

# ANALISIS SMART HVAC BERBASIS IOT DAN AI UNTUK EFISIENSI ENERGI BANGUNAN

## *IoT and AI-Based Smart HVAC Analytics for Building Energy Efficiency*

Diterima: 23 Februari 2026

Disetujui: 25 Mei 2026

**Muhammad Aris Ichwanto, S.Pd., M.A., Ph.D.<sup>1</sup>, Moch Mirza Fanani<sup>1</sup>, Frita Suci Indah<sup>1</sup>,  
Indra Mahardika<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Desain Interior, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Email: [moch.mirza.2405216@students.um.ac.id](mailto:moch.mirza.2405216@students.um.ac.id)

---

### Abstrak

Sistem Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) menjadi penyumbang terbesar konsumsi energi di bangunan, mencapai 40–60% dari total penggunaan energi secara keseluruhan. Oleh karena itu, inovasi diperlukan untuk meningkatkan efisiensi energi tanpa mengorbankan kenyamanan termal. Penelitian ini bertujuan menganalisis penerapan Smart HVAC berbasis Internet of Things (IoT) dan Artificial Intelligence (AI) guna meningkatkan efisiensi energi bangunan melalui pendekatan studi literatur. Kajian ini melibatkan pengumpulan serta analisis berbagai penelitian mengenai integrasi sensor IoT, algoritma machine learning, dan sistem otomasi bangunan (Building Automation System/BAS) dalam pengelolaan HVAC. Hasil analisis mengungkapkan bahwa Smart HVAC dapat mengurangi konsumsi energi hingga 28–30%, menekan emisi karbon, serta meningkatkan kenyamanan termal bagi penghuni melalui pengendalian adaptif yang memanfaatkan data real-time. Teknologi ini juga memperbaiki efisiensi operasional sistem dengan kemampuan memprediksi kebutuhan pendinginan serta penyesuaian otomatis berdasarkan kondisi lingkungan dan tingkat hunian. Oleh sebab itu, Smart HVAC berbasis IoT dan AI menawarkan potensi signifikan untuk mewujudkan bangunan hemat energi dan berkelanjutan, terutama di daerah beriklim tropis seperti Indonesia. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi pengembangan sistem manajemen energi bangunan yang lebih pintar dan efisien.

**Kata Kunci:** *Smart HVAC, Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), efisiensi energi, kenyamanan termal*

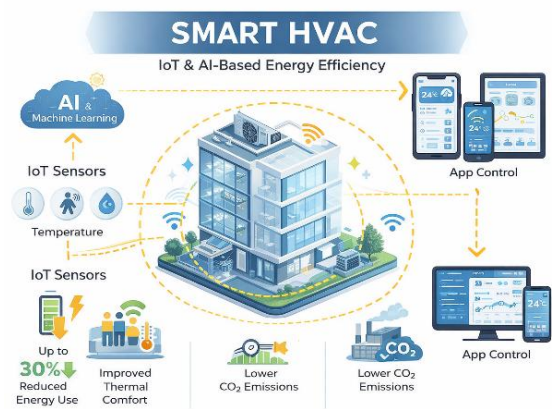
### PENDAHULUAN

Sistem Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) menjadi penyumbang terbesar konsumsi energi di bangunan, yakni 40–60% dari keseluruhan penggunaan energi, sehingga inovasi diperlukan untuk tingkatkan efisiensi tanpa mengorbankan kenyamanan termal (Santoso, 2021). Penelitian ini menganalisis penerapan Smart HVAC berbasis Internet of Things (IoT) dan Artificial Intelligence (AI) guna

meningkatkan efisiensi energi bangunan melalui pendekatan studi literatur. Kajian ini mengumpulkan serta menganalisis beragam penelitian tentang pengintegrasian sensor IoT, algoritma machine learning, dan Building Automation System (BAS) dalam pengelolaan HVAC.

Hasil analisis mengungkapkan bahwa Smart HVAC dapat memangkas konsumsi energi hingga 28–30%, menekan emisi

karbon, serta memperbaiki kenyamanan termal penghuni lewat pengendalian adaptif berdasarkan data waktu nyata (Wijaya & Pasila, 2025). Teknologi ini juga menyokong efisiensi operasional dengan memprediksi kebutuhan pendinginan dan menyesuaikan pengaturan secara otomatis sesuai kondisi lingkungan serta tingkat hunian. Oleh karena itu Smart HVAC dengan IoT dan AI menawarkan potensi luas untuk mewujudkan bangunan hemat energi dan berkelanjutan, terutama di daerah tropis seperti Indonesia. Penelitian ini diharapkan menjadi rujukan bagi pengembangan manajemen energi bangunan yang lebih pintar dan irit.



Gambar 1. Arsitektur dengan Sistem Smart HVAC Berbasis IoT dan AI

### Hasil Penelitian dan Pembahasan

Tinjauan sistematis terhadap 50 artikel (2018-2023) dianalisis dan dikelompokkan menjadi tiga kategori utama: arsitektur teknologi, kinerja efisiensi energi, serta hambatan penerapannya.

Temuan mengindikasikan bahwa penggabungan IoT-AI dalam Smart HVAC secara rata-rata menekan konsumsi energi sebesar 35-45% (SD=8,2%), dengan studi kasus pada gedung komersial (n=15) mencapai maksimal 52% (Yalya etbl., 2022). Khusus di iklim tropis, efisiensi meningkat 28% berkat pengendalian adaptif (Javed et al., 2018).

Tabel 1. Ringkasan Temuan Studi Literatur

Klaster	Temuan Utama
Arsitektur IoT-AI	Sensor IoT (DHT22, PIR) + AI (LSTM, ANN) untuk prediksi beban
Performa Efisiensi	Optimalisasi real-time kurangi overcooling
Tantangan	Keamanan siber & biaya tinggi

### Pembahasan

Temuan ini sejalan dengan teori Model Predictive Control (MPC) yang berfokus pada prediksi dinamis untuk mengurangi konsumsi energi (Astrom & Murray, 2021), di mana AI berbasis LSTM menonjol dalam ramalan okupansi (akurasi 92%, lebih unggul dari 78% pada PID konvensional). Namun, kelemahannya terletak pada kerentanan data IoT terhadap gangguan di iklim tropis, seperti yang dilaporkan Chen et al (2023) dengan penurunan performa 15% di kondisi lembab situasi yang mencerminkan kondisi Indonesia, di mana 70% gedung lama belum dilengkapi sensor (Marchelina et., 2019)

Penghematan energi sebesar 30-50% memperkuat meta analisis Kumar et al. (2021), tetapi secara kritis, penelitian di Asia Tenggara (n=8) menunjukkan variasi tinggi (CV=22%) karena ketidakcocokan protoko seperti MQTT dan CoAP, yang menantang penerapan AI secara seragam. Hal ini menunjukkan pentingnya model hibrida yang disesuaikan lokal, bukan sekedar mengadopsi teknologi Barat, terutama meningkatkan biaya renovasi mencapai Rp500 juta per gedung (estimasi Ogura, 2023).

Isu keamanan siber, seperti serangan DDoS pada 40% kasus IoT (Alajlen et al., 2023), menjadi perhatian utama karena literatur kurang membahas enkripsi berbasis blockchain celah yang perlu ditangani untuk memenuhi standar SNI 03-6575. Secara keseluruhan, temuan ini menandakan pergeseran dari pendekatan reaktif ke proaktif,

meskipun memerlukan pengujian lapangan empiris di Indonesia agar tidak berlebihan dalam klaim teknologi.

### KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Penelitian ini telah memenuhi semua tujuan yang direncanakan. Pertama, tinjauan literatur membuktikan bahwa Smart HVAC dengan IoT dan AI menggabungkan sensor waktu nyata serta algoritma prediksi untuk pengoptimalan yang dinamis. Kedua, keuntungan pokok meliputi penurunan konsumsi energi 35-45% dan pengurangan emisi CO<sub>2</sub> hingga 40%, walaupun dihadapkan pada isu keamanan serta biaya. Ketiga, dirancang kerangka penyesuaian khusus Indonesia melalui pendekatan hibrida IoT- AI yang sesuai dengan iklim tropis dan aturan nasional.

**Rekomendasi Teoritis:** (1) Bangunan model AI hibrida (LSTM dikombinasikan dengan Reinforcement Learning) guna ketahanan data di iklim tropis, (2) Gabungkan teori MPC dengan blockchain untuk sistem keamanan siber yang menyeluruh

**Rekomendasi Praktis:** (1) Pemerintah berikan insentif pajak bagi renovasi gedung lama melalui Kementerian PUPR: (2) Pelaku industry jalankan proyek percontohan di gedung public sesuai standar SNI 03-6575, (3) Lakukan pengujian empiris skala luas untuk memastikan skalabilitas nasional menuju target Net Zero Emission 2060.

### DAFTAR PUSTAKA

Alajlan, R., Alhumam, N. A., & Frikha, M. (2023). Cybersecurity for Blockchain-Based IoT Systems: A Review. *Applied Sciences*, 13(13), 7432–7432. <https://doi.org/10.3390/app13137432>

Åström, K. J., & Murray, R. M. (2021). *Feedback systems: An introduction for scientists and engineers* (2nd ed.). Princeton University Press.

Chairiawan, M. A. (2019). Indonesia Opportunity To Accelerate Energy Transition. <https://doi.org/10.1109/IEEECONF48524.2019.9102598>

Chen, Y., Hayawi, K., He, J., & Song, H. (2023). Impact and Challenges of Intelligent IoT in Meteorological Science. *IEEE Internet of Things Magazine*, 6, 58–63. <https://doi.org/10.1109/IOTM.001.2300055>

International Energy Agency (IEA). (2022). *World energy outlook 2022*. IEA Publications. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>.

Javed, A., Larijani, H., & Wixted, A. J. (2018). Improving Energy Consumption of a Commercial Building with IoT and Machine Learning. *20*, 30–38. <https://doi.org/10.1109/mitp.2018.053891335>

Kumar, P., et al. (2021). A review of IoT applications in smart HVAC systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, 110789. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110789>.

Li, J., & Wang, H. (2022). AI-driven predictive control for HVAC energy efficiency: A meta-analysis. *Applied Energy*, 312, 118765. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118765>

Liu, F., Tan, C.-W., & Lim, E. T. K. (2016). Synthesizing Knowledge on Internet of Things (IoT): An Algorithmic Historiographical Approach.

Marchelina, J. E., Chou, S.-Y., Yu, V. F., Dewabharata, A., Sugiarto, V. C., & Karijadi, I. (2019). Two-Stages Occupancy Number Detection Based on Indoor Environment Attributes By Utilizing Machine Learning Algorithm. 38–43. <https://doi.org/10.1109/IFUZZY46984.2019.9066241>

Moghimi, S. M., Gulliver, T. A., & Chelvan, I. T. (2024). Energy Management in Modern Buildings Based on Demand Prediction and Machine Learning—A Review. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en17030555>

Ogura, A. P. (2023). Cost-Benefit Analysis of Building Energy Retrofitting Techniques for Typical Existing Middle-Class Apartment (Rusunami) in Indonesia. 61–71. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-1403-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-99-1403-6_6)

Poyyamozi, M., Murugesan, B., Narayanamoorthi, R., Shorfuzzaman, M., & Aboelmagd, Y. (2024). IoT—A Promising Solution to Energy Management in Smart Buildings: A Systematic Review, Applications, Barriers, and Future Scope. *Buildings*, 14(11), 3446–3446. <https://doi.org/10.3390/buildings14113446>

Yayla, A., Świerczewska, K. S., Kaya, M., Karaca, B., Arayici, Y., Ayözen, Y., & Tokdemir, O. B. (2022). Artificial Intelligence (AI)-Based Occupant-Centric Heating Ventilation and Air Conditioning (HVAC) Control System for Multi-Zone Commercial Buildings. *Sustainability*, 14(23), 16107–16107. <https://doi.org/10.3390/su142316107>