



PEMANFAATAN IOT UNTUK EFISIENSI ENERGI PADA PABRIK PINTAR: TANTANGAN, SOLUSI DAN TREN TEKNOLOGI

Ewin Suciana¹, Muhammad Hudzaifah Nasrullah², Duta Arief Christanto³, Dede Cahyadi⁴, Lilik Tiara Giantri⁵

^{1,2,3,4,5} Teknik Informatika, Universitas Yarsi Pratama
Kabupaten Tangerang, Banten, Indonesia 15720

ewin@yarsipratama.ac.id, hudzaifah@yarsipratama.ac.id, duta@yarsipratama.ac.id, dede@yarsipratama.ac.id,
lilik@yarsipratama.ac.id

Abstract

This study investigates the role of the Internet of Things in enhancing energy efficiency within smart factories by analyzing current trends, driving factors, and challenges. A Systematic Literature Review with the PRISMA framework was employed to ensure systematic and comprehensive selection of studies. The PICO framework guided the formulation of research questions, facilitating rigorous screening of data sourced from the Scopus database with strict inclusion and exclusion criteria. Findings reveal a substantial increase in IoT-related energy efficiency research in smart factories between 2019 and 2025. Key challenges identified include high sensor energy consumption, communication reliability, and network management complexity. Research limitations stem from the exclusive use of the Scopus database and English-language publications. The study highlights the necessity of interdisciplinary approaches and advanced technologies such as 5G and edge computing to address integration and data security issues, thereby supporting the effective and sustainable deployment of IoT in the manufacturing sector.

Keywords: Energy efficiency, IoT, PRISMA framework, SLR, smart factory

Abstrak

Penelitian ini mengkaji peran *Internet of Things* dalam meningkatkan efisiensi energi pada pabrik pintar dengan menganalisis tren, faktor pendorong, dan tantangan terkini. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* dengan kerangka kerja PRISMA untuk memastikan seleksi studi yang sistematis dan terpadu. Penerapan kerangka PICO dalam perumusan pertanyaan penelitian memandu penyaringan data dari *database* Scopus dengan kriteria inklusi dan eksklusi ketat. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan dalam publikasi penelitian IoT untuk efisiensi energi di pabrik pintar selama tahun 2019-2025. Tantangan utama meliputi konsumsi energi sensor yang tinggi, keandalan komunikasi, serta kompleksitas manajemen jaringan. Keterbatasan penelitian terkait penggunaan sumber data yang terbatas pada *database* Scopus dan publikasi berbahasa Inggris. Penelitian ini menekankan perlunya pendekatan interdisipliner dan teknologi canggih seperti 5G dan *edge computing* untuk mengatasi isu integrasi serta keamanan data guna mendukung implementasi IoT yang efektif dan berkelanjutan di sektor manufaktur.

Kata kunci: Efisiensi energi, IoT, kerangka PRISMA, pabrik pintar, SLR

1. PENDAHULUAN

Systematic literature review memegang peranan penting untuk memajukan solusi cerdas berbasis IoT untuk meningkatkan efisiensi energi di pabrik pintar. Melalui analisis menyeluruh terhadap studi yang ada, *SLR* mengungkapkan tren kontemporer, menunjukkan kekurangan penelitian, dan membantu dalam klasifikasi strategi manajemen energi yang beragam, sehingga membangun landasan pengetahuan yang koheren yang penting untuk inovasi [1]. *Review* ini juga menganalisis

hambatan teknis dan operasional dan menyajikan kerangka kerja yang bertujuan mengurangi inefisiensi energi dalam aplikasi IoT dalam lingkungan industri [2]. Dengan demikian, *SLR* menjadi instrumen metodologis penting yang mengarahkan para peneliti dan praktisi industri menuju realisasi penerapan paradigma pabrik pintar yang lebih efisien dan berkelanjutan, sehingga dapat mendukung tujuan Industri 4.0 dan transisi ke ekosistem manufaktur yang ramah lingkungan dan efisien [3].

Sistem pada pabrik pintar meningkatkan proses operasional dan secara nyata meningkatkan efisiensi energi, yang sangat penting mengingat tingginya kebutuhan energi pada manufaktur [4]. Meskipun IoT memungkinkan pemantauan *real-time* dan kontrol prediktif, berbagai hambatan tetap ada, termasuk integrasi perangkat heterogen dengan sistem lama, memastikan keamanan siber, dan mengelola beban energi dari IoT [5], [6], [7]. Selain itu, diperlukan kerangka kerja manajemen energi komprehensif yang mengintegrasikan sumber energi terbarukan dan teknik pembelajaran mesin canggih untuk optimasi dinamis. Mengatasi kekurangan ini sangat penting untuk memaksimalkan keuntungan IoT dalam mengurangi konsumsi energi dan dampak lingkungan dalam fasilitas manufaktur cerdas.

Penelitian ini mengkaji temuan dan arah penelitian masa depan dalam domain solusi cerdas berbasis IoT yang bertujuan meningkatkan efisiensi energi pada pabrik pintar. Studi kontemporer menunjukkan bahwa teknologi IoT secara nyata meningkatkan manajemen energi melalui pemantauan *real-time*, pemeliharaan prediktif, dan alokasi sumber daya yang optimal, dengan penggabungan AI, *big data*, dan robotika yang berperan penting dalam mendorong keberlanjutan operasional [4], [8]. Masalah interoperabilitas perangkat dan kebutuhan energi merupakan tantangan nyata, yang memerlukan penerapan solusi *skalabel* dan integrasi energi terbarukan [9]. Penelitian di masa depan harus berkonsentrasi pada pengembangan sistem manajemen energi mutakhir, solusi IoT berkelanjutan, dan penerapan kebijakan yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan keuntungan ekologis

[10].

2. METODE PENELITIAN

Analisis dilakukan melalui penerapan *systematic literature review* (SLR) yang menggunakan kerangka kerja PRISMA untuk memastikan pendekatan yang terstruktur dan komprehensif dalam mengidentifikasi temuan utama terkait penerapan IoT untuk efisiensi energi [11]. PRISMA berfungsi sebagai pedoman utama dalam pelaporan tinjauan sistematis dan meta-analisis, yang dapat meningkatkan relevansi, penerapan, serta ketelitian dalam proses kajian. Oleh karena itu, PRISMA dapat memperkuat tujuan *systematic literature review* ini terhadap perumusan kebijakan, strategi pedagogis, dan metode pengajaran berbasis bukti [12], [13].

2.1. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dengan menyusun pertanyaan penelitian yang tepat dan pembuatan alur yang bertujuan untuk menjamin transparansi dan integritas metodologis [14], [15]. Tinjauan literatur dan proses penyaringan dilakukan dengan menggunakan kriteria yang ketat untuk mengidentifikasi studi yang relevan, namun penelitian ini dapat menjadi sulit dan rentan terhadap kesalahan [16].

Tahapan-tahapan tersebut meliputi penilaian kualitas, pengumpulan data, dan sintesis, yang sering kali menggunakan teknik meta-evaluasi untuk memberikan wawasan mendalam tentang elemen-elemen penting yang lebih dari analisis frekuensi sederhana [17], [18]. Tahap akhir, hasil penelitian disajikan secara sistematis dengan panduan daftar periksa untuk memastikan kejelasan dan ketepatan dalam penyampaian informasi.

2.2. PICO Framework dan Research Question

Tahapan pertama adalah membuat kerangka kerja PICO seperti yang diuraikan pada Tabel 1, untuk menyusun pertanyaan penelitian yang spesifik, sehingga memungkinkan dilakukannya penilaian yang menyeluruh dan sistematis [19], [20]. Kerangka kerja PICO dipilih karena sederhana dan relevan untuk analisis efektivitas solusi IoT di pabrik pintar, serta memberi keseimbangan antara kedalaman dan fokus tanpa elemen tambahan yang tidak sesuai konteks penelitian.

Tabel 1. Kerangka Kerja PICO

Komponen PICO	Deskripsi
<i>Population</i>	Pabrik pintar yang menerapkan teknologi IoT
<i>Intervention</i>	Sistem pintar berbasis IoT untuk efisiensi energi
<i>Comparison</i>	Metode manajemen energi konvensional
<i>Outcome</i>	Peningkatan efisiensi energi, pengurangan konsumsi energi, manfaat operasional

Tahap berikutnya adalah penyusunan pertanyaan penelitian yang dirancang berdasarkan kerangka tersebut guna mengarahkan proses tinjauan secara sistematis [21]. *Systematic literature review* ditentukan oleh pertanyaan penelitian yang merumuskan cakupan penelitian. Oleh karena itu, pertanyaan penelitian yang spesifik harus disusun untuk memastikan arah dan tujuan kajian yang jelas.

RQ1. Apa tren terkini dan distribusi tahunan publikasi penelitian tentang IoT untuk efisiensi energi di pabrik pintar?

RQ2. Bagaimana berbagai bidang studi berkontribusi pada penelitian IoT untuk efisiensi energi di pabrik pintar?

RQ3. Negara mana saja yang memimpin dalam mempublikasikan penelitian tentang solusi efisiensi energi berbasis IoT di pabrik pintar, dan bagaimana karakteristik distribusi penelitian global?

2.3. Sumber Data dan Kriteria Seleksi

Sumber data yang dipilih dalam penelitian ini adalah Scopus, Scopus dipilih karena cakupan komprehensif literatur ilmiah berkualitas, memfasilitasi akses ke penelitian terkait dan kontemporer. Adapun *query* yang digunakan untuk pencarian data pada Scopus adalah *Internet of Things OR iot AND energy efficiency OR energy management OR power optimization AND smart factory OR*

intelligent manufacturing OR industrial IoT OR Industry 4.0. Artikel dari basis data yang dipilih disaring berdasarkan judul, kata kunci, dan abstrak.

Setelah hasil diperoleh, tahap selanjutnya adalah proses penilaian menggunakan kriteria inklusi dan eksklusi untuk menentukan literatur yang sesuai dengan tujuan penelitian, dengan mempertimbangkan elemen-elemen seperti lokasi

geografis, sumber publikasi, bahasa, dan tanggal publikasi [22], [23], [24] seperti pada Tabel 2. Penyeleksian Judul dan Abstrak digunakan untuk penyempurnaan studi.

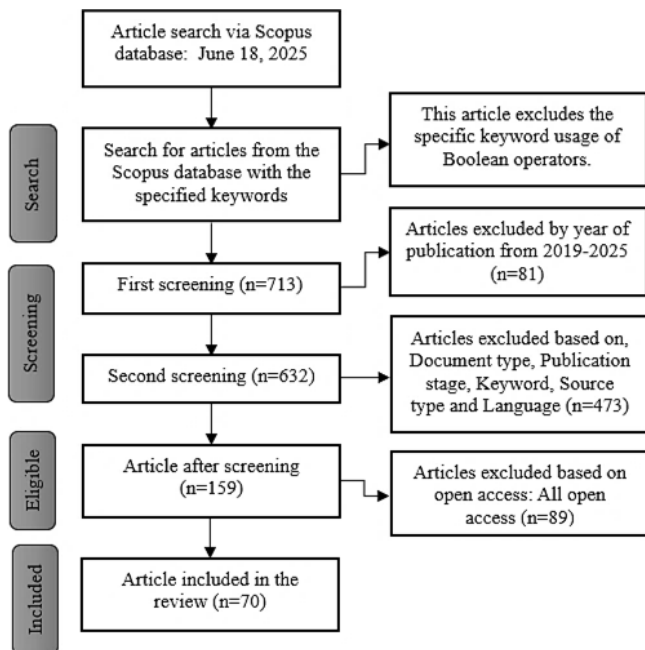
Penyaringan Teks Lengkap diperlukan untuk evaluasi dan Penilaian Kualitas secara menyeluruh. Aplikasi Zotero membantu dalam ekstraksi data dan proses manajemen artikel.

Tabel 2. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kategori	Inklusi	Eksklusi
Database	Scopus	Semua basis data lainnya
Rentang Waktu	2019 - 2025	Artikel yang diterbitkan sebelum 2019 dan setelah 2025
Jenis Dokumen	Article	Semua jenis dokumen lainnya (misalnya tinjauan, makalah konferensi, bab buku, dan buku)
Bahasa	English	Bahasa lain
Tahap Publikasi	Final	Artikel dalam tahap prapublikasi
Bidang Kajian	Ilmu Komputer	Bidang kajian lainnya
Kata Kunci	Energy Efficiency	Kata kunci lainnya
Jenis Sumber	Journal	Buku, prosiding konferensi, dan seri buku
Akses Terbuka	All open access	Green, Gold, Hybrid gold dan Bronze

2.4. Metode PRISMA

Tahap akhir dari tahapan kedua memerlukan penjelasan yang komprehensif dari semua proses yang menggunakan metodologi PRISMA [25], [26] seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1. Metodologi ini terdiri dari tiga tahap utama: *search*, *screening*, *eligible and inclusion*.



Gambar 1. Kerangka Kerja Metode PRISMA

Berdasarkan gambar 1, tahap awal pencarian data dilakukan dengan kata kunci menghasilkan 713 artikel.

Tahap penyaringan awal dilakukan dengan mengecualikan studi berdasarkan tahun publikasi, sehingga tersisa 632 artikel. Selanjutnya, tahap penyaringan kedua mempersempit seleksi menjadi 159 artikel. Tahap akhir, artikel yang dikecualikan berdasarkan kriteria *open access: All open access* menghasilkan 70 artikel yang digunakan untuk memvalidasi kualitas dan kredibilitas sumber yang dianalisis. Referensi yang digunakan penelitian ini mewakili 70 artikel yang dipilih secara selektif untuk memastikan representasi literatur yang relevan dan mendukung fokus analisis, sesuai dengan standar *systematic literature review*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

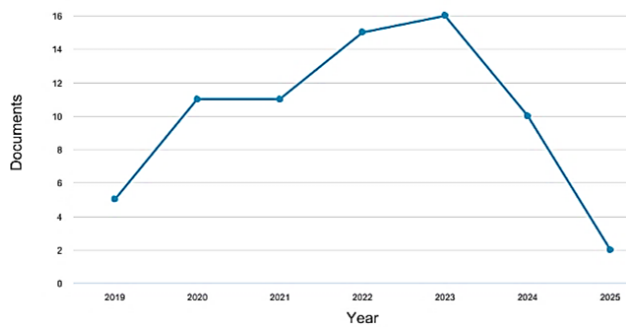
3.1. Hasil Penelitian

Penelitian ini mengkaji tiga pertanyaan yang berasal dari 70 artikel dalam *database* Scopus mengenai solusi cerdas berbasis IoT untuk efisiensi energi di pabrik pintar. Data yang dikumpulkan berupa jumlah publikasi, tren tahunan, dan sumber jurnal. Selanjutnya, penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan faktor-faktor utama yang mempengaruhi integrasi IoT dalam efisiensi energi, yang mencakup negara-negara yang berpartisipasi dan efek menyeluruh dari IoT pada efisiensi energi

RQ1: Apa tren terkini dan distribusi tahunan publikasi penelitian tentang IoT untuk efisiensi energi di pabrik pintar?

Berdasarkan data Scopus, karya ilmiah tentang solusi cerdas berbasis IoT untuk efisiensi energi di pabrik pintar

mencakup 70 artikel selama enam tahun ditunjukkan pada Gambar 2.

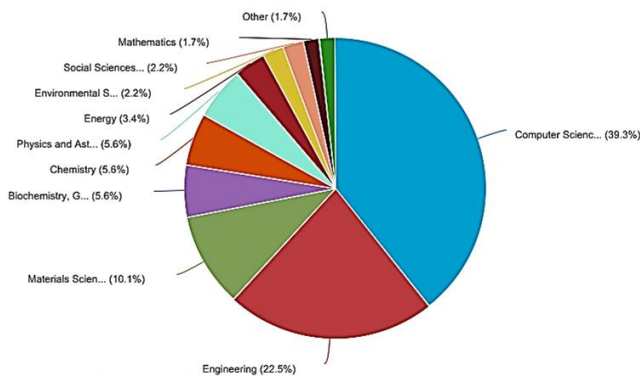


Gambar 2. Tren Publikasi IoT untuk Efisiensi Energi Pabrik Pintar

Berdasarkan gambar 2, tren publikasi artikel ilmiah tentang IoT untuk efisiensi energi di pabrik pintar dari 2019 hingga 2025. Publikasi naik secara signifikan dari 5 publikasi pada 2019 menjadi 16 publikasi pada tahun 2023. Setelah tahun 2023, terjadi penurunan jumlah dokumen hingga hanya tersisa 2 dokumen pada tahun 2025, yang kemungkinan disebabkan oleh data tahun 2025 yang belum lengkap. Tren ini menunjukkan meningkatnya perhatian riset pada topik ini di periode awal, dengan kemungkinan fase transisi atau perubahan fokus penelitian setelah puncak tersebut.

RQ2: Bagaimana berbagai bidang studi berkontribusi pada penelitian IoT untuk efisiensi energi di pabrik pintar?

Hasil analisis bidang studi dari 70 artikel tentang IoT untuk efisiensi energi di pabrik pintar berdasarkan pada bidang keilmuan, dengan menyoroti kategori utama yang ditampilkan dalam gambar 3.

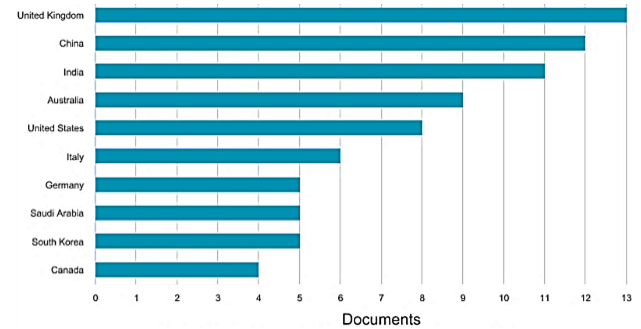


Gambar 3. Bidang Studi IoT dan Efisiensi Energi di Pabrik Pintar

Gambar 3 menunjukkan distribusi area bidang studi ilmiah yang berkaitan dengan IoT dan efisiensi energi di pabrik pintar. Ilmu Komputer memimpin dengan 39,3%, diikuti oleh Teknik pada 22,5%, dan Ilmu Material pada 10,1%. Bidang tambahan seperti Biokimia, Fisika, Kimia, Energi, dan Ilmu Lingkungan, meskipun persentasenya lebih kecil, tetap signifikan. Distribusi ini menggarisbawahi sifat interdisipliner penelitian yang mengintegrasikan teknologi, teknik, dan ilmu material dalam ranah IoT dan efisiensi energi.

RQ3: Siapa yang memimpin dalam mempublikasikan penelitian mengenai solusi efisiensi energi berbasis IoT di pabrik pintar, dan bagaimana karakteristik distribusi penelitian global?

Analisis distribusi penelitian tentang IoT untuk efisiensi energi di pabrik pintar dilakukan dengan mengategorikan 70 artikel berdasarkan klasifikasi negara, dengan fokus pada 10 artikel teratas di setiap kategori sebagaimana ditampilkan dalam gambar 4.



Gambar 4. Jumlah Artikel Berdasarkan 10 Negara Teratas

Gambar 4 menunjukkan distribusi jumlah dokumen ilmiah berdasarkan negara. United Kingdom menempati posisi teratas dengan jumlah publikasi terbanyak yaitu 13 publikasi, yang diikuti oleh China, India, dan Australia sebagai kontributor utama. Selain itu, Amerika Serikat, Italia, Jerman, Saudi Arabia, Korea Selatan, dan Kanada juga memiliki partisipasi signifikan dalam publikasi terkait topik ini. Data ini menjelaskan dominasi penelitian dari beberapa negara maju dan berkembang, mencerminkan tingkat investasi dan fokus riset yang berbeda-beda dalam pengembangan IoT untuk efisiensi energi di pabrik pintar secara global.

3.2. Pembahasan Penelitian

Berdasarkan tinjauan sistematis di atas, hasil menunjukkan peningkatan dalam efisiensi energi melalui sistem pintar berbasis IoT dibandingkan dengan pendekatan tradisional. Meskipun demikian, tantangan yang terkait dengan integrasi dan operasi tetap ada, sehingga perlu menjadi perhatian dalam pengembangan solusi ini.

3.2.1 Efektivitas Sistem Pintar Berbasis IoT dalam efisiensi energi

Efektivitas sistem pintar berbasis IoT dalam meningkatkan efisiensi energi melebihi metode tradisional melalui penerapan data *real-time* dan analitik canggih. Dalam bangunan cerdas, penggabungan IoT memfasilitasi pengawasan dan regulasi konsumsi energi yang akurat, menghasilkan pengurangan energi yang cukup besar dan kenyamanan operasional yang ditingkatkan [27]. Pengambilan keputusan berbasis data melalui AI meningkatkan efisiensi energi. Sistem IoT menunjukkan pengurangan 42% dalam penggunaan daya dan

meningkatkan keberlanjutan dibandingkan dengan metode konvensional [28].

Selain itu, integrasi *unmanned aerial vehicle* untuk tujuan akuisisi data dalam hubungannya dengan jaringan sensor nirkabel meningkatkan efektivitas komunikasi dan mengurangi konsumsi energi [29]. Penggabungan kemajuan teknologi meningkatkan potensi solusi cerdas yang didorong oleh *Internet of Things* untuk secara nyata meningkatkan efisiensi energi dalam konteks industri dan arsitektur.

3.2.2 Tantangan dan Solusi Integrasi IoT di Lingkungan Pabrik pintar

Penerapan teknologi IoT di lingkungan pabrik pintar menghadapi hambatan kritis yang ditentukan oleh peningkatan konsumsi energi yang dikaitkan dengan penggunaan sensor yang ekstensif, sehingga memperburuk biaya operasional dan konsekuensi ekologis [30]. Untuk mengurangi masalah ini, alternatif hemat energi, seperti *node* sensor nirkabel bertenaga optik yang menggunakan teknologi *powerover-fiber*, telah disarankan untuk digunakan. Keandalan komunikasi sangat penting, memerlukan *ultra-reliable low-latency communication (URLLC)* yang sangat andal yang difasilitasi oleh teknologi generasi kelima (5G) dan *multi-access edge computing (MEC)* untuk pemrosesan data secara *real-time*. Gangguan yang timbul dari beragam teknologi nirkabel dapat dikelola secara efektif melalui implementasi *self-organizing networks (SON)* yang bertujuan untuk mengoptimalkan sistem komunikasi [31].

Selain itu, kompleksitas dari operasi pabrik pintar memerlukan penerapan metodologi pengoptimalan lanjutan, seperti kerangka teori *directed acyclic graph and adaptive communication (DACODE)*, untuk meningkatkan efisiensi energi dan kinerja sistem secara keseluruhan [32], [33]. Mengatasi tantangan yang beragam ini, sangat penting untuk implementasi IoT yang berkelanjutan dan efisien di lingkungan industri.

3.2.3 Dampak IoT pada Efisiensi Operasional Pabrik pintar

Internet of Things memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi operasional dalam lingkungan pabrik pintar melalui pemanfaatan kemampuan akuisisi data *real-time* yang memungkinkan pengawasan berkelanjutan dari proses produksi dan penyesuaian cepat yang dirancang untuk meminimalkan *downtime* dan meningkatkan keandalan peralatan. Integrasi teknologi IoT dengan kecerdasan buatan memungkinkan analisis data tingkat lanjut, sehingga memungkinkan identifikasi pola dan tren yang secara efektif mengoptimalkan proses produksi dan alokasi sumber daya. Selain itu, pendekatan pemeliharaan prediktif berbasis di IoT mendukung identifikasi awal kemungkinan kerusakan sebelum terjadi,

akibatnya menurunkan pengeluaran pemeliharaan dan mencegah penghentian produksi yang tidak terduga [34].

Otomatisasi yang dikerjakan IoT memungkinkan mesin untuk saling berkomunikasi dan berfungsi secara independen, sehingga meningkatkan efisiensi produksi sekaligus mengurangi pengeluaran tenaga kerja [31]. Selanjutnya, pemantauan secara *real-time* pemanfaatan energi dan implementasi *edge computing* mempercepat operasi pemrosesan data dan meningkatkan efisiensi energi, yang secara bersamaan mendukung keberlanjutan dalam sektor manufaktur [35]. Namun, tantangan yang terkait dengan keamanan data dan privasi harus tetap menjadi perhatian penting dalam kemajuan berkelanjutan sistem IoT untuk lingkungan manufaktur cerdas untuk menjamin perlindungan aset digital dan integritas operasional.

3.2.4 Peran Teknologi Baru dalam Meningkatkan Efisiensi Energi pada pabrik pintar

Penggabungan teknologi canggih di pabrik pintar secara signifikan meningkatkan efisiensi energi. Sistem otomasi dan interkoneksi mendorong pemanfaatan teknologi seperti IoT, *Mobile Edge Computing*, dan *blockchain*, yang merampingkan operasi dan mendorong keberlanjutan melalui optimalisasi energi dan minimalisasi limbah.

Sensor IoT dalam mesin industri memfasilitasi pemantauan konsumsi energi dan kinerja operasional secara *real-time*, memungkinkan penyesuaian cepat untuk mengurangi pemborosan energi dan menurunkan emisi karbon. Selain itu, pemeliharaan prediktif berbasis IoT memungkinkan deteksi dini potensi kerusakan yang meminimalkan *downtime* serta memaksimalkan efisiensi energi selama proses produksi [36].

MEC mendukung transfer tanggung jawab komputasi dari perangkat seluler ke *server edge* yang berdekatan dengan sumber data, sehingga mengurangi latensi dan pengeluaran energi dibandingkan dengan pemrosesan *cloud* jarak jauh. implementasi algoritma hemat energi dalam kerangka kerja *MEC* meningkatkan performa aplikasi dengan tetap mematuhi standar kualitas layanan.

Teknologi *blockchain* meningkatkan integritas dan transparansi data dalam proses produksi, yang penting untuk realisasi operasi hemat energi. Dengan membangun kerangka kerja yang andal untuk pertukaran data di antara para pemangku kepentingan, *blockchain* dapat memfasilitasi pengambilan keputusan yang lebih efektif mengenai konsumsi energi dan alokasi sumber daya. Integrasi teknologi *blockchain* dengan metode optimasi memungkinkan perumusan proses produksi yang lebih hemat energi, disertai dengan sistem pendukung keputusan *real-time* yang responsif terhadap kondisi dinamis [37].

3.2.5 Tren Adopsi Industri dan Arah Pengembangan IIoT

Peran teknologi pada *industrial internet of things* mampu meningkatkan konektivitas dan otomatisasi di pabrik pintar untuk manajemen data *real-time*, sehingga dapat mengoptimalkan proses industri melalui mekanisme kontrol yang lebih efisien. Namun, peningkatan jumlah perangkat IIoT menimbulkan masalah konsumsi energi, yang mengharuskan pengembangan strategi hemat energi seperti *resource-aware routing protocols* untuk memperpanjang umur jaringan dan meminimalkan penggunaan energi [38].

Tren terbaru dalam IIoT mencakup integrasi *blockchain* dan *edge computing*, meningkatkan keamanan data dan meminimalkan latensi pemrosesan untuk proses produksi yang lebih efisien dan hemat energi [39]. Selain itu, inovasi dalam catu daya, seperti teknologi *powerover-fiber*, menawarkan solusi yang andal dan hemat energi untuk sensor nirkabel dalam pengaturan industri yang berbahaya. Dalam hal keamanan, pengembangan *lightweight authentication protocols* dan *secure key exchange mechanisms* yang aman bertujuan untuk melindungi sistem IIoT terhadap ancaman siber dan akses tidak sah yang dapat membahayakan operasi pabrik [40].

Di masa depan, penelitian akan fokus pada pengembangan sistem deteksi anomali adaptif terhadap *aging process* dalam pabrik pintar, memanfaatkan kecerdasan buatan untuk meningkatkan pengambilan keputusan operasional. Integrasi teknologi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi energi dan keberlanjutan produksi, memfasilitasi evolusi pabrik menjadi lebih cerdas, lebih aman, dan lebih efisien dalam mengatasi tantangan industri di masa depan.

4. KESIMPULAN

Temuan penelitian menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam publikasi ilmiah yang berkaitan dengan solusi cerdas berbasis IoT untuk meningkatkan efisiensi energi pada pabrik pintar dari 2019 hingga 2025, yang mencerminkan penekanan akademis yang meningkat di bidang ini. Disiplin ilmu komputer terutama memimpin dalam *output* penelitian, diikuti oleh teknik dan ilmu material, menandakan karakter interdisipliner yang inheren dari materi pelajaran ini. Baik negara maju dan berkembang, termasuk Inggris, China, dan India menjadi pemimpin utama dalam publikasi, menandakan keberagaman kontribusi global terhadap pengembangan IoT untuk efisiensi energi pada pabrik pintar.

Penelitian ini membuktikan bahwa meskipun sistem pintar berbasis IoT menunjukkan potensi yang cukup besar untuk meningkatkan efisiensi energi secara nyata dibandingkan dengan metodologi konvensional melalui penerapan data *real-time* dan analitik canggih, tantangan signifikan yang berkaitan dengan integrasi dan fungsionalitas teknologi ini tetap ada. Tantangan seperti peningkatan konsumsi energi oleh sensor, kebutuhan untuk komunikasi yang sangat andal yang ditandai dengan latensi minimal, dan seluk-beluk manajemen jaringan harus diatasi untuk memastikan

bahwa solusi IoT dapat diterapkan secara efektif dan berkelanjutan.

Kemajuan solusi IoT dalam lingkungan pabrik pintar memerlukan penggabungan metodologi interdisipliner dan teknologi canggih, termasuk teknologi 5G, komputasi *edge*, dan teknik pengoptimalan jaringan yang canggih, untuk mengatasi keterbatasan implementasi. Selain itu, keamanan data dan privasi harus diprioritaskan selama pelaksanaan sistem IoT industri. Implikasi pragmatis menyoroti potensi peningkatan dalam efisiensi operasional dan energi, yang pada akhirnya dapat meningkatkan keberlanjutan sektor industri manufaktur di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Wang, D. Zhong, and A. Souri, "Energy management solutions in the Internet of Things applications: Technical analysis and new research directions," *Cogn. Syst. Res.*, vol. 67, pp. 33–49, 2021, doi: 10.1016/j.cogsys.2020.12.009.
- [2] F. S. Tesch da Silva, C. A. da Costa, C. D. Paredes Crovato, and R. da Rosa Righi, "Looking at energy through the lens of Industry 4.0: A systematic literature review of concerns and challenges," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 143, 2020, doi: 10.1016/j.cie.2020.106426.
- [3] H. Yadav, U. Soni, and G. Kumar, "Analysing challenges to smart waste management for a sustainable circular economy in developing countries: a fuzzy DEMATEL study," *Smart Sustain. Built Environ.*, vol. 12, no. 2, pp. 361–384, 2023, doi: 10.1108/SASBE-06-2021-0097.
- [4] S. C. Vetrivel, T. P. Saravanan, and R. Maheswari, "Smart factories and energy efficiency in industry 4.0," in *Distributed Time-Sensitive Systems, 2025*, pp. 63–103. doi: 10.1002/9781394197798.ch4.
- [5] D. H. Wi, H. J. Kwon, J. K. Park, S. J. Kang, and J. D. Lee, "Opportunistic and location-based collaboration architecture among mobile assets and fixed manufacturing processes," *Sens. Switz.*, vol. 18, no. 8, 2018, doi: 10.3390/s18082703.
- [6] K. Musaeva, I. Vyachina, and M. Aliyeva, "Smart factories and their impact on modern manufacturing enterprises: Prospects and challenges in the era of the digital economy," presented at the E3S Web of Conferences, 2024. doi: 10.1051/e3sconf/202453707010.
- [7] K. Dhondge, R. Shorey, and J. Tew, "HOLA: Heuristic and opportunistic link selection algorithm for energy efficiency in Industrial Internet of Things (IIoT) systems," presented at the 2016 8th International Conference on

- Communication Systems and Networks, COMSNETS 2016, 2016. doi: 10.1109/COMSNETS.2016.7439960.
- [8] M. Soori, B. Arezoo, and R. Dastres, "Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review," *Internet Things Cyber-Phys. Syst.*, vol. 3, pp. 192–204, 2023, doi: 10.1016/j.iotcps.2023.04.006.
- [9] A. H. Bagdadee, L. Zhang, and M. Saddam Hossain Remus, "A Brief Review of the IoT-Based Energy Management System in the Smart Industry," presented at the Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, pp. 443–459. doi: 10.1007/978-981-15-0199-9_38.
- [10] R. Lee, S. H. Park, and J. G. Park, "Key success factors of business performance: Evidence from smart factories in South Korea," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 10, no. 19, pp. 3291–3301, 2020.
- [11] V. Mishra and M. P. Mishra, "Prisma for review of management literature – method, merits, and limitations – an academic review," *Rev. Manag. Lit.*, vol. 2, pp. 125–136, 2023, doi: 10.1108/S2754-586520230000002007.
- [12] M. J. Page, D. Moher, S. Brennan, and J. E. McKenzie, "The PRISMATIC project: protocol for a research programme on novel methods to improve reporting and peer review of systematic reviews of health evidence," *Syst. Rev.*, vol. 12, no. 1, 2023, doi: 10.1186/s13643-023-02363-6.
- [13] R. J. Posso, L. C. Barba, R. A. Tenorio, R. Caicedo-Quiroz, G. Maqueira-Caraballo, and J. Barzola-Monteses, "PRISMA Guidelines: Methodological Adaptation for Systematic Reviews in Education," *Data Metadata*, vol. 4, 2025, doi: 10.56294/DM2025698.
- [14] M. Višić, "CONNECTING PUZZLE PIECES: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW METHOD IN THE SOCIAL SCIENCES," *Sociologija*, vol. 64, no. 4, p. 543, 2022, doi: 10.2298/SOC2204543V.
- [15] M. I. Riaño-Casallas and S. Rojas-Berrio, "How to Report Systematic Literature Reviews in Management Using SyReMa," *Innovar*, vol. 34, no. 92, 2023, doi: 10.15446/innovar.v34n92.99156.
- [16] R. van Dinter, C. Catal, and B. Tekinerdogan, "A Multi-Channel Convolutional Neural Network approach to automate the citation screening process," *Appl. Soft Comput.*, vol. 112, 2021, doi: 10.1016/j.asoc.2021.107765.
- [17] A. R. Ramadhani, M. A. Fauzi, M. M. Abdullah, S. S. Maesaroh, dan O. Herdiana, "Pengaruh Pemasaran Media Sosial terhadap Keterlibatan Pelanggan (Survei pada Pengguna Halodoc di Indonesia)," **Jurnal Teknologi Terpadu**, vol. 9, no. 1, pp. 65–69, 2023.
- [18] K. Harry and M. Alrezq, "Assessment of Critical Success Factors Using Meta-synthesis Evaluation," presented at the IISE Annual Conference and Expo 2022, 2022. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85137172797&partnerID=40&md5=142e9a05d15585cd8118051d0379fba3>
- [19] M. Stark and B. Woods, "Developing an Idea into a Research Question," *Clin. Spine Surg.*, vol. 36, no. 1, pp. 34–36, 2023, doi: 10.1097/BSD.0000000000001393.
- [20] E. Faridmoayer, A. Badami, A. Schwartzman, and F. C. Brunicardi, "What problem are you solving?," in *Handbook for Designing and Conducting Clinical and Translational Surgery*, 2023, pp. 25–27. doi: 10.1016/B978-0-323-90300-4.00085-9.
- [21] H. Scells, G. Zuccon, B. Koopman, A. Deacon, L. Azzopardi, and S. Geva, "Integrating the framing of clinical questions via PICO into the retrieval of medical literature for systematic reviews," presented at the International Conference on Information and Knowledge Management, Proceedings, 2017, pp. 2291–2294. doi: 10.1145/3132847.3133080.
- [22] K. L. Lane and R. J. Kettler, "Literature Review, Questions, and Hypotheses," in *Research Methodologies of School Psychology: Critical Skills*, 2019, pp. 24–41. doi: 10.4324/9781315724072-2.
- [23] M. Saputra, P. I. Santosa, and A. E. Permanasari, "Consumer Behaviour and Acceptance in Fintech Adoption: A Systematic Literature Review," *Acta Inform. Pragensia*, vol. 12, no. 2, pp. 468–489, 2023, doi: 10.18267/j.aip.222.
- [24] V. O. Trung Quang and A. Riewpaiboon, "A literature review of health economic evaluation: A case of vaccination on systematic review analysis," *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.*, vol. 39, no. 2, pp. 300–308, 2016.
- [25] I. G. M. P. Suardana, I. B. M. H. A. Nugraha, D. G. A. P. Pemayun, I. B. I. Purnama, I. G. K. S. Budarsa, I. B. K. Sugirianta, dan A. A. N. G. Saptaka, "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Kinerja Baterai pada Baggage Towing Tractor berbasis NodeMCU ESP8266 Aplikasi Android,"

- Jurnal Teknologi Terpadu, vol. 8, no. 2, pp. 100–105, 2022.
- [26] H. Carter-Templeton *et al.*, “Completeness of Systematic Reviews in Nursing Literature Based on PRISMA Reporting Guidelines,” *Adv. Nurs. Sci.*, 2025, doi: 10.1097/ANS.0000000000000567.
- [27] S. Cicero, M. Guarascio, A. Guerrieri, and S. Mungari, “A Deep Anomaly Detection System for IoT-Based Smart Buildings,” *Sensors*, vol. 23, no. 23, p. 9331, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/s23239331>.
- [28] H. Q. Al-Shammari, A. Q. Lawey, T. E. H. El-Gorashi, and J. M. H. Elmirghani, “Service Embedding in IoT Networks,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 2948–2962, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2962271.
- [29] S. H. Alsamhi, F. Afghah, R. Sahal, A. Hawbani, M. A. A. Al-qaness, B. Lee, and M. Guizani, “Green Internet of Things using UAVs in B5G networks: A review of applications and strategies,” *Ad Hoc Netw.*, vol. 117, p. 102505, 2021.
- [30] L. C. Souza, E. R. Neto, E. S. Lima, and A. C. Sodr e Jr., “Optically-powered wireless sensor nodes towards industrial internet of things,” *Sensors*, vol. 22, no. 1, p. 57, 2021.
- [31] C.-W. Hsu, Y.-L. Hsu, and H.-Y. Wei, “Energy-efficient edge offloading in heterogeneous industrial IoT networks for factory of future,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 183035–183050, 2020.
- [32] R. Sekaran, A. K. Munnangi, S. Rajeyyagari, M. Ramachandran, and F. Al-Turjman, “Ant colony resource optimization for Industrial IoT and CPS,” *Int. J. Intell. Syst.*, vol. 37, no. 12, pp. 10513–10532, 2022.
- [33] Oh, D. Lee, D. S. Lakew, and S. Cho, “DACODE: Distributed adaptive communication framework for energy efficient industrial IoT-based heterogeneous WSN,” *ICT Express*, vol. 9, no. 6, pp. 1085–1094, 2023.
- [34] P. Wang, K. Wang, D. Wang, and H. Liu, “The impact of manufacturing transformation in digital economy under artificial intelligence,” *IEEE Access*, 2024.
- [35] B. Genge, P. Haller, and C. En achescu, “Anomaly detection in aging industrial internet of things,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 74217–74230, 2019.
- [36] N. U. Hadi, B. Almessabi, and M. I. Khan, “Leveraging Industry 4.0 and Circular Open Innovation for Digital Sustainability: The Role of Circular Ambidexterity,” *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.*, vol. 2025, p. 100545, 2025.
- [37] H. Yetis, M. Karakose, and N. Baygin, “Blockchain-based mass customization framework using optimized production management for industry 4.0 applications,” *Eng. Sci. Technol. Int. J.*, vol. 36, p. 101151, 2022.
- [38] K. S. Bhandari and G. H. Cho, “An energy efficient routing approach for cloud-assisted green industrial IoT networks,” *Sustainability*, vol. 12, no. 18, p. 7358, 2020.
- [39] T. Kumar, E. Harjula, M. Ejaz, A. Manzoor, P. Porambage, I. Ahmad, M. Liyanage, A. Braeken, and M. Ylianttila, “BlockEdge: Blockchain-edge framework for industrial IoT networks,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 154166–154185, 2020.
- [40] K. Choudhary, G. S. Gaba, I. Butun, and P. Kumar, “MAKE-IT—A lightweight mutual authentication and key exchange protocol for Industrial Internet of Things,” *Sensors*, vol. 20, no. 18, p. 5166, 2020, doi: 10.3390/s20185166.