© 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

EVALUASI *PERFORMANCE MAINTENANCE* FORKLIFT YALE MENGGUNAKAN *KEY PERFORMANCE INDICATOR* (KPI) DAN METODE *MACHINE LEARNING* DI PT. KAI

SKRIPSI

Oleh:

Muhammad Sadam
NIM. 2202441012

SARJANA TERAPAN

PROGRAM STUDI

TEKNOLOGI REKAYASA PEMELIHARAAN ALAT BERAT

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

Juli, 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

EVALUASI *PERFORMANCE MAINTENANCE* FORKLIFT YALE MENGGUNAKAN *KEY PERFORMANCE INDICATOR* (KPI) DAN METODE *MACHINE LEARNING* DI PT. KAI

SKRIPSI

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat, Jurusan Teknik Mesin

Oleh:

Muhammad Sadam

NIM. 2202441012

SARJANA TERAPAN

PROGRAM STUDI

TEKNOLOGI REKAYASA PEMELIHARAAN ALAT BERAT

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

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

EVALUASI *PERFORMANCE MAINTENANCE* FORKLIFT YALE MENGGUNAKAN *KEY PERFORMANCE INDICATOR* (KPI) DAN METODE *MACHINE LEARNING* DI PT. KAI

Oleh:

Muhammad Sadam

NIM. 2202441012

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat

Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1	Pembimbing 2
Dr. Sonki Prasetya, S.T., M.Sc.	Asep Apriana, S.T., M.Kom.
NIP. 197512222008121003	NIP. 196211101989031004

Kepala Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat

Muhammad Todaro, S.T., M.Tr.T.
NIP. 199105012024061003

© 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

SKRIPSI

EVALUASI *PERFORMANCE MAINTENANCE FORKLIFT YALE* MENGGUNAKAN *KEY PERFORMANCE INDICATOR* (KPI) DAN METODE *MACHINE LEARNING* DI PT. KAI

Oleh:

Muhammad Sadam

NIM. 2202441012

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 29. dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Asep Apriana, S.T., M.Kom. NIP. 196211101989031004	Ketua		30/7.26
2.	Idrus Assagaf, S.S.T., M.T. NIP. 196811042000121001	Anggota		30/07/2026
3.	Muhammad Todaro, S.T., M.Tr.T. NIP. 199105012024061003	Anggota		30/07/2026

Depok, 21 September 2026

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

NIP. 197602252000121002

© 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

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Sadam

NIM : 2202441012

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Skripsi telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 21 September 2026



Muhammad Sadam
NIM. 2202441012

© 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

EVALUASI *PERFORMANCE MAINTENANCE FORKLIFT YALE* MENGGUNAKAN *KEY PERFORMANCE INDICATOR* (KPI) DAN METODE *MACHINE LEARNING* DI PT. KAI

Sonki Prasetya[1)*], Asep Apriana[1)], Muhammad Sadam[1)]

[1),2),3)] Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

*Email: sonki.prasetya@mesin.pnj.ac.id

ABSTRAK

Forklift YALE merupakan alat material *handling* vital di Balaiyasa Manggarai, PT Kereta Api Indonesia (Persero). Penelitian ini mengevaluasi kinerja pemeliharaan *forklift YALE* menggunakan KPI *maintenance* (MTBF, MTTR, *Availability, Downtime*) serta membangun model prediksi *failure* menggunakan *Random Forest* yang dikombinasikan dengan SMOTE untuk menangani ketidakseimbangan kelas, berdasarkan 306 data operasional periode Agustus–Desember 2025. Hasil evaluasi menunjukkan MTBF 94,72 jam, MTTR 6,57 jam, *Availability* 93,52%, dan *downtime* 157,60 jam. Model *Random Forest* menghasilkan akurasi 77,42%, *precision* 15,38%, *recall* 40,00%, dan *F1-Score* 22,22%, dengan *Hour Meter* sebagai faktor paling dominan (40,02%) terhadap *failure*. Penelitian ini merekomendasikan kebijakan *preventive maintenance* berbasis jam operasi pada rentang 75–80 jam.

Kata kunci: : KPI *Maintenance*, *Random Forest, Predictive Maintenance*, SMOTE, *Forklift*.

© 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

EVALUATION OF YALE FORKLIFT MAINTENANCE PERFORMANCE USING KEY PERFORMANCE INDICATORS (KPIs) AND MACHINE LEARNING METHODS AT PT. KAI

Sonki Prasetya[1)*], Asep Apriana[1)], Muhammad Sadam[1)]

[1),2),3)] *Applied Bachelor Program in Heavy Equipment Maintenance Engineering Technology, Department of Mechanical Engineering, Jakarta State Polytechnic, UI Campus Depok, 16424*

*Email: sonki.prasetya@mesin.pnj.ac.id

ABSTRACT

The YALE forklift is a vital material handling equipment at Balaiyasa Manggarai, PT Kereta Api Indonesia (Persero). This study evaluates YALE forklift maintenance performance using KPI metrics (MTBF, MTTR, Availability, Downtime) and develops a failure prediction model using Random Forest combined with SMOTE to address class imbalance, based on 306 operational records from August–December 2025. Results show an MTBF of 94.72 hours, MTTR of 6.57 hours, Availability of 93.52%, and downtime of 157.60 hours. The Random Forest model achieved 77.42% accuracy, 15.38% precision, 40.00% recall, and 22.22% F1-Score, with Hour Meter as the most dominant factor (40.02%) contributing to failure. The study recommends an hour-based preventive maintenance policy within a 75–80 operating hour interval.

Keywords*: Maintenance KPI, Random Forest, Predictive Maintenance, SMOTE, Forklift*

© 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

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **"Evaluasi *Performance Maintenance Forklift* YALE Menggunakan *Key Performance Indicator* (KPI) dan Metode Machine Learning di PT.KAI".** Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang tiada terhingga kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, izinkan aku mengucapkan bahwa semua beban yang bercampur bangga telah aku rengkuh, semua berpihak kepadaku, pasti doamu yang lancarkan upaya ku, mesti doa yang meluncur dari bibirmu, dan yang aku tau kau takkan pernah pernah berhenti untuk tumbuh ku kini, semoga sesuai yang kau impi, tertulis jelas namaku disetiap harap malammu.
2. kakak, dan adik tersayang penulis yang senantiasa memberikan dukungan material, spiritual dan motivasi selama menjalani perkuliahan. Kalianlah alasan penulis bisa sampai di titik ini. Tidak ada kata yang cukup untuk membalas semua doa serta perjuangan kalian.
3. Bapak Dr. Sonki Prasetya, S.T., M.Sc. dan Asep Apriana, S.T., M.Kom. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah mengarahkan, memberikan solusi dan membantu penulis sehingga skripsi dapat diselesaikan dengan baik.
4. Bapak Muhammad Todaro, S.T., M.Tr.T. selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat.
5. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si. selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri 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

6. Kepada PT. KAI (Persero), Khususnya Balaiyasa Manggarai, Keluarga besar bagian fasilitas dan logistik, dan seluruh pihak yang telah memberikan ilmu, dan izin, serta kesempatan kepada penulis untuk pelaksanaan magang dan pengambilan data penelitian.
7. Kepada PT. Liugong Machinery Indonesia, Khususnya departement warranty and technical support yang telang memberikan semangat dan juga arahan pada kepada penulis pada saat proses pengerjaan skripsi ini.
8. Rekan – rekan mahasiswa program studi teknologi rekayasa pemeliharaan alat berat dari angkatan 2020-2025 yang senantiasa membersamai, memberikan dukungan, dan tawa canda saat semangat mulai redup. Kalian adalah salah satu bagian penting dari cerita ini.
9. Para sahabat penulis “SUTIL” orang-orang hebat yang telah memberikan dukungan berupa canda dan tawa sehingga penulis bisa tetap kembali fokus dalam proses pengerjaan skripsi.
10. Kepada sosok yang tak kalah penting kehadirannya, Elyza Silva Mumtazah. Terima kasih karena telah menjadi bagian dalam dari perjalanan hidup penulis. Berkontribusi banyak dalam penulisan karya tulis ini. Selalu mendukung, menghibur, dan mendengarkan keluh kesah, hingga penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Terakhir penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada seseorang yang mungkin terlupakan, penulis ingin megucapkan terima kasih kepada diri sendiri karena tetap bertahan sampai pada tahap ini. Terima kasih karena tidak menyerah dan berani melawan rasa takut, serta keraguan terbesar dalam diri, terima kasih tidak menyerah tetapi memilih melangkah dan terus berjuang walau terkadang tak tahu arah dan sering merasa terlambat dari yang lain.sampai ditahap ini bukanlah hal yang mudah bagi anak kecil yang perjuangannya dipenuhi dengan benturan besar, perjalanan mu sangat tidak mudah tapi kau sanggup melewati badai itu. Saya bangga padamu, saya tau perjalanan ini belum selesai, masih banyak ketidakpastian dan luka yang pasti

© 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

akan datang tetapi semoga kamu mampu melewatinya dan ingat kamu pantas bahagia, kamu berhak bermimpi, dan kamu layak untuk sampai ditujuan itu. Teruslah hidup dengan hati yang jujur, dan berjalan dengan niat yang baik. Terima kasih Muhammad Sadam kamu hebat sudah sejauh ini.

Penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari sempurna. Namun harapan penulis, karya tulis ini dapat bermanfaat walaupun kecil bagi pengembangan ilmu teknik mesin, khususnya dalam menganalisis performance maintenance unit forklift.

Semoga skripsi ini merupakan langkah awal untuk terus belajar dan memberikan kontribusi bagi ilmu pengetahuan, industri serta masyarakat.

Jakarta, 29 Juli 2026
Penulis

Muhammad Sadam
NIM. 2202441012

© 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

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN ..... **iii**

HALAMAN PENGESAHAN ..... **iv**

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS ..... **v**

ABSTRAK ..... **vi**

ABSTRACT ..... **vii**

KATA PENGANTAR ..... **viii**

DAFTAR ISI ..... **xi**

DAFTAR GAMBAR ..... **xvi**

DAFTAR TABEL ..... **xvii**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang Penelitian 1

1.2 Rumusan Masalah Penelitian 3

1.3 Batasan Masalah 3

1.4 Pertanyaan Penelitian 4

1.5 Tujuan Penelitian 4

1.5.1 Tujuan Umum 4

1.5.2 Tujuan Khusus 4

1.6 Manfaat Penelitian 5

1.6.1 Manfaat Teoritis 5

1.6.2 Manfaat Praktis 5

1.7 Sistematika Penulisan Skripsi 6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **7**

© 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

2.1 Landasan Teori 7
2.1.1 Asset Management dan Reliability Engineering 7
2.1.2 Maintenance Performance Measurement 7
2.1.2.1 Keandalan (*Reliability*) 8
2.1.2.2 Kemudahan Perbaikan (*Maintainability*) 8
2.1.2.3 Ketersediaan (*Availability*): 8
2.1.2.4 Downtime 8
2.1.3 Predictive Maintenance 10
2.1.4 Machine Learning (ML) 10
2.1.4.1 Kategori Utama Metode *Machine Learning* 11
2.1.4.2 Urgensi *Machine Learning* dalam Manajemen Pemeliharaan ... 12
2.1.5 Supervised Learning 13
2.1.6 Random Forest 13
2.1.6.1 Cara Kerja Random Forest 14
2.1.6.2 Formulasi Random Forest 15
2.1.7 Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE) 18
2.1.7.1 Permasalahan Imbalanced Dataset 19
2.1.7.2 Cara Kerja SMOTE 20
2.1.8 Confusion Matrix dan Metrik Evaluasi Model 20
2.1.8.1 Confusion Matrix 20
2.1.8.2 Accuracy 21
2.1.8.3 Precision 22
2.1.8.4 Sensitivitas (Recall) 23
2.1.8.5 F1-Score 24
2.1.9 Feature Importance 25
2.1.9.1 Mekanisme Perhitungan *Feature Importance* pada *Random Forest* 26
2.2 Kajian Literatur 26
2.3 Kajian Sistem 30
2.3.1 Peneltian Terdahulu 31

2.4 Kerangka Pemikiran dan Hipotesis 34

BAB III METODE PENELITIAN 37

3.1 Diagram Alir 37

3.1.1 Penjelasan Langkah Kerja 38

3.2 Jenis Penelitian 51

3.3 Lokasi dan Objek Penelitian 52

3.4 Metode Pengambilan Sample 53

3.5 Jenis dan Sumber Data Penelitian 54

3.6 Metode Pengumpulan Data Penelitian 54

3.6.1 Observasi Lapangan 55

3.6.2 Studi Dokumentasi 55

3.7 Metode dan Analisis Data 56

3.7.1 Pre-processing Data 56

3.7.2 Analisis KPI *Maintenance* 57

3.7.3 Penanganan Ketidakseimbangan Data (SMOTE) 57

3.7.4 Pemodelan Menggunakan Algoritma *Random Forest* 58

3.7.5 Evaluasi Model 60

3.7.6 Analisis Feature Importance 60

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 61

4.1 Data dan Hasil Penelitian 61

4.1.1 Data Awal Penelitian 61

4.1.2 Struktur Dataset 62

4.1.3 Proses Data Cleaning 63

4.1.4 Statistik Deskriptif Dataset 64

4.1.5 Distribusi Data Kerusakan (*Failure*) 66

© 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 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

4.2 Analisis *Key Performance Indicator* (KPI) *Maintenance* 66
4.2.1 Perhitungan *Mean Time Between Failure* (MTBF) 66
4.2.2 Perhitungan *Downtime* 67
4.2.3 Perhitungan *Mean Timen To Repair* (MTTR) 69
4.2.4 Perhitungan Ketersediaan Unit (*Availability*) 69
4.2.5 Rekapitulasi KPI *Maintenance* 70
4.2.6 Kesimpulan Analisis KPI *Maintenance* 71
4.3 Analisis Prediktif Menggunakan Algoritma *Random Forest* 72
4.3.1 *Pre-Processing Data* 72
4.3.1.1 Pemeriksaan Kualitas Data 72
4.3.1.2 *Transformasi* Data 73
4.3.1.3 Pemilihan Variabel Penelitian 73
4.3.1.4 Pembagian Dataset 74
4.3.2 Penanganan Ketidakseimbangan Data Menggunakan SMOTE ... 75
4.3.2.1 Distribusi Kelas Sebelum SMOTE 75
4.3.2.2 Proses Penerapan SMOTE 76
4.3.2.3 Distribusi Kelas Setelah SMOTE 76
4.3.3 Pemodelan Algoritma *Random Forest* 77
4.3.3.1 Pembentukan *Bootstrap Sampling* 77
4.3.3.2 Pembentukan *Decision Tree* 78
4.3.3.3 Proses *Majority Voting* 78
4.3.3.4 Proses Pelatihan dan Prediksi Model *Random Forest* 78
4.3.4 Evaluasi Kinerja Model *Random Forest* 82
4.3.4.1 Confusion Matrix 82
4.3.4.2 Accuracy 83
4.3.4.3 Precision 83
4.3.4.4 Recall 83
4.3.4.5 F1-Score 83
4.3.4.6 Analisis Hasil Evaluasi Model 83
***Accuracy* 83**

F1-Score **84**

4.4 Analisis *Feature Importance* 85

4.4.1 Hasil Perhitungan *Feature Importance* 85

4.5 Implikasi Hasil Penelitian terhadap Strategi Pemeliharaan 85

4.6 Hasil Rekomendasi Pemeliharaan KPI dan *Machine Learning* 86

4.6.1 Rekomendasi Berdasarkan KPI Maintenance 86

4.6.2 Rekomendasi Berdasarkan Hasil Prediksi *Random Forest* 86

4.6.3 Integrasi KPI *Maintenance* dan Hasil Prediksi *Failure* 89

4.6.4 Rekomendasi Penentuan *Interval Preventive Maintenance* Dinamis 90

4.7 Pembahasan hasil penelitian 92

4.7.1 Integrasi KPI Maintenance dan Algoritma Random Forest 92

4.7.2 Pengujian Hipotesis Penelitian 94

BAB V KESIMPULAN & SARAN 96

5.1 Kesimpulan 96

5.2 Saran 97

5.2.1 Saran untuk Balaiyasa Manggarai, PT Kereta Api Indonesia (Persero) 97

5.2.2 Saran untuk penelitian selanjutnya 99

DAFTAR PUSTAKA 102

© 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 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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 diagram alir kerangka pemikiran 34
Gambar 3. 1 Diagram Alir 38
Gambar 3. 2 Contoh Tampilan Awal Dataset Forklift YALE 41
Gambar 3. 3 Visualisasi KPI Bulanan 45
Gambar 3. 4 Visualisasi Data sesudah dan sebelum SMOTE 46
Gambar 3. 5 Visualisasi Feature Importance 50
Gambar 3. 6 Visualisasi KPI 57
gambar 3. 7 Ilustrasi Struktur Decision Tree pada Prediksi Failure 59
gambar 4. 1 Dataset 61
gambar 4. 2Grafik Downtime Bulanan 68
gambar 4. 3 Rekapitulasi Capaian KPI *Maintenance* Forklift YALE 71
gambar 4. 4 Distribusi Kelas Setelah Penerapan SMOTE 77
gambar 4. 5 Tahapan Pengujian dan Validasi Model Random Forest 81
gambar 4. 6 Hasil Confusion Matrix Random Forest 82
gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Metrik Evaluasi Model Random Forest 84
gambar 4. 8Grafik Feature Importance Model Random Forest 85
gambar 4. 9 Proyeksi Peningkatan *Availability* Setelah Penerapan *Prevetive Maintenance Dinamis* 93
gambar 4. 10 Proyeksi Penurunan *Downtime* Bulanan Setelah Penerapan Strategi *Predictive Maintenance* 94

© 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

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Confusion Matrix 21
Tabel 2. 2 Kajian Literatur 26
Tabel 2. 3 Tabel Sintesis Penelitian 32
Table 4. 1Variabel Penelitian 62
Table 4. 2Statistik Deskriptif Data Penelitian 64
Table 4. 3 *Failure Label* 66
Table 4. 4 Ringkasan Hasil Perhitungan MTBF Forklift YALE 67
Table 4. 5 Downtime Bulanan 67
Table 4. 6 Hasil Perhitungan MTTR Forklift YALE 69
Table 4. 7 Hasil Perhitungan *Availability* Forklift YALE 70
Table 4. 8Hasil Pemeriksaan Kualitas Data 72
Table 4. 9 Hasil Encording Variabel *Workload* 73
Table 4. 10 Variabel Pemodelan Random Forest 74
Table 4. 11 Pembagian Dataset 75
Table 4. 12 Distribusi Kelas Sebelum Penerapan SMOTE 75
Table 4. 13 Parameter Algoritma *Random Forest* 78
Table 4. 14 Perbandingan Hasil Prediksi dan Kondisi Aktual pada Sampel Data Pengujian Model *Random Forest* 79
Table 4. 15 Hasil Evaluasi Model 83
Table 4. 16 Rekomendasi berdasarkan KPI 86
Table 4. 17 Rekomendasi Berdasarkan Hasil Prediksi *Random Forest* 87
Table 4. 18 Matriks Integrasi KPI *Maintenance* dan Output Model Prediktif 89
Table 4. 19 Rekomendasi Jadwal *Preventive Maintenance* Forklift YALE 91
Table 4. 20 KPI Bulanan Agustus-Desember 2025 92

© 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

Lampiran 1 104
Lampiran 2 105
Lampiran 3 106

© 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

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Peran forklift sebagai *material handling equipment* sangat vital dalam menunjang kelancaran operasional di Balaiyasa Manggarai PT Kereta Api Indonesia (Persero). Data operasional PT. KAI tahun 2025 menunjukkan bahwa satu unit *forklift* rata-rata bekerja selama 6–8 jam sehari dengan frekuensi pengangkatan material melebihi 40 siklus per *shift*. Dengan beban kerja sepadat ini, keandalan alat menjadi faktor yang tidak bisa ditawar, sebab pengelolaan pemeliharaan yang buruk akan langsung berdampak pada seringnya kerusakan dan membengkaknya biaya perawatan yang tidak terencana.

Berdasarkan observasi selama kegiatan magang pada Agustus-Desember 2025, ditemukan bahwa performa *forklift* YALE di Balaiyasa Manggarai masih mengalami kendala serius. Rata-rata *downtime* tercatat pada *Loogbook maintenance* mencapai 25-41 jam per bulan dengan akumulasi 157,6 jam, sedangkan nilai *availability* hanya 93,52%, angka ini masih di bawah standar industri alat berat yang menargetkan kesiapan unit di atas 95%. Selain itu, aktivitas perawatan masih sangat didominasi oleh *corrective maintenance* sebesar 62%, berbanding terbalik dengan *preventive maintenance* yang hanya menyentuh angka 38% setara dengan alokasi waktu preventive maintenance sekitar 19 jam per bulan, berbanding 31,5 jam per bulan yang digunakan untuk perbaikan kerusakan.

Masalah rendahnya kesiapan unit ini memicu efek domino pada operasional *workshop*. Keterlambatan pemindahan komponen akibat unit yang *breakdown* memaksa perusahaan untuk mengalokasikan biaya lembur teknisi

demi mengejar target operasional sarana. Kondisi ini jelas meningkatkan pengeluaran pemeliharaan secara reaktif dan menurunkan efisiensi sumber daya perusahaan. Selama ini, kajian mengenai kinerja pemeliharaan sering kali hanya terpaku pada perhitungan angka historis tanpa menghubungkannya ke dalam kerangka KPI yang terintegrasi dan mampu memberikan gambaran menyeluruh terhadap efektivitas sistem(Novarika dkk., 2024).

Beberapa studi terbaru mulai mengarah pada penggunaan KPI *maintenance* secara lebih luas. Penelitian oleh (Moemenishahraki, 2025) menunjukkan bahwa integrasi indikator MTBF, MTTR, *downtime*, dan KPI pemeliharaan mampu memberikan gambaran yang lebih menyeluruh terhadap efektivitas sistem *maintenance* serta mendukung pengambilan keputusan manajerial.

Implementasi *Machine Learning* terbukti efektif mendukung strategi *predictive maintenance* melalui identifikasi pola kerusakan berdasarkan data historis operasional. Studi oleh (Muhidin dkk., 2025) mengkonfirmasi bahwa kombinasi algoritma *Random Forest* dan teknik SMOTE mampu memprediksi kegagalan perangkat industri secara akurat tanpa bergantung pada sistem sensor *real-time* yang berbiaya tinggi.

Penelitian yang dilakukan oleh Prasetya dkk. (2022) menunjukkan bahwa penerapan teknologi kecerdasan buatan pada sistem kendaraan dan alat berat mampu mendukung peningkatan efektivitas operasional serta pengambilan keputusan berbasis data. Temuan tersebut menunjukkan potensi pengembangan teknologi cerdas untuk mendukung pengelolaan pemeliharaan peralatan industri secara lebih proaktif.

Dalam pendekatan ini, KPI *maintenance* berfungsi sebagai instrumen evaluasi retrospektif kinerja pemeliharaan masa lalu, sedangkan *Machine Learning* bertindak sebagai proyektor risiko kegagalan di masa mendatang.

© 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 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

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penilitian ini adalah:

1. Bagaimana capaian nilai *Performance Maintenance* unit *forklift* YALE di Balaiyasa Manggarai jika ditinjau dari indikator *Availability*, *Mean Time Between Failure* (MTBF), dan *Mean Time To Repair* (MTTR) pada periode 2025?
2. Bagaimana performa algoritma Random Forest yang dikombinasikan dengan metode SMOTE dalam memprediksi failure unit forklift YALE berdasarkan data operasional dan pemeliharaan pada periode 2025?
3. Bagaimana rekomendasi jadwal pemeliharaan proaktif yang dapat disusun berdasarkan hasil integrasi antara evaluasi KPI aktual dan model prediksi *Machine Learning* untuk meminimalkan *downtime*?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tetap terfokus dan mendalam, penulis menetapkan batasan-batasan ruang lingkup sebagai berikut:

1. Difokuskan pada unit Forklift kapasitas 3 dan 5 ton yang beroperasi di wilayah Balaiyasa Manggarai.
2. Menggunakan data historis operasional, log perawatan (*maintenance log*), dan laporan kerusakan periode agustus s.d. desember 2025 sesuai dengan ketersediaan dan kellengkapan data perusahaan.
3. Aspek finansial seperti perhitungan depresiasi aset atau ROI (*Return on Investment*) alat, maupun faktor sumber daya manusia tidak dibahas secara mendalam, namun disinggung sebagai dampak turunan.
4. Evalusai kinerja pemeliharaan (*performance maintenance*) dibatasi pada pengukuran KPI *maintenance*, yang meliputi: *Availability, Mean Time Between Failure* (MTBF), *Mean Time To Repair* (MTTR), Tingkat *downtime*.

© 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

5. Metode *Machine Learning* yang digunakan terbatas pada algoritma *Random Forest* untuk klasifikasi status kegagalan, tanpa menggunakan sensor IoT secara *real-time*.

1.4 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan latar belakang penelitian ini, maka ditetapkan beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana nilai KPI *maintenance* forklift YALE yang terdiri dari Availability, MTBF, MTTR, dan downtime selama periode Agustus–Desember 2025?
2. Bagaimana performa algoritma Random Forest dalam memprediksi failure forklift berdasarkan data operasional dan maintenance?
3. Bagaimana rekomendasi strategi maintenance yang dapat disusun berdasarkan hasil KPI dan model prediksi failure?

1.5 Tujuan Penelitian

1.5.1 Tujuan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja pemeliharaan forklift YALE melalui pengukuran KPI maintenance, membangun model prediksi failure menggunakan algoritma Random Forest, serta menyusun rekomendasi strategi pemeliharaan berbasis data untuk meningkatkan efektivitas dan keandalan operasional forklift di Balaiyasa Manggarai.

1.5.2 Tujuan Khusus

Terdapat beberapa tujuan khusus yang ingin dicapai oleh peneliti, sebagai berikut:

1. Menentukan nilai Key Performance Indicator (KPI) maintenance forklift YALE yang meliputi Availability, Mean Time Between

© 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

Failure (MTBF), Mean Time To Repair (MTTR), dan downtime sebagai dasar evaluasi kinerja pemeliharaan.

2. Membangun dan mengevaluasi performa model prediksi failure forklift YALE menggunakan algoritma Random Forest yang dikombinasikan dengan metode SMOTE berdasarkan data operasional dan pemeliharaan.
3. Menyusun rekomendasi strategi pemeliharaan proaktif berdasarkan hasil integrasi antara evaluasi KPI maintenance aktual dan model prediksi Random Forest untuk meminimalkan downtime forklift YALE.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan baik dari sisi akademis maupun praktis:

1.6.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan literatur di bidang Manajemen Operasi dan Pemeliharaan Aset, khususnya dalam studi kasus transisi dari indikator kinerja tradisional menuju indikator berbasis keandalan (*Reliability-Based*) pada industri perkeretaapian, serta dapat memberikan bukti empiris mengenai pentingnya pemisahan antara *performance monitoring* (hasil) dan *condition monitoring* (prediksi) dalam pengelolaan *Material Handling Equipment*.

1.6.2 Manfaat Praktis

1. Bagi PT Kereta Api Indonesia (Persero): sebagai dasar strategis untuk merevisi kebijakan pemeliharaan asset forklift, meminimalkan *downtime* yang tidak terduga, dan meningkatkan *thoughtput* barang di terminal kargo.
2. Bagi Akademisi/Mahasiswa: sebagai referensi metodologis dalam Menyusun KPI teknis yang selaras dengan tujuan bisnis korporasi.

© 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

1.7 Sistematika Penulisan Skripsi

Untuk menjaga penulisan agar tetap terstruktur, berikut ini adalah sistematika penulisan pada penelitian ini:

1. BAB I PENDAHULUAN

   Bab ini menjelaskan latar belakang dilakukannya penelitian, perumusan masalah pada penelitian, batasan masalah, tujuan dan manfaat yang diharapkan dari penelitian, serta sistematika penulisan skripsi secara keseluruhan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

   Bab ini memuat landasan teori penelitian, kajian hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan sebagai referensi dan pembanding, serta kerangka pemikiran penelitian ini ditulis.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

   Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, meliputi tahapan perancangan, pengumpulan data, pelaksanaan simulasi, serta metode analisis yang digunakan untuk menjawab rumusan masalah.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

   Bab ini menyajikan hasil yang diperoleh dari proses penelitian serta analisis pembahasan yang dilakukan berdasarkan data dan teori yang relevan.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

   Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran-saran untuk pengembangan atau penelitian selanjutnya.

© 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

BAB V
KESIMPULAN & SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kinerja *Key Performance Indicator* (KPI) *maintenance* dan implementasi model prediktif menggunakan algoritma *Random Forest* terhadap data operasional armada forklift YALE di PT KAI, maka kesimpulan utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai KPI *Maintenance* Forklift YALE (*KPI Maintenance*)

   Tujuan khusus pertama, yaitu menentukan nilai KPI *maintenance* forklift YALE, telah tercapai melalui hasil perhitungan: *Mean Time Between Failure* (MTBF) sebesar 94,72 jam, *Mean Time To Repair* (MTTR) sebesar 6,57 jam, dan *Availability* sebesar 93,52%, dengan akumulasi *Downtime* sebesar 157,60 jam dari total 2.273,3 jam waktu operasi selama periode Agustus–Desember 2025.

   Sebagai tolok ukur, nilai *Availability* aktual (93,52%) dibandingkan terhadap standar ideal industri alat berat sebesar ≥95% menunjukkan gap sebesar 1,48 poin persentase di bawah standar.

2. Performa Model Prediktif *Random Forest*

   Penerapan algoritma *Random Forest* yang dikombinasikan dengan metode penyeimbangan data SMOTE menghasilkan tingkat akurasi total sebesar 77,42%, *Precision* sebesar 15,38%, *Recall* sebesar 40,00%, dan *F1-Score* sebesar 22,22% pada subset data pengujian murni. Karakteristik model ini membuktikan bahwa sistem mampu mengenali pola korelasi *non-linear* variabel operasional terhadap risiko kerusakan unit. Rendahnya nilai *precision* dan *recall* pada pengujian riil dipicu oleh ketidakseimbangan kelas ekstrem di lapangan (57 Normal

© 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

berbanding 5 *Failure*), di mana model sengaja dibentuk oleh SMOTE untuk memiliki tingkat sensitivitas (waspada) yang tinggi guna memprioritaskan deteksi dini bahaya kerusakan daripada mengabaikannya.

3. Strategi Pemeliharaan Proaktif

Analisis *feature importance* membuktikan secara empiris bahwa variabel *Workload* (beban kerja intensif) menjadi faktor paling dominan pemicu kerusakan unit dengan kontribusi sebesar 40,02%, disusul oleh *Hours Since Last Service* (24,18%), *Avg Daily Hours* (21,68%), dan terakhir *Workload* (14,12%).

Berdasarkan integrasi nilai MTBF (94,72 jam) dan koefisien Safety Factor sebesar 80%, disusun rekomendasi konkret berupa interval Preventive Maintenance (PM) dinamis sebesar 75,78 jam operasi (dibulatkan menjadi rentang 75–80 jam), menggantikan sistem penjadwalan berbasis kalender tetap yang digunakan sebelumnya. Sebagai tolok ukur keberhasilan penerapan strategi ini, proyeksi menunjukkan potensi peningkatan Availability dari kondisi aktual 93,52% menuju target 95%, disertai penurunan rata-rata downtime bulanan secara bertahap.

Dengan tercapainya ketiga tujuan khusus tersebut secara terukur, penelitian ini membuktikan bahwa integrasi evaluasi KPI maintenance konvensional dengan model prediktif berbasis Machine Learning mampu menghasilkan strategi pemeliharaan yang lebih proaktif, terukur, dan berbasis data dibandingkan pendekatan reaktif yang selama ini diterapkan.

5.2 Saran

5.2.1 Saran untuk Balaiyasa Manggarai, PT Kereta Api Indonesia (Persero)

© 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

Guna meningkatkan keandalan sistem pemeliharaan armada forklift YALE di lapangan, beberapa rekomendasi strategis yang diusulkan bagi pihak manajemen PT KAI adalah sebagai berikut:

1. Implementasi Penjadwalan *Preventive Maintenance* Berbasis Jam Operasi

   Perusahaan disarankan segera menggeser kebijakan pemeliharaan dari sistem kalender bulanan yang kaku menjadi berbasis jam kerja aktual (*Hour Meter*) pada rentang 75–80 jam operasi. Penegasan batas aman ini yang diturunkan dari nilai 0,8 × MTBF sangat krusial untuk mengintervensi potensi kerusakan sebelum komponen menyentuh titik jenuh kegagalan, sehingga tingkat kesiapan armada (*Physical Availability*) dapat didorong melampaui target ideal 95%.

2. Standardisasi Pemantauan Jam Operasi dan Interval Servis (*Hour Meter Monitoring*)

   Mengingat variabel *Hour Meter* dan *Hours Since Last Service* terbukti menjadi dua pemicu paling dominan terhadap kerusakan unit dengan kontribusi masing-masing sebesar 40,02% dan 24,18%, pihak supervisor operasional wajib menerapkan pemantauan berkala terhadap akumulasi jam operasi tiap unit serta kedisiplinan interval servis. Peringatan dini (*early warning*) perlu diaktifkan ketika unit mendekati ambang batas jam operasi 75–80 jam sejak servis terakhir, guna mencegah unit melewati interval aman tanpa terdeteksi.

3. Digitalisasi Pemantauan Parameter Operasional Berkala

   Manajemen pemeliharaan perlu melakukan pencatatan dan pemantauan rutin terhadap parameter dinamis unit, seperti durasi pengoperasian harian (*Avg Daily Hours*), akumulasi umur

© 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

mesin (*Hour Meter*), serta kedisiplinan jeda servis (*Hours Since Last Service*). Pemantauan yang konsisten terhadap parameter ini akan berfungsi sebagai indikator awal (*leading indicator*) bagi tim mekanik untuk mendeteksi degradasi performa unit.

4. Restrukturisasi Kesiapan Sumber Daya dan Suku Cadang

   Untuk memangkas tingginya nilai MTTR yang menyentuh 6,57 jam, perusahaan disarankan menerapkan kebijakan *Safety Stock* (stok pengaman) khusus untuk komponen kritis yang memiliki frekuensi kerusakan tinggi (seperti sistem *seal* hidrolik dan filter transmisi). Ketersediaan komponen di gudang internal akan memotong waktu tunggu logistik secara signifikan, sehingga proses *repair* oleh mekanik dapat diselesaikan dengan lebih cepat.

5. Mengembangkan sistem *predictive maintenance* berbasis data

   Model *Random Forest* dengan tingkat *accuracy* 77,42% yang telah dibangun dalam penelitian ini sebaiknya diadopsi sebagai basis logika (*core engine*) dalam pengembangan sistem pemeliharaan masa depan perusahaan. Integrasi model ini ke dalam sistem informasi internal akan memfasilitasi pengambilan keputusan pemeliharaan yang bersifat proaktif dan berbasis data konkrit (*data-driven decision*), bukan lagi mengandalkan tindakan perbaikan reaktif (*corrective maintenance*).

5.2.2 Saran untuk penelitian selanjutnya

© 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

Untuk pengembangan keilmuan data sains dan rekayasa keandalan (*reliability engineering*) pada masa mendatang, arah penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan poin-poin berikut:

1. Ekspansi Rentang Waktu dan Volume Data Historis

   Penelitian berikutnya disarankan menggunakan data operasional dan riwayat pemeliharaan dengan rentang waktu yang lebih panjang (multi-tahun). Langkah ini penting agar algoritma dapat mempelajari variasi musiman (*seasonal patterns*) dan tren kerusakan jangka panjang secara lebih representatif untuk meningkatkan performa generalisasi model.

2. Pengayaan Sampel Data Kerusakan (*Failure Records*)

   Mengingat kendala utama dalam riset ini adalah karakteristik ketidakseimbangan kelas akibat minimnya sampel kerusakan alami, penelitian selanjutnya perlu menambah volume data *failure*. Ketersediaan data kelas minoritas yang lebih kaya akan melatih model dalam mengenali karakteristik anomali secara lebih presisi, sehingga nilai *Recall* dan *F1-Score* dapat dioptimalkan tanpa manipulasi sintetis yang berlebihan.

3. Penambahan Fitur Telemetri Kondisi Mesin secara Spesifik

   Akurasi model klasifikasi dapat ditingkatkan secara drastis dengan memasukkan variabel sensor langsung dari mesin (*on-board diagnostics*), seperti sensor temperatur blok mesin, tekanan oli hidrolik, indikator kesehatan baterai/aki, konsumsi energi real-time, hingga analisis partikel keausan oli (*oil ferrography*).

4. Melakukan perbandingan dengan algoritma machine learning lainnya

   Selain menggunakan *Random Forest*, peneliti selanjutnya direkomendasikan untuk melakukan komparasi performa model

menggunakan algoritma mutakhir lainnya, seperti *XGBoost*, *LightGBM, Support Vector Machine* (SVM), atau pendekatan *Deep Learning* (seperti *Long Short-Term Memory* - LSTM) guna mencari arsitektur model terbaik yang paling optimal untuk karakteristik data deret waktu (*time-series*).

5. Integrasi Arsitektur berbasis *Internet of Things* (IoT) secara *Real-Time*

Riset lanjutan dapat diarahkan pada rancang bangun purwarupa sistem *predictive maintenance* terintegrasi berbasis IoT. Pemanfaatan sensor nirkabel yang terhubung langsung dengan dasbor *Early Warning System* akan memungkinkan pemantauan kondisi forklift secara *real-time* di lapangan dan menerbitkan notifikasi alarm bahaya secara otomatis begitu gejala kerusakan terdeteksi.

© 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

POLITEKNIK NEGERI 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

DAFTAR PUSTAKA

1. Cang, P.-C. (2026). *A cost-reliability trade-off analysis for maintainable multistate flow networks with preventive and corrective maintenance*. *269*.
2. Zio, E. (2022). *Prognostics and Health Management (PHM)*. *218*.
3. Baradaran, A. H. (n.d.). *Predictive Maintenance of Electric Motors Using Supervised Learning Models : A Comparative Analysis*.
4. Khare, S. K. (2024). *Assessing Maintenance Performance within Manufacturing Entities : A Comprehensive Evaluation and Tangible Guidance Frame Work for Maintenance Performance Indicators (MPI): A Starting Point* (Nomor Icrbss 2023). Atlantis Press International BV. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-374-0
5. Payette, M. (2023). *Asset Management , Reliability and Prognostics Modeling Techniques*.
6. Singgih, moses laksono. (2024). Machine Learning for Predictive Maintenance: A Literature ReviewNo Title. *IEEE*. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10823713/citations#citations
7. Moemenishahraki, P. (2025). *Reliability and Maintenance Performance Analysis of a 1600 - ton Press Machine Using MTBF , MTTR , KPI , and Downtime Indicators*. *9*(2), 36–41.
8. Novarika, W., Arfah, M., & Khoir, R. A. (2024). *Analysis of Preventive Maintenance on Forklifts and Reach Trucks by Calculating Mean Time Between Failure and Mean Time to Repair at PT . DSV Solutions Indonesia*. *7929*(December 2023), 143–149.
9. Alfionita, S., & Alifin, F. I. (2023). *Preventive Maintenance Analysis Based on Mean Time Between Failure (MTBF) and Mean Time to Repair (MTTR)*. *9503*.

© 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

10. Mallioris dkk., 2024 *Predictive maintenance in Industry 4.0: A systematic multi-sector mapping*. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 50, 80–103.
11. Paredes Carrillo & Romero Barreno, 2025b *Machine Learning Algorithms for Predictive Maintenance: A Systematic Literature Mapping*. Revista Perspectivas, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).
12. Muhidin dkk., 2025 *Prediksi Kegagalan Perangkat Industri Menggunakan Random Forest dan SMOTE untuk Pemeliharaan Preventif*. Bulletin of Computer Science Research, 5(5), 1089–1094. https://doi.org/10.47065/bulletincsr.v5i5.745
13. Cummins dkk., 2024 *Explainable Predictive Maintenance: A Survey of Current Methods, Challenges and Opportunities*. IEEE Access, 12, 57574–57602.
14. Prasetya, S., Sugeng, & Yusmaya, A. Y. (2022). *Artificial Intelligence for Vehicle and Heavy Equipment Systems*. Jurnal Rekayasa Mesin, 13(3), 201–212.
15. Talaei Khoei & Kaabouch, 2023 *Machine Learning: Models, Challenges, and Research Directions*. Future Internet, 15(10), 332.
16. Albahra, S., Gorbett, T., Robertson, S., D'Aleo, G., Kumar, S. V. S., Ockunzzi, S., Lallo, D., Hu, B., & Rashidi, H. H. (2023). *Artificial intelligence and machine learning overview in pathology & laboratory medicine*. Seminars in Diagnostic Pathology, 40(2), 71–87.

POLITEKNIK NEGERI 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

LAMPIRAN

Lampiran 1



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

Nomor : 4743/PL3/PK.01.09/2025 — 10 Juni 2025
Lampiran : 1 Berkas
Hal : **Permohonan Praktik Kerja Lapangan di PT Kereta Api Indonesia**

Yth. Bapak Budi Santoso
PT Kereta Api Indonesia
Jl. Bukit Duri Utara II, Menara Ast No.1, RT.1/RW.13, Manggarai, Kec. Tebet, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12830, 12830

Dalam rangka pelaksanaan program akademik Program Studi S1 Tr Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta mewajibkan pada mahasiswa untuk melaksanakan On Job Training (OJT) atau Praktik Kerja Lapangan pada semester VII (Tujuh).

Oleh karena itu kami mohon kesediaan Bapak agar berkenan menerima mahasiswa kami untuk melaksanakan OJT atau Praktik Kerja Lapangan di **PT Kereta Api Indonesia**, dengan daftar nama sebagai berikut:

Nama Mahasiswa	NIM	Jangka Waktu	Program Studi
Muhammad Sadam Fauziarisa Arsalka Ahmad Rizkal	2202441012 2202441017 2202441030	11 Agustus s/d 31 Desember 2025	S1 Tr Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat

Demikian atas perhatian dan kerja samanya, kami ucapkan terima kasih.

a.n. Direktur
Wakil Direktur Bidang Kemahasiswaan
u.b.
Kepala Jurusan

Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M.T. IWE
NIP 197507142008121001

KAI

Nomor : KG.204/VII/10/BYMR-2025 — 16 Juli 2025
Sifat : Terbatas
Lampiran : 1(satu)berkas

Yth.
Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T. M.T. IWE
Ketua Jurusan Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof Dr G. A Siwabessy Depok

Perihal : Penjawan Pelaksanaan PKL di Balai Yasa Manggarai a.n Muhammad Sadam DNR

1. Menunjuk surat dari Universitas Politeknik Negeri Jakarta Nomor : 4743/PL3/PK.01.09/2025 Tanggal 10 Juni 2025 Perihal Permohonan PKL
2. Dengan ini diberitahukan bahwa prinsipnya kami menyetujui permohonan untuk melaksanakan PKL di Balai Yasa Manggarai adapun pelaksanaan/waktu PKL adalah sebagai berikut :

No	Nama	NIM	Program Studi	Waktu Pelaksanaan
1	Muhammad Sadam	2202441012	S1 Tr Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat	Agustus s/d Desember 2025
2	Fauziarisa Arsalka	2202441017		
3	Ahmad Rizkal	2202441030		
4	Naya Dinta Gallen	2202443046		
5	Sukron Alfhallah Rateid	2202443045		
6	Muhammad Riza Rabbani	220443047		

3. Setelah pelaksanaan PKL Siswa/i diwajibkan mengirimkan laporan hasil kegiatan ke Unit SDM berupa Makalah dalam bentuk Softcopy dan Hardcopy
4. Demikian kami sampaikan, atas perhatiannya diucapkan Terima Kasih

PT Kereta Api Indonesia (Persero)
Balai Yasa Manggarai

SUPRIYANTO
Manager Keuangan, SDM dan Teknologi Informasi

POLITEKNIK NEGERI 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

Lampiran 2



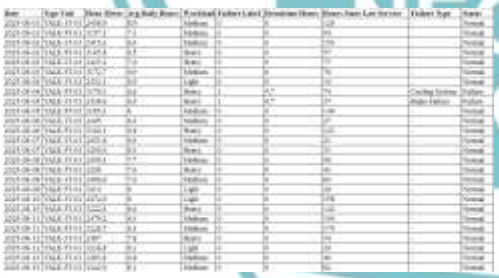








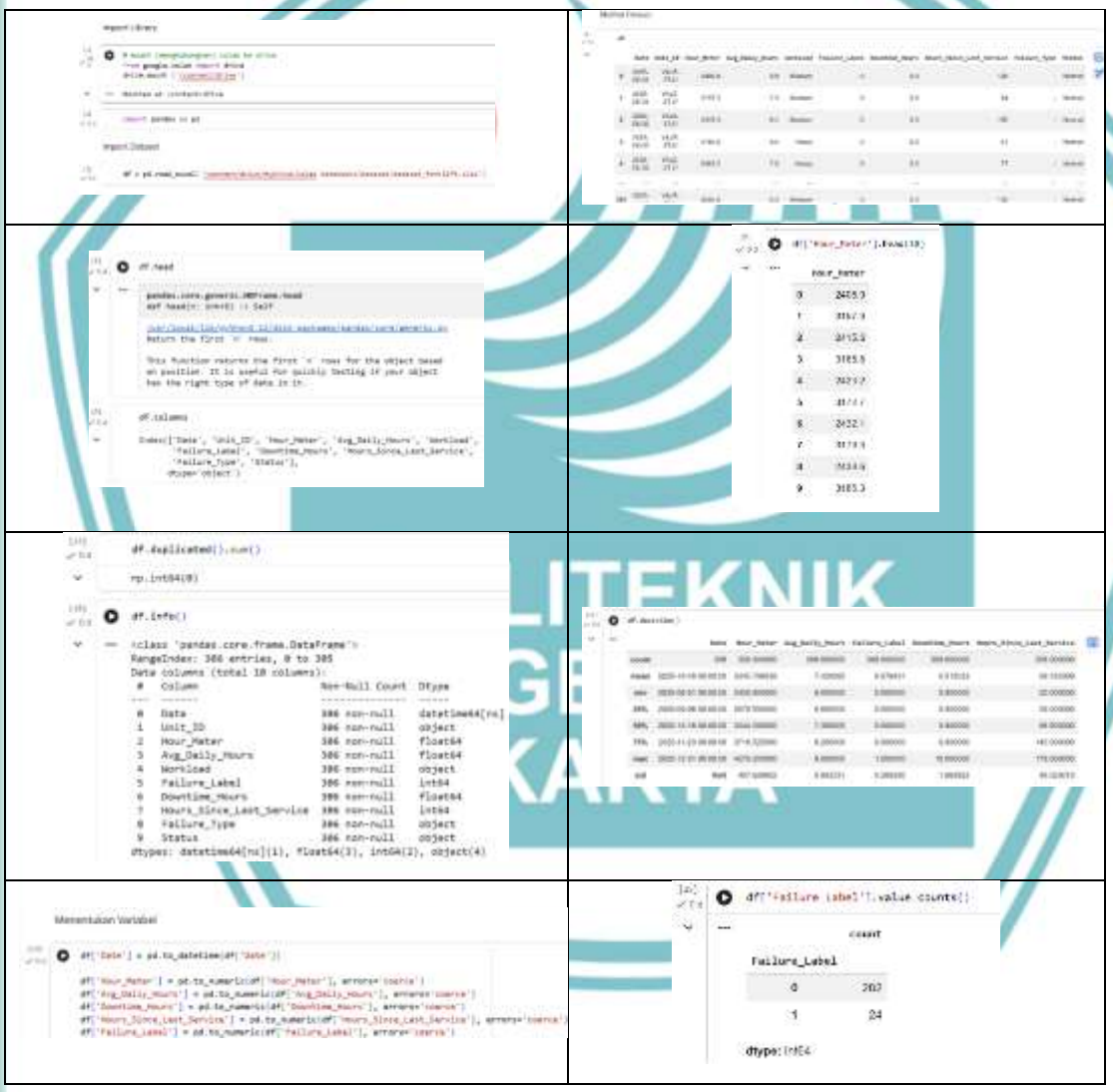




© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

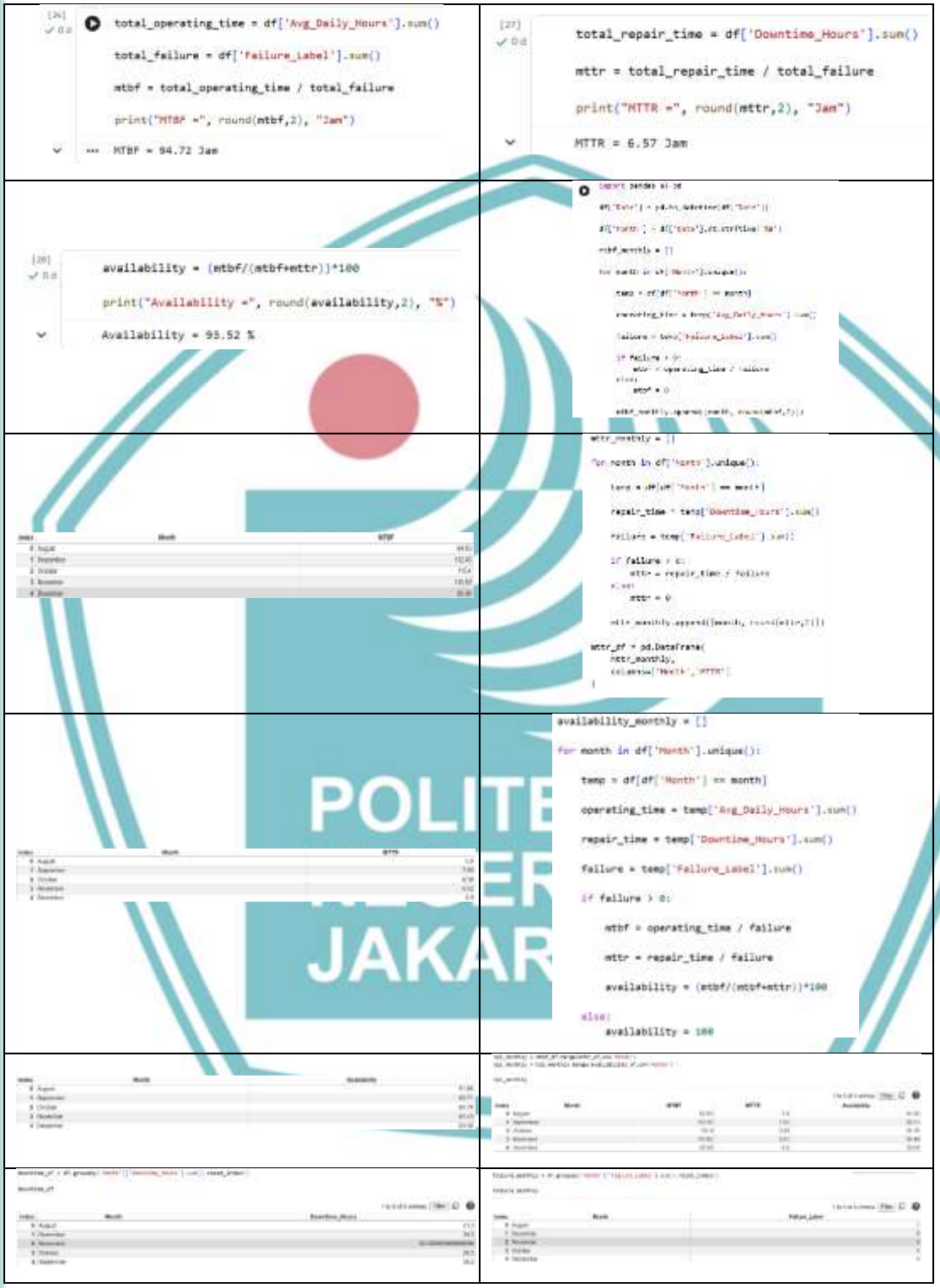
Lampiran 3



© 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 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

Split Data

```
from sklearn.model_selection import train_test_split

X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
    X,
    y,
    test_size=0.2,
    random_state=42
)
```

Ketidakseimbangan Data

```
y_train.value_counts()
```

```
...
                count
Failure_Label
0                 225
1                  15
```

```
df['Workload'] = df['Workload'].map({
    'Light':0,
    'Medium':1,
    'Heavy':2
})
```

```
X = df[
[
'Hour_Meter',
'Avg_Daily_Hours',
'Workload',
'Hours_Since_Last_Service'
]
]

y = df['Failure_Label']
```

```
from sklearn.model_selection import train_test_split

X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
    X,
    y,
    test_size=0.2,
    random_state=42
)
```

```
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier

pip install imbalanced-learn

Requirement already satisfied: imbalanced-learn in /usr/
Requirement already satisfied: numpy<3,>=1.25.2 in /usr/
Requirement already satisfied: scipy<2,>=1.11.4 in /usr/
Requirement already satisfied: scikit-learn<2,>=1.4.2 in
Requirement already satisfied: sklearn-compat<0.2,>=0.1.
Requirement already satisfied: joblib<2,>=1.2.0 in /usr/
Requirement already satisfied: threadpoolctl<4,>=2.0.0 i

from imblearn.over_sampling import SMOTE
```

SMOTE

```
smote = SMOTE(random_state=42)

X_train_smote, y_train_smote = smote.fit_resample(
    X_train,
    y_train
)
```

```
print(y_train.value_counts())

print(y_train_smote.value_counts())
```

```
Failure_Label
0    225
1     15
Name: count, dtype: int64
Failure_Label
0    225
1    225
Name: count, dtype: int64
```

Model Random Forest

```
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier

rf = RandomForestClassifier(
    n_estimators=300,
    max_depth=8,
    min_samples_leaf=2,
    class_weight="balanced",
    random_state=42
)
```

Prediksi

```
rf.fit(X_train_smote, y_train_smote)
y_pred = rf.predict(X_test)
```

confusion matrix

```
from sklearn.metrics import confusion_matrix

cm = confusion_matrix(
    y_test,
    y_pred
)

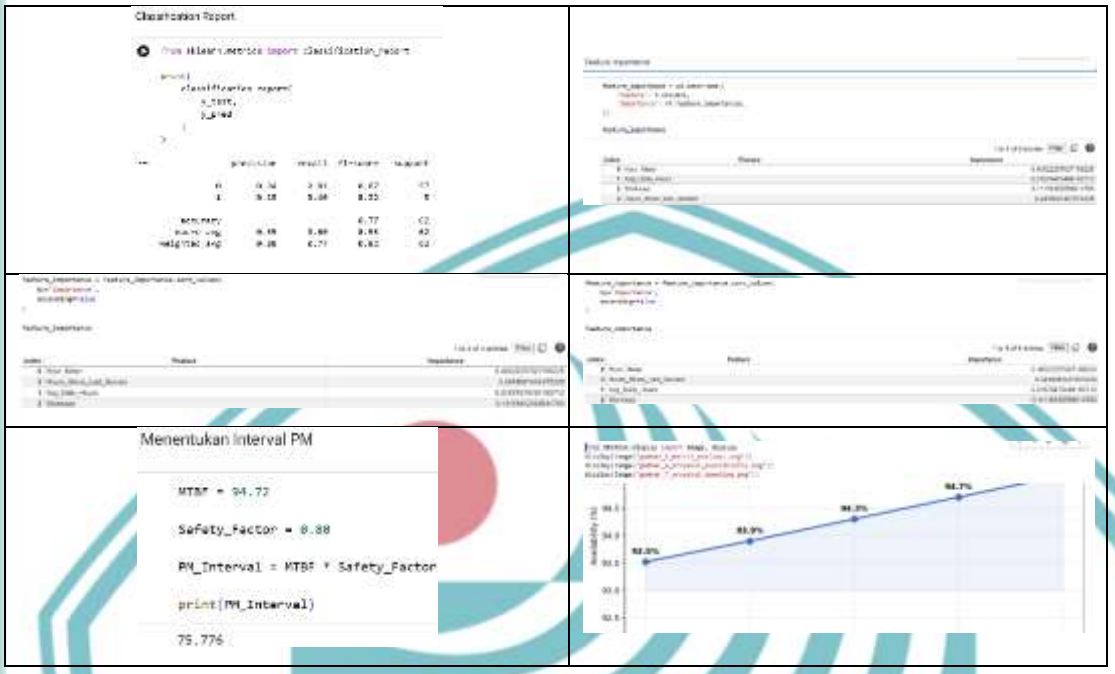
print(cm)
```

```
...
[[46 11]
 [ 3  2]]
```

© 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



POLITEKNIK NEGERI JAKARTA