



UNIVERSITAS NEGERI PADANG

“Alam Takambang Jadi Guru”

TUGAS AKHIR – MSN1.62.8004

ANALISIS KEKUATAN DAN DEFORMASI RANGKA *TUBULAR SPACE FRAME* MOBIL LISTRIK MEGATHRUST ELECTRIC DENGAN VARIASI DIMENSI SERTA MATERIAL MENGGUNAKAN METODE *FINITE ELEMENT ANALYSIS* (FEA)

Adityo

NIM. 21338003

Dosen Pembimbing

Wanda Afnison, S.pd., M.T

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Padang

2025

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

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

Nama : Adityo

NIM : 21338003

Tahun Masuk : 2021

Program Studi : S1 Teknik Mesin

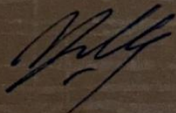
Departemen : Teknik Mesin

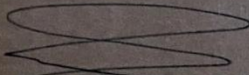
Fakultas : Teknik

Padang, 06 Oktober 2025

Koordinator Program Studi
S1 Teknik Mesin

Dosen Pembimbing


Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197607062003121001


Wanda Afmison, S.pd., M.T.
NIP. 198904092022031008

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Dinyatakan lulus setelah mempertahankan tugas akhir di depan tim penguji
Program Studi S1 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin, Fakultas
Teknik, Universitas Negeri Padang

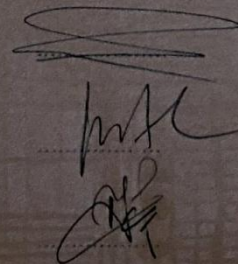
Judul : Analisis Kekuatan dan Deformasi Rangka *Tubular Space Frame* Mobil Listrik Megathrust Electric dengan Variasi Dimensi Serta Material Menggunakan Metode *Finite Element Analysis* (FEA)
Nama : Adityo
NIM : 21338003
Tahun Masuk : 2021
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknik

Padang, 31 Oktober 2025

Tim Penguji

Nama

1. Ketua : Wanda Afrison, S.Pd., M.T.
2. Anggota : Dr. Waskito, M.T.
3. Anggota : Delima Yanti Sari, S.T., M.T., Ph.D.



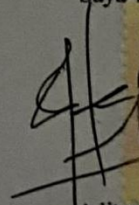
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulisan saya, tugas akhir dengan judul “Analisis Kekuatan dan Deformasi Rangka *Tubular Space Frame* Mobil Listrik Megathrust Electric dengan Variasi Dimensi Serta Material Menggunakan Metode *Finite Element Analysis* (FEA)” adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas Negeri Padang, maupun di Perguruan Tinggi Lainnya.
2. Karya tulis ini murni hasil gagasan, rumusan, dan penilaian saya sendiri, tanpa bantuan tidak sah dari pihak lain, kecuali arahan dari tim pembimbing dan penguji.
3. Di dalam karya tulis ini tidak terdapat hasil karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali dikutip secara tertulis dengan jelas dan dicantumkan pada daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh tanpa ada paksaan dari pihak lain dan apa bila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dari tulisan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik, berupa pencabutan gelar yang telah saya peroleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, 31 Oktober 2025

Saya yang menandatangani,


Adityo
NIM. 21338003



ABSTRAK

Adityo, 2025. Analisis Kekuatan dan Deformasi Rangka *Tubular Space Frame* Mobil Listrik Megathrust Electric dengan Variasi Dimensi Serta Material Menggunakan Metode *Finite Element Analysis* (FEA). Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Perkembangan kendaraan listrik menuntut desain rangka yang tidak hanya kokoh, tetapi juga ringan, agar mampu mendukung efisiensi energi dan performa dinamis. Dalam implementasi sebelumnya, rangka mobil listrik Megathrust Electric menggunakan material ASTM A36 dengan dimensi pipa 31×2 mm. Material ini cukup kuat, tetapi memiliki massa jenis tinggi sehingga menghasilkan bobot *chassis* mencapai 32 kg. Berat berlebih tersebut menjadi tantangan signifikan karena berdampak pada peningkatan konsumsi daya, penurunan akselerasi, serta berkurangnya efisiensi jelajah terutama dalam ajang kompetisi seperti Kompetisi Mobil Listrik Indonesia (KMLI) yang menekankan efisiensi dan performa dinamis. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis kekuatan rangka *tubular space frame* Megathrust Electric dengan material alternatif Aluminium Alloy 6061 dan 6063, serta variasi diameter luar 19,05 mm dan 25,4 mm dengan ketebalan 2,0 mm dan 2,5 mm. Analisis dilakukan menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) pada perangkat lunak SolidWorks untuk menilai respon rangka terhadap pembebanan statis dan dinamis, meliputi akselerasi, deselerasi, dan gaya sentrifugal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan aluminium alloy mampu menurunkan bobot rangka secara signifikan, dari 32 kg (ASTM A36) menjadi 7,12–11,46 kg. Aluminium Alloy 6061 terbukti lebih unggul dibandingkan 6063 dengan tegangan Von Mises lebih rendah, deformasi lebih kecil, serta faktor keamanan (*Factor of Safety*, FOS) lebih tinggi. Konfigurasi pipa $25,4 \times 2$ mm Aluminium 6061 menghasilkan bobot 9,37 kg dengan $FOS \geq 5$ pada kondisi statis, akselerasi, dan deselerasi, serta FOS 2,246 pada beban sentrifugal. Sementara itu, konfigurasi $25,4 \times 2,5$ mm memberikan margin keamanan lebih tinggi (FOS 2,939) tetapi menambah bobot hingga 11,46 kg. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi Aluminium Alloy 6061 berdiameter 25,4 mm dengan ketebalan 2 mm merupakan desain optimal yang mampu memberikan keseimbangan antara efisiensi bobot dan kekuatan struktural. Temuan ini diharapkan dapat menjadi referensi pengembangan rangka mobil listrik kompetisi yang lebih ringan, efisien, dan tetap aman digunakan.

Kata Kunci: Mobil listrik, *tubular space frame*, ASTM A36, aluminium alloy, FEA, faktor keamanan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah Subhaanahu Wa Ta'ala yang telah senantiasa melimpahkan rahmat, hidayah beserta karunia sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“Analisis Kekuatan dan Deformasi Rangka *Tubular Space Frame* Mobil Listrik Megathrust Electric dengan Variasi Dimensi Serta Material Menggunakan Metode *Finite Element Analysis* (FEA)”**.

Shalawat dan salam semoga selalu dilimpahkan Allah Subhaanahu Wa Ta'ala kepada junjungan umat islam sedunia yakni Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang penuh cahaya ilmu pengetahuan, aqidah dan berakhlak baik.

Selama penulisan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dan perhatian dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Wanda Afnison, S.pd., M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu dalam memberikan dan mengarahkan penulisan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Eko Indrawan, S.T., M.Pd. selaku ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
3. Bapak Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D. Eng. selaku ketua Prodi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Padang.
4. Bapak Dr. Waskito, M.T. sebagai dosen peninjau dalam seminar Tugas Akhir ini.

5. Ibu Delima Yanti Sari, S.T., M.T., Ph.D. sebagai dosen peninjau dalam seminar Tugas Akhir ini.
6. Ibu Primawati, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing Akademik yang selalu memberikan arahan serta nasihat kepada peneliti.
7. Bapak dan ibu dosen beserta staf administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
8. Teristimewa untuk kedua orang tua dan seluruh keluarga tercinta yang selalu mendoakan dan mendukung setiap langkah yang penulis tempuh dalam pendidikan.
9. Teman-teman jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Padang angkatan 2021 semoga sukses menjadi generasi penerus harapan bangsa.
10. Seluruh pihak yang membantu dalam penyelesaian Proposal Penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini banyak terdapat kekurangan mengingat keterbatasan pengetahuan penulis dan hambatan-hambatan yang dialami dalam memperoleh sumber dan bahan penelitian. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Padang, 31 Oktober 2025
Penulis

Adityo
21338003

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Mobil Listrik	8
B. <i>Chassis</i>	14
C. <i>Material Chassis</i>	25
D. Pembebanan Pada <i>Chassis</i>	30
E. <i>Finite Element Analysis</i> (FEA)	34
F. <i>Stress Analysis</i> dan Tegangan Normal	36
G. Regangan.....	41
H. <i>Displacement</i>	42
I. Momen Inersia Penampang <i>Hollow</i> Lingkaran.....	44
J. Modulus elastisitas	46
K. <i>Factor of Safety</i>	47
L. Regulasi KMLI	49
M. Penelitian Relevan.....	50

N. Kerangka Konseptual	52
BAB III METODE PENELITIAN	55
A. Jenis Peneletian	55
B. Tempat dan Waktu Penelitian	55
C. Variabel Penelitian	56
D. Teknik Pengumpulan Data	60
E. Alat dan Bahan	69
F. Diagram Alir Penelitian	70
G. Analisis Data	71
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	76
A. Validasi Data	76
B. Uji Konvergensi	79
C. Hasil dan Pembahasan	82
D. Pembahasan Hasil Simulasi	160
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	169
A. Kesimpulan	169
B. Saran	170
DAFTAR PUSTAKA	171
LAMPIRAN	177

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Rangka Berbahan ASTM A36	3
Gambar 2.1 Jenis-jenis Mobil Listrik.....	11
Gambar 2.2 <i>Ladder Frame</i>	18
Gambar 2.3 <i>Monocoque Frame</i>	18
Gambar 2.4 <i>Tubular Space Frame</i>	20
Gambar 2.5 <i>Backbone Frame</i>	21
Gambar 2.6 <i>Skateboard Platform</i>	21
Gambar 2.7 <i>Aluminium Frame</i>	22
Gambar 2.8 <i>Pipa Tube</i>	26
Gambar 2.9 Gaya Tarik.....	38
Gambar 2.10 Gaya Tekan	39
Gambar 2.11 Permukaan tegangan Von Mises	41
Gambar 2.12 Penampang Besi <i>Hollow</i>	45
Gambar 3.1 Batasan <i>Roll Bar</i>	63
Gambar 3.2 Model Rangka <i>Space Frame</i>	63
Gambar 3.3 <i>Meshing</i> Rangka.....	64
Gambar 3.4 <i>Fixed Geometry</i>	64
Gambar 3.5 Titik Pembebanan Gaya Statis	65
Gambar 3.6 Beban Akselerasi Pada Rangka.....	68
Gambar 3.7 Beban Deselerasi Pada Rangka	68
Gambar 3.8 Beban Sentrifugal Pada Rangka	68
Gambar 3.9 Diagram Alir Penelitian	71
Gambar 4.1 Grafik Validasi Data.....	76
Gambar 4.2 Von Mises geometri 25,4 x 2 Aluminium alloy 6061 Menggunakan Solidworks	77
Gambar 4.3 Von Mises geometri 25,4 x 2 Aluminium alloy 6061 Menggunakan ANSYS Workbench.....	78
Gambar 4.4 Von Mises geometri 31 x 2 ASTM A36 Menggunakan Solidworks..	78

Gambar 4.5 Von Mises geometri 31 x 2 ASTM A36 Menggunakan ANSYS Workbench	78
Gambar 4.6 Grafik Hasil Konvergensi.....	81
Gambar 4.7 Von Mises (Statis) 31 x 2 ASTM A36.....	83
Gambar 4.8 Deformasi (Statis) 31 x 2 ASTM A36	83
Gambar 4.9 FOS (Statis) 31 x 2 ASTM A36	84
Gambar 4.10 Von Mises (Statis) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6061	86
Gambar 4.11 Deformasi (Statis) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6061	86
Gambar 4.12 FOS (Statis) 19,05 x 2 Aluminium 6061	87
Gambar 4.13 Von Mises (Statis) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	88
Gambar 4.14 Deformasi (Statis) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	88
Gambar 4.15 FOS (Statis) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	88
Gambar 4.16 Von Mises (Statis) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061	89
Gambar 4.17 Deformasi (Statis) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061	90
Gambar 4.18 FOS (Statis) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061	90
Gambar 4.19 Von Mises (Statis) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	91
Gambar 4.20 Deformasi (Statis) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	91
Gambar 4.21 FOS (Statis) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	92
Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Von Mises Aluminium Alloy 6061 Terhadap Simulasi Statis.....	93
Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Deformasi Aluminium Alloy 6061 Terhadap Simulasi Statis.....	94
Gambar 4.24 Grafik Perbandingan FOS Aluminium Alloy 6061 Terhadap Simulasi Statis.....	94
Gambar 4.25 Von Mises (Statis) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6063	95
Gambar 4.26 Deformasi (Statis) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6063	96
Gambar 4.27 FOS (Statis) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6063	96
Gambar 4.28 Von Mises (Statis) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	97
Gambar 4.29 Deformasi (Statis) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	97
Gambar 4.30 FOS (Statis) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	98
Gambar 4.31 Von Mises (Statis) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6063	99

Gambar 4.32 Deformasi (Statis) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6063	99
Gambar 4.33 FOS (Statis) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6063	99
Gambar 4.34 Von mises (Statis) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	100
Gambar 4.35 Deformasi (Statis) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	101
Gambar 4.36 FOS (Statis) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	101
Gambar 4.37 Grafik Perbandingan Von Mises Aluminium Alloy 6063 Terhadap Simulasi Statis	102
Gambar 4.38 Grafik Perbandingan Deformasi Aluminium Alloy 6063 Terhadap Simulasi Statis	103
Gambar 4.39 Grafik Perbandingan FOS Aluminium Alloy 6063	103
Gambar 4.40 Von mises (Akselerasi) 31 x 2 ASTM A36	104
Gambar 4.41 Deformasi (Akselerasi) 31 x 2 ASTM A36	104
Gambar 4.42 FOS (Akselerasi) 31 x 2 ASTM A36	105
Gambar 4.43 Von mises (Akselerasi) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6061	107
Gambar 4.44 Deformasi (Akselerasi) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6061	107
Gambar 4.45 FOS (Akselerasi) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6061	107
Gambar 4.46 Von Mises (Akselerasi) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	108
Gambar 4.47 Deformasi (Akselerasi) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	109
Gambar 4.48 FOS (Akselerasi) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	109
Gambar 4.49 Von mises (Akselerasi) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061	110
Gambar 4.50 Deformasi (Akselerasi) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061	110
Gambar 4.51 FOS (Akselerasi) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061	110
Gambar 4.52 Von Mises (Akselerasi) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	111
Gambar 4.53 Deformasi (Akselerasi) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	112
Gambar 4.54 FOS (Akselerasi) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	112
Gambar 4.55 Grafik Perbandingan Von Mises Aluminium Alloy 6061 Terhadap Simulasi Akselerasi	113
Gambar 4.56 Grafik Perbandingan Deformasi Aluminium Alloy 6061 Terhadap Simulasi Akselerasi	114
Gambar 4.57 Grafik Perbandingan FOS Aluminium Alloy 6061 Terhadap Simulasi Akselerasi	114

Gambar 4.58 Von Mises (Akselerasi) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6063	115
Gambar 4.59 Deformasi (Akselerasi) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6063	115
Gambar 4.60 FOS (Akselerasi) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6063	115
Gambar 4.61 Von Mises (Akselerasi) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	116
Gambar 4.62 Deformasi (Akselerasi) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	117
Gambar 4.63 FOS (Akselerasi) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	117
Gambar 4.64 Von Mises (Akselerasi) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6063	118
Gambar 4.65 Deformasi (Akselerasi) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6063	118
Gambar 4.66 FOS (Akselerasi) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6063	119
Gambar 4.67 Von Mises (Akselerasi) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	120
Gambar 4.68 Deformasi (Akselerasi) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	120
Gambar 4.69 FOS (Akselerasi) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	120
Gambar 4.70 Grafik Perbandingan Von Mises Aluminium Alloy 6063 Terhadap Simulasi Akselerasi	122
Gambar 4.71 Grafik Perbandingan Deformasi Aluminium Alloy 6063 Terhadap Simulasi Akselerasi	122
Gambar 4.72 Grafik Perbandingan FOS Aluminium Alloy 6063 Terhadap Simulasi Akselerasi	123
Gambar 4.73 Von Mises (Deselerasi) 31 x 2 ASTM A36	123
Gambar 4.74 Deformasi (Deselerasi) 31 x 2 ASTM A36	124
Gambar 4.75 FOS (Deselerasi) 31 x 2 ASTM A36	124
Gambar 4.76 Von Mises (Deselerasi) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6061	125
Gambar 4.77 Deformasi (Deselerasi) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6061	126
Gambar 4.78 FOS (Deselerasi) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6061	126
Gambar 4.79 Von Mises (Deselerasi) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	127
Gambar 4.80 Deformasi (Deselerasi) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	127
Gambar 4.81 FOS (Deselerasi) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	128
Gambar 4.82 Von Mises (Deselerasi) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061	129
Gambar 4.83 Deformasi (Deselerasi) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061	129
Gambar 4.84 FOS (Deselerasi) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061	129
Gambar 4.85 Von Mises (Deselerasi) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	130

Gambar 4.86 Deformasi (Deselerasi) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061	131
Gambar 4.87 FOS (Deselerasi) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061.....	131
Gambar 4.88 Grafik Perbandingan Von Mises Aluminium Alloy 6061 Terhadap Simulasi Deselerasi	132
Gambar 4.89 Grafik Perbandingan Von Mises Aluminium Alloy 6061 Terhadap Simulasi Deselerasi	133
Gambar 4.90 Grafik Perbandingan FOS Aluminium Alloy 6061 Terhadap Simulasi Deselerasi	133
Gambar 4.91 Von Mises (Deselerasi) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6063.....	134
Gambar 4.92 Deformasi (Deselerasi) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6063	134
Gambar 4.93 FOS (Deselerasi) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6063.....	134
Gambar 4.94 Von Mises (Deselerasi) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6063.....	135
Gambar 4.95 Deformasi (Deselerasi) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	136
Gambar 4.96 FOS (Deselerasi) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6063.....	136
Gambar 4.97 Von Mises (Deselerasi) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6063.....	137
Gambar 4.98 Deformasi (Deselerasi) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6063	137
Gambar 4.99 FOS (Deselerasi) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6063.....	137
Gambar 4.100 Von Mises (Deselerasi) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6063.....	138
Gambar 4.101 Deformasi (Deselerasi) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	138
Gambar 4.102 FOS (Deselerasi) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6063.....	139
Gambar 4.103 Grafik Perbandingan Von Mises Aluminium Alloy 6063 Terhadap Simulasi Deselerasi	140
Gambar 4.104 Grafik Perbandingan Deformasi Aluminium Alloy 6063 Terhadap Simulasi Deselerasi	141
Gambar 4.105 Von Mises (Sentrifugal) 31 x 2 ASTM A36	142
Gambar 4.106 Deformasi (Sentrifugal) 31 x 2 ASTM A36.....	142
Gambar 4.107 FOS (Sentrifugal) 31 x 2 ASTM A36	142
Gambar 4.108 Von Mises (Sentrifugal) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6061	144
Gambar 4.109 Deformasi (Sentrifugal) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6061	145
Gambar 4.110 FOS (Sentrifugal) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6061.....	145
Gambar 4.111 Von Mises (Sentrifugal) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	146

Gambar 4.112 Deformasi (Sentrifugal) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	146
Gambar 4.113 FOS (Sentrifugal) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	147
Gambar 4.114 Von Mises (Sentrifugal) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061	148
Gambar 4.115 Deformasi (Sentrifugal) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061	148
Gambar 4.116 FOS (Sentrifugal) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6061	148
Gambar 4.117 Von Mises (Sentrifugal) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	149
Gambar 4.118 Deformasi (Sentrifugal) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6061	150
Gambar 4.119 FOS (Sentrifugal) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6061.....	150
Gambar 4.120 Grafik Perbandingan Von Mises Aluminium Alloy 6061 Terhadap Simulasi Sentrifugal.....	151
Gambar 4.121 Grafik Perbandingan Deformasi Aluminium Alloy 6061 Terhadap Simulasi Sentrifugal.....	152
Gambar 4.122 Grafik Perbandingan FOS Aluminium Alloy 6061 Terhadap Simulasi Sentrifugal.....	152
Gambar 4.123 Von Mises (Sentrifugal) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6063	153
Gambar 4.124 Deformasi (Sentrifugal) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6063	153
Gambar 4.125 FOS (Sentrifugal) 19,05 x 2 Aluminium Alloy 6063.....	153
Gambar 4.126 Von Mises (Sentrifugal) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	154
Gambar 4.127 Deformasi (Sentrifugal) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	154
Gambar 4.128 FOS (Sentrifugal) 19,05 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	155
Gambar 4.129 Von Mises (Sentrifugal) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6063	156
Gambar 4.130 Deformasi (Sentrifugal) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6063	156
Gambar 4.131 FOS (Sentrifugal) 25,4 x 2 Aluminium Alloy 6063	156
Gambar 4.132 Von Mises (Sentrifugal) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	157
Gambar 4.133 Deformasi (Sentrifugal) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6063	158
Gambar 4.134 FOS (Sentrifugal) 25,4 x 2,5 Aluminium Alloy 6063.....	158
Gambar 4.135 Grafik Perbandingan Von Mises Aluminium Alloy 6063 Terhadap Simulasi Sentrifugal.....	159
Gambar 4.136 Grafik Perbandingan Deformasi Aluminium Alloy 6063 Terhadap Simulasi Sentrifugal.....	160

Gambar 4.137 Grafik Perbandingan FOS Aluminium Alloy 6063 Terhadap Simulasi Sentrifugal.....	160
Gambar 4.138 Grafik Perbandingan Berat Rangka.....	162
Gambar 4.139 Grafik Perbandingan Hasil Von Mises Pada Semua Kondisi Simulasi Terhadap Material ASTM A36 Dan Aluminium Alloy 6061	163
Gambar 4.140 Grafik Perbandingan Hasil Deformasi Pada Semua Kondisi Simulasi Terhadap Material ASTM A36 Dan Aluminium Alloy 6061	163
Gambar 4.141 Grafik Perbandingan Hasil FOS Pada Semua Kondisi Simulasi Terhadap Material ASTM A36 Dan Aluminium Alloy 6061	164
Gambar 4.142 Grafik Perbandingan Hasil Von Mises Pada Semua Kondisi Simulasi Terhadap Material ASTM A36 Dan Aluminium Alloy 6063	164
Gambar 4.143 Grafik Perbandingan Hasil Deformasi Pada Semua Kondisi Simulasi Terhadap Material ASTM A36 Dan Aluminium Alloy 6063	165
Gambar 4.144 Grafik Perbandingan Hasil FOS Pada Semua Kondisi Simulasi Terhadap Material ASTM A36 Dan Aluminium Alloy 6063	165

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Material Properties Aluminium Alloy 6061	28
Tabel 2.2 Material Properties Aluminium Alloy 6063	29
Tabel 3.1 Tahapan Penelitian.....	56
Tabel 3.2 Data Kinematika Kendaraan	61
Tabel 3.3 Data Pembebanan Berat Pada Rangka	62
Tabel 3.4 Gaya Pembebanan Dinamis Pada Rangka	67
Tabel 4.1 Hasil Validasi Von Mises Solidworks dan ANSYS Workbench.....	79
Tabel 4.2 Hasil Konvergensi Mesh.....	80
Tabel 4.3 Hasil Von Mises, Deformasi, dan FOS Material ASTM A36 Terhadap Simulasi Statis.....	85
Tabel 4.4 Hasil Von Mises, Deformasi, dan FOS Material Aluminium Alloy 6061 dan ASTM A36 Terhadap Simulasi Statis	93
Tabel 4.5 Hasil Von Mises, Deformasi, dan FOS Material Aluminium Alloy 6063 Terhadap Simulasi Statis.....	102
Tabel 4.6 Hasil Von Mises, Deformasi, dan FOS Material ASTM A36 Terhadap Simulasi Akselerasi.....	106
Tabel 4.7 Hasil Von Mises, Deformasi, dan FOS Material Aluminium Alloy 6061 Terhadap Simulasi Akselerasi.....	113
Tabel 4.8 Hasil Von Mises, Deformasi, dan FOS Material Aluminium Alloy 6063 Terhadap Simulasi Akselerasi.....	121
Tabel 4.9 Hasil Von Mises, Deformasi, dan FOS Material ASTM A36 Terhadap Simulasi Deselerasi	125
Tabel 4.10 Hasil Von Mises Deformasi, dan FOS Material Aluminium Alloy 6061 Terhadap Simulasi Deselerasi	132
Tabel 4.11 Hasil Von Mises, Deformasi, dan FOS Material Aluminium Alloy 6063 Terhadap Simulasi Deselerasi	140
Tabel 4.12 Hasil Von Mises, Deformasi, dan FOS Material ASTM A36 Terhadap Simulasi Sentrifugal	144

Tabel 4.13 Hasil Von Mises, Deformasi, dan FOS Material Aluminium Alloy 6061 Terhadap Simulasi Sentrifugal.....	151
Tabel 4.14 Hasil Von Mises, Deformasi, dan FOS Material Aluminium Alloy 6063 Terhadap Simulasi Sentrifugal.....	159
Tabel 4.15 Hasil Simulasi Statis, Akselerasi, Deselerasi, Sentrifugal Pada Keseluruhan Geometri Serta Material.....	161

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.1 Gambar Kerja Mobil Listrik KMLI.....	177
Lampiran 1.2 Data Kinematika Kendaraan.....	178
Lampiran 1.3 Lembaran Konsultasi.....	179

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beberapa tahun terakhir, 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 1.1 Rangka Berbahan ASTM A36

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.

Meski memiliki banyak keunggulan, kekuatan dan kekakuan *tubular space frame* 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.

Untuk menguji kekuatan rangka, metode *Finite Element Analysis* (FEA) menjadi pendekatan yang banyak digunakan. FEA memungkinkan desainer untuk memprediksi bagaimana rangka akan merespon berbagai beban dan tekanan tanpa harus membuat prototipe fisik. Penelitian oleh Tsirogianis 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.

B. Identifikasi Masalah

1. Rangka *tubular space frame* mobil listrik "Megathrust Electric" sebelumnya menggunakan material ASTM A36 dengan bobot 32 kg, sehingga menambah konsumsi daya dan menurunkan efisiensi kendaraan.
2. Material alternatif (Aluminium Alloy 6061 dan 6063) perlu dianalisis agar dapat menurunkan bobot rangka tanpa mengurangi kekuatan.
3. Dimensi dan ketebalan pipa berpengaruh terhadap kekakuan, kekuatan, dan deformasi rangka.
4. Analisis sebelumnya hanya berfokus pada kondisi statis, belum mempertimbangkan beban dinamis yang timbul akibat akselerasi, deselerasi, dan gaya sentrifugal ketika kendaraan bermanuver.

C. Batasan Masalah

1. Material yang digunakan untuk analisis struktur rangka terbatas pada Aluminium Alloy 6061 dan 6063 dalam bentuk pipa *tube*.

2. Variasi dimensi pipa yang dianalisis meliputi ketebalan 2,0 mm dan 2,5 mm serta diameter luar 19,05 mm dan 25,4 mm.
3. Beban yang dianalisis meliputi beban statis (berat komponen kendaraan dan pengemudi), dan beban dinamis (akselerasi, deselerasi, dan gaya sentrifugal pada saat kendaraan berbelok).
4. Proses desain dan analisis dilakukan secara numerik menggunakan perangkat lunak SolidWorks *Simulation* berbasis metode elemen hingga (FEA).
5. Penelitian ini tidak mencakup uji eksperimental maupun simulasi tabrakan atau kondisi *fatigue*.

D. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi dimensi dan material terhadap distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan rangka *tubular space frame* mobil listrik “MEGATHRUST ELECTRIC”?
2. Bagaimana respon rangka terhadap pembebanan statis dan dinamis (akselerasi, deselerasi, dan gaya sentrifugal)?
3. Bagaimana perbandingan performa material Aluminium Alloy 6061 dan 6063 terhadap kekuatan struktural rangka saat menerima beban statis?
4. Konfigurasi material dan dimensi seperti apa yang memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan, kekakuan, dan efisiensi bobot?

E. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh variasi ketebalan dan diameter pipa terhadap kekuatan dan deformasi struktur rangka *tubular space frame* mobil listrik

“MEGATHRUST ELECTRIC” menggunakan material Aluminium Alloy 6061 dan 6063.

2. Menghitung nilai tegangan maksimum (Tegangan Von Mises), deformasi, dan faktor keamanan (*Factor of Safety*) pada rangka berdasarkan simulasi pembebanan statis dan dinamis (akselerasi, deselerasi, dan gaya sentrifugal) menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) di SolidWorks.
3. Menentukan desain rangka optimal yang mampu memberikan faktor keamanan tinggi, deformasi minimum, serta bobot yang lebih ringan untuk mendukung performa mobil listrik dalam kompetisi.

F. Manfaat Penelitian

1. Bagi Akademisi: Menambah wawasan ilmiah terkait analisis kekuatan *chassis tubular frame* dengan variasi material dan dimensi menggunakan metode FEA.
2. Bagi Industri Otomotif: Memberikan referensi mengenai desain *tubular space frame* berbahan Aluminium Alloy 6061 dan 6063 yang kuat namun ringan untuk pengembangan mobil listrik.
3. Bagi Tim "MEGATHRUST": Menyediakan data simulasi yang valid untuk menyempurnakan desain rangka mobil listrik guna meningkatkan performa struktural, efisiensi bobot, dan peluang keberhasilan dalam Kompetisi Mobil Listrik Indonesia (KMLI).
4. Bagi Peneliti Selanjutnya: Menjadi dasar untuk penelitian lanjutan terkait pengaruh faktor lain seperti getaran dinamis, sambungan las, atau analisis *fatigue* pada struktur rangka mobil listrik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis pada rangka *tubular space frame* mobil listrik Megathrust Electric, diperoleh bahwa variasi material dan dimensi pipa berpengaruh nyata terhadap berat, tegangan, deformasi, serta faktor keamanan. Temuan tersebut kemudian dirangkum dalam kesimpulan berikut:

1. Penggunaan Aluminium Alloy 6061 dan 6063 secara signifikan menurunkan berat rangka dibandingkan ASTM A36 (dari ± 32 kg menjadi $\pm 7 - 11,57$ kg), sehingga mendukung efisiensi energi dan performa akselerasi.
2. Aluminium 6061 menunjukkan kinerja struktural lebih baik dibandingkan 6063, dengan faktor keamanan (FOS) lebih tinggi dan deformasi lebih rendah pada seluruh kondisi pembebanan.
3. Pipa berdiameter 25,4 mm dengan ketebalan 2–2,5 mm memberikan distribusi tegangan dan deformasi lebih rendah dibanding pipa 19,05 mm, menunjukkan bahwa dimensi yang lebih besar meningkatkan kekakuan struktur.
4. Variasi ketebalan 2,5 mm meningkatkan FOS terutama pada pembebanan sentrifugal, namun dengan konsekuensi penambahan bobot yang lebih berat dibandingkan ketebalan 2 mm.
5. Pada kondisi statis, akselerasi, dan deselerasi, hampir semua variasi material dan dimensi memberikan $FOS \geq 2$, yang dianggap aman.

6. Kondisi sentrifugal (gaya saat menikung) menjadi pembebanan paling kritis, di mana pipa $25,4 \times 2$ mm masih aman ($FOS \approx 2,25$) namun dengan margin tipis, sedangkan pipa $25,4 \times 2,5$ mm lebih aman ($FOS \approx 2,94$).
7. Konfigurasi Aluminium 6061 dengan dimensi $25,4 \times 2$ mm dinilai paling efisien karena bobot ringan ($\pm 9,37$ kg) dengan FOS masih dalam batas aman untuk sebagian besar kondisi.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang diperoleh, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Gunakan Aluminium Alloy 6061 sebagai material utama rangka karena menawarkan kombinasi terbaik antara kekuatan, bobot, dan FOS.
2. Terapkan strategi penguatan selektif: mayoritas rangka menggunakan pipa $25,4 \times 2$ mm, sementara bagian kritis seperti titik sambungan suspensi dan bagian samping bawah rangka diperkuat dengan pipa $25,4 \times 2,5$ mm atau *gusset* tambahan.
3. Diperlukan analisis ulang dengan FEA setelah desain diperkuat lokal untuk memastikan semua area memenuhi target $FOS \geq 2,5$ terutama pada kondisi sentrifugal tanpa meningkatkan bobot yang signifikan.
4. Pertimbangkan analisis tambahan berupa analisis modal (getaran) dan *fatigue* (beban berulang) agar hasil lebih mendekati kondisi nyata kompetisi.
5. Penelitian selanjutnya juga dapat mengevaluasi pengaruh sambungan las, variasi geometri sambungan (*fish mouth cut, sleeve*), dan uji eksperimental.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Ansys. (2020). Equivalent Stress or Von Mises Stress. *Solid Mechanics 1- Understanding the Physics*, December, 1–12. https://courses.ansys.com/wp-content/uploads/2019/04/1.3.4-Equivalent_-Stress-_rebranded.pdf
- 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>
- Belingardi, G., & Scattina, A. (2023). Battery Pack and Underbody: Integration in the Structure Design for Battery Electric Vehicles—Challenges and Solutions. *Vehicles*, 5(2), 498–514. <https://doi.org/10.3390/vehicles5020028>
- Center, I. D. D. (n.d.). *Pengertian electric vehicle (EV) dan jenis-jenisnya*. Retrieved March 25, 2025, from [https://library.iddc.co.id/library/INOVASI/Materi EV \(1\).pdf](https://library.iddc.co.id/library/INOVASI/Materi%20EV%20(1).pdf)
- Connor, J. J., & Faraji, S. (2016). Fundamentals of structural engineering: Second edition. In *Fundamentals of Structural Engineering: Second Edition*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24331-3>

DataOne Software. (2014). *Aluminum Bodies and Frames: The Future of the Auto Industry?* DataOne Software.

https://vin.dataonesoftware.com/vin_basics_blog/aluminum-bodies-and-frames-the-future-of-the-auto-industry

Design and Development of Tubular Space Frame for Off Road Vehicles. (n.d.). <https://www.scribd.com/document/734260352/DesignandDevelopmentofTubularSpaceFrameforOffRoadVehicles-1>

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

Engineering, E.-M. (n.d.). *skateboard platforms: Modular solutions for electric vehicles.* Retrieved March 14, 2025, from <https://www.emobility-engineering.com/ev-skateboard-platforms/>

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/matecconf/201820407017>
- Meti, Y. D., Marsono, & Nugraha, M. P. (2021). *Alumunium Alloy dengan Bantuan Software SolidwAnalisis Statik Chassis Mobil Listrik Jenis Ladder Frame dengan Batang Struktur Honeycomb Berbahanorks*. November, 43–51.
- Mulyati. (2013). *Bahan ajar terseleksi: Mekanika bahan (CES3274)*. Institut Teknologi Padang.
- 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.
- Patil, H., & Jeyakarthikeyan, P. V. (2018). Mesh convergence study and estimation of discretization error of hub in clutch disc with integration of ANSYS. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 402(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/402/1/012065>
- 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>
- Ramadhana, F. R. (2024). Analisis Pembebanan Pada Desain Chassis Prototype Mobil Listrik Hemat Energi Menggunakan Software Autodesk Inventor 2019. In *Universitas Malikussaleh*. https://rama.unimal.ac.id/id/eprint/534/5/FADHIL_RIZKY_RAMADHANA_190120045_Judul_Skripsi.pdf
- Renski, A. (2015). Investigation of the Influence of the Centre of Gravity Position on the Course of Vehicle Rollover. *Esv*, 1(15), 1–12.

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.

Setyono, B., Noerpamoengkas, A., Hadi, S., Teknik Mesin, J., & Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, F. (2020). Desain dan Analisis Kekuatan Chassis Kendaraan Ramah Lingkungan Mobil Hybrid “Bed 18” Sumber Energi Udara Bertekanan dan Listrik. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*, 1(1), 231–238.

Shiddieqy, R. H. A. (2015). Analisa Kekuatan Chassis Mobil Listrik “Braja Wahana” Profil Hollow Dengan Variasi Ketebalan. In *Undergraduate thesis*.

SimScale. (2024). *What is Convergence in Finite Element Analysis?* SimScale Blog. <https://www.simscale.com/blog/convergence-finite-element-analysis/?utm>

Singh, R. P. (2010). Structural Performance Analysis of Formula SAE car. *Jurnal Mekanikal*, 31, 46–61.

Space, . Ansys Innovation. (n.d.). *Preparing Geometry for Formula SAE Chassis in Ansys SpaceClaim — Lesson 1*. Ansys Innovation Space. Retrieved March 14, 2025, from <https://innovationspace.ansys.com/courses/courses/formula-sae-chassis-analysis/lessons/preparing-geometry-for-formula-sae-chassis-in-ansys-spaceclaim-lesson-1/>

Storyboard, Š. (2023). *90th anniversary of the Škoda product family with steel backbone*. Škoda Storyboard. <https://www.skoda-storyboard.com/en/press-releases/90th-anniversary-of-the-skoda-product-family-with-steel-backbone/>

Supriyanto, Moh. Fawaid, S. N. (2023). *Desain Dan Analisis Besaran Defleksi Chasis Tubular Space Frame Pada Prototype Mobil Listrik*. 22(1), 1–8.

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>

TurboSquid. (n.d.). *Car frame unibody structure rigged 3D model*. Retrieved March 14, 2025, from <https://www.turbosquid.com/fr/3d-models/3d-model-car-frame-unibody-structure-rigged-2212778>

Wahono, S. (2017). *Optimasi Desain Chassis Kendaraan Mobil Hemat Energi Jenis Urban Comcept SI-Jaya raya dengan Pemilihan Tipe Penampang Batang* [Universitas Negeri Jakarta]. <http://doi.org/10.1080/16070658.2018.1448503%0Awww.udsspace.uds.edu.gh%0Ahttps://doi.org/10.1080/20469047.2017.1409453%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00298%0Ahttp://www.gainhealth.org/wp-content/uploads/2018/03/Ghana-Development-of-Food-based>

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>

Wibisono, Hanif Gunawan, M. Y. (2013). DESAIN RANGKA PADA PROTOTYPE MOBIL LISTRIK GARNESA Hanif Gunawan Wibisono Mochamad Yadi. *Rekayasa Mesin*, 1, 57–62.

WiraMas. (2022). *Jenis-jenis Pipa Besi*. WiraMas. <https://wiramas.com/newsprint.php?pid=38>

Yudianto, A. (2015). *Ladder Frame, Salah Satu Jenis Rangka Pada Kendaraan*. Yudianto Aan Blog. <https://yudiantoan.blogspot.com/2015/12/ladder-frame-salah-satu-jenis-rangka.html>

Zienkiewicz, O. ., Taylor, R. ., & Zhu, J. . (2005). *Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics* (6th ed., Issue 1). Elsevier Butterworth-Heinemann.