

Studi Literatur Sistematis Strategi Efisiensi Energi pada Bangunan dengan Pendekatan Pemodelan Energi dan Analisis Kinerja

Andrian Kurniawan¹, Oei Fuk Jin²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Grogol Petamburan,
Jakarta Barat, Indonesian
andrian.327241009@stu.untar.ac.id

Abstrak

Konsumsi energi bangunan yang tinggi menjadi tantangan utama dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Studi ini merupakan kajian literatur sistematis yang bertujuan mengidentifikasi dan menganalisis strategi efisiensi energi pada bangunan melalui pendekatan pasif, aktif, dan adaptif. Sebanyak 25 artikel ilmiah yang dipublikasikan antara 2020–2025 dianalisis menggunakan metode PRISMA. Strategi pasif, seperti ventilasi alami, pencahayaan siang hari, dan insulasi termal, terbukti mampu menurunkan konsumsi energi hingga 40%. Strategi aktif meliputi penggunaan sistem HVAC hemat energi, integrasi energi terbarukan, serta kontrol otomatis berbasis kecerdasan buatan, dengan efisiensi tambahan sebesar 20–30%. Strategi adaptif berfokus pada perilaku penghuni dan fleksibilitas sistem bangunan untuk merespons perubahan lingkungan, yang turut meningkatkan performa energi secara dinamis. Hasil kajian menunjukkan bahwa kombinasi strategi pasif, aktif, dan adaptif memberikan hasil yang lebih optimal dibanding penerapan strategi tunggal. Penelitian ini merekomendasikan pendekatan desain bangunan yang integratif dan berbasis data simulasi energi sebagai dasar pengambilan keputusan dalam perencanaan bangunan hemat energi. Selain itu, penting untuk mempertimbangkan faktor iklim lokal dan karakteristik pengguna dalam penerapan strategi efisiensi energi. Temuan ini dapat menjadi referensi bagi perancang, pengelola bangunan, dan pembuat kebijakan dalam mengembangkan bangunan berkelanjutan.

Kata kunci: Analisis Kinerja Bangunan, Bangunan Hijau, Desain Bangunan Berkelanjutan, Konservasi Energi, Pemodelan Energi Bangunan

Abstract

High energy consumption in buildings remains a major challenge in efforts to mitigate climate change. This study presents a systematic literature review aimed at identifying and analyzing energy efficiency strategies in buildings, focusing on passive, active, and adaptive approaches. A total of 25 peer-reviewed articles published between 2015 and 2023 were analyzed using the PRISMA method. Passive strategies—such as natural ventilation, daylighting, and thermal insulation—were found to reduce energy consumption by up to 40%. Active strategies include the use of energy-efficient HVAC systems, integration of renewable energy, and automated controls powered by artificial intelligence, contributing an additional 20–30% in energy savings. Adaptive strategies focus on occupant behavior and the flexibility of building systems to respond to environmental changes, further enhancing energy performance dynamically. The review highlights that a combination of passive, active, and adaptive strategies yields more optimal outcomes than the application of a single approach. The study recommends integrated design approaches supported by energy simulation data as a foundation for decision-making in energy-efficient building planning. Moreover, local climate conditions and user characteristics should be carefully considered when implementing energy efficiency strategies. These findings serve as a reference for designers, building managers, and policymakers in the development of sustainable buildings.

Keywords: Building Energy Modeling (BEM), Building Performance Analysis, Energy Conservation Strategies, Green Building, Sustainable Building Design

I. PENDAHULUAN

Isu efisiensi energi dalam bangunan telah menjadi perhatian global yang semakin mendesak seiring dengan meningkatnya konsumsi energi, emisi gas rumah kaca, dan dampak perubahan iklim. Sektor bangunan menyumbang proporsi besar dari total konsumsi energi dunia, baik dalam konteks perumahan, komersial, maupun institusional, sehingga peningkatan efisiensi termal dan operasional menjadi aspek krusial dalam pembangunan [1], [2]. Permasalahan ini tidak hanya relevan pada bangunan baru, tetapi juga pada bangunan lama dan tradisional yang masih mendominasi kawasan pedesaan di berbagai negara [3], [4].

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk menekan konsumsi energi bangunan, yang secara umum dapat dikategorikan ke dalam strategi pasif dan aktif. Strategi pasif melibatkan optimalisasi elemen bangunan seperti amplop termal, ventilasi alami, material penyerap dan penyimpan panas, serta desain arsitektur yang adaptif terhadap iklim lokal [5], [6], [7]. Desain pasif surya, atap hijau, dinding Trombe, dan penggunaan material perubahan fase (PCM) menjadi contoh strategi yang banyak diteliti karena potensinya dalam mengurangi kebutuhan energi pemanasan dan pendinginan secara [8], [9], [10]. Di sisi lain, strategi aktif menekankan pada efisiensi sistem HVAC, pencahayaan, dan teknologi kontrol berbasis perilaku penghuni, termasuk sistem distribusi udara bawah lantai dan kontrol HVAC berbasis kenyamanan termal personal [11], [12], [13].

Efektivitas setiap strategi sangat tergantung pada konteks bangunan dan kondisi iklim setempat. Misalnya, pada bangunan di iklim panas dan lembap, penerapan desain pasif seperti *shading* dinamis dan peningkatan ventilasi alami dapat memberikan penghematan yang substansial [14], [15]. Sebaliknya, di wilayah beriklim sangat dingin, penguatan insulasi pada dinding, atap, dan jendela menjadi prioritas utama dalam menekan kehilangan panas (Hou et al., 2022; Jiang et al., 2021). Bahkan pada bangunan bawah tanah (*earth-sheltered buildings*), pemanfaatan massa tanah sebagai isolator alami telah terbukti meningkatkan kenyamanan termal dan efisiensi energi [17].

Perkembangan teknologi juga mendorong pendekatan berbasis optimasi dan simulasi numerik, seperti penggunaan perangkat lunak EnergyPlus dan algoritma cerdas [18], [19]. Strategi ini memungkinkan eksplorasi parameter desain dalam skala besar dengan biaya komputasi yang efisien. Selain itu, pemodelan prediktif untuk

konsumsi energi dan emisi karbon berbasis perilaku pengguna mulai diterapkan guna mendukung pengambilan keputusan berbasis data [20]. Bahkan, sistem pendingin berbasis radiasi langit (*sky radiative cooling*) dan pemanfaatan udara luar untuk pusat data menunjukkan potensi signifikan dalam mengurangi konsumsi energi di sektor digital [21], [22].

Meskipun beragam solusi telah dikembangkan, studi-studi sebelumnya menunjukkan bahwa kombinasi strategi pasif dan aktif, serta adaptasi terhadap karakteristik lokal, menjadi kunci untuk mencapai efisiensi energi yang optimal dalam bangunan. Oleh karena itu, evaluasi menyeluruh terhadap desain, material, sistem, dan perilaku penghuni menjadi langkah penting dalam merumuskan kebijakan dan praktik desain bangunan masa depan yang berkelanjutan dan hemat energi [23], [24], [25].

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis berbagai strategi efisiensi energi yang diterapkan pada bangunan melalui pendekatan pasif, aktif, dan adaptif. Melalui studi literatur sistematis terhadap 25 artikel ilmiah yang relevan, penelitian ini berfokus pada identifikasi dan klasifikasi strategi efisiensi energi, analisis tren penelitian terkini, serta evaluasi efektivitas implementasi strategi-strategi tersebut berdasarkan data simulasi dan temuan empiris. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menyusun sintesis komprehensif yang dapat memberikan dasar ilmiah bagi perumusan kebijakan dan pengambilan keputusan dalam perencanaan bangunan hemat energi, serta untuk mendorong penerapan strategi yang lebih terintegrasi dan kontekstual dalam menghadapi tantangan efisiensi energi di sektor bangunan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini disusun dengan menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif dan terstruktur terhadap isu efisiensi energi pada bangunan. Pendekatan ini dipilih untuk menjamin bahwa seluruh literatur yang digunakan memenuhi standar akademik dan memiliki keterkaitan yang erat dengan fokus kajian.

Proses pencarian literatur dilakukan melalui perangkat lunak *Publish or Perish 8*, yang diintegrasikan dengan basis data akademik seperti Scopus. Pencarian dilakukan dengan menggunakan kata kunci: “*Energyplus*”, “*Energy Consumption*”, dan “*Energy Saving Factor*”. Hasil dari pencarian awal menghasilkan sebanyak 38

dokumen yang terdiri dari artikel jurnal, prosiding konferensi, dan sumber non-jurnal lainnya.

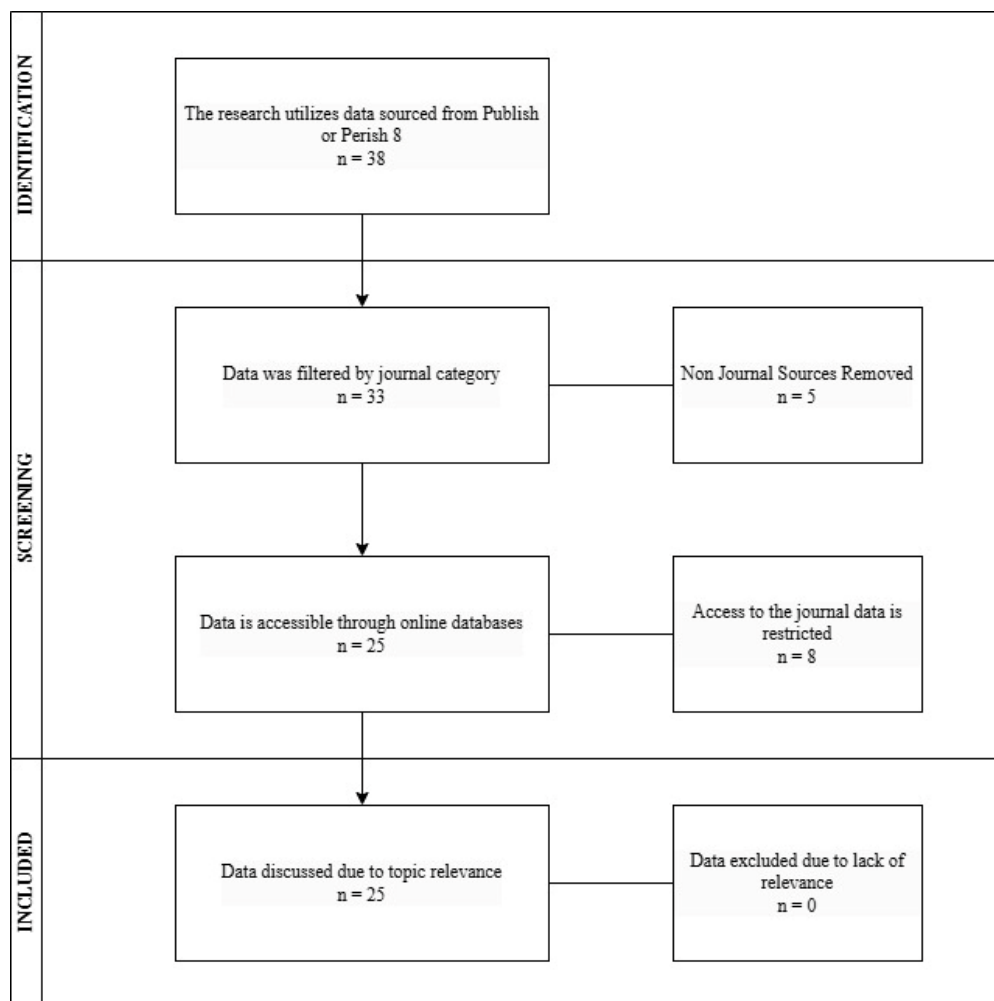
Untuk menjamin kualitas dan relevansi sumber, dilakukan proses seleksi awal dengan mengecualikan semua dokumen yang bukan berasal dari jurnal ilmiah. Dari tahap ini, 5 dokumen non-jurnal dihapus dari dataset, sehingga tersisa 33 artikel jurnal. Proses berikutnya adalah verifikasi aksesibilitas terhadap dokumen-dokumen tersebut. Hanya artikel yang dapat diakses secara penuh melalui database daring yang dipertahankan. Sebanyak 8 artikel tidak dapat diakses karena keterbatasan akses, sehingga hanya 25 artikel yang dapat dikaji lebih lanjut.

Seluruh artikel yang berhasil diakses kemudian dianalisis berdasarkan kesesuaian topik dengan tujuan penelitian. Evaluasi dilakukan dengan mempertimbangkan konteks penelitian, kontribusi keilmuan, dan relevansi tematik. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh artikel memenuhi kriteria inklusi, sehingga 25 artikel tersebut

dijadikan dasar utama dalam penyusunan studi literatur serta pengembangan kerangka konseptual dan teoritis dalam penelitian ini.

Pendekatan ini memberikan landasan ilmiah yang kuat serta menjamin bahwa argumen yang dibangun dalam penelitian ini bersumber dari literatur yang relevan, mutakhir, dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademik.

Alur proses kajian literatur ini disusun dalam bentuk diagram alir untuk memberikan gambaran visual yang lebih jelas mengenai langkah-langkah yang ditempuh dalam menyusun studi literatur sistematis ini. Diagram tersebut memperlihatkan jumlah artikel pada setiap tahap, termasuk artikel yang dieliminasi beserta alasan penyisihannya. Gambaran lengkap proses tersebut dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Bibliografis

Gambar visualisasi jaringan kata kunci yang dihasilkan dari bibliografi penelitian terkait EnergyPlus menunjukkan arah dan tren dominan dalam kajian efisiensi energi pada bangunan. Melalui pemetaan ini, terlihat bahwa fokus utama penelitian berkisar pada peningkatan kinerja energi bangunan melalui pendekatan yang beragam, baik dari sisi desain fisik bangunan, sistem kontrol, maupun perilaku penghuni.

Dalam jaringan tersebut, beberapa kata kunci muncul sebagai pusat keterhubungan, antara lain “zone”, “increase”, “energy performance”, dan “data center”. Istilah “zone” menandakan bahwa pendekatan berbasis zona termal menjadi perhatian utama dalam pemodelan simulasi, khususnya dalam upaya mencapai efisiensi termal dan kenyamanan penghuni. Kemudian, kata “increase” banyak dikaitkan dengan peningkatan kebutuhan energi atau strategi peningkatan efisiensi, mencerminkan orientasi riset yang menelusuri perbandingan performa antar skenario. Sementara itu, “energy performance” menunjukkan konsentrasi penelitian pada evaluasi kinerja energi bangunan secara menyeluruh, dan “data center” menjadi topik khusus yang menyoroti beban energi tinggi pada infrastruktur digital modern, serta kebutuhan strategi pendinginan yang efisien.

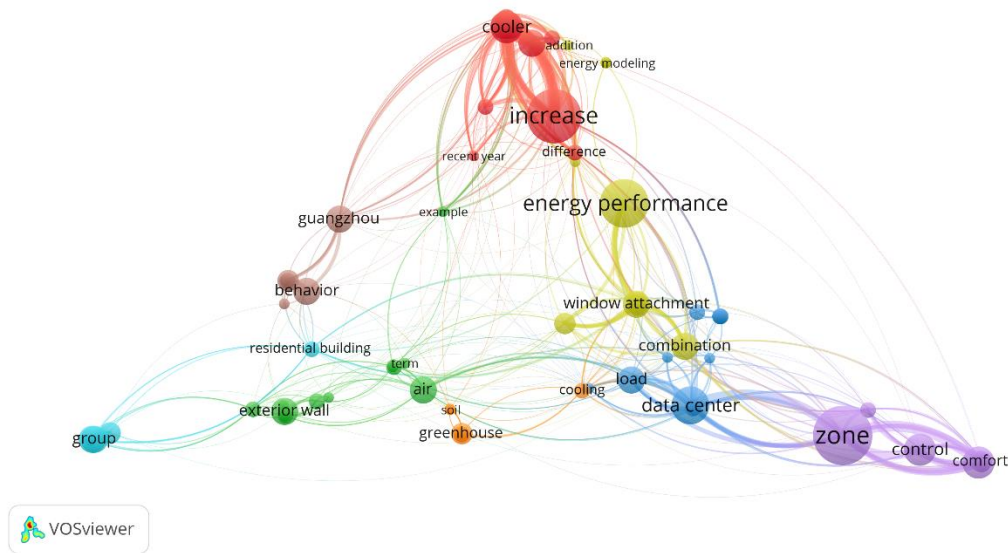
Penelitian juga banyak mengaitkan sistem pendingin dengan perangkat tambahan seperti lampiran jendela, serta pemanfaatan material dinding luar atau struktur pasif lainnya. Simulasi dilakukan tidak hanya untuk memahami konsumsi energi aktual, tetapi juga untuk mengevaluasi dampak dari berbagai skenario *retrofit*, pengendalian HVAC berbasis zona, serta desain bangunan yang

berorientasi pada efisiensi. Hal ini ditunjukkan oleh kata kunci seperti “cooler”, “combination”, “window attachment”, dan “exterior wall” yang menghubungkan satu sama lain dalam berbagai kluster.

Tren lain yang sangat mencolok adalah meningkatnya perhatian terhadap perilaku penghuni sebagai salah satu faktor penentu dalam simulasi dan realisasi efisiensi energi bangunan. Perilaku pengguna, termasuk pengaturan suhu dan interaksi dengan sistem bangunan, menjadi variabel penting dalam pemodelan, menunjukkan bahwa pendekatan teknis saja tidak cukup dalam mencapai efisiensi energi secara optimal. Hal ini juga berkaitan erat dengan isu kenyamanan termal, kontrol HVAC, serta penerapan strategi cerdas dalam pengelolaan ruang dan energi.

Keterhubungan antar kluster dalam jaringan ini mencerminkan sifat interdisipliner dari penelitian di bidang ini. Misalnya, perilaku penghuni saling berinteraksi dengan kontrol zona dan kinerja sistem HVAC, sementara pengaruh material dan desain pasif bangunan terkait erat dengan beban termal dan konsumsi energi yang harus diatur dalam simulasi. Simulasi berbasis EnergyPlus dalam konteks ini berperan sebagai alat analisis terpadu yang menjembatani aspek teknis, arsitektural, dan perilaku pengguna.

Secara keseluruhan, tren penelitian dalam bibliografi ini mengarah pada pengembangan pendekatan holistik terhadap efisiensi energi bangunan. Fokus tidak lagi semata pada efisiensi teknologi atau sistem, tetapi juga pada integrasi antara elemen desain bangunan, kontrol cerdas, dan pemahaman perilaku manusia. Pendekatan ini menjadi fondasi utama dalam membangun bangunan masa depan yang hemat energi, adaptif, dan berorientasi pada kenyamanan pengguna.



Gambar 2. Analisis Bibliometriks

B. Temuan Penelitian

Penelitian-penelitian yang dianalisis secara komprehensif menunjukkan bahwa strategi penghematan energi dalam bangunan sangat dipengaruhi oleh kombinasi pendekatan pasif, aktif, dan adaptif yang disesuaikan dengan iklim lokal, karakteristik bangunan, serta perilaku penghuni. Melalui pemodelan simulasi menggunakan perangkat lunak seperti EnergyPlus, OpenStudio, dan DesignBuilder, berbagai studi mengonfirmasi bahwa efisiensi energi dapat dicapai melalui optimalisasi desain bangunan, pemilihan material yang tepat, serta penggunaan sistem kontrol yang cerdas.

Teknologi bangunan pasif seperti sistem *shading* otomatis, ventilasi alami, dan panel fotovoltaik semi-transparan terbukti mampu menurunkan kebutuhan energi secara signifikan. Misalnya, penerapan teknologi tersebut pada rumah kaca berteknologi tinggi di Italia mampu mengurangi ketergantungan terhadap energi eksternal hingga 44% dalam sistem pendinginannya. Integrasi pompa panas dengan sumber panas tanah juga terbukti lebih efisien daripada sistem konvensional, menghasilkan penghematan energi primer sekitar 21% [1].

Optimalisasi elemen-elemen bangunan, seperti ketebalan isolasi, jenis kaca, dan warna permukaan luar, terbukti sangat berpengaruh terhadap konsumsi energi. Dalam konteks rumah tradisional di wilayah perbukitan timur laut Sichuan, pemilihan ketebalan isolasi antara 8,1 cm hingga 14,4 cm tergantung pada kondisi iklim dan ekonomi lokal dapat meningkatkan penghematan energi hingga 29,5% dan manfaat ekonomi hingga 78,2% [4]. Studi lain

pada bangunan pusat kesehatan di Tiongkok menunjukkan bahwa penambahan isolasi XPS dan penggunaan jendela Low-E dapat menurunkan konsumsi energi secara drastis, dengan efisiensi energi mencapai 91,11% dan periode pengembalian investasi yang singkat [3].

Desain jendela juga memainkan peranan krusial. Jenis kaca yang digunakan, seperti kaca Low-E, dapat mengurangi beban pendinginan hingga 25% tanpa mengorbankan kenyamanan visual [24]. Studi mendalam mengenai performa *roller shades* dan *cellular shades* menegaskan bahwa properti optik seperti transmisivitas dan reflektansi solar adalah faktor dominan yang menentukan efektivitas aksesoris jendela dalam mengurangi konsumsi energi [25]. Selain itu, aspek geometris seperti rasio jendela terhadap dinding, rasio panjang terhadap lebar bangunan, dan orientasi bangunan berpengaruh nyata terhadap efisiensi energi, terutama di bangunan rumah pedesaan pada iklim dingin [2], [16].

Penggunaan sistem kontrol HVAC berbasis kenyamanan personal telah membuka peluang baru dalam penghematan energi. Penelitian menunjukkan bahwa keberagaman karakteristik kenyamanan penghuni menjadi faktor paling menentukan. Dalam zona termal dengan penghuni terbatas, penghematan energi bisa mencapai hingga 21% tergantung strategi kontrol yang digunakan [12]. Model kontrol lainnya yang mempertimbangkan data real-time lingkungan dan aktivitas penghuni, seperti kontrol dinamis tirai dan HVAC, menunjukkan potensi pengurangan konsumsi energi hingga lebih dari 30% tanpa mengurangi kenyamanan termal [15].

Simulasi ventilasi alami adaptif juga menunjukkan efisiensi luar biasa. Strategi ini berhasil menekan konsumsi energi pendinginan hingga 55% pada zona iklim yang sesuai, dengan tetap menjaga tingkat ketidaknyamanan termal di bawah 5% [14]. Dalam konteks bangunan tertanam di tanah (*earth-sheltered*), peningkatan kedalaman bangunan terbukti secara langsung menurunkan konsumsi energi melalui pemanfaatan stabilitas suhu tanah [17].

Metode analitik berbasis data seperti XGBoost dan association rule mining telah berhasil mengidentifikasi elemen desain paling berpengaruh, seperti sistem kaca, *window-to-wall ratio*, dan pelapisan atap, yang bersama-sama menjelaskan hingga 93% variasi dalam konsumsi energi bangunan [6]. Sementara itu, studi di sektor pendidikan memperlihatkan bahwa pengaturan parameter amplop bangunan secara komprehensif dapat menghasilkan penghematan tahunan hingga lebih dari 57% [7].

Teknologi dan material baru juga diuji dalam beberapa studi. Penggunaan material perubahan fasad (PCM) dalam dinding dengan insulasi konvensional menghasilkan penghematan hingga 65% dalam simulasi di Inggris [8], sementara sistem pendingin berbasis radiasi langit mampu menurunkan konsumsi energi pendinginan hingga 44,8% di kota-kota beriklim panas [21]. Pada bangunan *data center*, penggunaan *economizer* dan *evaporative cooling* menunjukkan penurunan PUE secara signifikan dan konsisten di berbagai zona iklim [22].

Dari sisi perilaku, studi eksperimental berbasis lingkungan virtual menunjukkan bahwa preferensi pencahayaan dan penggunaan tirai sangat dipengaruhi oleh orientasi jendela dan waktu dalam sehari. Hal ini berimplikasi pada konsumsi energi aktual yang lebih rendah dibandingkan prediksi model dasar, serta memberikan landasan kuat untuk mengembangkan sistem otomatis yang lebih responsif terhadap pengguna [13].

Beberapa studi juga menunjukkan bahwa atap hijau memberikan manfaat energi yang relatif kecil jika dibandingkan dengan insulasi konvensional, namun tetap penting dari segi lingkungan. Penghematan energi akan meningkat signifikan jika desain atap hijau dioptimalkan [5], [9]. Di sisi lain, cat atap dingin dengan reflektansi tinggi terbukti menurunkan suhu atap hingga 14°C dan memberikan penghematan energi pendinginan hingga 5,5% [10].

Model prediksi emisi karbon operasional juga telah dikembangkan dengan akurasi tinggi, menegaskan bahwa perilaku konsumsi energi penghuni merupakan faktor yang tidak bisa diabaikan dalam desain bangunan berkelanjutan

[20]. Demikian pula, pendekatan optimasi berbasis algoritma seperti ICSEA dan MSMOEA/D mampu menghasilkan desain bangunan dengan konsumsi energi lebih rendah dalam waktu komputasi yang lebih singkat dibanding metode konvensional [18], [19].

Akhirnya, pengelolaan sistem *diffuser* pada zona perimeter dalam sistem UFAD menunjukkan bahwa meskipun efisiensi kipas dapat ditingkatkan melalui stratifikasi udara yang lebih baik, peningkatan beban konveksi justru dapat meniadakan penghematan energi total [11]. Ini menegaskan perlunya pendekatan sistemik dan evaluasi menyeluruh dalam setiap intervensi desain.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian sistematis terhadap 25 artikel ilmiah, dapat disimpulkan bahwa efisiensi energi pada bangunan hanya dapat dicapai secara optimal melalui kombinasi strategi pasif, aktif, dan adaptif yang disesuaikan dengan kondisi iklim, karakteristik bangunan, serta perilaku penghuni. Strategi pasif seperti peningkatan insulasi termal, ventilasi alami, dan optimasi desain jendela terbukti efektif dalam mengurangi beban pendinginan dan pemanasan. Sementara itu, strategi aktif seperti sistem HVAC berbasis kontrol pintar dan integrasi sumber energi terbarukan menunjukkan peningkatan kinerja energi bangunan secara signifikan. Di sisi lain, strategi adaptif yang mempertimbangkan respons pengguna dan data lingkungan real-time memberikan fleksibilitas dan efisiensi operasional yang lebih tinggi. Simulasi energi berbasis perangkat lunak seperti EnergyPlus mengonfirmasi bahwa kombinasi strategi yang tepat dapat menghasilkan penghematan energi antara 20% hingga lebih dari 50%. Oleh karena itu, pendekatan desain yang holistik dan berbasis data sangat penting dalam mewujudkan bangunan hemat energi dan berkelanjutan.

REFERENSI

- [1] L. Ouazzani Chahidi, M. Fossa, A. Priarone, and A. Mechaqrane, "Energy saving strategies in sustainable greenhouse cultivation in the mediterranean climate – A case study," *Appl Energy*, vol. 282, p. 116156, 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.116156.
- [2] W. Jezierski and B. Sadowska, "Optimization of the Selected Parameters of Single-Family House Components with the Estimation of Their Contribution to Energy Saving," *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 23, 2022, doi: 10.3390/en15238810.

- [3] S. Guo, W. Wang, and Y. Zhou, "Research on Energy Saving and Economy of Old Buildings Based on Parametric Design: A Case Study of a Hospital in Linyi City, Shandong Province," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 24, 2022, doi: 10.3390/su142416681.
- [4] J. Hou, T. Zhang, Z. Liu, C. Hou, and H. Fukuda, "A study on influencing factors of optimum insulation thickness of exterior walls for rural traditional dwellings in northeast of Sichuan hills, China," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01033.
- [5] F. Fantozzi, C. Bibbiani, C. Gargari, R. Rugani, and G. Salvadori, "Do green roofs really provide significant energy saving in a Mediterranean climate? Critical evaluation based on different case studies," *Frontiers of Architectural Research*, vol. 10, no. 2, pp. 447–465, 2021, doi: 10.1016/j.foar.2021.01.006.
- [6] Z. Qiu, J. Wang, B. Yu, L. Liao, and J. Li, "Identification of passive solar design determinants in office building envelopes in hot and humid climates using data mining techniques," *Build Environ*, vol. 196, p. 107566, 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107566.
- [7] Z. Liu, J. Hou, L. Zhang, B. J. Dewancker, X. Meng, and C. Hou, "Research on energy-saving factors adaptability of exterior envelopes of university teaching-office buildings under different climates (China) based on orthogonal design and EnergyPlus," *Heliyon*, vol. 8, no. 8, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10056.
- [8] Y. Zhang, S. Omer, and R. Hu, "Combination of Wall Insulation and PCMs in External Walls of Typical Residential Buildings in the UK and Their Impact on Building Energy Consumption," *Buildings*, vol. 15, no. 6, 2025, doi: 10.3390/buildings15060854.
- [9] Z. Duan, M. Chen, H. Li, X. Bu, and G. Yao, "Research on the Design of Green Roofs for Office Buildings in Xuzhou Based on Building Energy Consumption Evaluation," *Buildings*, vol. 14, no. 9, p. 2636, 2024, doi: 10.3390/buildings14092636.
- [10] S. Zhao, G. Hai, and X. Zhang, "An Analysis of the Influence of Cool Roof Thermal Parameters on Building Energy Consumption Based on Orthogonal Design," *Buildings*, vol. 14, no. 1, 2024, doi: 10.3390/buildings14010028.
- [11] S. H. Yeon, B. Yu, J. M. Lee, S. L. Do, M. Shin, and K. H. Lee, "Variations of Stratification and Cooling Energy Performance According to Diffuser Condition in UFAD System," *Journal of Energy Engineering*, vol. 146, no. 4, Apr. 2020, doi: 10.1061/(asce)ey.1943-7897.0000663.
- [12] W. Jung and F. Jazizadeh, "Energy saving potentials of integrating personal thermal comfort models for control of building systems: Comprehensive quantification through combinatorial consideration of influential parameters," *Appl Energy*, vol. 268, p. 114882, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114882.
- [13] J. P. Carneiro, A. Aryal, and B. Becerik-Gerber, "Understanding the influence of orientation, time-of-day and blind use on user's lighting choices and energy consumption using immersive virtual environments," *Advances in Building Energy Research*, vol. 15, no. 5, pp. 603–629, Jul. 2021, doi: 10.1080/17512549.2019.1639075.
- [14] L. Tang, Z. Ai, C. Song, G. Zhang, and Z. Liu, "A strategy to maximally utilize outdoor air for indoor thermal environment," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 13, p. 3987, Jul. 2021, doi: 10.3390/en14133987.
- [15] X. Chen, Y. Cai, X. Xiao, Y. Zheng, and A. Yang, "Solar Energy Compensation for Building Energy Saving with Thermal Comfort in a Cold Climate," *Electronics (Switzerland)*, vol. 11, no. 3, 2022, doi: 10.3390/electronics11030491.
- [16] W. Jiang, B. Liu, Q. Li, D. Li, and L. Ma, "Weight of energy consumption parameters of rural residences in severe cold area," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 26, p. 101131, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101131.
- [17] E. Mirabi and F. Akrami Abarghuie, "Investigating the climate-adaptive design strategies of residential earth-sheltered buildings in Iran," *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, vol. 41, no. 5, pp. 1029–1048, Dec. 2023, doi: 10.1108/IJBPA-05-2021-0076.
- [18] Y. Ke, J. Xie, and S. Pouramini, "Utilization of an improved crow search algorithm to solve building energy optimization problems: Cases of Australia," *Journal of Building Engineering*, vol. 38, p. 102142, 2021, doi: 10.1016/j.jobee.2020.102142.
- [19] L. Wang, "Building Energy Efficiency Design and Energy Consumption Analysis

- Based on MOEA/D Algorithm,” *IEEE Access*, vol. 12, p. 1, Jan. 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3514750.
- [20] L. Zheng, K. Luo, and L. Zhao, “An Operational Carbon Emission Prediction Model Based on Machine Learning Methods for Urban Residential Buildings in Guangzhou,” *Buildings*, vol. 14, no. 11, 2024, doi: 10.3390/buildings14113699.
- [21] Z. Zhuang, X. Yang, K. Xie, M. Tang, Y. Xu, and X. Ben, “The Mathematical Modeling and Performance of Sky Radiative Coolers,” *Buildings*, vol. 13, no. 12, 2023, doi: 10.3390/buildings13122972.
- [22] J. H. Kim, D. U. Shin, and H. Kim, “Data Center Energy Evaluation Tool Development and Analysis of Power Usage Effectiveness with Different Economizer Types in Various Climate Zones,” *Buildings*, vol. 14, no. 1, 2024, doi: 10.3390/buildings14010299.
- [23] I. Permana, F. Wang, A. P. Agharid, D. Rakshit, and J. Luo, “Energy Consumption Analysis Using Weighted Energy Index and Energy Modeling for a Hotel Building,” *Buildings*, vol. 13, no. 4, 2023, doi: 10.3390/buildings13041022.
- [24] P. Usta and B. Zengin, “An evaluation of the glazing type impact on building energy performance through a building simulation,” *Journal of Energy Systems*, vol. 6, no. 1, pp. 1–17, Mar. 2022, doi: 10.30521/jes.945193.
- [25] Y. Tan, J. Peng, D. C. Curcija, R. Hart, J. C. Jonsson, and S. Selkowitz, “Parametric study of the impact of window attachments on air conditioning energy consumption,” *Solar Energy*, vol. 202, pp. 136–143, 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.03.096.