

SKRIPSI SARJANA TERAPAN
ANALISIS *INTERNAL CRACK* AKIBAT *ROLLING*
***CONTACT FATIGUE* (RCF) TERHADAP AS RODA**
TIPE CC-1 PADA KERETA API PENUMPANG



Intelligentia - Dignitas

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana
Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur

Oleh:

FAJAR NUGROHO

NIM: 1526422023

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN

TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR

2026

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR
BENTUK: SKRIPSI SARJANA TERAPAN

Nama Mahasiswa : Fajar Nugroho
NIM : 1526422023
Judul : Analisis *Internal Crack* Akibat *Rolling Contact Fatigue* (RCF) Terhadap As Roda Tipe CC-1 Pada Kereta Api Penumpang

Ini telah disetujui dan dinyatakan memenuhi syarat untuk diajukan dalam ujian tugas akhir.

Jakarta, Juli 2026

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Siska Titik Dwiwati, M.T.
NIDN. 0012127803

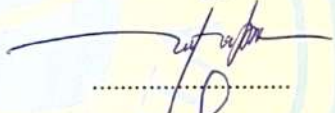
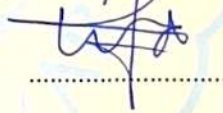
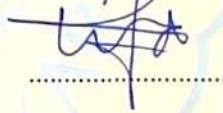


Dr. Dyah Arum Wulandari, M.T
NIDN. 0001087704

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
BENTUK: SKRIPSI SARJANA TERAPAN

Nama Mahasiswa : Fajar Nugroho
NIM : 1526422023
Program Studi/ Fakultas : Teknologi Rekayasa Manufaktur/ Teknik
Judul Penelitian : Analisis *Internal Crack* Akibat *Rolling Contact Fatigue* (RCF)
Terhadap As Roda Tipe CC-1 Pada Kereta Api Penumpang

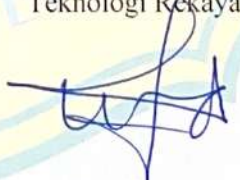
Ini telah dipertahankan dihadapan dewan penguji dan dinyatakan Lulus/ Tidak Lulus)*
Ujian Tugas Akhir oleh Tim Penguji pada Tanggal 24 Juli 2026

	Nama	Tanda Tangan
Dosen Pembimbing I	<u>Dr. Siska Titik Dwiwati, M.T.</u> NIDN. 0012127803	
Dosen Pembimbing II	<u>Dr. Dyah Arum Wulandari, M.T.</u> NIDN. 0001087704	
Ketua Penguji	<u>Dr. Sugeng Priyanto, M.Sc.</u> NIDN. 0015096307	
Sekretaris Penguji	<u>Muhammad Fatihuddin, S.Pd., M.T.</u> NIP. 199409272025061003	
Penguji Ahli	<u>Dr. Wardoyo, M.T.</u> NIDN. 0018087904	

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik


Prof. Dr. Neneng Siti Silfi Ambarwati, S.Si., Apt., M.Si.
NIDN. 0029027204

Koordinator Program Studi
Sarjana Terapan
Teknologi Rekayasa Manufaktur


Dr. Wardoyo, M.T.
NIDN. 0018087904

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Nama Mahasiswa : Fajar Nugroho
NIM : 1526422023
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Fakultas : Teknik
Judul TA : Analisis *Internal Crack* Akibat *Rolling Contact Fatigue* (RCF) Terhadap As Roda Tipe CC-1 Pada Kereta Api Penumpang

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini beserta seluruh isinya Adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya tulis ilmiah ini.

Jakarta, Juli 2026

Yang menyatakan,



(Fajar Nugroho)

NIM. 1526422023



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 : Fajar Nugroho
NIM : 1526422023
Fakultas/Prodi : Teknik/Teknologi Rekayasa Manufaktur
Alamat email : fajarnugroho101002@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 *Internal Crack* Akibat *Rolling Contact Fatigue* (RCF) Terhadap As Roda Tipe CC-1 Pada Kereta Api Penumpang

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, 13 Agustus 2026

Penulis

(Fajar Nugroho)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis *Internal Crack* Akibat *Rolling Contact Fatigue* (RCF) Terhadap As Roda Tipe CC-1 Pada Kereta Api Penumpang di PT Kereta Api Indonesia (Persero) UPT BalaiYasa Manggarai” dengan baik dan tepat pada waktunya.

Penulis melakukan penyusunan skripsi penelitian ini guna sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan tahapan Pendidikan Sarjana Terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur di Universitas Negeri Jakarta. Skripsi penelitian ini disusun berdasarkan ketentuan di tempat penelitian di PT Kereta Api Indonesia (Persero) UPT BalaiYasa Manggarai.

Dengan hormat penulis ingin menyampaikan terimakasih sebanyak banyaknya yang membantu penulis melakukan penelitian ini kepada:

1. Ibu Dr. Siska Titik Dwiwati, M.T. selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah meluangkan waktu, memberikan arahan, bimbingan, serta motivasi selama proses penyusunan penelitian ini.
2. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Dr. Dyah Arum Wulandari, M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan arahan, dukungan, serta ilmu yang sangat bermanfaat selama proses penyusunan penelitian ini.
3. Bapak Dr. Wardoyo, M.T. selaku Pembimbing Akademik dan Koordinator Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur Universitas Negeri Jakarta.
4. Dengan penuh rasa hormat dan kasih sayang, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua dan seluruh keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, dukungan, perhatian, serta semangat tiada henti.
5. Penulis mengucapkan terima kasih kepada partner penelitian, yaitu Immanuel Stewart Paradongan Siahaan dan Muhamad Rizki, yang telah menjadi rekan berdiskusi, berbagi pemikiran, serta memberikan dukungan

selama proses penelitian berlangsung di PT Kereta Api Indonesia (Persero) UPT BalaiYasa Manggarai.

6. Bapak Mursid dan Bapak Hendri serta seluruh karyawan di unit *Quality Control* serta seluruh karyawan PT Kereta Api Indonesia (Persero) UPT BalaiYasa Manggarai yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, terimakasih atas bimbingan yang diberikan kepada penulis termasuk dalam cara mengelola data selama dilakukannya penelitian.

Besar harapan penulis untuk Skripsi Penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif terhadap disiplin ilmu pada program studi Teknologi Rekayasa Manufaktur dan disiplin dalam ilmu lainnya yang akan bermanfaat dalam penelitian selanjutnya. Kritik dan saran yang dapat membangun, diharapkan oleh penulis sebagai upaya perbaikan dan penyempurnaan Skripsi Penelitian ini.

Jakarta, Juli 2026



Fajar Nugroho

1526422023

**ANALISIS *INTERNAL CRACK* AKIBAT *ROLLING CONTACT FATIGUE*
(RCF) TERHADAP AS RODA TIPE CC-1 PADA KERETA API
PENUMPANG**

Fajar Nugroho

Dosen Pembimbing 1: Siska Titik Dwiwati, M.T.

Dosen Pembimbing 2: Dr. Dyah Arum Wulandari, M.T.

ABSTRAK

As roda kereta api merupakan komponen vital yang rentan mengalami *Rolling Contact Fatigue* (RCF) akibat beban siklik berulang dan kontak roda-rel, yang berpotensi memicu terjadinya *internal crack* (retak bagian dalam) berbahaya yang tidak terlihat secara *visual* dari luar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik dan lokasi terjadinya *internal crack* pada as roda tipe CC-1 kereta api penumpang, mengidentifikasi pengaruh RCF serta faktor dominan penyebab retakan, dan mengevaluasi tingkat keandalan (*reliability*) hasil inspeksi *Ultrasonic Testing* (UT). Penelitian kuantitatif ini dilaksanakan melalui observasi langsung di UPT Balai Yasa Manggarai dan pengujian UT. Data hasil pengujian diolah menggunakan pemodelan *Finite Element Analysis* (FEA) dan *Hertzian Contact Stress*, dievaluasi menggunakan pendekatan *Fracture Mechanics*, dianalisis akar penyebabnya melalui Diagram *Fishbone*, serta dihitung tingkat keandalannya menggunakan metode Distribusi *Weibull*.

Hasil analisis menunjukkan bahwa *internal crack* mayoritas terkonsentrasi pada area *wheel seat* dan *journal* dengan tingkat keparahan retak antara 11% hingga 89%. Simulasi FEA membuktikan area tersebut menerima konsentrasi tegangan geser maksimum dan getaran ekstrem yang memicu inisiasi retak, diperparah oleh beban lentur berulang dan korosi gesek (*fretting*). Evaluasi *Fracture Mechanics* mengonfirmasi bahwa kedalaman retak yang melebihi batas toleransi kritis ($>20\%$, atau sekitar 37%) menyebabkan penurunan kekuatan struktur secara drastis sehingga as roda wajib diafkir. Berdasarkan analisis Distribusi *Weibull*, komponen mengalami indikasi kegagalan dini (*early-life failure*, $\beta < 1$) dengan estimasi umur pakai aman (*Mean Time To Failure*/MTTF) mencapai 4.732,1 jam operasional.

Kata Kunci: *Distribusi Weibull, Fracture Mechanics, Internal Crack, Rolling Contact Fatigue, Ultrasonic Testing.*



ABSTRACT

Railway axles are critical structural components highly susceptible to Rolling Contact Fatigue (RCF) due to cyclic loading and repeated wheel-rail contact, which can trigger dangerous internal cracks that cannot be visually detected from the outside. This study aims to analyze the characteristics and locations of internal cracks in type CC-1 passenger railway axles, evaluate the impact of RCF and dominant root causes, and assess the reliability level of Ultrasonic Testing (UT) inspection results. This quantitative research was conducted through direct observation at UPT Balai Yasa Manggarai and UT inspections. Test data were processed using Finite Element Analysis (FEA) and Hertzian Contact Stress modeling, evaluated via Fracture Mechanics, analyzed for root causes using a Fishbone Diagram, and calculated for reliability using the 2-parameter Weibull Distribution method.

The results revealed that internal cracks primarily occurred in the wheel seat and journal regions, with crack severity levels ranging between 11% and 89%. FEA simulations confirmed that these areas experience maximum shear stress concentration and extreme vibration, which accelerate crack initiation when combined with cyclic bending loads and fretting corrosion. Fracture Mechanics evaluation demonstrated that crack depth exceeding the critical tolerance limit ($>20\%$, around 37%) severely impairs structural integrity, necessitating immediate axle rejection. Based on Weibull Distribution analysis, the component exhibits early-life failure characteristics ($\beta < 1$) with an estimated safe service life (Mean Time To Failure/MTTF) of 4,732.1 operational hours.

Keywords: *Fracture Mechanics, Internal Crack, Rolling Contact Fatigue, Ultrasonic Testing, Weibull Distribution.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR BENTUK: SKRIPSI SARJANA TERAPAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR BENTUK: SKRIPSI SARJANA TERAPAN	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Landasan Teori	6
2.1.1 As Roda Kereta Api	6
2.1.2 Spesifikasi dan Karakteristik As Roda	7
2.1.3 Standar Perawatan pada As Roda CC-1 Kereta Api.....	11
2.1.4 Prinsip Kerja dari As Roda Kereta Api	13
2.1.5 Mekanisme Retakan Akibat <i>Fatigue</i> Terhadap As Roda.....	18
2.1.6 Metode Deteksi Retakan Akibat <i>Fatigue</i>	24
2.1.7 Teori Metode <i>Rolling Contact Fatigue</i> (RCF)	30
2.1.8 Prinsip <i>Rolling Contact Fatigue</i> (RCF)	31
2.1.9 Teori Metode <i>Fracture Mechanics</i>	32
2.1.10 Diagram <i>Fishbone</i>	33

2.1.11 Persamaan Distribusi <i>Weibull</i>	34
2.1.12 <i>Median Rank</i>	37
2.1.13 <i>Reliability</i>	38
2.1.14 <i>Unreliability</i>	38
2.1.15 <i>Failure Rate</i>	38
2.1.16 <i>Mean Time To Failure</i>	39
2.2 Kerangka Pemikiran	40
2.3 Penelitian Terdahulu	43
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	46
3.1 Tempat, dan Waktu Penelitian.....	46
3.2 Bahan dan Materi Penelitian.....	46
3.2.1 Prosedur Kerja Metode Deteksi Retakan	46
3.2.2 Data Sampel Kereta.....	50
3.2.3 Analisis Pembebanan.....	52
3.2.4 Perbandingan Sampel Kereta	57
3.2.5 Indikasi Tingkat Kerusakan As Roda	59
3.3 Analisis <i>Hertzian Contact Stress</i>	62
3.3.1 Kontak Roda dan Rel (<i>Wheel-Rail Contact</i>)	63
3.3.2 <i>Contact Pressure</i>	64
3.4 Analisis Struktur dan Tegangan dengan <i>Finite Element Methode</i>	65
3.5 Metode Penelitian	66
3.6 Rancangan Penelitian.....	68
3.7 Pengumpulan Data	70
3.8 Teknik Analisis Data	71
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	73
4.1 Pengumpulan Data	73
4.2 Gambaran Objek Penelitian	
4.3 Hasil <i>Ultrasonic Testing</i> (UT).....	75
4.4 Analisis Struktur dan Tegangan	79
4.4.1 Rancang Pemodelan 3D (<i>Pre-Processing</i>) Sistem Bogie dan Interaksi Roda-Rel	79
4.4.2 Analisis Lokasi Tegangan Maksimum.....	81

4.4.3 Analisis Distribusi Tegangan	84
4.5 Analisis Mekanika Keretakan (<i>Fracture Mechanics</i>) pada As Roda	88
4.6 Analisis <i>Contact Stress</i> Menggunakan Pendekatan <i>Hertzian</i>	91
4.6.1 Indikasi <i>Rolling Contact Fatigue</i> (RCF) pada As Roda	92
4.7 Identifikasi Akar Masalah (<i>Root Cause Analysis</i>) Pembentukan <i>Internal Crack</i>	93
4.7.1 Identifikasi Akar Masalah menggunakan Diagram <i>Fishbone</i>	94
4.8 Data Waktu Kegagalan (<i>Time to Failure</i>)	96
4.8.1 Perhitungan <i>Regresi Linear</i>	99
4.8.2 Menentukan Nilai Keandalan (<i>Reliability</i>)	103
4.8.3 Menentukan Nilai Ketidakandalan (<i>Unreliability</i>)	105
4.8.4 Analisis Laju Kegagalan dan Umur Komponen	107
4.8.5 Prediksi <i>Mean Time To Failure</i> (MTTF)	108
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	111
5.1 Kesimpulan	111
5.2 Saran	112
DAFTAR PUSTAKA	114
LAMPIRAN	116