

ANALISIS STRUKTUR PADA DESAIN *CHASSIS* MOBIL LISTRIK RODA TIGA MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Ebiet Bayu Kurniawan

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: ebietbayu.21059@mhs.unesa.ac.id

A. Grummy Wailanduw

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: grummywailanduw@unesa.ac.id

Abstrak

Chassis memiliki peran yang sangat penting karena menjadi struktur utama tempat seluruh komponen penunjang kestabilan dipasang. *Chassis* yang baik harus memiliki kekakuan dan kekuatan yang memadai untuk menopang seluruh bagian kendaraan beserta penumpangnya dalam berbagai kondisi pembebanan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *chassis* mobil listrik roda tiga dengan mempertimbangkan keseimbangan antara efisiensi material dan nilai *safety factor*. Metode perancangan dilakukan melalui pendekatan simulasi berbasis *Finite Element Analysis* (FEA), dengan mempertimbangkan tiga kondisi pembebanan utama, yaitu beban vertikal, beban lateral (saat berbelok), dan beban akibat pengereman. Dua variasi ketebalan material, yaitu 2 mm, dan 2,5 mm dianalisis untuk mengevaluasi distribusi tegangan, deformasi, dan nilai *safety factor* pada setiap kondisi pembebanan. Perancangan geometri dilakukan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor Professional 2024, sedangkan simulasi pembebanan dilakukan menggunakan Ansys Workbench 2024 R2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketebalan material sebesar 2,5 mm mampu memenuhi kriteria efisiensi material serta mencapai nilai *safety factor* minimum yang telah ditetapkan, sehingga dinilai layak untuk digunakan dalam desain akhir. Ketebalan 2,5 mm memberikan keuntungan tambahan berupa pengurangan bobot kendaraan, yang berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi energi dan performa kendaraan tanpa mengorbankan kekuatan struktur dan keselamatan pengguna.

Kata Kunci: Mobil listrik roda tiga, *Chassis*, *Finite Element Analysis*, Simulasi beban.

Abstract

The chassis plays a crucial role as the main structural element where all components affecting stability are mounted. A well-designed chassis must possess adequate stiffness and strength to support the entire vehicle and its occupants under various loading conditions. This study aims to design a three-wheeled electric vehicle chassis by considering a balance between material efficiency and safety factor. The design method employs a simulation-based approach using *Finite Element Analysis* (FEA), taking into account three primary loading conditions: vertical loads, lateral loads (during turning), and braking loads. Two variations of material thickness 2 mm, and 2.5 mm are analyzed to evaluate stress distribution, deformation, and safety factor under each loading scenario. The chassis geometry is designed using Autodesk Inventor Professional 2024, while the loading simulations are conducted using Ansys Workbench 2024 R2. Simulation results indicate that a material thickness of 2.5 mm satisfies the criteria for material efficiency and meets the minimum required safety factor, making it suitable for final design implementation. Additionally, the use of 2.5 mm thickness offers the advantage of reduced vehicle weight, contributing to improved energy efficiency and overall vehicle performance, without compromising structural integrity and user safety.

Keywords: Three-wheeled electric vehicle, *Chassis*, *Finite Element Analysis*, Load simulation.

Universitas Negeri Surabaya

PENDAHULUAN

Mobilitas merupakan aspek vital dalam kehidupan sehari-hari, memungkinkan individu untuk mengakses pendidikan, pekerjaan, layanan kesehatan, dan aktivitas sosial. Namun, bagi penyandang disabilitas, keterbatasan fisik serta minimnya kendaraan dan infrastruktur transportasi yang inklusif sering menjadi hambatan utama dalam mencapai kemandirian. Mobil listrik roda tiga memiliki potensi besar untuk memenuhi kebutuhan mobilitas penyandang disabilitas, seiring dengan berkembangnya tren kendaraan listrik di Indonesia yang membuka peluang baru untuk menciptakan solusi mobilitas

yang lebih inklusif. Mobil listrik juga memiliki tingkat efisiensi yang tinggi hingga 96% dibandingkan dengan mesin pembakaran internal yang memiliki efisiensi sebesar 35–40% (Leelakar et al., 2021).

Performa sebuah mobil listrik roda tiga sangat dipengaruhi oleh keharmonisan kerja antara sistem motor listrik, transmisi, suspensi, dan sistem pengereman. Seluruh komponen tersebut terintegrasi pada *chassis*, yang berfungsi sebagai kerangka utama untuk menopang, menghubungkan, dan menjaga kestabilan keseluruhan struktur kendaraan. *Chassis* tidak hanya harus memiliki kekuatan dan kekakuan yang memadai untuk menopang

beban kendaraan, tetapi juga harus dirancang seefisien mungkin agar bobotnya ringan, sehingga konsumsi energi dapat diminimalkan.

Ketebalan pada sebuah material mempengaruhi kekakuan dalam sebuah rangka *chassis*. Kekakuan adalah kemampuan struktur untuk menahan deformasi di bawah beban tertentu sehingga meningkatkan resistansi terhadap pembengkokan. Dalam penelitian ini material yang digunakan adalah profil *hollow square* dengan bahan ST52-3 dievaluasi berdasarkan faktor keamanan, biaya, dan kemudahan pengelasan. Baja ST52-3 dianggap sebagai opsi paling ideal untuk pembebanan horizontal dan vertikal pada desain *chassis* roda tiga (Alvali et al., 2021).

Pengujian kekuatan dan kekakuan *chassis* kendaraan dapat dilakukan melalui dua metode, yaitu eksperimen dan simulasi. Pada metode simulasi, *chassis* diberikan beban statis maupun dinamis yang menggambarkan kondisi beban sebenarnya. Beban yang bekerja pada *chassis* mobil dikategorikan menjadi tiga jenis, yaitu beban vertikal, lateral/belok, dan beban yang dihasilkan dari pengereman (David A. Crolla 2009),

Metode simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) merupakan salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk menganalisis kekuatan dan ketahanan struktur pada kendaraan, selain metode eksperimental seperti uji statis dan uji jalan (Roziqin et al., 2021). Metode ini dianggap lebih efisien karena mampu memetakan distribusi tegangan, regangan, dan deformasi secara detail tanpa perlu membuat prototipe fisik, sehingga menghemat waktu dan biaya pengujian. Dengan menggunakan pembagian model menjadi elemen-elemen kecil, FEA memungkinkan simulasi perilaku struktur terhadap berbagai jenis beban secara numerik dan visual.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang *chassis* mobil listrik roda tiga yang tidak hanya ringan, tetapi juga memenuhi standar keamanan struktural yang dibutuhkan. Dengan menggunakan metode FEA, diharapkan desain yang dihasilkan dapat mendukung efisiensi energi sekaligus meningkatkan kenyamanan dan keselamatan bagi penyandang disabilitas sebagai pengguna utama.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan simulasi pembebanan dengan menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) dengan *software* Ansys 2024 R2.

Tempat dan Waktu Penelitian

- Lokasi penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di Lab. CAD Prodi Teknik Mesin UNESA.

- Waktu Penelitian

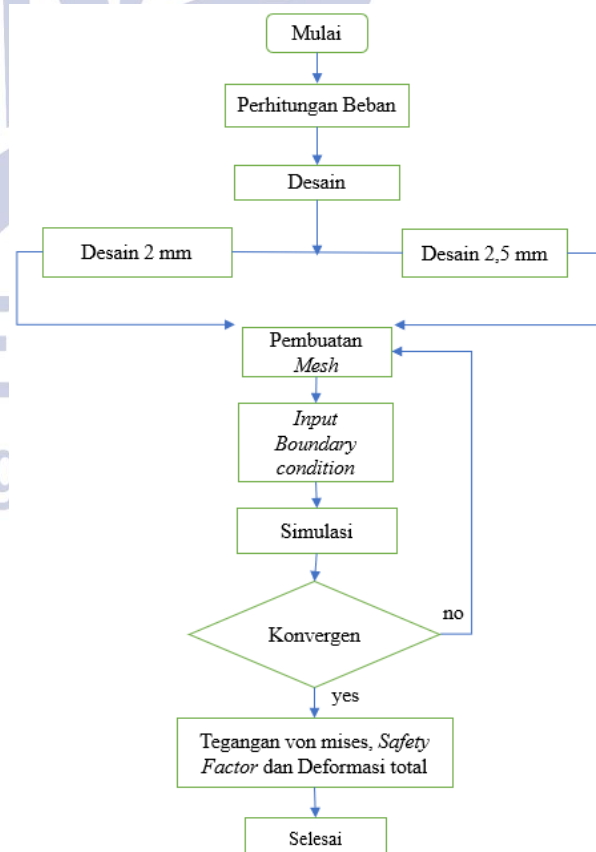
Penelitian ini dilakukan mulai dari tanggal 16 Desember 2024 – 17 April 2025.

Variabel Penelitian

- Variabel Bebas
 - Desain *chassis* mobil listrik roda tiga dengan variasi ketebalan profil yaitu 2 mm, dan 2,5 mm.
- Variabel Terikat
 - Variable terikat adalah tegangan *vonmises* pada *chassis*, deformasi total dan *safety factor* akibat pembebanan.
- Variabel Kontrol
 - Material ST52-3.
 - Panjang *chassis* 2.003 mm dan lebar *chassis* 1.200 mm.
 - *Global mesh* 50 mm.
 - *Local mesh* 10 mm.
 - Berat Komponen

<i>Chassis</i>	: 150 Kg
Motor	: 100 Kg
Baterai	: 80 Kg
Penumpang	: 100 Kg
<i>Drivertrain</i>	: 75 Kg

Flowchart Penelitian



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Pre-processing

Pre-processing merupakan tahap awal dalam proses pembuatan geometri dan analisis model menggunakan metode simulasi FEA. Beberapa sub-tahapan, antara lain

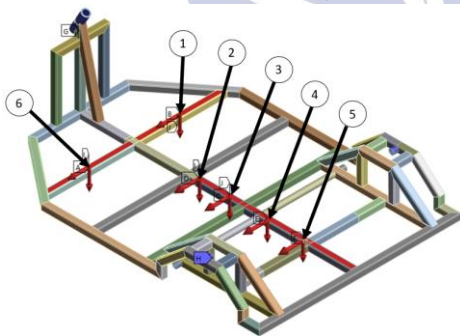
- Input *Material Properties*

Tabel 1. *Material Properties*

Properties	ST52-3
Density (Kg/mm ³)	7850
Yield Strength (MPa)	355
Ultimate Strength (MPa)	490
Poisson's Ratio	0,3
Young's Modulus (GPa)	210

- Pembuatan Geometri

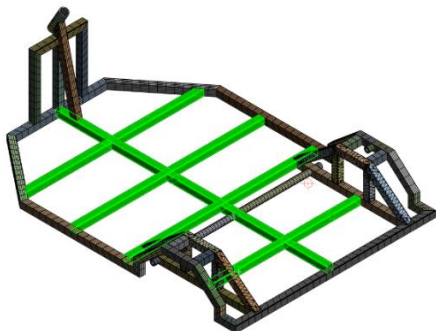
Pembuatan geometri menggunakan *software* Autodesk inventor 2024 dengan *tool* 3D *sketch*. Kemudian dilakukan *input* pada *tool frame generator* untuk pembuatan profil. Setelahnya dilakukan penentuan koordinat penempatan pembebanan dengan acuan *center of gravity*. (1 dan 6) baterai, (2) penumpang, (3) chassis, (4) motor, (5) drivertrain. Untuk mengantisipasi keadaan jalan yang ekstrim maka pembebanan hasil perhitungan harus dikalikan SF 1,75 (Brown J et al., 2002).



Gambar 2. Koordinat Penempatan Pembebanan

- *Meshing*

Mesh ideal memiliki *skewness* mendekati nol dan *aspect ratio* mendekati satu. *Skewness* tinggi dapat menurunkan akurasi simulasi, sedangkan *aspect ratio* rendah dapat menyebabkan ketidakstabilan data. Dalam analisis ini, ukuran mesh global 50 mm, dan *mesh local* (warna hijau) pada area konsentrasi beban 10 mm untuk menyeimbangkan akurasi dan waktu komputasi.



Gambar 3. *Meshing*

- *Solver Setting*

Solver setting mencakup beberapa parameter data yang ingin diketahui tegangan *von mises*, deformasi total dan *safety factor*.

Processing

Proses *solver* dalam Ansys adalah inti dari simulasi FEA, di mana Ansys menghitung respon struktur berdasarkan model elemen hingga (*mesh*), material, pembebanan, dan *boundary condition* yang telah ditentukan.

Post-processing

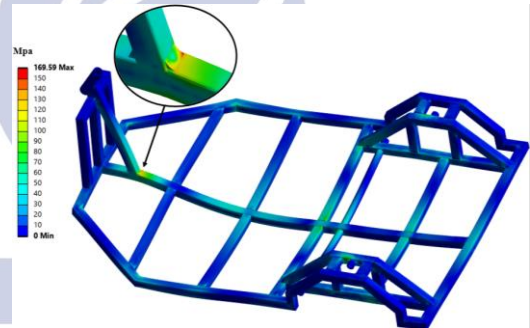
Hasil dari *solver* divisualisasikan dalam bentuk:

- Kontur warna untuk tegangan dan deformasi
- Grafik atau tabel untuk respons struktur
- Nilai faktor keamanan

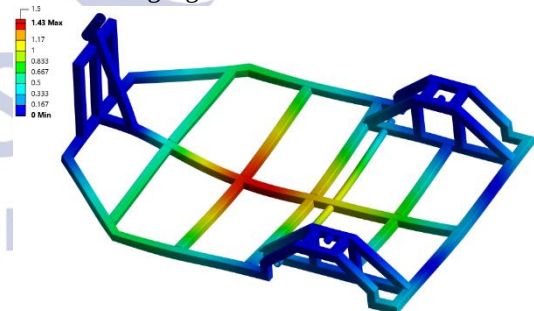
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi Pembebanan Vertikal

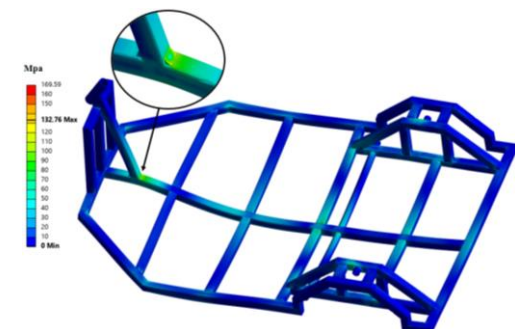
Berikut ini adalah hasil simulasi pembebanan vertikal dari variasi ketebalan 2 mm dan 2,5 mm.



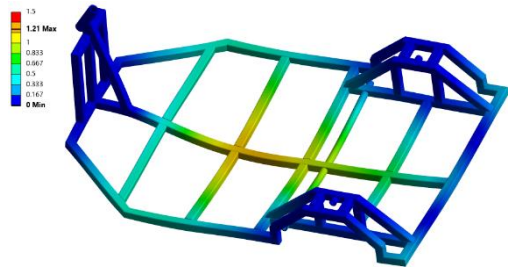
Gambar 4. Tegangan von mises vertikal tebal 2 mm



Gambar 5. Total deformasi vertikal tebal 2 mm



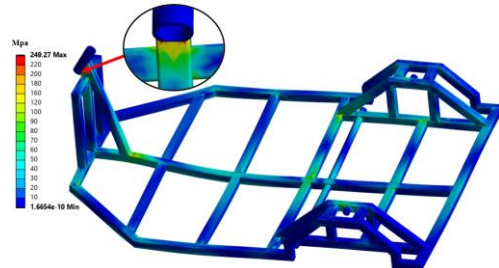
Gambar 6. Tegangan von mises vertikal tebal 2,5 mm



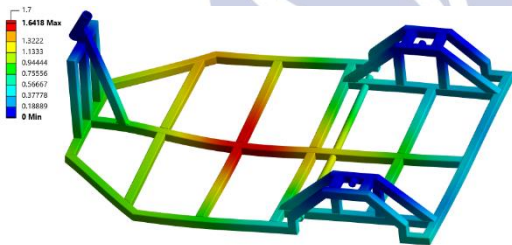
Gambar 7. Total deformasi vertikal tebal 2,5 mm

Hasil Simulasi Pembebanan Belok

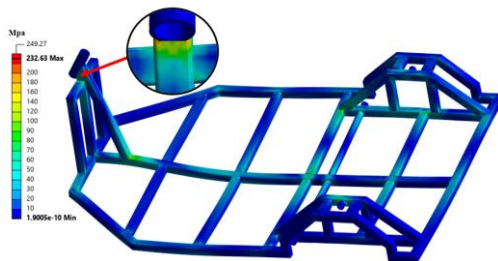
Berikut ini adalah hasil simulasi pembebanan belok dari variasi ketebalan 2 mm dan 2,5 mm.



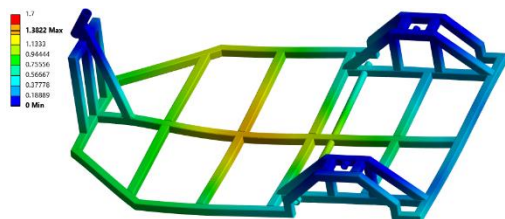
Gambar 8. Tegangan von mises belok tebal 2 mm



Gambar 9. Total deformasi belok tebal 2 mm



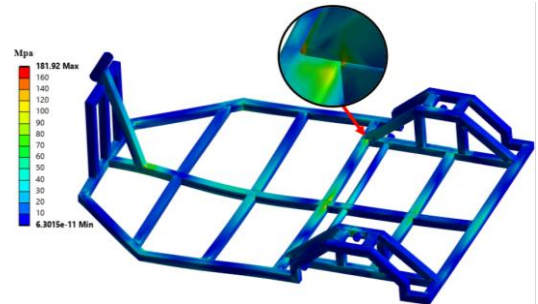
Gambar 10. Tegangan von mises belok tebal 2,5 mm



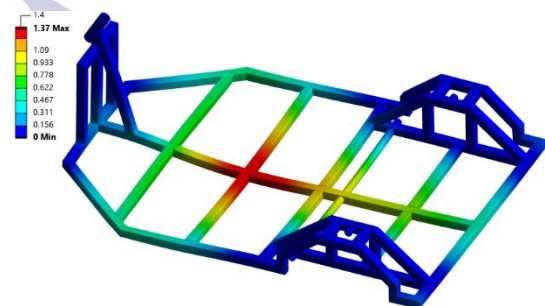
Gambar 11. Total deformasi belok tebal 2,5 mm

Hasil Simulasi Pembebanan Pengereman

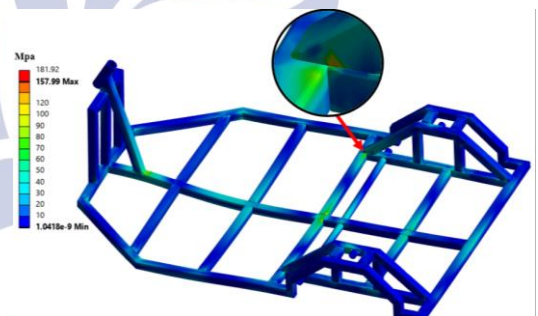
Berikut ini adalah hasil simulasi pembebanan pengereman dari variasi ketebalan 2 mm dan 2,5 mm.



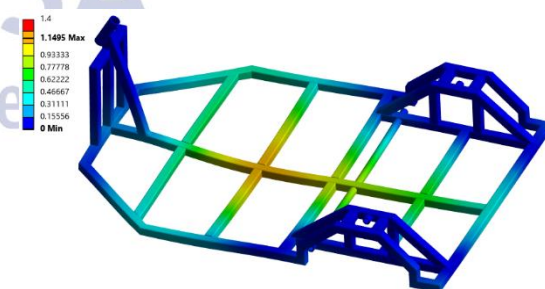
Gambar 12. Tegangan von mises rem tebal 2 mm



Gambar 13. Total deformasi rem tebal 2 mm



Gambar 14. Tegangan von mises rem tebal 2,5 mm



Gambar 15. Total deformasi rem tebal 2,5 mm

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa kedua desain chassis menunjukkan kontur warna tegangan von mises yang berbeda, yang mengindikasikan adanya perbedaan distribusi tegangan akibat variasi ketebalan material. Desain dengan ketebalan 2,5 mm cenderung mendistribusikan beban secara lebih merata, terlihat dari

penyebaran warna biru hingga hijau pada sebagian besar area struktur. Sebaliknya, pada desain dengan ketebalan 2 mm, terdapat area dengan konsentrasi tegangan yang lebih tinggi (ditandai dengan warna kuning hingga merah), yang menunjukkan potensi titik lemah atau konsentrasi beban.

Nilai minimum *safety factor* untuk *chassis* kendaraan harian umumnya sebesar 1,5 (Lackie dan Bello, 2009). Dengan *yield strength* material ST52-3 sebesar 355 MPa, hasil simulasi menunjukkan bahwa baik desain dengan ketebalan 2 mm maupun 2,5 mm masih tergolong aman terhadap pembebanan vertikal dan pengereman, karena nilai *safety factor* yang diperoleh masih berada di atas 1,5. Namun, pada kondisi pembebanan belok, desain dengan ketebalan 2 mm tidak memenuhi batas minimum *safety factor* tersebut, sehingga dinyatakan tidak aman.

Pola kontur deformasi total memiliki kecenderungan yang sama dengan kontur tegangan von mises, di mana area dengan perpindahan tinggi ditandai oleh warna kuning hingga merah. Salah satu syarat kekakuan pada *chassis* mobil adalah bahwa perpindahan relatif di setiap titik sudut tidak boleh melebihi 0,0042 kali panjang batang (Lackie dan Bello, 2009). Berdasarkan hasil simulasi, seluruh desain menunjukkan nilai perpindahan total yang masih berada di bawah batas maksimal, yaitu kurang dari 8,41 mm (dari panjang kendaraan) dan 5,04 mm (dari lebar kendaraan). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa deformasi total pada semua desain tidak melebihi batas yang ditentukan dan masih berada dalam kategori aman.

Tabel 2. Hasil Simulasi Pembebanan Vertikal

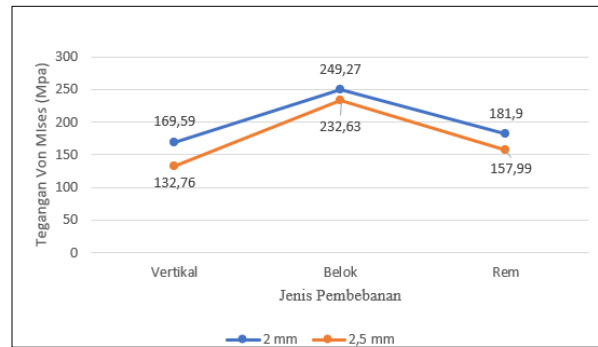
Tebal (mm)	σ (MPa)	δ total (mm)	Sf
2	169,59	1,43	2.09
2,5	132,76	1,21	2.67

Tabel 3. Hasil Simulasi Pembebanan Belok

Tebal (mm)	σ (MPa)	δ total (mm)	Sf
2	249,27	1,64	1.42
2,5	232,63	1,38	1.52

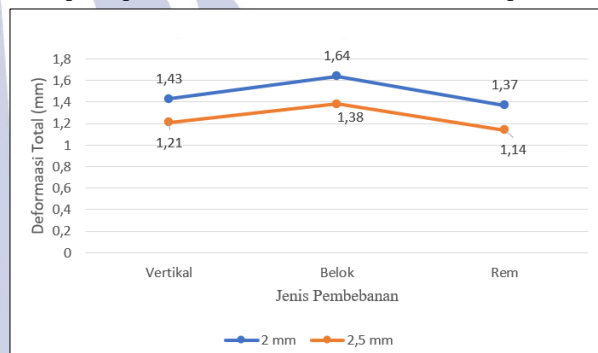
Tabel 4. Hasil Simulasi Pembebanan Pengereman

Tebal (mm)	σ (MPa)	δ total (mm)	Sf
2	181,9	1,37	1.95
2,5	157,99	1,14	2.25



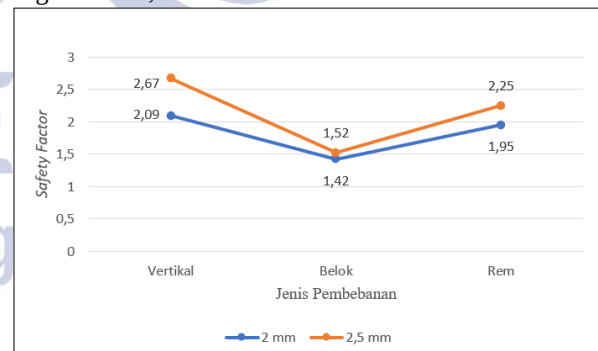
Gambar 16. Diagram tegangan von mises vs Ketebalan

Tegangan Von Mises adalah kriteria kegagalan material yang digunakan untuk menentukan apakah suatu material akan mengalami *yield* (luluh) atau tidak ketika dikenai kombinasi beban dari berbagai arah. Dari hasil simulasi tegangan von mises tertinggi dialami oleh desain 2 mm pada pembebanan belok sebesar 249,27 Mpa.



Gambar 17. Deformasi total vs Ketebalan

Deformasi total menunjukkan seberapa besar perpindahan (*displacement*) suatu titik atau elemen pada model akibat beban yang diterapkan. Deformasi total terbesar dialami oleh desain 2 mm pada pembebanan belok dengan nilai 1,64 mm.


Gambar 18. *Safety factor* vs Ketebalan

Safety factor adalah indikator berapa kali lebih kuat suatu komponen dibandingkan beban kerja maksimum yang dialaminya. *Safety factor* tertinggi dimiliki oleh desain 2,5 mm pada pembebanan vertika dengan nilai 2,67.

Simpulan

- Perbedaan tegangan von mises yang diperoleh pada desain 2 mm dan 2,5 mm menunjukan perbedaan ketebalan 0,5 mm memiliki dampak yang signifikan terhadap distribusi tegangan pada struktur *chassis*. Hal ini menunjukkan bahwa ketebalan material memainkan peran penting dalam menentukan performa struktur terhadap beban kerja. Berdasarkan analisis faktor keamanan, hanya desain yang memenuhi nilai minimum pada semua jenis pembebanan yang layak dipilih. Namun, desain dengan ketebalan 2 mm tidak memenuhi kriteria keselamatan pada pembebanan belok, sehingga desain 2,5 mm dapat menjadi pilihan.
- Hasil analisis deformasi total menunjukkan bahwa perbedaan ketebalan sebesar 0,5 mm pada desain *chassis* memberikan pengaruh terhadap tingkat deformasi dengan rata-rata 0,236 mm, di mana *chassis* dengan ketebalan lebih tinggi mengalami deformasi yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan material berbanding lurus dengan penurunan tegangan dan deformasi, serta peningkatan faktor keamanan. Oleh karena itu, *chassis* dengan ketebalan 2,5 mm dapat direkomendasikan karena memenuhi kriteria kekakuan dan tidak melebihi batas maksimum deformasi.

Saran

Dari simulasi yang telah dilakukan, beberapa saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- Ukuran dan kualitas *mesh* mempengaruhi ketelitian distribusi tegangan dan deformasi pada struktur *chassis*. Pemilihan *mesh* yang tepat akan membantu menghasilkan prediksi tegangan dan deformasi yang lebih realistis, serta menghindari kesalahan analisis akibat penggunaan *mesh* yang terlalu kasar atau berlebihan.
- Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar dilakukan analisis kelelahan (*fatigue analysis*) untuk memprediksi seberapa lama *chassis* dapat digunakan sebelum mengalami kegagalan, mengingat struktur *chassis* akan mengalami beban berulang yang berpotensi menyebabkan kerusakan akibat kelelahan material.

DAFTAR PUSTAKA

Alvali, G. T., Balbay, A., Sisman, T., & Gunes, S. (2021). Selection of Electric Vehicle Chassis Material Using Multi-Criteria Decision Making Techniques. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 9(4), 573–588.
<https://doi.org/10.29109/gujsc.971387>

- Brown J. C., Robertson A. J., & Serpento S.T. (2002). *Motor Vehicle Structures: Concepts and Fundamentals*. Butterworth-Heinemann Avenue, Woburn. MA 01801-2041 A division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd
- David A. Crolla. (2009). *Powertrain, Chassis System And Vehicle Body*. United States of America : Elsevier
- Roziqin, A., Kriswanto, & Aryadi, W. (2021). Finite element analysis of village car pickup ladder frame chassis-a case study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 700(1).
<https://doi.org/10.1088/17551315/700/1/012008>
- Lackie, Frederick A. & Bello, Dominie J. Dal. (2009). *Strength and Stiffness of Engineering System*. United States of America: Springer.
- Leelakar K., Navin Kumar B., & Arul K. (2021). A review on design analysis and fabrication of body framing and chassis developing of electrical ATV. *Materials Today: Proceedings*, 51(xxxx), 1030–1034.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.082>