



Analisis Konseptual Smart Energy Management System Terintegrasi Artificial Intelligence untuk Mendukung Ekosistem Hijau Berkelanjutan

Oldi Malfri Lambonan¹, Sintia Nurani Korompis², Bervie Fransel Rondonuwu³

¹D4 Teknik Listrik, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Manado, Manado

²D4 Akuntansi Keuangan, Akuntansi, Politeknik Negeri Manado, Manado

³D4 Manajemen Bisnis, Administrasi Bisnis, Politeknik Negeri Manado, Manado

E-mail: oldilambonan@elektro.polimdo.ac.id

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya kebutuhan pengelolaan energi yang efisien, cerdas, adaptif, dan berorientasi pada keberlanjutan lingkungan. Smart Energy Management System terintegrasi Artificial Intelligence dipandang sebagai pendekatan potensial untuk mendukung efisiensi penggunaan energi, pengurangan pemborosan, serta penguatan ekosistem hijau berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara konseptual integrasi sistem manajemen energi cerdas dengan Artificial Intelligence dalam mendukung pengelolaan energi berbasis data. Metode yang digunakan adalah studi literatur konseptual melalui penelusuran, analisis, dan sintesis konsep fisika energi, efisiensi energi, smart energy system, Artificial Intelligence, dan keberlanjutan lingkungan. Hasil kajian menunjukkan bahwa integrasi Artificial Intelligence dalam SEMS berperan dalam prediksi konsumsi energi, deteksi pemborosan, klasifikasi pola penggunaan, dan rekomendasi efisiensi. Hasil utama penelitian berupa arsitektur konseptual SEMS-AI yang mencakup input data energi, akuisisi data, database, pra-pemrosesan, modul AI, dashboard monitoring, rekomendasi efisiensi, estimasi dampak lingkungan, dan umpan balik keputusan. Model ini penting sebagai dasar pengembangan sistem energi cerdas untuk mendukung efisiensi energi, pengambilan keputusan berbasis data, dan ekosistem hijau berkelanjutan.

Kata kunci— artificial intelligence, efisiensi energi, ekosistem hijau, smart energy management system, studi konseptual

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan energi yang efisien dan berkelanjutan menjadi isu penting dalam pengembangan teknologi terapan, khususnya pada era transisi menuju sistem energi yang cerdas, rendah emisi, dan ramah lingkungan. Peningkatan kebutuhan energi menuntut pendekatan baru yang tidak hanya berorientasi pada pemenuhan kebutuhan, tetapi juga efisiensi penggunaan, pengendalian biaya, dan pengurangan dampak lingkungan. Pada bangunan pendidikan, strategi efisiensi perlu mempertimbangkan pola penggunaan ruang, perilaku pengguna, dan teknologi pintar untuk mengurangi pemborosan energi (Chaer et al., 2025). Pada sektor industri dan konstruksi, konservasi energi penting untuk menekan konsumsi energi global, mengurangi pemborosan, dan

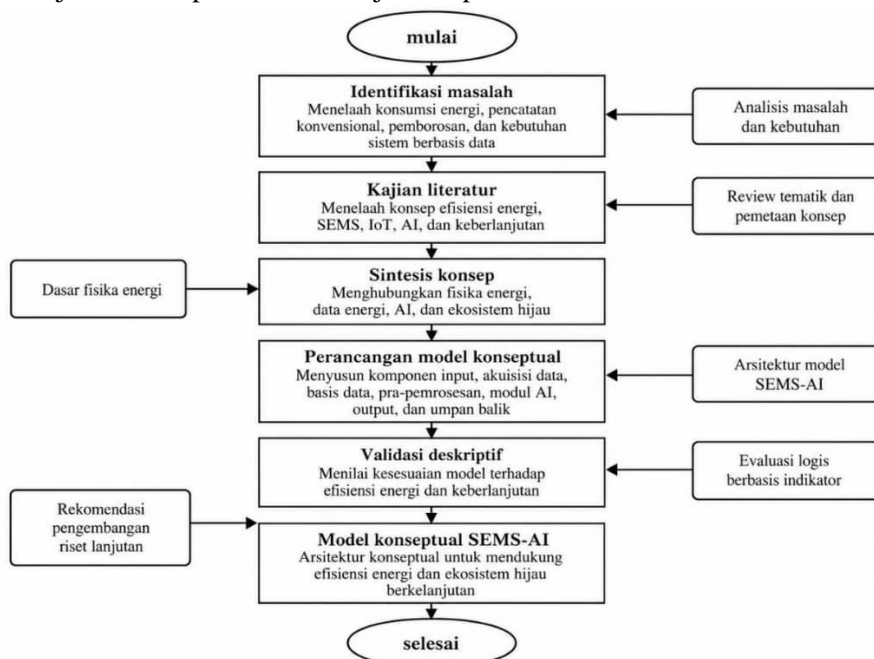
mendukung efisiensi biaya melalui sistem manajemen energi (Nurmustaqimah, 2024). Sistem manajemen energi cerdas juga perlu dievaluasi dari perspektif lingkungan agar mendukung pengurangan dampak ekologis dan transisi menuju sistem energi rendah emisi (Durillon et al., 2024). Dengan demikian, energi tidak hanya dipandang sebagai sumber daya operasional, tetapi sebagai komponen strategis dalam membangun ekosistem hijau berkelanjutan (Androniceanu et al., 2022). Meskipun kebutuhan pengelolaan energi meningkat, penggunaan energi listrik pada banyak sektor masih dikelola secara konvensional. Pencatatan energi umumnya berfokus pada biaya bulanan, belum didukung pemantauan real-time, pengolahan data konsumsi energi, dan kontrol adaptif untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi (Rao et al., 2025). Akibatnya, keputusan penghematan energi sering bersifat reaktif dan belum berbasis data. Padahal, data konsumsi energi dapat digunakan untuk mengidentifikasi perilaku penggunaan, menentukan beban puncak, memperkirakan kebutuhan energi, dan merumuskan strategi efisiensi. Pemantauan real-time, perubahan perilaku pemborosan energi, dan otomatisasi berbasis skenario penghematan menjadi pendekatan penting untuk menurunkan jejak energi dan meningkatkan efisiensi (Mischos et al., 2023). Smart Energy Management System menjadi pendekatan relevan karena mendukung pemantauan, analisis, dan pengelolaan energi secara terstruktur melalui pemanfaatan data energi (Yandri et al., 2024). Dalam perspektif fisika, konsumsi listrik dapat dianalisis melalui hubungan daya, waktu pemakaian, energi, karakteristik beban, dan efisiensi sistem. Semakin besar daya dan durasi penggunaan, semakin besar energi yang dikonsumsi. Oleh karena itu, pemahaman parameter energi penting dalam menyusun sistem manajemen energi yang mampu mengukur, mengevaluasi, dan mengoptimalkan penggunaan energi. Perkembangan teknologi digital membuka peluang integrasi Artificial Intelligence ke dalam Smart Energy Management System sebagai komponen analitik pengelolaan energi berbasis data. AI dapat memproses data konsumsi energi, mengenali pola penggunaan, memprediksi kebutuhan energi, dan mendeteksi anomali penggunaan energi. Pendekatan AI dalam efisiensi energi juga berkaitan erat dengan pemanfaatan IoT, big data, smart building, dan deteksi anomali penggunaan energi (Pasqualetto et al., 2024). Metode AI berperan dalam load forecasting, anomaly detection, dan demand response pada sistem konsumsi energi cerdas (Wang et al., 2024), serta mendukung predictive analytics melalui prediksi konsumsi, profil beban, dan perencanaan sumber daya (Le et al., 2024). Integrasi AI menjadikan sistem manajemen energi tidak hanya sebagai alat monitoring, tetapi juga sistem pendukung keputusan berbasis data. AI-driven decision support system mendukung prediksi, optimasi, dan keputusan real-time dalam pengelolaan energi berkelanjutan (Ma, 2024). Inovasi AI juga berkontribusi terhadap efisiensi energi dan pengurangan degradasi lingkungan melalui penurunan intensitas energi (Gyau et al., 2025), serta memperkuat analitik data, optimasi real-time, pengurangan emisi karbon, dan keberlanjutan (Tabaku et al., 2025). Pengelolaan energi cerdas berkaitan erat dengan agenda pembangunan berkelanjutan, khususnya akses terhadap energi yang terjangkau, andal, berkelanjutan, dan modern. Smart energy berkontribusi melalui peningkatan akses layanan energi, pemanfaatan energi terbarukan, dan efisiensi energi (Tang, 2024). Efisiensi energi juga berperan dalam pencapaian net-zero emissions melalui teknologi inovatif, strategi pengelolaan energi, dan perubahan perilaku penggunaan energi (Bera et al., 2025). Dengan demikian, efisiensi energi menjadi pendekatan strategis dalam membangun sistem energi rendah emisi, hemat sumber daya, dan berkelanjutan. Sejumlah kajian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem manajemen energi berbasis teknologi digital mampu meningkatkan efektivitas pemantauan dan pengendalian energi, sedangkan penerapan AI dalam pengelolaan energi dapat mendukung prediksi konsumsi, klasifikasi pola penggunaan, deteksi anomali, dan rekomendasi

efisiensi. Meskipun demikian, kajian yang secara khusus merumuskan Smart Energy Management System terintegrasi Artificial Intelligence sebagai model konseptual untuk mendukung ekosistem hijau berkelanjutan masih perlu diperkuat. Kebaruan penelitian ini terletak pada perumusan SEMS-AI sebagai arsitektur konseptual terpadu yang menghubungkan aspek fisika energi, data konsumsi energi, analitik AI, rekomendasi efisiensi, estimasi dampak lingkungan, dan umpan balik keputusan dalam satu kerangka sistem. Kajian terdahulu umumnya membahas manajemen energi, smart energy, IoT, atau penerapan AI dalam prediksi konsumsi energi secara terpisah. Berbeda dari kajian tersebut, penelitian ini menempatkan SEMS-AI sebagai sistem pendukung keputusan yang tidak hanya memantau konsumsi energi, tetapi juga menterjemahkan data menjadi informasi analitik, rekomendasi tindakan, dan dasar pengambilan keputusan untuk mendukung efisiensi energi dan ekosistem hijau berkelanjutan. Dengan demikian, kontribusi utama penelitian ini adalah penyusunan kerangka konseptual yang menjembatani aspek teknis, analitik, dan keberlanjutan dalam pengelolaan energi cerdas.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kajian konseptual berbasis literature review tematik dan perancangan model konseptual. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak bertujuan melakukan pengujian empiris terhadap sistem, melainkan menganalisis, menghubungkan, dan mensintesis konsep-konsep yang relevan dengan pengelolaan energi cerdas berbasis Artificial Intelligence (AI). Kajian konseptual digunakan untuk merumuskan kerangka berpikir dan arsitektur sistem yang dapat menjadi dasar pengembangan Smart Energy Management System terintegrasi Artificial Intelligence (SEMS-AI). Tahapan penelitian dilakukan melalui lima tahap utama, yaitu identifikasi masalah, penelusuran literatur, klasifikasi dan sintesis tematik, perancangan model konseptual, serta validasi deskriptif. Identifikasi masalah dilakukan dengan menelaah keterbatasan pengelolaan energi konvensional yang umumnya masih berfokus pada pencatatan konsumsi dan biaya energi, belum mengintegrasikan pemantauan real-time, analitik data, prediksi konsumsi, deteksi anomali, dan rekomendasi efisiensi. Penelusuran literatur dilakukan terhadap referensi yang relevan dengan fisika energi, efisiensi energi, Smart Energy Management System (SEMS), Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), prediksi konsumsi energi, deteksi anomali, demand response, sistem pendukung keputusan, serta keberlanjutan lingkungan. Literatur dipilih berdasarkan kesesuaian topik dengan fokus penelitian, yaitu integrasi data energi, analitik AI, dan pengambilan keputusan efisiensi energi. Kriteria inklusi dalam kajian ini meliputi literatur yang membahas manajemen energi, teknologi smart energy, penerapan AI dalam sistem energi, efisiensi energi, dan indikator keberlanjutan. Literatur yang tidak memiliki keterkaitan langsung dengan pengelolaan energi, tidak membahas aspek sistem, atau tidak mendukung perumusan model konseptual tidak dijadikan sebagai sumber utama dalam sintesis. Analisis literatur dilakukan secara tematik dengan mengelompokkan referensi ke dalam beberapa tema utama, yaitu fisika energi terapan, sistem manajemen energi cerdas, akuisisi dan pengolahan data energi, fungsi AI dalam prediksi dan deteksi anomali, rekomendasi efisiensi, serta kontribusi sistem terhadap ekosistem hijau berkelanjutan. Setiap tema dianalisis untuk menemukan konsep kunci, fungsi dalam sistem, dan indikator konseptual yang dapat digunakan dalam penyusunan model SEMS-AI. Sintesis konsep dilakukan dengan menghubungkan prinsip fisika energi, data konsumsi energi, teknologi akuisisi data, basis data, pra-pemrosesan, modul AI, dashboard monitoring, rekomendasi efisiensi, estimasi dampak lingkungan, dan umpan balik keputusan. Hasil sintesis tersebut

digunakan untuk merancang arsitektur konseptual SEMS-AI sebagai sistem pendukung keputusan berbasis data. Model yang dirumuskan tidak hanya berfungsi sebagai sistem pemantauan energi, tetapi juga sebagai kerangka analitik untuk mendukung prediksi konsumsi, deteksi pemborosan, klasifikasi pola penggunaan, rekomendasi efisiensi, dan penguatan budaya hemat energi. Validasi deskriptif dilakukan melalui evaluasi logis terhadap kesesuaian antara komponen model, fungsi sistem, indikator efisiensi energi, dan tujuan keberlanjutan lingkungan. Validasi ini dilakukan dengan menilai apakah setiap komponen dalam model memiliki hubungan fungsional yang jelas, apakah keluaran sistem mendukung pengambilan keputusan, dan apakah model yang dirumuskan relevan untuk mendukung efisiensi energi serta ekosistem hijau berkelanjutan. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Metode Penelitian Konseptual

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Analisis Kebutuhan Konseptual

Pada sistem konvensional, data energi sering berhenti pada fungsi pencatatan biaya, sehingga belum mampu menunjukkan kapan energi digunakan secara berlebihan, perangkat apa yang paling dominan memengaruhi konsumsi, atau strategi apa yang paling tepat untuk mengurangi pemborosan. Oleh karena itu, SEMS-AI perlu dirancang sebagai sistem yang menghubungkan proses pengukuran energi, analisis data, prediksi, deteksi anomali, dan rekomendasi efisiensi.

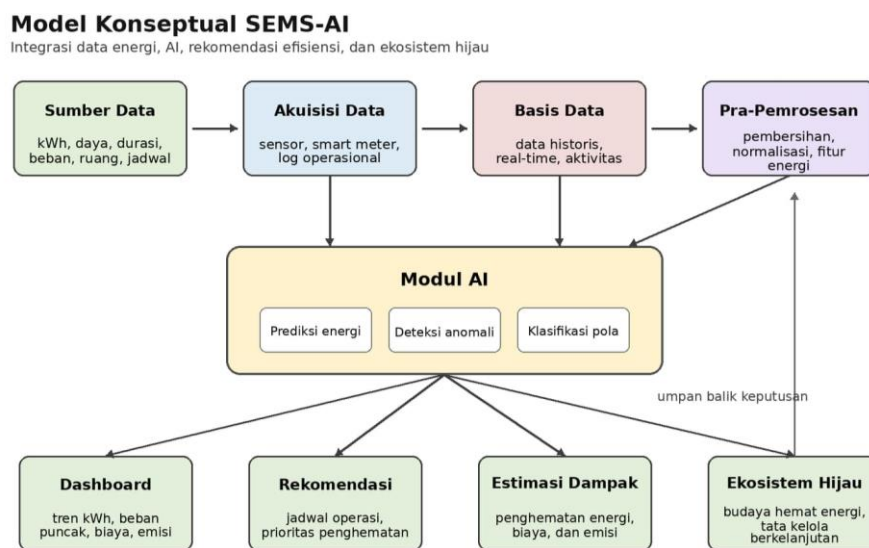
Tabel 1. Matriks sintesis konsep SEMS-AI

Konsep utama	Makna dalam penelitian	Fungsi dalam model	Indikator konseptual
Fisika energi terapan	Energi dipahami melalui daya, waktu, karakteristik beban, dan efisiensi	Dasar perhitungan konsumsi dan penghematan energi	kWh, daya puncak, durasi operasi, efisiensi
Smart Energy Management System	Sistem pemantauan, analisis, visualisasi, dan pengendalian energi	Kerangka integrasi data dan keputusan energi	monitoring, dashboard, rekomendasi
Artificial Intelligence	Pendekatan analitik untuk mengenali pola	Prediksi konsumsi, deteksi anomali,	akurasi prediksi, anomali, pola beban

	dan menghasilkan prediksi	klasifikasi pola, rekomendasi	
Ekosistem hijau berkelanjutan	Lingkungan yang mendukung efisiensi, rendah emisi, dan budaya hemat energi	Arah dampak sistem terhadap tata kelola dan perilaku	penghematan, penurunan emisi, literasi energi

3.2 Model Konseptual Smart Energy Management System Terintegrasi AI

Model konseptual yang dihasilkan menempatkan data energi sebagai input utama. Data dapat berasal dari konsumsi listrik, daya peralatan, durasi penggunaan, beban puncak, jadwal operasi, ruang atau lokasi, serta aktivitas pengguna. Data tersebut kemudian dikumpulkan melalui sensor, smart meter, log operasional, atau formulir digital. Setelah itu, data disimpan dalam basis data historis dan real-time untuk dianalisis lebih lanjut. Pada lapisan analitik, AI berfungsi sebagai komponen utama yang mengolah data energi. Arsitektur konseptual tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Model konseptual SEMS-AI

3.3 Implikasi Model SEMS-AI terhadap Efisiensi dan Ekosistem Hijau

Model SEMS-AI yang dirumuskan dalam penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai kerangka pemantauan konsumsi energi, tetapi juga memiliki implikasi terhadap peningkatan efisiensi energi dan penguatan ekosistem hijau. Melalui integrasi data energi, analitik Artificial Intelligence, dashboard monitoring, rekomendasi efisiensi, dan estimasi dampak lingkungan, model ini dapat mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih adaptif, terukur, dan berorientasi pada keberlanjutan.

3.4 Pembahasan

Hasil kajian memperlihatkan bahwa integrasi AI dalam SEMS dapat memperkuat fungsi pengelolaan energi dari sekadar pencatatan menjadi pengambilan keputusan berbasis data. Pada sistem konvensional, informasi energi baru diperoleh setelah pemakaian berlangsung dan biaya muncul dalam tagihan. Dengan SEMS-AI, data dapat dipantau lebih cepat, dianalisis secara historis dan real-time, serta digunakan untuk mendeteksi potensi pemborosan. Hal ini sejalan dengan arah pengembangan intelligent energy management system yang menekankan pentingnya monitoring, prediksi, optimasi, dan rekomendasi berbasis data. Dari sisi fisika energi, model ini memberikan dasar yang jelas untuk mengaitkan daya, waktu, energi, efisiensi, dan emisi. Persamaan $E = P \times t$ menjadi dasar sederhana tetapi penting untuk memahami bahwa

penghematan dapat dilakukan melalui pengurangan daya beban, pengurangan waktu operasi, atau peningkatan efisiensi perangkat. Ketika data tersebut dikumpulkan secara digital, AI dapat digunakan untuk membaca pola yang sulit diidentifikasi secara manual, seperti beban puncak tersembunyi, penggunaan perangkat di luar jadwal, atau konsumsi abnormal pada ruang tertentu. Dari sisi teknologi, fungsi AI yang paling relevan pada tahap awal pengembangan adalah prediksi konsumsi energi, deteksi anomali, dan rekomendasi efisiensi. Prediksi konsumsi energi membantu pengelola memperkirakan kebutuhan energi sehingga keputusan dapat bersifat antisipatif. Deteksi anomali membantu mengenali penggunaan energi yang tidak wajar, misalnya perangkat menyala di luar jam operasional atau terjadi kenaikan beban yang tidak sesuai aktivitas. Rekomendasi efisiensi memberikan nilai tambah karena sistem dapat mengusulkan tindakan, seperti pengaturan jadwal penggunaan peralatan, prioritas penggantian perangkat, atau edukasi pengguna. Dari sisi ekosistem hijau, SEMS-AI tidak hanya berkontribusi pada pengurangan konsumsi energi, tetapi juga pada tata kelola keberlanjutan. Dashboard energi dapat menjadi media edukasi untuk membangun kesadaran pengguna, sedangkan estimasi emisi dapat membantu institusi memahami kontribusi penghematan energi terhadap agenda rendah karbon. Hubungan antar komponen dalam model SEMS-AI menunjukkan bahwa sistem bekerja sebagai alur pengambilan keputusan berbasis data. Sumber data energi, seperti konsumsi listrik, daya peralatan, durasi penggunaan, beban puncak, jadwal operasi, ruang, dan aktivitas pengguna menjadi dasar awal sistem. Data tersebut dikumpulkan melalui proses akuisisi data menggunakan sensor, smart meter, log operasional, atau formulir digital. Setelah itu, data disimpan dalam basis data historis dan real-time agar dapat digunakan untuk analisis jangka pendek maupun evaluasi jangka panjang. Tahap pra-pemrosesan berperan penting untuk memastikan bahwa data energi yang dianalisis memiliki kualitas yang memadai. Proses ini mencakup pembersihan data, normalisasi, pengelompokan berdasarkan waktu atau lokasi, serta pemilahan variabel yang relevan. Data yang telah diproses kemudian dianalisis oleh modul AI untuk menghasilkan prediksi konsumsi energi, deteksi anomali, klasifikasi pola penggunaan, dan rekomendasi efisiensi. Dengan demikian, AI berfungsi sebagai penghubung antara data mentah dan keputusan pengelolaan energi. Keluaran dari modul AI kemudian diterjemahkan ke dalam dashboard monitoring, rekomendasi efisiensi, dan estimasi dampak lingkungan. Dashboard berfungsi menyajikan informasi energi secara visual, seperti tren konsumsi, beban puncak, biaya, dan potensi emisi. Rekomendasi efisiensi memberikan arahan tindakan, misalnya pengaturan jadwal operasi, identifikasi perangkat boros energi, prioritas penggantian peralatan, atau edukasi perilaku hemat energi. Estimasi dampak lingkungan memperlihatkan kontribusi penghematan energi terhadap pengurangan emisi dan penguatan ekosistem hijau. Dengan adanya umpan balik keputusan, model SEMS-AI tidak berhenti sebagai sistem monitoring, tetapi berkembang menjadi sistem adaptif. Keputusan yang diambil berdasarkan rekomendasi sistem dapat menghasilkan perubahan pola penggunaan energi, dan perubahan tersebut kembali menjadi data baru yang dianalisis oleh sistem. Alur ini membentuk siklus pembelajaran yang mendukung pengambilan keputusan berkelanjutan. Oleh karena itu, implikasi utama model SEMS-AI adalah perubahan cara pengelolaan energi dari pendekatan reaktif menuju pendekatan prediktif, adaptif, dan berbasis data.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan, penelitian ini menghasilkan model konseptual Smart Energy Management System terintegrasi Artificial Intelligence yang menempatkan data energi sebagai dasar pengambilan keputusan. Model tersebut terdiri atas komponen sumber data energi, akuisisi data, penyimpanan data, pra-pemrosesan, modul AI, dashboard monitoring, rekomendasi efisiensi, estimasi dampak, dan umpan balik keputusan. AI berperan dalam prediksi konsumsi energi, deteksi anomali, klasifikasi pola penggunaan, dan penyusunan rekomendasi penghematan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Manado dan seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Chaer, B. Ozarisoy, M. A. E. Ismail, S. Salari, dan Y. Zhihui, “Energy efficiency in educational buildings: A systematic review of smart technology integration and occupant behaviour,” *Building and Environment*, vol. 280, Art. no. 113132, Jul. 2025.
- [2] N. Nurmustaqimah, E. Astuti, dan S. Jamilatun, “Energy Management and Conservation Industrial and Building Sectors: A Review,” *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, vol. 11, no. 3, hlm. 106–115, Nov. 2024.
- [3] B. Durillon dan A. Bossu, “Environmental assessment of smart energy management systems at distribution level — A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 203, Art. no. 114739, Oct. 2024.
- [4] A. Androniceanu dan O. M. Sabie, “Overview of Green Energy as a Real Strategic Option for Sustainable Development,” *Energies*, vol. 15, no. 22, Art. no. 8573, Nov. 2022.
- [5] C. K. Rao, S. K. Sahoo, dan F. F. Yanine, “A comprehensive review of smart energy management systems for photovoltaic power generation utilizing the internet of things,” *Unconventional Resources*, vol. 7, Art. no. 100197, Jul. 2025.
- [6] S. Mischos, E. Dalagdi, D. Vrakas, “Intelligent energy management systems: a review,” *Artificial Intelligence Review*, vol. 56, hlm. 11635–11674, Mar. 2023
- [7] E. Yandri, K. P. Pramono, V. Sihombing, L. H. Effendi, dan D. Ardianto, *Sistem Manajemen Energi: Sebuah Perspektif dalam Menghadapi Era Transisi Energi*. Bandung: ITB Press, 2024.
- [8] X. Wang, H. Wang, B. Bhandari, dan L. Cheng, “AI-Empowered Methods for Smart Energy Consumption: A Review of Load Forecasting, Anomaly Detection and Demand Response,” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, vol. 11, hlm. 963–993, 2024.
- [9] T. Le, J. Priya, H. Le, N. Le, M. Duong, dan D. Cao, “Harnessing artificial intelligence for data-driven energy predictive analytics: A systematic survey towards enhancing sustainability,” *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 13, no. 2, hlm. 270–293, 2024.
- [10] N. Ma, “Artificial Intelligence-Driven Decision Support Systems for Sustainable Energy Management in Smart Cities,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 15, no. 9, hlm. 523–529, 2024.
- [11] E. B. Gyau, Y. Li, M. Appiah, B. A. Gyamfi, dan S. T. Onifade, “How does energy management AI technology innovation promote environmental mitigation?,” *Energy Strategy Reviews*, vol. 61, Art. no. 101873, Sep. 2025.
- [12] E. Tabaku, E. Vyshka, R. Kapçiu, A. Shehi, dan E. Smajli, “Utilizing Artificial Intelligence in Energy Management Systems to Improve Carbon Emission Reduction and Sustainability,” *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, vol. 9, no. 1, 2025.
- [13] J. Tang, “How the Smart Energy Can Contribute towards Achieving Sustainable Development Goal 7? A Perspective from China,” *Sustainability*, vol. 16, no. 17, Art. no. 7822, 2024.
- [14] M. Bera, “Advancing energy efficiency: innovative technologies and strategies for net-zero emissions,” *Carbon Footprints*, vol. 4, no. 1, Art. no. 2, 2025.
- [15] A. Pasqualetto, L. Serafini, dan M. Sprocati, “Artificial Intelligence Approaches for Energy Efficiency: A Review,” *arXiv preprint arXiv:2407.21726*, 2024.