

SKRIPSI

**Analisis Tegangan dan Deformasi Rangka *Carbody* Kereta
Stainless Steel Generasi Baru dengan Pembebanan Statis dengan
menggunakan Metode Elemen Hingga.**



Intelligentia - Dignitas

DISUSUN OLEH :

AKMAL MUHTAROM

1520622002

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2026

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
BENTUK : SKRIPSI**

Nama Mahasiswa : Akmal Muhtarom

NIM : 1520622002

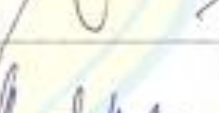
Program Studi/Fakultas: S1 Teknik Mesin/Fakultas Teknik

Judul : Analisis Tegangan dan Deformasi Struktur *Carbody* Kereta
Stainless Steel Generasi Baru dengan Pembebanan Statis
menggunakan Metode Elemen Hingga.

Ini telah dipertahankan dihadapan dewan penguji dan dinyatakan *Lulus / Tidak Lulus* *

Ujian Tugas Akhir oleh Tim Penguji Pada Tanggal 30 Agustus 2026

Tim Penguji,

Ketua Penguji	Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM. NIDN.0402117902	
Anggota Penguji (Penguji Ahli 1)	Dr. Ir. Ferry Budhi Susetyo, M.T. NIDN.002028204	
Anggota Penguji (Penguji Ahli 2)	Reza Febriano Armas, S.Pd., M.T. NIDN.0308029801	
Anggota Penguji (Pembimbing 1)	Dr. Ir. Ahmad Kholil, M.T. NIDN.0031087901	
Anggota Penguji (Pembimbing 2)	Dr. Eng. Agung Premono, M.T. NIDN.0001057706	

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Neneng Siti Silfi Ambarwati, S.Si., Apt., M.Si.
NIDN.002902704

Koordinator Prodi S1
Teknik Mesin



Dr. Ir. Ragil Sukarno, M.T., IPM
NIDN.0402117902

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini merupakan karya asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di Perguruan Tinggi lain.
2. Skripsi ini belum dipublikasikan, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 30 Juli 2026

Yang membuat pernyataan



Akmal Muhtarom

NIM.1520622002



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
PERPUSTAKAAN DAN KEARSIPAN
Jalan Rawamangun Muka Jakarta 13220
Telepon/Faksimili: 021-4894221
Laman: lib.unj.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Negeri Jakarta, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Akmal Muhtarom
NIM : 1520622002
Fakultas/Prodi : Teknik/ S1- Teknik Mesin Alamat
Email : akmalmuhtarom15@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Disertasi ☐ Lain-lain (.....)

yang berjudul: "ANALISIS TEGANGAN DAN DEFORMASI RANGKA *CARBODY* KERETA *STAINLESS STEEL* GENERASI BARU DENGAN PEMBEBANAN STATIS DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA."

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan dan Kearsipan Universitas Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Universitas Negeri Jakarta, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 19 Agustus 2026

Penulis

(Akmal Muhtarom)

KATA PENGANTAR

Puji syukur Saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Tegangan dan Deformasi Struktur *Carbody* Kereta *Stainless Steel* Generasi Baru dengan Pembebanan Statis menggunakan Metode Elemen Hingga.” ini dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan pada Program Studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta. Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini tidak terlepas dari bimbingan, motivasi dan bantuan baik moril maupun material oleh banyak pihak. Oleh karena itu, dengan penuh ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Kholil, M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan proposal skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Agung Premono, M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan proposal skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ragil Sukarno, S.T., M.T., selaku koordinator program studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen pengampu mata kuliah di Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta, yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan sehingga penulis memiliki bekal untuk menyelesaikan proposal skripsi ini.
5. Seluruh Bapak/Ibu Laboran Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta, yang telah membantu penulis selama penelitian.
6. Orang tua penulis yang telah memberikan dukungannya materi dan moral, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Adik Penulis Wildan yang telah merelakan laptopnya untuk Penulis pinjam selama penulisan skripsi ini.
8. Teman-teman TM22 yang telah memberi semangat dan dukungan kepada penulis selama penulisan skripsi.

Penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan dan kekurangan dalam proposal ini, karena penulis menyadari laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Maka dari itu penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat sebagai bahan belajar mahasiswa program studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta ke depannya, dan juga penulis berharap ke depannya kekurangan skripsi ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengembangan untuk mahasiswa program S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 30 Juli 2026

Penulis,



Akmal Muhtarom

NIM.1520622002



Intelligentia - Dignitas

**Analisis Tegangan dan Deformasi Rangka *Carbody* Kereta
Stainless Steel Generasi Baru dengan Pembebanan Statis dengan
menggunakan Metode Elemen Hingga.**

Akmal Muhtarom

Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Ahmad Kholil, M.T dan Dr. Eng. Agung Premono, M.T

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada analisis kekuatan struktural dan karakteristik dinamis dari tiga alternatif desain modifikasi rangka *carbody* kereta api generasi terbaru. Evaluasi dilakukan menggunakan Metode Elemen Hingga (MEH) melalui simulasi *static structural* dan analisis *modal* guna memastikan kepatuhan terhadap standar kelayakan Peraturan Menteri Perhubungan No. 49 Tahun 2023. Material penyusun struktur dievaluasi menggunakan spesifikasi baja karbon struktural SS400. Hasil simulasi statis menunjukkan bahwa modifikasi struktural memberikan dampak yang signifikan terhadap kekuatan rangka. Desain 2 teridentifikasi sebagai konfigurasi yang paling optimal dan memenuhi syarat, dengan menghasilkan tegangan maksimum sebesar 95 MPa, deformasi 0,52 mm, serta *Safety Factor* (SF) sebesar 2,1. Nilai tegangan tersebut terkonfirmasi aman karena berada jauh di bawah batas luluh (*yield strength*) material. Sebagai pembanding, Base Model menghasilkan tegangan 173 MPa (SF 1,4), Desain 1 sebesar 86 MPa (SF 2,4), dan Desain 3 sebesar 131 MPa (SF 1,9). Lebih lanjut, hasil analisis modal memperlihatkan bahwa bentuk moda (*mode shape*) kritis pada struktur ini didominasi oleh fenomena lenturan di bagian tengah atap (*roof bending/drumming*). Desain 2 mencatatkan frekuensi alami tertinggi sebesar 36,5 Hz, yang secara langsung meningkatkan batas kecepatan operasional aman hingga 197,1 km/jam dan kecepatan kritis mencapai 262,8 km/jam. Performa dinamis ini melampaui Base Model (30,8 Hz), Desain 1 (30,7 Hz), maupun Desain 3 (22,2 Hz). Secara keseluruhan, modifikasi rancangan *carbody* yang diusulkan dinyatakan aman, layak beroperasi, dan memenuhi batas maksimum tegangan serta regangan yang diizinkan oleh regulasi sarana perkeretaapian.

Kata Kunci: Rangka *Carbody*, Metode Elemen Hingga, Baja SS400, *Static Structural*, Analisis Modal, Kecepatan Kritis.

Stress and Deformation Analysis of New-Generation Stainless Steel Train Carbody Frame Under Static Loading Using Finite Element Method

Akmal Muhtarom

Supervisors: Dr. Ir. Ahmad Kholil, M.T. and Dr. Eng. Agung Premono, M.T.

ABSTRACT

This research focuses on analyzing the structural strength and dynamic characteristics of three alternative modification designs for new-generation train carbody frames. The evaluation was conducted using the Finite Element Method (FEM) through static structural simulation and modal analysis to ensure compliance with the feasibility standards of the Minister of Transportation Regulation No. 49 of 2023. The structural material was evaluated using SS400 structural carbon steel specifications. The static simulation results indicate that structural modifications significantly impact the frame's strength. Design 2 was identified as the most optimal and compliant configuration, yielding a maximum stress of 95 MPa, a deformation of 0.52 mm, and a Safety Factor (SF) of 2.1. This stress value is confirmed to be highly secure as it falls well below the material's yield strength. For comparison, the Base Model produced a stress of 173 MPa (SF 1.4), Design 1 yielded 86 MPa (SF 2.4), and Design 3 resulted in 131 MPa (SF 1.9). Furthermore, the modal analysis results revealed that the critical mode shape of the structure is dominated by roof bending (drumming) phenomena. Design 2 recorded the highest natural frequency at 36.5 Hz, which directly elevated the safe operational speed limit to 197.1 km/h and the critical speed to 262.8 km/h. This dynamic performance surpasses the Base Model (30.8 Hz), Design 1 (30.7 Hz), and Design 3 (22.2 Hz). Overall, the proposed carbody modification design is declared structurally safe, operationally feasible, and entirely compliant with the maximum allowable stress and deformation limits stipulated by railway rolling stock regulations.

Keywords: Carbody Frame, Finite Element Method, SS400 Steel, Static Structural, Modal Analysis, Critical Speed.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR BENRUK : SKRIPSI.....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA	iii
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Kereta Api	6
2.2 Badan Kereta (<i>Carbody</i>)	7
2.3 Teori Kegagalan <i>Von Mises</i>	8
2.4 Material	8
2.5 Metode Elemen Hingga (MEH).....	9
2.5.1. Meshing	10
2.6 Autodesk Inventor.....	11
2.7 Ansys.....	12
2.7 Penelitian Terdahulu.....	12
2.8 Kerangka Berpikir	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	19
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	20
3.4 Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data	27

3.5.1 Desain <i>Baseline</i>	27
3.5.2 <i>Boundary Conditions</i>	27
3. 5 Teknik Analisis Data	31
3.5.1 Von-Mises Stress.....	31
3.5.3 <i>Safety Factor</i>	32
3.5.4 Analisis Modal	32
3.5.5 Frekuensi Natural.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Hasil Desain.....	35
4.2 Hasil Simulasi <i>Static Structural</i>	39
4.2.1 Deformasi Total	39
4.2.2 Tegangan (<i>Equivalent von-Mises Stress</i>)	43
4.2.3 Nilai Rasio SF dan Massa.....	47
4.3 Hasil Simulasi Dinamis	51
4.3.1 Frekuensi Natural.....	51
4.4 Hasil perbandingan keseluruhan simulasi	53
4.5 Rekomendasi Desain Optimal	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN.....	60
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	66

Intelligentia - Dignitas

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kereta rel diesel.....	6
Gambar 2. 2 Kereta rel listrik.....	7
Gambar 2. 3 Kereta rel diesel elektrik.....	7
Gambar 2. 4 Bagian Carbody	7
Gambar 2. 5 Distorsi Energi.....	8
Gambar 2. 6 Meshing	10
Gambar 2. 7 Structure Mesh	10
Gambar 2. 8 Unstructure Mesh	11
Gambar 2. 9 Hybrid Mesh.....	11
Gambar 2. 10 Kerangka berpikir.....	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	20
Gambar 3. 2 Diagram alir analisis.....	23
Gambar 3. 3 Import Geometri	24
Gambar 3. 4 Bar body sizing mesh	25
Gambar 3. 5 a) Design tree material b) design tree parameter simulasi	25
Gambar 3. 6 a) Deformasi b) stress c) SF d) Frekuensi natural	26
Gambar 3. 7 Desain <i>base model</i>	27
Gambar 3. 8 Diagram benda bebas	27
Gambar 3. 9 Gradien Deformasi	32
Gambar 4. 1 Desain Base Model.....	35
Gambar 4. 2 Desain 1	36
Gambar 4. 3 Desain 2.....	36
Gambar 4. 4 Desain 3	37
Gambar 4. 5 Hasil deformasi total	40
Gambar 4. 6 Distribusi deformasi desain Base Model.....	40
Gambar 4. 7 Distribusi deformasi desain 1	41
Gambar 4. 8 Distribusi deformasi desain 2	42
Gambar 4. 9 Distribusi deformasi desain 3	43
Gambar 4. 10 Hasil distribusi tegangan	44
Gambar 4. 11 Distribusi tegangan base model.....	45
Gambar 4. 12 Distribusi tegangan desain 1.....	45

Gambar 4. 13 Distribusi tegangan desain 2.....	46
Gambar 4. 14 Distribusi tegangan desain 3.....	47
Gambar 4. 15 Hasil simulasi SF.....	48
Gambar 4. 16 Hasil simulasi massa	48
Gambar 4. 17 SF Base Model	49
Gambar 4. 18 SF Desain 1	49
Gambar 4. 19 SF Desain 2	50
Gambar 4. 20 SF Desain 3	50
Gambar 4. 21 Frekuensi natural <i>base model</i>	51
Gambar 4. 22 Frekuensi natural Desain 1	52
Gambar 4. 23 Frekuensi natural desain 2.....	52
Gambar 4. 24 Frekuensi pribadi desain 3.....	53
Gambar 4. 25 Perbandingan rasio sf/m dan frekuensi natural	54



Intelligentia - Dignitas

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Stainless Steel 304.....	8
Tabel 2. 2 Sifat Material SUS 304.....	9
Tabel 2. 3 Komposisi SS400.....	9
Tabel 2. 4 Sifat Material SS 400.....	9
Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu	12
Tabel 3. 1 Jumlah Mesh Pada Setiap Model.....	25
Tabel 3. 2 Sifat Mekanik Material	26
Tabel 4. 1 Hasil Deformasi	39
Tabel 4. 2 Hasil distribusi tegangan.....	44
Tabel 4. 3 Hasil <i>Safety Factor dan Massa</i>	48
Tabel 4. 4 Hasil frekuensi natural.....	51
Tabel 4. 5 Hasil perbandingan simulasi.....	53

Intelligentia - Dignitas