

SKRIPSI SARJANA TERAPAN

**ANALISIS KERUSAKAN *TAPERED ROLLER BEARING UNIT*
TYPE C PADA RODA KERETA API TIPE KOMPARTEMEN
MENGUNAKAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE***



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

Oleh:

IMMANUEL STEWART PARADONGAN SIAHAAN

NIM: 1526422006

**UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR**

2026

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR BENTUK: SKRIPSI SARJANA TERAPAN

Nama Mahasiswa : Immanuel Stewart Paradongan Siahaan
NIM : 1526422006
Judul Penelitian : Analisis Kerusakan *Tapered Roller Bearing Unit Type C* Pada Roda Kereta Api Tipe Kompartemen Menggunakan *Reliability Centered Maintenance*

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

Jakarta, Juli 2026

Pembimbing I



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

Pembimbing II

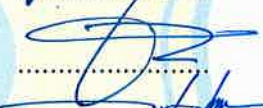


Dr. Ir. Dyah Arum Wulandari, M.T.
NIDN. 0001087704

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR BENTUK: SKRIPSI SARJANA TERAPAN

Nama Mahasiswa : Immanuel Stewart Paradongan Siahaan
NIM : 1526422006
Program Studi/Fakultas : Teknologi Rekayasa Manufaktur/Fakultas Teknik
Judul : Analisis Kerusakan *Tapered Roller Bearing Unit Type C* Pada Roda Kereta Api Tipe Kompartemen Menggunakan *Reliability Centered Maintenance*

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 1	<u>Dr. Siska Titik Dwiwati, M.T.</u> NIDN. 0012127803	
Dosen Pembimbing 2	<u>Dr.Ir. Dyah Arum Wulandari, M.T.</u> NIDN. 0001087704	
Ketua Penguji	<u>Drs. Syamsuir, M.T.</u> NIDN. 0015056709	
Sekretaris Penguji	<u>Muhammad Fatihuddin, S.Pd., M.T.</u> NIP. 199409272025061003	
Dosen Ahli	<u>Dr. Sugeng Priyanto, M.Sc.</u> NIDN. 0015096307	

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik



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

Koordinator Program Studi
Teknologi Rekayasa Manufaktur



Dr. Wardoyo, S.T., M.T.
NIDN. 0018087904

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Nama Mahasiswa : Immanuel Stewart Paradongan Siahaan
NIM : 1526422006
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Fakultas : Teknik
Judul TA : Analisis Kerusakan *Tapered Roller Bearing Unit Type C*
Pada Roda Kereta Api Tipe Kompartemen Menggunakan
Reliability Centered Maintenance

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 yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya 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, 17 Juli 2026

Yang menyatakan,



Immanuel Stewart Paradongan Siahaan

NIM. 1526422006



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 : Immanuel Stewart Paradongan Siahaan

NIM : 1526422006

Fakultas/Prodi : Fakultas Teknik/Teknologi Rekayasa Manufaktur

Alamat email : immanuelsiahaan156@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 KERUSAKAN *TAPERED ROLLER BEARING UNIT TYPE C* PADA RODA KERETA
API TIPE KOMPARTEMEN MENGGUNAKAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE*

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, 10 Agustus 2026

Penulis

(Immanuel Stewart)
nama dan tanda tangan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, berkat dan penyertaan-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi penelitian yang berjudul **“Analisis Kerusakan *Tapered Roller Bearing Unit Type C* Pada Roda Kereta Api Tipe Kompartemen Menggunakan *Reliability Centered Maintenance*”**

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 KAI BalaiYasa Manggarai.

Dengan hati yang Ikhlas penulis ingin menyampaikan terimakasih sebanyak- banyaknya yang membantu penulis melakukan penelitian ini kepada:

1. Bapak Dr. Wardoyo, M.T selaku koordinator Program studi D4 Teknologi Rekayasa Manufaktur Universitas Negeri Jakarta
2. Ibu Siska Titik Dwiwati, M.T. dan Ibu Dr. Dyah Arum Wulandari, M.T. Selaku dosen pembimbing satu dan dua. Terimakasih telah membimbing penulis dalam melakukan penyusunan dan menyelesaikan proposal penelitian ini dari awal hingga akhir.
3. Bapak Drs. Syamsuir, M.T. selaku dosen Pembimbing Akademik (PA)
4. Untuk keluarga tercinta, terimakasih atas segala doa dan dukungannya sehingga laporan ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Bapak Mursid selaku *Assisten Manager* Komponen *Quality Control* PT KAI
6. Bapak Hendri selaku *Team Leader* di unit *Quality Control* PT KAI
7. Bapak Rizky dan Bapak Febru selaku Pelaksana di unit *Quality Control* PT KAI
8. Bapak Bani selaku *Supervisor* Perangkat Tukar di unit *Quality Control* PT KAI

9. Terimakasih kepada rekan penulis dalam melakukan penelitian Fajar Nugroho, dan Muhamad Rizki yang telah banyak membantu penulis berdiskusi dalam melakukan penelitian di PT KAI (Persero) BalaiYasa Manggarai.
10. Terimakasih untuk para kolega D4 Teknologi Rekayasa Manufaktur Angkatan 2022, terimakasih atas kebersamaannya dalam menghadapi setiap rintangan yang dilalui dari awal masuk perkuliahan hingga akhir perkuliahan.

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



Immanuel Stewart

1526422006

ANALISIS KERUSAKAN *TAPERED ROLLER BEARING UNIT TYPE C* PADA RODA KERETA API TIPE KOMPARTEMEN MENGGUNAKAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE*

Immanuel Stewart Paradongan Siahaan

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

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

ABSTRAK

Sistem perkeretaapian modern secara mutlak membutuhkan tingkat keandalan teknis yang sangat tinggi. Salah satu komponen yang paling kritis pada sistem pergerakan sarana tersebut adalah bantalan poros. Namun, kondisi faktual di lapangan menunjukkan temuan berbagai indikasi kegagalan fungsional berupa peningkatan suhu berlebih hingga mencapai sembilan puluh derajat celcius serta perubahan warna logam secara parah. Kondisi ini berpotensi mengakibatkan anjlok sarana secara langsung di lintas raya. Oleh karena itu, evaluasi perbaikan wajib untuk segera dilaksanakan. Kajian ilmiah ini bertujuan secara komprehensif menginvestigasi akar penyebab anomali, mengevaluasi persentase tingkat ketahanan komponen, serta menentukan strategi penanganan yang terbukti paling optimal.

Penelitian ini menggunakan sebuah pendekatan metode campuran. Secara kualitatif, identifikasi faktor pemicu dianalisis secara sangat terperinci melalui diagram tulang ikan. Secara kuantitatif, nilai ketahanan fungsional dihitung menggunakan pemodelan matematis fungsi *Weibull* berdasarkan data historis bengkel serta konversi jarak tempuh menjadi estimasi jam operasi. Analisis ini divalidasi juga oleh simulasi pembebanan dinamis elemen hingga.

Evaluasi kualitatif menunjukkan suhu berlebih dipicu oleh praktik bongkar pasang berulang tanpa penggantian suku cadang baru, yang mengakibatkan pelebaran celah aksial ekstrem sehingga merusak kelancaran sistem pelumasan. Kalkulasi *Weibull* menghasilkan parameter bentuk sebesar 2,098, yang mengonfirmasi komponen telah memasuki fase keausan akhir. Tingkat ketahanan anjlok tajam menjadi 56,48 persen pada pemakaian 4.000 jam operasi, dengan estimasi waktu menuju kegagalan total mencapai 4.628,37 jam. Simulasi memvalidasi adanya tumpukan kelelahan material secara spesifik sebesar $3,584 \times 10^{-3}$ MPa pada area ujung kontak. Penerapan strategi pencegahan merekomendasikan secara kuat bahwa intervensi perawatan wajib dieksekusi tepat pada batas 3.000 jam operasi guna memitigasi risiko fatal.

Kata Kunci: Distribusi *Weibull*, Keandalan, Keausan, *Overheat*, Pelumasan

DAMAGE ANALYSIS OF TAPERED ROLLER BEARING UNIT TYPE C ON COMPARTMENT TYPE TRAIN WHEELS USING RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE

Immanuel Stewart Paradongan Siahaan

First Advisor: Dr. Siska Titik Dwiwati, M.T.

Second Advisor: Dr.Ir. Dyah Arum Wulandari, M.T.

ABSTRACT

Modern railway systems absolutely demand extremely high technical reliability. A highly critical component within the rolling stock movement system is the axle bearing. However, factual field conditions reveal various functional failure indications, specifically excessive temperature increases reaching ninety degrees Celsius and severe metal discoloration. This condition potentially causes direct derailments on the mainline. Therefore, an improvement evaluation must be implemented immediately. This scientific study comprehensively aims to investigate the root causes of the anomaly, evaluate the component's endurance percentages, and determine the most optimal handling strategy.

This research utilizes a mixed methodology approach. Qualitatively, the identification of triggering factors is analyzed thoroughly through a fishbone diagram. Quantitatively, the functional endurance is calculated using Weibull mathematical modeling based on historical workshop data and mileage conversions into operating hours. This analysis is validated by finite element dynamic simulations.

The qualitative evaluation shows that excessive temperatures are triggered by repeated dismantling practices without replacing new spare parts, resulting in extreme axial gap widening that severely disrupts the lubrication system. The Weibull calculation yields a shape parameter of 2,098, confirming the component entered the final wear phase. The endurance level drops sharply to 56,48 percent at 4.000 hours of operation, with the estimated time towards total failure reaching 4.628,37 hours. The simulation validates specific accumulations of material fatigue at $3,584 \times 10^{-3}$ MPa in the contact edge area. The application of prevention strategies strongly recommends that maintenance interventions must be executed exactly at the 3.000 hour operational limit to effectively mitigate all fatal risks.

Keywords: Degradation, Dependability, Lubrication, Overheating, Weibull Distribution.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
NOMENKLATUR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Landasan Teori	5
2.1.1 Pengertian, Komponen, dan Material <i>Tapered Roller Bearing</i>	5
2.1.2 Prinsip Kerja dari <i>Bearing</i> Pada Roda Kereta Api.....	7
2.1.2.1 Alasan Pemilihan Jenis <i>Tapered Roller Bearing</i> pada roda kereta api.....	8
2.1.3 Karakteristik Gaya Spesifik dan Pembebanan Dinamis pada <i>Bearing</i>	8
2.1.4 Dasar Teori <i>Finite Element Method</i> (FEM)	10
2.1.5 Teori Tribologi dan Pelumasan	11
2.1.6 Mekanisme Kerusakan/ <i>Defect</i> Yang Terjadi Pada <i>Bearing</i>	16
2.1.7 Parameter Operasional dan Variabel Pembanding pada Analisis Kilometer <i>Roller Bearing</i>	20

2.2 Analisis Keandalan dan Distribusi <i>Weibull</i>	20
2.2.1 Persamaan Distribusi <i>Weibull</i>	20
2.2.2 Parameter <i>Weibull</i>	20
2.2.3 Pengaruh Parameter Distribusi <i>Weibull</i>	21
2.2.4 <i>Median Rank</i>	24
2.2.5 Metode Regresi Linear	24
2.2.6 <i>Reliability</i>	26
2.2.7 <i>Unreliability</i>	26
2.2.8 <i>Failure Rate</i>	27
2.2.9 <i>Mean Time To Failure (MTTF)</i>	27
2.3 Konsep Pemeliharaan dan Analisis Penyebab Kerusakan	27
2.3.1 Pengertian Perawatan	27
2.3.1.1 Jenis <i>Maintenance</i> Pada <i>Tapered Roller Bearing Unit type C</i>	28
2.4 Penelitian Terdahulu.....	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Tempat, dan Waktu Penelitian.....	33
3.2 Bahan dan Materi Penelitian	33
3.2.1 Data dan Spesifikasi Komponen <i>Tapered Roller Bearing Unit type C</i> 33	
3.2.2 Data Sampel Kereta Kompartemen dan Parameter Pembanding.....	35
3.2.2.1 Kategori Indikasi Pemeriksaan Kilometer <i>Bearing</i>	37
3.2.2.2 Data Rute Sampel.....	38
3.2.2.3 Perbandingan Sampel.....	38
3.2.2.4 Klasifikasi Tingkat Kerusakan pada <i>Tapered Roller Bearing</i>	39
3.3 Metode Penelitian.....	40
3.4 Kerangka Pemikiran.....	40
3.5 Rancangan Penelitian	44
3.6 Pengumpulan Data	46
3.7 Teknik Analisis Data	47
3.7.1 Analisis Kualitatif (Diagram <i>Fishbone</i>).....	48
3.7.2 Analisis Kuantitatif (Distribusi <i>Weibull</i>).....	49
3.7.3 Analisis Tegangan Berbasis <i>Finite Element Method</i> Menggunakan <i>SolidWorks Simulation</i>	50

3.7.4	Gambaran Hasil Analisis yang Diharapkan	51
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		53
4.1	Identifikasi Tingkat Keandalan dan Karakteristik <i>Defect Bearing</i>	53
4.1.1	Pengumpulan Data Operasional Sampel Kereta	53
4.1.1.1	Pembersihan Data (<i>Data Cleansing</i>) dan Penanganan <i>Outlier</i>	55
4.1.2	Karakteristik Visual Cacat <i>Overheat</i> dan <i>Heat Tint</i>	55
4.1.3	Hasil Pengukuran Geometris <i>Bearing</i> dan Toleransi Komponen	56
4.2	Parameter Pemeriksaan <i>Tapered Roller Bearing Unit Type C</i>	57
4.2.1	Analisis Parameter Pelumasan (Volume dan Penurunan Kualitas <i>Grease</i>)	57
4.2.2	Analisis Parameter Kelonggaran Aksial (<i>Axial Clearance</i>) dan Penyetelan <i>Preload/Endplay</i>	58
4.3	Analisis Kilometer <i>Bearing</i> pada Kereta Kompartemen.....	59
4.3.1	Batasan Akurasi Kilometer <i>Bearing</i> Pencatatan Manual	62
4.3.2	Karakteristik Operasional Tiga Sampel Kereta Kompartemen	62
4.4	Analisis Data Historis <i>Checksheets Maintenance</i> Tahun 2024 dan 2026	63
4.4.1	Tingkat Keandalan Berdasarkan Distribusi <i>Weibull</i> dan RCM	67
4.4.2	Angka Tingkat Keandalan 70,70% sampai 72,46% (Fase <i>Preventive Threshold</i>)	68
4.4.3	Angka Tingkat Keandalan 52,38% sampai 55,48% (Fase <i>Median Life / B₅₀</i>)	69
4.4.4	Angka Tingkat Keandalan 36,88% sampai 39,61% (Fase <i>Characteristic Life / η</i>)	69
4.4.5	Generalisasi Titik Optimal (<i>Optimal Cost-Effective Point</i>) Pemeliharaan Kereta	70
4.5	Melakukan Perhitungan Menggunakan Distribusi <i>Weibull</i>	70
4.5.1	Tabel Ringkasan dan Notasi Parameter <i>Weibull</i> Antar Periode	78
4.5.2	Analisis Interval Kepercayaan (<i>Confidence Interval</i>) Parameter <i>Weibull</i>	79
4.6	Menentukan Nilai <i>Reliability</i>	79
4.7	Menentukan Nilai <i>Unreliability</i>	81
4.8	Menentukan nilai <i>Failure Rate</i>	82
4.9	Menentukan Nilai <i>Mean Time To Failure</i> (MTTF).....	90

4.9.1 Matriks Konversi Jam Operasi ke Kalender dan Usulan Skema Perawatan Hibrida	91
4.10 Analisis Tegangan, Deformasi, dan Respons Dinamis <i>Bearing</i> Menggunakan <i>Finite Element Method</i>	92
4.10.1 Hasil Analisis Tegangan Utama (<i>1st Principal Stress</i>)	92
4.10.2 Hasil Analisis Deformasi (<i>Displacement</i>)	94
4.10.3 Hasil Analisis Tegangan <i>von Mises</i> (Beban Dinamis)	95
4.10.4 Hasil Analisis Percepatan Resultan (<i>Acceleration Resultant</i> / ARES)99	
4.10.5 Hasil Analisis Kecepatan Resultan (<i>Velocity Resultant</i> / VRES).....	102
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	104
5.1 Kesimpulan	104
5.2 Saran.....	105
DAFTAR PUSTAKA.....	107
LAMPIRAN.....	111
RIWAYAT HIDUP.....	123

