

Pengaruh Pemeliharaan *Predictive Maintenance* Terhadap Kinerja Sistem Distribusi di Wilayah Rawan Gangguan

Rebekha Harianja¹, Adi Sastra P Tarigan², Siti Anisah³

^{1,2,3}Prodi Teknik Elektro, Universitas Pembangunan Panca Budi, Indonesia

rebekhaharianja2201@gmail.com¹, adisastra_tarigan@yahoo.co.id², sitianisah@dosen.pancabudi.ac.id³

Abstract

This study aims to evaluate the effect of the implementation of predictive maintenance on the performance of electricity distribution systems in disturbance-prone areas. The approach used is regression-based quantitative with the main indicators SAIDI (System Average Interruption Duration Index) and SAIFI (System Average Interruption Frequency Index). The results show that predictive maintenance significantly improves system reliability, reduces the duration and frequency of interruptions, and optimizes operational efficiency. The coefficient of determination of 92.2% indicates that predictive maintenance has a dominant role in improving distribution system performance. Key recommendations include optimizing IoT-based technology, training technicians, and expanding monitoring coverage. This finding confirms that Predictive Maintenance has been proven to have a positive impact on distribution system performance, especially in fault-prone areas. By reducing disruptions, improving reliability, and providing cost savings, Predictive Maintenance offers an effective and efficient solution to improve the quality of energy distribution services. However, challenges related to upfront costs and infrastructure readiness must be addressed to maximize the benefits of this strategy.

Keywords:

Predictive Maintenance
Electricity Distribution System
SAIDI
SAIFI
Energy Efficiency

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penerapan predictive maintenance terhadap kinerja sistem distribusi listrik di wilayah rawan gangguan. Pendekatan yang digunakan adalah kuantitatif berbasis regresi dengan indikator utama SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*). Hasil menunjukkan bahwa *predictive maintenance* secara signifikan meningkatkan keandalan sistem, menurunkan durasi dan frekuensi gangguan, serta mengoptimalkan efisiensi operasional. Koefisien determinasi sebesar 92,2% mengindikasikan bahwa *predictive maintenance* memiliki peran dominan dalam meningkatkan performa sistem distribusi. Rekomendasi utama meliputi optimalisasi teknologi berbasis IoT, pelatihan teknisi, dan perluasan cakupan pemantauan. Temuan ini menegaskan bahwa pemeliharaan berbasis *Predictive Maintenance* telah terbukti memberikan dampak yang positif terhadap kinerja sistem distribusi, terutama di wilayah yang rawan gangguan. Dengan mengurangi gangguan, meningkatkan keandalan, serta memberikan penghematan biaya, *Predictive Maintenance* menawarkan solusi yang efektif serta efisien guna meningkatkan kualitas pelayanan distribusi energi. Namun, tantangan terkait biaya awal dan kesiapan infrastruktur tetap harus diperhatikan untuk memaksimalkan manfaat dari strategi ini.

Corresponding Author:

Rebekha Harianja
Fakultas Sains dan Teknologi

1. PENDAHULUAN

Sistem distribusi listrik yang handal dan berkinerja tinggi sangat penting untuk mendukung kebutuhan energi masyarakat. Namun, daerah-daerah rawan gangguan, seperti yang terpengaruh oleh cuaca ekstrem atau kepadatan vegetasi, sering kali mengalami kendala dalam performa distribusi listrik. Pemeliharaan konvensional sering kali tidak cukup efektif untuk mengatasi masalah ini karena hanya dilakukan setelah gangguan terjadi. Dalam konteks ini, pendekatan *predictive maintenance* dianggap sebagai solusi yang lebih proaktif dan dapat mengurangi frekuensi gangguan serta meningkatkan kinerja sistem. Meskipun tidak diharapkan, gangguan pada sistem tenaga listrik ataupun pasokan energi tidak dapat dihindari. Kerusakan jaringan listrik yang mengakibatkan keluarnya arus listrik dari saluran yang semestinya disebut gangguan pada peralatan listrik (Burhan & Herlambang, 2024).

Terdapat dua faktor menjadi sumber gangguan, yakni internal dan eksternal. Gangguan internal dikarenakan perubahan sifat resistansi, seperti isolator yang retak karena usia, sedangkan gangguan eksternal disebabkan oleh kejadian alam seperti petir, binatang, pohon, debu, hujan, dan sebagainya (Nazara, 2022). Mengingat usia peralatan dan perlunya pembaruan, penyebab internal cenderung menyebabkan gangguan berupa kerusakan peralatan di setiap penyulang dalam jaringan distribusi. Untuk memastikan layanan pelanggan terkait penyaluran listrik tidak terhambat serta tetap berjalan lancar tanpa pemadaman, PLN harus terus meningkatkan mutu pegawainya dan memperbaiki perawatan peralatan dan jaringannya. Dibandingkan dengan kategori gangguan lainnya, gangguan ini jarang terjadi. Jika peralatan tidak diganti, sifat gangguan tidak akan berubah (Lestari, 2020).

Arus hubung singkat disebabkan oleh gangguan eksternal, seperti gangguan hewan yang terhubung ke kabel jaringan distribusi. Gangguan ini jarang terjadi dan bersifat sementara, dan spesies yang dapat menyebabkan gangguan termasuk burung dan ular. Selama musim kemarau, gangguan akibat layang-layang sering terjadi. Jika layang-layang terkait jaringan distribusi tegangan tinggi, akan terjadi hubung singkat, yang dapat mengakibatkan pemadaman listrik. Gangguan terkait layang-layang bersifat sementara. Pohon merupakan penyebab gangguan eksternal tambahan yang biasa terjadi di sepanjang jaringan SUTM (Jalur Udara Tegangan Tinggi). Arus hubung singkat, yang merupakan gangguan sementara yang disebabkan oleh pohon yang terhubung ke jaringan JTM, dapat dicegah dengan perangkat proteksi recloser yang memungkinkan jaringan mentransfer energi listrik.

Pohon juga bisa mengakibatkan gangguan satu fase ke tanah dalam sistem tiga fase, menurut penyelidikan EPRI (Burke dan Lawrence, 1984; EPRI 1209-1, 1983), tetapi gangguan fase-ke-fase lebih umum terjadi. Petir merupakan salah satu contoh gangguan eksternal yang tidak dapat diprediksi dari segi waktu. Gangguan akibat petir hanya terjadi di luar wilayah metropolitan, selain gangguan akibat kontak dengan pohon. Dari semua gangguan tersebut, faktor eksternal, khususnya pohon, memiliki potensi terbesar untuk menimbulkan gangguan. Mengingat pohon sering berada di dekat jaringan listrik, pohon dapat menyebabkan gangguan karena rantingnya menempel pada jaringan akibat angin. Hal ini dapat mengakibatkan masalah fase ke fase atau fase ke tanah. Jarak pohon dan jaringan SUTM harus minimal 2,5 meter, baik pada jarak aman (*Safety Distance*) maupun ruang terbuka (*Right of Way*).

Untuk menciptakan suasana perkotaan yang nyaman dan asri, pohon terus ditanam di berbagai lokasi di seluruh kota, sesuai dengan kebutuhan zaman. Satu orang wajib menanam satu pohon, sesuai dengan Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.20/MENHUT-II/2009; tujuan program ini adalah untuk mencegah degradasi lahan dan perubahan iklim global. Untuk mencegah masalah di masa mendatang, penanaman pohon juga harus mempertimbangkan kondisi lingkungan sekitar, terutama di wilayah metropolitan yang sangat penting untuk mempertimbangkan apakah lokasi tersebut aman di tahun-tahun mendatang. Pemadaman listrik yang tinggi menurunkan indeks keandalan sistem jaringan distribusi; di sisi lain, jika sistem jaringan distribusi mengalami lebih sedikit pemadaman selama periode waktu tertentu daripada ambang batas yang telah ditentukan, sistem tersebut dapat dianggap dapat diandalkan (Pratama, 2017).

Sistem distribusi listrik ialah tahap akhir dalam penyaluran energi listrik dari pembangkit ke konsumen. Sistem ini memastikan bahwa listrik yang dihasilkan dapat digunakan oleh pelanggan dengan andal dan efisien (Yannuansa, 2022). *Predictive Maintenance* (Pemeliharaan Prediktif) adalah strategi pemeliharaan yang memanfaatkan analisis data dan teknologi canggih untuk memprediksi kemungkinan kerusakan atau kegagalan mesin sebelum terjadi. Tujuan utamanya adalah melakukan perawatan tepat waktu berdasarkan prediksi kondisi alat atau mesin, sehingga dapat meminimalisir kerusakan tak terduga serta meminimalkan waktu henti (Anshory, 2024). Pendekatan ini memastikan bahwa sumber daya pemeliharaan digunakan secara optimal dan hanya ketika diperlukan, sehingga mengurangi biaya operasional (Essa A Wahida, 2022).

Penerapan teknologi seperti sensor berbasis *Internet of Things* (IoT), analisis data, dan pembelajaran mesin (*machine learning*) dalam pemeliharaan prediktif memungkinkan pemantauan kondisi peralatan secara *real-time* dan analisis prediktif yang akurat. Hal ini mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam manajemen aset sistem distribusi listrik (Ebrahim Balouji, 2023).

Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 04 Tahun 2009 mengenai Penyelenggaraan Distribusi Tenaga Listrik yang diterbitkan pada tanggal 20 Februari 2009, memuat Peraturan Penyelenggaraan Distribusi Tenaga Listrik sebagai salah satu komponen pokoknya. Peraturan Penyelenggaraan Distribusi Tenaga Listrik ini merupakan kumpulan ketentuan serta spesifikasi yang disusun untuk menjamin terselenggaranya suatu sistem distribusi tenaga listrik yang efektif, aman, dan andal guna memenuhi permintaan tenaga listrik yang terus meningkat (Ridwan et al., 2024). Seluruh pelaku usaha dalam sistem distribusi, baik penyelenggara sistem distribusi (pembangkit listrik skala besar dan kecil dan menengah), pengelola distribusi, konsumen, serta pedagang perantara yang instalasinya terhubung langsung dengan sistem distribusi, wajib tunduk pada peraturan penyelenggara distribusi tenaga listrik yang disusun berlandaskan situasi dan kondisi terkini. (ESDM, 2009). Oleh sebab, Oleh sebab itu, masalah ingin peneliti teliti ialah bagaimana implementasi *predictive maintenance* dapat memengaruhi kinerja sistem distribusi listrik, apa saja tantangan dalam menerapkan *predictive maintenance* di wilayah rawan gangguan, serta seberapa besar pengaruh *predictive maintenance* terhadap peningkatan efisiensi dan keandalan distribusi listrik.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi yang dipakai yakni analisis deskriptif yang dikombinasikan dengan penelitian kuantitatif. Semua wilayah dengan tingkat gangguan distribusi daya yang tinggi, baik karena alasan internal maupun eksternal, dimasukkan dalam penelitian ini. Untuk memberikan representasi yang adil dari beberapa wilayah yang termasuk dalam populasi, sampel dipilih secara acak. Data primer dan sekunder dipakai pada penelitian ini. Data dikumpulkan dari tinjauan pustaka yang mencakup referensi ilmiah, laporan teknis, dan standar operasional yang relevan, serta pengamatan langsung di lapangan dengan wawancara bersama pihak-pihak terkait yang menjadi informan untuk penelitian ini. Data historis tentang gangguan distribusi listrik juga dianalisis untuk mengidentifikasi tren dan pola yang berkaitan dengan keandalan sistem. Teknik analisis data pada penelitian ini memakai analisis indeks keandalan seperti SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), serta analisis regresi linear sederhana untuk mengukur pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat.

3. PEMBAHASAN

3.1. Uji Analisis Data

Tabel 1. Data Statistik SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) Statistics

		Target SAIDI	Realisasi SAIDI
N	Valid	12	11
	Missing	0	1
Mean		103.0233	34.7873
Std. Error of Mean		16.49640	5.59243
Median		103.0250	28.3200
Mode		15.85 ^a	8.62 ^a
Std. Deviation		57.14521	18.54799
Skewness		.000	.380
Std. Error of Skewness		.637	.661
Kurtosis		-1.200	-1.446
Std. Error of Kurtosis		1.232	1.279
Minimum		15.85	8.62
Maximum		190.18	62.33

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Dari tabel 1 tersebut, statistik deskriptif untuk SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), mempunyai nilai rata-rata target SAIDI adalah 103,02 menit, sedangkan rata-rata realisasi SAIDI mencapai 34,79 menit, yang menunjukkan bahwa realisasi jauh lebih rendah dibandingkan target, mengindikasikan peningkatan kinerja distribusi listrik. Nilai standar deviasi target SAIDI sebesar 57,15 menunjukkan variasi

yang cukup besar antar bulan dalam target yang ditetapkan, sementara realisasi SAIDI memiliki standar deviasi lebih kecil, yaitu 18,55, mencerminkan distribusi realisasi yang lebih konsisten. Skewness target SAIDI bernilai 0, menunjukkan distribusi data yang simetris, sedangkan skewness realisasi SAIDI sebesar 0,38 menunjukkan sedikit kecenderungan data ke kanan. Kurtosis target dan realisasi SAIDI masing-masing bernilai -1,20 dan -1,45, yang mengindikasikan distribusi data yang lebih datar daripada distribusi normal. Rentang data target (15,85–190,18) dan realisasi (8,62–62,33) menunjukkan cakupan gangguan yang lebih luas pada target dibandingkan realisasi, ini merupakan informasi efektivitas upaya pemeliharaan prediktif dalam menekan durasi gangguan.

Tabel 2. Data Statistik SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) Statistics

		Target SAIFI	Realisasi SAIFI
N	Valid	12	11
	Missing	0	1
Mean		1.1083	.6009
Std. Error of Mean		.17857	.09847
Median		1.1050	.4800
Mode		.17 ^a	.13 ^a
Std. Deviation		.61857	.32657
Skewness		.031	.469
Std. Error of Skewness		.637	.661
Kurtosis		-1.153	-1.047
Std. Error of Kurtosis		1.232	1.279
Minimum		.17	.13
Maximum		2.08	1.13

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Dari tabel tersebut, data statistik SAIFI menunjukkan bahwa rata-rata target SAIFI adalah 1,1083, sedangkan realisasi rata-rata lebih rendah di angka 0,6009, yang mengindikasikan keberhasilan dalam mengurangi frekuensi gangguan melalui intervensi seperti *predictive maintenance*. Penyimpangan standar target lebih besar (0,61857) dibandingkan dengan realisasi (0,32657), menunjukkan bahwa target SAIFI lebih beragam dibandingkan dengan realisasi aktualnya. Skewness target/target kemiringan (0,031) mendekati simetris, sedangkan skewness realisasi/realisasi kemiringan (0,469) menunjukkan sedikit distribusi ke kanan, mencerminkan sebagian besar data realisasi berada di bawah rata-rata. Nilai kurtosis/keruncingan untuk keduanya adalah negatif, masing-masing -1,153 untuk target dan -1,047 untuk realisasi, menunjukkan distribusi data yang lebih flat/datar dibandingkan distribusi normal. Dengan minimum target sebesar 0,17 dan realisasi minimum 0,13, serta maksimum masing-masing 2,08 dan 1,13, terlihat bahwa realisasi SAIFI secara konsisten lebih baik dibandingkan target, menandakan peningkatan keandalan sistem distribusi listrik.

3.2. Uji Asumsi Klasik

Uji Normalitas

Uji Normalitas yaitu salah satu asumsi klasik penting dalam analisis data kuantitatif. *Standardized residual* adalah nilai residual (selisih antara nilai yang diobservasi dengan nilai yang diprediksi) yang telah dinormalisasi atau dibakukan, sehingga dapat dibandingkan secara langsung dalam satuan standar deviasi. Residual ini digunakan dalam statistik, khususnya dalam analisis regresi, untuk mengevaluasi seberapa jauh suatu pengamatan menyimpang dari prediksi model dalam konteks distribusi keseluruhan data. Hasil uji Normalitas bisa diketahui dari tabel berikut :

Tabel 3. Hasil Uji Normalitas One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Standardized Residual
N		11
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.0000000
	Std. Deviation	.94868330
Most Extreme Differences	Absolute	.187

	Positive	.114
	Negative	-.187
Test Statistic		.187
Asymp. Sig. (2-tailed)		.200 ^{c,d}

- a. Test distribution is Normal.
- b. Calculated from data.
- c. Lilliefors Significance Correction.
- d. This is a lower bound of the true significance.

Sumber : Hasil olah data primer (2025)

Dari tabel 3 bisa diketahui hasil uji normalitas memakai *One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test* membuktikan data residual terstandarisasi memiliki nilai Asymp. Sig. (2-tailed) sebesar 0.200, nilai ini dipakai guna tentukan apakah hasil uji statistik signifikan atau tidak pada tingkat kepercayaan khusus, yang lebih besar dari tingkat signifikansi umum ($\alpha = 0.05$). Hal itu mengindikasikan bahwa distribusi residual memenuhi asumsi normalitas, sehingga data dapat dianggap terdistribusi normal. Parameter normalitas lainnya, seperti mean residual sebesar 0.0000000 dan standar deviasi sebesar 0.94868330, juga mendukung hasil tersebut. Nilai statistik uji sebesar 0.187 berada dalam rentang yang tidak signifikan, sehingga tidak ada bukti kuat untuk menolak hipotesis nol bahwa residual berasal dari distribusi normal. Maka dari itu, model regresi yang digunakan valid dalam hal asumsi normalitas, di mana menjadi salah satu syarat penting pada analisis regresi.

Uji Heteroskedastisitas

Uji Heteroskedastisitas yaitu pengujian dalam analisis regresi untuk menentukan apakah terdapat variabilitas yang tidak konstan dalam residual (galat) dari model regresi. Heteroskedastisitas terjadi ketika varians residual tidak sama di seluruh rentang data independen, yang bisa mengakibatkan hasil estimasi regresi menjadi tidak efisien serta statistik uji tidak valid. Adapun hasil Uji Heteroskedastisitas bisa diketahui dari tabel berikut:

Tabel 4. Hasil Uji Heteroskedastisitas ANOVA^a

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	.225	1	.225	.138	.719 ^b
Residual	14.642	9	1.627		
Total	14.867	10			

- a. Dependent Variable: RES_Quadratic
- b. Predictors: (Constant), Predictive Maintenance

Sumber : Hasil olah data primer (2025)

Hasil uji heteroskedastisitas pada tabel di atas menggunakan metode Breusch-Pagan menunjukkan bahwa nilai signifikansi (Sig.) yakni 0.719, yang lebih besar dari tingkat signifikansi standar 0.05. Hal itu membuktikan tidak ada heteroskedastisitas pada model regresi, sehingga asumsi klasik mengenai varians residual yang homogen terpenuhi. Nilai Sum of Squares Regression sebesar 0.225 menunjukkan bahwa sebagian kecil variasi dalam residual dapat dijelaskan oleh variabel independen (*predictive maintenance*). Sementara itu, Sum of Squares Residual yang jauh lebih besar (14.642) menunjukkan bahwa variabel lainnya lebih dominan dalam menjelaskan variasi residual. Secara keseluruhan, hasil ini memastikan bahwa model regresi yang dipakai layak dan valid untuk digunakan dalam analisis lebih lanjut, terutama dalam mengevaluasi pengaruh *predictive maintenance* terhadap kinerja sistem distribusi listrik.

Tabel 5. Hasil Uji Heteroskedastisitas ANOVA^a

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	.225	1	.225	.138	.719 ^b
Residual	14.642	9	1.627		
Total	14.867	10			

- a. Dependent Variable: RES_Quadratic

b. Predictors: (Constant), Predictive Maintenance
 Sumber : Hasil olah data primer (2025)

Hasil uji heteroskedastisitas pada tabel di atas menggunakan metode Breusch-Pagan menunjukkan bahwa nilai signifikansi (Sig.) yakni 0.719, yang lebih besar dari tingkat signifikansi standar 0.05. Hal ini membuktikan bahwa tidak terdapat heteroskedastisitas dalam model regresi, sehingga asumsi klasik mengenai varians residual yang homogen terpenuhi. Nilai Sum of Squares Regression sebesar 0.225 menunjukkan bahwa sebagian kecil variasi dalam residual dapat dijelaskan oleh variabel independen (*predictive maintenance*). Sementara itu, Sum of Squares Residual yang jauh lebih besar (14.642) menunjukkan bahwa variabel lainnya lebih dominan dalam menjelaskan variasi residual. Secara keseluruhan, hasil ini memastikan bahwa model regresi yang dipakai layak dan valid untuk digunakan dalam analisis lebih lanjut, terutama dalam mengevaluasi pengaruh *predictive maintenance* terhadap kinerja sistem distribusi listrik.

3.3. Uji Regresi Linear Sederhana

Analisis regresi linier sederhana yakni metode statistik yang dipakai agar mengerti hubungan antara satu variabel dependen (tergantung) dengan satu atau lebih variabel independen (bebas). Model ini sering dipakai untuk prediksi dan inferensi hubungan antar variabel. Adapun data yang diperoleh bisa diketahui dari tabel berikut:

Tabel 6. Data Koefisien Determinasi (R²)

Model Summary ^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.960 ^a	.922	.913	5.57370

a. Predictors: (Constant), Predictive Maintenance
 b. Dependent Variable: Kinerja Sistem Distribusi Listrik
 Sumber : Hasil olah data primer (2025)

Dari tabel dapat dilihat hasil analisis regresi linear membuktikan nilai koefisien korelasi (R) yakni 0.960, yang mengindikasikan hubungan yang sangat kuat antara penerapan *predictive maintenance* serta kinerja sistem distribusi listrik. Nilai koefisien determinasi (R²) sebesar 0.922 berarti bahwa 92.2% variabilitas dalam kinerja sistem distribusi listrik dapat dijelaskan oleh *predictive maintenance*. Adjusted R² sebesar 0.913 memperkuat keandalan model dengan memperhitungkan jumlah variabel dalam analisis, menunjukkan bahwa model ini sangat relevan dan akurat. Standard error sebesar 5.57370 menunjukkan penyimpangan rata-rata dari prediksi terhadap nilai aktual, yang relatif kecil mengingat skala data, menandakan tingkat kesalahan yang dapat diterima. Dengan demikian, model ini memberikan bukti kuat bahwa *predictive maintenance* secara signifikan memengaruhi peningkatan efisiensi dan keandalan sistem distribusi listrik.

3.4. Uji Hipotesis

Tabel 7. Uji Hipotesis

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2.613	3.604		.725	.487
	Predictive Maintenance	.341	.033	.960	10.279	.000

a. Dependent Variable: Kinerja Sistem Distribusi Listrik
 Sumber : Hasil olah data primer (2025)

Dari tabel terlihat hasil analisis regresi menunjukkan bahwa variabel *predictive maintenance* memiliki koefisien regresi sebesar 0.341 dengan tingkat signifikansi 0.000, yang berada jauh di bawah batas 0.05. Hal ini menunjukkan bahwa *predictive maintenance* secara signifikan memengaruhi kinerja sistem distribusi listrik, dengan arah hubungan positif. Koefisien standardized beta sebesar 0.960 mengindikasikan

pengaruh *predictive maintenance* yang sangat kuat terhadap kinerja, dimana setiap peningkatan 1 unit pada *predictive maintenance* akan meningkatkan kinerja sebesar 0.341 unit. Intersep sebesar 2.613 menunjukkan nilai awal kinerja sistem distribusi listrik saat *predictive maintenance* tidak diterapkan. Secara keseluruhan, model ini memiliki validitas statistik yang baik, sehingga dapat disimpulkan bahwa *predictive maintenance* berperan penting dalam meningkatkan keandalan distribusi listrik.

3.5. Pembahasan

Pengaruh *Predictive Maintenance* terhadap Kinerja Sistem Distribusi Listrik di Wilayah Rawan Gangguan

Penerapan *predictive maintenance* terbukti memberikan dampak yang signifikan terhadap kinerja sistem distribusi listrik, terutama di wilayah yang sering mengalami gangguan. Berdasarkan hasil regresi, koefisien regresi sebesar 0.341 menunjukkan bahwa setiap peningkatan dalam penerapan *predictive maintenance* akan meningkatkan kinerja sistem distribusi listrik sebesar 0.341 unit. Dengan tingkat signifikansi 0.000, hubungan antara *predictive maintenance* dan kinerja sistem distribusi listrik sangat kuat dan tidak dapat dianggap kebetulan. Koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.922 juga menegaskan bahwa sebagian besar variasi kinerja dapat dijelaskan oleh keberhasilan implementasi *predictive maintenance*, dengan hanya 7.8% yang dipengaruhi oleh faktor lain. Hasil tersebut membuktikan teknologi pemeliharaan prediktif memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi dan mengurangi gangguan pada sistem distribusi listrik.

Kinerja sistem distribusi listrik diukur dengan dua parameter utama, yaitu SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) dan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*). Data yang menunjukkan realisasi SAIDI dan SAIFI yang lebih rendah dibandingkan dengan target mengindikasikan bahwa intervensi *predictive maintenance* telah berhasil menurunkan durasi dan frekuensi gangguan. Dengan mengurangi waktu pemadaman dan jumlah pemadaman yang terjadi, sistem distribusi listrik menjadi lebih andal dan dapat diandalkan oleh konsumen. Selain itu, pengurangan gangguan tersebut juga memberikan dampak positif pada biaya operasional perusahaan listrik, karena perbaikan atau pemeliharaan dapat dilakukan secara lebih proaktif sebelum kerusakan besar terjadi. Oleh karena itu, *predictive maintenance* dapat dianggap sebagai salah satu langkah penting untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem distribusi listrik secara keseluruhan.

Namun, meskipun penerapan *predictive maintenance* telah menunjukkan hasil yang positif, tantangan dalam implementasinya tetap ada. Faktor-faktor seperti ketersediaan infrastruktur yang mendukung, kesulitan dalam analisis data yang kompleks, dan kebutuhan akan tenaga kerja yang terlatih dapat memengaruhi efektivitas teknologi ini. Oleh karena itu, penting untuk terus mengoptimalkan penerapan *predictive maintenance* dengan menyesuaikan strategi dengan kondisi dan kebutuhan wilayah distribusi listrik. Penyempurnaan sistem monitoring dan analisis data secara real-time akan memungkinkan perusahaan untuk merespons potensi gangguan dengan lebih cepat dan tepat. Secara keseluruhan, penerapan *predictive maintenance* yang tepat akan meningkatkan kinerja sistem distribusi listrik secara signifikan, terutama di wilayah dengan tingkat gangguan tinggi.

Faktor-Faktor yang Berkontribusi pada Keberhasilan atau Kegagalan *Predictive Maintenance*

Keberhasilan penerapan *predictive maintenance* dalam meningkatkan kinerja sistem distribusi listrik sangat dipengaruhi oleh kualitas teknologi yang digunakan. Teknologi sensor dan perangkat IoT (Internet of Things) memainkan peran krusial dalam memantau kondisi peralatan secara terus-menerus dan mendeteksi tanda-tanda kerusakan lebih awal. Sistem pemantauan ini dapat mengumpulkan data dari berbagai titik di jaringan distribusi dan memberikan informasi yang lebih akurat tentang kondisi peralatan yang ada. Dengan data tersebut, tim teknis dapat mengambil tindakan pencegahan yang lebih cepat, mencegah kerusakan lebih lanjut, dan mengurangi waktu gangguan. Oleh karena itu, kemampuan teknologi untuk memberikan data yang tepat waktu dan akurat adalah salah satu faktor utama dalam keberhasilan *predictive maintenance*.

Selain itu, pelatihan dan peningkatan keterampilan tenaga teknis dalam menganalisis data juga menjadi faktor penting. Sumber daya manusia yang terlatih dengan baik akan mampu menginterpretasikan data yang dihasilkan oleh sistem pemantauan dengan lebih efektif, sehingga keputusan yang diambil lebih tepat dan sesuai. Penggunaan perangkat analisis data berbasis kecerdasan buatan (AI) dan pembelajaran mesin (*machine learning*) dapat membantu dalam memprediksi kerusakan dengan lebih akurat dan mengurangi kemungkinan kesalahan manusia. Namun, di banyak wilayah distribusi, keterbatasan dalam jumlah teknisi terlatih dan anggaran untuk pelatihan masih menjadi tantangan. Untuk itu, penting bagi perusahaan distribusi listrik untuk menginvestasikan lebih banyak dalam pelatihan teknisi agar mereka dapat memanfaatkan teknologi secara optimal.

Faktor eksternal, seperti kondisi cuaca dan lingkungan, juga turut memengaruhi efektivitas *predictive maintenance*. Cuaca ekstrem, seperti badai atau hujan deras, dapat menyebabkan kerusakan yang tidak terduga pada peralatan distribusi yang sulit diprediksi hanya dengan menggunakan data historis atau sensor. Selain itu, faktor usia dan kondisi fisik dari peralatan distribusi listrik juga memengaruhi kinerja *predictive maintenance*. Peralatan yang sudah tua atau rusak parah mungkin memerlukan pendekatan pemeliharaan yang lebih intensif dan tidak sepenuhnya bergantung pada teknologi prediktif. Maka dari itu, perlu adanya pendekatan lebih holistik dalam penerapan *predictive maintenance*, dengan mempertimbangkan baik teknologi maupun kondisi lingkungan serta usia peralatan yang ada.

Rekomendasi untuk Optimalisasi Kinerja Distribusi Listrik melalui Pemeliharaan Prediktif

Untuk meningkatkan kinerja distribusi listrik melalui *predictive maintenance*, perusahaan distribusi listrik disarankan untuk meningkatkan kapasitas teknisi melalui pelatihan berkelanjutan. Meningkatkan pemahaman teknisi dalam mengelola dan menganalisis data besar yang dihasilkan oleh sistem prediktif akan meningkatkan respons terhadap kerusakan dan gangguan. Pelatihan ini tidak hanya terbatas pada penggunaan alat, tetapi juga harus mencakup analisis data dan interpretasi hasil prediksi yang lebih mendalam. Dengan demikian, teknisi dapat lebih cepat dan akurat dalam merespons masalah yang terdeteksi oleh sistem. Selain itu, pelatihan harus mencakup pemahaman tentang cara-cara pencegahan dan perbaikan yang proaktif, untuk memastikan bahwa gangguan dapat diminimalkan.

Rekomendasi selanjutnya adalah investasi dalam perangkat lunak dan sensor berbasis IoT yang lebih canggih untuk mendukung pengumpulan dan analisis data secara *real-time*. Sensor-sensor ini harus dipasang di titik-titik kritis dalam jaringan distribusi untuk memantau kondisi perangkat secara terus-menerus. Teknologi IoT memungkinkan pengumpulan data dalam skala besar, yang kemudian dapat dianalisis untuk mendeteksi anomali yang mungkin menunjukkan potensi kerusakan. Dengan memiliki data yang akurat dan *real-time*, perusahaan dapat lebih mudah mengambil keputusan yang berbasis data dalam merencanakan pemeliharaan atau perbaikan. Implementasi teknologi ini diharapkan dapat lebih mengoptimalkan peran *predictive maintenance* dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi.

Selain itu, perusahaan distribusi listrik disarankan untuk memperluas cakupan pemantauan dan analisis data prediktif ke seluruh wilayah rawan gangguan, yang memungkinkan deteksi dini kerusakan di area yang lebih luas. Ini tidak hanya akan meningkatkan efektivitas pemeliharaan tetapi juga mengurangi risiko gangguan besar yang dapat memengaruhi banyak konsumen. Dengan pendekatan pemeliharaan yang lebih menyeluruh dan data yang lebih lengkap, perusahaan dapat mengidentifikasi masalah lebih cepat dan mengurangi dampak gangguan. Kerja sama yang lebih erat antara tim teknis dan manajemen juga diperlukan untuk menyusun strategi pemeliharaan yang lebih terintegrasi dan lebih efisien. Evaluasi berkala terhadap program *predictive maintenance* juga sangat penting, sehingga perusahaan dapat menyesuaikan strategi berdasarkan perubahan dalam kondisi operasional atau kondisi eksternal yang memengaruhi distribusi listrik.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Penerapan *predictive maintenance* terbukti secara signifikan meningkatkan kinerja sistem distribusi listrik, terutama di wilayah rawan gangguan. Melalui deteksi dini dan pemantauan *real-time*, *predictive maintenance* mampu menurunkan frekuensi dan durasi gangguan serta mengoptimalkan efisiensi operasional. Analisis menunjukkan bahwa teknologi ini berkontribusi sebesar 92,2% terhadap variabilitas kinerja sistem. Selain itu, hasil ini menegaskan pentingnya integrasi teknologi canggih seperti IoT dan pembelajaran mesin dalam mendukung keandalan sistem.

4.2 Saran

Untuk optimalisasi lebih lanjut, disarankan agar perusahaan listrik meningkatkan investasi pada perangkat monitoring berbasis IoT dan algoritma prediktif yang canggih. Pelatihan teknisi secara berkelanjutan harus menjadi prioritas guna memastikan kemampuan dalam menganalisis data dan mengambil keputusan berbasis bukti. Perluasan cakupan pemantauan, terutama di wilayah rawan gangguan, juga perlu dilakukan untuk mendeteksi potensi gangguan lebih awal. Evaluasi berkala terhadap efektivitas *predictive maintenance* harus terus dilakukan untuk memastikan implementasi yang sesuai dengan dinamika operasional dan kebutuhan sistem distribusi listrik.

REFERENSI

Agung, Ramadan., Hermansyah Alam & Amani Darma Tarigan. 2025. Analisis Perbandingan SAIDI-SAIFI Pada Penyulang 20 Kv Sebelum dan Setelah Pemeliharaan di PT PLN (Persero) ULP Meulaboh

- Kota. *The journal Serambi Engineering (JSE)*, 9(2), 8812 – 8819, <https://jse.serambimekkah.id/index.php/jse/article/view/162>
- Anshory, Y. H. (2024). Preventive Maintenance as a Key to Reliable Power Distribution in Indonesia. *Procedia of Engineering and Life Science*, 658 - 664.
- Burhan, R., & Herlambang, M. B. (2024). *Implementasi Predictive Maintenance Pada Bearing Dengan Menggunakan Machine Learning Untuk Memprediksi Temperatur*. 9(1).
- Ebrahim Balouji, K. B. (2023). Distribution Network Fault Prediction Utilising Protection Relay Disturbance Recordings And Machine Learning. *Electrical Engineering and Systems Science*, 1 - 5 . Diambil kembali dari <https://arxiv.org/pdf/2306.12724>
- ESDM, K. (2009). Aturan Distribusi Tenaga Listrik," Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik . *Informasi Hukum ESDM*, 9.
- Essa A Wahida, M. Z. (2022). Pengembangan Algoritma Predictive Maintenance Pada Coal Pfister Feeder Dengan Pendekatan Machine Learning. *Sains, Aplikasi, Komputasi dan Teknologi Informasi*(4), 22 - 26 .
- Florenza, Widya & M. Rizky Syahputra,. 2022. Analisis Keandalan Sistem Penyaluran Energi Listrik pada Penyulang BJ-02 pada PT. PLN (Persero) ULP Kuala. *Journal of Syntax Literate*, 7(9). <https://jurnal.syntaxliterate.co.id/index.php/syntax-literate/article/view/9421>
- Hutasoi, RE., Zuraidah Tharo & Pristisal Wibowo. 2019. *Analisa keandalan sistem jaringan distribusi 20 KV PT. PLN (Persero) rayon delitua berbasis matlab*. Univ. Panca Budi. <https://repository.pancabudi.ac.id/website/detail/17284/>
- Lestari, E. P. (2020). "Maintenance Preventive Pada Transformator Step-Down AV05 Dengan Kapasitas 150 KV Di PT. Krakatau Daya Listrik. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan FKIP*, 485-493. Diambil kembali dari <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/psnp/article/view/9977>
- Nazara, K. Y. (2022). Perancangan Smart Predictive Maintenance untuk Mesin Produksi. *Seminar Nasional Official Statistics*, 2022(1), 691–702. <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2022i1.1575>
- Pratama, N. E. (2017). Analisa Gangguan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 KV Penyulang Raya 14 di PT. PLN (Persero) Area Pontianak. *Jurnal Elektro*, 6 - 7.
- Ridwan, M., Ridal, Y., & Rauf, R. (2024). *ANALISA PENGARUH PEMELIHARAAN PREVENTIF PADA PENYULANG GASAN DI PT. PLN (PERSERO) ULPPARIAMAN*. 4(1), 33–37.
- Saing, Demong. 2021. *Evaluasi Keandalan Jaringan Listrik 20 kV Berdasarkan Nilai SAIDI-SAIFI Terhadap Pemasangan Tabung Urgent Cut Out Di PLN (Persero) ULP Medan Baru*. Univ Panca Budi. <https://eprints.pancabudi.ac.id/id/eprint/366/>
- Saragih, Naya Sari,, Parlin Siagian & Muhammad Fahreza. (2024). *ANALISIS JARINGAN LISTRIK 20 KV BERDASARKAN NILAI SAIDI-SAIFI TERHADAP PEMASANGAN TABUNG URGENT CUT OUT DI PT. PLN (PERSERO) ULP BINJAI TIMUR*. *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, (13),1. <https://ejournal.poltekharber.ac.id/index.php/powerelektro/article/view/6545>
- Sinaga, JD., Solly Aryza, & Zuraidah Tharo. (2024). An analysis of protection system reliability in the distribution network at PT PLN Rayon West Binjai. *Jurnal Scientia*, 13(01), 629-638. <https://seaninstitute.org/infor/index.php/pendidikan/article/view/2245>
- Yannuansa, M. S. (2022). Perawatan Tansformator Distribusi Untuk Menjaga Keandalan Sistem Distribusi Jaringan Listrik. *Jurnal Eletronika, Kelistrikan, Control, Robot, Power, Telekomunikasi, Komputer, AI*, 25 - 33.