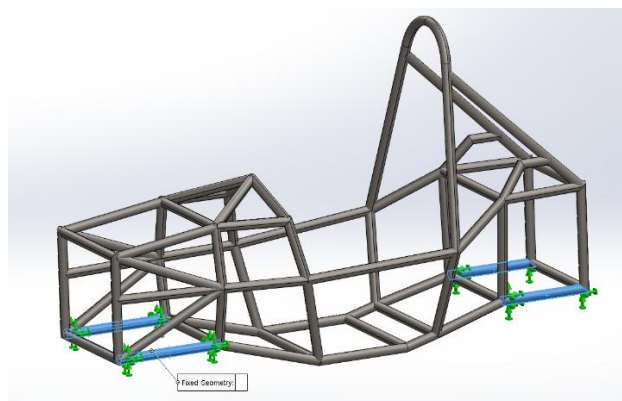
Property	Value	Units
Elastis Modulus	69000	N/mm ²
Poisson's Ratio	0,33	N/A
Yield Strength	214	N/mm ²
Ultimate tensile strength	241	N/mm ²
Mass Density	2700	Kg/m ³

Penelitian dimulai dengan pembuatan model rangka *tubular space frame* di *SolidWorks* sesuai dengan desain awal. Setelah itu, material aluminium alloy 6061 dan 6063 diterapkan pada model dengan variasi ketebalan dan diameter pipa sesuai variabel penelitian.

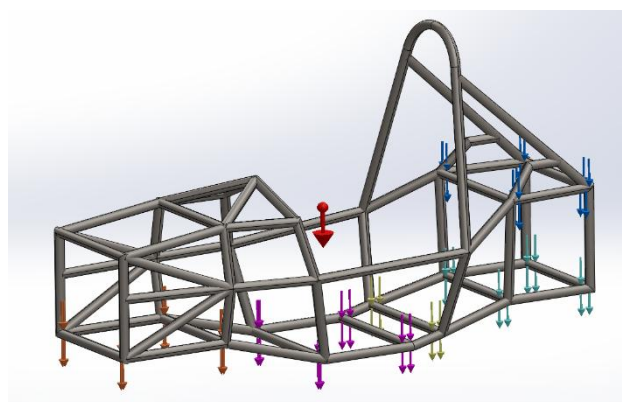


Gambar 2. Model Rangka *Tubular Space Frame*

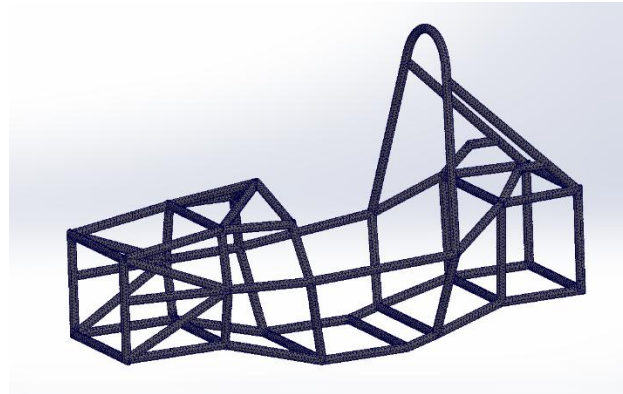
Selanjutnya, dilakukan penentuan *boundary conditions*, meliputi titik tumpuan, pembebanan akibat berat kendaraan dan pengemudi sesuai skenario kerja. Proses *meshing* dilakukan dengan ukuran elemen yang diatur untuk memastikan akurasi hasil simulasi tanpa membebani kinerja komputasi secara berlebihan.



Gambar 3. Titik Tumpuan



Gambar 4. Titik Gaya Pembebanan



Gambar 5. *Meshing*

Pembebanan yang diterapkan pada rangka berasal dari berat total kendaraan beserta pengemudi. Distribusi beban dilakukan pada titik-titik tertentu yang merepresentasikan posisi komponen utama, titik duduk kursi pengemudi, serta area penopang baterai. Pembebanan ini dirancang untuk mencerminkan kondisi nyata saat kendaraan berada dalam keadaan statis, sehingga hasil simulasi dapat menunjukkan sebaran tegangan dan deformasi yang lebih mendekati kondisi operasional. Data pembebanan dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 3. Data Pembebanan pada Rangka

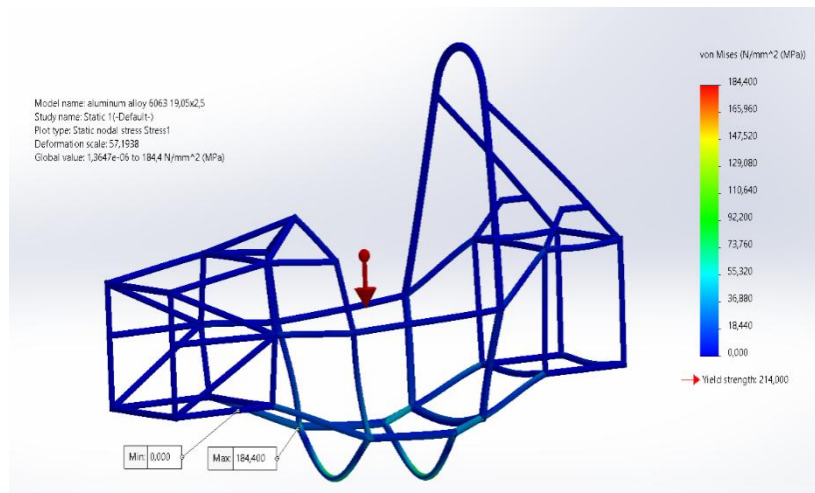
No	Item	Berat (kg)	Gaya (N)
1	<i>Driver</i>	55	539,37
2	Kursi	4,2	41,188
3	Motor BLDC	19	186,33
4	Baterai	10,1	99,047
5	<i>Differential dan Gear</i>	6	58,84
6	Rantai	2	19,61
7	Cakram	1,5344	15,05
8	<i>Pillow Block Bearing</i>	1,9392	19,02
9	<i>Shaft Drive</i>	6,036	59,19
10	<i>Steering Sytem</i>	2	19,61

Setelah seluruh proses persiapan dan pemodelan selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah melakukan simulasi FEA untuk mengevaluasi perilaku struktural rangka *tubular space frame*. Simulasi ini mencakup perhitungan distribusi tegangan (*Von Mises*), deformasi, serta faktor keamanan (FOS) pada setiap konfigurasi rangka yang telah ditentukan. Dengan pendekatan ini, dapat dianalisis bagaimana rangka merespons beban kendaraan, termasuk pengaruh berat kendaraan, pengemudi yang timbul selama operasi.

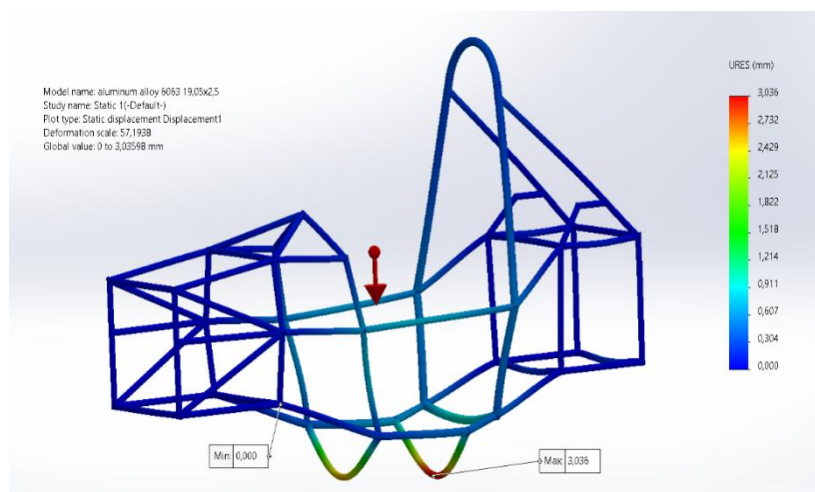
Hasil dari simulasi kemudian dianalisis secara komparatif antar konfigurasi untuk mengidentifikasi titik-titik kritis pada rangka serta menentukan konfigurasi yang memberikan kombinasi terbaik antara kekuatan struktural, kekakuan, dan deformasi minimum. Analisis ini tidak hanya menyoroti performa mekanis rangka, tetapi juga memberikan dasar ilmiah untuk optimalisasi desain, pemilihan material, dan perencanaan geometris pipa, sehingga rangka mobil listrik Megathrust Electric dapat dirancang lebih efisien, aman, dan andal dalam kondisi operasional nyata.

III. HASIL PENELITIAN

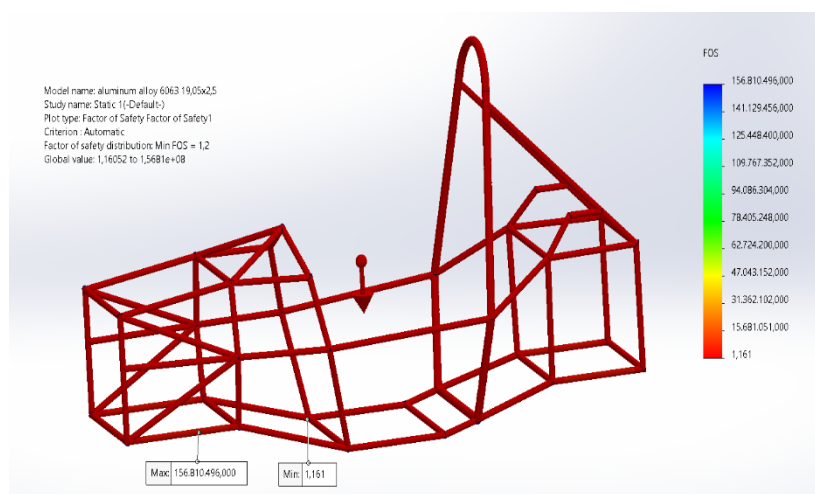
Berikut hasil analisis dari simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) yang telah dilakukan pada rangka *tubular space frame* mobil listrik Megathrust Electric:



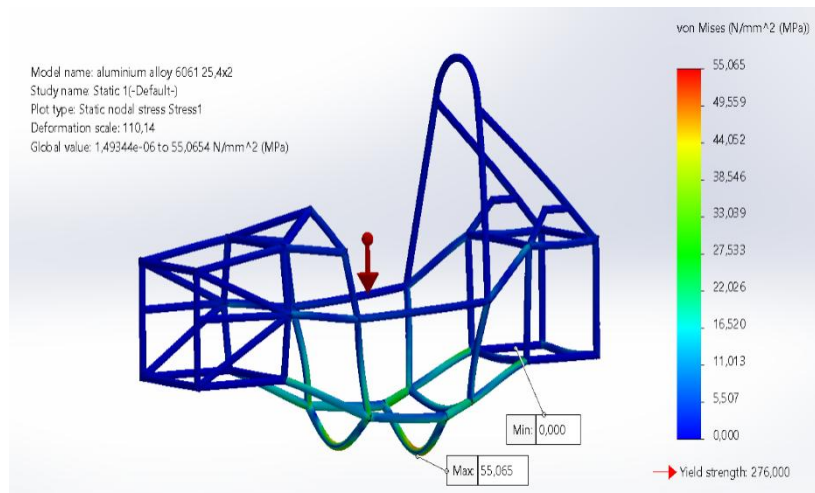
Gambar 6. Tegangan Rangka 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6063



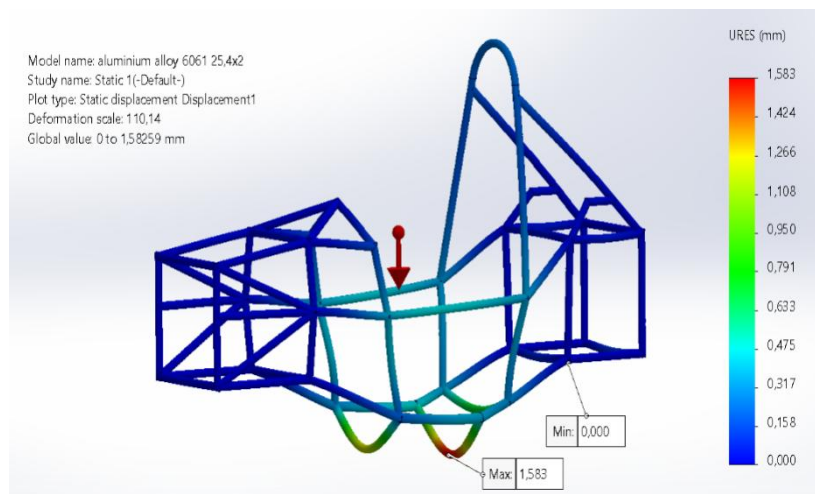
Gambar 7. Deformasi Rangka 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6063



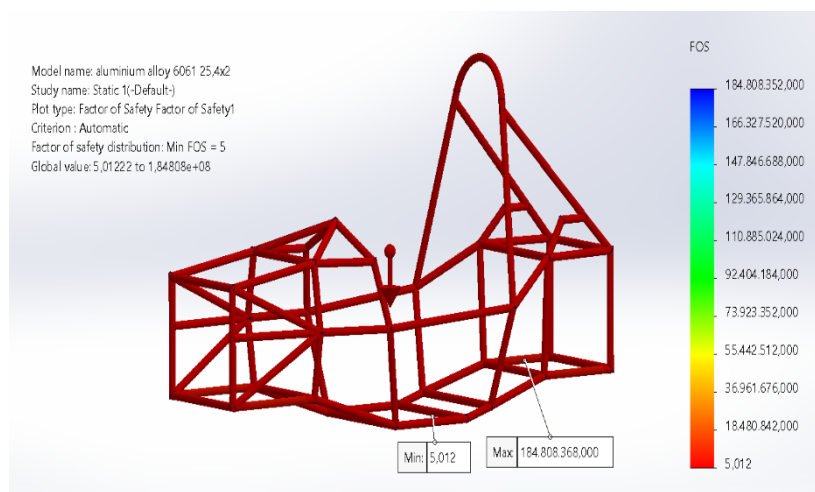
Gambar 8. FOS Rangka 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6063



Gambar 9. Tegangan Rangka 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061

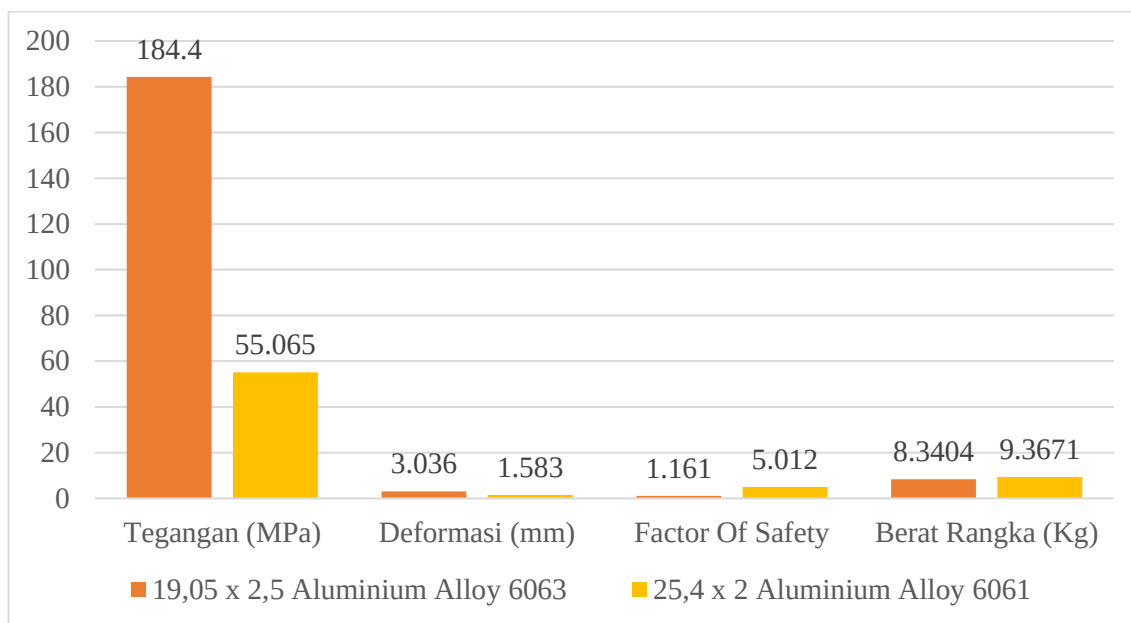


Gambar 10. Deformasi Rangka 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061



Gambar 11. FOS Rangka 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061

Untuk mempermudah pemahaman dan analisis, data ini kemudian disajikan dalam bentuk grafik perbandingan, yang memungkinkan identifikasi secara visual perbedaan performa antar konfigurasi. Berikut grafik perbandingannya:



Gambar 12. Grafik Perbandingan Analisis Rangka

IV. PEMBAHASAN

Analisis *Finite Element Analysis* (FEA) telah diterapkan secara mendalam untuk menilai kinerja struktural dari rangka *tubular space frame* pada mobil listrik Megathrust Electric. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi komprehensif terhadap aspek kekuatan, deformasi, dan faktor keamanan (*Factor of Safety*, FOS) dari rangka dalam kondisi beban nyata. Dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan antara dua variasi desain yang berbeda, yaitu rangka dengan dimensi pipa 19,05 x 2,5 mm menggunakan Aluminium alloy 6063 dan rangka dengan dimensi 25,4 x 2 mm menggunakan Aluminium alloy 6061. Pemilihan kedua material dan dimensi ini didasarkan pada karakteristik mekanik masing-masing alloy serta pertimbangan efisiensi bobot, yang merupakan faktor kritis pada kendaraan listrik.

Hasil simulasi menunjukkan perbedaan performa yang cukup signifikan antara kedua konfigurasi tersebut. Untuk rangka 19,05 x 2,5 mm berbahan Aluminium alloy 6063, tegangan maksimum yang terjadi mencapai 184,4 MPa. Nilai tegangan ini tergolong tinggi jika dibandingkan dengan kekuatan tarik nominal dari Aluminium alloy 6063, sehingga material cenderung lebih cepat mendekati batas kemampuannya. Deformasi maksimum yang diukur adalah 3,036 mm, menunjukkan bahwa struktur ini masih relatif lentur dan memiliki kekakuan yang kurang optimal untuk menahan beban kendaraan secara efektif. Faktor keamanan yang diperoleh sebesar 1,161 yang mengindikasikan cadangan kekuatan struktur cukup tipis, sehingga potensi risiko kegagalan struktural lebih tinggi. Dari sisi massa, rangka ini memiliki berat 8,34 kg, sehingga lebih ringan dibandingkan konfigurasi alternatif, tetapi penghematan bobot ini harus dibayar dengan berkurangnya kemampuan menahan beban.

Konfigurasi 25,4 x 2 mm berbahan Aluminium alloy 6061 justru sebaliknya, tegangan maksimum yang timbul jauh lebih rendah yaitu 55,07 MPa, sedangkan deformasi hanya mencapai 1,583 mm, yang menunjukkan peningkatan kekakuan dan stabilitas struktural secara signifikan. Faktor keamanan yang diperoleh sebesar 5,012, menandakan bahwa rangka ini memiliki cadangan kekuatan yang sangat memadai dan mampu menahan beban operasional dengan risiko kegagalan yang minimal. Walaupun dimensi pipa yang lebih besar menyebabkan peningkatan massa rangka menjadi 9,37 kg, penambahan bobot ini sebanding dengan keuntungan yang diperoleh dalam hal kekuatan dan keselamatan struktur. Perbedaan performa antara kedua konfigurasi tersebut dapat dijelaskan melalui prinsip dasar mekanika struktur. Penampang pipa yang lebih besar meningkatkan momen inersia, sehingga struktur menjadi

lebih kaku dan lebih mampu menahan deformasi akibat beban. Selain itu, Aluminium alloy 6061 memiliki sifat mekanik yang lebih unggul dibandingkan 6063, terutama dalam hal kekuatan tarik dan kemampuan menahan tegangan tinggi. Dengan demikian, walaupun rangka 25,4 x 2 mm berbahan 6061 memiliki massa yang sedikit lebih besar, keunggulan dalam kekuatan, kekakuan, dan faktor keamanan memberikan keuntungan signifikan yang tidak bisa diabaikan, terutama untuk kendaraan listrik yang menuntut struktur ringan namun tangguh.

V. KESIMPULAN

Analisis menunjukkan bahwa pemilihan dimensi pipa dan jenis material secara langsung memengaruhi kinerja struktural rangka mobil listrik Megathrust Electric. Rangka dimensi 25,4 x 2 mm berbahan Aluminium alloy 6061 terbukti memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan, kekakuan, dan faktor keamanan, meskipun bobotnya sedikit lebih tinggi. Konfigurasi ini direkomendasikan sebagai rangka utama karena mampu menjamin keselamatan, stabilitas, dan keandalan kendaraan secara optimal.

Disarankan penelitian selanjutnya dapat mengembangkan desain rangka dengan variasi geometri dan material yang lebih beragam untuk meningkatkan kekakuan dan efisiensi bobot. Selain itu, analisis kelelahan (*Fatigue*) dapat diterapkan untuk menilai kinerja rangka dalam kondisi operasional nyata. Validasi eksperimen melalui uji fisik juga disarankan agar hasil simulasi FEA dapat dikonfirmasi secara nyata dan meningkatkan keandalan desain.

VI. REFERENSI

- Abbas, H., & Juma, D. (2020). Penerapan Metode Elemen Hingga Untuk Desain dan Analisis Pembebanan Rangka Chassis Mobil Tubular Space Frame. *Jurnal Teknologi*, 15, 96–102.
- Adhim, M. F. (2014). *Analisis struktural performa chassis Sapuagin Speed 2013*. Sepuluh Nopember Institute of Technology.
- Arie, M., Setiawan, A., Sujana, I., & Wicaksono, R. A. (2021). Simulasi Struktur Sasis Mobil Listrik Fakultas Teknik Menggunakan Finite Element Analysis (FEA). *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN)*, 2(2), 118–122.
- AZoM.com Ltd. (2013). Aluminium Alloy 6061 - Composition, Properties, Temper and Applications of 6061 Aluminium. Online. <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=3328>
- AZoM. (2005). Aluminium Alloys - Aluminium 6063/6063A Properties, Fabrication and Applications. AZoM. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2812>
- Dixit, V. S., Nukulwar, M. R., Shinde, S. T., & ... (2016). Vibration response and Optimization of Swing arm through Hardening. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 6(7), 8434–8443. https://www.academia.edu/download/64309608/Vibration_Response.pdf
- Hasanudin, I., Tadjuddin, M., Akhyar, H., & Mardhatillah. (2019). Desain dan Analisis Rangka Mobil Listrik Malem Diwa X.2 Model Prototype Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Mesin Unsyiah*, 7(1), 10–14.
- Hendrawan, M. A., Purboputro, P. I., Saputro, M. A., & Setiyadi, W. (2018). Perancangan Chassis Mobil Listrik Prototype “ Ababil ” dan Simulasi Pembebanan Statik dengan Menggunakan Solidworks Premium 2016. *The 7th University Research Colloquium 2018*, 96–105. https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:hu8YRZyBvHIJ:scholar.google.com/+proses+perancangan+menggunakan+solidworks&hl=id&as_sdt=0,5

- Hibbeler, R. C. (2018). *Mechanics of Materials Tenth Edition in SI Units (10th ed.)*. Pearson Education, Inc.
- Htay Htay Win, D. R., Hsu, N., & Ko, T. (2019). Structural Analysis of Chassis Frame for Solar Car. *3(2)*, 534–542.
- Ismail, R., Munadi, M., Ahmad, Z. K., & Bayuseno, A. P. (2019). Analisis Displacement dan Tegangan von Mises Terhadap Chassis Mobil Listrik Gentayu. *Rotasi*, *20(4)*, 231. <https://doi.org/10.14710/rotasi.20.4.231-236>
- Mardji, Andoko, & Prasetyo, D. (2018). Strenght analysis chassis of UM electric cars using finite element method. *MATEC Web of Conferences*, *204*, 1–6. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820407017>
- Nain, R., & Sharma, R. (2015). Design and Analysis of Space Frame Tubular Chassis to be used in Formula SAE. *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*, *2(6)*, 22–25.
- R.S. Khurmi, J. K. gupta. (2005). Machine design. In *Handbook of Machinery Dynamics*. Eurasia Publishing House (PVT.) LTD. <https://doi.org/10.1038/042171a0>
- Ricchard G. Budynas, J. K. N. (2020). *Shigley 's Mechanical Engineering Design 11th Edition (11th ed.)*. McGraw-Hill Education.
- Sahu, Y., Ramachandran, N., & Manvatkar, S. (2018). Design and Analysis of Tubular Space Frame Chassis for Student Formula Race Car. *Inrenational Journal of Innovation in Engineering Research and Technology*, 2018, 124–128.
- Shiddieqy, R. H. A. (2015). Analisa Kekuatan Chassis Mobil Listrik “Braja Wahana” Profil Hollow Dengan Variasi Ketebalan. In Undergraduate thesis.
- Shobhit Agarwal, Prashant Awasthi, Tarun Saatyaki, & Mukul Kushwaha, Vishal Jaiswal. (2020). Design Analysis of Spaceframe Chassis for FSAE Vehicle. *International Journal of Engineering Research And*, *V9(03)*, 2–5. <https://doi.org/10.17577/ijertv9is030522>
- Toteles, A., & Alhaffis, F. (2021). ANALISIS MATERIAL KONTRUKSI CHASIS MOBIL LISTRIK LAKSAMANA V2 MENGGUNAKAN SOFTWARE AUTODESK INVENTOR Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan , Jurusan Teknik Mesin , Politeknik Negeri Bengkalis Email : arishtoteles99@gmail.com *30. Machine; Jurnal Teknik Mesin*, *7(1)*, 30–37.
- Tsirogiannis, E. C., Stavroulakis, G. E., & Makridis, S. S. (2019). Electric car chassis for Shell Eco Marathon competition: Design, modelling and finite element analysis. *World Electric Vehicle Journal*, *10(1)*, 1–13. <https://doi.org/10.3390/wevj10010008>
- Wang, S., & Wang, D. (2021). Crashworthiness-based multi-objective integrated optimization of electric vehicle chassis frame. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, *21(3)*, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s43452-021-00242-2>