



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**STUDI KASUS KERUSAKAN *HOLLOW AXLE* PADA
CR400AF MENGGUNAKAN METODE
ROOT CAUSE ANALYSIS (RCA) di PT XYZ**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Oleh:
Muhammad Zacky Al - Aziz
NIM. 2302311031

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI D-III TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



STUDI KASUS KERUSAKAN HOLLOW AXLE PADA CR400AF MENGGUNAKAN METODE *ROOT CAUSE ANALYSIS (RCA)* di PT XYZ

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan
Diploma III Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin

Oleh:
Muhammad Zacky Al - Aziz
NIM. 23023110031

**PROGRAM STUDI D-III TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2026**



“Tugas akhir ini kupersembahkan untuk ayah, ibu, bangsa dan almamater”

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN
LAPORAN TUGAS AKHIR
STUDI KASUS KERUSAKAN HOLLOW AXLE PADA
CR400AF MENGGUNAKAN METODE
ROOT CAUSE ANALYSIS (RCA)

Oleh:

Muhammad Zacky Al - Aziz

NIM. 2302311031

Program Studi D-III Teknik Mesin

Laporan Tugas Akhir telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr., Fuad Zainuri, S.T., M.Si.

NIP. 197602252000121002

Asep Yana Yusyama, S.Pd., M.Pd.

NIP. 199001112019031016

Kepala Program Studi
D-III Teknik Mesin

Nabila Yudisha, S.T., M.T.

NIP. 199311302023212045



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR

STUDI KASUS KERUSAKAN HOLLOW AXLE PADA CR400AF MENGGUNAKAN METODE ROOT CAUSE ANALYSIS (RCA)

Oleh:
Muhammad Zacky Al - Aziz

NIM. 2302311031

Program Studi D-III Teknik Mesin

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang Tugas Akhir di hadapan Dewan
Penguji pada tanggal 28 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk
memperoleh Diploma III pada Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik
Mesin

DEWAN PENGUJI

No	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1	Dr., Fuad Zainuri, S.T., M.Si. NIP. 197602252000121002	Ketua		31/7-2026
2	Idrus Assagaf, S.S.T., M.T. NIP. 196811042000121001	Anggota		31/7-2026
3	Ir. Rosidi, S.T., M.T. NIP. 196509131990031001	Anggota		30/7-26

Depok, 31. Juli 2026

Disahkan Oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr., Fuad Zainuri, S.T., M.Si.
NIP. 197602252000121002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Zacky Al – Aziz
NIM : 2302311031
Program Studi : D-III Teknik Mesin

Menyatakan bahwa yang dituliskan pada Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya sendiri bukan jiplakan atau plagiasi dari karya orang lain/lembaga lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan dan temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas Akhir telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya

Depok, 03. Agustus. 2026

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Muhammad Zacky Al - Aziz
NIM. 2302311031



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

STUDI KASUS KERUSAKAN HOLLOW AXLE PADA CR400AF MENGGUNAKAN METODE *ROOT CAUSE ANALYSIS* (RCA)

Muhammad Zacky Al – Aziz^{1*}, Fuad Zainuri², Asep Yana Yusyama¹

¹Program Studi Diploma Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR.G.A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

*Email: muhammad.zacky.al.aziz.tm23@stu.pnj.ac.id

ABSTRAK

Industri perkeretaapian berkecepatan tinggi menuntut keandalan komponen yang sangat presisi guna menjamin keselamatan operasional. Pada operasional kereta cepat CR400AF di PT XYZ, ditemukan indikasi kerusakan pada *hollow axle* berupa *impact damage* dan *surface scratch*. Jika tidak ditangani, cacat permukaan ini dapat memicu retak lelah (*fatigue crack*) yang fatal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis akar penyebab kerusakan hollow axle menggunakan metode *Root Cause Analysis* (RCA). Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara, dokumentasi, dan studi pustaka, yang kemudian diolah menggunakan diagram Fishbone dan *analysis 5 Whys + 1H*. Hasil *analysis* menunjukkan bahwa kerusakan dipicu oleh kombinasi prosedur kerja yang kurang dipahami teknisi, kurangnya jumlah tenaga kerja saat inspeksi visual, serta akurasi sensor mesin *Non-Destructive Testing* (NDT) yang menurun karena belum adanya jadwal kalibrasi yang berbasis jarak tempuh. Rekomendasi perbaikan yang diusulkan meliputi peningkatan frekuensi inspeksi, pembuatan jadwal kalibrasi berkala untuk mesin NDT, serta penyediaan *Standard Operating Procedure* (SOP) yang lebih komprehensif.

Kata – kata kunci : Kata-kata kunci: Hollow Axle, Kereta Cepat CR400AF, Root Cause Analysis, Diagram Fishbone, Perawatan Komponen.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Case Study of Hollow Axle Failure on the CR400AF Using the Root Cause Anallysis (RCA) Method

Muhammad Zacky Al – Aziz^{1*},Fuad Zainuri², Asep Yana Yusyama¹

¹Program Studi Diploma Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR.G.A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

*Email: muhammad.zacky.al.aziz.tm23@stu.pnj.ac.id

ENGLISH

The high-speed railway industry demands highly precise component reliability to ensure operational safety. In the operation of the CR400AF high-speed train at PT XYZ, indications of damage to the hollow axle were found in the form of impact damage and surface scratches. If left untreated, these surface defects can trigger fatal fatigue cracks. This study aims to analyze the root causes of hollow axle damage using the Root Cause Analysis (RCA) method. Data collection was carried out through field observations, interviews, documentation, and literature studies, which were then processed using a Fishbone diagram and 5 Whys + 1H analysis. The results indicate that the damage was triggered by a combination of work procedures that technicians did not fully understand, a lack of manpower during visual inspections, and decreased accuracy of the Non-Destructive Testing (NDT) machine sensors due to the absence of a mileage-based calibration schedule. The proposed recommendations include increasing inspection frequency, creating a periodic calibration schedule for NDT machines, and providing more comprehensive Standard Operating Procedures (SOPs).

Keywords: *Hollow Axle, CR400AF high – speed train, Root Cause Anallysis, Fishbone Diagram, Component Maintenance.*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Studi Kasus Kerusakan Hollow Axle pada Kereta Cepat CR400AF di PT XYZ" dengan baik. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya (A.Md.) pada Program Studi Diploma III Teknik Mesin.

Penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dukungan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan arahan, dukungan, serta fasilitas selama proses perkuliahan hingga penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Nabila Yudhisha, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi D – III Teknik Mesin yang telah memberikan arahan, dukungan, serta motivasi kepada penulis selama menjalani proses perkuliahan hingga penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si. selaku dosen pembimbing Pertama Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, masukan, serta ilmu yang sangat bermanfaat sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Asep Yana Yusyama, S.Pd., M.Pd. selaku dosen pembimbing Kedua Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, masukan, serta ilmu yang sangat bermanfaat sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Manajemen serta seluruh karyawan PT XYZ yang telah memberikan kesempatan, bantuan, arahan, serta informasi yang diperlukan selama proses pengumpulan data dan penyusunan Tugas Akhir ini.

6. Kedua orang tua tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, motivasi, kasih sayang, serta semangat yang tidak pernah berhenti kepada penulis dalam menyelesaikan pendidikan dan penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman M23 yang telah memberikan dukungan, bantuan, kebersamaan, serta semangat selama masa perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	IV
HALAMAN PENGESAHAN.....	V
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	VI
ABSTRAK	VII
KATA PENGANTAR.....	IX
DAFTAR ISI.....	XI
DAFTAR GAMBAR.....	XIV
DAFTAR TABEL	XV
DAFTAR LAMPIRAN	XVI
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 BATASAN MASALAH	3
1.4 TUJUAN PENELITIAN	3
1.5 MANFAAT PENELITIAN	3
1.5.1 Manfaat Bagi Mahasiswa.....	4
1.5.2 Manfaat Bagi Politeknik Negeri Jakarta	4
1.5.3 Manfaat Bagi Perusahaan.....	4
1.6 METODE PENGUMPULAN DATA.....	4
1.6.1 Observasi.....	4
1.6.2 Wawancara	4
1.6.3 Dokumentasi	5
1.6.4 Studi Pustaka.....	5
1.6.5 Triangulasi Data	5
1.7 SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 KERETA CEPAT CR400AF	7
2.1.1 Karakteristik Kereta Cepat	8
2.1.2 Gambaran Umum CR400AF	8
2.1.3 Sistem Bogie Pada CR400AF	9
2.1.4 Wheelset pada CR400AF	10
2.2 HOLLOW AXLE PADA WHEELSET KERETA CEPAT	11
2.2.1 Material Hollow Axle	12
2.2.2 Fungsi Hollow Axle pada Wheelset.....	12
2.2.3 Kontruksi dan Komponen Hollow Axle	13
2.2.4 Karakteristik Pembebanan pada Hollow Axle	13



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.2.5 Faktor Faktor yang Mempengaruhi Umur Pakai Hollow Axle.....	14
2.3 KERUSAKAN HOLLOW AXLE.....	14
2.3.1 Jenis Jenis Kerusakan Hollow axle	15
2.3.2 Penyebab Kerusakan Hollow Axle	15
2.3.3 Dampak Kerusakan Hollow Axle	16
2.3.4 Metode Deteksi Kerusakan Hollow Axle	16
2.4 PEMELIHARAAN HOLLOW AXLE.....	17
2.4.1 Preventive Maintenance	18
2.4.2 Corrective Maintenance	18
2.4.3 Inpeksi Hollow Axle	19
2.5 NON – DESTRUCTIVE TESTING (NDT)	19
2.5.2 Prinsip Kerja NDT pada Hollow Axle	20
2.5.3 Jenis – Jenis NDT untuk Hollow Axle.....	21
1. Visual Testing (VT)	21
2. Ultrasonic Testing (UT)	21
2.5.4 Kalibrasi Alat NDT pada Inspeksi Hollow Axle	22
2.6 ROOT CAUSE ANALYSIS (RCA)	24
2.6.1 Fishbone Diagram	24
2.6.2 5 WHYS+1H.....	25
BAB III METODOLOGI Pengerjaan Tugas Akhir.....	26
3.1 DIAGRAM ALIR Pengerjaan.....	26
3.2 TEORI PENELITIAN	27
3.3 PENJELASAN LANGKAH KERJA.....	27
3.3.1 Mulai	28
3.3.2 Identifikasi Masalah	28
3.3.3 Studi Literatur	28
3.3.4 Studi Lapangan	28
3.3.5 Pengumpulan Data	29
3.3.6 Identifikasi Jenis Kerusakan	29
3.3.7 Root Cause Anallysis	29
3.3.8 5W + 1H.....	30
3.3.9 Usulan Perbaikan	30
3.3.10 Kesimpulan dan Saran	30
3.3.11 Selesai	30
3.4 METODE PEMECAHAN MASALAH.....	31
BAB IV PEMBAHASAN.....	32
4.1 GAMBARAN SISTEM PEMERIKSAAN HOLLOW AXLE CR400AF	32
4.3 IDENTIFIKASI KERUSAKAN HOLLOW AXLE	32
4.3.1 Hasil Observasi	33
4.3.2 Karakteristik Kerusakan.....	34
4.4 FISHBONE DIAGRAM	35
4.4.1 Faktor Manusia (Man)	35
4.4.2 Faktor Metode (Method / Proses Kerja)	36
4.4.3 Faktor Mesin (Machine / Peralatan).....	37



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.4.4 Faktor Material (Material / Bahan Baku).....	38
4.5 METHODE 5 WHYS + 1 H	38
4.6 USULAN PERBAIKAN	41
4.6.1 Perbaikan umum	41
4.6.2 Perbaikan khusus.....	42
BAB V KESIMPULAN	43
5.1 KESIMPULAN	43
5.2 SARAN.....	44
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN.....	47





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2. 1 CR400AF</i>	<i>7</i>
<i>Gambar 2. 2 Unit Yang Digunakan Indonesia</i>	<i>8</i>
<i>Gambar 2. 3 Bogie Trailer.....</i>	<i>10</i>
<i>Gambar 2. 4 Bogie Motor</i>	<i>10</i>
<i>Gambar 2. 5 Wheelset CR400AF</i>	<i>11</i>
<i>Gambar 2. 6 Hollow Axle pada Wheelset</i>	<i>12</i>
<i>Gambar 2. 8 Prinsip Kerja NDT.....</i>	<i>20</i>
<i>Gambar 2. 9 Hasil Perawatan NDT</i>	<i>22</i>
<i>Gambar 3. 1 Diagram Alir pengerjaan.....</i>	<i>26</i>
<i>Gambar 4. 1 Impact Damage.....</i>	<i>33</i>
<i>Gambar 4. 2 Fishbone Diagram.....</i>	<i>35</i>





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

<i>Tabel 4. 1 Hasil Observasi.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabel 4. 2 Data Penyebab Kerusakan</i>	<i>34</i>
<i>Tabel 4. 7 5 why + 1 H.....</i>	<i>38</i>





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

<i>Gamabr Lampiran 1 1 Wawancara Teknisi Hollow Axle.....</i>	<i>46</i>
<i>Gamabr Lampiran 1 2 Surat Melakukan Wawancara Teknisi</i>	<i>46</i>
<i>Gamabr Lampiran 1 3 Wawancara Engineer.....</i>	<i>47</i>
<i>Gamabr Lampiran 1 4 Surat Melakukan Wawancara Engineer</i>	<i>47</i>
<i>Gamabr Lampiran 1 5 Surat Melakukan Wawancara Manager</i>	<i>48</i>





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri perkeretaapian berkecepatan tinggi (*High-Speed Railway/HSR*) terus berkembang sebagai moda transportasi yang mendukung mobilitas, efisiensi energi, dan pertumbuhan ekonomi. panjang jaringan kereta cepat dunia telah melampaui 60.000 km, dengan lebih dari 70% berada di Tiongkok. Di Indonesia, teknologi kereta cepat diwujudkan melalui operasional sarana yang dikelola oleh PT XYZ. Kereta ini menggunakan rangkaian CR400AF Fuxing yang mampu beroperasi hingga 350 km/jam dengan teknologi *Electric Multiple Unit (EMU)* dan *condition monitoring*.

Perkembangan tersebut meningkatkan tuntutan terhadap keselamatan dan keandalan komponen kereta cepat. Salah satu komponen yang berperan penting adalah *wheelset*, khususnya *hollow axle*, yang berfungsi menopang beban dan mentransmisikan gaya antara roda dan rel. Kegagalan axle dapat menyebabkan *derailment* sehingga memerlukan desain, inspeksi, dan pemeliharaan yang andal [1], [2].kegagalan *axle* dapat menyebabkan *derailment* sehingga memerlukan sistem desain, inspeksi, dan pemeliharaan yang andal. Kecepatan operasi yang tinggi menyebabkan setiap komponen menerima pembebanan dinamis secara terus-menerus. Oleh karena itu, PT XYZ menerapkan sistem pemeliharaan berbasis inspeksi dan pemantauan kondisi untuk menjaga keandalan komponen, termasuk *hollow axle*.

Pada PT XYZ kerusakan *Hollow Axle* merupakan kerusakan yang sangat di perhatikan karena dalam seri CR400AF baru hanya di Indonesia yang menggunakan teknologi untuk mendeteksi kerusakan *Hollow Axle* namun penelitian mengenai *Hollow Axle* masih sangat sedikit dilakukan dan tidak membahas terkait penyebab dan alasan terjadinya kerusakan, kerusakan permukaan dapat meningkatkan konsentrasi tegangan yang memicu terbentuknya retak lelah (*fatigue crack*)[2], [3]. Apabila tidak terdeteksi sejak dini, retak tersebut dapat berkembang menjadi kegagalan struktur yang membahayakan keselamatan operasi kereta cepat.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Kerusakan *hollow axle* merupakan permasalahan penting karena komponen ini termasuk *safety-critical component* yang memengaruhi keselamatan operasi kereta cepat. Kerusakan seperti *impact damage* *Impact damage yang terjadi akibat benturan benda asing dapat mempercepat inisiasi retak serta menurunkan umur pakai axle* [4], [5], [6] dan *surface scratch* sering dianggap ringan, padahal dapat menjadi awal terbentuknya retak *fatigue*. Selain meningkatkan risiko kegagalan, kerusakan tersebut juga dapat menyebabkan bertambahnya biaya pemeliharaan dan *downtime*. Oleh karena itu, diperlukan investigasi yang mampu mengidentifikasi penyebab kerusakan secara menyeluruh agar tindakan pencegahan dapat dilakukan secara efektif.

Penelitian ini menggunakan metode *Root Cause Analysis (RCA)* untuk mengidentifikasi akar penyebab kerusakan *hollow axle* secara sistematis. Analisis dilakukan berdasarkan data inspeksi, dokumen pemeliharaan, kondisi operasional, dan faktor manusia yang berkaitan dengan kerusakan. Metode *Fishbone Diagram* digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab, sedangkan *5 Whys+1H* digunakan untuk menelusuri akar penyebab dari setiap faktor tersebut, kombinasi kedua metode tersebut mampu menghasilkan analisis yang lebih komprehensif dibandingkan hanya mengidentifikasi gejala kerusakan.

Beberapa penelitian telah membahas kegagalan *axle* dari aspek material dan integritas struktur. menjelaskan penyebab kegagalan berupa *fatigue*, korosi, dan kerusakan permukaan, menunjukkan bahwa *impact damage* dapat mempercepat propagasi retak. mengembangkan metode inspeksi ultrasonik pada *hollow axle*, (mengulas perkembangan teknologi *Non-Destructive Testing (NDT)* berbasis kecerdasan buatan[4]. Namun, penelitian-penelitian tersebut belum banyak mengintegrasikan hasil inspeksi dengan pendekatan *Root Cause Analysis (RCA)* pada *hollow axle* CR400AF[7].

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, masih terdapat keterbatasan penelitian mengenai investigasi kerusakan *hollow axle* pada CR400AF menggunakan pendekatan *Root Cause Analysis (RCA)*. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi akar penyebab *impact damage* dan *surface scratch* melalui



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

metode *Fishbone Diagram* dan *5 Whys+1H*. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar dalam menyusun strategi pemeliharaan yang lebih efektif serta mengurangi potensi kegagalan berulang. Selain itu, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian investigasi kerusakan komponen pada sistem kereta cepat, khususnya di PT XYZ

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan kondisi tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana akar penyebab terjadinya kerusakan *hollow axle* pada EMU400AF di PT XYZ berdasarkan metode *Root Cause Analysis* (RCA)?
2. Bagaimana rekomendasi tindakan pencegahan (*preventive action*) yang dapat diterapkan untuk meminimalkan potensi terulangnya kerusakan *hollow axle*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian difokuskan pada komponen *hollow axle* CR400AF yang mengalami kerusakan.
2. Analisis dilakukan menggunakan metode *Root Cause Analysis* (RCA), *Fishbone Diagram*, dan metode *5 Why+1H*.
3. Penelitian tidak membahas pengujian laboratorium, analisis *metalurgi*, simulasi *Finite Element Analysis* (FEA), maupun perhitungan kekuatan material.
4. Hasil penelitian berupa identifikasi akar penyebab serta pencegahan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Menganalisis akar penyebab kerusakan menggunakan metode *Root Cause Analysis* (RCA).
2. Menyusun rekomendasi tindakan pencegahan berdasarkan hasil analisis.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil Penelitian ini dapat memberikan manfaat untuk berbagai pihak yang akan dijelaskan sebagai berikut:



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.5.1 Manfaat Bagi Mahasiswa

Hasil penelitian ini diharapkan penulis dapat memahami dan mengidentifikasi permasalahan dengan mengimplementasikan keilmuan yang di dapatkan selama perkuliahan untuk menyelesaikan masalah yang terjadi.

1.5.2 Manfaat Bagi Politeknik Negeri Jakarta

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat akademis bagi civitas akademika dalam penelitian berikutnya dan referensi tambahan pada penelitian yang sejenis.

1.5.3 Manfaat Bagi Perusahaan

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan dalam mengidentifikasi penyebab kerusakan *hollow axle* serta mendukung upaya peningkatan sistem pemeliharaan untuk mencegah terjadinya kerusakan berulang.

1.6 Metode Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data merupakan proses memperoleh informasi yang dibutuhkan untuk menjawab tujuan penelitian. Dalam penelitian kualitatif, data dikumpulkan secara langsung dari objek penelitian melalui beberapa teknik agar informasi yang diperoleh lebih lengkap dan akurat. pengumpulan data dalam penelitian kualitatif dapat dilakukan melalui observasi, wawancara, dokumentasi, dan studi pustaka. Pada penelitian ini, data dikumpulkan menggunakan empat teknik tersebut serta didukung dengan triangulasi data.

1.6.1 Observasi

Observasi dilakukan dengan mengamati secara langsung kondisi *hollow axle*, proses inspeksi, serta kegiatan pemeliharaan di PT XYZ. Tujuannya adalah memperoleh gambaran kondisi aktual dan memverifikasi data yang diperoleh dari sumber lain.

1.6.2 Wawancara

Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur dengan teknisi, supervisor, dan *engineer* yang terlibat dalam inspeksi maupun



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pemeliharaan CR400AF. Wawancara bertujuan memperoleh informasi mengenai penyebab kerusakan, proses investigasi, dan upaya penanganan yang telah dilakukan.

1.6.3 Dokumentasi

Dokumentasi digunakan sebagai data pendukung penelitian yang meliputi laporan inspeksi, riwayat pemeliharaan, foto kerusakan, *Standard Operating Procedure (SOP)*, *work instruction*, serta dokumen teknis lainnya yang berkaitan dengan *hollow axle*.

1.6.4 Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan dengan mengkaji buku, jurnal ilmiah, standar teknis, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan *hollow axle*, *failure analysis*, pemeliharaan perkeretaapian, dan *Root Cause Analysis (RCA)* sebagai dasar teori penelitian.

1.6.5 Triangulasi Data

Triangulasi data dilakukan dengan membandingkan hasil observasi, wawancara, dokumentasi, dan studi pustaka. Teknik ini bertujuan memastikan data yang diperoleh konsisten, valid, dan dapat dipertanggungjawabkan sehingga hasil penelitian lebih akurat.

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini terbagi menjadi 5 (lima) bab yang saling berkaitan satu sama lain. Sistematika penulisan skripsi ini disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat landasan teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep dasar sistem perkeretaapian, wheelset, axle dan hollow axle, karakteristik serta mekanisme kerusakan hollow axle, teori pemeliharaan (*maintenance*), analisis kegagalan (*failure analysis*), metode Root Cause Analysis (RCA), Fishbone



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Diagram, metode 5 Why+1H, penelitian terdahulu yang relevan, serta kerangka pemikiran penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan secara rinci mengenai metode pelaksanaan penelitian, meliputi lokasi dan waktu penelitian, desain penelitian, objek penelitian, jenis dan sumber data, teknik pengumpulan data, instrumen penelitian, teknik pengolahan data, teknik analisis data menggunakan Root Cause Analysis (RCA), serta tahapan pelaksanaan penelitian yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian.

BAB IV PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan pembahasan atau masalah yang dibawa oleh penulis secara lengkap

BAB V KESIMPULAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian yang diperoleh dari proses observasi, wawancara, dokumentasi, dan studi pustaka.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada *Hollow Axle* dengan judul “Studi Kasus Kerusakan *Hollow Axle* pada CR400AF Menggunakan Metode *Root Cause Anallysis* (RCA), maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisis menggunakan metode Root Cause Analysis (RCA), diperoleh bahwa kerusakan hollow axle berupa *impact damage* dan *surface scratch* dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling berkaitan, yaitu faktor manusia (man), metode (method), mesin (machine), dan material (material). Melalui analisis Fishbone Diagram dan 5 Whys + 1H diketahui bahwa akar penyebab kerusakan meliputi kurangnya pemahaman teknisi terhadap prosedur kerja, keterbatasan jumlah tenaga kerja saat inspeksi visual, pengalaman teknisi yang masih terbatas, belum adanya jadwal kalibrasi mesin NDT berdasarkan kilometer operasi, kondisi mesin NDT yang masih dalam tahap implementasi, serta kerentanan material hollow axle terhadap benturan selama operasional.
2. Berdasarkan hasil analisis *Fishbone Diagram* dan 5 Whys+1H, disusun tujuh rekomendasi tindakan pencegahan yang dibagi menjadi dua kategori, yaitu perbaikan umum dan perbaikan khusus, sebagai berikut:
 - a. Perbaikan Umum
Meliputi pelaksanaan inspeksi visual berkala menggunakan *checklist*, penerapan *briefing* pra-kerja wajib untuk memastikan pemahaman *Work Order*, penataan area kerja agar bebas dari sumber *surface scratch*, dokumentasi sistematis setiap temuan kerusakan, serta penerapan SOP penanganan *hollow axle* yang ketat selama proses pengangkutan, penyimpanan, dan pemasangan.
 - b. Perbaikan Khusus



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Meliputi: penambahan *man power* teknisi inspeksi agar beban kerja lebih merata dan tidak menimbulkan kelelahan, penyelenggaraan program pelatihan dan sertifikasi NDT secara berkala bagi seluruh teknisi, penyusunan jadwal kalibrasi mesin NDT berbasis parameter jarak tempuh *hollow axle*, penetapan kebijakan prioritas slot waktu perawatan *hollow axle* yang tidak dapat digeser oleh kegiatan *corrective maintenance* tanpa persetujuan manajemen; serta, penyusunan SOP *troubleshooting* mesin NDT agar gangguan teknis dapat diselesaikan dengan cepat tanpa menghentikan kegiatan inspeksi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang diperoleh, maka penulis memberikan beberapa saran yang dapat disajikan yaitu sebagai berikut.

1. Disarankan untuk meningkatkan pelaksanaan inspeksi berkala pada komponen *hollow axle*, khususnya terhadap kerusakan berupa *impact damage* dan *surface scratch*. Selain itu, perlu dilakukan evaluasi secara berkala terhadap prosedur pemeliharaan, penanganan *wheelset*, serta pengawasan kondisi jalur guna meminimalkan potensi benturan benda asing yang dapat menyebabkan kerusakan pada *hollow axle*.
2. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan analisis dengan menggunakan metode lain, seperti Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA), atau simulasi Finite Element Analysis (FEA) untuk mengevaluasi tingkat risiko dan distribusi tegangan pada *hollow axle*. Selain itu, penelitian juga dapat menggunakan data kerusakan yang lebih banyak agar hasil analisis menjadi lebih komprehensif dan akurat.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Schmidová, P. Paščenko, B. Culek, and M. Schmid, "Premature failures of railway axles after repeated pressing," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 123, no. January, 2021, doi: 10.1016/j.engfailanal.2021.105253.
- [2] U. Zerbst, M. Madia, C. Klinger, D. Bettge, and Y. Murakami, "Defects as a root cause of fatigue failure of metallic components. III: Cavities, dents, corrosion pits, scratches," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 97, no. June 2018, pp. 759–776, 2019, doi: 10.1016/j.engfailanal.2019.01.034.
- [3] U. Zerbst, M. Madia, C. Klinger, D. Bettge, and Y. Murakami, "Defects as a root cause of fatigue failure of metallic components. I: Basic aspects," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 97, no. June 2018, pp. 777–792, 2019, doi: 10.1016/j.engfailanal.2019.01.055.
- [4] S. C. Wu, Y. Luo, Z. Shen, L. C. Zhou, W. H. Zhang, and G. Z. Kang, "Collaborative crack initiation mechanism of 25CrMo4 alloy steels subjected to foreign object damages," *Eng. Fract. Mech.*, vol. 225, no. October, 2020, doi: 10.1016/j.engfracmech.2019.106844.
- [5] A. X. Pan *et al.*, "Premature Fatigue Failure Analysis of Axle in Permanent Magnet Direct-Drive Electric Locomotive," *Materials (Basel)*, vol. 18, no. 16, pp. 1–25, 2025, doi: 10.3390/ma18163747.
- [6] H. Zhao *et al.*, "Damage Tolerance Assessment of Heavy-Duty Freight Railway Axles with Artificial Defects," *Chinese J. Mech. Eng. (English Ed.)*, vol. 38, no. 1, 2025, doi: 10.1186/s10033-025-01218-6.
- [7] M. Rieger *et al.*, "Fatigue crack growth in full-scale railway axles – Influence of secondary stresses and load sequence effects," *Int. J. Fatigue*, vol. 132, p. 105360, 2020, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2019.105360.
- [8] H. Zhao, J. Liang, and C. Liu, "High-Speed EMUs: Characteristics of Technological Development and Trends," *Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 234–244, 2020, doi: 10.1016/j.eng.2020.01.008.
- [9] H. Huang, J. Xiong, and J. Zhang, "Windows of opportunity in the cops's catch-up process: A case study of china's high-speed train industry," *Sustain.*, vol. 13, no. 4, pp. 1–17, 2021, doi: 10.3390/su13042144.
- [10] C. Ji, Y. Gao, Z. Liu, and G. Yang, "Field Measurement and Characteristics Analysis of Transverse Load of High-Speed Train Bogie Frame," *Machines*, vol. 13, no. 10, 2025, doi: 10.3390/machines13100905.
- [11] L. Qiuze *et al.*, "Machine Translated by Google Development and Prospect of Bogie Technology for China ' s High-speed EMUs Technological development and prospect of China ' s high speed EMU bogies Machine Translated by Google," vol. 2023, no. 2, pp. 14–35, 2023, doi: 10.13890/j.issn.1000-128X.2023.02.002.
- [12] S. Cervello, "Fatigue properties of railway axles: New results of full-scale specimens from Euraxles project," *Int. J. Fatigue*, vol. 86, pp. 2–12, 2016, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2015.11.028.
- [13] P. Pokorný, T. Vojtek, L. Náhlík, and P. Hutař, "Crack closure in near-threshold fatigue crack propagation in railway axle steel EA4T," *Eng. Fract. Mech.*, vol. 185, pp. 2–19, 2017, doi: 10.1016/j.engfracmech.2017.02.013.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [14] V. Giannella, "Stochastic approach to fatigue crack-growth simulation for a railway axle under input data variability," *Int. J. Fatigue*, vol. 144, no. November 2020, p. 106044, 2021, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2020.106044.
- [15] M. Yamamoto, K. Makino, and H. Ishiduka, "Comparison of crack growth behaviour between full-scale railway axle and scaled specimen," *Int. J. Fatigue*, vol. 92, pp. 159–165, 2016, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2016.07.001.
- [16] I. Gauna *et al.*, "Study of a train axle inspection system for automatically detecting defects in hollow axles," *19th World Conf. Non Destr. Test.*, pp. 1–8, 2016, [Online]. Available: <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/>
- [17] J. L. Lanzagorta, I. Aizpurua, P. R. Vázquez, and I. Castro, "New ways to inspect railway axles: From simulation to experimental validation," *NDT E Int.*, vol. 121, no. March, 2021, doi: 10.1016/j.ndteint.2021.102439.
- [18] S. Holifahtus Sakdiyah, N. Eltivia, and A. Afandi, "Root Cause Analysis Using Fishbone Diagram: Company Management Decision Making," *J. Appl. Business, Tax. Econ. Res.*, vol. 1, no. 6, pp. 566–576, 2022, doi: 10.54408/jabter.v1i6.103.
- [19] D. Wulandari, "Penerapan PDM dan RCA dalam Proyek Pengadaan Suku Cadang," vol. 2, no. 1, pp. 255–267, 2025.
- [20] A. Kumah *et al.*, "Quality and Safety Learning Corner Cause-and-Effect (Fishbone) Diagram : A Tool for Generating and Organizing Quality Improvement Ideas," *Innov. Journals*, vol. 7, no. 2, pp. 1–3, 2024, doi: 10.36401/JQSH-23-42.This.
- [21] Muhammad Alfafa Rizky and Sumiati Sumiati, "Performance Analysis Of Marketing and Customer Service Division Using The 5W1H Method and Fishbone Diagram At PT XYZ," *Int. J. Mech. Ind. Control Syst. Eng.*, vol. 1, no. 4, pp. 65–71, 2024, doi: 10.61132/ijmicse.v1i4.130.
- [22] R. Vivek and O. P. Krupskyi, "Exploring Synergy: Integrating Qualitative Research Methods with Root Cause Analysis for Holistic Problem Understanding," *Eur. J. Manag. Issues*, vol. 32, no. 4, pp. 259–271, 2024, doi: 10.15421/192422.
- [23] X. Liu, Y. Ni, and L. Zhou, "Condition-based maintenance of high-speed train wheels through trackside monitoring," *Proc. 2nd Int. Work. Struct. Heal. Monit. Railw. Syst.(IWSHM-RS)*, pp. 1–12, 2018.
- [24] G. Xiang, K. C. Bacharoudis, and A. P. Vassilopoulos, "Probabilistic fatigue model for composites based on the statistical characteristics of the cycles to failure," *Int. J. Fatigue*, vol. 163, no. June, p. 107085, 2022, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2022.107085.
- [25] F. Dinmohammadi, "A risk-based modelling approach to maintenance optimization of railway rolling stock: A case study of pantograph system," *J. Qual. Maint. Eng.*, vol. 25, no. 2, pp. 272–293, 2019, doi: 10.1108/JQME-11-2016-0070.
- [26] E. R. Prasetyo, S. Wicaksono, T. D. Rachmilda, and V. Viridyawan, "Reliability Improvement Of Overhead Catenary System For Electric Train: A Review," *J. Perkeretaapi. Indones. (Indonesian Railw. Journal)*, vol. 9, no. 1, pp. 44–56, 2025, doi: 10.37367/jpi.v9i1.316.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN



Gambar Lampiran 1 . 1 Wawancara Teknisi NDT



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

SURAT KETERANGAN TELAH MELAKUKAN WAWANCARA

Yang bertanda tangan di bawah ini: Muhammad Zacky Al - Aziz

Nama Narasumber : Galuh Pramudya
Jabatan/Posisi : Teknisi Maintenance
Departemen : EMU MAINTENANCE

Dengan ini menyatakan bahwa:

Nama Peneliti : Muhammad Zacky Al - Aziz
Program Studi : D III – Teknik Mesin
Perguruan Tinggi : Politeknik Negeri Jakarta

Telah melakukan kegiatan wawancara dalam rangka pengumpulan data penelitian Tugas Akhir dengan topik:

“Studi Kasus Kerusakan *Hollow Axle* pada Kereta Cepat Menggunakan Metode *Root Cause Analysis* (RCA) di PT XYZ”

Wawancara dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai proses inspeksi, identifikasi potensi kerusakan, faktor penyebab kerusakan, serta tindakan pencegahan yang berkaitan dengan sistem perawatan komponen kereta cepat.

Informasi yang diberikan digunakan hanya untuk kepentingan akademik. Identitas perusahaan maupun data internal yang bersifat rahasia tidak dicantumkan dalam laporan penelitian sesuai dengan ketentuan kerahasiaan yang berlaku.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenar-benarnya agar dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Tanggal Wawancara : 20 April 2026

Narasumber,

(..... Galuh P)

Gambar Lampiran 1 . 2 Surat Wawancara Teknisi NDT



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar Lampiran 1.3 Wawancara Engineer

JAKARTA



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

SURAT KETERANGAN TELAH MELAKUKAN WAWANCARA

Yang bertanda tangan di bawah ini: Muhammad Zacky Al - Aziz

Nama Narasumber : Fauzi
Jabatan/Posisi : *Engineer*
Departemen : EMU MAINTENANCE

Dengan ini menyatakan bahwa:

Nama Peneliti : Muhammad Zacky Al - Aziz
Program Studi : D III – Teknik Mesin
Perguruan Tinggi : Politeknik Negeri Jakarta

Telah melakukan kegiatan wawancara dalam rangka pengumpulan data penelitian Tugas Akhir dengan topik:

“Studi Kasus Kerusakan *Hollow Axle* pada Kereta Cepat Menggunakan Metode *Root Cause Analysis* (RCA) di PT XYZ”

Wawancara dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai proses inspeksi, identifikasi potensi kerusakan, faktor penyebab kerusakan, serta tindakan pencegahan yang berkaitan dengan sistem perawatan komponen kereta cepat.

Informasi yang diberikan digunakan hanya untuk kepentingan akademik. Identitas perusahaan maupun data internal yang bersifat rahasia tidak dicantumkan dalam laporan penelitian sesuai dengan ketentuan kerahasiaan yang berlaku.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenar-benarnya agar dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Tanggal Wawancara : 22 Mei 2026

Narasumber,

(Fauzi)

Gambar Lampiran 1 . 4 Surat Wawancara Engineer



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

SURAT KETERANGAN TELAH MELAKUKAN WAWANCARA

Yang bertanda tangan di bawah ini: Muhammad Zacky Al - Aziz

Nama Narasumber : Supriyadi
Jabatan/Posisi : *Manager Teknologi & Quality*
Departemen : EMU MAINTENANCE

Dengan ini menyatakan bahwa:

Nama Peneliti : Muhammad Zacky Al - Aziz
Program Studi : D III – Teknik Mesin
Perguruan Tinggi : Politeknik Negeri Jakarta

Telah melakukan kegiatan wawancara dalam rangka pengumpulan data penelitian Tugas Akhir dengan topik:

“Studi Kasus Kerusakan *Hollow Axle* pada Kereta Cepat Menggunakan Metode *Root Cause Analysis* (RCA) di PT XYZ”

Wawancara dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai proses inspeksi, identifikasi potensi kerusakan, faktor penyebab kerusakan, serta tindakan pencegahan yang berkaitan dengan sistem perawatan komponen kereta cepat.

Informasi yang diberikan digunakan hanya untuk kepentingan akademik. Identitas perusahaan maupun data internal yang bersifat rahasia tidak dicantumkan dalam laporan penelitian sesuai dengan ketentuan kerahasiaan yang berlaku.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sebenar-benarnya agar dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Tanggal Wawancara : 22 Mei 2026

Narasumber,

(Supriyadi)

Gambar Lampiran 1 . 5 Surat Wawancara Manager