



## PENERAPAN SISTEM *IOT* BERBASIS *MACHINE LEARNING* UNTUK OPTIMALISASI JARINGAN ENERGI CERDAS (*SMART GRID*) DI PERKOTAAN

Yuri Aulia Lubis  
Universitas Asahan  
[yurivivo123@gmail.com](mailto:yurivivo123@gmail.com)

### Abstrak

Dalam era digital kebutuhan akan sistem energi yang efisien, adaptif, dan berkelanjutan di wilayah perkotaan semakin mendesak. *Internet of Things (IoT)* dan *Machine learning (ML)* muncul sebagai solusi revolusioner untuk mengatasi tantangan dalam pengelolaan energi melalui pengembangan jaringan energi cerdas atau *smart grid*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan *IoT* berbasis *Machine learning* dalam optimalisasi *smart grid* di lingkungan perkotaan. Metode penelitian yang digunakan adalah *systematic literature review (SLR)* dengan mengkaji berbagai literatur ilmiah yang relevan dari jurnal, buku, dan laporan penelitian. Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi potensi, tantangan, dan solusi implementasi teknologi ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *IoT* berbasis *Machine learning* mampu meningkatkan efisiensi distribusi energi, mengintegrasikan sumber energi terbarukan, dan mengurangi emisi karbon di perkotaan. Namun, implementasi teknologi ini menghadapi tantangan, seperti kebutuhan infrastruktur, interoperabilitas perangkat, dan keamanan data. Dengan strategi yang tepat, seperti investasi infrastruktur, pengembangan standar global, dan peningkatan keamanan siber, sistem ini dapat menjadi kunci keberlanjutan energi masa depan.

**Kata Kunci:** *IoT*, *Machine learning*, *Smart grid*, Jaringan Energi Cerdas.

### Article History

Received: January 2025  
Reviewed: January 2025  
Published: January 2025

Plagiarism Checker No 234  
Prefix DOI :  
10.8734/Kohesi.v1i2.365  
Copyright : Author  
Publish by : Kohesi



This work is licensed under  
a [Creative Commons  
Attribution-NonCommercial 4.0  
International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## PENDAHULUAN

Revolusi teknologi yang ditandai dengan hadirnya *Internet of Things (IoT)* telah membawa perubahan besar dalam berbagai sektor, termasuk sektor energi. *IoT*, yang memungkinkan perangkat untuk saling terhubung dan berkomunikasi melalui jaringan internet, memberikan potensi besar dalam mengoptimalkan sistem energi modern (Permata, 2023). Salah satu implementasi utama teknologi ini adalah pada *smart grid*, yaitu jaringan energi cerdas yang mengintegrasikan teknologi komunikasi dan informasi untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan keberlanjutan sistem energi. Dalam era urbanisasi yang pesat, kebutuhan akan pengelolaan energi yang lebih efisien dan cerdas semakin mendesak, terutama di kawasan perkotaan yang padat penduduk dan memiliki konsumsi energi yang tinggi. Teknologi *IoT* yang digabungkan dengan *Machine learning* memberikan solusi inovatif untuk memprediksi pola konsumsi energi, mendeteksi anomali, serta mengoptimalkan distribusi energi secara *real-time*.

Perkotaan sebagai pusat aktivitas manusia menghadapi tantangan besar dalam hal pengelolaan energi. Konsumsi energi yang tidak efisien sering kali menyebabkan pemborosan, lonjakan permintaan yang tidak terprediksi, serta dampak lingkungan yang signifikan. Penerapan *smart grid* berbasis *IoT* memungkinkan integrasi antara pembangkit listrik, distribusi, dan konsumsi energi yang lebih terkoordinasi. Dengan memanfaatkan algoritma *Machine learning*, data yang dihasilkan dari perangkat *IoT* dapat diolah untuk memberikan wawasan yang mendalam dan tindakan otomatisasi yang adaptif. Oleh karena itu, kombinasi *IoT* dan *Machine learning* menjadi strategi yang menjanjikan dalam mendukung keberlanjutan energi di perkotaan.



Masalah utama yang dihadapi oleh jaringan energi tradisional di kawasan perkotaan adalah inefisiensi dalam distribusi dan konsumsi energi. Sistem energi konvensional sering kali tidak memiliki kemampuan adaptasi terhadap perubahan kebutuhan konsumen yang dinamis. Sebagai contoh, lonjakan konsumsi listrik selama jam sibuk sering kali mengakibatkan pemadaman listrik atau *overloading* pada jaringan. Hal ini tidak hanya mengganggu aktivitas masyarakat tetapi juga meningkatkan biaya operasional dan risiko kerusakan pada infrastruktur energi (Akbar, 2023). Tantangan dalam mendeteksi dan memperbaiki anomali seperti kebocoran energi atau pencurian listrik secara manual semakin memperburuk situasi. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi yang mampu memberikan fleksibilitas, efisiensi, dan ketahanan terhadap gangguan dalam sistem energi.

Fenomena perubahan iklim dan peningkatan emisi karbon menjadi masalah global yang tidak dapat diabaikan. Kawasan perkotaan yang menjadi penyumbang emisi terbesar memerlukan pendekatan inovatif untuk mengurangi dampaknya. *Smart grid* berbasis *IoT* menawarkan pendekatan proaktif melalui pengelolaan energi yang lebih baik. Sistem ini tidak hanya mendeteksi masalah secara *real-time* tetapi juga memberikan solusi melalui pengoptimalan distribusi energi dan integrasi dengan sumber energi terbarukan. Dengan *Machine learning*, sistem ini dapat belajar dari pola konsumsi energi sebelumnya untuk memprediksi kebutuhan masa depan dan mengurangi pemborosan energi. Namun, implementasi teknologi ini masih menghadapi berbagai tantangan, mulai dari biaya investasi yang tinggi hingga kurangnya pemahaman masyarakat tentang teknologi tersebut.

Menurut laporan dari *International Energy Agency* (IEA), konsumsi energi di kawasan perkotaan global meningkat sebesar 3,4% setiap tahun, dengan lebih dari 70% emisi karbon berasal dari sektor ini. Di Indonesia, data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menunjukkan bahwa lebih dari 40% konsumsi energi nasional terjadi di wilayah perkotaan, dengan tingkat inefisiensi yang mencapai 15-20%. Selain itu, laporan dari PLN mencatat bahwa kerugian akibat kebocoran dan pencurian energi mencapai triliunan rupiah setiap tahun (Smith & Komputer, 2023). Angka-angka ini menunjukkan urgensi untuk mengembangkan solusi berbasis teknologi seperti *IoT* dan *Machine learning* untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem energi di perkotaan.

*Internet of Things (IoT)* telah membuka jalan untuk konektivitas perangkat secara masif, memungkinkan pengumpulan data secara terus-menerus dari berbagai titik dalam jaringan energi. Dalam konteks *smart grid*, perangkat *IoT* seperti meteran pintar, sensor energi, dan sistem kontrol otomatis memungkinkan pengelolaan energi yang lebih transparan dan terukur. Data yang dikumpulkan dari perangkat ini dapat digunakan untuk memantau konsumsi energi secara *real-time*, mendeteksi anomali, dan memberikan informasi yang diperlukan untuk pengambilan keputusan. Namun, data yang dihasilkan sering kali bersifat kompleks dan tidak terstruktur, sehingga memerlukan teknologi tambahan seperti *Machine learning* untuk mengolahnya.

*Machine learning* sebagai cabang dari kecerdasan buatan, memainkan peran kunci dalam mengelola kompleksitas data dari *IoT*. Dengan menggunakan algoritma pembelajaran, sistem dapat menganalisis pola konsumsi energi, memprediksi kebutuhan di masa depan, serta mengidentifikasi anomali yang berpotensi merugikan. Misalnya, algoritma regresi dan klasifikasi dapat digunakan untuk memperkirakan beban energi, sementara teknik deteksi anomali dapat membantu mendeteksi pencurian atau kebocoran energi. Integrasi ini memungkinkan pengelolaan energi yang lebih proaktif dan efisien (Razak, 2022).

Penerapan *IoT* dan *Machine learning* pada *smart grid* juga mendukung transisi menuju energi terbarukan. Dengan kemampuan untuk memprediksi produksi energi dari sumber terbarukan seperti panel surya atau turbin angin, sistem ini dapat mengintegrasikan energi terbarukan ke dalam jaringan secara lebih efisien. Kombinasi teknologi ini juga memungkinkan penyesuaian otomatis terhadap fluktuasi pasokan dan permintaan energi, yang merupakan tantangan utama dalam integrasi energi terbarukan. Dengan demikian, *smart grid* berbasis *IoT* dan *Machine learning* tidak hanya meningkatkan efisiensi jaringan energi tetapi juga mendukung upaya mitigasi perubahan iklim.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model penerapan sistem *IoT* berbasis *Machine learning* dalam optimalisasi jaringan energi cerdas (*smart grid*) di kawasan perkotaan. Model ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi distribusi energi, memprediksi kebutuhan energi secara *real-time*, mendeteksi anomali dalam jaringan, serta mendukung integrasi energi terbarukan. Dengan demikian,



penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mendukung pengelolaan energi yang berkelanjutan di masa depan.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Definisi Internet of Things (IoT)

*Internet of Things (IoT)* merupakan konsep teknologi yang mengacu pada jaringan perangkat fisik yang saling terhubung melalui internet, memungkinkan pengumpulan dan pertukaran data secara *real-time* tanpa campur tangan manusia. *IoT* tidak hanya menghubungkan perangkat elektronik seperti sensor, meteran pintar, dan sistem otomatisasi, tetapi juga menciptakan ekosistem di mana data menjadi sumber informasi utama untuk pengambilan keputusan. Menurut (Ramadhani, 2023), *IoT* dapat didefinisikan sebagai paradigma teknologi yang mengintegrasikan dunia fisik dengan sistem digital melalui perangkat yang mampu mendeteksi, memproses, dan berkomunikasi dengan jaringan global.

Dalam konteks jaringan energi cerdas atau *smart grid IoT* berfungsi sebagai tulang punggung utama yang menghubungkan perangkat-perangkat seperti meteran pintar, kontroler jaringan, dan sensor distribusi daya. *IoT* memungkinkan sistem energi untuk memonitor konsumsi, menganalisis data historis, dan memberikan respons dinamis terhadap perubahan permintaan dan pasokan energi. Teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga memungkinkan integrasi sumber energi terbarukan, seperti tenaga surya dan angin, ke dalam jaringan listrik modern. *IoT* menjadi komponen kritis dalam memastikan keberlanjutan energi, terutama di lingkungan perkotaan yang sangat kompleks dan dinamis.

### Definisi Machine learning dalam IoT untuk Smart grid

*Machine learning (ML)* adalah cabang dari kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) yang berfokus pada pengembangan algoritma yang memungkinkan sistem belajar dari data tanpa perlu diprogram secara eksplisit. Menurut (Pramono et al., 2024), ML adalah studi tentang algoritma yang dapat mengidentifikasi pola, membuat prediksi, dan mengambil keputusan berdasarkan data yang tersedia. Dalam sistem berbasis *IoT*, ML menjadi kunci untuk mengolah data besar (*big data*) yang dikumpulkan dari berbagai perangkat *IoT* dalam jaringan *smart grid*.

Penerapan ML dalam *smart grid* mencakup analisis pola konsumsi energi, deteksi anomali dalam jaringan, serta prediksi kebutuhan energi berdasarkan tren historis dan kondisi *real-time*. Misalnya, algoritma *supervised learning* dapat digunakan untuk memprediksi puncak permintaan energi berdasarkan data waktu sebelumnya, sementara *unsupervised learning* membantu dalam mengelompokkan pola konsumsi berdasarkan kategori tertentu, seperti lokasi geografis atau jenis pengguna. Integrasi ML dalam *IoT* untuk *smart grid* juga memungkinkan peningkatan keamanan siber melalui identifikasi ancaman potensial yang dapat merusak jaringan. Secara keseluruhan, kombinasi *IoT* dan ML dalam *smart grid* membawa potensi besar untuk merevolusi pengelolaan energi, menciptakan sistem yang lebih efisien, responsif, dan ramah lingkungan, yang sangat penting untuk menjawab tantangan kebutuhan energi perkotaan di masa depan.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah literature review atau kajian pustaka, yang bertujuan untuk menganalisis dan mensintesis berbagai sumber ilmiah terkait penerapan *Internet of Things (IoT)* berbasis *Machine learning* untuk optimalisasi jaringan energi cerdas (*smart grid*) di perkotaan (Mubarok, 2025). Kajian pustaka ini dilakukan dengan mengumpulkan, menganalisis, dan mengevaluasi literatur dari jurnal ilmiah, buku, laporan penelitian, serta artikel konferensi yang relevan. Penelusuran literatur dilakukan secara sistematis melalui database akademik seperti IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, dan Google Scholar, dengan menggunakan kata kunci seperti "*IoT in smart grid*," "*Machine learning for energy optimization*," dan "*urban energy management*."

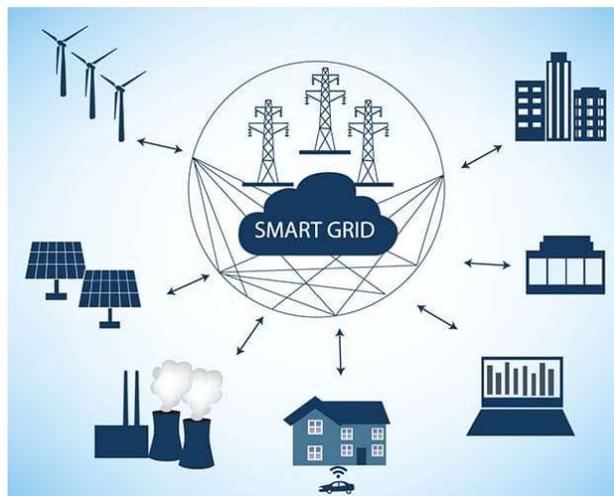
Pendekatan *systematic literature review (SLR)* digunakan untuk memastikan validitas dan relevansi sumber yang dikaji (J. W. Creswell & Creswell, 2018). Tahapan SLR meliputi identifikasi literatur, seleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, analisis isi, dan sintesis temuan utama. Kriteria inklusi meliputi literatur yang diterbitkan dalam lima tahun terakhir, berfokus pada penerapan *IoT* dan *Machine learning* di sektor energi, serta relevan dengan konteks perkotaan (J. Creswell, 2017). Sementara itu, literatur yang tidak relevan, usang, atau tidak memiliki basis empiris dikeluarkan dari kajian. Metode ini dipilih untuk

mendapatkan gambaran yang komprehensif dan mendalam mengenai perkembangan teknologi *IoT* dan *Machine learning* dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan jaringan energi cerdas di lingkungan perkotaan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk memahami dan menganalisis bagaimana sistem *Internet of Things (IoT)* berbasis *Machine learning* dapat diintegrasikan untuk mengoptimalkan jaringan energi cerdas (*smart grid*) di lingkungan perkotaan. Dari analisis literatur yang telah dilakukan, ditemukan bahwa *IoT* memainkan peran penting dalam menghubungkan berbagai perangkat di jaringan *smart grid*, seperti meteran pintar, sensor daya, dan perangkat pengontrol, yang semuanya menghasilkan data *real-time*. Data tersebut menjadi dasar bagi sistem berbasis *Machine learning* untuk memprediksi permintaan energi, mendeteksi anomali, dan mengoptimalkan distribusi energi dengan cara yang lebih efisien.

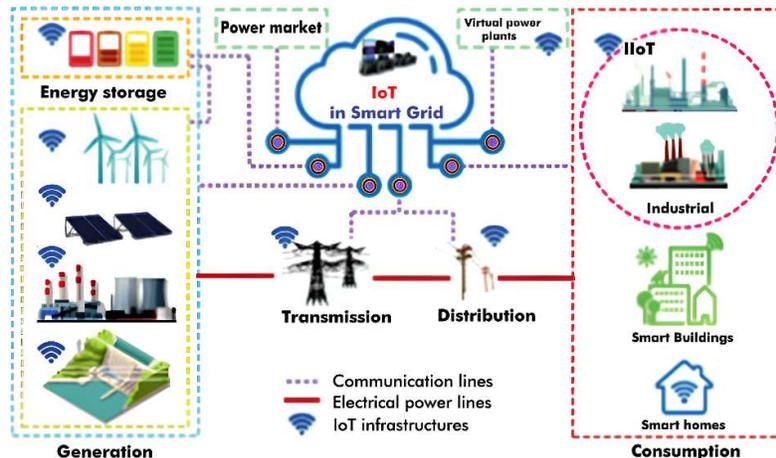
Teknologi *Machine learning* memberikan kemampuan tambahan untuk memproses data besar yang dikumpulkan dari perangkat *IoT*. Penerapan *Machine learning* pada *smart grid* memungkinkan sistem untuk menganalisis pola konsumsi energi, mendeteksi masalah teknis, dan mengelola distribusi energi terbarukan secara efisien. Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi *IoT* dan *Machine learning* pada *smart grid* tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga mengurangi emisi karbon, memberikan kontribusi signifikan terhadap keberlanjutan lingkungan di wilayah perkotaan.



**Gambar 1.** Representasi Jaringan Energi Cerdas Berbasis *IoT* (Sumber : <http://surl.li/xrkshv>)

Gambar 1 menggambarkan arsitektur dasar jaringan energi cerdas (*smart grid*) yang didukung oleh teknologi *IoT*. Dalam ilustrasi tersebut, berbagai sumber energi seperti tenaga surya, angin, dan pembangkit listrik konvensional terhubung ke sistem *smart grid* melalui perangkat sensor. Semua data dari berbagai perangkat tersebut dikumpulkan dan diproses secara terpusat, memungkinkan sistem untuk memantau konsumsi dan distribusi energi secara *real-time*.

Analisis gambar ini menunjukkan bagaimana *IoT* memfasilitasi komunikasi antara produsen energi, distribusi, dan konsumen akhir. Penggunaan sensor yang terhubung melalui jaringan memungkinkan identifikasi anomali seperti kebocoran daya atau peningkatan permintaan energi secara tiba-tiba. Ini menciptakan peluang untuk pengambilan keputusan yang cepat dan efisien, mengurangi risiko gangguan daya, dan memastikan efisiensi optimal dalam pengelolaan energi.



**Gambar 2.** Arsitektur *IoT* dan *Machine learning* dalam *Smart grid* (Sumber : <http://surl.li/kcrkqt>)

Gambar 2 menjelaskan bagaimana *IoT* dan *Machine learning* bekerja bersama dalam *smart grid*. *IoT* digunakan untuk mengumpulkan data dari seluruh elemen jaringan, seperti penghasil energi, distribusi, dan konsumsi. Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan algoritma *Machine learning* untuk memprediksi pola konsumsi, mendeteksi masalah teknis, dan meningkatkan efisiensi distribusi energi. Selain itu, gambar ini juga menunjukkan bagaimana energi terbarukan diintegrasikan ke dalam jaringan melalui virtual power plants. Dari gambar ini, terlihat bahwa komunikasi data yang efisien menjadi kunci utama keberhasilan sistem. Teknologi *Machine learning* memberikan keunggulan dengan analisis prediktifnya, memungkinkan sistem untuk menyesuaikan pasokan energi secara otomatis sesuai dengan permintaan. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga mengurangi beban pada sumber energi konvensional, mendukung transisi ke energi hijau.

Beberapa penelitian terdahulu memberikan dasar untuk memahami relevansi *IoT* dan *Machine learning* dalam jaringan *smart grid*. Studi oleh (Wedashwara et al., 2021) menekankan bahwa *IoT* memungkinkan konektivitas antar perangkat dalam jaringan energi, menciptakan data yang sangat penting untuk pengambilan keputusan yang efisien. Penelitian lainnya oleh (Aritonang et al., 2024) menunjukkan bahwa algoritma *Machine learning* dapat digunakan untuk memprediksi pola konsumsi energi dengan akurasi tinggi, mendukung efisiensi distribusi energi di perkotaan.

Penelitian oleh (Susanti et al., 2024) membahas integrasi energi terbarukan ke dalam jaringan *smart grid* dengan bantuan *IoT*, yang memungkinkan pengelolaan fluktuasi pasokan secara lebih baik. Studi oleh (Arrohman et al., 2023) menunjukkan bagaimana penerapan *Machine learning* dapat meningkatkan keamanan jaringan energi terhadap serangan siber. Penelitian-penelitian ini menjadi dasar yang kuat untuk menunjukkan relevansi dan potensi dari *IoT* dan *Machine learning* dalam *smart grid*.

Berdasarkan analisis yang dilakukan, penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan sistem *IoT* berbasis *Machine learning* memiliki potensi besar untuk mengoptimalkan jaringan energi cerdas di perkotaan. *IoT* memungkinkan pengumpulan data secara *real-time* dari berbagai perangkat dalam jaringan, sementara *Machine learning* memproses data tersebut untuk menghasilkan prediksi dan keputusan yang akurat. Kombinasi keduanya menciptakan sistem yang lebih efisien, responsif, dan ramah lingkungan. Penelitian ini juga menemukan bahwa penerapan teknologi ini dapat mendukung transisi ke energi hijau dengan mengintegrasikan sumber energi terbarukan ke dalam jaringan. Dengan kemampuan prediktif dan deteksi anomali yang dimiliki oleh *Machine learning*, sistem *smart grid* menjadi lebih adaptif terhadap perubahan permintaan dan kondisi jaringan, sehingga memastikan kestabilan dan keberlanjutan energi di wilayah perkotaan.



## 1. Peran *IoT* dan *Machine learning* dalam Optimalisasi *Smart grid* di Perkotaan

*Smart grid* atau jaringan energi cerdas, telah menjadi fokus utama dalam transformasi sistem energi global. Di tengah peningkatan permintaan energi di perkotaan, *smart grid* menawarkan solusi modern dengan memanfaatkan teknologi digital, seperti *Internet of Things (IoT)* dan *Machine learning*, untuk mengelola energi secara efisien, responsif, dan berkelanjutan. *IoT* memungkinkan pengumpulan data secara *real-time* dari perangkat yang terhubung, sedangkan *Machine learning* memberikan kemampuan analitik untuk memproses data tersebut. Kombinasi teknologi ini tidak hanya mendukung optimalisasi distribusi energi tetapi juga memungkinkan integrasi energi terbarukan yang lebih baik. Artikel ini membahas secara komprehensif bagaimana *IoT* dan *Machine learning* berperan dalam optimalisasi *smart grid* di lingkungan perkotaan.

*IoT* adalah sistem yang menghubungkan perangkat fisik melalui jaringan internet untuk mengumpulkan, memproses, dan berbagi data secara *real-time*. Dalam konteks *smart grid*, *IoT* memainkan peran penting sebagai penghubung antara komponen jaringan, seperti meteran pintar, sensor distribusi daya, dan perangkat kontrol. Perangkat ini bekerja bersama untuk menghasilkan data *real-time* yang memberikan wawasan tentang kondisi jaringan, pola konsumsi energi, serta efisiensi distribusi daya. Dengan *IoT* pengelolaan energi menjadi lebih terstruktur dan terukur. Misalnya, sensor *IoT* yang terpasang di meteran pintar dapat mendeteksi lonjakan konsumsi energi pada waktu tertentu, memberikan informasi kepada penyedia energi untuk menyesuaikan distribusi daya sesuai kebutuhan. Selain itu, *IoT* memungkinkan komunikasi dua arah antara penyedia energi dan konsumen, sehingga konsumen dapat memonitor penggunaan energi mereka dan mengurangi konsumsi yang tidak diperlukan. Dalam skala besar, penerapan *IoT* di perkotaan membantu mengurangi pemborosan energi, meningkatkan efisiensi operasional, dan memperpanjang umur infrastruktur energi.

*IoT* juga memungkinkan integrasi sumber energi terbarukan ke dalam *smart grid*. Energi terbarukan, seperti tenaga surya dan angin, cenderung memiliki pasokan yang fluktuatif (Achmad Solechan et al., 2022). Dengan sensor *IoT*, data mengenai kondisi cuaca dan produksi energi dapat dikumpulkan dan dianalisis untuk mengelola fluktuasi tersebut. Misalnya, ketika produksi energi surya meningkat pada siang hari, sistem dapat mengalihkan energi berlebih ke baterai penyimpanan untuk digunakan pada malam hari. Dengan demikian, *IoT* memungkinkan pemanfaatan energi terbarukan secara optimal, mendukung transisi ke sistem energi yang lebih ramah lingkungan.

*Machine learning* adalah cabang dari kecerdasan buatan yang memungkinkan sistem untuk belajar dari data tanpa diprogram secara eksplisit. Dalam *smart grid*, *Machine learning* digunakan untuk menganalisis data besar yang dihasilkan oleh perangkat *IoT*. Teknologi ini mampu mempelajari pola konsumsi energi, memprediksi kebutuhan di masa depan, mendeteksi anomali, dan mengoptimalkan distribusi energi secara otomatis. Salah satu penerapan utama *Machine learning* dalam *smart grid* adalah prediksi beban energi. Dengan menggunakan algoritma supervised learning, sistem dapat mempelajari pola konsumsi dari data historis untuk memprediksi kebutuhan energi pada waktu tertentu. Misalnya, pada waktu-waktu puncak seperti pagi hari atau sore hari, sistem dapat meningkatkan distribusi energi untuk menghindari kekurangan daya. Sebaliknya, pada waktu beban rendah, sistem dapat mengurangi distribusi daya untuk menghemat sumber daya. Prediksi yang akurat ini membantu mengurangi pemborosan energi dan meningkatkan stabilitas jaringan.

*Machine learning* juga berperan dalam deteksi anomali, yang penting untuk menjaga keamanan dan efisiensi jaringan. Dengan menggunakan algoritma unsupervised learning, sistem dapat mengidentifikasi pola yang tidak biasa dalam data, seperti kebocoran energi atau gangguan teknis. Deteksi dini ini memungkinkan operator untuk mengambil tindakan segera sebelum masalah berkembang menjadi gangguan besar. Selain itu, *Machine learning* dapat digunakan untuk mendeteksi ancaman keamanan siber, seperti upaya peretasan terhadap jaringan energi. Dengan teknologi ini, sistem *smart grid* menjadi lebih tangguh terhadap risiko teknis dan keamanan.



Integrasi *IoT* dan *Machine learning* menciptakan sinergi yang kuat dalam mengelola *smart grid* di perkotaan. *IoT* menyediakan data *real-time* yang kaya dari berbagai perangkat dalam jaringan, sedangkan *Machine learning* menganalisis data tersebut untuk menghasilkan wawasan dan keputusan yang bermanfaat. Sinergi ini memungkinkan pengelolaan energi yang lebih efisien, responsif, dan adaptif terhadap perubahan kebutuhan. Data konsumsi energi yang dikumpulkan oleh perangkat *IoT* dapat dianalisis oleh algoritma *Machine learning* untuk mengidentifikasi pola penggunaan yang unik di setiap wilayah. Berdasarkan analisis ini, sistem dapat mengatur distribusi daya secara lebih efisien, memastikan bahwa energi dikirimkan ke wilayah yang membutuhkannya pada waktu yang tepat. Selain itu, kemampuan prediksi *Machine learning* memungkinkan sistem untuk merencanakan distribusi daya berdasarkan tren cuaca, permintaan pasar, dan kondisi jaringan, sehingga mengurangi risiko kelebihan atau kekurangan pasokan.

Sinergi ini juga mendukung integrasi energi terbarukan. Dengan data cuaca yang dikumpulkan oleh sensor *IoT*, algoritma *Machine learning* dapat memprediksi produksi energi dari sumber terbarukan, seperti panel surya dan turbin angin. Prediksi ini memungkinkan sistem untuk mengatur penggunaan energi terbarukan secara optimal, mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil. Dalam jangka panjang, sinergi *IoT* dan *Machine learning* membantu menciptakan sistem energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Meskipun memiliki banyak manfaat, penerapan *IoT* dan *Machine learning* dalam *smart grid* di perkotaan tidak terlepas dari tantangan. Salah satu tantangan utama adalah infrastruktur teknologi. Banyak jaringan energi di wilayah perkotaan masih menggunakan sistem konvensional yang memerlukan pembaruan signifikan untuk mendukung teknologi *IoT*. Selain itu, perangkat *IoT* yang terhubung menghasilkan volume data yang sangat besar, sehingga membutuhkan kapasitas penyimpanan dan pemrosesan yang tinggi.

Dengan semakin banyaknya perangkat yang terhubung, risiko ancaman siber terhadap jaringan energi meningkat. Serangan siber dapat menyebabkan gangguan besar pada distribusi energi, yang berpotensi merugikan masyarakat dan perekonomian. Oleh karena itu, diperlukan langkah-langkah keamanan yang kuat, seperti enkripsi data dan deteksi ancaman berbasis *Machine learning*, untuk melindungi jaringan dari serangan. Integrasi *IoT* dan *Machine learning* dalam *smart grid* memiliki potensi besar untuk meningkatkan keberlanjutan energi di perkotaan. Dengan teknologi ini, kota-kota dapat beralih ke sistem energi yang lebih cerdas, ramah lingkungan, dan adaptif terhadap perubahan kebutuhan. Selain itu, penerapan teknologi ini dapat mendorong inovasi di sektor energi, menciptakan peluang baru untuk pengembangan bisnis dan pekerjaan.

Ke depannya pengembangan teknologi seperti edge computing dan 5G dapat semakin mendukung implementasi *IoT* dan *Machine learning* dalam *smart grid*. Edge computing memungkinkan pemrosesan data secara lokal di dekat sumber data, sehingga mengurangi latensi dan kebutuhan bandwidth. Sementara itu, 5G menyediakan konektivitas yang lebih cepat dan andal, mendukung komunikasi *real-time* antara perangkat dalam jaringan.

Peran *IoT* dan *Machine learning* dalam *smart grid* di perkotaan tidak dapat disangkal. *IoT* menyediakan data *real-time* yang diperlukan untuk mengelola jaringan energi secara efisien, sedangkan *Machine learning* memberikan kemampuan analitik untuk memproses data tersebut. Sinergi antara kedua teknologi ini menciptakan sistem energi yang lebih cerdas, tanggap, dan berkelanjutan. Meskipun menghadapi tantangan, potensi teknologi ini dalam menciptakan kota-kota yang lebih hijau dan efisien menjadikannya solusi yang menjanjikan untuk masa depan energi.

## **2. Tantangan dan Solusi Implementasi *IoT* Berbasis *Machine learning* dalam *Smart grid***

*Internet of Things (IoT)* dan *Machine learning (ML)* telah menjadi pilar utama dalam transformasi sistem energi modern, terutama dalam konteks jaringan energi cerdas atau *smart grid*. Teknologi ini menghadirkan peluang untuk mengelola energi secara lebih efisien, responsif, dan berkelanjutan. Dengan *IoT*, perangkat-perangkat seperti meteran pintar, sensor distribusi energi, dan perangkat kontrol terhubung ke jaringan yang memungkinkan pengumpulan data secara *real-time*. Sementara itu, ML memberikan kemampuan analitik untuk memproses data besar yang dihasilkan oleh perangkat *IoT*, sehingga dapat menghasilkan prediksi dan keputusan yang lebih akurat. Namun, meskipun manfaat teknologi ini sangat



besar, implementasi *IoT* berbasis ML dalam *smart grid* menghadapi berbagai tantangan, baik teknis maupun nonteknis, yang memerlukan solusi strategis untuk memastikan keberhasilannya.

Tantangan pertama dan paling mendasar dalam implementasi *IoT* berbasis ML pada *smart grid* adalah infrastruktur teknologi yang belum memadai. Sebagian besar jaringan energi saat ini masih menggunakan sistem konvensional yang tidak dirancang untuk mendukung teknologi *IoT*. Misalnya, banyak jaringan energi yang tidak memiliki perangkat keras yang kompatibel dengan *IoT*, seperti sensor pintar dan meteran pintar, yang sangat penting untuk pengumpulan data. Selain itu, volume data besar yang dihasilkan oleh perangkat *IoT* membutuhkan infrastruktur komputasi yang kuat untuk penyimpanan dan pemrosesan data *real-time*. Tanpa infrastruktur yang memadai, sulit untuk mencapai efisiensi operasional yang diharapkan dari *smart grid*.

Konektivitas jaringan juga menjadi masalah penting. *IoT* membutuhkan jaringan komunikasi yang cepat dan andal untuk menghubungkan perangkat-perangkatnya. Namun, di banyak wilayah perkotaan, terutama di negara berkembang, ketersediaan internet broadband yang stabil dan jaringan 5G masih terbatas. Tanpa konektivitas yang baik, komunikasi antar perangkat *IoT* menjadi terganggu, yang pada akhirnya dapat menghambat efisiensi *smart grid* (Lesmana et al., 2024).

Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan investasi besar dalam pengembangan infrastruktur teknologi. Pemerintah dan perusahaan energi perlu bekerja sama untuk membangun infrastruktur yang mendukung perangkat *IoT*, termasuk pemasangan sensor pintar, penggantian meteran tradisional dengan meteran pintar, dan pengembangan jaringan komunikasi yang lebih andal. Selain itu, edge computing dapat menjadi solusi untuk mengatasi keterbatasan infrastruktur. Dengan edge computing, data dapat diproses secara lokal di dekat sumber data, mengurangi kebutuhan bandwidth dan latensi, serta meningkatkan kecepatan pengambilan keputusan. Pendekatan ini juga memungkinkan sistem untuk tetap berfungsi meskipun terjadi gangguan pada konektivitas jaringan pusat.

*IoT* berbasis ML menghasilkan volume data yang sangat besar atau big data. Data ini mencakup berbagai informasi, seperti konsumsi energi *real-time*, kondisi jaringan, dan prediksi cuaca. Namun, pengelolaan data dalam skala besar ini menjadi tantangan tersendiri, terutama dalam hal penyimpanan, pemrosesan, dan analisis. Data yang dihasilkan oleh perangkat *IoT* sering kali tidak terstruktur, sehingga memerlukan teknik analisis khusus. Selain itu, data tersebut sering kali mengandung kesalahan atau noise, yang dapat memengaruhi akurasi algoritma ML dalam membuat prediksi atau keputusan.

Masalah lainnya adalah kebutuhan akan kecepatan pemrosesan data. *Smart grid* harus mampu memproses data dalam hitungan detik untuk memberikan respons yang cepat terhadap perubahan kondisi jaringan. Namun, banyak sistem energi saat ini tidak memiliki kapasitas komputasi yang cukup untuk menangani kebutuhan ini, yang dapat menyebabkan keterlambatan dalam pengambilan keputusan dan mengurangi efisiensi sistem secara keseluruhan. Penggunaan teknologi cloud computing dapat menjadi solusi utama untuk mengatasi tantangan ini. Cloud computing menyediakan infrastruktur yang fleksibel dan dapat diskalakan untuk menyimpan dan memproses data dalam skala besar. Selain itu, teknik preprocessing data, seperti pembersihan data, normalisasi, dan penghapusan noise, harus diterapkan sebelum data dianalisis oleh algoritma ML. Hal ini memastikan bahwa data yang digunakan memiliki kualitas tinggi dan relevan dengan tujuan analisis.

Di sisi lain pengembangan algoritma ML yang lebih adaptif juga diperlukan. Algoritma ini harus mampu menangani data yang tidak terstruktur atau mengandung noise tanpa mengurangi akurasi analisis. Dengan kombinasi pendekatan ini, tantangan pengelolaan data dalam implementasi *IoT* berbasis ML dapat diatasi secara efektif. Dengan semakin banyaknya perangkat *IoT* yang terhubung dalam *smart grid*, keamanan dan privasi data menjadi perhatian utama. Risiko serangan siber terhadap jaringan energi meningkat secara signifikan. Serangan semacam itu dapat menyebabkan gangguan besar pada distribusi energi, mencuri data sensitif, atau bahkan merusak infrastruktur jaringan. Selain itu, data yang dihasilkan oleh perangkat *IoT* sering kali mencakup informasi pribadi pengguna, seperti pola konsumsi energi rumah tangga. Jika data ini tidak dilindungi dengan baik, privasi konsumen dapat terancam.



Regulasi privasi data seperti General Data Protection Regulation (GDPR), juga menambah kompleksitas dalam pengelolaan data *IoT*. Perusahaan energi harus memastikan bahwa mereka mematuhi regulasi ini, yang mencakup perlindungan data pribadi dan transparansi dalam pengelolaan data. Namun, banyak perusahaan yang masih kesulitan untuk memenuhi persyaratan ini, yang dapat menghambat adopsi teknologi *IoT* dan ML.

Untuk meningkatkan keamanan data, sistem *smart grid* harus dilengkapi dengan protokol keamanan yang kuat, seperti enkripsi data end-to-end, autentikasi perangkat, dan firewall yang canggih. Selain itu, teknologi blockchain dapat digunakan untuk meningkatkan transparansi dan keamanan dalam pengelolaan data *IoT*. Dengan blockchain, data yang dihasilkan oleh perangkat *IoT* dicatat secara aman dan tidak dapat diubah, sehingga mengurangi risiko manipulasi data. Pelatihan keamanan siber bagi staf operasional juga penting untuk memastikan bahwa mereka memahami risiko dan cara mencegah serangan siber. Di sisi lain, perusahaan energi harus meningkatkan kesadaran konsumen tentang pentingnya melindungi perangkat *IoT* mereka, seperti dengan mengubah kata sandi default dan menggunakan jaringan Wi-Fi yang aman.

Interoperabilitas adalah kemampuan berbagai perangkat dan sistem untuk bekerja sama dalam satu ekosistem. Namun, dalam *smart grid*, perangkat *IoT* sering kali berasal dari berbagai produsen dengan standar komunikasi yang berbeda. Hal ini menyebabkan masalah kompatibilitas yang dapat menghambat integrasi perangkat baru ke dalam sistem yang sudah ada. Sebagai contoh, perangkat *IoT* yang menggunakan protokol komunikasi tertentu mungkin tidak dapat berkomunikasi dengan perangkat lain yang menggunakan protokol berbeda. Masalah interoperabilitas ini tidak hanya mengurangi efisiensi operasional tetapi juga meningkatkan biaya implementasi. Ketika perangkat tidak kompatibel, perusahaan energi mungkin harus mengganti perangkat lama dengan perangkat baru, yang dapat meningkatkan beban biaya secara signifikan.

Untuk mengatasi tantangan ini, pengembangan standar global untuk perangkat *IoT* menjadi sangat penting. Standar ini harus mencakup protokol komunikasi, format data, dan keamanan, sehingga perangkat dari berbagai produsen dapat beroperasi secara bersama-sama. Selain itu, middleware dapat digunakan untuk mengatasi masalah kompatibilitas tanpa perlu mengganti perangkat yang ada. Middleware adalah perangkat lunak yang bertindak sebagai perantara antara perangkat dengan standar yang berbeda, memungkinkan mereka untuk saling berkomunikasi.

Penerapan *IoT* berbasis ML dalam *smart grid* menghadapi berbagai tantangan yang kompleks, mulai dari infrastruktur, pengelolaan data, keamanan, interoperabilitas, hingga aspek regulasi dan sosial. Namun, dengan solusi yang tepat, tantangan-tantangan ini dapat diatasi untuk menciptakan sistem *smart grid* yang cerdas, tanggap, dan berkelanjutan. Investasi dalam infrastruktur, pengembangan standar global, peningkatan keamanan siber, dan reformasi regulasi adalah langkah-langkah penting yang dapat memastikan keberhasilan teknologi ini. Dalam jangka panjang, penerapan *IoT* berbasis ML dalam *smart grid* tidak hanya akan meningkatkan efisiensi energi tetapi juga memberikan kontribusi signifikan terhadap keberlanjutan lingkungan dan kesejahteraan masyarakat perkotaan.

## KESIMPULAN

Penerapan sistem *IoT* berbasis *Machine learning* dalam jaringan energi cerdas (*smart grid*) di perkotaan merupakan langkah revolusioner dalam pengelolaan energi modern. Teknologi *IoT* memungkinkan pengumpulan data *real-time* dari berbagai perangkat dalam jaringan, sedangkan *Machine learning* memberikan kemampuan analitik untuk memproses data tersebut secara efisien dan akurat. Sinergi keduanya memungkinkan optimalisasi distribusi energi, prediksi kebutuhan, deteksi anomali, dan integrasi energi terbarukan, yang semuanya berkontribusi pada efisiensi dan keberlanjutan sistem energi. Namun, implementasi teknologi ini tidak terlepas dari tantangan, seperti infrastruktur yang belum memadai, masalah interoperabilitas, keamanan data, serta kebutuhan investasi yang besar. Dengan solusi strategis seperti peningkatan infrastruktur, pengembangan standar global, dan penerapan keamanan siber yang kuat, sistem *smart grid* berbasis *IoT* dan *Machine learning* dapat menjadi kunci keberlanjutan energi di wilayah perkotaan.



Untuk memastikan keberhasilan penerapan sistem *IoT* berbasis *Machine learning* dalam *smart grid*, pemerintah dan sektor swasta harus bekerja sama dalam mengatasi tantangan yang ada. Investasi besar dalam infrastruktur teknologi, seperti pengembangan jaringan komunikasi yang lebih andal dan pemasangan perangkat pintar, menjadi prioritas utama. Selain itu, diperlukan kebijakan yang mendorong adopsi teknologi ini, termasuk insentif finansial, standar regulasi yang jelas, dan perlindungan data konsumen. Penelitian lebih lanjut juga diperlukan untuk mengembangkan algoritma *Machine learning* yang lebih adaptif dan efisien. Sosialisasi kepada masyarakat tentang manfaat teknologi ini juga sangat penting untuk meningkatkan penerimaan publik terhadap perubahan yang dihadirkan oleh *smart grid*. Dengan pendekatan kolaboratif dan strategis, sistem ini dapat memberikan manfaat signifikan bagi pengelolaan energi perkotaan yang lebih hijau, efisien, dan berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Solechan, Jarot Dian Susatyo, & Toni Wijanarko. (2022). PELUANG BISNIS PADA PENERAPAN INDUSTRIAL INTERNET OF THING (IIoT). *Jurnal Publikasi Ilmu Komputer Dan Multimedia*, 1(3), 259–268. <https://doi.org/10.55606/jupikom.v1i3.784>
- Akbar, A. (2023). Protokol Dan Algoritma Yang Efisien Energi Untuk Jaringan Sensor Nirkabel Dalam *IoT*. *Portaldata.Org*, 3(2), 1.
- Aritonang, Y. S., Siagian, P., & Aryza, S. (2024). Inovasi dan Tantangan dalam Pengembangan Sistem Transmisi Tenaga Listrik Berbasis Teknologi Tinggi Ultra High Voltage untuk Meningkatkan Keandalan dan Efisiensi Energi ( Sebuah Tinjauan Literature ). *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3).
- Arrohman, Z. D., Andriani, W., & Gunawan. (2023). Analisis Penerapan Smart Living Dalam Pembangunan Smart City Di Kota Tegal. *Jurnal Cahaya Mandalika*, 4(2), 347–356.
- Creswell, J. (2017). *Qualitative Inquiry Research Design Choosing Among Five Approaches*.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). Mixed Methods Procedures. In *Research Defign: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*.
- Lesmana, S. P., Putra, A., Bintang, S., & Puspitasari, N. (2024). Dampak Implementasi *IoT* pada Sistem Smart Home Untuk Efisiensi Energi dan Keamanan di Kota Berkembang. *SEMNAS*, 23(11), 1–14.
- Mubarok, M. U. (2025). Comparative Study of Artificial Intelligence (AI) Utilization in Digital Marketing Strategies Between Developed and Developing Countries: A Systematic Literature Review. *Ilomata International Journal of Management*, 6(1), 1–23. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-53351-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-53351-3_1)
- Permata, N. I. (2023). Implementasi Sistem Kendali Solenoid Valve Pada Tandon Air Berbasis Esp32. *Jurnal Portal Data*, 3(4), 1–22. <http://portaldata.org/index.php/portaldata/article/view/372>
- Pramono, S. A., Wahyuningsih, E. S., Darmawan, I. N., & Rachmanudin, M. E. (2024). APPLYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS FOR OPTIMALIZING THE ELECTRICITY DISTRIBUTION NETWORK. *JESSI*, 5(3), 183–191.
- Ramadhani, N. (2023). Pengembangan Model Matematis dalam Pengelolaan Energi pada *Smart grid*. *Jurnal Dunia Ilmu*, 3(9), 1–22. <http://duniailmu.org/index.php/repo/article/view/289>
- Razak, A. (2022). Meningkatkan Efisiensi Energi di Gedung Menggunakan Jaringan Sensor Internet of Things. *Portaldata.Org*, 9(2), 356–363.
- Smith, E., & Komputer, T. (2023). Integrasi *Internet of Things (IoT)* Dengan Teknik Komputer Untuk Pengelolaan Energi Yang Efisien Pada Bangunan Cerdas. *Portaldata.Org*, 3(1), 2023–2024. <http://portaldata.org/index.php/portaldata/article/view/304>
- Susanti, S., Ekonomi, F., Jambi, U., Jambi, M., F, A. D., Ekonomi, F., Jambi, U., Jambi, M., Ekonomi, F., Jambi, U., & Jambi, M. (2024). Digital Transformation at PLN Jambi : Improving Operational Efficiency and Customer Satisfaction through Management Information Systems. *Media Journal of Accounting and Management*, 1(12), 8–20.
- Wedashwara, W., Irmawati, B., & Jatmika, A. H. (2021). Sistem Tenaga Surya Cerdas Berbasis *IoT* Dan Farm Untuk Eco Tourism. *Prosiding SAINTEK*, 3(1), 9–10. <http://jurnal.lppm.unram.ac.id/index.php/prosidingsainstek/article/view/243%0Ahttps://jurnal.lppm.unram.ac.id/index.php/prosidingsainstek/article/view/243/242>