

JURNAL INOVASI ILMU PENGETAHUAN DAN TEKNOLOGI (JIPTEK)



Analisis Elemen Hingga (FEA) Rangka Sepeda Motor Tipe *Chopper* untuk Menentukan Faktor Keamanan Menggunakan *SolidWorks 2020*

Irwan Aranda¹, Muhamad Cahyadi², Slamet Rahardian³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No. 1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : ¹dosen01281@unpam.ac.id, ²dosen01283@unpam.ac.id, ³dosen01282@unpam.ac.id

Masuk: 31 Oktober 2025

Direvisi: 10 November 2025

Disetujui: 14 November 2025

Abstract: The frame structure is a crucial component of a vehicle because it functions as the main support for all other parts. Therefore, the material used must have adequate strength to withstand the vehicle load, and its design must be adjusted to the functional and usage requirements. This study focuses on evaluating static stress and the safety factor of a motorcycle frame of the Chopper type, with the working load serving as the primary reference in the simulation and material selection. The objective of this study is to assess the capability of the frame structure to withstand static loading and determine its safety factor through simulation using SolidWorks 2020 software. Three types of materials compared in the frame design are ASTM A36 steel, 6063-T5 aluminum, and Ti-6Al-4V titanium. The simulation results are expected to show the frame's ability to withstand a load of 100 N and provide the safety factor values of each material to determine the best material choice. Based on the analysis results, only Ti-6Al-4V titanium and ASTM A36 steel met the safety factor standards as suitable materials for this motorcycle frame type. Aluminium 6063-T5 did not meet the criteria because it only achieved a safety factor value of 1.45, which is below the minimum required range (between 2 and 4).

Keywords: Material, Frame Structure, Safety Factor Value, Analysis Process.

Abstrak: Struktur rangka merupakan komponen krusial dalam kendaraan karena berfungsi sebagai penyangga utama bagi seluruh bagian lainnya. Oleh karena itu, material yang digunakan harus memiliki kekuatan yang memadai untuk menahan beban kendaraan, serta desainnya harus disesuaikan dengan fungsi dan kebutuhan pemakaian. Penelitian ini difokuskan pada evaluasi tegangan statis dan faktor keselamatan pada rangka sepeda motor tipe *Chopper*, dengan beban kerja sebagai acuan utama dalam simulasi dan pemilihan bahan. Tujuan dari studi ini adalah menilai kemampuan struktur rangka dalam menahan beban statis serta menentukan faktor keamanannya melalui simulasi menggunakan perangkat lunak *SolidWorks 2020*. Tiga jenis material yang dijadikan perbandingan dalam desain rangka yaitu baja ASTM A36, aluminium 6063-T5, dan titanium Ti-6Al-4V. Hasil simulasi diharapkan menunjukkan kemampuan rangka menahan beban sebesar 100 N serta memberikan nilai faktor keamanan masing-masing bahan untuk menentukan pilihan material terbaik. Berdasarkan hasil analisis, hanya titanium Ti-6Al-4V dan baja ASTM A36 yang memenuhi standar faktor keamanan sebagai bahan rangka sepeda motor tipe ini. Aluminium 6063-T5 tidak lolos kriteria karena hanya memiliki nilai faktor keamanan sebesar 1,45, di bawah batas minimum yang disyaratkan (antara 2 sampai 4).

Kata kunci: Bahan, Struktur Rangka, Nilai Faktor Keamanan, Proses Analisis.

PENDAHULUAN

Industri manufaktur kendaraan, khususnya produksi sepeda motor tipe *chopper*, menghadapi tantangan dalam meningkatkan kekuatan, keamanan, dan efisiensi struktur rangka secara konsisten. Rangka sepeda motor menjadi komponen utama yang memengaruhi performa, keselamatan pengendara, serta biaya operasional. Oleh karena itu, perancangan rangka yang kuat dan efisien secara struktural sangat diperlukan untuk mendukung peningkatan daya saing sepeda motor di pasar [1].

Saat ini, sebagian besar perancangan rangka sepeda motor, termasuk tipe *chopper*, masih dilakukan menggunakan pendekatan konvensional atau desain berbasis pengalaman perancangan. Proses ini menghadapi banyak

tantangan, seperti risiko kegagalan struktur akibat beban statis maupun dinamis, ketidakakuratan prediksi deformasi, serta kesulitan dalam optimasi material untuk efisiensi biaya dan bobot [2], [3]. Oleh karena itu, kebutuhan terhadap metode perancangan yang lebih sistematis dan akurat sangat tinggi.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan rangka sepeda motor dengan menggunakan simulasi berbasis perangkat lunak, seperti *SolidWorks* dan metode elemen hingga (*Finite Element Analysis*, FEA). Misalnya, analisis rangka sepeda listrik dan sepeda motor konvensional menunjukkan bahwa penggunaan FEA memungkinkan identifikasi titik lemah pada struktur rangka, prediksi deformasi akibat beban, dan evaluasi faktor keamanan sebelum *prototyping* fisik dilakukan [4]–[6]. Hasil studi tersebut memperlihatkan peningkatan signifikan dalam efisiensi desain, kekuatan struktur, dan pengurangan risiko kegagalan dibandingkan metode desain konvensional.

Meskipun beberapa desain rangka sepeda motor telah dianalisis, kajian terkait rangka sepeda motor tipe *chopper* khususnya yang mempertimbangkan faktor keamanan, distribusi tegangan, durabilitas, dan optimasi material masih sangat terbatas [7]–[9]. Selain itu, penelitian sebelumnya umumnya hanya membahas rangka motor listrik atau tipe umum, sehingga karakteristik *chopper* dengan geometri dan distribusi beban unik belum banyak dianalisis secara mendalam.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang rangka sepeda motor tipe *chopper* berbasis simulasi menggunakan perangkat lunak *SolidWorks 2020*. Penelitian ini melakukan analisis elemen hingga (FEA) untuk mengevaluasi perilaku mekanik rangka, distribusi tegangan, serta faktor keamanan (*safety factor*) pada berbagai kondisi beban kerja. Dengan pendekatan ini, diharapkan diperoleh desain rangka yang lebih optimal, aman, dan efisien secara struktural sebelum dilakukan proses fabrikasi fisik.

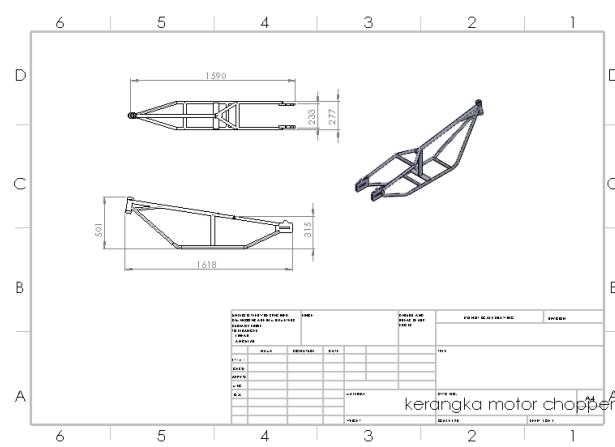
METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan perancangan awal rangka sepeda motor tipe *chopper* menggunakan perangkat lunak CAD (*Computer-Aided Design*), yaitu *SolidWorks 2020*. Dimensi rangka disesuaikan dengan standar ergonomi pengendara dan proporsi desain *chopper*. Material utama yang digunakan pada rangka adalah baja ASTM A36, aluminium 6063-T5, dan titanium Ti-6Al-4V, dengan data sifat mekanik yang diacu dari standar teknik agar memenuhi kriteria kekuatan dan kekakuan struktural. Setelah pemodelan selesai, dilakukan simulasi struktural menggunakan fitur *SolidWorks Simulation* untuk menganalisis distribusi tegangan (*stress*), perpindahan (*displacement*), dan faktor keamanan (*safety factor*) pada rangka saat menerima pembebaan, seperti berat pengendara, mesin, dan gaya akibat kondisi jalan.

Pembebaan diberikan pada titik-titik tumpuan seperti suspensi, sambungan mesin, dan roda, dengan kondisi batas tertentu untuk merepresentasikan beban kerja nyata. Hasil simulasi digunakan untuk mengevaluasi apakah desain rangka mampu menahan beban tanpa mengalami deformasi berlebih atau kegagalan struktural. Nilai faktor keamanan dibandingkan dengan batas minimal standar keamanan struktur kendaraan. Jika diperlukan, desain akan direvisi berdasarkan hasil analisis agar memenuhi syarat ketahanan jangka panjang. Dengan pendekatan ini, keandalan rangka dapat divalidasi secara virtual sebelum proses manufaktur.

Desain Rangka

Rangka sepeda motor tipe *chopper* dirancang dengan ukuran panjang, lebar, dan tinggi masing-masing 1.618 mm, 277 mm, dan 501 mm. Dari dimensi tersebut, diperoleh total volume sebesar 0,22437 meter kubik. Visualisasi detail dari desain rangka ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangka Sepeda

Pemilihan Bahan Material

Untuk menambahkan data material ke dalam *SolidWorks*, pengguna dapat membuka menu *Configure Material*. Pada proyek ini, material yang digunakan mencakup baja ASTM A36 (Tabel 1), aluminium 6063-T5 (Tabel 2), dan titanium Ti-6Al-4V (Tabel 3).

Tabel 1. Properti Material Baja ASTM A36

Properti	Nilai	Satuan
Modulus Elastis	200.000	N/mm ²
Rasio Poisson	0,26	–
Modulus Geser	79.300	N/mm ²
Massa Jenis	7.850	kg/m ³
Kekuatan Tarik	400	N/mm ²
Kekuatan Luluh	250	N/mm ²

Tabel 2. Properti Material Aluminium 6063-T5

Properti	Nilai	Satuan
Modulus Elastis	69.000	N/mm ²
Rasio Poisson	0,33	–
Modulus Geser	25.800	N/mm ²
Massa Jenis	2.700	kg/m ³
Kekuatan Tarik	185	N/mm ²
Kekuatan Luluh	145	N/mm ²

Tabel 3. Properti Material Titanium Ti-6Al-4V

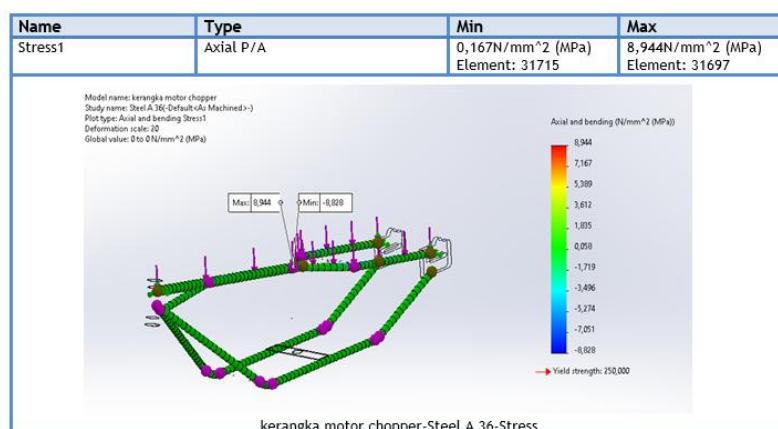
Properti	Nilai	Satuan
Modulus Elastis	104.800	N/mm ²
Rasio Poisson	0,31	–
Modulus Geser	41.023,81	N/mm ²
Massa Jenis	4.428,78	kg/m ³
Kekuatan Tarik	1.050	N/mm ²
Kekuatan Luluh	827	N/mm ²

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Statik Material Baja ASTM A36 Menggunakan *SolidWorks*

Berdasarkan hasil simulasi rangka yang dilakukan dengan perangkat lunak *SolidWorks* 2020, diperoleh nilai tegangan Von Mises, nilai perpindahan (*displacement*), serta nilai faktor keamanan (*Factor of Safety*) sebagaimana ditunjukkan pada visualisasi hasil simulasi, dengan material yang digunakan adalah baja ASTM A36.

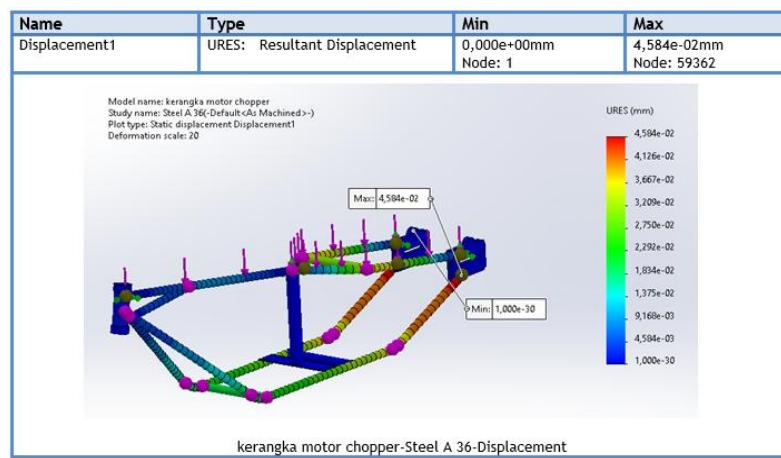
Hasil simulasi tegangan Von Mises material baja ASTM A36 menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi sebesar 8,944 MPa, yang mengindikasikan bahwa beban yang diberikan tergolong kecil. Visualisasi hasil dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Simulasi kerangka motor baja ASTM A36 (stress/tegangan)

Dari hasil simulasi diperoleh nilai tegangan sebesar 8,944 MPa. Nilai ini tergolong kecil jika dibandingkan dengan kekuatan material, sehingga struktur masih aman digunakan. Tegangan yang rendah menunjukkan bahwa beban yang diberikan belum mendekati batas kemampuan material. Dengan kata lain, struktur masih mampu menahan beban tanpa mengalami kerusakan. Visualisasi tegangan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 2, yang menunjukkan bagian-bagian yang menerima tekanan tertinggi. Hasil ini juga menjadi dasar bahwa desain sudah cukup baik dan tidak perlu dilakukan perubahan besar.

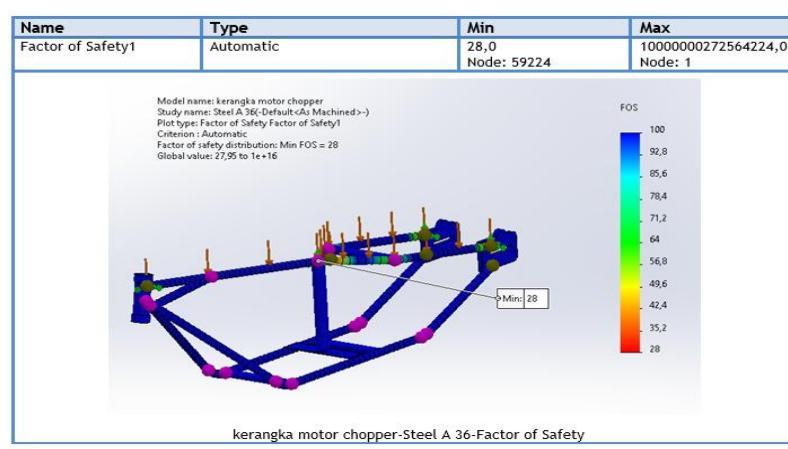
Hasil simulasi perpindahan (*displacement*) material baja ASTM A36 menunjukkan adanya deformasi maksimum sebesar 0,04584 mm pada struktur rangka. Visualisasi deformasi ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Simulasi kerangka motor baja ASTM A36 (*displacement*)

Berdasarkan hasil simulasi, diketahui bahwa perpindahan maksimum (deformasi) yang terjadi pada struktur rangka sebesar 0,04584 mm. Nilai ini menunjukkan bahwa perubahan bentuk akibat beban yang diberikan sangat kecil. Deformasi yang rendah menandakan bahwa rangka memiliki kekakuan yang baik dan mampu mempertahankan bentuk aslinya saat menerima gaya kerja. Artinya, struktur tidak mengalami perubahan signifikan dan tetap stabil saat digunakan. Hasil visualisasi perpindahan ini ditampilkan pada Gambar 3, yang memperlihatkan bagian struktur dengan perpindahan paling besar.

Hasil simulasi faktor keamanan (*factor of safety*) baja ASTM A36 menunjukkan bahwa faktor keamanan memiliki batas minimum 28 dan maksimum 100 pada struktur rangka. Visualisasi ditampilkan pada Gambar 4.



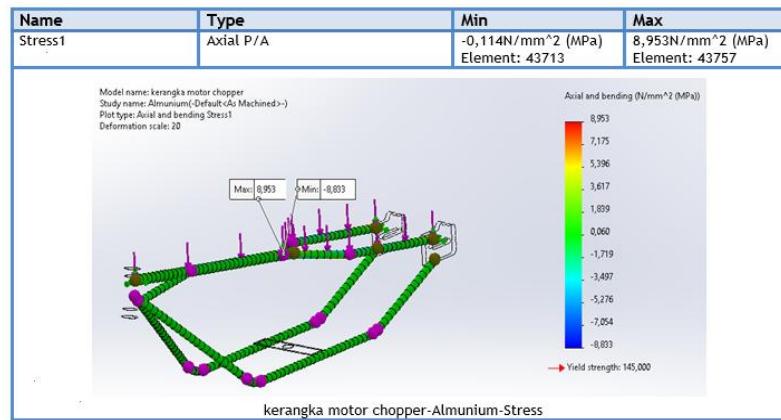
Gambar 4. Simulasi kerangka motor baja ASTM A36 (*factor of safety*)

Dari hasil simulasi yang dilakukan pada struktur rangka dengan material baja ASTM A36, diperoleh nilai faktor keamanan minimum sebesar 28 dan maksimum mencapai 100. Nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur memiliki tingkat keamanan yang sangat tinggi terhadap beban yang diberikan. Faktor keamanan yang besar menandakan bahwa tegangan yang terjadi masih sangat jauh dari batas kemampuan material. Dengan demikian, rangka mampu menahan beban kerja tanpa risiko kegagalan.

Analisis Statik Material Aluminium 6063-T5 Menggunakan SolidWorks

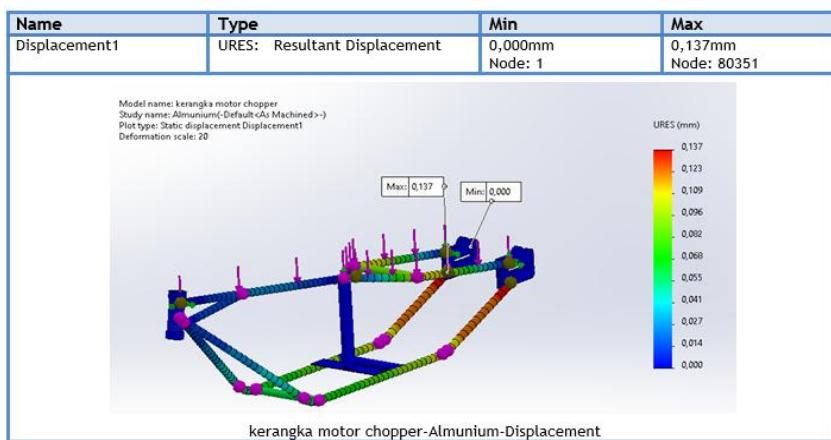
Simulasi rangka menggunakan perangkat lunak *SolidWorks 2020* menghasilkan nilai tegangan Von Mises, perpindahan, serta faktor keamanan (*FOS*) dengan material aluminium 6063-T5 sebagai bahan analisis.

Hasil simulasi tegangan Von Mises material aluminium 6063-T5 menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi sebesar 8,953 MPa. Visualisasi hasil dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai tegangan maksimum 8,953 MPa masih tergolong rendah jika dibandingkan dengan kekuatan material aluminium 6063-T5, sehingga beban yang diterapkan dapat dikatakan masih ringan. Tegangan yang kecil ini menunjukkan bahwa struktur belum mendekati batas kemampuan material dan masih berada dalam kondisi aman.



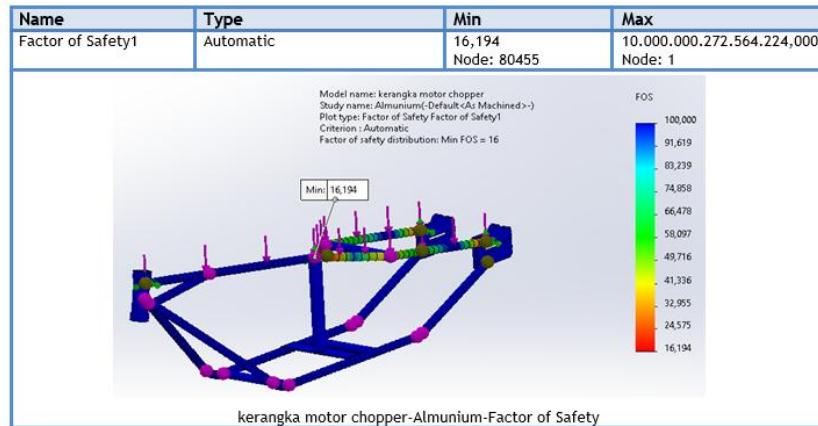
Gambar 5. Simulasi kerangka motor aluminium 6063-T5 (stress/tegangan)

Hasil simulasi perpindahan (*displacement*) material aluminium 6063-T5 menunjukkan adanya deformasi maksimum sebesar 0,137 mm. Visualisasi ditampilkan pada Gambar 6. Nilai deformasi sebesar 0,137 mm menunjukkan bahwa struktur mengalami perubahan bentuk yang kecil dan tetap dalam batas aman. Perpindahan ini tidak memengaruhi fungsi maupun ketebalan struktur secara keseluruhan.



Gambar 6. Simulasi kerangka motor aluminium 6063-T5 (displacement)

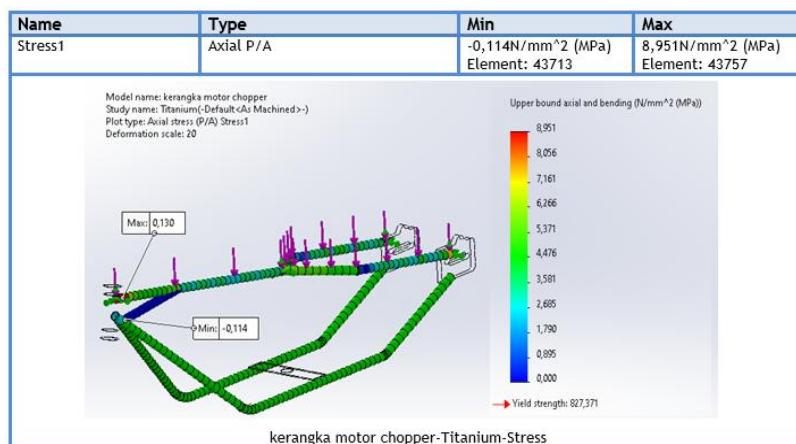
Hasil simulasi faktor keamanan (*factor of safety*) aluminium 6063-T5 menunjukkan faktor keamanan minimum sebesar 16 dan maksimum 100. Visualisasi ditampilkan pada Gambar 7. Nilai ini menunjukkan bahwa seluruh bagian struktur masih jauh di bawah batas kekuatan materialnya. Faktor keamanan minimum sebesar 16 menandakan bahwa beban hanya sebagian kecil dari kapasitas material. Struktur tergolong sangat aman dan mampu bekerja tanpa risiko kegagalan.

Gambar 7. Simulasi kerangka motor aluminium 6063-T5 (*factor of safety*)

Analisis Statik Material Titanium Menggunakan SolidWorks

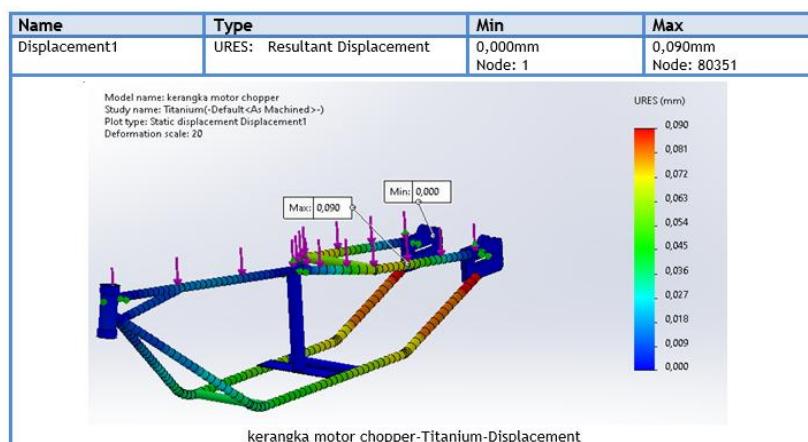
Analisis rangka menggunakan *SolidWorks 2020* menghasilkan data berupa tegangan Von Mises, perpindahan, serta nilai FOS dengan material titanium.

Hasil simulasi tegangan Von Mises material Titanium menunjukkan tegangan sebesar 8,951 MPa. Visualisasi dapat dilihat pada Gambar 8. Nilai tegangan ini sangat rendah jika dibandingkan dengan kekuatan material titanium, sehingga struktur masih berada dalam kondisi aman dan jauh dari risiko kegagalan.

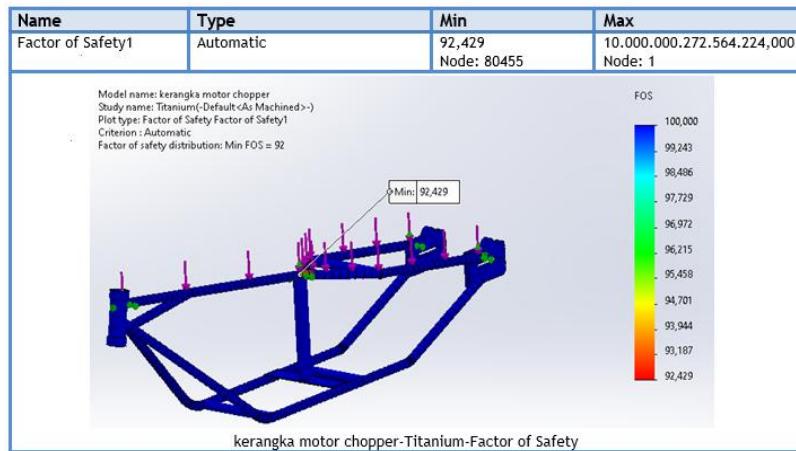


Gambar 8. Simulasi kerangka motor Titanium (stress/tegangan)

Hasil simulasi perpindahan (*displacement*) material Titanium menunjukkan adanya deformasi maksimum sebesar 0,090 mm. Visualisasi ditampilkan pada Gambar 9. Nilai deformasi 0,090 mm menandakan bahwa struktur tetap stabil meskipun menerima beban kerja. Titanium memiliki kekakuan tinggi sehingga mampu mempertahankan bentuk tanpa perubahan signifikan.

Gambar 9. Simulasi kerangka motor Titanium (*displacement*)

Hasil simulasi faktor keamanan (*factor of safety*) Titanium menunjukkan faktor keamanan minimum sebesar 92,429 dan maksimum 100. Nilai ini menunjukkan bahwa struktur sangat kuat dan jauh dari risiko kegagalan. Beban yang diterima hanya sebagian kecil dari kapasitas maksimal material titanium. Visualisasi ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Simulasi kerangka motor Titanium (*factor of safety*)

Perbandingan Ketiga Material Berdasarkan Hasil Simulasi

Data simulasi statik baja ASTM A36, aluminium 6063-T5, dan titanium menunjukkan beberapa perbedaan penting:

1. Tegangan Von Mises
Ketiga material memiliki nilai tegangan serupa ($\pm 8,9$ MPa), menandakan beban yang diberikan sama dan tergolong kecil.
2. Deformasi Maksimum
 - Baja ASTM A36 : 0,04584 mm
 - Aluminium 6063-T5 : 0,137 mm
 - Titanium : 0,090 mm
Baja ASTM A36 memiliki kekakuan tertinggi, diikuti titanium, lalu aluminium.
3. Faktor Keamanan Minimum
 - Baja ASTM A36 : 28
 - Aluminium 6063-T5 : 16
 - Titanium : 92,429
Titanium memiliki faktor keamanan tertinggi, jauh melampaui dua material lainnya.

Analisis Daya Tahan terhadap Beban Puncak dan Nilai FOS

Berdasarkan simulasi dengan beban sebesar 100 N, diperoleh hasil analisis mengenai beban maksimum serta tegangan tertinggi yang terjadi pada rangka. Data dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisis beban maksimal

Material	ρ (N)	σ_y (MPa)	σ_{xv} (MPa)	$umaxs$ (mm)	η
ASTM A36	100	250	8,914	4,5	2,5
Aluminium 6063-T5	100	145	8,954	0,137	1,45
Titanium Ti-6Al-4V	100	827	8,951	0,09	8,27

Analisis dilakukan terhadap tiga jenis material, yaitu ASTM A36, Aluminium 6063-T5, dan Titanium Ti-6Al-4V, dengan pembebanan seragam sebesar 100 N. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengevaluasi respons masing-masing material terhadap tegangan kerja, deformasi maksimum, dan tingkat keamanan berdasarkan nilai faktor keamanannya.

Pada material ASTM A36, diperoleh nilai tegangan maksimum sebesar 8,914 MPa dengan deformasi maksimum sebesar 4,5 mm. Tegangan ini masih jauh di bawah batas luluh material sebesar 250 MPa, menghasilkan faktor keamanan sebesar 2,5. Hal ini menunjukkan bahwa material baja karbon tersebut cukup aman digunakan pada struktur dengan beban ringan, meskipun deformasinya lebih besar dibandingkan material lainnya.

Untuk Aluminium 6063-T5, nilai tegangan yang dihasilkan hampir sama, yaitu 8,954 MPa, namun deformasi maksimumnya jauh lebih kecil yaitu 0,137 mm. Dengan batas luluh sebesar 145 MPa, diperoleh faktor keamanan sebesar 1,45 yang mendekati batas minimum standar keamanan. Aluminium lebih kaku dalam menahan beban, tetapi memiliki margin keamanan yang lebih kecil dibandingkan baja.

Sementara itu, Titanium Ti-6Al-4V menunjukkan performa struktural paling unggul. Tegangan yang terjadi sebesar 8,951 MPa, dengan deformasi sangat kecil hanya 0,09 mm. Dengan batas luluh mencapai 827 MPa, material ini menghasilkan faktor keamanan sebesar 8,27. Titanium sangat ideal untuk struktur yang membutuhkan kekuatan tinggi dan deformasi minimal, meskipun dari sisi biaya dan ketersediaan tidak seefisien baja atau aluminium.

Evaluasi Faktor Keamanan Sebesar 4 pada Struktur Rangka

Dengan asumsi faktor keamanan sebesar 4 digunakan sebagai standar keselamatan bagi pengendara, maka nilai beban maksimum dikurangi melalui pembagian dengan nilai faktor tersebut. Rincian hasil perhitungan adalah sebagai berikut.

1. Tegangan luluh material ASTM A36

$$4 = \frac{\text{Yield Strength}}{\text{Kekuatan yang dibutuhkan}} \quad (1)$$

$$\text{Kekuatan yang dibutuhkan} = \frac{250}{4} = 62,5 \text{ kg}$$

2. Tegangan luluh material Aluminium 6063-T5

$$\text{Kekuatan yang dibutuhkan} = \frac{145}{4} = 36,25 \text{ kg}$$

3. Tegangan luluh material Titanium Ti-6Al-4V

$$\text{Kekuatan yang dibutuhkan} = \frac{827}{4} = 206,75 \text{ kg}$$

Hasil asumsi faktor keamanan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Asumsi faktor keamanan

Material	σ_y (MPa)	Asumsi faktor keamanan (η)	Pe (kg)
ASTM A36	250	4	62,5
Aluminium 6063-T5	145	4	36,25
Titanium Ti-6Al-4V	827	4	206,75

Asumsi nilai faktor keamanan untuk masing-masing material ditampilkan pada Tabel 5. Dalam analisis ini digunakan faktor keamanan tetap sebesar 4 untuk menentukan estimasi beban maksimum yang dapat ditahan dengan aman (Pe).

Material ASTM A36 dengan tegangan luluh sebesar 250 MPa menghasilkan nilai beban aman sebesar 62,5 kg. Untuk Aluminium 6063-T5, dengan tegangan luluh 145 MPa, beban aman yang diperoleh sebesar 36,25 kg. Sementara itu Titanium Ti-6Al-4V, yang memiliki kekuatan luluh tertinggi sebesar 827 MPa, memberikan nilai beban aman terbesar yaitu 206,75 kg.

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kekuatan luluh suatu material, maka semakin besar pula kapasitas beban aman yang dapat ditahan dengan faktor keamanan tertentu. Titanium menjadi material paling kuat dalam asumsi ini, sementara aluminium unggul dari sisi bobot ringan namun memiliki batas beban aman yang lebih rendah.

KESIMPULAN

Penelitian mengenai desain rangka dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks 2020* untuk menganalisis kekuatan rangka. Tiga jenis material yang diuji sebagai bahan rangka utama meliputi baja ASTM A36, aluminium 6063-T5, dan titanium Ti-6Al-4V. Dari hasil analisis, titanium Ti-6Al-4V menunjukkan performa terbaik sebagai material rangka. Namun demikian, hanya dua dari tiga material tersebut yang memenuhi syarat sebagai bahan utama rangka, yaitu titanium Ti-6Al-4V dan baja ASTM A36. Material aluminium 6063-T5 tidak memenuhi kriteria karena hanya menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 1,45 yang berada di bawah standar minimum.

Sementara itu, dengan asumsi beban sebesar 100 N, baja ASTM A36 menjadi pilihan paling optimal dari sisi biaya dan kekuatan. Material ini mampu mencapai nilai faktor keamanan sesuai standar yang ditetapkan, sehingga dapat dijadikan alternatif yang layak digunakan dalam konstruksi rangka sepeda motor tipe *chopper*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. D. Mustaqim, D. T. Santoso, and U. Ujiburrahman, “Design and Structural Evaluation of an Electric Motorcycle Frame Using FEA,” *Metrotech (Journal Mech. Electr. Technol.)*, vol. 4, no. 3, pp. 168–178, Sep. 2025, doi: <https://doi.org/10.70609/metrotech.v4i3.7249>.
- [2] M. Nabil and A. Faizin, “Analisis Pengaruh Dimensi dan Ketebalan Hollow ST 37 terhadap Kekuatan Rangka Sepeda Motor Listrik dengan Metode Elemen Hingga (FEM),” *J. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 3, p. 11, Jul. 2025, doi: <https://doi.org/10.47134/jme.v2i3.4794>.
- [3] A. Gumilar and R. N. Akbar, “The Effect of Acceleration and Braking on the Strength of Chopper-Motorcycle Frames under Static Loading Conditions,” *Sainteks J. Sain Dan Tek.*, vol. 7, no. 01, pp. 173–182, 2025, doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.37577/sainteks.v7i01.859>.
- [4] N. O. T. Simanjuntak, Z. M. T. Htoo, and M. Singh, “Finite element analysis of electric motorcycle frame using SolidWorks: A comparative study of circular tube and square tube,” *J. Eng. Res. Lect.*, vol. 2, no. 2, pp. 50–55, 2023, doi: <https://doi.org/10.58712/jerel.v2i2.46>.
- [5] R. E. Perkasa, U. S. Amrullah, B. Pranoto, and C. Gunawan, “Analisis Pengaruh Penambahan Stiffener terhadap Nilai Tegangan dan Defleksi pada Rangka Sepeda Motor Listrik dengan Metode Elemen Hingga,” *V-MAC (Virtual Mech. Eng. Artic.)*, vol. 8, no. 1, pp. 6–12, Apr. 2023, doi: <https://doi.org/10.36526/v-mac.v8i1.2729>.
- [6] F. D. Ikram and Erik, “Analisis Kekuatan Frame Sepeda Listrik Ngebut Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 3, pp. 857–865, 2022, doi: <https://doi.org/10.21776/jrm.v13i3.1228>.
- [7] L. A. Rayyan, J. Sumarjo, and F. A. Pratama, “Analisis Frame Sepeda Listrik Roda Tiga Bagi Lansia dan Penyandang Disabilitas Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *Metrotech (Journal Mech. Electr. Technol.)*, vol. 4, no. 3, pp. 188–198, Sep. 2025, doi: <https://doi.org/10.70609/metrotech.v4i3.7358>.
- [8] A. Kholil, “Analisis Dinamika Struktur Swing Arm Sepeda Motor Jenis Suspensi Monoshock Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 1, no. 1, pp. 1–13, Oct. 2013, doi: <https://doi.org/10.21009/JKEM.1.1.1>.
- [9] S. Garindra, R. D. Sampurno, and Sailon, “Simulasi Tegangan pada Rangka Sepeda Motor ESAF Menggunakan Metode Finite Element Analysis,” *J. Sains dan Ilmu Terap.*, vol. 7, no. 2, pp. 101–107, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.59061/jsit.v7i2.846>.