

ANALISIS PEMBEBANAN PADA SASIS MOBIL HEMAT ENERGI DENGAN VARIASI MATERIAL LOGAM DAN KOMPOSIT

*Maulana Ahmad Muqodas¹, Mohammad Tauviqirrahman², Rifky Ismail²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, S.H., Tembalang, Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: maulanaahmadmuqodas@students.undip.ac.id

Sasis merupakan komponen struktural utama kendaraan yang berfungsi menopang seluruh beban operasional, sehingga pemilihan material yang tepat menjadi sangat krusial, terutama pada kendaraan hemat energi yang dituntut untuk memiliki bobot ringan mungkin tanpa mengorbankan keamanan struktur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi tegangan dan defleksi pada sasis mobil hemat energi tipe tubular melalui simulasi metode elemen hingga (FEM) menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2020, dengan menguji delapan variasi material, yaitu AISI 1020 Steel, AISI 4130 Steel, ASTM A36 Steel, Aluminium 6061-T6, Aluminium 7075-T6, CFRP 1, CFRP 2, dan Titanium Ti6Al4V. Pembebanan yang diterapkan meliputi berat pengemudi sebesar 58 kg, berat komponen kendaraan, dan gaya gravitasi dengan kondisi tumpuan tetap pada keempat roda. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan von Mises maksimum berkisar antara 39,27 MPa hingga 43,81 MPa, jauh di bawah kekuatan luluh seluruh material uji, dengan titik konsentrasi tegangan tertinggi secara konsisten terjadi pada sambungan tubular bagian belakang sasis dan rangka penopang pengemudi. Defleksi maksimum berkisar antara 0,439 mm (AISI 4130 Steel) hingga 1,205 mm (Aluminium 6061-T6), sedangkan faktor keamanan berkisar antara 5,71 hingga 21,07, mengindikasikan seluruh material memenuhi kriteria keamanan statis. Analisis trade-off menunjukkan bahwa CFRP 1 unggul dalam efisiensi massa dengan pengurangan hingga 81,9% dibandingkan baja referensi, sementara Aluminium 6061-T6 menjadi pilihan paling optimal secara keseluruhan karena mampu mereduksi massa sebesar 65,8% dengan tetap mempertahankan faktor keamanan yang memadai dan kemudahan fabrikasi yang lebih baik dibandingkan CFRP.

Kata kunci : mobil hemat energi; metode elemen hingga; tegangan von mises

Abstract

The chassis is the primary structural component of a vehicle, responsible for supporting all operational loads; therefore, proper material selection is of utmost importance, particularly in energy-efficient vehicles where minimizing structural weight without compromising safety is a key design objective. This study aims to analyze the stress distribution and deflection of a tubular energy-efficient vehicle chassis through finite element method (FEM) simulation using SolidWorks 2020, by testing eight material variations: AISI 1020 Steel, AISI 4130 Steel, ASTM A36 Steel, Aluminium 6061-T6, Aluminium 7075-T6, CFRP 1, CFRP 2, and Titanium Ti6Al4V. The applied loads include a driver weight of 58 kg, vehicle component weight, and gravitational force, with fixed support conditions at all four wheel points. Simulation results show that the maximum von Mises stress ranges from 39.27 MPa to 43.81 MPa, well below the yield strength of all tested materials, with the highest stress concentration consistently occurring at the rear tubular joints and driver frame connections. Maximum deflection ranges from 0.439 mm (AISI 4130 Steel) to 1.205 mm (Aluminium 6061-T6), while the factor of safety ranges from 5.71 to 21.07, confirming that all materials satisfy static safety criteria. Trade-off analysis reveals that CFRP 1 excels in mass efficiency with a reduction of up to 81.9% compared to the reference steel, while Aluminium 6061-T6 emerges as the most balanced overall choice, offering a 65.8% mass reduction while maintaining an adequate safety factor and significantly better fabrication feasibility compared to CFRP.

Keywords: 3d energy-efficient vehicle; finite element method; von mises stress

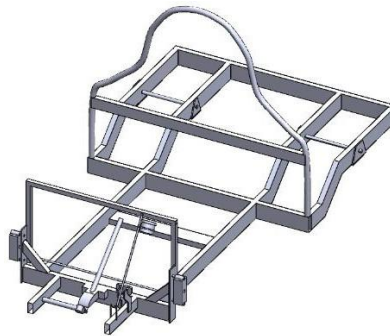
1. Pendahuluan

Ketergantungan global pada bahan bakar fosil semakin mengkhawatirkan, dengan sektor transportasi menjadi kontributor emisi gas rumah kaca terbesar yaitu sepertiga emisi global, di mana transportasi darat menyumbang seperenamnya. Kondisi ini mendorong inovasi kendaraan efisien, seperti yang diwadahi Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) di Indonesia [1]. Dalam rancang bangun, berat kendaraan merupakan musuh utama efisiensi karena meningkatkan hambatan gulung dan beban inersia. Strategi *lightweighting* pada sasis yang menahan seluruh beban komponen dan pengemudi—menjadi kunci, mengingat sasis harus memiliki keseimbangan kekakuan, kekuatan, dan ketahanan [2].

Namun, material konvensional seperti baja *mild steel* berat, sementara aluminium dan komposit serat karbon menawarkan bobot ringan namun perilaku mekaniknya berbeda. Keterbatasan prototipe fisik mendorong pemanfaatan *Computer-Aided Engineering* (CAE) dengan SolidWorks untuk simulasi elemen hingga guna memprediksi tegangan dan defleksi sebelum produksi. Penelitian ini menguji delapan variasi material mulai dari baja tingkat tinggi, paduan aluminium, hingga komposit untuk menganalisis respons terhadap beban statis, dengan tujuan menentukan material optimal yang memangkas massa sasis demi performa terbaik pada mobil hemat energi.

2. Metode Penelitian

Objek penelitian adalah sasis tipe tubular dari mobil hemat energi Gentayu yang dikembangkan di Universitas Diponegoro. Sasis ini dirancang untuk kompetisi KMHE kategori urban concept. Pemodelan 3D sasis dilakukan menggunakan software CAD SolidWorks 2020. Sasis terdiri dari susunan pipa tubular dengan diameter dan ketebalan dinding yang bervariasi, membentuk struktur tiga dimensi yang menopang pengemudi dan komponen kendaraan. Adapun hasil pemodelan dari struktur rangka mobil hemat energi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sasis Mobil Hemat Energi

Delapan material dipilih untuk mewakili tiga kelompok: baja konvensional, paduan aluminium ringan, dan material maju (CFRP dan Titanium). Pemilihan ini bertujuan untuk memberikan perbandingan yang komprehensif antara kelompok material yang berbeda secara signifikan dalam hal densitas, kekuatan, dan kekakuan. Properti mekanik masing-masing material diperoleh dari database SolidWorks dan referensi standar material [5,6].

Simulasi statis linear diterapkan dengan kondisi pembebanan yang merepresentasikan kondisi operasional normal kendaraan. Beban yang diterapkan meliputi berat pengemudi sebesar 58 kg (569 N) yang diaplikasikan pada titik-titik dudukan pengemudi, berat komponen kendaraan yang didistribusikan pada titik-titik dudukan yang sesuai, serta gaya gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$ yang bekerja pada seluruh struktur. Kondisi tumpuan menggunakan fixed support pada keempat titik kontak roda, yang berarti perpindahan dan rotasi pada titik tersebut bernilai nol. Pendekatan pembebanan ini mengacu pada metode yang digunakan oleh Setiyana dkk. [4] dengan beban statis normal yang mencakup komponen driver, bodi, dan engine.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pola Distribusi Tegangan

Hasil simulasi pada seluruh delapan material menunjukkan pola distribusi tegangan yang serupa. Hal ini membuktikan bahwa geometri sasis dan konfigurasi pembebanan merupakan faktor dominan yang menentukan lokasi tegangan maksimum, sementara material menentukan besarnya nilai tegangan tersebut. Konsentrasi tegangan tertinggi secara konsisten teridentifikasi pada tiga lokasi utama: (1) area sambungan tubular bagian belakang sasis di sekitar titik tumpuan roda belakang; (2) sambungan rangka penopang pengemudi pada bagian tengah belakang; dan (3) area transisi antara rangka utama dan subframe bagian belakang.

Fenomena ini dapat dijelaskan melalui prinsip mekanika teknik. Sasis tubular memiliki konfigurasi kantilever di bagian belakang, sehingga beban pengemudi dan komponen yang bekerja pada jarak tertentu dari tumpuan menghasilkan momen lentur maksimum di area yang paling dekat dengan tumpuan. Nilai tegangan von Mises maksimum dari seluruh variasi material disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil simulasi tegangan von Mises, displacement, dan faktor keamanan pada variasi material

Material	Tegangan von Mises Maks. (MPa)	Displacement Maks. (mm)	Faktor Keamanan
AISI 1020 Steel	43,71	0,450	8,04
AISI 4130 Steel	43,70	0,439	10,53
ASTM A36 Steel	43,81	0,451	5,71

Aluminium 6061-T6	40,40	1,205	6,81
Aluminium 7075-T6	41,49	0,838	12,17
CFRP 1	39,81	0,639	7,54
CFRP 2	39,81	0,639	7,54
Titanium Ti6Al4V	39,27	0,642	21,07

Nilai tegangan yang terhitung berada pada rentang 39–44 MPa, sangat kecil dibandingkan kekuatan luluh material terendah sekalipun (ASTM A36 dengan 250 MPa). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan terhadap sasis urban concept oleh Setiyana dkk. [4], di mana tegangan operasional yang jauh di bawah batas luluh material mengindikasikan potensi optimasi dimensi yang besar. Material baja menghasilkan tegangan sedikit lebih tinggi (43–44 MPa) dibandingkan material non-baja (39–42 MPa), konsisten dengan perbedaan modulus elastisitas yang mempengaruhi distribusi tegangan pada struktur.

3.2 Perbandingan Defleksi Maksimum

Defleksi adalah parameter kunci untuk menilai kekakuan sasis. Pada kendaraan, defleksi yang berlebihan dapat mengubah geometri suspensi (bump steer) dan menurunkan stabilitas pengendalian. Hierarki kekakuan yang dihasilkan konsisten dengan nilai Modulus Elastisitas (E) masing-masing material: baja memiliki modulus ~200 GPa dengan defleksi terkecil (0,439–0,451 mm), CFRP dan Titanium dengan modulus ~105–135 GPa berada di posisi menengah (0,639–0,642 mm), sementara aluminium dengan modulus ~70 GPa menghasilkan defleksi terbesar (0,838–1,205 mm).

Yang menarik adalah performa CFRP: meskipun modulus elastisitasnya hanya sekitar dua pertiga dari baja, defleksinya hanya 0,639 mm. Ini membuktikan efisiensi kekakuan spesifik CFRP yang sangat tinggi, di mana kekakuan per satuan massa jauh lebih unggul. Defleksi Aluminium 6061-T6 yang mencapai 1,205 mm memang paling besar, namun nilai ini masih tergolong kecil dan tidak akan mengganggu fungsi kendaraan secara signifikan [9,10].

3.3 Perbandingan Faktor Keamanan

Faktor keamanan (FoS) dihitung sebagai rasio antara kekuatan luluh material terhadap tegangan von Mises maksimum yang terjadi. Seluruh material menghasilkan FoS di atas 5, yang berarti semua material memenuhi kriteria keamanan statis dengan margin yang besar. Standar industri otomotif untuk komponen struktur statis pada kendaraan kompetisi umumnya mensyaratkan FoS antara 1,5 hingga 3,0, tergantung pada beban dinamis yang mungkin terjadi.

Nilai FoS yang tinggi (5,71 hingga 21,07) mengindikasikan bahwa desain sasis saat ini terlalu kuat secara berlebihan untuk beban statis yang diberikan. Material ASTM A36 memiliki FoS 5,71 yang paling mendekati rentang efisien, sedangkan Titanium Ti6Al4V memiliki FoS tertinggi (21,07) namun justru menunjukkan inefisiensi karena potensi material tidak dimanfaatkan [4,11]. Ini mengindikasikan adanya ruang optimasi dimensi lebih lanjut pada seluruh material.

3.4 Perbandingan Massa Sasis

Inti dari penelitian ini adalah efisiensi massa. Massa sasis dihitung berdasarkan volume geometri sasis yang tetap (2.998.667,84 mm³) dikalikan densitas masing-masing material, dengan AISI 1020 Steel sebagai referensi. Hasil perbandingan massa disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan massa sasis antar variasi material

Material	Densitas (g/cm ³)	Massa Sasis (kg)	Pengurangan Massa (%)
AISI 1020 Steel	7,90	23,69	Referensi
AISI 4130 Steel	7,85	23,54	0,63%
ASTM A36 Steel	7,85	23,54	0,63%
Aluminium 6061-T6	2,70	8,10	65,80%
Aluminium 7075-T6	2,81	8,43	64,40%
CFRP 1	1,43	4,29	81,90%
CFRP 2	1,65	4,95	79,10%
Titanium Ti6Al4V	4,43	13,28	43,95%

Hasil menunjukkan disparitas massa yang ekstrem antar kelompok material. Pergantian dari baja konvensional ke aluminium menghasilkan pengurangan massa hingga 65,8% (Al 6061-T6) dan 64,4% (Al 7075-T6). Penggunaan CFRP menawarkan potensi pengurangan massa hingga 81,9% (CFRP 1). Temuan ini sangat konsisten dengan penelitian sebelumnya: Setiyana dkk. [4] berhasil mereduksi berat rangka baja sebesar 30,76% melalui modifikasi geometri, sementara penelitian ini menunjukkan bahwa penggantian material ke aluminium atau CFRP mampu memberikan pengurangan yang jauh lebih signifikan.

3.5 Seleksi Material Optimal (*Trade-Off Analysis*)

Seleksi material optimal dilakukan dengan pendekatan analisis trade-off yang mempertimbangkan tiga kriteria utama: efisiensi massa (lightweighting), kekakuan struktur (defleksi), dan keamanan (FoS). Tidak ada material yang unggul di semua aspek secara bersamaan, sehingga pemilihan material bergantung pada prioritas desain.

Untuk prioritas efisiensi massa ekstrem (target kompetisi), CFRP 1 adalah pilihan terbaik dengan massa hanya 4,29 kg dan pengurangan 81,9% dari baja referensi. Namun, kompleksitas manufaktur dan biaya yang sangat tinggi menjadi kendala signifikan. Untuk rekomendasi utama yang paling realistis, Aluminium 6061-T6 adalah pilihan paling seimbang: pengurangan massa 65,8% (dari 23,69 kg menjadi 8,10 kg), FoS yang cukup aman (6,81), mudah dilas dan difabrikasi, serta biaya yang jauh lebih terjangkau dibandingkan CFRP atau Titanium [12,13].

Apabila anggaran terbatas dan prioritas pada kekakuan struktur, ASTM A36 tetap menjadi pilihan valid karena defleksinya paling kecil, harganya paling murah, dan FoS-nya (5,71) paling mendekati rentang efisien meskipun bobotnya berat. Disarankan pula untuk melakukan optimasi dimensi lebih lanjut pada desain sasis, seperti mengurangi ketebalan dinding pipa dari 2 mm menjadi 1,2–1,5 mm, untuk menurunkan FoS mendekati 2,5–3,0 sehingga efisiensi massa dapat ditingkatkan lebih jauh [4].

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan berikut:

- (1) Titik kritis tegangan tertinggi secara konsisten terjadi pada sambungan tubular bagian belakang sasis, sambungan rangka penopang pengemudi, dan area transisi rangka utama ke subframe belakang. Nilai tegangan von Mises maksimum berkisar 39,27–43,81 MPa, sedangkan defleksi maksimum berkisar 0,439–1,205 mm, seluruhnya jauh di bawah kekuatan luluh material sehingga desain sasis dinyatakan aman.
- (2) Variasi material berpengaruh signifikan terhadap defleksi dan faktor keamanan. Seluruh delapan material menghasilkan FoS di atas 5, memenuhi kriteria keamanan statis. Material baja memiliki defleksi terkecil, aluminium defleksi terbesar, sedangkan CFRP menawarkan defleksi menengah dengan massa jauh lebih ringan.
- (3) CFRP 1 merupakan material paling unggul dalam efisiensi massa dengan pengurangan hingga 81,9%. Namun, Aluminium 6061-T6 adalah rekomendasi paling optimal secara keseluruhan karena menawarkan kombinasi terbaik antara pengurangan massa (65,8%), faktor keamanan yang memadai (6,81), dan kemudahan fabrikasi untuk aplikasi nyata mobil hemat energi.

5. Daftar Pustaka

- [1] Annisa, A., Arief, B. (2024). Tantangan dan Peluang Dekarbonisasi Transportasi Angkutan Barang di Indonesia. Prosiding koNTekS Ke-18 Kupang, hal. 1-7.
- [2] Ledi, S.A.P., Utama, F.Y., Widoretno, Y.S., Wulandari, D., 2024, "Analisis Pembebanan Statis Chassis Ladder Frame pada Mobil Hemat Energi Tipe Urban GARNESA," Jurnal Rekayasa Mesin, Vol. 9, No. 1, hal. 277–283.
- [3] Purnawan, G., Mufarida, N.A., Kosjoko, K., Nurhalim, N., 2025, "Desain dan Analisis Pengujian Statik pada Chassis Mobil Golf Menggunakan Software Solidworks 2020," Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy (JAMERE), Vol. 5, No. 2, hal. 77–82.
- [4] Setiyana, B., Sugiyanto, Kurniawan, R., 2021, "Analisis dan Modifikasi Rangka Mobil Antawirya Menggunakan Metode Elemen Hingga," ROTASI, Vol. 23, No. 2, hal. 50–56.
- [5] Callister, W.D., Rethwisch, D.G., 2018, Materials Science and Engineering: An Introduction, 10th Edition, John Wiley & Sons, Hoboken.
- [6] Dassault Systemes, 2023, SolidWorks Simulation User Guide, Dassault Systemes SolidWorks Corporation.
- [7] Moaveni, S., 2015, Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS, 4th Edition, Pearson Education, Harlow.
- [8] Beer, F.P., Johnston, E.R., DeWolf, J.T., Mazurek, D.F., 2012, Mechanics of Materials, 6th Edition, McGraw-Hill Education, New York.
- [9] Hibbeler, R.C., 2023, Mechanics of Materials, Eleventh Edition in SI Units, Pearson Education Limited, Harlow.
- [10] Zamzam, O., Ramzy, A.A., Abdelaziz, M., Elnady, T., Abd El-Wahab, A.A., 2025, "Structural Performance Evaluation of Electric Vehicle Chassis under Static and Dynamic Loads," Scientific Reports, Vol. 15, Article 5312.
- [11] Dondapati, R.S., Siddhartha, L., Bukkacherla, P.K.R., Singh, G., Naidu, S.D., 2024, "Factor of Safety Analysis on the Automotive Chassis using Finite Element Method under Various Loading Conditions," Educational Administration: Theory and Practice, Vol. 30, No. 1, hal. 5819–5824.
- [12] Agarwal, A., Mthembu, L., 2022, "Structural Analysis and Optimization of Heavy Vehicle Chassis Using Aluminium P100/6061 Al and Al GA 7-230 MMC," Processes, Vol. 10, No. 2, Article 320.
- [13] Ashby, M.F., 2021, Materials Selection in Mechanical Design, 6th Edition, Butterworth-Heinemann/Elsevier.