

Sistem Peringatan Dini Predictive Maintenance Mesin Eye Forming Robot dengan Random Forest & Notifikasi WhatsApp Real-Time di PT XYZ

Iwan Santoso

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik, Indonesia

Informasi Artikel

Diterima : 22 Juni 2025
Revisi : 09 Juli 2025
Diterbitkan : 17 Juli 2025

Abstrak: Kelancaran proses produksi sangat bergantung pada performa mesin yang optimal. Di PT XYZ, mesin Eye Forming Robot kerap mengalami kerusakan mendadak yang menyebabkan downtime dan kerugian produksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem peringatan dini predictive maintenance berbasis algoritma Random Forest yang terintegrasi dengan notifikasi WhatsApp real-time. Metodologi yang digunakan meliputi pengumpulan data historis kerusakan mesin selama dua bulan, preprocessing data, penerapan Random Forest dengan variasi model (klasik, hypertuning, SMOTE, ensemble voting, dan stratified K-Fold), serta integrasi sistem dengan WhatsApp API. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Random Forest dengan SMOTE memberikan akurasi prediksi terbaik sebesar 73,33%. Sistem ini berhasil mengirimkan notifikasi kerusakan secara real-time kepada teknisi sebagai upaya preventif. Kesimpulannya, integrasi machine learning dan sistem komunikasi real-time terbukti meningkatkan efektivitas maintenance. Penelitian ini membuka peluang pengembangan sistem serupa dengan cakupan data dan algoritma yang lebih luas untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi operasional.

Abstract: The smoothness of production processes greatly depends on optimal machine performance. At PT XYZ, the Eye Forming Robot frequently experiences unexpected failures, leading to downtime and production losses. This study aims to develop an early warning predictive maintenance system based on the Random Forest algorithm, integrated with real-time WhatsApp notifications. The methodology includes collecting two months of historical machine failure data, data preprocessing, applying Random Forest with various models (classic, hypertuning, SMOTE, ensemble voting, and stratified K-Fold), and integrating the system with the WhatsApp API. The results show that the Random Forest with SMOTE achieved the best prediction accuracy of 73.33%. The system successfully sends real-time damage notifications to technicians as a preventive measure. In conclusion, the integration of machine learning and real-time communication systems effectively improves maintenance efficiency. This research opens opportunities for developing similar systems with broader datasets and advanced algorithms to enhance prediction accuracy and operational efficiency.

Kata kunci: Eye Forming Robot, Predictive Maintenance, Random Forest, WhatsApp API

Keywords: Eye Forming Robot, Predictive Maintenance, Random Forest, WhatsApp API

Sitasi: Sudarto. (2025). Sistem Peringatan Dini Predictive Maintenance Mesin Eye Forming Robot dengan Random Forest & Notifikasi WhatsApp Real-Time di PT XYZ. *Journal of Engineering and Innovation*, 2(3), 58-64. <https://nafatimahpustaka.org/jein>

Pendahuluan

Produksi yang berkelanjutan dan minim gangguan menjadi tuntutan utama dalam dunia industri manufaktur modern. Salah satu faktor penentu keberhasilan produksi adalah performa mesin yang andal dan terjaga. Di PT XYZ, mesin Eye Forming Robot merupakan komponen vital dalam lini produksi, namun

sering mengalami kerusakan mendadak seperti forming support failure yang menyebabkan downtime signifikan dan kerugian finansial.

Permasalahan utama yang dihadapi adalah pendekatan pemeliharaan yang masih bersifat reaktif (breakdown maintenance) atau bersifat terjadwal secara manual (scheduled maintenance), yang keduanya dinilai kurang efektif dalam mencegah kerusakan mendadak. Berdasarkan studi oleh Wahid et al. (2022),

metode reaktif memiliki risiko tinggi terhadap unplanned downtime, sedangkan metode terjadwal tidak mempertimbangkan kondisi aktual mesin, sehingga seringkali berujung pada pemeliharaan yang tidak perlu. Untuk menjawab permasalahan ini, diperlukan pendekatan predictive maintenance berbasis teknologi kecerdasan buatan.

Machine Learning (ML), khususnya algoritma Random Forest, telah banyak digunakan dalam prediksi kerusakan mesin karena kemampuannya mengolah data kompleks, menangani overfitting, serta menghasilkan model yang stabil dan akurat (Ahmad & Sari, 2022; Safaqqillah, 2023). Random Forest juga memungkinkan analisis feature importance untuk mengidentifikasi akar penyebab kerusakan (root cause analysis). Beberapa penelitian seperti yang dilakukan oleh Paliling (2023) dan Siregar & Putra (2023) menunjukkan bahwa Random Forest efektif dalam meningkatkan akurasi prediksi kerusakan mesin di berbagai sektor industri.

Selain aspek analisis, respons cepat terhadap potensi kerusakan juga menjadi hal krusial. Oleh karena itu, sistem peringatan dini berbasis notifikasi real-time diperlukan agar tim teknis dapat segera mengambil tindakan. WhatsApp API menjadi solusi yang relevan karena memiliki tingkat adopsi tinggi di industri, kemudahan integrasi, serta dukungan pengiriman pesan otomatis yang dapat dipersonalisasi (Putri & Rahmat, 2021).

Mengacu pada latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem peringatan dini predictive maintenance pada mesin Eye Forming Robot di PT XYZ dengan menerapkan algoritma Random Forest Classification dan integrasi notifikasi real-time menggunakan WhatsApp API. Sistem ini diharapkan mampu memprediksi kerusakan secara akurat serta menyampaikan notifikasi secara cepat dan tepat sasaran untuk mendukung pengambilan keputusan dalam pemeliharaan mesin secara proaktif.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem peringatan dini predictive maintenance berbasis algoritma Random Forest yang terintegrasi dengan notifikasi WhatsApp real-time.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis data eksperimental dengan menerapkan metode Random Forest Classification untuk membangun sistem predictive maintenance yang terintegrasi dengan notifikasi real-time melalui WhatsApp Business API. Pendekatan kuantitatif dipilih karena memungkinkan

pengukuran objektif terhadap performa mesin melalui analisis data sensor dan parameter operasional yang terukur.

Metodologi penelitian dirancang secara sistematis mengikuti paradigma penelitian terstruktur yang terdiri dari beberapa tahapan utama yang saling terkait. Rancangan penelitian ini mengadopsi model pengembangan sistem berbasis CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining) yang telah dimodifikasi untuk kebutuhan spesifik predictive maintenance di lingkungan industri.

Alur penelitian dimulai dengan identifikasi masalah melalui observasi langsung di lantai produksi PT XYZ, dilanjutkan dengan perumusan kebutuhan sistem berdasarkan analisis gap antara kondisi aktual dan kondisi ideal pemeliharaan mesin. Tahapan metodologis kemudian dikembangkan dengan mempertimbangkan:

1. Karakteristik teknis mesin Eye Forming Robot
2. Ketersediaan data historis dan infrastruktur sensor
3. Kebutuhan operasional divisi maintenance
4. Kemampuan komputasi yang tersedia
5. Integrasi dengan sistem komunikasi existing

Pemilihan Random Forest sebagai algoritma utama didasarkan pada kemampuannya yang terbukti dalam menangani:

- Data time-series dari sensor mesin
- Variabel input yang heterogen (numerik dan kategorikal)
- Noise dan missing value yang umum terjadi di lingkungan industri
- Kebutuhan interpretasi feature importance untuk analisis root cause

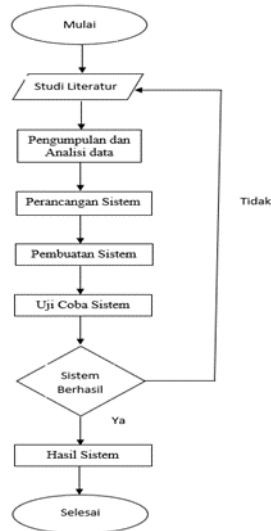
Integrasi dengan WhatsApp API dipilih karena pertimbangan:

- Tingkat adopsi yang tinggi di kalangan teknis
- Kemampuan notifikasi real-time yang andal
- Fitur grup dan broadcast yang mendukung kolaborasi tim
- Kompatibilitas dengan perangkat mobile yang fleksibel

Metodologi ini dirancang untuk memenuhi tiga kriteria utama:

1. Akurasi Prediktif: Kemampuan sistem dalam mendeteksi anomaly dan memprediksi kerusakan

2. Keterlaksanaan Operasional: Kemudahan implementasi di lingkungan produksi nyata
3. Nilai Tambah Bisnis: Kontribusi terhadap pengurangan downtime dan efisiensi biaya maintenance.



Gambar 1. Flow Chart

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan secara komprehensif dengan mengumpulkan dan menganalisis berbagai sumber referensi terkait:

- Konsep dasar dan implementasi algoritma Random Forest dalam predictive maintenance
- Studi kasus penerapan machine learning untuk maintenance di industri manufaktur
- Teknologi WhatsApp Business API untuk sistem notifikasi real-time
- Best practices dalam pengembangan sistem prediksi kerusakan mesin

2. Pengumpulan dan Analisis Data

Proses pengumpulan data dilakukan dengan:

- Mengumpulkan dataset historis kerusakan mesin Eye Forming Robot selama periode 2 bulan
- Data meliputi: jenis kerusakan, waktu kejadian, bagian mesin yang rusak, dan tindakan perbaikan
- Format data berupa file Excel dengan struktur yang terstandarisasi

Analisis data dilakukan melalui beberapa tahap:

- Data Counting: Menghitung frekuensi kemunculan setiap jenis error

- Data Sorting: Mengurutkan error berdasarkan frekuensi kejadian
- Data Cleaning: Menangani missing value dan outlier
- Feature Engineering: Membuat fitur baru yang relevan untuk prediksi

3. Perancangan Sistem

Sistem dirancang dengan alur kerja berikut:

- Preprocessing:
 - o Normalisasi data numerik
 - o Encoding data kategorikal
 - o Pembagian dataset (70% training, 30% testing)
- Pemodelan:
 - o Implementasi algoritma Random Forest
 - o Optimasi hyperparameter (n_estimators, max_depth, dll)
 - o Pelatihan model menggunakan data training
- Evaluasi:
 - o Pengujian model dengan data testing
 - o Pengukuran performa menggunakan metrik akurasi, precision, recall
 - o Analisis confusion matrix
 - o Validasi silang untuk memastikan generalisasi model
- Implementasi:
 - o Pengembangan antarmuka sistem
 - o Integrasi dengan WhatsApp Business API
 - o Pembuatan mekanisme notifikasi real-time
 - o Pengujian sistem secara end-to-end

4. Validasi Sistem

Sistem yang telah dibangun akan divalidasi melalui:

- Uji fungsional terhadap seluruh komponen sistem
- Pengukuran performa prediksi di lingkungan nyata
- Evaluasi efektivitas notifikasi WhatsApp
- Pengumpulan feedback dari pengguna

Metodologi ini dirancang untuk memastikan sistem yang dikembangkan dapat memprediksi kerusakan mesin secara akurat dan memberikan notifikasi perawatan secara tepat waktu melalui WhatsApp, sehingga dapat mengurangi downtime dan meningkatkan efisiensi produksi.

Hasil dan Pembahasan

Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan dataset kerusakan mesin Eye Forming Robot dari PT XYZ selama dua bulan, dengan 500 data kerusakan dari 104 jenis error. Variabel input meliputi jam, hari, bulan, sedangkan target klasifikasi adalah kolom Error Name dan Remedy. Data tersebut kemudian diolah melalui tahapan pembersihan, rekayasa fitur (feature engineering), serta pengkodean (label encoding).

Klasifikasi Kerusakan

Kerusakan dikategorikan dalam 6 kelas utama:

1. Class 0 (Unknown Error): Kesalahan tidak teridentifikasi (2.4%)
2. Class 1 (Motion Fault): Gangguan pengontrol gerakan (24.6%)
3. Class 2 (Drive Fault): Masalah driver perangkat keras (20.8%)
4. Class 3 (Robot Fault): Kegagalan fungsi robot (9%)
5. Class 4 (Sensor/LS Fault): Error sensor/limit switch (28.2%)
6. Class 5 (Abnormal Condition): Kondisi operasional tidak normal (15%)

Distribusi data ini menunjukkan ketidakseimbangan kelas (class imbalance), yang berdampak negatif terhadap akurasi prediksi bila tidak ditangani secara tepat. Oleh karena itu, digunakan metode SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique) untuk menyeimbangkan distribusi kelas.

Pra-pemrosesan Data

Meliputi:

1. Cleaning Data: Penanganan missing value dan outlier menggunakan Python (Pandas, NumPy)
2. Feature Engineering: Ekstraksi atribut waktu (Timestamp, Hour, Day, Month)
3. Label Encoding: Konversi data kategorikal ke numerik

Pemodelan Random Forest

Variasi Model

Lima variasi metode Random Forest diujikan, dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil pengujian Model Random Forest

No	Variasi Metode Random Forest Classification	Akurasi (%)
1	Random Forest Classification Classic	72,7%
2	Random Forest dengan Hypertuning	73,3%

No	Variasi Metode Random Forest Classification	Akurasi (%)
3	Random Forest dengan SMOTE	73,3%
4	Random Forest dengan Ensemble Voting	72%
5	Random Forest dengan Stratified K-Fold Cross Validation	72,4%

Metode Random Forest + SMOTE dipilih sebagai model optimal karena mampu mengatasi ketidakseimbangan kelas dan memberikan akurasi tertinggi (73,3%). Temuan ini sejalan dengan studi oleh Hidayat & Wijaya (2023) yang menunjukkan bahwa kombinasi SMOTE dan Random Forest meningkatkan kinerja klasifikasi pada prediksi kegagalan bearing industri.

Hasil Evaluasi Model

Tabel 2. Ringkasan Model RF Klasifikasi

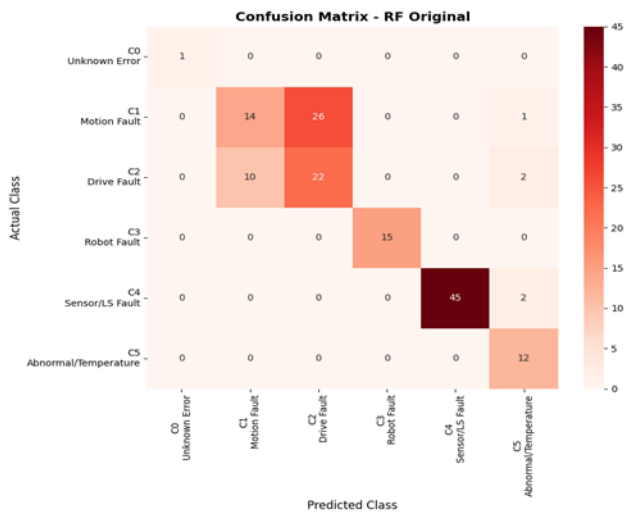
No	Class	Precision (%)	Recall (%)	F1-Score (%)	Support
1	0	100	100	100	1
2	1	64	22	33	41
3	2	47	82	60	34
4	3	100	100	100	15
5	4	100	96	98	47
6	5	75	100	86	12
Accuracy				73	150
Macro avg				79	150
Weighted avg		76	73	71	150

- Akurasi terbaik: 73.3% (RF+SMOTE)
- Precision tertinggi: 100% (Class 0,3,4)
- Recall terendah: 22% (Class 1 - Motion Fault)
- F1-score: 33-100% tergantung kelas

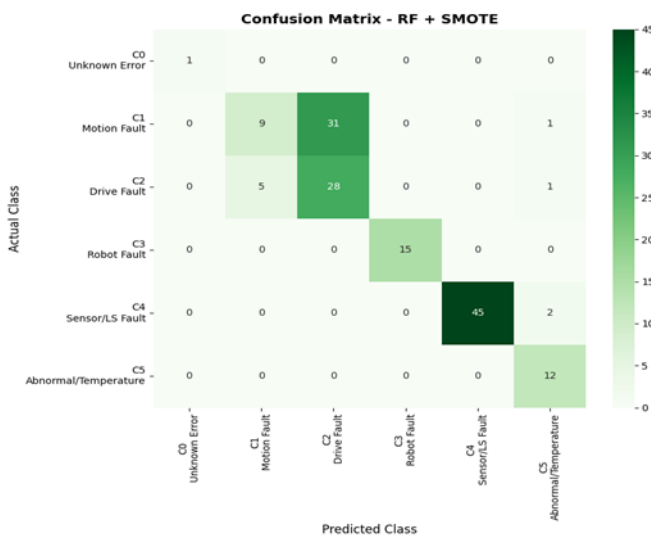
Kelas dengan performa terendah adalah Class 1 (Motion Fault) yang hanya memiliki recall 22%, menunjukkan masih tingginya kesalahan klasifikasi (false negative). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun SMOTE membantu, masih diperlukan peningkatan kualitas fitur dan volume data.

Analisis Prediksi

- Confusion Matrix menunjukkan peningkatan akurasi klasifikasi setelah SMOTE, khususnya untuk Class 1 (Motion Fault) dengan pengurangan misklasifikasi dari 14 ke 9 error.
- Kendala: Ketidakseimbangan data dan keterbatasan sampel memengaruhi akurasi prediksi.



Gambar 2. Confusion Matriks RF Original dengan akurasi 72,7%



Gambar 3. Confusion Matriks RF+SMOTE dengan akurasi 73,33%.

Kedua gambar menunjukkan perbandingan persebaran prediksi benar dan salah. Setelah penerapan SMOTE, jumlah prediksi benar untuk Motion Fault meningkat dari 27 menjadi 32 kasus, menunjukkan perbaikan akurasi.

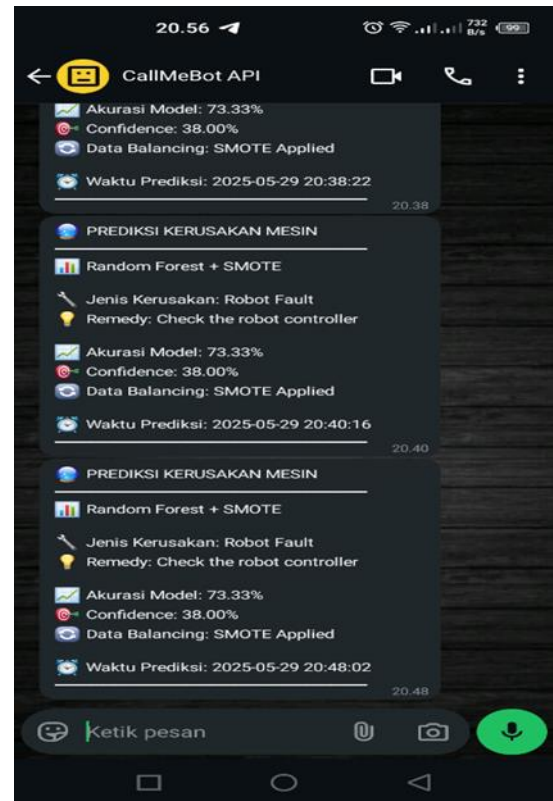
Performa ini setara dengan penelitian oleh Nurfadilah et al. (2022) yang menerapkan machine learning berbasis real-time untuk prediksi conveyor belt, di mana SMOTE juga berhasil meningkatkan recall.

Implementasi WhatsApp API

Sistem terintegrasi dengan CallMeBot API yang mengirimkan notifikasi real-time kepada teknisi,

mencakup informasi prediksi jenis kerusakan, waktu kejadian, dan rekomendasi tindakan. WhatsApp dipilih karena familiar di kalangan teknisi dan mendukung komunikasi cepat, seperti dijelaskan oleh Putri & Rahmat (2021).

- Jenis kerusakan prediksi
- Waktu kejadian
- Rekomendasi perbaikan



Gambar 4. Tampilan Notifikasi WhatsApp Real-Time

Model Random Forest dengan SMOTE terbukti efektif dalam menangani data industri yang tidak seimbang. Namun, meskipun akurasi mencapai 73,3%, recall yang rendah pada kelas tertentu menunjukkan perlunya peningkatan data historis dan kualitas fitur. Pendekatan ini dapat diperluas menggunakan algoritma lain seperti XGBoost atau SVM sebagaimana disarankan oleh Siregar & Putra (2023) yang berhasil meningkatkan performa dengan ensemble learning. Dengan implementasi WhatsApp API, sistem ini tidak hanya memberikan prediksi, tetapi juga langsung menindaklanjuti dengan pemberitahuan kepada teknisi, yang mempercepat pengambilan keputusan.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem peringatan dini predictive maintenance untuk mesin Eye Forming Robot di PT XYZ dengan mengimplementasikan algoritma Random Forest Classification yang terintegrasi dengan notifikasi real-time melalui WhatsApp API. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi Random Forest dengan teknik SMOTE memberikan akurasi terbaik sebesar 73,33%. Sistem mampu memprediksi jenis kerusakan secara cukup akurat dan menyampaikan notifikasi langsung kepada teknisi, sehingga dapat mempercepat respons dan mengurangi potensi downtime. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk membangun sistem prediksi kerusakan berbasis machine learning yang terhubung dengan notifikasi real-time telah tercapai.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan:

1. Menambah volume dan variasi data historis agar model lebih general dan stabil.
2. Menguji algoritma lain seperti XGBoost, SVM, atau deep learning untuk meningkatkan akurasi prediksi.
3. Mengembangkan sistem notifikasi WhatsApp dengan informasi yang lebih detail, seperti tingkat keparahan kerusakan dan estimasi waktu perbaikan.
4. Menambahkan fitur identifikasi root cause secara otomatis untuk meningkatkan efisiensi analisis dan pengambilan keputusan pemeliharaan.

Ucapan Terimakasih

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-sebesarnya kepada pihak - pihak yang membantu penulis dalam pengerjaan artikel ini ucapan terimakasih penulis tujukan kepada:

1. Bapak Dr. Misbah, S.T., MT., selaku Dosen Pembimbing yang telah membantu membimbing dan mengarahkan penulis dalam penelitian ini;
2. Bapak Denny Irawan, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Elektro;
3. Bapak Harunur Rosyid, ST., M.Kom., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik;
4. Kedua orang tua serta seluruh keluarga yang selalu mendoakan dan mendukung penulis dalam menempuh pendidikan;
5. Semua pihak yang membantu dan tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, penulis ucapkan terimakasih atas segala informasi yang diberikan, dukungan serta

semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan artikel ini.

Daftar Pustaka

- Abdi, K., Warjaya, A., Muthmainnah, I., & Pahutar, P. H. (2022). Penerapan algoritma Random Forest dalam prediksi kelayakan air minum. *Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika*, 2(1), 1-10.
- Ahmad, R., & Sari, D. (2022). Penerapan Random Forest dalam manajemen kesehatan aset di pembangkit listrik. *Jurnal Teknik Energi*, 15(2), 123-135.
- Angkoso, C. V., Thrisna, M. A. N., Satoto, B. D., & Kusumaningsih, A. (2023). Optimasi klasifikasi sentimen menggunakan Random Forest dengan preprocessing K-Means Clustering dan SMOTE. [Artikel tidak dipublikasikan].
- Armada, D. D., et al. (2023). Implementasi RCM di PT. XYZ untuk evaluasi komponen mesin dan jadwal perbaikan. [Artikel tidak dipublikasikan].
- Ashfania, G. A. M., Prahasto, T., Widodo, A., & Warsokusumo, T. (2022). Penggunaan algoritma Random Forest untuk klasifikasi berbasis kinerja efisiensi energi pada sistem pembangkit daya. *ROTASI*, 24(3), 14-21.
- Erdizon, R. V. (2024). Metode pemeliharaan mesin di pabrik pengolahan kelapa sawit: Analisis FMEA, RCM, dan OEE [Tesis tidak dipublikasikan].
- Fauziah, N., & Nugroho, A. S. (2022). Perbandingan performa Random Forest dan SVM dalam klasifikasi data Covid-19 Indonesia. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 9(1), 88-95.
- Kusumaningrum, D. (2021). Predictive maintenance menggunakan machine learning di PT X: Model diagnosis dan prognosis [Tesis tidak dipublikasikan].
- Muhajir, A. R., Rukmawanti, J., & Nurasiah, L. I. (2023). Algoritma prediksi pemeliharaan mesin manufaktur menggunakan metode Naïve Bayes. [Artikel tidak dipublikasikan].
- Paliling, F. (2023). Penggunaan Random Forest untuk pemeliharaan prediktif mesin [Skripsi, Institut Teknologi Bandung].
- Putra, R. Y., & Ramadhan, A. (2021). Implementasi metode Random Forest untuk klasifikasi tingkat kemiskinan di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika (KOMPUTA)*, 10(1), 23-29.
- Putri, M. A., & Rahmat, A. H. (2021). Integrasi WhatsApp API dalam sistem notifikasi real-time untuk Industri 4.0. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 14(3), 178-185.

- Safaqdillah, M. A. (2023). Perbandingan metode Decision Tree Regression dan Random Forest Regression untuk prediksi degradasi daya pada panel surya akibat debu [Tesis Sarjana, Universitas Hasanuddin].
- Setiawan, R. (2021). Penggunaan Python dalam proses data cleansing untuk analisis data industri. *Jurnal Informatika dan Teknologi*, 8(2), 59–66.
- Sriyanto, & Supriyatna, A. R. (2023). Prediksi penyakit diabetes menggunakan algoritma Random Forest. *IJCCS*, 17(1), 1–5.
- Subqi, F. M., & Anggraini, D. (2021). Naïve Bayes Classifier untuk pemeliharaan prediktif mesin produksi berdasarkan data kerusakan. [Artikel tidak dipublikasikan].
- Wahid, E. A., et al. (2022). Algoritma prediktif maintenance menggunakan machine learning untuk Coal Pfister Feeder. [Artikel tidak dipublikasikan].
- Hidayat, T., & Wijaya, S. K. (2023). Optimasi model Random Forest untuk prediksi kegagalan bearing mesin industri menggunakan kombinasi SMOTE dan Grid Search. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 8(2), 45–53.
- Nurfadilah, R., Santoso, B., & Kurniawan, A. (2022). Integrasi IoT dan machine learning untuk sistem predictive maintenance berbasis real-time pada conveyor belt. *Jurnal Sistem Cerdas*, 5(1), 12–24.
- Siregar, F. A., & Putra, D. H. (2023). Analisis komparasi metode ensemble learning (Random Forest vs. XGBoost) dalam prediksi kerusakan mesin CNC. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri (SNTI)*, 112–120.