

Sistem Deteksi Gangguan Jaringan Listrik Berbasis Artificial Intelligence

Eva Ruswandi^{1*}, Zaenon Arsyadi¹

¹ Program studi teknik elektro Universitas Mataram Indonesia

Email: Evaruswandi22@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history

Received: July 22, 2026
Revised: August 12, 2026
Accepted: August 25, 2026
Published: August 30, 2026

Keywords

Artificial Intelligence,
Fault Detection,
Electric Power Grid,
Smart Grid,
Predictive Maintenance.



License by CC-BY-SA
Copyright © 2026, The Author(s).

ABSTRACT

The management of electric power grids is undergoing a significant transformation from conventional reactive approaches toward predictive and intelligent systems through the integration of Artificial Intelligence (AI). This transformation enables real-time data analysis, anomaly detection, automated fault diagnosis, and more accurate decision-making. This article aims to analyze the development, effectiveness, and implementation trends of AI-based electric power grid fault detection systems based on findings from previously published studies. A descriptive-comparative qualitative approach was employed through a systematic literature review of reputable scientific articles addressing the application of AI in fault detection, grid condition monitoring, equipment failure prediction, and decision-making in electric power systems. The analysis involved identifying major research themes, comparing AI methods, and synthesizing the advantages and limitations of each approach. The findings indicate that machine learning and deep learning techniques, particularly when integrated with Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems and the Internet of Things (IoT), can significantly improve fault detection accuracy, accelerate fault localization, reduce outage duration, and enhance the reliability and resilience of electric power systems. AI integration also facilitates predictive maintenance, real-time operational decision-making, and the development of self-healing smart grids. However, challenges remain regarding data quality, cybersecurity, system interoperability, computational requirements, and model interpretability. Future research should therefore focus on developing adaptive, transparent, and robust AI models capable of operating effectively in complex and dynamic power grid environments.

How to cite: Ruswandi, E., & Arsyadi, Z. (2026) Sistem Deteksi Gangguan Jaringan Listrik Berbasis Artificial Intelligence. *Primary Journal of Multidisciplinary Research*, 2(4), 121-131. doi: <https://doi.org/10.70716/pjmr.v2i4.795>

PENDAHULUAN

Transformasi digital pada sektor ketenagalistrikan telah mendorong perubahan paradigma pengelolaan jaringan listrik dari sistem konvensional menuju smart grid yang mengutamakan otomatisasi, konektivitas, dan pengambilan keputusan berbasis data. Modernisasi jaringan listrik dipicu oleh meningkatnya kebutuhan energi, penetrasi sumber energi terbarukan, elektrifikasi sektor industri dan transportasi, serta tuntutan terhadap kontinuitas pasokan listrik yang semakin tinggi. Perubahan tersebut menyebabkan sistem tenaga listrik menjadi semakin kompleks karena melibatkan jutaan perangkat yang saling terhubung dan menghasilkan data operasional dalam jumlah besar. Kompleksitas tersebut menuntut adanya sistem deteksi gangguan yang mampu bekerja secara cepat, akurat, dan adaptif terhadap berbagai kondisi operasi jaringan. Dalam konteks ini, Artificial Intelligence (AI) berkembang sebagai teknologi yang mampu meningkatkan kemampuan analisis data, prediksi gangguan, serta pengambilan keputusan secara otomatis pada sistem tenaga listrik (Syu et al., 2023; Kanimozhi et al., 2024).

Gangguan pada jaringan listrik merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi keandalan sistem distribusi dan transmisi tenaga listrik. Gangguan dapat berasal dari kegagalan peralatan, hubungan singkat, gangguan impedansi tinggi, sambaran petir, bencana alam, kesalahan operasi, maupun serangan siber terhadap infrastruktur kelistrikan. Apabila gangguan tidak dapat dideteksi secara cepat, maka dampaknya dapat berupa pemadaman listrik yang meluas, penurunan kualitas daya, kerusakan peralatan, hingga kerugian ekonomi yang signifikan. Oleh karena itu, sistem deteksi gangguan menjadi komponen penting dalam menjaga stabilitas dan keamanan operasi jaringan listrik modern (Wang & Dehghanian, 2020; Zhang, 2024).

Selama beberapa dekade, deteksi gangguan pada jaringan listrik masih didominasi oleh pendekatan berbasis aturan (rule-based system) dan metode analisis matematis konvensional. Pendekatan tersebut

memiliki keterbatasan dalam menghadapi dinamika sistem tenaga listrik modern yang menghasilkan data dalam volume besar dengan karakteristik yang semakin kompleks. Sistem konvensional umumnya hanya mampu mendeteksi gangguan setelah terjadi, sehingga proses identifikasi penyebab gangguan dan pemulihan jaringan membutuhkan waktu yang relatif lama. Selain itu, peningkatan integrasi pembangkit energi terbarukan, perangkat Internet of Things (IoT), serta sistem otomasi menyebabkan pola gangguan menjadi lebih dinamis sehingga memerlukan metode analisis yang lebih adaptif (Qiu et al., 2022; Liu, 2023).

Perkembangan teknologi Artificial Intelligence memberikan pendekatan baru dalam mendukung sistem pemantauan dan deteksi gangguan jaringan listrik. AI memungkinkan komputer mempelajari pola historis gangguan, mengenali anomali secara otomatis, melakukan klasifikasi jenis gangguan, serta memprediksi potensi kegagalan sebelum terjadi kerusakan yang lebih besar. Berbagai algoritma seperti machine learning, deep learning, artificial neural network, support vector machine, random forest, hingga convolutional neural network telah dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam mengidentifikasi kondisi abnormal secara real-time. Pendekatan tersebut tidak hanya meningkatkan kecepatan deteksi, tetapi juga mengurangi kesalahan identifikasi dibandingkan metode konvensional (Almasoudi, 2023; Duan, 2024).

Implementasi AI dalam sistem tenaga listrik semakin berkembang seiring dengan meningkatnya pemanfaatan sensor cerdas, phasor measurement unit (PMU), smart meter, dan sistem Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA). Integrasi berbagai perangkat tersebut menghasilkan data operasional secara kontinu yang dapat dianalisis menggunakan algoritma AI untuk mendeteksi perubahan kondisi jaringan dalam waktu nyata. Rabbi (2026) menjelaskan bahwa integrasi AI dengan SCADA mampu meningkatkan kemampuan predictive fault detection, pemantauan kesehatan sistem (cyber health monitoring), serta meningkatkan keandalan jaringan listrik melalui analisis data multidimensi secara otomatis. Pendekatan tersebut memungkinkan operator sistem memperoleh informasi gangguan sebelum berkembang menjadi kegagalan sistem yang lebih besar.

Selain meningkatkan akurasi deteksi gangguan, AI juga berperan dalam mendukung kegiatan inspeksi dan pemeliharaan jaringan listrik. Huang et al. (2025) menunjukkan bahwa sistem inspeksi cerdas berbasis AI mampu mengidentifikasi kondisi abnormal pada infrastruktur jaringan secara lebih cepat dibandingkan inspeksi manual. Pemanfaatan teknologi visi komputer (computer vision), pengolahan citra, serta analisis data sensor memungkinkan proses inspeksi dilakukan secara otomatis dengan tingkat konsistensi yang lebih tinggi. Hal tersebut memberikan kontribusi terhadap peningkatan keselamatan kerja sekaligus menurunkan biaya operasional pemeliharaan jaringan.

Kajian yang dilakukan oleh Padlak et al. (2025) menunjukkan bahwa perkembangan AI telah menghasilkan berbagai pendekatan baru dalam deteksi gangguan dan restorasi sistem tenaga listrik. Berbagai algoritma pembelajaran mesin mampu mengenali karakteristik gangguan berdasarkan pola arus, tegangan, frekuensi, maupun parameter operasional lainnya. Selain itu, AI juga mendukung proses restorasi otomatis melalui rekomendasi tindakan korektif berdasarkan data historis serta kondisi sistem secara real-time. Kemampuan tersebut menjadi salah satu fondasi penting dalam pengembangan jaringan listrik cerdas yang memiliki kemampuan self-healing.

Konsep self-healing grid menjadi salah satu arah pengembangan sistem tenaga listrik modern. Pada konsep ini, jaringan listrik tidak hanya mampu mendeteksi gangguan secara otomatis, tetapi juga melakukan isolasi lokasi gangguan serta memulihkan suplai listrik melalui konfigurasi ulang jaringan tanpa intervensi operator secara langsung. Maurya (2024) menjelaskan bahwa penerapan AI dalam self-healing grid mampu mengurangi durasi pemadaman serta meningkatkan ketahanan sistem terhadap berbagai gangguan operasional. Pendekatan ini menjadi salah satu karakteristik utama smart grid generasi baru yang mengutamakan otomatisasi dan respons cepat terhadap kondisi darurat.

Di sisi lain, perkembangan AI juga mendorong peningkatan kemampuan sistem dalam mendeteksi anomali pada jaringan distribusi maupun transmisi tenaga listrik. Xu et al. (2025) mengembangkan pendekatan berbasis deep learning untuk mendeteksi anomali kehilangan daya (line loss anomalies) yang sulit dikenali menggunakan metode statistik konvensional. Sementara itu, Liu et al. (2025) mengembangkan metode identifikasi abnormalitas pada sistem pemantauan jarak jauh yang mampu meningkatkan akurasi deteksi kondisi peralatan listrik secara real-time. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa AI mampu memanfaatkan data dalam jumlah besar untuk menghasilkan diagnosis yang lebih akurat.

Perkembangan teknologi deep learning juga memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan performa sistem deteksi gangguan. Liu et al. (2025) melaporkan bahwa algoritma deep learning memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mengenali pola kompleks dibandingkan metode pembelajaran mesin tradisional. Hasil tersebut diperkuat oleh penelitian Duan (2024) yang menunjukkan bahwa pendekatan deep learning anomaly detection mampu mengidentifikasi gangguan tersembunyi pada sistem distribusi listrik dengan tingkat sensitivitas yang tinggi. Kemampuan tersebut sangat penting dalam mendukung operasi jaringan listrik modern yang memiliki karakteristik dinamis dan kompleks.

Selain aspek teknis, keamanan siber menjadi isu yang semakin penting dalam pengembangan sistem tenaga listrik berbasis AI. Digitalisasi infrastruktur kelistrikan meningkatkan risiko serangan siber terhadap sistem kendali dan komunikasi jaringan listrik. Huiqin et al. (2023) menunjukkan bahwa teknologi AI dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi pola serangan terhadap jaringan tenaga listrik melalui mekanisme active defense detection. Dengan demikian, AI tidak hanya berfungsi sebagai alat deteksi gangguan fisik, tetapi juga sebagai komponen penting dalam meningkatkan keamanan infrastruktur digital sistem tenaga listrik.

Implementasi AI juga memberikan manfaat dalam mendukung pengambilan keputusan operasional. Aulia et al. (2025) mengembangkan sistem pendukung keputusan berbasis AI yang mampu memberikan rekomendasi penanganan gangguan secara real-time berdasarkan kondisi jaringan. Pendekatan tersebut mempercepat proses respons operator, meningkatkan efisiensi operasi, serta mengurangi kemungkinan kesalahan pengambilan keputusan selama kondisi darurat. Hal serupa disampaikan oleh Chen et al. (2024) yang menunjukkan bahwa integrasi AI dalam operasi dan pemeliharaan jaringan listrik mampu meningkatkan efisiensi inspeksi, prediksi kegagalan peralatan, dan optimalisasi jadwal pemeliharaan.

Walaupun berbagai penelitian menunjukkan keunggulan AI dalam deteksi gangguan jaringan listrik, hasil-hasil penelitian tersebut masih memperlihatkan variasi pada aspek metode, algoritma, jenis data, ruang lingkup implementasi, serta indikator evaluasi yang digunakan. Sebagian penelitian lebih menitikberatkan pada klasifikasi gangguan menggunakan machine learning, sedangkan penelitian lainnya mengembangkan sistem berbasis deep learning, SCADA cerdas, sistem pendukung keputusan, maupun self-healing grid. Variasi tersebut menunjukkan bahwa belum terdapat sintesis komprehensif mengenai perkembangan pendekatan AI yang paling efektif untuk mendukung sistem deteksi gangguan jaringan listrik. Selain itu, sebagian besar penelitian berfokus pada aspek teknis algoritma tanpa membandingkan kontribusi masing-masing pendekatan terhadap peningkatan keandalan sistem tenaga listrik secara menyeluruh.

Berdasarkan kondisi tersebut, masih terdapat research gap berupa belum tersedianya kajian komparatif yang mengintegrasikan berbagai hasil penelitian mengenai penerapan Artificial Intelligence dalam sistem deteksi gangguan jaringan listrik. Sintesis terhadap berbagai pendekatan AI diperlukan untuk mengidentifikasi pola perkembangan teknologi, persamaan dan perbedaan metode yang digunakan, keunggulan masing-masing algoritma, serta tantangan implementasi pada sistem tenaga listrik modern. Kajian semacam ini penting sebagai dasar dalam menentukan arah pengembangan teknologi AI yang lebih adaptif, akurat, aman, dan sesuai dengan kebutuhan transformasi menuju smart grid.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan hasil-hasil penelitian terdahulu mengenai penerapan Artificial Intelligence dalam sistem deteksi gangguan jaringan listrik, mengidentifikasi perkembangan metode yang digunakan, mengevaluasi efektivitas berbagai pendekatan AI dalam meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik, serta merumuskan implikasi dan arah pengembangan teknologi AI untuk mendukung sistem jaringan listrik cerdas yang lebih andal, efisien, dan berkelanjutan. Seluruh analisis dilakukan melalui pendekatan studi literatur deskriptif-komparatif sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi konseptual bagi pengembangan penelitian selanjutnya maupun implementasi teknologi AI pada sistem tenaga listrik modern.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif-komparatif berbasis studi literatur (qualitative descriptive-comparative literature study) untuk menganalisis perkembangan penerapan Artificial Intelligence (AI) dalam sistem deteksi gangguan jaringan listrik. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak melakukan pengujian lapangan maupun eksperimen primer, tetapi berfokus pada kajian

sistematis terhadap hasil penelitian terdahulu yang telah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah dan prosiding konferensi internasional. Studi literatur memungkinkan peneliti mengidentifikasi pola, membandingkan metode, mengevaluasi hasil penelitian, serta menemukan kesenjangan penelitian terkait implementasi AI pada sistem tenaga listrik.

Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan perkembangan teknologi AI dalam mendeteksi gangguan jaringan listrik, termasuk jenis algoritma, sumber data, fungsi sistem, dan manfaat implementasi. Sementara itu, pendekatan komparatif digunakan untuk membandingkan temuan antarpelelitian berdasarkan aspek metode Artificial Intelligence yang digunakan, tujuan penerapan, kemampuan deteksi, serta kontribusinya terhadap peningkatan keandalan sistem tenaga listrik. Metode ini sesuai untuk mengintegrasikan berbagai perspektif penelitian yang memiliki karakteristik berbeda namun memiliki fokus kajian yang sama.

Sumber Data dan Kriteria Seleksi Literatur

Data penelitian diperoleh dari berbagai publikasi ilmiah yang membahas penerapan Artificial Intelligence pada sistem tenaga listrik, khususnya terkait deteksi gangguan (fault detection), diagnosis gangguan (fault diagnosis), pemantauan kondisi jaringan (condition monitoring), prediksi kegagalan (predictive maintenance), dan sistem pemulihan otomatis (self-healing grid). Sumber data utama berasal dari artikel jurnal internasional, prosiding konferensi ilmiah, serta publikasi akademik yang memiliki keterkaitan langsung dengan topik penelitian.

Kriteria seleksi literatur ditentukan berdasarkan beberapa parameter. Pertama, sumber penelitian harus membahas penerapan metode Artificial Intelligence pada sistem tenaga listrik atau jaringan distribusi/transmisi listrik. Kedua, artikel harus menjelaskan metode, algoritma, atau pendekatan AI yang digunakan dalam proses deteksi maupun prediksi gangguan. Ketiga, publikasi harus memiliki informasi metodologi dan hasil penelitian yang dapat dibandingkan. Keempat, sumber penelitian diprioritaskan dari publikasi terbaru untuk menggambarkan perkembangan teknologi terkini dalam bidang smart grid dan sistem tenaga listrik berbasis AI.

Literatur yang dianalisis mencakup penelitian mengenai berbagai pendekatan AI seperti machine learning, deep learning, artificial neural network, sistem berbasis SCADA, algoritma klasifikasi, serta metode deteksi anomali. Beberapa penelitian yang menjadi sumber analisis meliputi kajian Rabbi (2026) mengenai integrasi AI dengan SCADA untuk deteksi gangguan prediktif, Huang et al. (2025) mengenai sistem inspeksi cerdas jaringan listrik, Liu (2023) mengenai diagnosis gangguan berbasis AI, serta penelitian Liu et al. (2025) mengenai deteksi gangguan menggunakan algoritma deep learning.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui metode dokumentasi dengan mengidentifikasi, mengumpulkan, dan mengkaji publikasi ilmiah yang relevan. Tahapan pengumpulan data meliputi tiga proses utama. Tahap pertama adalah identifikasi literatur berdasarkan kata kunci seperti Artificial Intelligence, power grid fault detection, smart grid, deep learning, machine learning, fault diagnosis, dan power system reliability. Tahap kedua adalah proses seleksi berdasarkan kesesuaian topik, kualitas publikasi, serta ketersediaan informasi mengenai metode dan hasil penelitian. Tahap ketiga adalah ekstraksi informasi penting dari setiap sumber untuk dimasukkan dalam matriks analisis.

Informasi yang diekstraksi dari setiap literatur meliputi identitas penelitian, tujuan penelitian, metode AI yang digunakan, jenis gangguan yang dianalisis, sumber data, hasil utama penelitian, serta kontribusi terhadap pengembangan sistem jaringan listrik cerdas. Data tersebut kemudian diklasifikasikan berdasarkan tema penelitian sehingga memudahkan proses perbandingan antarstudi.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan metode analisis isi tematik (thematic content analysis) dengan pendekatan komparatif. Analisis ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu reduksi data, pengelompokan tema, perbandingan temuan, dan penyusunan sintesis hasil penelitian. Pada tahap reduksi

data, informasi dari setiap literatur diseleksi berdasarkan relevansi terhadap tujuan penelitian. Informasi yang tidak berkaitan langsung dengan sistem deteksi gangguan jaringan listrik berbasis AI tidak dimasukkan dalam proses analisis.

Tahap berikutnya adalah proses kategorisasi berdasarkan tema utama, yaitu:

1. Metode Artificial Intelligence yang digunakan, meliputi machine learning, deep learning, neural network, dan sistem AI terintegrasi.
2. Jenis gangguan yang dideteksi, seperti gangguan impedansi tinggi, gangguan peralatan, anomali distribusi daya, dan gangguan komunikasi jaringan.
3. Fungsi sistem AI, meliputi deteksi gangguan, prediksi kegagalan, pemulihan otomatis, dan pengambilan keputusan.
4. Dampak implementasi, meliputi peningkatan akurasi, efisiensi pemeliharaan, pengurangan waktu pemulihan, dan peningkatan keandalan jaringan.

Setelah proses kategorisasi, dilakukan analisis komparatif untuk menemukan kesamaan, perbedaan, serta perkembangan pendekatan AI yang digunakan dalam berbagai penelitian. Misalnya, penelitian berbasis machine learning dibandingkan dengan pendekatan deep learning berdasarkan kemampuan mengenali pola gangguan kompleks, kebutuhan data, dan fleksibilitas penerapan. Selain itu, penelitian yang mengintegrasikan AI dengan SCADA dibandingkan dengan sistem berbasis sensor cerdas untuk melihat kontribusinya terhadap pemantauan jaringan secara real-time.

Validitas Analisis

Untuk menjaga validitas hasil kajian, penelitian menerapkan prinsip triangulasi sumber melalui perbandingan berbagai publikasi ilmiah yang memiliki fokus kajian serupa. Setiap temuan tidak hanya dianalisis berdasarkan satu sumber, tetapi dibandingkan dengan penelitian lain untuk memperoleh pemahaman yang lebih objektif. Konsistensi hasil juga diperiksa melalui kesesuaian antara tujuan penelitian, metode AI yang digunakan, dan kesimpulan yang diperoleh dari masing-masing studi.

Selain itu, interpretasi hasil penelitian dilakukan dengan mempertimbangkan konteks implementasi teknologi, termasuk karakteristik sistem tenaga listrik, jenis data yang digunakan, serta kebutuhan operasional jaringan. Pendekatan tersebut bertujuan menghindari kesimpulan yang bersifat umum dan memastikan bahwa hasil analisis dapat memberikan gambaran yang relevan mengenai perkembangan sistem deteksi gangguan jaringan listrik berbasis Artificial Intelligence.

Berdasarkan metode tersebut, penelitian ini menghasilkan pemetaan komprehensif mengenai perkembangan teknologi AI dalam sistem deteksi gangguan jaringan listrik, termasuk keunggulan metode yang digunakan, tantangan implementasi, serta peluang pengembangan teknologi menuju sistem smart grid yang lebih adaptif dan mandiri.

Tabel 1. Matriks Perbandingan Pendekatan AI pada Sistem Deteksi Gangguan Jaringan Listrik

Peneliti	Metode AI	Fokus Penelitian	Temuan Utama
Liu (2023)	Machine Learning	Diagnosis gangguan jaringan listrik	AI mampu meningkatkan akurasi identifikasi jenis gangguan berdasarkan pola data operasi jaringan
Wang & Dehghanian (2020)	AI-based classification	Deteksi gangguan impedansi tinggi	AI efektif mengenali gangguan yang sulit dideteksi metode konvensional
Almasoudi (2023)	Hybrid Machine Learning	Deteksi dan pemulihan gangguan real-time	Model hybrid meningkatkan ketahanan jaringan melalui analisis gangguan secara cepat

Peneliti	Metode AI	Fokus Penelitian	Temuan Utama
Duan (2024)	Deep Learning	Deteksi anomali distribusi listrik	Deep learning mampu mengenali pola gangguan kompleks pada sistem distribusi
Liu et al. (2025)	Deep Learning Algorithm	Fault detection pada jaringan listrik	Model deep learning menunjukkan kemampuan tinggi dalam klasifikasi gangguan
Rabbi (2026)	AI-SCADA Integration	Predictive fault detection	Integrasi AI dan SCADA mendukung prediksi gangguan serta monitoring kondisi jaringan

Berdasarkan Tabel 1, pendekatan machine learning banyak digunakan pada tahap awal pengembangan sistem deteksi gangguan karena memiliki kemampuan klasifikasi yang baik dengan kebutuhan komputasi relatif lebih rendah. Namun, pendekatan ini memiliki keterbatasan ketika menghadapi pola gangguan yang kompleks dan perubahan kondisi jaringan secara dinamis. Sebaliknya, pendekatan deep learning menunjukkan kemampuan lebih tinggi dalam mengenali pola nonlinier karena mampu melakukan ekstraksi fitur secara otomatis dari data berukuran besar.

Efektivitas Machine Learning dalam Diagnosis Gangguan Jaringan

Pendekatan machine learning menjadi salah satu metode yang banyak digunakan dalam penelitian awal penerapan AI pada sistem tenaga listrik. Metode ini memanfaatkan data historis seperti arus, tegangan, frekuensi, dan parameter operasi lainnya untuk membangun model prediksi gangguan. Liu (2023) menjelaskan bahwa sistem diagnosis berbasis AI mampu melakukan klasifikasi gangguan berdasarkan pola karakteristik sinyal listrik sehingga mempercepat proses identifikasi dibandingkan metode manual.

Penelitian Wang dan Dehghanian (2020) secara khusus menunjukkan bahwa AI memiliki kemampuan penting dalam mendeteksi gangguan impedansi tinggi (high impedance fault) yang selama ini menjadi tantangan pada sistem proteksi konvensional. Gangguan jenis ini sering memiliki karakteristik arus rendah sehingga sulit dikenali oleh perangkat proteksi standar. Dengan menggunakan algoritma AI, pola perubahan sinyal dapat dianalisis secara lebih mendalam sehingga meningkatkan sensitivitas sistem deteksi.

Namun demikian, hasil kajian menunjukkan bahwa efektivitas machine learning sangat dipengaruhi oleh kualitas data pelatihan. Model AI yang dibangun menggunakan data terbatas cenderung memiliki kemampuan generalisasi yang rendah ketika diterapkan pada kondisi jaringan yang berbeda. Oleh karena itu, beberapa penelitian mulai mengembangkan pendekatan hybrid dengan menggabungkan beberapa algoritma untuk meningkatkan stabilitas model.

Almasoudi (2023) menunjukkan bahwa penggunaan model hybrid machine learning dapat meningkatkan kemampuan sistem dalam mendeteksi dan melakukan remediasi gangguan secara real-time. Pendekatan hybrid memberikan keuntungan karena mampu menggabungkan kelebihan beberapa algoritma sehingga menghasilkan model yang lebih adaptif terhadap perubahan karakteristik jaringan listrik.

Peran Deep Learning dalam Deteksi Gangguan Kompleks

Perkembangan deep learning memberikan peningkatan signifikan dalam kemampuan sistem AI untuk menganalisis gangguan jaringan listrik. Berbeda dengan metode machine learning tradisional yang memerlukan proses ekstraksi fitur secara manual, deep learning mampu melakukan pembelajaran fitur secara otomatis melalui jaringan saraf berlapis. Kemampuan tersebut menjadikan deep learning lebih sesuai untuk menangani data kelistrikan dengan dimensi besar dan pola yang kompleks.

Duan (2024) menunjukkan bahwa metode deep learning anomaly detection efektif digunakan untuk mendeteksi kondisi abnormal pada sistem distribusi listrik. Model tersebut mampu mengenali pola penyimpangan operasi yang sulit ditemukan melalui metode statistik konvensional. Temuan tersebut

menunjukkan bahwa deep learning memiliki potensi besar untuk mendukung sistem pemeliharaan prediktif.

Penelitian Liu et al. (2025) juga memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa algoritma deep learning mampu meningkatkan kemampuan deteksi gangguan pada jaringan listrik melalui pembelajaran terhadap pola data historis. Kemampuan tersebut sangat penting karena sistem tenaga listrik modern menghasilkan data dalam jumlah besar dari berbagai perangkat pemantauan.

Selain deteksi gangguan, deep learning juga digunakan untuk mengidentifikasi kehilangan daya abnormal (line loss anomaly detection). Xu et al. (2025) mengembangkan pendekatan berbasis deep learning untuk mendeteksi anomali kehilangan energi pada jaringan listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis berbasis AI mampu memberikan informasi lebih cepat mengenai potensi permasalahan operasional sehingga operator dapat melakukan tindakan korektif.

Integrasi AI, SCADA, dan Smart Grid untuk Monitoring Real-Time

Hasil kajian menunjukkan bahwa tren terbaru dalam pengembangan sistem deteksi gangguan tidak hanya berfokus pada algoritma AI, tetapi juga pada integrasi AI dengan infrastruktur digital jaringan listrik. Integrasi tersebut bertujuan menciptakan sistem yang mampu melakukan pemantauan, analisis, dan pengambilan keputusan secara otomatis.

Rabbi (2026) menjelaskan bahwa integrasi AI dengan SCADA memberikan kemampuan tambahan berupa prediksi gangguan, pemantauan kesehatan sistem, dan peningkatan keandalan jaringan. SCADA menyediakan data operasional secara kontinu, sedangkan AI melakukan analisis terhadap pola perubahan data tersebut untuk mengidentifikasi kondisi abnormal.

Huang et al. (2025) juga menunjukkan bahwa sistem inspeksi berbasis AI dapat meningkatkan efektivitas operasi jaringan listrik. Teknologi tersebut memungkinkan proses pemeriksaan peralatan dilakukan secara otomatis melalui analisis citra dan data sensor. Hasil ini menunjukkan bahwa AI dapat mengurangi ketergantungan terhadap inspeksi manual serta meningkatkan keselamatan operasional.

Selain itu, Chen et al. (2024) mengembangkan sistem operasi dan pemeliharaan jaringan listrik berbasis AI yang mengintegrasikan prediksi kegagalan dan rekomendasi pemeliharaan. Pendekatan tersebut mendukung perubahan strategi pemeliharaan dari berbasis waktu menjadi berbasis kondisi (condition-based maintenance).

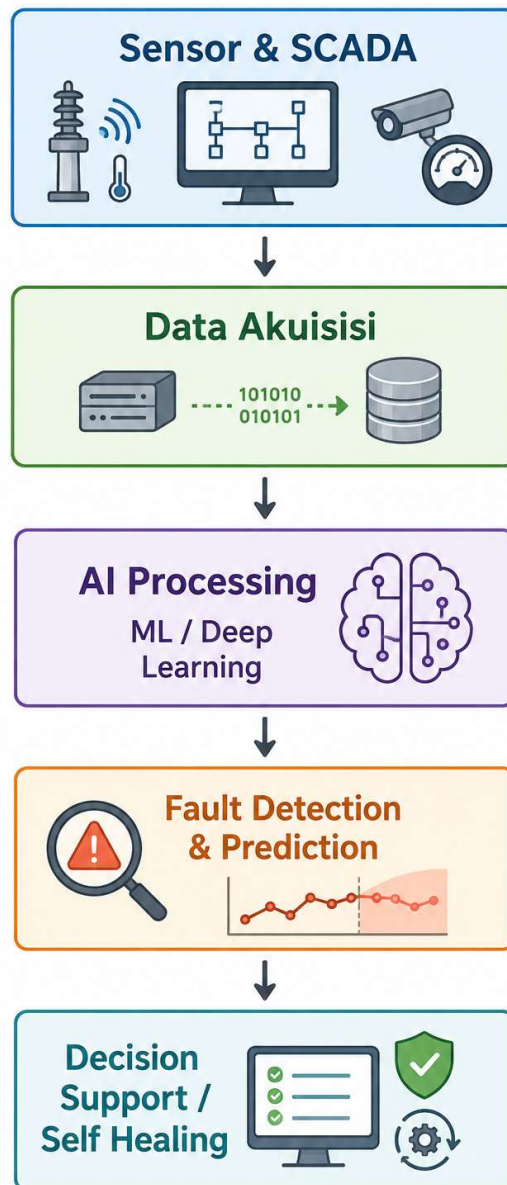
Implementasi AI untuk Sistem Self-Healing Grid

Salah satu perkembangan penting dalam penerapan AI adalah konsep self-healing grid, yaitu kemampuan jaringan listrik untuk mendeteksi gangguan, mengisolasi area terdampak, dan melakukan pemulihan secara otomatis. Konsep ini menjadi indikator utama perkembangan smart grid generasi berikutnya.

Maurya (2024) menjelaskan bahwa AI memiliki peran penting dalam proses pemulihan otomatis setelah terjadi gangguan. Sistem AI dapat menganalisis kondisi jaringan, menentukan lokasi gangguan, serta memberikan strategi konfigurasi ulang jaringan untuk mengembalikan suplai listrik.

Penelitian Aulia et al. (2025) juga menunjukkan bahwa sistem pendukung keputusan berbasis AI mampu membantu operator dalam menangani gangguan secara real-time. Sistem tersebut memberikan rekomendasi tindakan berdasarkan kondisi aktual jaringan sehingga mempercepat proses respons.

Gambaran hubungan teknologi AI dalam sistem deteksi gangguan jaringan listrik dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Sistem Deteksi Gangguan Jaringan Listrik Berbasis Artificial Intelligence

Tantangan Implementasi Artificial Intelligence pada Sistem Tenaga Listrik

Meskipun AI menunjukkan berbagai keunggulan, hasil analisis literatur menunjukkan beberapa tantangan utama dalam implementasinya. Tantangan pertama berkaitan dengan ketersediaan dan kualitas data. Model AI membutuhkan data dalam jumlah besar dan berkualitas tinggi agar mampu menghasilkan prediksi yang akurat. Data yang tidak lengkap, tidak konsisten, atau memiliki gangguan (noise) dapat menurunkan performa model.

Tantangan kedua adalah keamanan siber. Digitalisasi jaringan listrik meningkatkan potensi serangan terhadap sistem komunikasi dan kontrol. Huiqin et al. (2023) menunjukkan bahwa AI dapat digunakan untuk mendeteksi serangan jaringan terhadap sistem tenaga listrik, tetapi sistem AI itu sendiri juga harus memiliki mekanisme perlindungan terhadap manipulasi data.

Tantangan berikutnya adalah kebutuhan komputasi dan integrasi dengan sistem lama (legacy system). Banyak infrastruktur tenaga listrik masih menggunakan perangkat konvensional yang belum

sepenuhnya kompatibel dengan teknologi AI modern. Oleh karena itu, implementasi AI membutuhkan strategi integrasi bertahap agar tidak mengganggu stabilitas operasi jaringan.

Sintesis Hasil Kajian

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis, penerapan Artificial Intelligence memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kemampuan deteksi gangguan jaringan listrik. Pendekatan machine learning memberikan solusi efektif untuk klasifikasi gangguan berbasis data historis, sedangkan deep learning memiliki kemampuan lebih baik dalam menangani pola gangguan kompleks. Integrasi AI dengan SCADA, IoT, dan smart grid memberikan peluang pengembangan sistem tenaga listrik yang lebih otomatis dan adaptif.

Secara keseluruhan, perkembangan penelitian menunjukkan arah menuju sistem jaringan listrik yang mampu melakukan prediksi, diagnosis, dan pemulihan gangguan secara mandiri. Namun, keberhasilan implementasi AI sangat bergantung pada kesiapan infrastruktur digital, kualitas data, keamanan sistem, serta kemampuan integrasi teknologi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu mengembangkan model AI yang lebih transparan (explainable AI), efisien secara komputasi, dan mampu beradaptasi terhadap berbagai karakteristik jaringan listrik modern.

KESIMPULAN

Integrasi Artificial Intelligence (AI) dan Internet of Medical Things (IoMT) telah menjadi inovasi penting dalam transformasi sistem pelayanan kesehatan modern, khususnya dalam meningkatkan akurasi diagnosis penyakit kronis. Berdasarkan hasil telaah literatur, kombinasi antara perangkat IoMT yang mampu mengumpulkan data kesehatan secara real-time dengan algoritma AI yang memiliki kemampuan analisis prediktif menghasilkan sistem diagnosis yang lebih cepat, akurat, dan adaptif dibandingkan pendekatan konvensional. Teknologi ini memungkinkan pemantauan kondisi pasien secara berkelanjutan, deteksi dini terhadap perubahan fisiologis, serta identifikasi risiko komplikasi sebelum munculnya gejala klinis yang signifikan.

Penerapan AI Berdasarkan hasil kajian literatur deskriptif-komparatif mengenai penerapan Artificial Intelligence (AI) dalam sistem deteksi gangguan jaringan listrik, dapat disimpulkan bahwa AI telah memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan keandalan, efisiensi, dan keamanan operasi sistem tenaga listrik modern. Perkembangan teknologi AI telah menggeser pendekatan deteksi gangguan dari sistem berbasis respons setelah kejadian menuju sistem prediktif yang mampu mengenali potensi gangguan sebelum menyebabkan kegagalan yang lebih besar.

Hasil analisis menunjukkan bahwa metode machine learning efektif digunakan untuk melakukan klasifikasi dan diagnosis gangguan berdasarkan pola data kelistrikan, sedangkan pendekatan deep learning memiliki kemampuan lebih tinggi dalam mengenali pola gangguan kompleks dan anomali pada jaringan listrik dengan karakteristik data yang besar dan dinamis. Selain itu, integrasi AI dengan SCADA, IoT, dan teknologi smart grid memperluas fungsi sistem dari sekadar deteksi gangguan menjadi sistem pemantauan kondisi, prediksi kegagalan, pendukung keputusan, hingga konsep self-healing grid.

Meskipun demikian, implementasi AI pada jaringan listrik masih menghadapi beberapa tantangan, terutama terkait kualitas dan ketersediaan data, kebutuhan infrastruktur komputasi, keamanan siber, serta kompatibilitas dengan sistem tenaga listrik yang telah ada. Tantangan tersebut menunjukkan bahwa penerapan AI tidak hanya membutuhkan pengembangan algoritma yang akurat, tetapi juga strategi integrasi teknologi yang mempertimbangkan aspek operasional dan keamanan sistem.

Kajian ini memiliki keterbatasan karena menggunakan pendekatan studi literatur tanpa melakukan pengujian eksperimental pada jaringan listrik tertentu. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat diarahkan pada pengembangan dan pengujian model AI berbasis data real-time dengan mempertimbangkan kondisi jaringan listrik aktual. Pengembangan pendekatan explainable artificial intelligence (XAI) juga diperlukan agar keputusan yang dihasilkan sistem AI dapat dipahami dan dipercaya oleh operator jaringan listrik. Dengan pengembangan tersebut, AI memiliki potensi besar untuk mendukung transformasi menuju sistem tenaga listrik cerdas yang lebih adaptif, aman, dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Almasoudi, F. (2023). Enhancing power grid resilience through real-time fault detection and remediation using advanced hybrid machine learning models. *Sustainability*, 15(10), 8348. <https://doi.org/10.3390/su15108348>
- Aulia, L., Rusmana, A. S., & Adilah, A. (2025, November). AI-Driven Real-Time Decision Support for Power System Disturbance Handling. In 2025 5th International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS) (pp. 201-206). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICHVEPS66913.2025.11351041>
- Bui, V. Q., Vu, V., & To, Q. T. (2025). Application of artificial intelligence (AI) in automated monitoring and control of industrial power systems. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 7(6), 150–155. <https://doi.org/10.35629/5252-0706150155>
- Chen, Z., Li, W., Yin, F., Deng, X., Zhou, G., Pan, W., & Gu, H. (2024, May). Research on intelligent power grid operation and maintenance and fault prediction system based on artificial intelligence. In 2024 IEEE 4th International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI) (pp. 1281-1286). IEEE.. <https://doi.org/10.1109/ICETCI61221.2024.10594104>
- Duan, J. (2024). Deep learning anomaly detection in AI-powered intelligent power distribution systems. *Frontiers in Energy Research*, 12, 1364456.. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1364456>
- Huang, C., Lan, S., Lu, Y., Mo, Z., Qin, Y., Lei, W., & Chen, Q. (2025, June). Research on the Application of AI-Based Intelligent Inspection Systems in Power Grid Safety Operations. In 2025 7th International Conference on Energy Systems and Electrical Power (ICESEP) (pp. 1241-1244). IEEE.<https://doi.org/10.1109/ICESEP66633.2025.11155786>
- Huiqin, L., Liyang, X., Wenhua, Z., & Jianxun, M. (2023, December). Active Defense Detection Technology for Power System Network Attacks Based on Artificial Intelligence. In 2023 3rd International Conference on Mobile Networks and Wireless Communications (ICMNWC) (pp. 1-7). IEEE.<https://doi.org/10.1109/ICMNWC60182.2023.10435928>
- Iyaniwura, A. A., & Mayaki, C. S. (2025). Artificial Intelligence-enabled smart grid systems for real-time load forecasting, fault detection, renewable energy integration and optimization. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, 24(03), 191-208.<https://doi.org/10.30574/GJETA.2025.24.3.0272>
- Kanimozhi, S., Chhabra, R., & Rai, S. S. (2024, August). AI-driven solutions for autonomous maintenance and fault detection in electrical power grids. In 2024 4th Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON) (pp. 1-8). IEEE.. <https://doi.org/10.1109/ASIANCON62057.2024.10838177>
- Liu, C., Ding, L., & Yu, H. (2025). Intelligent Fault Detection in Power Grids Using Deep Learning Algorithms. *IEEE Access*.<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3606856>
- Liu, X. (2023, May). Research on Power Grid Fault Diagnosis Based on Artificial Intelligence. In 2023 IEEE 3rd International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI) (pp. 808-813). IEEE.. <https://doi.org/10.1109/ICETCI57876.2023.10176673>
- Liu, Z., Yao, N., Fan, Q., Zhu, X., & Xue, H. (2025). Research on the abnormal identification method of remote real-time monitoring of power system equipment based on artificial intelligence. *Australian Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 22(4), 742-754.<https://doi.org/10.1080/1448837X.2024.2442873>
- Maurya, P. K. (2024). Self-Healing grids: AI techniques for automatic restoration after outages. *Power Syst Technol*, 48(1), 494-510.<https://doi.org/10.52783/PST.302>
- Padlak, K., Nehare, M., & Bohrpee, S. (2025). A review paper of artificial intelligence-based power fault detection and power restoration. *International Journal of Latest Research in Physical Sciences*, 6(11). <https://doi.org/10.70528/IJLRP.V6.I11.1842>
- Qiu, C., Liang, W., Yan, Z., Li, Y., & You, Y. (2022, September). Research and application of power grid fault diagnosis and auxiliary decision-making system based on artificial intelligence technology. In 2022 7th International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE) (pp. 492-497). IEEE.<https://doi.org/10.1109/ICPRE55555.2022.9960335>
- Qiu, C., Liang, W., Yan, Z., Li, Y., & You, Y. (2022, September). Research and application of power grid fault diagnosis and auxiliary decision-making system based on artificial intelligence technology.

- In 2022 7th International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE) (pp. 492-497). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICPRE55555.2022.9960335>
- Rabbi, M. S. (2026). AI-driven SCADA grid intelligence for predictive fault detection, cyber health monitoring, and grid reliability enhancement. Zenodo. Preprint]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18196487>
- Sasilatha, T., Suprianto, A. A., & Hamdani, H. (2025). AI-Driven Approaches to Power Grid Management: Achieving Efficiency and Reliability. *International Journal of Advances in Artificial Intelligence and Machine Learning*, 2(1), 27-37.. <https://doi.org/10.58723/IJAAIML.V2I1.380>
- Syu, J. H., Lin, J. C. W., & Srivastava, G. (2023). AI-based electricity grid management for sustainability, reliability, and security. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 13(1), 91-96.<https://doi.org/10.1109/MCE.2023.3264884>
- Taheri, S., & Azimi, Y. (2026). The Next Generation of Safety: Artificial Intelligence and Machine Learning Strategies for a Safer Oil and Gas Industry. *Scientific Contributions Oil and Gas*, 49(2), 37-53.<https://doi.org/10.37745/BJESR.2013/VOL13N21941>
- Wang, S., & Dehghanian, P. (2020). On the use of artificial intelligence for high impedance fault detection and electrical safety. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 56(6), 7208-7216.<https://doi.org/10.1109/TIA.2020.3017698>
- Xu, L., Ma, X., Duan, P., Yang, Y., & Shen, X. (2025, June). Deep Learning Based Detection of Line Loss Anomalies in Power Grids. In *2025 7th International Conference on Energy Systems and Electrical Power (ICESEP)* (pp. 1102-1106). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICESEP66633.2025.11155533>
- Xu, T., & Sun, Y. (2025, September). Design and Research of an Intelligent AI Diagnostic System for Power Grid Faults. In *Proceedings of the 2025 8th International Conference on Computer Information Science and Artificial Intelligence* (pp. 931-935).<https://doi.org/10.1145/3773365.3773510>
- Zhang, F. (2024, May). Intelligent Monitoring and Early Warning System for Electric Power Safety using Artificial Intelligence Approach. In *2024 Second International Conference on Data Science and Information System (ICDSIS)* (pp. 1-5). IEEE.. <https://doi.org/10.1109/ICDSIS61070.2024.10594678>