

Design and Structural Evaluation of an Electric Motorcycle Frame Using FEA

Muhammad Dhamar Mustaqim^{1*}, Deri Teguh Santoso², Ujiburrahman³

^{1,2,3}Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang

*Penulis Korespondensi, email: muhammaddhamarmustaqim@gmail.com

Received: 03/06/2025

Revised: 11/06/2025

Accepted: 13/06/2025

Abstract. This study aims to assess the structural strength and stability of an electric motorcycle frame, specifically of the scooter adventure type, using Finite Element Analysis (FEA). The simulation was conducted using two types of materials: Aluminum Alloy 6061-T6 and Steel Chromoly SAE 4130, incorporating realistic load conditions derived from the actual mass distribution of key vehicle components, including the rider, passenger, and battery. The evaluation focused on three critical parameters: Von Mises stress, total Displacement, and safety factor, which serve as indicators of structural integrity. The results revealed that while both materials can withstand the applied loads, Steel Chromoly SAE 4130 outperformed aluminum by exhibiting lower Displacement and a higher safety factor. Based on these findings, Steel Chromoly is recommended as the primary frame material due to its superior combination of strength, rigidity, and reliability.

Keywords: Electric motorcycle, Motorcycle frame, Finite element analysis, Von Mises stress, Total displacement, Safety factor, Aluminum 6061-T6, Steel Chromoly SAE 4130.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan dan kestabilan struktur rangka motor listrik tipe *scooter adventure* melalui pendekatan simulasi berbasis Metode Elemen Hingga (FEA). Simulasi dilakukan pada dua jenis material, yaitu *Aluminum Alloy 6061-T6* dan *Steel Chromoly SAE 4130*, dengan mempertimbangkan distribusi massa aktual dari komponen kendaraan serta pembebanan realistis berdasarkan posisi pengendara, penumpang, dan baterai. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan *Von Mises*, deformasi total, dan faktor keamanan sebagai indikator ketahanan struktur. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kedua material mampu menahan beban yang diberikan, namun *Steel Chromoly SAE 4130* menunjukkan performa struktural yang lebih baik, dengan deformasi yang lebih kecil dan faktor keamanan yang lebih tinggi. Berdasarkan temuan ini, *Steel Chromoly* direkomendasikan sebagai material utama untuk rangka motor listrik karena menawarkan kombinasi optimal antara kekuatan, kekakuan, dan keselamatan.

Kata Kunci: Motor listrik, Rangka sepeda motor, Analisis elemen hingga, Tegangan *von mises*, Deformasi total, Faktor keamanan, *Aluminum 6061-T6*, *Steel Chromoly SAE 4130*.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan kendaraan listrik menunjukkan akselerasi yang signifikan sebagai respons terhadap kebutuhan mobilitas ramah lingkungan dan efisiensi energi. Sepeda motor listrik menjadi solusi strategis untuk menurunkan emisi karbon di sektor transportasi roda dua. Salah satu segmen yang kini mulai berkembang adalah motor listrik tipe *scooter adventure*, yang memadukan kenyamanan berkendara khas skuter dengan kemampuan melintasi berbagai jenis medan seperti pada motor petualang. Bagian terpenting pada *scooter* listrik adalah kekuatan rangkanya, karena rangka berperan sebagai struktur utama yang menopang seluruh komponen penting seperti baterai, motor penggerak,

dan sistem suspensi. Oleh karena itu, perancangan rangka yang kuat dan kokoh menjadi elemen vital dalam menjamin performa dan keamanan kendaraan [1].

Dalam proses perancangan kendaraan listrik, khususnya tipe *scooter adventure*, struktur rangka memiliki peranan sangat penting. Rangka berfungsi sebagai penopang mesin, menyatukan atau merangkai mesin, serta menahan beban [2]. Dengan demikian, rangka menjadi komponen kunci yang menopang motor listrik, baterai, sistem suspensi, serta pengendara. Struktur rangka harus memiliki karakteristik mekanis seperti kekuatan tinggi, ketahanan terhadap pembebanan dinamis maupun statis, serta bobot yang efisien guna menunjang

performa kendaraan secara keseluruhan dan meningkatkan efisiensi konsumsi energi.

Pentingnya penelitian ini terletak pada kebutuhan untuk mendesain rangka kendaraan listrik yang tidak hanya ringan dan efisien, tetapi juga aman dan andal di berbagai kondisi medan. Saat ini, belum banyak penelitian yang secara khusus menganalisis struktur rangka sepeda motor listrik tipe *scooter adventure* menggunakan pendekatan simulasi numerik seperti *Finite Element Analysis (FEA)*. Oleh karena itu, diperlukan studi yang dapat memberikan gambaran kekuatan dan keamanan struktur rangka secara menyeluruh sebelum tahap manufaktur dilakukan.

Pemilihan material rangka menjadi aspek kritis untuk memenuhi tuntutan tersebut. *Chromoly Steel SAE 4130* merupakan baja yang memiliki sifat ulet atau daktil serta mampu bertahan pada temperatur tinggi [3]. Material ini umum digunakan dalam rangka motor, kendaraan balap, dan pesawat ringan. Sebagai alternatif, *Aluminium Alloy 6061* juga populer digunakan karena bobotnya yang ringan, ketahanan korosi yang baik, dan kemudahan dalam fabrikasi. Meskipun memiliki modulus elastisitas lebih rendah dibanding baja, *Aluminium 6061* menawarkan sifat mekanik unggul seperti bobot ringan, kemampuan las yang baik, ketahanan korosi, serta harga yang relatif murah [4].

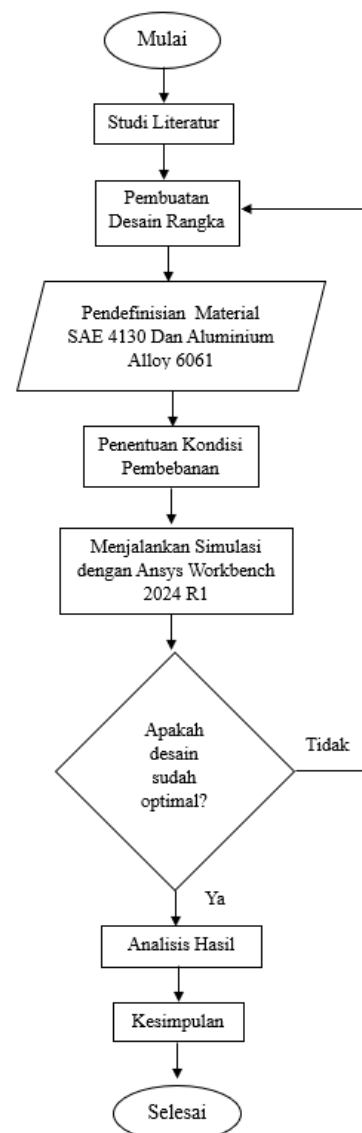
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan struktur rangka sepeda motor listrik tipe *scooter adventure* terhadap pembebanan statis menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)*. Model tiga dimensi rangka dirancang menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design (CAD)* yaitu *Solidworks*, kemudian dianalisis dengan perangkat lunak *Ansys 2024 R1* dengan kondisi pembebanan yang merepresentasikan situasi operasional sebenarnya.

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan data teknis dan rekomendasi desain rangka yang optimal, baik dari sisi kekuatan, efisiensi bahan, maupun keselamatan struktural. Selain itu, hasil analisis ini juga dapat dijadikan referensi bagi pengembangan produk sepeda motor listrik yang

lebih aman, ringan, dan sesuai dengan tuntutan medan petualangan.

Sebelum tahap manufaktur dimulai, validasi desain secara numerik sangat penting untuk memastikan struktur rangka dapat menahan beban kerja secara efektif. Kekuatan material dapat diperoleh melalui simulasi menggunakan metode *Finite Element Analysis* [5]. Metode ini sangat efektif untuk memodelkan respons struktur terhadap beban, sehingga memungkinkan analisis distribusi tegangan, deformasi, serta faktor keamanan tanpa perlu membuat purwarupa fisik.

II. METODOLOGI



Gambar 1. Diagram alir penelitian analisis statik pada rangka sepeda motor listrik

Langkah awal dalam penelitian ini dimulai dengan kajian pustaka, yang bertujuan untuk memahami secara menyeluruh konsep dasar analisis statis pada struktur rangka kendaraan listrik, terutama jenis *scooter adventure*. Kajian ini mencakup pembahasan mengenai tegangan *von Mises*, deformasi elastik, serta faktor keamanan, yang menjadi indikator utama dalam menilai kelayakan struktur dalam menahan beban kerja sesuai kondisi operasional.

Setelah tahap studi pustaka, dilanjutkan dengan proses perancangan model tiga dimensi rangka menggunakan perangkat lunak CAD (*Computer-Aided Design*) yaitu *Solidworks*. Dalam simulasi ini digunakan dua jenis material, yaitu *Chromoly Steel SAE 4130* dan *Aluminium Alloy 6061*, yang masing-masing memiliki karakteristik mekanik berbeda. *Chromoly* dikenal memiliki kekuatan tinggi dan ketahanan terhadap suhu ekstrem, sedangkan *Aluminium 6061* unggul karena ringan, tahan korosi, dan mudah dibentuk. Informasi lengkap terkait sifat mekanik masing-masing material disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Material properties *Chromoly steel SAE 4130* [6]

Properti	<i>Chromoly Steel SAE 4130</i>	Satuan
<i>Density</i>	7,85	kg/m ³
<i>Young's Modulus</i>	205×10^9	Pa (N/m ²)
<i>Poisson's Ratio</i>	00.29	—
<i>Shear Modulus</i>	80×10^9	Pa (N/m ²)
<i>Yield Strength</i>	435×10^6	Pa (N/m ²)
<i>Tensile Strength</i>	670×10^6	Pa (N/m ²)

Tabel 2. Material properties *aluminum alloy 6061* [7]

Properti	<i>Aluminium Alloy 6061-T6</i>	Satuan
<i>Density</i>	2,7	kg/m ³
<i>Young's Modulus</i>	68.9×10^9	Pa (N/m ²)
<i>Poisson's Ratio</i>	00.33	—

<i>Shear Modulus</i>	26×10^9	Pa (N/m ²)
<i>Yield Strength</i>	276×10^6	Pa (N/m ²)
<i>Tensile Strength</i>	310×10^6	Pa (N/m ²)

Hasil dari proses simulasi menghasilkan data numerik penting yang meliputi deformasi total, tegangan maksimum berdasarkan kriteria *von Mises*, dan nilai faktor keamanan pada struktur rangka [8]. Perhitungan dasar yang digunakan dalam analisis ini meliputi;

A. Tegangan

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Di mana:

σ = Tegangan (Pa),

F = Gaya (N),

A = Luas penampang (m²)

B. Regangan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

Di mana:

ε = Regangan (tanpa satuan),

ΔL = Perubahan panjang (m),

L_0 = Panjang awal (m)

C. Safety of Factor

$$SF = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{maks}} \quad (3)$$

Di mana:

SF = Faktor keamanan

σ_{yield} = Tegangan luluh material (Pa),

σ_{maks} = Tegangan maksimum (Pa)

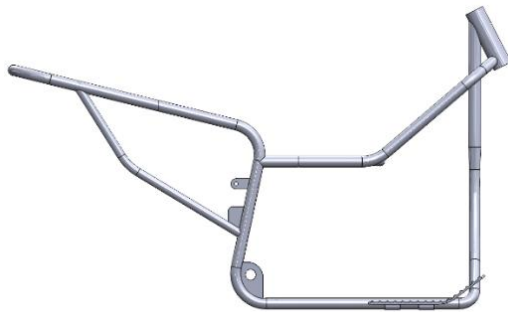
Dua material yang digunakan pada model adalah *Chromoly Steel SAE 4130* dan *Aluminium Alloy 6061*, yang masing-masing memiliki karakteristik mekanik berbeda. Simulasi dilakukan menggunakan pembebanan yang menggambarkan kondisi nyata kendaraan, seperti berat pengendara, baterai, motor listrik, dan sistem suspensi. Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk memberikan rekomendasi desain rangka yang optimal yakni kuat, ringan, dan memiliki tingkat keamanan yang tinggi guna mendukung performa sepeda motor

listrik tipe *scooter adventure* di berbagai kondisi jalan.

Model 3D struktur rangka *scooter adventure* ditampilkan pada gambar di bawah ini, dan berfungsi sebagai representasi visual dari desain yang dianalisis menggunakan perangkat lunak CAD. Model ini menjadi dasar dalam proses simulasi FEA yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan dan stabilitas struktural terhadap beban statis.



Gambar 2. 3D view frame

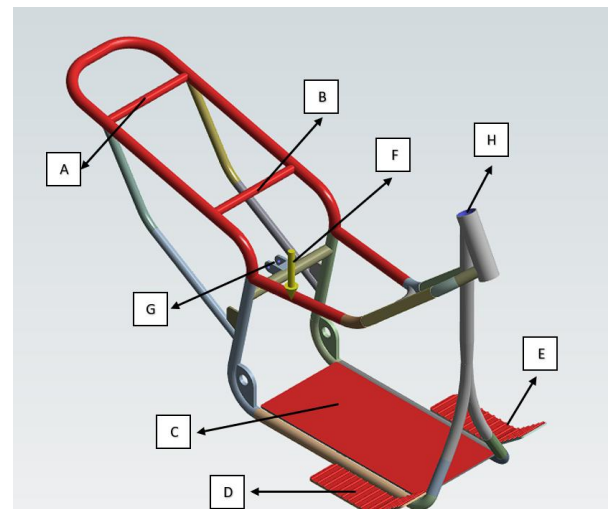


Gambar 3. Front view frame

Setelah mendapatkan model 3D, langkah yang harus dilakukan adalah dengan membuat kondisi batas [9]. penentuan kondisi batas (*boundary condition*) dilakukan untuk merepresentasikan situasi nyata dari struktur yang dianalisis. Seperti terlihat pada gambar, titik sambungan antara rangka dan bagian bawah struktur diberikan batasan berupa *fixed support*, yang berarti area tersebut dianggap tidak mengalami pergeseran maupun rotasi dalam arah apa pun selama pembebanan. Dua titik tumpu utama ditandai dengan warna biru (G dan H), yang menunjukkan bahwa posisi tersebut berfungsi sebagai penyangga tetap guna menahan gaya

eksternal dan mempertahankan kestabilan struktur selama simulasi berlangsung.

Sementara itu, pembebanan didistribusikan pada beberapa area rangka (ditandai dengan warna merah A–E), yang merepresentasikan beban akibat komponen seperti pengendara, baterai, dan motor listrik. Arah gaya gravitasi standar juga ditetapkan untuk menyimulasikan kondisi medan sebenarnya. Pendekatan ini memastikan bahwa hasil simulasi mampu menggambarkan perilaku struktur rangka secara akurat saat berada dalam kondisi kerja sesungguhnya.



Gambar 4. Load boundary conditions

Pada simulasi struktur rangka motor listrik tipe *scooter adventure* ini, digunakan beberapa kondisi pembebanan berdasarkan distribusi massa aktual dari komponen utama kendaraan. Beban pengendara ditempatkan pada titik A sebesar 80 kg, diikuti oleh beban penumpang pada titik B dengan massa yang sama, yakni 80 kg. Selanjutnya, titik C dikenai beban baterai seberat 70 kg, sedangkan titik D dan E masing-masing menanggung beban pijakan pengendara sebesar 40 kg. Semua nilai massa tersebut dikalikan dengan percepatan gravitasi standar sebesar $9806,6 \text{ mm/s}^2$ untuk menghasilkan gaya vertikal ke bawah yang bekerja pada rangka.

Untuk mendekati kondisi nyata dalam simulasi menggunakan metode elemen hingga [10], ditentukan dua titik sebagai tumpuan tetap (*fixed support*), yaitu titik G yang menggambarkan kedudukan *shock absorber* dan titik H yang

merepresentasikan sistem kemudi. Kedua titik ini diasumsikan tidak mengalami perpindahan maupun rotasi selama proses simulasi berlangsung.

Proses *meshing* sangat krusial dalam FEA karena mempengaruhi akurasi tegangan dan deformasi, terutama di area dengan *stress concentration* [11]. terutama pada area dengan geometri kompleks atau yang menjadi titik konsentrasi tegangan pada struktur *frame* motor

listrik. Distribusi elemen *mesh* yang optimal memungkinkan penangkapan perilaku mekanis dengan lebih detail dan mengurangi kesalahan aproksimasi selama analisis. Hasil *meshing* yang ditunjukkan pada Gambar 5 memberikan gambaran distribusi elemen di seluruh model variasi desain *frame*, sehingga memastikan evaluasi struktural yang komprehensif menggunakan metode elemen hingga (FEA).



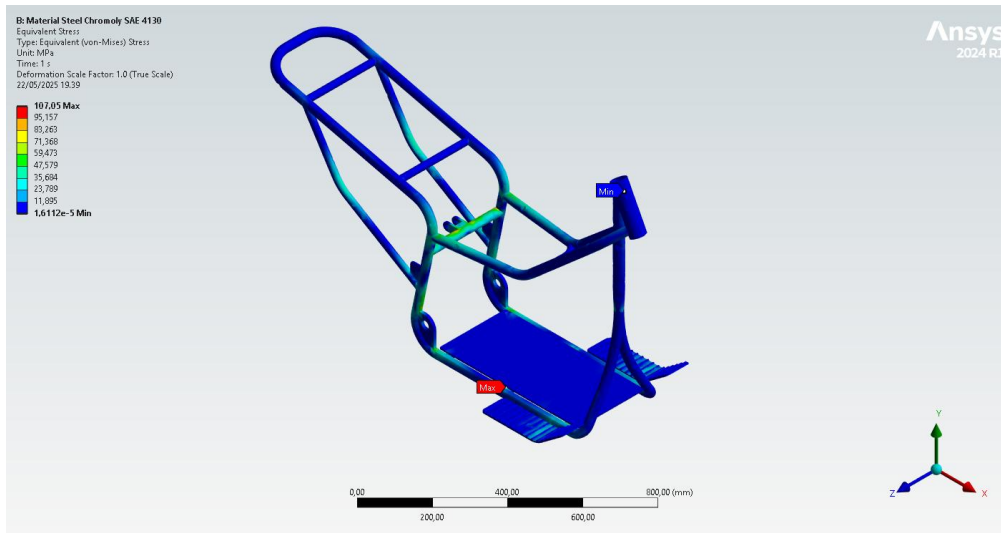
Gambar 5. *Meshing frame*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

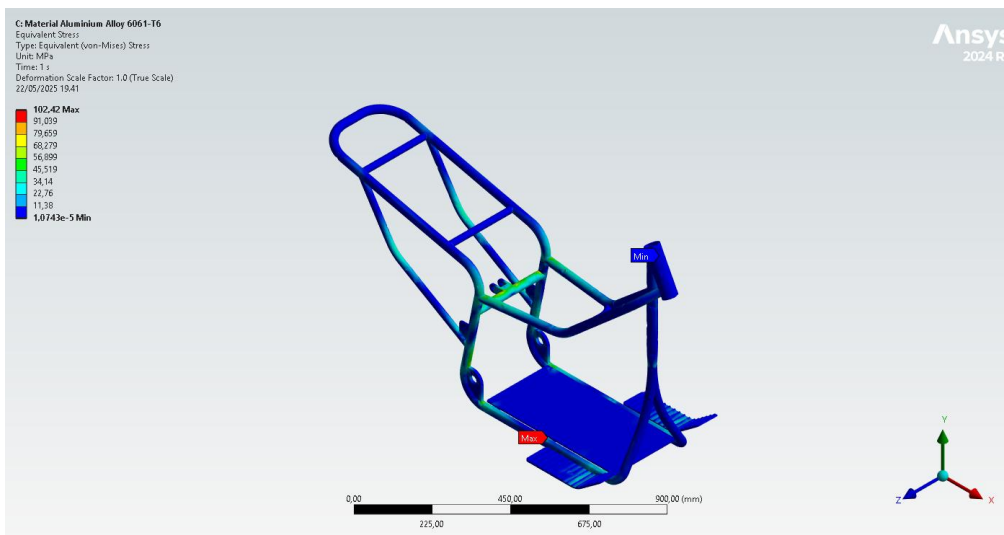
Dalam simulasi struktural rangka sepeda motor listrik tipe *scooter adventure*, skenario pembebanan ditentukan berdasarkan distribusi massa aktual dari komponen utama kendaraan. Beban pengendara sebesar 80 kg diberikan pada titik A, diikuti oleh beban penumpang dengan massa yang sama pada titik B. Beban baterai seberat 70 kg ditempatkan di titik C, sedangkan titik D dan E masing-masing menerima beban dari pijakan pengendara sebesar 40 kg. Seluruh nilai massa ini dikonversikan menjadi gaya vertikal ke bawah dengan mengalikan percepatan gravitasi standar sebesar $9806,6 \text{ mm/s}^2$, sehingga diperoleh simulasi gaya yang realistis terhadap kondisi kerja aktual rangka.

Dalam upaya merepresentasikan kondisi operasional sebenarnya, dua titik tumpuan tetap (*fixed support*) ditetapkan pada titik G sebagai representasi dudukan *shock absorber* dan titik H yang merepresentasikan sistem kemudi. Kedua titik ini diasumsikan sepenuhnya kaku, tidak mengalami perpindahan maupun rotasi selama proses simulasi berlangsung. Konfigurasi pembebanan dan penumpuan ini dirancang untuk memastikan bahwa hasil analisis elemen hingga (FEA) mencerminkan respons struktural rangka secara akurat terhadap beban statik yang umum terjadi dalam penggunaan sehari-hari [12].

A. Von Mises stress



Gambar 6. Distribusi *Von Mises stress* material *Steel Chromoly SAE 4130*

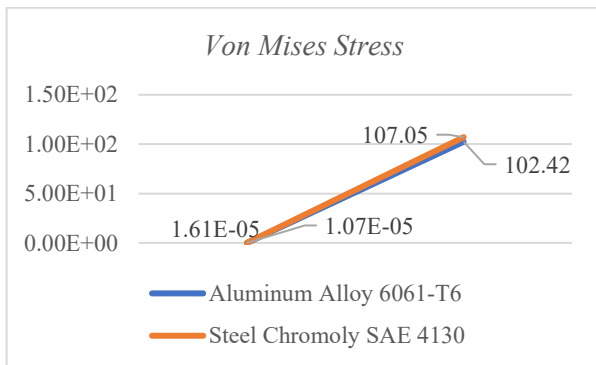


Gambar 7. Distribusi *Von Mises stress* material *Aluminum Alloy 6061-T6*

Simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum (*Von Mises Stress*) pada material *Aluminum Alloy 6061-T6* mencapai 102,42 MPa, sedangkan material *Steel Chromoly SAE 4130* menghasilkan nilai maksimum sebesar 107,05 MPa. Tegangan minimum pada kedua material berada pada kisaran mendekati nol, yakni $1,07 \times 10^{-5}$ MPa untuk Aluminium dan $1,61 \times 10^{-5}$ MPa untuk *Chromoly*. Nilai ini wajar karena sebagian besar area rangka tidak menerima beban langsung. Walaupun perbedaan tegangan maksimum antara kedua material relatif kecil, nilai yang sedikit lebih

tinggi pada *Chromoly* mengindikasikan adanya konsentrasi gaya yang lebih terfokus, kemungkinan pada area sambungan atau tumpuan [13].

Namun demikian, mengingat kekuatan luluh *Chromoly* jauh lebih tinggi daripada Aluminium 6061, maka tegangan maksimum tersebut masih berada jauh dalam batas aman. Ini menunjukkan bahwa secara struktural, kedua material layak digunakan, namun *Chromoly* menawarkan performa yang lebih unggul dalam hal ketahanan terhadap tegangan tinggi.



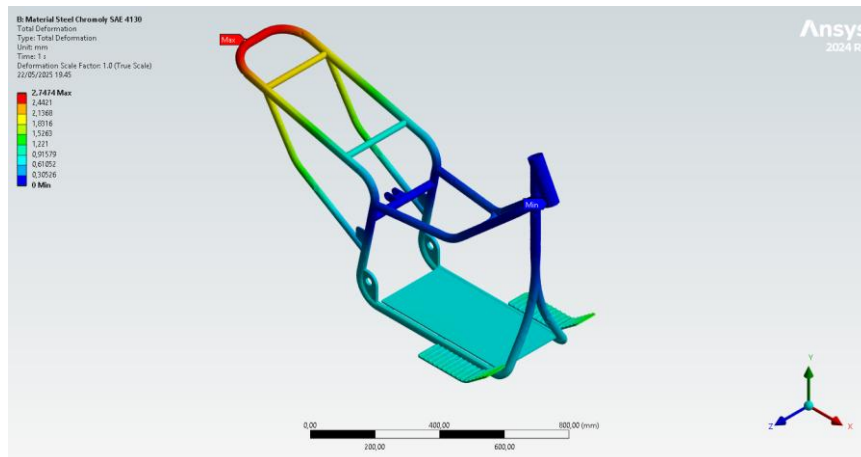
Bagan 1. Von Mises stress comparison chart

Grafik menunjukkan bahwa tegangan maksimum (*Von Mises Stress*) untuk rangka berbahan *Steel Chromoly SAE 4130* mencapai

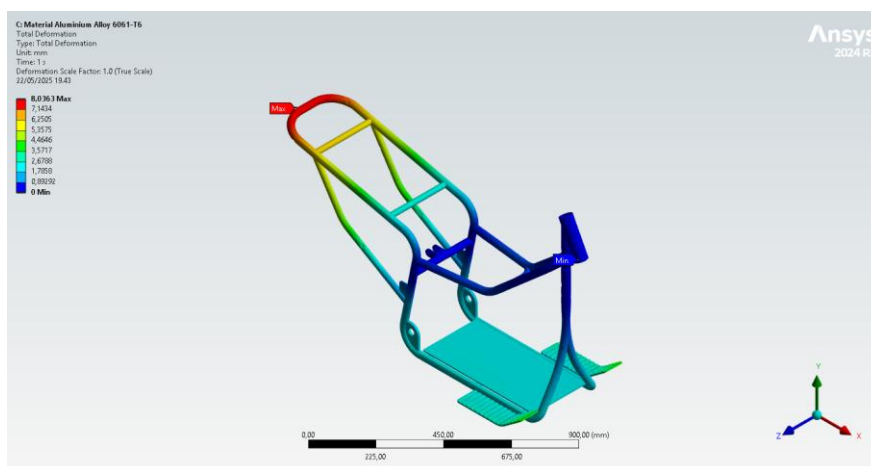
107,05 MPa, sedangkan untuk *Aluminum Alloy 6061-T6* tercatat sebesar 102,42 MPa. Walaupun perbedaannya tidak signifikan, tegangan yang sedikit lebih tinggi pada material baja menandakan bahwa material tersebut menerima gaya yang lebih terpusat pada area tertentu, atau memiliki titik konsentrasi tegangan lebih jelas.

Namun, perlu dicatat bahwa kapasitas tegangan maksimum *Chromoly* jauh lebih tinggi dibanding Aluminium, sehingga nilai ini masih sangat aman secara struktural. Sementara itu, tegangan minimum pada kedua material juga sangat kecil (orde 10^{-5} MPa), menunjukkan bahwa sebagian besar area struktur tidak menerima tegangan signifikan.

B. Displacement



Gambar 8. Displacement material *Steel Chromoly SAE 4130*



Gambar 9. Displacement material *Aluminum Alloy 6061-T6*

Perbandingan deformasi total memperlihatkan perbedaan yang cukup signifikan antara kedua

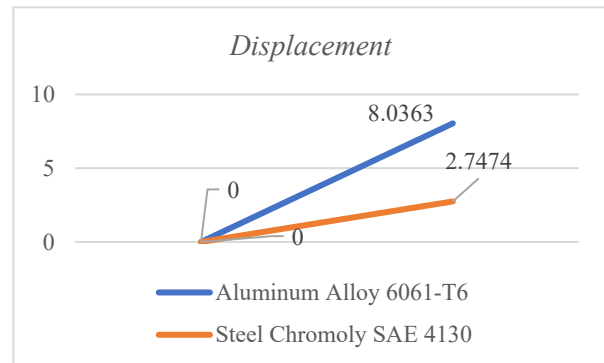
material. Aluminium 6061-T6 mengalami deformasi maksimum sebesar 8,0363 mm,

sedangkan *Steel Chromoly SAE 4130* hanya mengalami 2,7474 mm. Perbedaan ini terjadi karena sifat mekanik kedua material yang berbeda, terutama dalam hal modulus elastisitas. Modulus elastisitas Aluminium 6061-T6 sebesar 68,9 GPa [14], sedangkan AISI 4130 *Chromoly* memiliki modulus lebih tinggi yakni 205 GPa [15] sehingga rangka dari *Chromoly* cenderung lebih kaku dan mengalami deformasi lebih kecil saat diberikan beban

Perbedaan deformasi ini juga dipengaruhi oleh densitas dan struktur ikatan antar atom dalam material. Aluminium yang lebih ringan dan lebih lunak cenderung mengalami deformasi lebih besar ketika menerima beban yang sama. Selain itu, geometri distribusi beban terhadap titik-titik tumpuan dapat memperbesar efek elastis pada material yang kurang kaku. Dalam konteks struktural kendaraan bermotor, deformasi yang besar dapat memengaruhi geometri suspensi, posisi titik berat, dan kestabilan arah gerak, sehingga bisa mengurangi kenyamanan dan keamanan berkendara.

Dengan demikian, perbedaan deformasi ini penting untuk dipertimbangkan dalam pemilihan material. Meskipun Aluminium lebih ringan dan memiliki keunggulan dalam efisiensi massa, *Steel Chromoly* menawarkan kekakuan struktural yang

jauh lebih baik dan cocok untuk aplikasi struktural yang membutuhkan deformasi minimal.

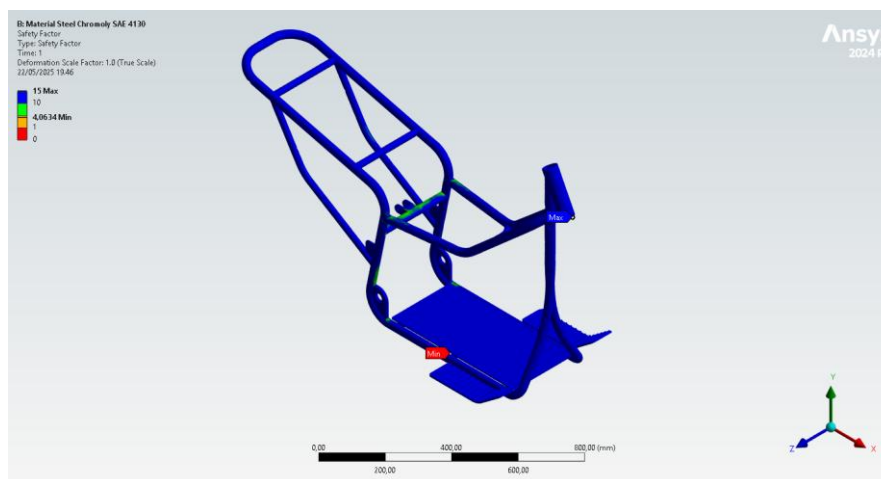


Bagan 2. Displacement comparison chart

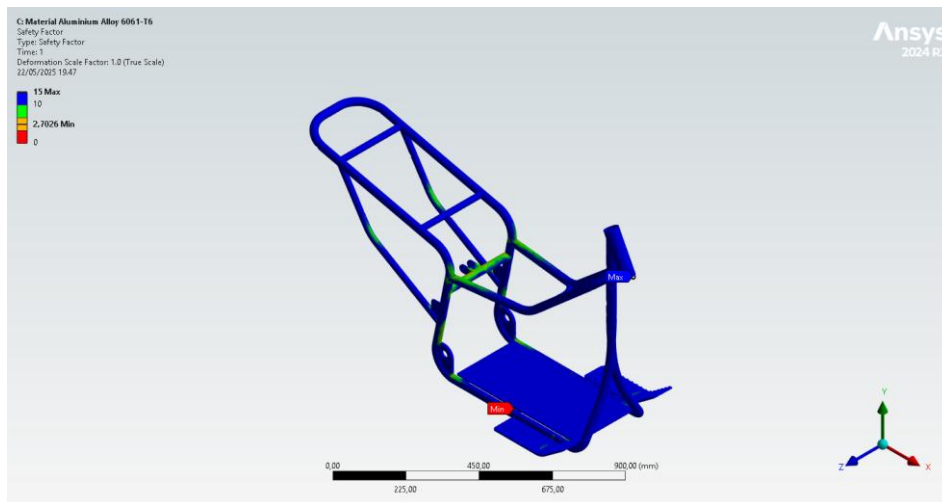
Berdasarkan grafik deformasi, *Aluminum Alloy 6061-T6* mengalami deformasi maksimal sebesar 8,0363 mm, sementara *Chromoly* hanya mengalami 2,7474 mm. Ini menunjukkan bahwa rangka berbahan aluminium lebih fleksibel namun kurang kaku, sehingga lebih mudah berubah bentuk saat diberi beban.

Sebaliknya, *Chromoly* memberikan performa yang jauh lebih kaku dan stabil, menjadikannya pilihan lebih baik untuk struktur yang membutuhkan kestabilan bentuk tinggi seperti rangka kendaraan bermotor yang harus mempertahankan geometri optimal dalam kondisi dinamis.

C. Safety of Factor



Gambar 10. Safety of Factor material Steel Chromoly SAE 4130



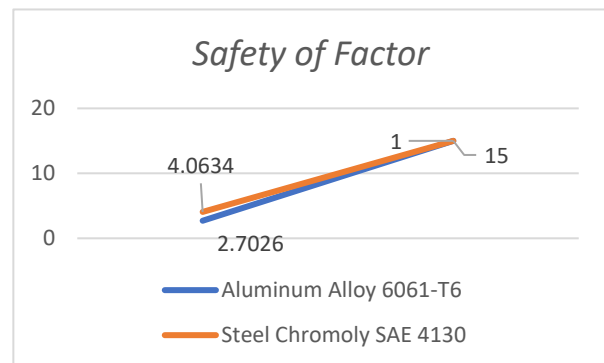
Gambar 11. *Safety of Factor material Aluminum Alloy 6061-T6*

Analisis *safety factor* menunjukkan bahwa kedua material memiliki nilai maksimum sebesar 15, umumnya terjadi pada area yang tidak terbebani secara langsung. Namun, nilai minimum pada Aluminium 6061-T6 adalah 2,7026, sedangkan *Steel Chromoly SAE 4130* memiliki nilai minimum lebih tinggi, yakni 4,0634. Nilai minimum ini sangat penting karena menunjukkan margin aman terhadap kegagalan material pada titik-titik paling kritis dari struktur.

Dalam konteks teknik struktur, faktor keamanan mengacu pada standar seperti *Vehicle Standards* yang merekomendasikan nilai $FoS = 3$ untuk *mounting body* dan *chassis* komersial[16], tergantung pada jenis struktur dan konsekuensi dari kegagalan. Untuk struktur kendaraan bermotor, batas aman *safety factor* biasanya berada pada rentang 1,5 hingga 3 tergantung kondisi operasional. Dengan demikian, nilai 2,7026 pada Aluminium masih termasuk aman, namun mendekati batas bawah dari margin keamanan yang disarankan. Sebaliknya, nilai minimum 4,0634 pada *Chromoly* menunjukkan bahwa struktur memiliki cadangan kekuatan yang tinggi[17], memberikan toleransi lebih besar terhadap variasi beban tak terduga, degradasi material akibat kelelahan (*fatigue*), atau cacat manufaktur.

Dari segi kelaikan struktural, *Chromoly* jelas memberikan tingkat keandalan dan durabilitas yang lebih tinggi, terutama pada kondisi operasional

dinamis yang cenderung menghasilkan siklus pembebanan berulang. Hal ini menjadikan *Steel Chromoly* sebagai pilihan material yang tidak hanya kuat, tetapi juga lebih aman dalam jangka panjang.



Bagan 3. *Safety of Factor comparison chart*

Pada grafik *Safety of Factor*, nilai minimum untuk Aluminum 6061-T6 tercatat sebesar 2,7026, sedangkan *Chromoly* mencapai 4,0634. Kedua material memiliki nilai maksimum 15, yang biasanya muncul pada area yang tidak mengalami pembebanan atau tegangan rendah.

Nilai minimum menunjukkan tingkat margin keamanan terendah pada struktur. Semakin tinggi nilai ini, semakin aman dan dapat diandalkan material tersebut dalam menahan beban kerja aktual. Oleh karena itu, *Chromoly* menawarkan cadangan kekuatan yang lebih besar, yang penting untuk umur pakai panjang dan menghindari kegagalan struktur.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil simulasi elemen hingga (FEA) terhadap dua jenis material rangka sepeda motor listrik tipe *scooter adventure*, dapat disimpulkan bahwa material *Steel Chromoly SAE 4130* memiliki performa struktural yang lebih unggul dibandingkan *Aluminum Alloy 6061-T6* dalam menahan pembebanan statik yang merepresentasikan kondisi operasional sebenarnya.

Tegangan maksimum *Von Mises* pada kedua material berada dalam batas aman kekuatan luluh masing-masing, namun *Chromoly* mampu menahan tegangan lebih tinggi (107,05 MPa) dibanding Aluminium (102,42 MPa), menunjukkan ketahanan struktural yang lebih baik. Dari sisi deformasi, rangka berbahan *Chromoly* menunjukkan deformasi total lebih rendah (2,75 mm) dibanding Aluminium (8,04 mm), mencerminkan kekakuan struktural yang lebih tinggi dan kontribusi terhadap kestabilan serta kenyamanan berkendara. Analisis *safety factor* memperlihatkan bahwa *Chromoly* memiliki nilai minimum lebih tinggi (4,06) dibanding Aluminium (2,70), menandakan margin keamanan yang lebih besar dan sesuai dengan standar keamanan struktur kendaraan bermotor.

Dengan demikian, untuk aplikasi rangka sepeda motor listrik tipe *scooter adventure*, *Steel Chromoly SAE 4130* direkomendasikan sebagai pilihan material yang lebih optimal dalam aspek kekuatan, kekakuan, dan keselamatan struktur. Hasil ini dapat menjadi dasar dalam pengambilan keputusan material pada tahap desain dan rekayasa produk sepeda motor listrik berbasis performa struktural.

Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan agar pemilihan material rangka lebih difokuskan pada penggunaan *Steel Chromoly SAE 4130* karena memberikan performa struktural yang lebih stabil dan aman. Meskipun demikian, perlu diperhatikan aspek berat material yang dapat memengaruhi efisiensi kendaraan secara keseluruhan. Oleh karena itu, langkah optimasi desain sangat penting dilakukan, seperti penerapan desain berbasis topologi ringan. Selain itu, guna meningkatkan keakuratan dan keandalan hasil simulasi, sebaiknya dilakukan pengujian eksperimental terhadap

prototipe fisik serta simulasi tambahan dalam kondisi dinamis, agar struktur dapat divalidasi sepenuhnya untuk penggunaan di dunia nyata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada rekan yang telah memberikan dukungan, semangat, dan kontribusi positif selama proses penyusunan penelitian ini. Kerja sama dan masukan yang diberikan sangat membantu dalam menyelesaikan berbagai tahapan, baik teknis maupun non-teknis, yang saya hadapi sepanjang proses ini.

Saya juga memberikan apresiasi kepada diri saya sendiri atas ketekunan dan dedikasi yang terus dijaga selama menjalani seluruh proses penelitian. Setiap langkah yang telah dilalui menjadi pembelajaran berharga yang memperkaya pengalaman dan pemahaman saya dalam bidang ini.

REFERENSI

- [1] R. Febritasari, "Analisis Desain Rangka Scooter Listrik Tipe Monocoque Terhadap Kekuatan Material Dengan Metode Elemen Hingga," *J. Mesin Mater. Manufaktur Dan Energi (Jmmme)*, 2023.
- [2] P. O. Marbun, D. Satrijo, and O. Kurdi, "Analisis Rangka Sepeda Motor Listrik Dengan Material Komposit Karbon Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 3, pp. 81–82, 2023.
- [3] G. Frista, H. A. Notonegoro, and G. Fachrudin, "Peningkatan Sifat Mekanik AISI 4130 Low Alloy Steel Melalui Perlakuan Panas," *Flywheel J. Tek. Mesin Untirta*, vol. III, no. 2, pp. 15–19, 2017, [Online]. Available: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jwl>
- [4] M. Dewi, "Studi mikrostruktur dan sifat mekanik Aluminium 6061 melalui proses canai dingin dan aging," *J. Furn.*, vol. 2, no. 1, 2016.
- [5] I. T. Maulana, A. Zohari, A. S. Wardoyo, and P. A. Heryanto, "Analisa Desain Rangka Alat Compact Heat Induction Press Menggunakan Metode Finite Element Analysis," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 5, no. 2, p. 83, 2021, doi: 10.30588/jeemm.v5i2.894.

- [6] T. S. & Alloys, "SAE 4130 Round Bars / AISI 4130 Round Bars," Textron Stell & Alloys. Accessed: May 21, 2025. [Online]. Available: <https://www.textronsteelalloys.com/sae-aisi-4130-round-bars-1-7218-25crmo4/>
- [7] <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=23ef84d2348640268d3d62fb156dd2dc>, "403 Stainless Steel, annealed, sheet," <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=23ef84d2348640268d3d62fb156dd2dc>. [Online]. Available: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=23ef84d2348640268d3d62fb156dd2dc>
- [8] Abdul Aziz Salimi, "Simulasi Finite Element Analysis (Fea) Dan Fabrikasi Implan Untuk Perbandingan Kinerja Implan Kovensional Dan Custom Cruciate Retaining (Cr) Untuk Penderita Osteoarthritis Berdasarkan Rekonstruksi Data Mri/Ct Scan Tulang Lutut," *Simulasi Finite Elem. Anal. Dan Fabrikasi Implan Untuk Perbandingan Kinerja Implan Kovensional Dan Cust. Cruciate Retaining Untuk Penderita Osteoarthr. Berdasarkan Rekonstruksi Data Mri/Ct Scan Tulang Lutut*, pp. 1–115, 2023.
- [9] R. Fadillah and A. Fauzan Zakki, "Analisa Fatigue Pada Kapal Tanker 6500 DWT Berdasarkan Common Structural Rules (CSR) berbasis Finite Element Analysis (FEA)," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 4, p. 588, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [10] D. M. M. P. Robert Cook, "Metodo de elementos Finitos," 1989.
- [11] O. . Zienkiewicz, R. . Taylor, and J. . Zhu, "Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics," no. 1, pp. 6–8, 2005.
- [12] C. E. Lange and J. C. Lord, "Protistan Entomopathogens," 2012. doi: 10.1016/B978-0-12-384984-7.00010-5.
- [13] A. Sood and P. Singh, "Analysis of Space Frame of Formula Sae At High Speed With Ergonomic and Vibrational," *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 11, pp. 202–212, 2015, [Online]. Available: http://www.iaeme.com/MasterAdmin/UploadFolder/IJMET_06_11_023/IJMET_06_11_023.pdf
- [14] Gabrian International LTD, "6061 Aluminum Alloy: Properties General," vol. 1, no. 603, p. 6061, 2020, [Online]. Available: <https://www.gabrian.com/6061-aluminum-properties/>
- [15] Azom, "AISI 4130 Alloy Steel," *Azo Mater.*, no. 281, pp. 1–4, 2012, [Online]. Available: <http://www.astmsteel.com/product/4130-steel-aisi-25crmo4-7218-scm430/>
- [16] P. Hart, "Chassis Fatigue and Factors of Safety," *Aust. Road Transp. Suppliers Assoc.*, p. 1, 2018.
- [17] L. Siddhartha, P. Kumar, R. Bukkacherla, G. Singh, and S. D. Naidu, "Factor of Safety Analysis on the Automotive Chassis using Finite Element Method under Various Loading Conditions," vol. 30, no. 1, pp. 5819–5824, 2024, doi: 10.53555/kuey.v30i1.9262.