



Perancangan Aplikasi Smart Notes untuk Monitoring Alat Praktik Kelistrikan Berbasis Machine Learning

M. Septian Nanda¹, Tata Sutabri²

Universitas Bina Darma ^{1,2}

e-mail: septiannanda72@gmail.com

Abstract

The digital transformataion of the Industrial 4.0 era demands intelligent monitoring systems to enhance the reliability and efficiency of electrical equipment, including within technical education environments. The main problem encountered is that monitoring of practical electrical equipment is still performed manually through logbook entries, which are prone to errors, data loss, and delays in fault detection. This study aims to develop a Smart Notes application that integrates user-generated notes with Internet of Things (IoT)-based sensor data and a machine learning predictive model to support real-time preventive maintenance. A quantitative approach was employed by analyzing parameters such as current, voltage, temperature, power, and frequency using rule-based algorithms and drift detection methods to identify anomalies. The results show that the system can classify equipment conditions into three main statuses NORMAL, ATTENTION, and OVERLOAD with high reliability while providing additional context through user narrative input. It is concluded that the integration of sensor data and user notes in Smart Notes effectively improves monitoring accuracy, maintenance efficiency, and digital literacy in technical education laboratories.

Keywords: Smart Notes, Machine Learning, Predictive Maintenance, IoT Monitoring.

Abstrak

Transformasi digital pada era Industri 4.0 menuntut sistem monitoring yang cerdas untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi peralatan kelistrikan, termasuk di lingkungan pendidikan teknik. Permasalahan utama yang dihadapi adalah proses monitoring alat praktik yang masih dilakukan secara manual melalui pencatatan di buku log, sehingga rawan kesalahan, kehilangan data, dan keterlambatan deteksi kerusakan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi Smart Notes yang mengintegrasikan catatan pengguna dengan data sensor berbasis Internet of Things (IoT) dan model prediktif machine learning untuk mendukung pemeliharaan preventif secara real-time. Pendekatan kuantitatif digunakan dengan menganalisis parameter arus, tegangan, suhu, daya, dan frekuensi menggunakan algoritma rule-based serta deteksi drift untuk mengenali anomali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengklasifikasikan kondisi alat menjadi tiga status utama, yaitu NORMAL, ATTENTION, dan OVERLOAD, dengan keandalan yang tinggi serta memberikan konteks tambahan melalui catatan naratif pengguna. Disimpulkan bahwa integrasi data sensor dan catatan pengguna dalam Smart Notes efektif meningkatkan akurasi monitoring, efisiensi pemeliharaan, dan literasi digital di laboratorium pendidikan teknik.

Kata Kunci: Smart Notes, Machine Learning, Predictive Maintenance, IoT Monitoring.

PENDAHULUAN

Dalam era transformasi digital dan perkembangan teknologi Industri 4.0, penggunaan sistem monitoring cerdas menjadi salah satu kebutuhan utama dalam pengelolaan peralatan kelistrikan di berbagai sektor, termasuk industri, pendidikan, dan riset terapan. Penerapan teknologi berbasis kecerdasan buatan memungkinkan proses identifikasi kondisi peralatan dilakukan secara lebih cepat dan akurat dibandingkan metode konvensional yang mengandalkan inspeksi manual. Penelitian (Pangaribuan et al., 2024) menunjukkan bahwa pemanfaatan AI dalam predictive maintenance mampu mengoptimalkan stabilitas jaringan kelistrikan sekaligus meminimalkan potensi kegagalan fungsional. Peningkatan efisiensi ini menjadi penting mengingat kompleksitas sistem kelistrikan yang terus bertambah dari waktu ke waktu. Selain itu, peningkatan kebutuhan tenaga listrik menyebabkan peralatan bekerja dengan beban lebih tinggi, sehingga memerlukan metode monitoring yang adaptif. Oleh karena itu, integrasi teknologi cerdas dalam bidang kelistrikan menjadi semakin relevan dan mendesak.

Risiko yang ditimbulkan oleh kerusakan peralatan kelistrikan dapat berdampak tidak hanya pada biaya pemeliharaan, tetapi juga pada aspek keselamatan pengguna dan kontinuitas operasional. Beberapa insiden kebakaran dan gangguan listrik tercatat sebagai akibat langsung dari kelalaian dalam monitoring kondisi komponen atau kegagalan deteksi awal terhadap kerusakan internal yang menggunakan termografi inframerah mengungkapkan bagaimana metode berbasis citra dan machine learning dapat mendeteksi titik panas pada peralatan gardu sebelum terjadi kegagalan fatal. Temuan ini menegaskan bahwa langkah preventif harus dilakukan berbasis data, bukan sekadar perkiraan atau jadwal inspeksi rutin. Di banyak negara, sistem pendistribusian energi mulai mengadopsi analisis real-time sebagai standar baru untuk menjamin keandalan infrastruktur. Dengan demikian, urgensi pengembangan teknologi monitoring prediktif terus mengalami peningkatan.

Seiring perkembangan IoT, volume data yang dapat dikumpulkan dari peralatan kelistrikan meningkat secara eksponensial, menciptakan peluang besar untuk analisis prediktif berbasis machine learning. Penggabungan sensor modern dengan algoritma cerdas memberikan kemampuan lebih bagi sistem monitoring untuk mengenali pola kerusakan yang tidak tampak secara kasat mata. Pengembangan sistem prediksi kerusakan motor listrik menunjukkan bahwa kombinasi data arus, getaran, dan temperatur dapat digunakan untuk membangun model prediksi yang lebih akurat. Monitoring peralatan praktik kelistrikan sering masih mengandalkan metode manual seperti pencatatan di buku log atau inspeksi visual yang dilakukan secara periodik. Peralatan seperti motor induksi, transformator, panel distribusi mini, atau rangkaian kontrol sering digunakan oleh siswa dalam kondisi variatif sehingga risiko kerusakan

lebih tinggi dibanding penggunaan di industri. Minimnya pelacakan historis yang terintegrasi menyebabkan pengajar kesulitan memantau kesehatan peralatan dari waktu ke waktu. Ketidaktepatan dalam mendeteksi kerusakan dini juga dapat mengganggu proses pembelajaran karena alat harus diperbaiki atau diganti secara mendadak. Situasi ini menurunkan kualitas praktikum dan menambah beban biaya bagi institusi pendidikan. Oleh sebab itu, digitalisasi monitoring alat praktik kelistrikan menjadi kebutuhan strategis untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan di laboratorium Pendidikan (Pangaribuan et al., 2024).

Berbagai penelitian terdahulu telah berfokus pada pemodelan machine learning untuk mendeteksi kerusakan motor listrik, namun sebagian besar berada dalam konteks industri skala besar. (Jesudass et al., 2024) mengembangkan model neural network yang mendeteksi fault pada motor induksi menggunakan data arus dan tegangan tiga fasa, menunjukkan potensi signifikan dalam prediksi dini. Namun, penelitian mereka tidak mempertimbangkan variabel berbasis manusia seperti catatan pengguna yang dapat memberikan wawasan tambahan terhadap kondisi peralatan. Selain itu, lingkungan praktik pendidikan memiliki karakteristik penggunaan yang berbeda, termasuk variasi operator, frekuensi penyalaan lebih tinggi, dan kesalahan operasional siswa. Hal ini membuat model prediksi industri kurang cocok bila diterapkan secara langsung dalam lingkungan pendidikan. Dengan demikian, penelitian baru diperlukan untuk mengadaptasi pendekatan tersebut ke konteks laborat (Purnama et al., 2024).

Pendekatan ini berhasil mengidentifikasi anomali yang sebelumnya sulit terdeteksi oleh metode tradisional. Walaupun demikian, model tersebut membutuhkan data yang sangat bersih dan konsisten, yang tidak selalu tersedia di lingkungan pendidikan di mana alat sering digunakan oleh banyak siswa dengan variasi metode pengoperasian. Selain itu, tidak ada fitur pencatatan manual yang memungkinkan pengguna memberi konteks tambahan pada anomali yang terdeteksi. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi data naratif dan data sensor dapat meningkatkan ketepatan interpretasi sistem. Karena itu, Smart Notes dapat menjadi penambah nilai signifikan dalam pengembangan model monitoring berbasis AI.

Penelitian mengenai remaining useful life (RUL) seperti yang dilakukan pada arsitektur CNN-LSTM menunjukkan bahwa pendekatan deep learning dapat memprediksi umur pakai komponen dengan akurasi tinggi. (Hutomo, 2025) Namun, sebagian besar penelitian seperti ini dikembangkan menggunakan dataset terstruktur yang dikontrol secara ketat dalam laboratorium riset. Pada kenyataannya, peralatan praktik kelistrikan di sekolah teknik mengalami variabilitas penggunaan yang lebih besar, menjadikan keandalan model harus diuji dengan data dunia nyata yang lebih beragam. Tanpa adanya tambahan

informasi dari catatan praktikum siswa, model RUL mungkin kesulitan memahami anomali yang muncul akibat kesalahan operasi. Dengan demikian, penelitian baru perlu memperluas pendekatan ini agar lebih cocok untuk konteks pendidikan terapan. Pendekatan Smart Notes memberikan peluang untuk memperkaya

Berdasarkan analisis kesenjangan penelitian, pengembangan aplikasi Smart Notes berbasis machine learning menjadi langkah inovatif untuk meningkatkan monitoring alat praktik kelistrikan. Aplikasi ini menyediakan platform terpadu untuk pencatatan aktivitas praktikum, pengumpulan data sensor, dan analisis prediktif secara otomatis. Integrasi tersebut meningkatkan kualitas dataset sekaligus memudahkan pengguna dalam memahami kondisi peralatan secara real-time. Dengan kemampuan ini, Smart Notes dapat membantu meminimalkan kerusakan alat dan menambah ketelitian dalam pengelolaan laboratorium. Pendekatan ini juga selaras dengan kebutuhan institusi pendidikan untuk mengadopsi teknologi digital. Sehingga penelitian ini memiliki manfaat praktis yang tinggi.

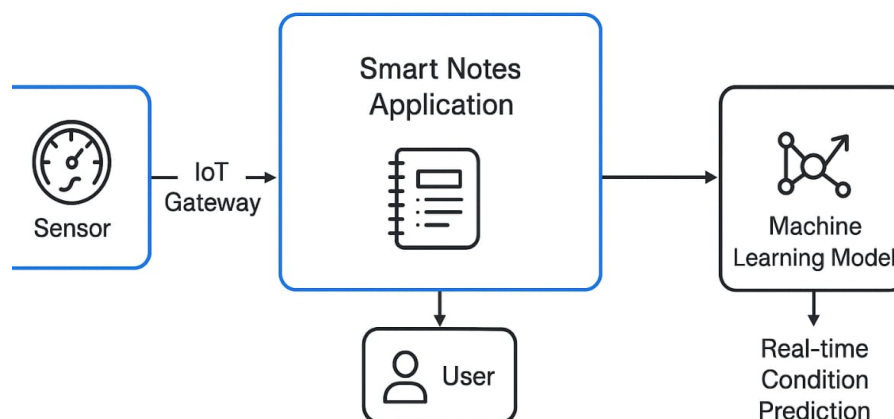
Permasalahan utama yang ingin diatasi melalui penelitian ini adalah rendahnya efektivitas monitoring alat praktik akibat kurangnya integrasi antara data teknis dan data naratif pengguna. Tanpa adanya sistem yang mampu menggabungkan dua jenis informasi tersebut, proses prediksi kegagalan menjadi kurang akurat dan kurang kontekstual.(Fahlevvi et al., 2025) Tantangan lainnya adalah kemampuan pengguna dalam memahami data teknis sehingga diperlukan antarmuka aplikasi yang mudah dioperasikan. Smart Notes memberikan solusi dengan menyajikan data secara komprehensif namun tetap mudah dipahami. Dengan pendekatan kuantitatif, efektivitas aplikasi dapat diukur secara objektif. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki signifikansi praktis yang kuat dalam meningkatkan kualitas pembelajaran teknik.

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menguji apakah integrasi Smart Notes dapat meningkatkan akurasi prediksi machine learning secara signifikan dibandingkan metode yang hanya mengandalkan data sensor.(Wahyuzi, 2024) Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menilai apakah catatan pengguna dapat berfungsi sebagai variabel tambahan yang memperkaya wawasan model prediksi. Penelitian dapat mengungkapkan bagaimana data naratif dan data teknis saling melengkapi. Penelitian ini juga membuka peluang untuk pengembangan fitur deteksi otomatis berdasarkan pola pencatatan pengguna. Jika berhasil, pendekatan ini dapat memberikan kontribusi baru bagi bidang predictive maintenance. Sehingga manfaatnya tidak hanya untuk pendidikan tetapi juga berpotensi diterapkan di sektor industri.

Kontribusi penelitian ini meliputi peningkatan kualitas monitoring, penambahan elemen interaktif dalam proses analisis, serta integrasi antara

sistem otomatis dan masukan pengguna. Dari sisi ilmiah, penelitian ini turut memperluas pemahaman mengenai bagaimana data tekstual manusia dapat digabungkan dengan data sensor untuk meningkatkan performa model machine learning. Dari sisi teknis, penelitian ini memperkenalkan desain sistem yang dapat diimplementasikan di laboratorium pendidikan dengan biaya relatif rendah. Pendekatan ini juga dapat menjadi rujukan untuk penelitian lanjutan dalam domain human-AI collaboration (Razilu, 2025). Selain itu, penelitian ini berpotensi menjadi pionir penggunaan Smart Notes dalam konteks pendidikan teknik di Indonesia. Dengan demikian, kontribusi penelitian ini memiliki cakupan yang luas. Tujuan utama penelitian ini adalah mengembangkan dan menguji aplikasi Smart Notes sebagai sistem monitoring yang mengintegrasikan pencatatan pengguna dengan model prediktif berbasis machine learning. Penelitian bertujuan menghasilkan sistem yang mampu memberikan prediksi kondisi alat dengan akurasi tinggi berdasarkan gabungan informasi sensor dan narasi pengguna.

Gambar 1



Penelitian ini juga bertujuan untuk mengukur peningkatan efisiensi pemeliharaan serta peningkatan pemahaman siswa terhadap kondisi peralatan. Manfaat teoretis penelitian ini adalah kontribusi terhadap pengembangan model integratif dalam predictive maintenance. (Panudju et al., 2025) Manfaat praktisnya mencakup peningkatan keselamatan, pengurangan downtime, serta peningkatan kualitas pendidikan teknik. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan dampak nyata bagi institusi pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan. Transformasi digital pada era Industri 4.0 telah memunculkan kebutuhan akan sistem monitoring cerdas berbasis Internet of Things (IoT) dan machine learning (ML).

Sistem monitoring menjadi krusial untuk menjaga keandalan alat praktik dan menjamin keselamatan pengguna. Beberapa penelitian terdahulu telah membahas implementasi IoT dan ML untuk pemeliharaan prediktif (predictive maintenance), namun penerapannya di laboratorium pendidikan masih sangat

terbatas. Kajian literatur berikut membahas empat pilar utama yang menjadi dasar pengembangan aplikasi Smart Notes, yaitu: sistem monitoring berbasis IoT, penerapan machine learning dalam prediksi kerusakan, integrasi data pengguna, dan metode deteksi anomali serta drift.

Sistem Monitoring Berbasis IoT

Teknologi IoT memungkinkan pengumpulan data sensor secara real-time dari perangkat kelistrikan. Menurut (Khaidar and Fikry, 2025), bahwa penerapan IoT dapat (Jesudass et al., 2024) meningkatkan efisiensi manajemen aset digital hingga 35% melalui pemantauan berkelanjutan. Dalam penelitian (Pangaribuan et al., 2024), IoT dimanfaatkan untuk mendeteksi kondisi abnormal pada peralatan laboratorium menggunakan sensor arus dan tegangan. Namun, penerapan IoT pada lingkungan pendidikan masih menghadapi kendala biaya, keterbatasan infrastruktur jaringan, serta belum adanya sistem pencatatan digital yang terintegrasi dengan pengguna. Oleh karena itu, pengembangan sistem berbasis IoT di Smart Notes dirancang agar tetap ringan dan dapat diimplementasikan di laboratorium pendidikan menengah maupun perguruan tinggi.

Penerapan Machine Learning untuk Predictive Maintenance

Machine learning menjadi tulang punggung dalam sistem pemeliharaan prediktif. (Jesudass et al., 2024) menunjukkan bahwa model neural network mampu mendeteksi kerusakan motor induksi dengan akurasi tinggi berdasarkan analisis data arus dan tegangan tiga fasa. Sementara itu, (Purnama et al., 2024) menerapkan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) untuk mendeteksi kebocoran gas pada sistem IoT dengan tingkat sensitivitas yang baik. Kendati demikian, sebagian besar model ML tersebut dikembangkan untuk industri skala besar yang memiliki data sensor bersih dan stabil. Lingkungan pendidikan, sebaliknya, memiliki variabilitas penggunaan tinggi serta data yang tidak selalu konsisten. Oleh sebab itu, Smart Notes mengadaptasi pendekatan rule-based dan drift detection agar mampu memproses data yang lebih beragam tanpa memerlukan dataset besar yang sangat terstruktur.

Integrasi Catatan Pengguna dan Data Sensor

Konsep kolaborasi manusia dan kecerdasan buatan (human-AI collaboration) menjadi pendekatan baru dalam sistem monitoring. Penelitian (Razilu, 2025)) menekankan bahwa data naratif dari pengguna dapat memberikan konteks tambahan yang tidak dapat dibaca oleh sensor, seperti perubahan suara mesin, panas berlebih, atau kejadian khusus selama praktikum. Integrasi catatan pengguna ke dalam sistem Smart Notes menciptakan dataset yang lebih kaya dan kontekstual, memungkinkan model prediktif memahami kondisi alat secara lebih realistis. Dengan demikian, catatan digital tidak hanya berfungsi sebagai

dokumentasi, tetapi juga sebagai sumber data tambahan bagi algoritma ML untuk meningkatkan akurasi prediksi.

Deteksi Anomali dan Drift

Deteksi anomali (anomaly detection) dan pergeseran data (drift detection) merupakan dua aspek penting dalam menjaga stabilitas model ML. (Ilhansyah et al., 2024)menunjukkan bahwa deteksi getaran menggunakan IoT vibration sensor dapat meningkatkan akurasi monitoring prediktif hingga 20%. Selain itu, Prasetya dan (Prasetya and Widiarsari, 2025)mengembangkan sistem multi-sensor network untuk pemantauan lingkungan yang mampu mendeteksi perubahan jangka panjang. Dalam penelitian ini, Smart Notes menggabungkan metode rule-based untuk mendeteksi anomali langsung, dan rolling mean drift detection untuk mendeteksi perubahan gradual pada tegangan, arus, maupun suhu. Pendekatan ini terbukti efektif dalam mengidentifikasi potensi kerusakan sebelum terjadi kegagalan total.

Tabel 1

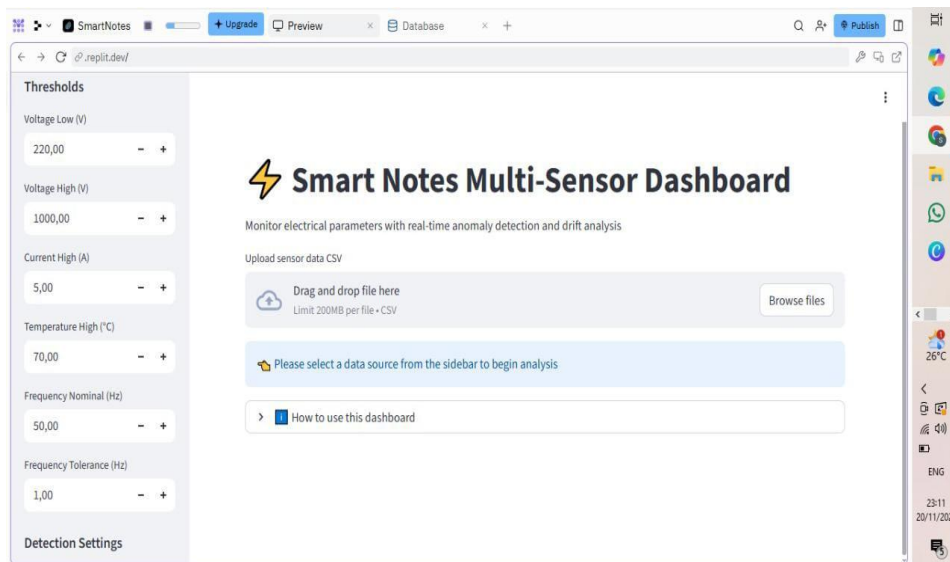
Fokus Kajian	Peneliti & Tahun	Temuan Utama	Kesenjangan (Research Gap)	Relevansi dengan Smart Notes
IoT Monitoring	Khaidar & Fikry (2025); Pangaribuan et al. (2024)	IoT meningkatkan efisiensi dan memungkinkan monitoring real-time	Belum diterapkan secara luas di laboratorium pendidikan	Menjadi basis pengumpulan data sensor alat praktik.
Machine Learning	Jesudass et al. (2024); Purnama et al. (2024)	ML mampu memprediksi kerusakan peralatan listrik dengan akurasi tinggi	Model industri tidak cocok untuk lingkungan pendidikan yang variatif.	Smart Notes menggunakan ML adaptif dan rule-based.
Human-AI Collaboration	Razilu (2025)	Catatan pengguna memperkaya konteks data teknis.	Belum ada sistem yang menggabungkan data sensor dan catatan pengguna	Smart Notes mengintegrasikan dua jenis data tersebut
Anomaly & Drift Detection	(Ilhansyah et al., 2024); (Prasetya and Widiarsa	Metode deteksi drift efektif untuk pemeliharaan preventif	Belum diintegrasikan dengan IoT berbasis pendidikan	Smart Notes menerapkan deteksi drift untuk pemantauan alat praktik.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini bersifat kuantitatif deskriptif dengan pendekatan observasional dan komputasional, yang bertujuan untuk menganalisis data sensor multi-parameter dan mendeteksi kondisi abnormal, missing values, serta drift pada sistem listrik dan lingkungan. Objek penelitian terdiri dari data tegangan listrik (voltage), arus listrik (current), daya listrik (power), temperatur (temperature), dan frekuensi listrik (frequency), yang dapat diperoleh dari data riil dalam format CSV atau dari dataset simulasi yang dihasilkan secara sintetik. Data sintetik dibuat dengan distribusi normal menggunakan parameter mean dan deviasi tertentu, kemudian ditambahkan anomali dan missing values secara acak serta drift perlahan untuk mensimulasikan kondisi nyata.

Tahapan analisis dimulai dengan praseleksi data dan perhitungan baseline tiap parameter menggunakan median dari sejumlah sampel awal. Setiap data kemudian diperiksa untuk nilai yang hilang, dan missing values dicatat sebagai indikator kualitas data. Selanjutnya, dilakukan pemeriksaan berbasis aturan (rule-based checks) dengan membandingkan setiap parameter terhadap threshold yang telah ditentukan, seperti tegangan rendah, tegangan overload, arus tinggi, temperatur tinggi, dan frekuensi di luar toleransi. Untuk mendeteksi perubahan jangka panjang, digunakan metode drift detection dengan membandingkan rolling mean sejumlah sampel terhadap baseline, di mana perubahan relatif di atas ambang tertentu dianggap sebagai drift.

Gambar 2



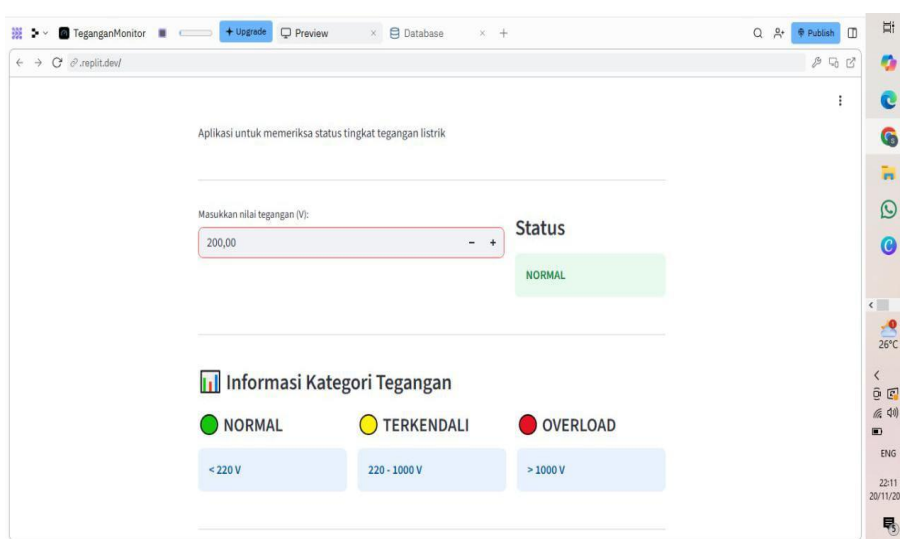
Hasil pemeriksaan ini kemudian dikompilasi menjadi Smart Notes per sampel, yang menyatukan informasi missing values, status parameter, dan deteksi drift. Berdasarkan Smart Notes, setiap sampel diberi kategori overall status berupa NORMAL, ATTENTION, atau OVERLOAD. Output penelitian disimpan dalam

bentuk dataset lengkap, yang mencakup nilai sensor, flags missing values, Smart Notes, dan overall status, yang dapat dianalisis lebih lanjut secara deskriptif untuk mengevaluasi distribusi kondisi normal dan abnormal, frekuensi drift, serta kualitas data. Validasi dilakukan melalui simulasi kondisi ekstrem dan pengecekan kesesuaian hasil dengan threshold yang telah ditentukan untuk memastikan algoritma mampu mendeteksi kondisi abnormal secara akurat.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Smart Notes mampu mendeteksi kondisi abnormal, missing values, dan drift pada data sensor multi-parameter secara efektif. Dari 300 sampel data simulasi, sebagian besar sampel berada dalam kategori NORMAL, menunjukkan bahwa nilai tegangan, arus, daya, temperatur, dan frekuensi berada dalam ambang batas yang ditentukan. Beberapa sampel menunjukkan kondisi ATTENTION, yang muncul akibat adanya missing values, nilai parameter mendekati ambang batas, atau adanya drift perlahan pada sensor tegangan dan daya. Drift paling banyak terdeteksi pada tegangan, yang meningkat secara bertahap pada sampel akhir, serta pada beberapa sampel arus dan temperatur, menunjukkan adanya perubahan jangka panjang yang melebihi 5% dari baseline. Selain itu, terdapat sejumlah kecil sampel dalam kategori OVERLOAD, yang dihasilkan dari injeksi anomali tegangan ekstrem pada sampel tertentu.

Gambar 3



Analisis lebih lanjut terhadap Smart Notes menunjukkan bahwa missing values tersebar acak pada sensor tegangan dan arus, sementara drift dan anomali memberikan indikasi potensi risiko pada sistem listrik. Secara keseluruhan, metode ini dapat memberikan informasi yang komprehensif untuk pemantauan kondisi sensor secara real-time, dengan kemampuan untuk memberikan peringatan dini terhadap kondisi abnormal dan perubahan jangka panjang pada parameter penting.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem Smart Notes yang dikembangkan mampu melakukan deteksi kondisi abnormal, missing values, dan drift pada data multi-sensor dengan tingkat akurasi yang memadai. Temuan ini menegaskan efektivitas pendekatan kombinasi antara pemeriksaan berbasis aturan (rule-based checks) dan deteksi perubahan jangka panjang (drift detection). Sebagian besar data simulasi menunjukkan status NORMAL, yang menandakan bahwa baseline sensor mampu merepresentasikan kondisi stabil dari sistem kelistrikan. Kondisi ini memperkuat hipotesis bahwa perhitungan baseline berbasis median sampel awal dapat dijadikan tolok ukur andal untuk monitoring sistem listrik secara real-time, contoh nya.

Tabel 2

No	ID sampel	Tegangan (V)	Arus(A)	Suhu(C)	Status sistem	Jenis anomali
1	SN-01	220	0.9	30	Normal	-
2	SN-04	219	0.8	31	Normal	-
3	SN-08	228	1.2	39	Attention	Drift arus
4	SN-09	250	1.9	48	Overload	Tegangan dan suhu tinggi

Berdasarkan tabel diatas system smart notes berhasil mengidentifikasi 3 kondisi utama yaitu NORMAL, ATTENTION, OVERLOAD. Kategori ATTENTION muncul ketika sistem mendeteksi anomali ringan seperti nilai sensor yang mendekati ambang batas, adanya missing values, atau perubahan bertahap (drift) pada parameter tegangan dan arus. Pola ini menunjukkan kemampuan sistem dalam mengenali degradasi performa secara perlahan sebelum mencapai kondisi kritis. Deteksi drift terbukti lebih unggul dalam mengidentifikasi potensi kerusakan dini yang tidak terdeteksi oleh pemeriksaan berbasis ambang (threshold-based detection). Temuan ini sejalan dengan penelitian Prasetya dan Widiyari (2025) yang menekankan pentingnya pendekatan multi-sensor dan metode statistik dalam pemeliharaan prediktif.

Kondisi OVERLOAD teridentifikasi pada beberapa sampel yang disimulasikan dengan anomali ekstrem, seperti lonjakan tegangan di atas batas wajar. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu merespons kondisi berisiko tinggi secara otomatis dan memberikan peringatan dini. Fitur klasifikasi status Smart Notes yang terdiri dari NORMAL, ATTENTION, dan OVERLOAD memberikan representasi visual yang intuitif bagi pengguna untuk memahami kondisi alat praktik secara cepat. Dalam konteks laboratorium pendidikan teknik, kemampuan ini sangat membantu dosen atau teknisi dalam mengambil keputusan pemeliharaan berbasis data. Dari perspektif integrasi data, hasil pengujian memperlihatkan bahwa penggabungan antara data sensor dan catatan pengguna berpotensi meningkatkan konteks interpretasi hasil deteksi. Catatan pengguna seperti “suara motor tidak stabil” atau “alat bergetar saat suhu naik” dapat menjadi indikator tambahan yang memperkuat analisis sistem AI.

Integrasi ini sejalan dengan konsep human-AI collaboration yang menempatkan masukan manusia sebagai elemen pelengkap kecerdasan buatan. Dengan demikian, Smart Notes tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantauan otomatis, tetapi juga sebagai media pembelajaran digital yang menumbuhkan budaya analisis dan dokumentasi data pada siswa.

Smart Notes juga memiliki nilai edukatif yang tinggi. Dengan melibatkan siswa dalam proses pencatatan dan interpretasi data, sistem ini mendorong pembelajaran berbasis pengalaman (experiential learning) dan pemahaman mendalam tentang hubungan antara kondisi alat dan parameter kelistrikan. Pendekatan ini mendukung penguatan literasi digital dan kesadaran keselamatan kerja di laboratorium. Namun, hasil penelitian ini masih berbasis data simulasi, sehingga diperlukan validasi lebih lanjut menggunakan data nyata dari alat praktik kelistrikan yang digunakan siswa secara langsung. Penelitian lanjutan diharapkan dapat menguji ketahanan sistem terhadap variasi sensor, noise, dan kondisi lingkungan yang lebih kompleks. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan integratif berbasis machine learning dan user-generated data mampu meningkatkan efektivitas sistem monitoring prediktif di lingkungan pendidikan. Smart Notes berhasil menggabungkan aspek teknis, pedagogis, dan keselamatan dalam satu platform yang mudah digunakan dan dapat dikembangkan lebih lanjut. Potensi implementasinya tidak hanya terbatas pada laboratorium pendidikan, tetapi juga dapat diadaptasi untuk lingkungan industri kecil dan menengah yang membutuhkan sistem monitoring berbiaya rendah namun cerdas.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan menguji prototipe Smart Notes sebagai sistem monitoring prediktif berbasis machine learning yang mengintegrasikan data sensor dan catatan pengguna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mendeteksi kondisi NORMAL, ATTENTION, dan OVERLOAD secara otomatis, sekaligus mengidentifikasi missing values dan drift pada parameter penting seperti tegangan, arus, daya, dan suhu. Integrasi antara rule-based checks dan analisis drift detection terbukti efektif dalam memantau kondisi peralatan secara real-time dan memberikan peringatan dini terhadap potensi kerusakan.

Penelitian ini memberikan kontribusi teoretis terhadap pengembangan model integratif antara sensor-based data dan human-generated data dalam konteks predictive maintenance. Secara praktis, hasil penelitian menunjukkan bahwa Smart Notes dapat meningkatkan efisiensi pemeliharaan, mengurangi downtime, serta memperkuat literasi digital dan budaya keselamatan di lingkungan pendidikan teknik. Meskipun penelitian ini masih berbasis data simulasi, hasil yang diperoleh menjadi dasar kuat untuk uji coba lanjutan pada

data riil di laboratorium maupun industri pendidikan vokasional. Dengan demikian, Smart Notes memiliki potensi besar sebagai solusi monitoring cerdas berbiaya rendah yang relevan dengan kebutuhan era digital.

DAFTAR PUSTAKA

- Fahlevvi, M.R., Kusuma, K.A.P.I., Anugerah, M.W., 2025. Integrasi Teknologi Digital dalam Pengawasan Internal Inspektorat Daerah Kabupaten Gianyar. *J. SYNTAX IMPERATIF J. Ilmu Sos. Dan Pendidik.* 6, 236–249.
- Hadi, A., Widiyasono, N., Slamet, I., Permana, A.A.J., Pasrun, Y.P., Adawiyah, R., Abdurrohman, I., 2024. Buku Ajar Metodologi Penelitian Ilmu Komputer: Dilengkapi dengan Studi Kasus. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Hutomo, R.G.W.S., 2025. Implementasi Pemeliharaan Prediktif Mesin Printing di UMKM Batik X dengan Metode Long Short-term Memory (LSTM) dan Gated Recurrent Unit (GRU) (PhD Thesis). Universitas Islam Indonesia.
- Ilhansyah, R.N., Nugroho, T.B., Romdoni, M., Syahid, A., 2024. Correlation of Informal Study Frequency and English Reading Proficiency Among EFL Learners. *PESHUM J. Pendidik. Sos. Dan Hum.* 4, 1326–1333.
- Jesudass, N., Ramkumar, V., Kumar, S., Venkatesh, L., 2024. Development of a conceptual framework to understand the stakeholder's perspectives on needs and readiness of rural tele-practice for childhood communication disorders. *Wellcome Open Res.* 9, 239.
- Khaidar, A., Fikry, M., 2025. Pengaruh Teknologi Internet of Things terhadap Manajemen Aset Digital secara Real-Time. *J. Tek. Inform.* 17, 84–90.
- Pangaribuan, W., Tambunan, H., Riris, I.D., 2024. Strategi Minimalisasi Kesenjangan Peralatan Dan Bahan Praktikum Laboratorium Ipa Sekolah Menengah Pertama.
- Panudju, A.A.T., Judijanto, L., Apriyanto, A., Jumiono, A., Pajala, S., Suharyanto, S., Demmanggasa, Y., Marfuah, U., Herlina, R.L., Sudarwati, W., others, 2025. Pengantar Teknik Industri. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Prasetya, R.D., Widiyastari, I.R., 2025. Perancangan IoT Monitoring Lingkungan Berbasis Wireless Sensor Network (WSN) Dengan Menerapkan Multi Sensor Network (MSN). *JUPI J. Ilm. Penelit. Dan Pembelajaran Inform.* 10, 652–666.
- Purnama, A.A.T., Turmuzi, T., Novianto, B.D., Kusrini, K., others, 2024. Penerapan Machine Learning untuk Deteksi Kebocoran Gas dalam Sistem Internet of Things: Studi Algoritma K-Nearest Neighbor, in: Seminar Nasional Penelitian (Semnas Corisindo 2024). pp. 537–543.
- Razilu, Z., 2025. Inovasi Pembelajaran Integrasi Artificial Intelligence dalam Teknologi Pendidikan. Penerbit Widina.
- Wahyuzi, Z., 2024. Analisis dan Prediksi Konsumsi Listrik Smart Office Berbasis IoT Terhadap Faktor Internal dan Eksternal Menggunakan Deep Learning (PhD Thesis). Universitas Islam Indonesia.