



© 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



DETEKSI ANOMALI PADA *WAYSIDE UNIT* CBTC
DI MRT JAKARTA MENGGUNAKAN *RANDOM FOREST* UNTUK
REKOMENDASI *CONDITION-BASED MAINTENANCE*

TESIS

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
Mencapai derajat Magister Terapan
dalam Bidang Rekayasa Komunikasi Broadband

RULLY BURHAN AMALI
2209511005

PROGRAM STUDI MAGISTER TERAPAN TEKNIK ELEKTRO
REKAYASA KOMUNIKASI BROADBAND
PASCASARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
DEPOK
JULI 2025



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 PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis ini saya susun tanpa tindakan plagiarisme sesuai dengan peraturan yang berlaku di Politeknik Negeri Jakarta.

Jika di kemudian hari ternyata saya melakukan tindakan plagiarisme, saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diajukan oleh Politeknik Negeri Jakarta kepada saya.

Depok, Juli 2025

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Rully Burhan Amali

2209511005



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 PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa
tesis yang saya susun ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Rully BurhanAmali

NIM : 2209511005

Tanda Tangan : 

Tanggal : 18 Juli 2025

**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

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis yang diajukan oleh:

Nama : Rully Burhan Amali
NIM : 2209511005
Program Studi : Magister Terapan Teknik Elektro
Judul : Deteksi Anomali pada *Wayside Unit* CBTC di MRT Jakarta
Menggunakan *Random Forest* untuk Rekomendasi
Condition-Based Maintenance

telah diuji oleh Tim Penguji dalam Sidang Tesis pada hari Jumat tanggal 18 Juli tahun 2025 dan dinyatakan LULUS untuk memperoleh derajat gelar Magister Terapan pada Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta.

Pembimbing I : Dr. Ahmad Tossin Alamsyah, S.T., M.T. ()

Pembimbing II : Dr. Sutiyo, S.T., M.Eng. ()

Penguji I : Dr. Isdawimah, S.T., M.T. ()

Penguji II : Dr. Prihatin Oktivasari, S.Si., M.Si. ()

Penguji III : Dr. Ir. Dewi Yanti Liliana, S.Kom., M.Kom ()

Depok, 18 Juli 2025

Disahkan oleh

Ketua Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta



Dr. Isdawimah, S.T., M.T.
NIP. 196305051988112001



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 syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Terapan Teknik Elektro pada Jurusan Pascasarjana dari Politeknik Negeri Jakarta.

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, akan sulit bagi saya untuk menyelesaikan tugas akhir dari program magister ini. Oleh sebab itu, saya mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu saya, di antaranya:

1. Ibu Dr. Isdawimah, S.T., M.T., selaku Ketua Program Pascasarjana, Politeknik Negeri Jakarta, atas dukungan, motivasi dan semangat yang diberikan.
2. Bapak Nana Sutarna, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, atas arahan dan dukungannya selama penulis menimba ilmu di Politeknik Negeri Jakarta.
3. Bapak Dr. Ahmad Tossin Alamsyah, M.T., selaku dosen pembimbing satu, dan Bapak Dr. Sutiyo, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing dua, atas bimbingan, arahan, kesabaran, dan dedikasi yang luar biasa selama proses penelitian dan penulisan laporan tesis ini.
4. Seluruh dosen Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, atas ilmu, pengalaman, dan inspirasi yang diberikan.
5. Istriku Ulina Larisa Syafwi dan anakku Arrazi Hansa Kalandra yang selalu memberikan doa dan semangat selama pengejaan studi ini.



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. Rekan-rekan di Departemen Railway System Integration & Signaling Maintenance dan Railway Infrastructure Maintenance Program & Evaluation PT MRT Jakarta (Persero) selaku pihak yang membantu dalam membantu menyediakan data untuk tesis ini.

Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya di bidang perkeretaapian, kecerdasan buatan dan *internet of things* di Indonesia. Terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan dalam penyelesaian tesis ini.

Depok, Juli 2025

Rully Burhan Amali

**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 PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK**

Sebagai sivitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rully Burhan Amali
NIM : 2209511005
Program Studi : Magister Terapan Teknik Elektro
Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Deteksi Anomali pada *Wayside Unit* CBTC di MRT Jakarta Menggunakan *Random Forest* untuk Rekomendasi *Condition-Based Maintenance*

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan)*. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Politeknik Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan/mengalihformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal: 18 Juli 2025
Yang menyatakan

Rully Burhan Amali
2209511005



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

ABSTRAK

Nama : Rully Burhan Amali

Program Studi : Magister Terapan Teknik Elektro

Judul Tesis : Deteksi Anomali pada *Wayside Unit* CBTC di MRT Jakarta
Menggunakan *Random Forest* untuk Rekomendasi
Condition-Based Maintenance

Sistem komunikasi berbasis CBTC (*Communication-Based Train Control*) pada moda transportasi modern sangat bergantung pada keandalan perangkat *wayside unit*. Kegagalan pada komponen ini dapat mengganggu keselamatan dan kelancaran operasional kereta. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan suhu, kelembaban, dan tegangan catu daya terhadap kinerja *wayside unit* CBTC yang diukur oleh *Receive Signal Level* (RSL) di area operasional MRT Jakarta dan juga merancang model deteksi anomali untuk analisis kinerja *wayside unit* CBTC sebagai acuan *Condition-Based Maintenance* (CBM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa model deteksi anomal menggunakan *Random Forest* yang dilatih dengan 50.000 data latih yang dibuat secara sintetis dan 3.638 data uji yang diperoleh dari hasil *monitoring wayside unit* CBTC mampu mendeteksi anomali dengan akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-score* mencapai 100%. Peningkatan suhu panel dan perangkat, serta melemahnya sinyal RSL A, ditemukan sebagai fitur dominan penyebab anomali. Model ini juga memberikan rekomendasi CBM berdasarkan frekuensi anomali, seperti rekomendasi pemeriksaan pada system pendingin dan kipas yang mempengaruhi suhu panel dan perangkat serta pemeriksaan komponen komunikasi dan kabel dari *wayside unit* CBTC. Hasil ini menunjukkan bahwa model tidak hanya akurat dalam klasifikasi, tetapi juga memberikan kontribusi dalam peringatan dini dan pengambilan keputusan pemeliharaan. Model ini dapat diimplementasikan untuk memantau dan merekomendasikan pemeliharaan pada sistem *wayside unit* CBTC di MRT Jakarta.

Kata kunci: Deteksi anomali, *Random Forest*, CBTC, *Wayside unit*, *Condition-based maintenance*.



Hak Cipta :

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

ABSTRACT

The Communication-Based Train Control (CBTC) system in modern transportation heavily relies on the reliability of the wayside unit. Failure of components in the system can disrupt the safety and operational continuity of trains. This study aims to analyze the relationship between temperature, humidity, and power supply voltage on the performance of the wayside unit CBTC, which is measured by the Receive Signal Level (RSL) in the operational area of the MRT Jakarta. The study also designs an anomaly detection model for analyzing the performance of the wayside unit CBTC as a reference for Condition-Based Maintenance (CBM). The results show that the anomaly detection model using Random Forest, which was trained with 50,000 synthetic training data and 3,638 test data from monitoring results of the wayside unit CBTC, was able to detect anomalies with accuracy, precision, recall, and F1-score reaching 100%. The temperature increase in the panel and device, along with the weakening of the RSL A signal, were identified as the dominant features contributing to the anomalies. This model also provides CBM recommendations based on anomaly frequencies, such as recommending inspections on system cooling and fans that affect the temperature of the panel and devices, and the inspection of communication components and cables of the wayside unit CBTC. This finding demonstrates that the model is not only accurate in classification but also contributes to early warning and decision-making in maintenance. The model can be implemented to monitor and recommend maintenance on the wayside unit CBTC in MRT Jakarta.

Keywords: *Anomaly detection, Random Forest, CBTC, Wayside unit, condition-based maintenance*



Hak Cipta :

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

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR PERSAMAAN.....	xvi
BAB 1.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Batasan Penelitian.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
1.6. Sistematika Penyajian.....	5
BAB 2.....	7
2.1. <i>Communication Based Train Control (CBTC)</i>	7
2.1.1. Model dan Spesifikasi Sistem CBTC.....	8
2.2. <i>Condition Based Maintenance (CBM)</i>	12
2.3. Deteksi Anomali.....	13
2.4. <i>Machine Learning</i>	14
2.4.1. <i>Supervised Learning</i>	15
2.4.2. <i>Semi-Supervised Learning</i>	15
2.4.3. <i>Unsupervised Learning</i>	16
2.5. <i>Random Forest</i>	16
2.6. <i>Internet Of Things (IoT)</i>	17



© 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

2.7.	Mikrokontroler ESP32	19
2.8.	Sensor-sensor	20
2.9.	Sensor PZEM	20
2.10.	<i>Voltage Sensor Module</i> 0-25V Berbasis Pembagi Tegangan.	21
2.11.	Sensor MLX9061	21
2.12.	Sensor DHT22.....	22
2.13.	SPARCS <i>Radio Set Log Analyzer</i>	22
2.14.	Ringkasan Penelitian Terdahulu dan <i>Gap</i> Penelitian	23
BAB 3		26
3.1.	Ruang Lingkup Penelitian.....	26
3.2.	Tahapan Penelitian	26
3.3.	Desain Penelitian.....	29
3.4.	Pengumpulan dan Penyimpanan Data.....	30
3.5.	<i>Data Pre-processing</i>	32
3.6.	Rancang Bangun Model Deteksi Anomali dengan <i>Random Forest</i>	33
3.7.	Metode Pengujian.....	36
3.7.1.	Uji Korelasi dan Statistik Deskriptif.....	36
3.7.2.	Hubungan RSL Dengan Parameter Teknis.....	36
3.7.3.	Pengujian Model Deteksi Anomali	38
3.7.4.	Perbandingan dengan Model <i>Baseline</i>	40
BAB 4		41
4.1.	Implementasi Sistem <i>Monitoring</i>	41
4.2.	Presentasi Data	43
4.3.	Analisis Uji Korelasi	43
4.4.	Analisis Statistik Deskriptif	44
4.5.	Hasil Hubungan RSL Dengan Parameter Teknis	46
4.6.	Visualisasi dan Analisis Dataset.....	48
4.7.	<i>Data Pre-Processing</i>	54
4.8.	Hasil Pengujian Model Deteksi Anomali	55
4.8.1.	Hasil Prediksi Model.....	56
4.8.2.	Evaluasi Performa Model.....	58
4.8.3.	Pembahasan Hasil Evaluasi.....	59



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

4.8.4. Hasil Perbandingan dengan Model <i>Baseline</i>	60
BAB 5	62
5.1. Simpulan	62
5.2. Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA	64
DAFTAR PUBLIKASI	70
LAMPIRAN	71





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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi Teknis CCS	10
Tabel 2.2. Spesifikasi Teknis WCS	11
Tabel 2.3. Spesifikasi Teknis OCS	11
Tabel 2. 4. Spesifikasi Teknis BCS	12
Tabel 2.5. Ringkasan Penelitian Terdahulu	23
Tabel 4.1. Sampel 5 <i>Record</i> Pertama Data Mentah.....	43
Tabel 4.2. Tabel Uji Korelasi Pearson Terhadap RSL.....	43
Tabel 4.3. Statistik Deskriptif Variabel Penelitian	44
Tabel 4.4. Hasil Regresi 5 <i>Record</i> Pertama.....	47
Tabel 4.5. Kategori Kualitas RSL	53
Tabel 4.6. Sampel 5 Record Pertama Data Mentah	54
Tabel 4.7. Sampel 5 Record Pertama Hasil Normalisasi	55
Tabel 4.8. Ringkasan Statistik Data Hasil Normalisasi.....	55
Tabel 4.9. Hasil Prediksi Model	56
Tabel 4.10. Struktur Umum <i>Confusion Matrix</i>	58
Tabel 4.11. Hasil <i>Confusion Matrix</i>	58
Tabel 4.12. Hasil Perbandingan Kinerja Model <i>Random Forest</i> dan KNN	61

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. <i>Limit of Movement Authority</i> pada (a) Sistem Persinyalan Blok Tetap dan (b) Blok Bergerak	8
Gambar 2.2 Konfigurasi Sistem CBTC	8
Gambar 2.3. Contoh Sederhana Anomali Dalam Kumpulan Data Dua Dimensi.	13
Gambar 2.4. Alur Algoritma <i>Random Forest</i>	17
Gambar 2.5. <i>Internet of Things</i>	18
Gambar 2.6. <i>ESP32 Development Board</i>	19
Gambar 2.7. Sensor PZEM-004T	20
Gambar 2.8. Sensor Tegangan DC	21
Gambar 2.9. Sensor Suhu MLX9016	22
Gambar 2.10. Sensor DHT22	22
Gambar 3.1. Tahapan Penelitian	26
Gambar 3.2. Diagram Blok Tahap Pemodelan	30
Gambar 3.3. Arsitektur Deteksi Anomali Menggunakan <i>Random Forest</i>	35
Gambar 3.4. Tahapan Pengujian Model Deteksi Anomali	38
Gambar 4.1. Sistem <i>Monitoring Wayside Unit</i> CBTC (a) Alat <i>Monitoring</i> Berbasis ESP32 dan Sensor, (b) Instalasi Alat Monitoring di Panel <i>Wayside Unit</i> CBTC, (c) <i>Website Monitoring</i> , (d) <i>Monitoring Nilai Receive Signal Level</i> (RSL)	43
Gambar 4.2. Grafik Statistik Deskriptif Variabel Penelitian	45
Gambar 4.3. Grafik Perbandingan Antara RSL Aktual dan RSL Prediksi	47
Gambar 4.4. Raw Data (a) Vin 220V, (b) Vout 14V, (c) Vout 5V, (d) HMD PANEL, (d) TMP PANEL, (e) TMP DEV, (f) RSL A, (g) RSL B.	50
Gambar 4.5. Hasil Rekomendasi Pemeriksaan	57



Hak Cipta :

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

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Uji.....	71
Lampiran 2. Script Model Deteksi Anomali	76





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 PERSAMAAN

Persamaan <i>Standard Scaler</i> (3.1).....	33
Persamaan Hubungan RSL dengan Parameter Teknis (3. 2).....	37
Persamaan Akurasi (3.3)	39
Persamaan Presisi (3. 4).....	39
Persamaan <i>Recall</i> (3. 5).....	39
Persamaan <i>F1-Score</i> (3. 6).....	39





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 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kereta api perkotaan merupakan transportasi modern yang memainkan peran penting dalam menunjang aktivitas manusia dan roda ekonomi. Hal ini mengharuskan sistem kereta api perkotaan untuk menjaga kehandalan terhadap kegagalan dan keselamatan (*failsafe*) untuk transportasi. Sebagai contoh, pada periode tahun 2022 – 2023, penumpang kereta MRT Jakarta mencapai 53,18 juta penumpang [1]. Cepat dan ekonomis merupakan alasan para pengguna jasa kereta api perkotaan untuk menjadikannya menjadi transportasi perkotaan favorit, sehingga mengharuskan agar setiap operator kereta api perkotaan memiliki standar pemeliharaan yang baik.

Standar perkeretaapian di Indonesia diatur oleh Kementerian Perhubungan Republik Indonesia dengan membagi pemeliharaan berdasarkan jenisnya yaitu pemeliharaan sarana dan prasarana. Prasarana kereta api terbagi menjadi 3 bagian yaitu jalur/rel, stasiun dan fasilitas operasi. Fasilitas operasi meliputi peralatan persinyalan, telekomunikasi dan instalasi listrik [2]. Sinyal pada operasional kereta api memiliki peran penting dalam mengamankan perjalanan kereta api. Pengertian sinyal pada perkeretaapian adalah perangkat yang digunakan untuk memberikan perintah oleh pengatur perjalanan kereta api dengan bantuan alat peraga, warna dan semboyan [3]. Dalam menjaga keandalan, ketersediaan dan kinerja peralatan persinyalan dibutuhkan kegiatan *preventive & corrective maintenance* [4]. Sumber daya manusia untuk melakukan pemeliharaan khususnya perawat dan pemeriksa untuk fasilitas operasi harus memiliki sertifikasi [5], [6] sehingga dapat memastikan pemeliharaan sesuai standar dan menjamin keselamatan penumpang.

Sistem persinyalan kereta api dibagi menjadi dua yaitu *fixed block* dan *moving block* [7]. *Fixed block* atau blok tetap adalah suatu sistem yang menjamin aman dengan membagi petak jalan menjadi beberapa bagian blok yang panjang dan lokasinya tertentu [7]. Hanya ada satu kereta dalam setiap satu blok. Sistem *fixed block* mendeteksi kereta api menggunakan *track circuit* dan izin kontrol

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 melanjutkan ke petak blok selanjutnya [8]. Metode *fixed block* hanya mengizinkan satu kereta api pada satu waktu antar stasiun, sehingga kereta tidak dapat meninggalkan stasiunnya sampai kereta api sebelumnya meninggalkan stasiun berikutnya di jalur tersebut [9]. Selanjutnya untuk metode *moving block* atau blok berpindah, adalah suatu sistem yang menjamin aman, dengan membagi petak jalan menjadi beberapa bagian blok yang panjang, dan lokasinya berubah-ubah, tergantung kecepatan dan posisi kereta api tersebut, dan kereta api yang ada didepannya [7].

Salah satu sistem persinyalan yang menggunakan metode *moving block* adalah sistem persinyalan *Communication-Based Train Control* (CBTC). Sistem CBTC adalah sistem kontrol kereta otomatis berbasis komunikasi yang umum digunakan pada jaringan perkeretaapian perkotaan [10]. Sistem ini menggunakan komunikasi dua arah antara *on-board unit* di kereta dan *wayside unit* di sepanjang sisi jalur [11], [12]. Komunikasi ini dilakukan melalui teknologi nirkabel dengan frekuensi 2,4 GHz [13]. *On-board unit* mengirimkan informasi seperti posisi, kecepatan, dan akselerasi ke *wayside unit* terdekat [10], sementara *wayside unit* memberikan informasi kontrol untuk memastikan keselamatan perjalanan kereta. Informasi kontrol mencakup perintah untuk menyesuaikan kecepatan, pengereman, serta batas otoritas pergerakan kereta. Namun, kinerja unit ini sangat sensitif terhadap kondisi lingkungan dan elektrik, yang dapat menyebabkan degradasi sinyal atau kegagalan sistem jika tidak dikelola dengan baik.

Gangguan pada *wayside unit* dapat menyebabkan penurunan performa sistem CBTC, bahkan berpotensi mengakibatkan kecelakaan kereta. Terdapat beberapa parameter yang memengaruhi kinerja perangkat *wayside unit*, yaitu suhu perangkat, kelembaban lingkungan perangkat, dan tegangan catu daya. Suhu dan kelembaban adalah faktor penting yang memengaruhi fungsi dan integrasi perangkat [14]. Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan perangkat [15], sedangkan kelembaban yang tinggi dapat memicu *static electrical discharge*, korosi pada komponen logam, dan kerusakan akibat partikel air. Faktor lain yang memengaruhi adalah tegangan catu daya [16]. Tegangan yang tidak stabil dapat menyebabkan

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

fluktuasi daya keluaran, menurunkan kualitas sinyal, dan memperpendek umur perangkat akibat *overheating*.

Dengan adanya sensitivitas *wayside unit* terhadap kondisi lingkungan dan elektrik, serta potensi dampak serius yang dapat ditimbulkan oleh gangguan pada sistem CBTC, maka diperlukan pendekatan yang lebih proaktif untuk memastikan keandalan dan kinerja perangkat. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah *Condition-Based Maintenance* (CBM), yang memungkinkan deteksi dini dan pencegahan gangguan sebelum terjadi [17]. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan keandalan sistem, tetapi juga mengoptimalkan pemeliharaan dengan menghindari perbaikan yang tidak perlu. Sejumlah penelitian telah menunjukkan efektivitas CBM dalam berbagai konteks, termasuk penggunaan *machine learning* untuk memprediksi kerusakan dan memantau kondisi perangkat secara *real-time*.

Seperti penelitian yang dilakukan oleh [18] untuk memprediksi kerusakan pada mesin diesel kapal laut dengan menggunakan *series event model* dengan sumber data dari *historical log events* dengan hasil data tersebut layak digunakan dan dapat memprediksi kerusakan. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh [19] dan [20] menerapkan *machine learning* untuk memprediksi kondisi mesin dan mendeteksi kesalahan yang akan terjadi dengan akurasi yang tinggi. Penelitian [21] mengulas penggunaan *machine learning* dalam pemantauan kondisi sistem *photovoltaic*, menunjukkan potensinya untuk mengatasi berbagai masalah. Penelitian [22] mengemukakan penggunaan *machine learning* dalam *condition-based maintenance* pada pembangkit listrik tenaga air, khususnya dalam memodelkan degradasi sistem propulsi dari waktu ke waktu. Studi-studi ini secara kolektif menggaris bawahi metode *machine learning* dalam meningkatkan efektivitas CBM.

Berdasarkan kebutuhan untuk mendeteksi adanya anomali pada *wayside unit* CBTC dengan tujuan meningkatkan keandalan sistem CBTC dan efektivitas CBM, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan suhu, kelembaban, dan tegangan catu daya terhadap kinerja *wayside unit* CBTC di area operasional MRT Jakarta dan juga merancang model deteksi anomali untuk analisis kinerja *wayside unit* CBTC sebagai acuan CBM. Dengan memanfaatkan pendekatan yang telah

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

terbukti efektif dalam penelitian-penelitian sebelumnya, termasuk penggunaan sensor dan *machine learning* untuk pemantauan dan prediksi kondisi perangkat, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pengembangan *framework* CBM pada *wayside unit* untuk sistem CBTC. Hal ini tidak hanya akan meningkatkan keandalan operasional, tetapi juga meminimalkan risiko kegagalan sistem yang dapat berdampak pada keselamatan dan efisiensi jaringan perkeretaapian.

Dengan mempertimbangkan kekritisian keandalan *wayside unit* CBTC dan keterbatasan pendekatan pemeliharaan terjadwal, penelitian ini memperkenalkan pendekatan pemetaan kondisi berbasis sensor *Internet of Things* (IoT) lapangan yang diintegrasikan dengan algoritma *Random Forest* untuk deteksi anomali yang akan mendukung penerapan CBM. Tidak seperti studi CBTC terdahulu yang banyak berfokus pada simulasi jaringan atau desain *sensor-fusion* di tingkat sistem [23], dan penelitian CBM berbasis *machine-learning* yang umumnya diterapkan pada mesin industri, sistem *photovoltaic*, atau pembangkit listrik [22], [24], riset ini menggunakan *dataset* lapangan asli dari *wayside unit* CBTC untuk: (1) mendeteksi anomali, dan (2) secara otomatis menerjemahkan fitur dominan (misal suhu panel, kelembapan tinggi, kualitas sinyal melemah) menjadi rekomendasi CBM. Kombinasi sensor lapangan ditambah dengan *machine-learning* ini diharapkan menjadi solusi praktis pertama yang memandu keputusan pemeliharaan di *level* perangkat CBTC, meningkatkan keandalan sekaligus efisiensi operasi.

1.2. Perumusan Masalah

Sejalan dengan kebaruan di atas, penelitian ini merumuskan

1. Bagaimana hubungan suhu, kelembaban dan tegangan catu daya terhadap kinerja *wayside unit* CBTC di area operasional MRT Jakarta?
2. Bagaimana merancang model deteksi anomali untuk analisis kinerja *wayside unit* CBTC sebagai acuan CBM?

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

1.3. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis hubungan suhu, kelembaban, dan tegangan catu daya terhadap kinerja *wayside unit* CBTC di area operasional MRT Jakarta.
2. Merancang model deteksi anomali untuk analisis kinerja *wayside unit* CBTC sebagai acuan CBM.

1.4. Batasan Penelitian

1. Lokasi penelitian di *wayside unit* CBTC area operasional MRT Jakarta.
2. Pengambilan data uji diperoleh di *wayside unit* CBTC MRT Jakarta.
3. Data latih yang digunakan adalah data sekunder yang dibuat berdasarkan spesifikasi teknis *wayside unit* CBTC di MRT Jakarta.
4. Kondisi yang diteliti hanya berdasarkan kondisi *wayside unit* CBTC MRT Jakarta.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Menyediakan metode berbasis *internet of things* dan *machine learning* untuk memprediksi kondisi *wayside unit* CBTC.
2. Memberikan solusi berbasis teknologi untuk mendukung pemeliharaan *wayside unit* CBTC.
3. Menyediakan acuan praktis bagi operator perkeretaapian otomatis dalam menganalisis kinerja *wayside unit* CBTC menggunakan pendekatan berbasis *machine learning* untuk CBM.

1.6. Sistematika Penyajian

1. BAB I Pendahuluan
Menjelaskan latar belakang, perumusan masalah, tujuan, dan manfaat penelitian.
2. BAB II Tinjauan Pustaka
Memberikan dasar teoritis melalui tinjauan pustaka dan referensi penelitian terkait.



© 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

3. BAB III Metodologi Penelitian

Menjelaskan pendekatan, metode, teknik, perancangan dan cara kerja, pengujian, metode dan teknik analisis data, metode dan teknik penyajian hasil.

4. BAB IV Hasil Penelitian dan Pembahasan

Menyajikan hasil analisis dan pembahasan temuan penelitian.

5. BAB V Simpulan dan Saran

Menyajikan simpulan dan memberikan saran untuk penelitian lanjutan dan implementasi praktis



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 5

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

1. Prototipe berbasis ESP32 dan sensor kelistrikan, suhu, kelembapan, dan RSL berhasil dipasang di panel *wayside unit* CBTC. Data tersinkron otomatis ke server dan dapat dipantau *real-time* melalui *web dashboard*.
2. Uji Pearson menunjukkan korelasi negatif kuat antara suhu panel/perangkat dan RSL ($r \approx -0,51$), sedangkan kelembapan panel berkorelasi positif sedang ($r \approx 0,40$). Tegangan hanya berkorelasi lemah, menandakan faktor termal lebih kritis terhadap kualitas sinyal.
3. Semua parameter rata-rata masih dalam spesifikasi, tetapi nilai maksimum suhu panel $42,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan minimum RSL_A -76 dBm menunjukkan adanya kondisi ekstrem yang berpotensi menurunkan reliabilitas komunikasi.
4. Grafik deret-waktu menegaskan kestabilan V_{in}/V_{out} , sementara puncak suhu diikuti penurunan tajam RSL, menguatkan hasil korelasi bahwa panas internal memengaruhi kekuatan sinyal *wayside unit*.
5. *Confusion matrix* menghasilkan akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-score* 100 %, menandakan model berhasil meniru label uji tanpa kesalahan (TP = 517, TN = 3 121, FP = 0, FN = 0).
6. Analisis *feature-importance* dan frekuensi baris anomali menempatkan: (1) RSL_A melemah (456 kejadian), (2) suhu panel tinggi (418), (3) suhu perangkat tinggi (196) sebagai penyebab dominan. Rekomendasi CBM difokuskan pada inspeksi pendinginan panel, perbaikan jalur antena/RF, dan pengendalian kelembapan.
7. Pengujian lapangan membuktikan bahwa platform IoT yang dikembangkan mampu mengakuisisi data kelistrikan, lingkungan, dan sinyal dari *wayside unit* CBTC secara kontinu. Analisis statistik dan korelasi menegaskan bahwa kenaikan suhu internal merupakan faktor utama penurunan kualitas sinyal; tegangan suplai relatif stabil. Setelah proses *data pre-processing*, model



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

Random Forest mencapai performa sempurna ($F1 = 1,00$) pada data uji berisi 3638 *record*, serta berhasil mengidentifikasi fitur dominan penyebab anomali dan menerjemahkannya menjadi rekomendasi CBM. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi sensor IoT dan deteksi anomali berbasis *machine learning* layak diimplementasikan sebagai pondasi CBM.

8. Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem monitoring perangkat wayside unit CBTC berbasis IoT yang dipadukan dengan model deteksi anomali menggunakan *machine learning* untuk menganalisis kinerja *wayside unit* CBTC sebagai basis CBM.

5.2. Saran

Berdasarkan simpulan penelitian ini, disarankan agar penelitian selanjutnya mengeksplorasi penggunaan algoritma deteksi anomali lain, seperti XGBoost atau metode deep learning, untuk dibandingkan dengan kinerja *Random Forest* yang telah terbukti efektif. Selain itu, perlu dilakukan validasi model dengan data dari lokasi, musim, dan beban operasional yang lebih beragam agar generalisasi model lebih kuat. Penelitian lanjutan juga dapat mengintegrasikan sistem ini dengan modul prediksi kerusakan jangka panjang, serta menguji efektivitas rekomendasi CBM melalui studi intervensi langsung di lapangan.



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] BPS DKI Jakarta, “Statistik Transportasi Provinsi DKI Jakarta Tahun 2023,” 2024.
- [2] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Perizinan Penyelenggaraan Prasarana Perkeretaapian Umum*. 2021.
- [3] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, “Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 44 Tahun 2018 tentang Persyaratan Teknis Peralatan Persinyalan Perkeretaapian,” 2018.
- [4] B. Jonge and P. Scarf, “A review on maintenance optimization,” *Eur J Oper Res*, vol. 285, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.ejor.2019.09.047.
- [5] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, “Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2017 Tentang Sertifikasi Tenaga Perawat Prasarana Perkeretaapian,” 2017.
- [6] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, “Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2017 Tentang Sertifikasi Tenaga Pemeriksa Prasarana Perkeretaapian,” 2017.
- [7] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, “Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 121 Tahun 2017 tentang Lalu Lintas Kereta Api,” 2017.
- [8] E. Anders, J. Arndt, T. Berndt, and J. Braband, *Railway Signalling & Interlocking International Compendium*, 3rd ed. PMC Media House GmbH, 2020.
- [9] S. N. Gupta, “Digital Transformation of Railway Signalling through Emerging Communication Technologies,” pp. 1–5, 2022.
- [10] A. Fakhereldine, M. Zulkernine, and D. Murdock, “CBTCset: A Reference Dataset for Detecting Misbehavior Attacks in CBTC Networks,” in *2023 IEEE 34th International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW)*, Oct. 2023, pp. 57–62. doi: 10.1109/ISSREW60843.2023.00047.
- [11] IEEE, “IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements,” *IEEE Std 1474.1-2004 (Revision of IEEE Std 1474.1-1999)*, pp. 0_1-45, Feb. 2004, doi: 10.1109/IEEESTD.2004.95746.



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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [12] B. Gao, B. Bu, W. Zhang, and X. Li, "An Intrusion Detection Method Based on Machine Learning and State Observer for Train-Ground Communication Systems," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 7, pp. 6608–6620, Jul. 2022, doi: 10.1109/TITS.2021.3058553.
- [13] Y. Song, B. Bu, and L. Zhu, "A Novel Intrusion Detection Model Using a Fusion of Network and Device States for Communication-Based Train Control Systems," *Electronics (Basel)*, vol. 9, no. 1, 2020, doi: 10.3390/electronics9010181.
- [14] A. Medina-Santiago *et al.*, "Adaptive Model IoT for Monitoring in Data Centers," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 5622–5634, 2020, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:210696969>
- [15] M. Alvan Prastoyo Utomo, A. Aziz, Winarno, and B. Harjito, "Server Room Temperature & Humidity Monitoring Based on Internet of Thing (IoT)," *J Phys Conf Ser*, vol. 1306, no. 1, p. 012030, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1306/1/012030.
- [16] O. A. Agbolade and F. Sunmola, "Cellular Internet of Things Based Power Monitoring System for Networking Devices," 2021. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:233271925>
- [17] Y. Li, S. Peng, Y. Li, and W. Jiang, "A review of condition-based maintenance: Its prognostic and operational aspects," *Frontiers of Engineering Management*, vol. 7, no. 3, pp. 323–334, 2020, doi: 10.1007/s42524-020-0121-5.
- [18] Z. Qi, Y. Qi, and G. Hu, "Research on Fault Prediction for Marine Diesel Engines," *Journal of Computer and Communications*, vol. 08, no. 08, pp. 36–44, 2020, doi: 10.4236/jcc.2020.88004.
- [19] M. Paolanti, L. Romeo, A. Felicetti, A. Mancini, E. Frontoni, and J. Loncarski, "Machine Learning approach for Predictive Maintenance in Industry 4.0," in *2018 14th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA)*, 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/MESA.2018.8449150.
- [20] H. Karlsson, A. Qazizadeh, S. Stichel, and M. Berg, "Condition Monitoring of Rail Vehicle Suspension Elements: A Machine Learning Approach," in *Advances in Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks*, M. Klomp, F. Bruzelius, J. Nielsen, and A. Hillemyr, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 119–127.
- [21] T. Berghout, M. Benbouzid, X. Ma, S. Djurović, and L.-H. Mouss, "Machine Learning for Photovoltaic Systems Condition Monitoring: A Review," in



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

IECON 2021 – 47th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2021, pp. 1–5. doi: 10.1109/IECON48115.2021.9589423.

- [22] A. Coraddu, L. Oneto, A. Ghio, S. Savio, D. Anguita, and M. Figari, “Machine learning approaches for improving condition-based maintenance of naval propulsion plants,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, vol. 230, no. 1, pp. 136–153, Jul. 2014, doi: 10.1177/1475090214540874.
- [23] Y. Y. Nazaruddin, I. Faruqi, M. B. Waluya, T. A. Tamba, and A. Widyotriatmo, “Perancangan Sistem Communication-Based Train Control (CBTC) Berbasis Sensor Fusion,” *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 10, no. 2, p. 111, May 2019, doi: 10.5614/joki.2018.10.2.4.
- [24] Y. Hasma and W. Silfianti, “Implementasi Deep Learning Menggunakan Framework Tensorflow Dengan Metode Faster Regional Convolutional Neural Network Untuk Pendeteksian Jerawat,” *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, vol. 23, pp. 89–102, Jun. 2018, doi: 10.35760/tr.2018.v23i2.2459.
- [25] N. Bin, T. Tao, Q. K. Min, and G. C. Hai, “CBTC (Communication Based Train Control): System And Development,” *WIT Transactions on the Built Environment*, vol. 88, pp. 413–420, 2006, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:37497455>
- [26] H. N. Teixeira, I. Lopes, and A. C. Braga, “Condition-based maintenance implementation: a literature review,” *Procedia Manuf*, vol. 51, pp. 228–235, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.033>.
- [27] A. Koons-Stapf, *Condition Based Maintenance: Theory, Methodology, & Application*. 2015.
- [28] D. Prabhakar P and J. R. v. P., “CBM, TPM, RCM and A-RCM - A Qualitative Comparison of Maintenance Management Strategies,” Jan. 2019.
- [29] M. Wiboonrat, “Condition Based Maintenance for Data Center Operations Management,” in *2019 16th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*, 2019, pp. 73–78. doi: 10.1109/JCSSE.2019.8864169.
- [30] M. C. A. Olde Keizer, R. H. Teunter, J. Veldman, and M. Z. Babai, “Condition-based maintenance for systems with economic dependence and load sharing,” *Int J Prod Econ*, vol. 195, pp. 319–327, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.10.030>.



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

- [31] V. Chandola, A. Banerjee, and V. Kumar, "Anomaly detection: A survey," *ACM Comput. Surv.*, vol. 41, pp. 15:1-15:58, 2009, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:207172599>
- [32] V. Kumar, "Parallel and distributed computing for cybersecurity," *IEEE Distributed Systems Online*, vol. 6, no. 10, Jun. 2005, doi: 10.1109/MDSO.2005.53.
- [33] C. Spence, L. Parra, and P. Sajda, "Detection, synthesis and compression in mammographic image analysis with a hierarchical image probability model," in *Proceedings IEEE Workshop on Mathematical Methods in Biomedical Image Analysis (MMBIA 2001)*, 2001, pp. 3–10. doi: 10.1109/MMBIA.2001.991693.
- [34] E. Aleskerov, B. Freisleben, and B. Rao, "CARDWATCH: a neural network based database mining system for credit card fraud detection," in *Proceedings of the IEEE/IAFE 1997 Computational Intelligence for Financial Engineering (CIFER)*, 1997, pp. 220–226. doi: 10.1109/CIFER.1997.618940.
- [35] R. Fujimaki, T. Yairi, and K. Machida, "An approach to spacecraft anomaly detection problem using Kernel Feature Space," in *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Jun. 2005, pp. 401–410. doi: 10.1145/1081870.1081917.
- [36] F. Y. Edgeworth, "XLI. On discordant observations," *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, vol. 23, no. 143, pp. 364–375, 1887, doi: 10.1080/14786448708628471.
- [37] I. W. Suartika, A. Y. Wijaya, and R. Soelaiman, "Klasifikasi Citra Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN) Pada Caltech101," *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 5, 2016.
- [38] S. Amalia, I. Deborah, and I. N. Yulita, "Comparative analysis of classification algorithm: Random Forest, SPAARC, and MLP for airlines customer satisfaction," *SINERGI*, vol. 26, no. 2, p. 213, Jun. 2022, doi: 10.22441/sinergi.2022.2.010.
- [39] Y. Sulisty Nugroho and dan Nova Emiliyawati, "Sistem Klasifikasi Variabel Tingkat Penerimaan Konsumen Terhadap Mobil Menggunakan Metode Random Forest," 2017. [Online]. Available: <http://archive.ics.uci.edu/ml/>
- [40] A. Primajaya and B. N. Sari, "Random Forest Algorithm for Prediction of Precipitation," *Indonesian Journal of Artificial Intelligence and Data Mining (IJAIMD)*, vol. 1, no. 1, pp. 27–31, 2018.



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

- [41] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions," *CoRR*, vol. abs/1207.0203, 2012, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1207.0203>
- [42] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- [43] D. Saputra, G. Karmel, and Y. Zainal, "PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI RAPID TEMPERATURE SCREENING CONTACTLESS DAN JUMLAH ORANG BERBASIS IOT DENGAN PROTOKOL MQTT," *Journal of Energy and Electrical Engineering*, vol. 2, pp. 20–30, Jun. 2020, doi: 10.37058/jee.v2i1.2147.
- [44] Z. Allah Bukhsh, A. Saeed, I. Stipanovic, and A. G. Doree, "Predictive maintenance using tree-based classification techniques: A case of railway switches," *Transp Res Part C Emerg Technol*, vol. 101, pp. 35–54, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.02.001>.
- [45] Y. Zuo, P. Chandran, J. Odelius, and M. Rantatalo, "Wayside Railway Switch and Crossing Monitoring Using Isolation Forest Anomaly Scores," *Sustainability*, vol. 15, no. 20, 2023, doi: 10.3390/su152014836.
- [46] E. Sousa Tomé, R. P. Ribeiro, B. Veloso, and J. Gama, "An Online Data-Driven Predictive Maintenance Approach for Railway Switches," in *Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases*, Cham: Springer Nature Switzerland, 2023, pp. 410–422.
- [47] D. N. Guzman *et al.*, "Anomaly Detection and Forecasting Methods Applied to Point Machine Monitoring Data for Prevention of Railway Switch Failures," in *Advances in Asset Management and Condition Monitoring*, A. Ball, L. Gelman, and B. K. N. Rao, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 307–318.
- [48] T. Yokouchi, T. Takashige, and M. Kondo, "Anomaly Detection for Railway Vehicle Equipment Using Condition Monitoring Data," *Quarterly Report of RTRI*, vol. 63, pp. 238–243, Jun. 2022, doi: 10.2219/rtriqr.63.4_238.
- [49] G. Guo, X. Cui, and B. Du, "Random-Forest Machine Learning Approach for High-Speed Railway Track Slab Deformation Identification Using Track-Side Vibration Monitoring," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 11, 2021, doi: 10.3390/app11114756.
- [50] S. Potharaju, R. K. Tirandasu, S. N. Tambe, D. B. Jadhav, D. A. Kumar, and S. S. Amiripalli, "A two-step machine learning approach for predictive maintenance and anomaly detection in environmental sensor systems,"



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

MethodsX, vol. 14, p. 103181, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2025.103181>.

- [51] D. Grunova, V. Bakratsi, E. Vrochidou, and G. A. Papakostas, "Machine Learning for Anomaly Detection in Industrial Environments," *Engineering Proceedings*, vol. 70, no. 1, 2024, doi: 10.3390/engproc2024070025.
- [52] D. B. Dinova and B. Prasetyo, "Implementasi Random Forest dalam Klasifikasi Kanker Paru-Paru," *JOINTER-JOURNAL OF INFORMATICS ENGINEERING*, vol. 05, no. 01.
- [53] M. K. Harto and A. Basuki, "Deteksi Serangan DDoS pada Jaringan Berbasis SDN dengan Klasifikasi Random Forest," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 5, no. 4, pp. 1329–1333, Apr. 2021, [Online]. Available: <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/8795>
- [54] G. Kim *et al.*, "Prediction Model for PV Performance With Correlation Analysis of Environmental Variables," *IEEE J Photovolt*, vol. PP, pp. 1–10, Jun. 2019, doi: 10.1109/JPHOTOV.2019.2898521.
- [55] T. Al-Jaafreh and A. Al-Odienat, "The Solar Energy Forecasting by Pearson Correlation using Deep Learning Techniques," *EARTH SCIENCES AND HUMAN CONSTRUCTIONS*, vol. 2, pp. 158–163, Jun. 2022, doi: 10.37394/232024.2022.2.19.

**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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUBLIKASI

Rully Burhan Amali, Ahmad Tossin Alamsyah, Sutiyo, “*Anomaly Detection on CBTC Wayside Units with the Random Forest Algorithm for Condition-Based Maintenance*”, Journal of Computer Science, Information Technologi and Telecommunication Engineering (JCoSITTE); Vol. 6, No. 2 (2025) [Online] [Submitted, 4 July 2025]





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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Uji

timestamp	ac_220v	dc_14v	dc_5v	panel_humid	panel_temp	dev_temp	rsl_a	rsl_b	is_anomaly
24/1/2025 00:59:59	214	13,9	5,1	90,2	26,4	26,6	-59	-44	1
24/1/2025 01:01:51	214	13,9	5,1	89,6	26,4	26,6	-60	-47	1
24/1/2025 01:02:58	214	13,9	5,1	89,6	26,4	26,5	-58	-47	1
24/1/2025 01:04:07	214	14	5,1	89,7	26,3	26,5	-58	-44	1
24/1/2025 01:05:12	214	13,9	5,1	89,7	26,4	26,7	-55	-44	1
24/1/2025 01:06:19	214	13,9	5,1	89,4	26,5	26,4	-57	-47	1
24/1/2025 01:07:25	214	13,9	5,1	89,5	26,4	26,4	-58	-43	1
24/1/2025 01:09:06	214	14	5,1	89,8	26,3	26,5	-55	-44	1
24/1/2025 01:10:13	214	14	5,1	89,8	26,3	26,6	-57	-47	1
24/1/2025 01:11:21	214	14	5,1	89,5	26,3	26,5	-55	-44	1
24/1/2025 01:12:27	214	14	5,1	89,5	26,3	26,5	-54	-47	1
24/1/2025 01:13:33	214	14	5,1	88,9	26,3	26,5	-59	-47	1
24/1/2025 01:16:34	214	13,9	5,1	88,1	26,3	26,4	-53	-44	1
24/1/2025 01:17:39	214	14	5,1	88,1	26,3	26,4	-53	-43	1
24/1/2025 01:18:46	214	14	5,1	88	26,3	26,4	-59	-44	1
24/1/2025 01:19:53	214	14	5,1	88	26,3	26,4	-60	-47	1
24/1/2025 01:21:02	214	14	5,1	88,2	26,3	26,5	-58	-47	1
24/1/2025 01:22:15	214	14	5,1	88,3	26,3	26,4	-58	-44	1
24/1/2025 01:23:25	214	14	5,1	88,5	26,3	26,4	-55	-44	1
24/1/2025 01:25:38	214	14	5,1	88,7	26,3	26,4	-57	-47	1



© 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

24/1/2025										
01:26:43	214	13,9	5,1	88,7	26,2	26,5	-58	-43	1	
24/1/2025										
01:31:03	214	14	5,1	88	26,2	26,9	-60	-47	1	
24/1/2025										
01:32:08	214	14	5,1	87,5	26,3	29,1	-55	-43	1	
24/1/2025										
01:33:14	214	14	5,1	86	26,7	27,3	-55	-43	1	
24/1/2025										
01:34:20	214	14	5,1	84,5	27,2	26,6	-58	-44	1	
24/1/2025										
01:35:27	214	14	5,1	86	27,6	26,7	-57	-43	1	
24/1/2025										
01:40:37	214	14	5,1	87,1	26,5	27,6	-54	-43	1	
24/1/2025										
01:41:42	214	14	5,1	87,1	26,3	28,1	-54	-43	1	
24/1/2025										
01:42:47	214	13,9	5,1	87,2	26,3	28,1	-59	-47	1	
24/1/2025										
01:43:53	214,1	14	5,1	87,4	26,3	27,9	-59	-47	1	
24/1/2025										
01:44:58	214,1	14	5,1	85,2	26,5	27,9	-54	-43	1	
24/1/2025										
01:46:04	214,1	14	5,1	83,6	27,1	27,9	-57	-47	1	
24/1/2025										
01:47:09	214,1	14	5,1	82,8	27,5	27,9	-59	-47	1	
24/1/2025										
01:48:14	214,1	14	5,1	82,2	27,7	27,9	-54	-47	1	
24/1/2025										
01:49:36	214,1	13,9	5,1	81,7	27,8	27,8	-59	-47	1	
24/1/2025										
01:50:40	214,1	14	5,1	81,1	28	27,6	-53	-44	1	
24/1/2025										
01:52:30	214,1	14	5,1	81,4	28	27,8	-53	-43	1	
24/1/2025										
01:54:36	214,1	14	5,1	83,4	28	28,5	-59	-44	1	
24/1/2025										
01:55:41	214,1	14	5,1	82,8	28,6	28,7	-60	-47	1	
24/1/2025										
01:56:45	214,1	13,9	5,1	82,1	29	29	-58	-47	1	
24/1/2025										
01:57:50	214,1	13,9	5,1	81,5	29,2	29,1	-58	-44	1	
24/1/2025										
01:58:56	214,1	14	5,1	80,8	29,5	29,4	-55	-44	1	
24/1/2025										
02:00:01	214	13,9	5,1	80	29,7	29,5	-57	-47	0	
24/1/2025										
02:01:06	214,1	13,9	5,1	79,5	29,8	29,6	-58	-43	0	
24/1/2025										
02:03:06	214,2	13,9	5,1	78,5	30	30	-60	-47	0	



© 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

24/1/2025									
02:04:10	214,2	13,9	5,1	78	30,3	30,1	-55	-43	0
24/1/2025									
02:05:14	214,2	13,9	5,1	77,5	30,5	30,2	-55	-43	0
24/1/2025									
02:06:18	214,2	13,9	5,1	76,9	30,6	30,4	-58	-44	0
24/1/2025									
02:07:23	214,2	13,9	5,1	76,4	30,8	30,5	-57	-43	0
24/1/2025									
02:08:27	214,2	13,9	5,1	76	30,9	30,6	-54	-43	0
24/1/2025									
02:09:31	214,2	13,9	5,1	75,8	31	30,8	-54	-43	0
24/1/2025									
02:10:35	214,2	13,9	5,1	75,1	31,1	30,8	-59	-47	0
24/1/2025									
02:11:39	214,2	14	5,1	74,7	31,3	30,9	-59	-47	0
24/1/2025									
02:12:43	214,2	13,9	5,1	74,5	31,4	31,1	-54	-43	0
24/1/2025									
02:13:48	214,2	13,9	5,1	74,1	31,5	31,2	-57	-47	0
24/1/2025									
02:14:52	214,2	13,9	5,1	73,8	31,6	31,2	-59	-47	0
24/1/2025									
02:15:56	214,2	14	5,1	73,4	31,7	31,3	-59	-47	0
24/1/2025									
02:17:01	214,2	13,9	5,1	73	31,8	31,4	-59	-47	0
24/1/2025									
02:18:05	214,2	14	5,1	72,7	31,9	31,5	-54	-43	0
24/1/2025									
02:19:09	214,2	13,9	5,1	72,5	32	31,6	-57	-47	0
24/1/2025									
02:20:13	214,2	13,9	5,1	72,4	32,1	31,6	-59	-47	0
24/1/2025									
02:21:17	214,2	14	5,1	72,1	32,2	31,7	-59	-47	0
24/1/2025									
02:22:21	214,2	14	5,1	71,8	32,2	31,7	-53	-44	0
24/1/2025									
02:23:25	214,2	14	5,1	71,5	32,3	31,9	-53	-43	0
24/1/2025									
02:24:29	214,2	13,9	5,1	71,4	32,4	31,9	-59	-44	0
24/1/2025									
02:25:33	214,2	13,9	5,1	71,1	32,4	32	-60	-47	0
24/1/2025									
02:27:18	214,2	13,9	5,1	70,8	32,5	32,2	-58	-47	0
24/1/2025									
02:28:23	214,2	13,9	5,1	70,5	32,6	32,2	-58	-44	0
24/1/2025									
02:29:27	214,2	14	5,1	70,3	32,7	32,2	-55	-44	0
24/1/2025									
02:30:31	214,2	13,9	5,1	70,1	32,7	32,2	-57	-47	0



© 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

24/1/2025									
02:31:35	214,2	14	5,1	69,8	32,8	32,4	-58	-43	0
24/1/2025									
02:32:39	214,2	13,9	5,1	69,6	32,8	32,4	-60	-47	0
24/1/2025									
02:33:43	214,2	14	5,1	69,5	32,9	32,5	-55	-43	0
24/1/2025									
02:34:47	214,2	13,9	5,1	69,5	32,9	32,5	-55	-43	0
24/1/2025									
02:35:51	214,2	14	5,1	69,3	33	32,5	-58	-44	0
24/1/2025									
02:36:55	214,2	14	5,1	69,2	33	32,4	-57	-43	0
24/1/2025									
02:38:00	214,2	14	5,1	69,1	33,1	32,6	-54	-43	0
24/1/2025									
02:39:03	214,2	14	5,1	68,8	33,1	32,6	-54	-43	0
24/1/2025									
02:40:07	214,2	14	5,1	68,8	33,2	32,7	-59	-47	0
24/1/2025									
02:41:12	214,2	14	5,1	68,6	33,2	32,8	-59	-47	0
24/1/2025									
02:42:16	214,2	14	5,1	68,6	33,2	32,7	-54	-43	0
24/1/2025									
02:43:20	214,2	14	5,1	68,5	33,3	32,7	-57	-47	0
24/1/2025									
02:44:24	214,2	14	5,1	68,3	33,3	32,8	-59	-47	0
24/1/2025									
02:46:22	214,2	14	5,1	68,2	33,4	33	-54	-47	0
24/1/2025									
02:47:26	214,2	14	5,1	68	33,4	32,9	-59	-47	0
24/1/2025									
02:49:17	214,2	14	5,1	68	33,5	33,1	-53	-44	0
24/1/2025									
02:50:22	214,2	14	5,1	67,8	33,5	33	-53	-43	0
24/1/2025									
02:51:25	214,2	14	5,1	67,7	33,6	33,1	-59	-44	0
24/1/2025									
02:52:29	214,2	13,9	5,1	67,6	33,6	33,1	-60	-47	0
24/1/2025									
02:53:34	214,2	13,9	5,1	67,5	33,6	33,1	-54	-47	0
24/1/2025									
02:54:38	214,2	13,9	5,1	67,3	33,7	33,1	-59	-47	0
24/1/2025									
02:55:42	214,2	13,9	5,1	67,3	33,7	33,2	-53	-44	0
24/1/2025									
02:58:02	214,2	14	5,1	67,3	33,7	33,2	-53	-43	0
24/1/2025									
02:59:07	214,2	14	5,1	67,2	33,7	33,2	-59	-44	0
24/1/2025									
03:00:11	214,1	14	5,1	67,1	33,8	33,3	-60	-47	0



© 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

24/1/2025									
03:01:15	214,1	14	5,1	67	33,9	33,3	-58	-47	0
24/1/2025									
03:03:04	214,2	14	5,1	67	33,9	33,3	-58	-44	0
24/1/2025									
03:04:09	214,2	14	5,1	66,9	33,9	33,3	-55	-44	0
24/1/2025									
03:05:13	214,2	13,9	5,1	66,8	33,9	33,3	-57	-47	0
24/1/2025									
03:06:17	214,2	14	5,1	66,6	33,9	33,3	-58	-43	0





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. Script Model Deteksi Anomali

```
import pandas as pd

from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier

from sklearn.metrics import confusion_matrix, accuracy_score, precision_score,
recall_score, f1_score

import joblib

# --- 1. LOAD DATA ---
train_df = pd.read_excel("data_latih_wrs_50k.xlsx")
test_df = pd.read_excel("data_uji_dengan_label.xlsx") # Sudah ada is_anomaly
dan fitur *_anom

# --- 2. PERSIAPAN FITUR ---
X_train = train_df.drop(columns=["timestamp", "is_anomaly"])
y_train = train_df["is_anomaly"]
common_features = [col for col in X_train.columns if col in test_df.columns]
X_train = X_train[common_features]
X_test = test_df[common_features]
y_test = test_df["is_anomaly"]

# --- 3. LATIH MODEL ---
model = RandomForestClassifier(n_estimators=100, random_state=42)
model.fit(X_train, y_train)
joblib.dump(model, "model_anomali_rf.pkl")

# --- 4. PREDIKSI DAN EVALUASI ---
y_pred = model.predict(X_test)
test_df["predicted_anomaly"] = y_pred

conf_matrix = confusion_matrix(y_test, y_pred)
```




© 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

```
accuracy = accuracy_score(y_test, y_pred)
precision = precision_score(y_test, y_pred)
recall = recall_score(y_test, y_pred)
f1 = f1_score(y_test, y_pred)
```

```
print(" Confusion Matrix:\n", conf_matrix)
print(f' Accuracy : {accuracy:.4f}')
print(f' Precision: {precision:.4f}')
print(f' Recall   : {recall:.4f}')
print(f' F1-score : {f1:.4f}')
```

```
# --- 5. ANALISIS FITUR PENYEBAB ANOMALI ---
anom_df = test_df[test_df["predicted_anomaly"] == 1]
```

```
fitur_anom = [
    "ac_220v_anom", "dc_14v_anom", "dc_5v_anom",
    "panel_humid_anom", "panel_temp_anom",
    "dev_temp_anom", "rsl_a_anom", "rsl_b_anom"
]
```

```
nama_fitur = {
    "ac_220v_anom": "Tegangan AC 220V",
    "dc_14v_anom": "Tegangan DC 14V",
    "dc_5v_anom": "Tegangan DC 5V",
    "panel_humid_anom": "Kelembapan Panel",
    "panel_temp_anom": "Suhu Panel",
    "dev_temp_anom": "Suhu Perangkat",
    "rsl_a_anom": "Sinyal Komunikasi RSL A",
    "rsl_b_anom": "Sinyal Komunikasi RSL B"
}
```



© 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

```
detail_saran = {  
    "ac_220v_anom": "Periksa kondisi catu daya utama dan terminal input. Pastikan  
    suplai listrik stabil sesuai standar spesifikasi.",  
    "dc_14v_anom": "Lakukan pengecekan pada power supply 14VDC dan  
    sambungan kabel. Periksa kemungkinan arus pendek pada kabel atau konektor  
    longgar.",  
    "dc_5v_anom": "Lakukan pengecekan pada power supply 5VDC dan sambungan  
    kabel. Periksa kemungkinan arus pendek pada kabel atau konektor longgar.",  
    "panel_humid_anom": "Periksa kebocoran panel dan kondisi sistem ventilasi.  
    Pastikan tidak ada air masuk ke dalam panel dan filter udara bersih.",  
    "panel_temp_anom": "Periksa sistem pendingin, kipas, dan ventilasi panel.  
    Bersihkan debu pada ventilasi dan pastikan kipas berfungsi optimal.",  
    "dev_temp_anom": "Pastikan tidak ada gangguan pada kipas di perangkat utama.  
    Bersihkan heatsink dan cek aliran udara di sekitar perangkat.",  
    "rsl_a_anom": "Periksa kualitas kabel, konektor, dan adanya gangguan  
    elektromagnetik di sekitar perangkat. Pastikan tidak ada interferensi sinyal.",  
    "rsl_b_anom": "Periksa kualitas kabel, konektor, dan adanya gangguan  
    elektromagnetik di sekitar perangkat. Pastikan tidak ada interferensi sinyal."  
}  
  
# --- 6. SARAN PERAWATAN BERDASARKAN FREKUENSI ANOMALI ---  
anomaly_counts = anom_df[fitur_anom].sum().sort_values(ascending=False)  
top3 = anomaly_counts.head(3)  
top3_names = [nama_fitur[f] for f in top3.index]  
top3_details = [detail_saran[f] for f in top3.index]  
  
rekomendasi = (  
    f"\n Rekomendasi Pemeriksaan Spesifik Berdasarkan Frekuensi Anomali:\n"  
    f"Dianjurkan melakukan pemeriksaan dan pemeliharaan secara prioritas pada  
    fitur berikut:\n"  
    f"1. {top3_names[0]} ({int(top3.iloc[0])} anomali)\n {top3_details[0]}\n"
```




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

```
f"2. {top3_names[1]} ({int(top3.iloc[1])} anomali)\n {top3_details[1]}\n"
f"3. {top3_names[2]} ({int(top3.iloc[2])} anomali)\n {top3_details[2]}\n"
f"Fitur-fitur tersebut paling sering terindikasi mengalami penyimpangan teknis
dan berpotensi menjadi penyebab utama anomali pada wayside unit CBTC."
)
print(rekomendasi)

# --- 7. SIMPAN KE EXCEL HASIL LENGKAP ---
test_df.to_excel("hasil_prediksi_dan_rekomendasi_cbm.xlsx", index=False)
```

