

ANALISIS STRUKTUR *HOLLOW AXLE* KERETA CEPAT *EMU CR400AF*  
MENGUNAKAN *ANSYS WORKBENCH*



UNIVERSITAS  
MERCU BUANA

TITO SYAHRIL SOBARUDIN IZHA MAHENDRA

NIM: 41321120067

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MERCU BUANA

JAKARTA 2024

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS STRUKTUR *HOLLOW AXLE* KERETA CEPAT *EMU CR400AF*  
MENGUNAKAN *ANSYS WORKBENCH*



Disusun oleh:

Nama : Tito Syahril Sobarudin Izha Mahendra  
NIM : 41321120067  
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH  
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)  
JUNI 2024

## HALAMAN PENGESAHAN

Laporan skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Tito Syahril Sobarudin Izha Mahendra

NIM : 41321120067

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Laporan Skripsi : ANALISIS STRUKTUR *HOLLOW AXLE* KERETA CEPAT *EMU CR400AF* MENGGUNAKAN *ANSYS WORKBENCH*

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian pernyataan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing : Muhammad Fitri, ST., M.Si., P.hD

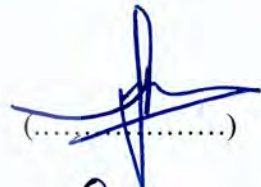
NIDN : 1013126901

Penguji 1 : Haris Wahyudi, ST., M.Sc

NIDN : 0329037803

Penguji 2 : Dr Eng. Imam Hidayat, S.T, M.T

NIDN : 0005087502



(.....)



(.....)



(.....)

Jakarta, 25 Juni 2024

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.

NIDN: 0307037202

Ketua Program Studi



Dr Eng. Imam Hidayat, S.T, M.T

NIDN: 0005087502

## HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Tito Syahril Sobarudin Izha Mahendra

NIM : 41321120067

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Tugas Akhir : Analisis Struktur *Hollow Axle* Kereta Cepat *EMU CR400AF*  
Menggunakan *ANSYS Workbench*

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

Jakarta, 25 Juni 2024



(Tito Syahril Sobarudin Izha Mahendra)

## PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan rasa syukur kepada Allah S.W.T atas semua karunia-Nya serta petunjuk-Nya yang memungkinkan penulis menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini. Doa serta salam senantiasa disampaikan kepada Nabi Muhammad S.A.W yang telah menjadi teladan bagi seluruh umat manusia. Penulis berharap bahwa Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “ANALISIS STRUKTUR *HOLLOW AXLE* KERETA CEPAT *EMU CR400AF* MENGGUNAKAN *ANSYS WORKBENCH*” dapat memberikan manfaat kepada para pembaca. Penulis juga menyadari bahwa tanpa bantuan serta arahan dari berbagai pihak, penelitian ini tidak akan terlaksana dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada semua yang telah membantu terutama yang telah berjasa dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Dr. Eng. Imam Hidayat, ST, MT selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
2. Bapak Gilang Awan Yudistira ST, MT, selaku Sekretaris Program Studi dan Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
3. Gian Villany Golwa, ST., MT, selaku Koordinator Laboratorium Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
4. Bapak Muhamad Fitri ST, M.Si, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing dengan baik sehingga penulisan Laporan Tugas Akhir ini terselesaikan.
5. Segenap dosen Universitas Mercu Buana Jakarta yang telah memberikan ilmu dan wawasannya kepada penulis.
6. Kepada kedua orang tua yang telah memberikan segala dukungannya, terutama doa restunya kepada penulis untuk menyelesaikan pendidikan kuliah dan Laporan Tugas Akhir ini.
7. Serta seluruh pihak yang telah banyak membantu dan belum sempat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna yang merupakan keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai bahan evaluasi untuk

penulisan Laporan Tugas Akhir maupun karya tulis lain selanjutnya. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Jakarta, 25 Juni 2024

Tito Syahril Sobarudin Izha Mahendra



# ANALISIS STRUKTUR *HOLLOW AXLE* KERETA CEPAT *EMU CR400AF* MENGUNAKAN *ANSYS WORKBENCH*

## ABSTRAK

Salah satu komponen penting pada kereta api adalah bagian poros roda yang fungsi utamanya untuk mendistribusikan pembebanan dari berat badan kereta ke roda menuju rel. Pada kereta konvensional poros roda kereta masih sering terjadi kegagalan material berupa *Crack*/retakan dan bahkan terjadi patah. Poros roda yang dipakai kereta konvensional adalah poros berjenis pejal sementara yang digunakan pada kereta cepat menggunakan jenis poros berongga (*hollow Axle*) sehingga resiko yang dihasilkan lebih besar. Untuk memastikan dan mengkonfirmasi kekuatan struktur *hollow axle*, maka perlu dilakukan analisis struktur dari *hollow axle* tersebut ketika menerima pembebanan statis akibat beban bodi kereta. Parameter yang diukur adalah tegangan maksimum, *safety of factor* dan deformasi maksimumnya. Proses analisis dilakukan menggunakan perhitungan teoritis secara manual dan simulasi dengan metode elemen hingga menggunakan *software ANSYS Workbench*. Pada perhitungan teoritis didapat nilai tegangan maksimum sebesar 59,72 MPa dan nilai *safety of factor* 8,87 dan hasil simulasi mendapatkan tegangan maksimum sebesar 62,02 MPa, nilai *safety of factor* 8,54 dan deformasi maksimum yang terjadi hanya 0,086mm. Selisih dari perhitungan teoritis dan simulasi tegangan maksimum dan *safety of factor* adalah 3,70% dan 3,72%. Berdasarkan hasil yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa *hollow axle* aman karena tegangan maksimum < tegangan izin material dan nilai *safety of factor* (SF) < nilai standar material yaitu 4,5.

**Kata Kunci:** Analisis, *Static Structure*, Poros Berlubang, *ANSYS Workbench*

# ***ANALYSIS OF EMU CR400AF HIGH SPEED TRAIN'S HOLLOW AXLE STRUCTURE USING ANSYS WORKBENCH***

## ***ABSTRACT***

*One of the important components in a train is the wheel axle part whose main function is to distribute the load on the train body to the wheels towards the rails. On conventional trains, train wheel axles still often have material failures in the form of cracks and even breaks. The wheel shaft used by conventional trains is a solid shaft while the one used in the fast train uses a hollow axle so that the risk is greater. To confirm and confirm the strength of the hollow axle structure, it is necessary to analyze the structure of the hollow axle when receiving static loading due to the load of the train body. The parameters measured are maximum stress, safety of factor and maximum deformation. The analysis process is carried out using manual theoretical calculations and simulations with finite element methods using ANSYS Workbench software. In the theoretical calculation, the maximum stress value is 59.72 MPa and the safety factor value is 8.87, and the simulation results get a maximum stress of 62.02 MPa, a safety factor value of 8.54 and the maximum deformation that occurs is only 0.086mm. The difference from the theoretical calculation and simulation of the maximum stress and safety of factor was 3.70% and 3.72%. Based on the results obtained, it can be concluded that the hollow axel is safe because the maximum stress < the material allowable voltage and the safety of factor (SF) value < the material standard value of 4,5.*

***Keywords:*** *Analysis, Static Structure, Hollow Axle, ANSYS Workbench*



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b>	<b>ii</b>
<b>PENGHARGAAN</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>v</b>
<b><i>ABSTRACT</i></b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I</b>	<b>1</b>
<b>1.1. LATAR BELAKANG</b>	<b>1</b>
<b>1.2. RUMUSAN MASALAH</b>	<b>3</b>
<b>1.3. TUJUAN</b>	<b>3</b>
<b>1.4. MANFAAT</b>	<b>4</b>
<b>1.5. RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH</b>	<b>4</b>
<b>1.6. SISTEMATIKA PENULISAN</b>	<b>4</b>
<b>BAB II</b>	<b>6</b>
<b>2.1. PENELITIAN TERDAHULU</b>	<b>6</b>
<b>2.2. KERETA API</b>	<b>13</b>
2.2.1. Kereta Berpengerak Sendiri	15
2.2.2. Kereta Rel Diesel	15
2.2.3. Kereta Rel Listrik	16
2.2.4. Kereta Cepat <i>EMU CR400AF</i> dan <i>CR400BF</i>	17
<b>2.3. KOMPONEN KERETA</b>	<b>18</b>
2.3.1. <i>Bogie</i>	18
2.3.2. <i>Wheelset</i> dan <i>Hollow Axle</i>	19

2.3.3.	Material <i>Hollow axle</i>	21
<b>2.4.</b>	<b>SIFAT MEKANIK MATERIAL</b>	<b>22</b>
<b>2.5.</b>	<b>TEGANGAN DAN REGANGAN</b>	<b>24</b>
<b>2.6.</b>	<b>DEFLEKSI DAN DEFORMASI</b>	<b>26</b>
<b>2.7.</b>	<b>PEMBEBANAN BATANG</b>	<b>27</b>
<b>2.8.</b>	<b>GAYA DALAM DAN MOMEN DALAM</b>	<b>29</b>
<b>2.9.</b>	<b>MOMEN INERSIA</b>	<b>31</b>
<b>2.10.</b>	<b>TEGANGAN <i>VON-MISES</i></b>	<b>33</b>
<b>2.11.</b>	<b><i>SAFETY OF FACTOR</i></b>	<b>34</b>
<b>2.12.</b>	<b>METODE ELEMEN HINGGA</b>	<b>34</b>
<b>2.13.</b>	<b><i>ANSYS WORKBENCH</i></b>	<b>40</b>
<b>BAB III</b>		<b>43</b>
<b>3.1.</b>	<b>DIAGRAM ALIR PENELITIAN</b>	<b>43</b>
<b>3.2.</b>	<b>TAHAPAN PENELITIAN</b>	<b>44</b>
3.2.1.	Identifikasi Masalah	44
3.2.2.	Studi Literatur	44
3.2.3.	Pengumpulan data	44
3.2.4.	Pengolahan Data	45
3.2.5.	Analisis Data	45
3.2.6.	Kesimpulan dan saran	46
<b>3.3.</b>	<b>ALAT DAN BAHAN</b>	<b>46</b>
3.3.1.	Data Primer	46
3.3.2.	<i>Software ANSYS Workbench</i> dan Komputer	48
<b>BAB IV</b>		<b>49</b>
<b>4.1.</b>	<b>PERHITUNGAN TEORITIS PADA <i>HOLLOW AXLE</i></b>	<b>49</b>
4.1.1.	Perhitungan Beban Gandar ( <i>Axle Load</i> )	49
4.1.2.	Distribusi Beban Pada <i>Hollow Axle</i>	50

4.1.3.	Diagram Benda Bebas (FBD)	51
4.1.4.	Diagram Momen dan Gaya Geser	52
4.1.5.	Perhitungan Momen Inersia dan Tegangan Bending Maksimum	55
4.1.6.	Perhitungan Tegangan Bending Maksimum	58
4.1.7.	Perhitungan <i>Safety of Factor</i>	59
<b>4.2.</b>	<b>SIMULASI SOFTWARE ANSYS WORKBENCH</b>	<b>59</b>
4.2.1.	<i>Input Material EA4T</i>	60
4.2.2.	Pemodelan Ulang 3 Dimensi <i>ANSYS-SpaceClaim</i>	60
4.2.3.	<i>Meshing</i>	62
4.2.4.	Pembebanan dan Titik Tumpu pada <i>Hollow Axle</i>	63
4.2.5.	Proses <i>Solution</i>	64
4.2.6.	Hasil Simulasi	65
<b>4.3.</b>	<b>ANALISIS HASIL PERHITUNGAN DAN SIMULASI</b>	<b>69</b>
<b>BAB V</b>		<b>70</b>
<b>5.1.</b>	<b>KESIMPULAN</b>	<b>70</b>
<b>5.2.</b>	<b>SARAN</b>	<b>70</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>72</b>
<b>LAMPIRAN</b>		<b>75</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Lokomotif.....	13
Gambar 2.2. Kereta Berpenggerak Sendiri .....	14
Gambar 2.3. Gerbong datar .....	14
Gambar 2.4. Peralatan Khusus .....	15
Gambar 2.5. Kereta Rel Diesel Elektrik.....	16
Gambar 2.6. Kereta Rel Listrik .....	16
Gambar 2.7. <i>EMU CR400AF</i> .....	17
Gambar 2.8. Susunan <i>Single Trainset EMU CR400AF</i> .....	17
Gambar 2.9. <i>Motor Bogie EMU CR 400 AF</i> .....	18
Gambar 2.10. <i>Trailer Bogie EMU CR 400 AF</i> .....	19
Gambar 2.11. <i>Motor Car Wheelset</i> .....	20
Gambar 2.12. <i>Motor Car Wheelset</i> .....	20
Gambar 2.13. Distribusi <i>Beban Kereta</i> .....	21
Gambar 2.14. Grafik Tegangan dan Regangan.....	25
Gambar 2.15. Pembebanan Terpusat .....	28
Gambar 2.16. Pembebanan Terdistribusi .....	28
Gambar 2.17. Tumpuan <i>Roll</i> .....	29
Gambar 2.18. Tumpuan Jepit.....	29
Gambar 2.19. Tumpuan Sendi .....	29
Gambar 2.20. Definisi dari Geser Positif.....	30
Gambar 2.21. Momen Bending Batang.....	30
Gambar 2.22. Teorema Sumbu Sejajar .....	31
Gambar 2.23. Penampang Lingkaran Berlubang.....	31
Gambar 2.24. Kriteria <i>Von-mises</i> dengan 6 Komponen Tegangan.....	33
Gambar 2.25. Ilustrasi <i>Meshing</i> .....	36
Gambar 2.26. Jenis-Jenis <i>Mesh</i> .....	37
Gambar 2.27. <i>Structured Mesh</i> .....	37
Gambar 2.28. <i>Unstructured Mesh</i> .....	38
Gambar 2.29. <i>Hybrid Mesh</i> .....	38
Gambar 2.30. Parameter Nilai <i>Skewness</i> .....	39
Gambar 2.31. Parameter <i>Element Quality</i> .....	39

Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian .....	43
Gambar 3.2. Dimensi <i>Hollow Axle Motor Car</i> .....	46
Gambar 3.3. Dimensi <i>Hollow Axle Trailer Car</i> .....	46
Gambar 3.4. <i>ANSYS Workbench 2024 R1</i> .....	48
Gambar 4.1. Distribusi Gaya pada <i>Hollow Axle</i> .....	50
Gambar 4.2. <i>Free Body Diagram</i> pada <i>Hollow Axle</i> .....	51
Gambar 4.3. SFD dan BMD <i>Hollow Axle Trailer Car</i> .....	54
Gambar 4.4. Bagian Potongan <i>Hollow Axle Trailer Car</i> .....	54
Gambar 4.5. Sifat Potongan Penampang pada <i>Hollow Axle</i> .....	55
Gambar 4.6. Elemen Tegangan pada Titik Potongan .....	55
Gambar 4.7. Lokasi Titik Kritis <i>Hollow Axle</i> .....	58
Gambar 4.8. <i>Input Material EA4T</i> .....	60
Gambar 4.9. Proses <i>Sketch</i> Dimensi <i>Hollow Axle</i> .....	61
Gambar 4.10. Proses <i>Revolved</i> Dimensi <i>Hollow Axle</i> .....	61
Gambar 4.11. Hasil <i>Meshing Hollow Axle Trailer Car</i> .....	62
Gambar 4.12. Detail <i>Meshing Hollow Axle Trailer Car</i> .....	62
Gambar 4.13. Grafik <i>Mesh Metric - Skewness</i> .....	63
Gambar 4.14. Kualitas <i>Meshing (Skewness Quality)</i> .....	63
Gambar 4.15. Pembebanan dan Titik Tumpu <i>Hollow Axle</i> .....	64
Gambar 4.16. Pengaturan <i>Solution</i> – Tegangan Maksimum .....	64
Gambar 4.17. Pengaturan <i>Solution</i> – Deformasi Maksimum .....	65
Gambar 4.18. Pengaturan <i>Solution</i> – <i>Safety of Factor</i> .....	65
Gambar 4.19. Hasil Simulasi <i>Equivalent Von-Mises</i> .....	66
Gambar 4.20. Letak Tegangan Maksimum .....	66
Gambar 4.21. Hasil Simulasi <i>Total Deformation</i> .....	67
Gambar 4.22. Letak Deformasi Maksimum .....	67
Gambar 4.23. Hasil Simulasi <i>Safety of Factor</i> .....	68
Gambar 4.24. Letak <i>Safety of Factor</i> Terendah .....	68

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu .....	6
Tabel 2.2. <i>Chemical Composition Material</i> EA4T/25CrMo4 (Fajkoš et al., 2015) ..	21
Tabel 2.3. <i>Chemical Composition Material</i> (Zouxuanbo, 2020).....	22
Tabel 2.4. <i>Chemical Composition</i> S38C (Fajkoš et al., 2015).....	22
Tabel 2.5. <i>Mechanical Properties</i> S38C (Fajkoš et al., 2015).....	22
Tabel 2.6. Nilai <i>Safety Factor</i> (Robert C Juvinal, 2017) .....	34
Tabel 3.1. Sifat Mekanis Material EA4T (Hassani-Gangaraj et al., 2015).....	47
Tabel 3.2. Berat Kereta dan Kapasitas Penumpang <i>EMU CR400AF</i> (Standard China EMU 350km/h, 2015) .....	47
Tabel 3.3. Spesifikasi Komputer.....	48
Tabel 4.1. Tabel Hasil Perhitungan <i>Axle Load EMU CR400AF</i> .....	49
Tabel 4.2. Tabel Hasil Perhitungan <i>Principle Stress</i> dan <i>Von-Mises</i> .....	58
Tabel 4.3. Tabel Hasil Perhitungan dan Simulasi.....	69

## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
$\delta$	Perbedaan Panjang [m]
$\sigma$	Tegangan Normal [MPa]
$\varepsilon$	Regangan
$\Delta L$	Pertambahan Panjang [mm]
$\Sigma$	Jumlah



## DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
EMU	<i>Electric Multipel Unit</i>
KRL	Kereta Rel Listrik
KRD	Kereta Rel Diesel
FEA	<i>Finite Element Analysis</i>
OCS	<i>Overhead Catenary System</i>
EN	<i>European Standard</i>
FFT	<i>Fast Fourier Transformation</i>
HHT	<i>Hilbert Huang Transformation</i>
MRT	<i>Mass Rapid Transit</i>
LRT	<i>Light Rail Transit</i>
CRRC	<i>China Railway Rolvingstock Corporation</i>
CTCS	<i>China Train Control System</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
OCC	<i>Operation Control Center</i>
NDT	<i>Non-Destructive Test</i>

UNIVERSITAS  
MERCU BUANA