

PENGEMBANGAN PROGRAM *EXTENDED LIFETIME MAJOR COMPONENT* KOMATSU PC1250-8R BERBASIS *CONDITION BASED MAINTENANCE* DAN *RISK BASED MAINTENANCE*

TESIS



**Oleh
ROFI'UDIN DAROJAT
NIM. 24.111.010**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
PEMINATAN MANAJEMEN INDUSTRI**

**PROGRAM PASCASARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FEBRUARI
2026**

PENGEMBANGAN PROGRAM *EXTENDED LIFETIME MAJOR COMPONENT* KOMATSU PC1250-8R BERBASIS *CONDITION BASED MAINTENANCE* DAN *RISK BASED MAINTENANCE*

TESIS

Diajukan kepada
Institut Teknologi Nasional Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Menyelesaikan Program Studi Magister Teknik Industri
Peminatan Manajemen Industri

Oleh
ROFI'UDIN DAROJAT
NIM. 24.111.010

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
PEMINATAN MANAJEMEN INDUSTRI**

**PROGRAM PASCASARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FEBRUARI
2026**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGEMBANGAN PROGRAM *EXTENDED LIFETIME MAJOR COMPONENT* KOMATSU PC1250-8R BERBASIS *CONDITION BASED MAINTENANCE* DAN *RISK BASED MAINTENANCE*

Tesis Oleh Rofi'udin Darajat (24111010) ini telah diperiksa dan disetujui dalam ujian.

Malang, 13 Februari 2026

Pembimbing I



(Dr. Ellysa Nursanti, ST., MT)

/ NIP. Y.103.000.0357

Pembimbing II



(Ir. Fuad Achmadi, MSc., PhD)

NIP. P.103.1300.0471

Mengetahui :

Institut Teknologi Nasional Malang

Program Pascasarjana

Direktur,
Program Pascasarjana ITN Malang



(Prof. Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT)

/ NIP. Y.101.870.0153

Magister Teknik Industri
Ketua Program Studi



(Prof. Dr. Ir. Julianus Hutabarat, MSIE)

NIP. P.101.8500.0942



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

BERITA ACARA UJIAN TESIS
PROGRAM STUDI : MAGISTER TEKNIK INDUSTRI

Nama : Rofi'udin Darajat
NIM : 24111010
Jurusan : Teknik Industri
Peminatan : Manajemen Industri
Judul : Pengembangan Program *Extended Lifetime Major Component* Komatsu PC1250-8R Berbasis *Condition Based Maintenance* Dan *Risk Based Maintenance*

Dipertahankan dihadapan Tim Penguji Ujian Tesis Jenjang Program Studi Pasca Sarjana Magister Teknik (S2)

Pada Hari : Jum'at
Tanggal : 13 Februari 2026
Dengan Nilai : A

Panitia Ujian Tesis

KETUA


Dr. Ellysa Nursanti, ST, MT
NIP.Y.103.000.0357

SEKRETARIS


Ir. Fuad Achmadi, MSc, PhD
NIP.P.103.1300.0471

Penguji 1


Prof. Dr. Ir. Julianus Hutabarat, MSIE
NIP.Y.101.850.0942

Penguji 2

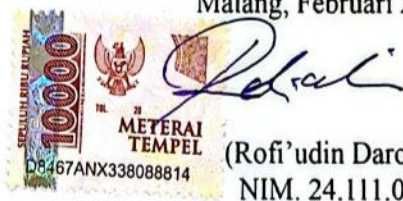

Dr. Prima Vitasari, SIP, MPd, MT
NIP.P.103.120.0464

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah Tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia Tesis ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (Magister Teknik) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, Februari 2026


(Rofi'udin Darajat)
NIM. 24.111.010

ABSTRAK

Peran excavator Komatsu PC1250-8R sebagai alat muat utama pada operasi tambang batubara menuntut tingkat keandalan dan ketersediaan unit yang tinggi, sementara interval *general overhaul* berkala 18.000 jam menyebabkan biaya pemeliharaan besar dan risiko *downtime* yang mengganggu kontinuitas produksi. Tekanan efisiensi operasional serta kebutuhan pengendalian biaya mendorong pengembangan program perpanjangan umur pakai komponen utama hingga 25.000 jam dengan tujuan memperoleh strategi pemeliharaan yang lebih adaptif, berbasis kondisi aktual, dan berorientasi risiko.

Pendekatan penelitian berbentuk problem solving eksploratif dan eksperimental dengan pemanfaatan data *condition based maintenance* (CBM) melalui oil analysis dan *vehicle health monitoring system* (VHMS) sebagai sumber informasi kondisi kesehatan komponen. Data historis kerusakan selanjutnya dianalisis melalui klasifikasi parameter keausan, kontaminasi, dan degradasi pelumas serta identifikasi mode kegagalan. *Fault tree analysis* (FTA) digunakan untuk menelusuri hubungan sebab-akibat dan mengidentifikasi akar penyebab kegagalan secara sistematis, sehingga faktor kritis yang memicu kerusakan dapat diketahui. Hasil identifikasi tersebut kemudian dievaluasi menggunakan *failure mode and effects analysis* (FMEA) untuk menilai tingkat risiko melalui perhitungan *risk priority number* (RPN) guna menentukan prioritas mitigasi dan tindakan pemeliharaan. Integrasi FTA dan FMEA menjadi dasar penerapan *risk based maintenance* (RBM) dalam penyusunan strategi pemeliharaan yang terarah, efektif, dan berbasis risiko.

Hasil analisis menunjukkan parameter kritis pada sistem *engine* berupa Pb, Cu, Na, dan viskositas, pada sistem hidrolik berupa temperatur *oil* dan tekanan pompa, serta pada *final drive* berupa kontaminasi abrasif Si, Fe, Al, dan PQ index sebagai indikator dominan degradasi komponen. Integrasi *condition based maintenance* dan *risk based maintenance* (RBM) menghasilkan penurunan potensi *breakdown*, pengurangan *downtime*, pengendalian biaya perawatan, dan peningkatan *reliability* serta *physical availability*. Kesimpulan penelitian menunjukkan kelayakan pencapaian target *extended lifetime* 25.000 jam melalui strategi *predictive*, *preventive*, dan *corrective maintenance* berbasis risiko, dengan rekomendasi penerapan monitoring rutin, penjadwalan *overhaul* adaptif, dan standarisasi program pemeliharaan berkelanjutan.

Kata Kunci : CBM, *Extended Lifetime*, FTA, FMEA, RBM

ABSTRACT

The role of the Komatsu PC1250-8R excavator as the primary loading equipment in coal mining operations requires high levels of reliability and equipment availability, while the periodic general overhaul interval of 18,000 operating hours results in substantial maintenance costs and downtime risks that disrupt production continuity. Operational efficiency pressures and cost control requirements necessitate the development of a major component lifetime extension program up to 25,000 operating hours to establish a more adaptive, condition-based, and risk-oriented maintenance strategy.

An exploratory and experimental problem-solving approach was employed by utilizing condition based maintenance (CBM) data derived from oil analysis and the vehicle health monitoring system (VHMS) as primary sources of component health information. Historical failure records were subsequently analyzed through the classification of wear, contamination, and lubricant degradation parameters to identify potential failure modes. fault tree analysis (FTA) was applied to systematically trace cause–effect relationships and determine the root causes of failures, enabling the identification of critical factors contributing to component degradation. The identified failure mechanisms were then evaluated using failure mode and effects analysis (FMEA) to assess risk levels through risk priority number (RPN) calculations, thereby establishing maintenance priorities and mitigation actions. The integration of FTA and FMEA provides the analytical foundation for implementing Risk Based Maintenance (RBM), ensuring that maintenance strategies are structured, prioritized, and aligned with risk levels to improve reliability, reduce downtime, and optimize maintenance costs..

The results indicate critical parameters in the engine system, including Pb, Cu, Na, and viscosity; in the hydraulic system, including oil temperature and pump pressure; and in the final drive, including abrasive contaminants such as Si, Fe, Al, and the PQ index as dominant indicators of component degradation. The integration of condition based maintenance and risk based maintenance (RBM) reduces breakdown potential, minimizes downtime, controls maintenance costs, and improves reliability and physical availability. The findings confirm the feasibility of achieving the 25,000-hour extended lifetime target through risk-based predictive, preventive, and corrective maintenance strategies, with recommendations for routine condition monitoring, adaptive overhaul scheduling, and standardized sustainable maintenance programs.

Keyword : CBM, Extended Lifetime, FTA, FMEA, RBM

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Allhamdulillah Kehadirat Allah SWT. yang telah melimpahkan anugerah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tesis ini dengan judul : “Pengembangan Program *Extended Lifetime Major Component* Komatsu PC1250-8R Berbasis *Condition Based Maintenance* Dan *Risk Based Maintenance*”. Laporan tesis ini selain merupakan salah satu syarat akademis yang harus ditempuh oleh mahasiswa program pasca sarjana, juga untuk menambah wawasan bagi penulis dan pembaca. Melalui kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D., Selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT Selaku Direktur Program Pascasarjana, Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Julianus Hutabarat, MSIE, Selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Ibu Dr. Ellysa Nursanti ST, MT, Selaku Dosen Pembimbing I.
5. Bapak Ir. Fuad Achmadi, MSc., PhD, Selaku Dosen Pembimbing II.
6. Bapak dan Ibu Dosen Magister Teknik Industri beserta rekan-rekan, Institut Teknologi Nasional Malang.
7. Bapak dan Ibu bagian administrasi Program PascaSarjana, Institut Teknologi Nasional Malang.
8. Orang Tua dan keluarga yang selalu mendoakan dan selalu memberikan semangat serta nasehat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan guna penyempurnaan penelitian selanjutnya. Penulis juga menyampaikan permohonan maaf apabila terdapat kekurangan selama proses penyusunan tesis. Dan semoga tesis ini dapat memberikan manfaat dalam menambah pengetahuan dan wawasan. Amin.

Malang, Februari 2026
Penulis

(Rofi'udin Darojat)

DAFTAR ISI

PERNYATAAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Rumusan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
1.5.1 Manfaat Empiris.....	6
1.5.2 Manfaat Teoritis	6
1.6 Batasan Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Komatsu <i>Excavator</i> PC1250-8R.....	8
2.2 Manajemen Perawatan dan Perbaikan	10
2.3 <i>Maintenance Category</i>	12
2.4 <i>Condition Based Maintenance</i>	14
2.4.1 <i>Oil Analysis</i>	14
2.4.2 <i>Vehicle Health Monitoring System</i>	17
2.5 <i>Risk Based Maintenance</i>	19
2.5.1 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	20
2.6 <i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>	23
2.7 Penelitian Terdahulu dan Posisi Peneliti	25
2.7.1 Achmad Syarifuddin dan Jeki Tri Putra (2021)	25
2.7.2 Bhetta Age Saputra et al., (2023)	25
2.7.3 Bustanil Arifindan dan Ilham Mubaroq (2022).....	26

2.7.4	Prakash Kumar dan R.K. Srivastava (2014)	27
2.7.5	Sahala David Siregar dan Nur Budi Mulyono (2025).....	27
2.7.6	Posisi Peneliti	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		31
3.1	Jenis Penelitian.....	31
3.2	Objek Penelitian	32
3.3	Pengumpulan Data	33
3.4	Teknik Pengolahan Data	35
3.4.1	Pengolahan Data <i>Oil Analysis</i>	35
3.4.2	Pengolahan Data VHMS	36
3.5	Teknik Analisis Data	36
3.5.1	Analisis Metode FTA	36
3.5.2	Analisis Metode FMEA	37
3.5.3	Ouput Analisis.....	37
3.6	Diagram Alir Penelitan.....	39
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		40
4.1	Hasil <i>Oil Analysis</i>	40
4.1.1	Hasil Analisis <i>Oil Engine</i>	44
4.1.2	Hasil Analisis <i>Oil Hydraulic</i>	47
4.1.3	Hasil Analisis <i>Oil Final drive</i>	50
4.2	Analisa VHMS	54
4.2.1	Analisa VHMS <i>Engine System</i>	54
4.2.2	Analisa VHMS <i>Hydraulic System</i>	58
4.3	Identifikasi Potensi <i>Failure Mode</i>	61
4.4	Analisis FTA	63
4.4.1	<i>Engine System</i> FTA	63
4.4.2	<i>Hydraulic System</i> FTA	64
4.4.3	<i>Final drive</i> FTA.....	65
4.4.4	<i>Machine Breakdown Analysis</i>	66
4.5	Analisis FMEA	67
4.5.1	Analisis FMEA <i>Engine</i>	70
4.5.2	Analisis FMEA <i>Hydraulic System</i>	71
4.5.3	Analisis FMEA <i>Final drive</i>	72
4.6	Strategi Program Pemeliharaan <i>Major Component</i>	73

4.6.1	Strategi Program Pemeliharaan <i>Engine</i>	73
4.6.2	Strategi Program Pemeliharaan <i>Hydraulic System</i>	75
4.6.3	Program Pemeliharaan <i>Final drive</i>	76
4.7	<i>Expected Value</i> Progam Pemeliharaan	77
4.7.2	Proyeksi Performa <i>Physical Availability</i>	77
4.7.3	Proyeksi Biaya Pemeliharaan.....	78
BAB V PENUTUP.....		80
5.1	Kesimpulan	80
5.2	Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA		83
LAMPIRAN.....		86

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kategori Cek Item Pada <i>Oil Analysis</i> PC1250-8R.....	16
Tabel 2. 2 Klasifikasi Hasil <i>Oil Analysis</i>	17
Tabel 2. 3 Parameter Performance Pada PC1250-8R.....	19
Tabel 2. 4 Kriteria RPN.....	21
Tabel 2. 5 <i>Severity Rank</i>	21
Tabel 2. 6 <i>Occurance Rank</i>	22
Tabel 2. 7 <i>Detection Rank</i>	22
Tabel 2. 8 Keterangan <i>Symbols Decision Tree</i>	24
Tabel 2. 9 Peta Posisi Penelitian	30
Tabel 3. 1 PC1250-8R CBM Analisis	32
Tabel 3. 2 Populasi Unit PC1250-8R PT ABC.....	33
Tabel 3.3 Peserta FGD Strategi <i>Extended Lifetime Major Component</i> PC1250-8R ...	34
Tabel 3. 4 Kriteria <i>Maintenance</i> Strategi Berdasarkan Nilai RPN	37
Tabel 4. 1 Klasifikasi <i>Oil Analysis Major Component</i> PC1250-8R.....	43
Tabel 4. 2 Hasil Analisa <i>Oil Engine</i> PC1250-8R	44
Tabel 4. 3 Analisa Resiko <i>Element Oil Engine</i>	45
Tabel 4. 4 Hasil Analisa <i>Oil Hydraulic</i> PC1250-8R	48
Tabel 4. 5 Analisa Resiko <i>Element Oil Hydraulic</i>	48
Tabel 4. 6 Hasil Analisa <i>Oil Final Drive</i> PC1250-8R.....	50
Tabel 4. 7 Analisa Resiko <i>Element Oil Final Drive</i>	51
Tabel 4. 8 Klasifikasi VHMS Monitoring Performance PC1250-8R.....	54
Tabel 4. 9 VHMS <i>Engine Report</i> PC1250-8R	54
Tabel 4. 10 Analisa Resiko Parameter VHMS <i>Engine System</i>	55
Tabel 4. 11 VHMS <i>Engine Report</i> PC1250-8R	58
Tabel 4. 12 Analisa Resiko Parameter <i>Hydraulic System</i>	59
Tabel 4. 13 Analisis dan Identifikasi <i>Failure Mode</i>	61
Tabel 4. 14 Skala Penilaian <i>Severity</i>	68
Tabel 4. 15 Skala Penilaian <i>Occurrence</i>	68
Tabel 4. 16 Skala Penilaian <i>Detection</i>	69
Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan RPN <i>Engine</i>	70

Tabel 4. 18 Hasil Perhitungan RPN <i>Hydraulic System</i>	71
Tabel 4. 19 Hasil Perhitungan RPN <i>Final Drive</i>	72
Tabel 4. 20 Program Pemeliharaan <i>Engine</i>	73
Tabel 4. 21 Program Pemeliharaan <i>Hydraulic System</i>	75
Tabel 4. 22 Program Pemeliharaan <i>Final Drive</i>	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Proses Penambangan Batubara Terbuka.....	2
Gambar 1. 2 Estimasi Biaya Pemeliharaan Per-tahun PC1250-8R.....	3
Gambar 1. 3 Performa PC1250-8R Periode 2024 – 2025	4
Gambar 2. 1 <i>Hydraulic Excavator</i> PC1250-8R	8
Gambar 2. 2 Piramida Pemeliharaan Berbasis Keandalan.....	12
Gambar 2. 3 Konfigurasi VHMS Pada Alat Berat Komatsu.....	18
Gambar 2. 4 <i>Fault tree analysis symbols</i>	24
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	39
Gambar 4. 1 <i>Engine Element Oil Analysis</i>	40
Gambar 4. 2 <i>Hydraulic System Element Oil Analysis</i>	41
Gambar 4. 3 <i>Gear System Element Oil Analysis</i>	42
Gambar 4. 4 Mekanisme Kerja <i>Final Drive</i> PC1250-8R.....	50
Gambar 4. 5 <i>Hydraulic Pump</i> PC1250-8R	58
Gambar 4. 6 Analisis FTA <i>Engine System</i>	63
Gambar 4. 7 Analisis FTA <i>Hydraulic System</i>	64
Gambar 4. 8 Analisis FTA <i>Final drive</i>	65
Gambar 4. 9 Analisis FTA <i>Machine Breakdown</i>	66
Gambar 4. 10 Kerusakan Pompa Bahan Bakar PC1250-8R.....	70
Gambar 4. 11 Kerusakan <i>Fan Cooling Motor</i> PC1250-8R.....	71
Gambar 4. 12 Kerusakan <i>Floating Seal</i> Final drive.....	72
Gambar 4. 13 Ekspektasi PA Aktual Terhadap Waktu Overhaul	77
Gambar 4. 14 Ekspektasi Biaya Perawatan	78

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Harga Batubara Acuan Periode 2024 – 2025.....	86
Lampiran 2 Hasil <i>Oil Analysis Engine</i>	89
Lampiran 3 Hasil <i>Oil Analysis Hydraulic and Final Drive</i>	91
Lampiran 4 VHMS <i>Engine System</i>	94
Lampiran 5 VHMS <i>Hydraulic System</i>	97