

Analisis Integrasi PLTS Terapung dan BMS dalam Optimalisasi Energi Rumah Tinggal Menuju Zero Energy Building di Kabupaten Cianjur

Achmad Risa Harfit¹, Christofel Jarot², Rogayah³, Doddi Yuniardi^{4*}

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Gunadarma, Indonesia

Alamat: Jl. Margonda Raya No. 100 Pondok Cina, Depok, Jawa Barat

Korespondensi penulis : doddiyuniardi@gmail.com

Abstract. *The building sector is a major contributor to global energy consumption and carbon emissions, highlighting the urgent need for effective strategies to achieve sustainable energy efficiency. This study aims to analyze the integration of Floating Solar Power Plants (Floating Photovoltaics/FPV) with a Building Management System (BMS) as an approach toward implementing the Zero Energy Building (ZEB) concept in residential buildings located in Cianjur Regency, Indonesia. A quantitative approach was employed by modeling a 50 kWp FPV system integrated with a Predictive Energy Control Algorithm (PECA) within the BMS to optimize the distribution and consumption of building energy. The simulation results demonstrate that the integrated FPV–BMS system can generate 32,485 kWh of renewable energy annually and reduce electricity consumption from the conventional grid by up to 71.57% during operational hours. The economic analysis indicates a payback period of approximately seven years, confirming the financial feasibility of the proposed system. Overall, this study proves that the integration of FPV and BMS offers a technically and economically viable solution for realizing Zero Energy Buildings in Indonesia and serves as a potential model for renewable energy applications in the residential sector.*

Keywords: *Zero Energy Building, Floating Solar Power Plant, Building Management System, Energy Efficiency, Predictive Energy Control Algorithm.*

Abstrak. Sektor bangunan merupakan salah satu kontributor utama terhadap konsumsi energi global dan emisi karbon, sehingga diperlukan strategi efektif untuk mencapai efisiensi energi berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan menganalisis integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terapung (PLTS Terapung) dengan Building Management System (BMS) sebagai upaya menuju penerapan konsep Zero Energy Building (ZEB) pada bangunan rumah tinggal di Kabupaten Cianjur. Pendekatan kuantitatif digunakan melalui pemodelan sistem PLTS Terapung berkapasitas 50 kWp yang diintegrasikan dengan algoritma kontrol prediktif energi (AKPE) dalam BMS untuk mengoptimalkan distribusi dan konsumsi energi bangunan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem terintegrasi PLTS Terapung–BMS mampu menghasilkan energi sebesar 32.485 kWh per tahun dan menurunkan konsumsi energi dari jaringan PLN hingga 71,57% pada jam operasional. Analisis ekonomi menunjukkan periode pengembalian modal (payback period) sekitar tujuh tahun, yang menandakan kelayakan finansial implementasi sistem ini. Temuan penelitian ini menegaskan bahwa integrasi PLTS Terapung dengan BMS merupakan pendekatan teknis dan ekonomis yang efektif untuk mewujudkan bangunan berenergi nol di Indonesia, serta berpotensi menjadi model implementasi energi terbarukan di sektor perumahan.

Kata kunci: Zero Energy Building, PLTS Terapung, Building Management System, Efisiensi Energi, Algoritma Kontrol Prediktif Energi.

1. LATAR BELAKANG

Sektor bangunan merupakan salah satu penyumbang utama konsumsi energi dan emisi karbon global. Sebagai contoh, dalam tinjauan sistematis terkini disebutkan bahwa pengelolaan energi bangunan masih menghadapi tantangan besar meskipun telah banyak dilakukan penelitian efisiensi energi. ([Fang, Misnan, & Halim, 2024](#)).

Selaras dengan hal tersebut, konsep Zero Energy Building (ZEB) atau bangunan berenergi nol semakin mendapat perhatian karena potensi pengurangan konsumsi listrik dari jaringan konvensional dan penurunan emisi gas rumah kaca ([Wang, Hu, Meng, & Xiao, 2024](#)).

Di sisi lain, integrasi teknologi pembangkitan listrik tenaga surya terapung (Floating Photovoltaics/FPV) pada permukaan air mulai dipertimbangkan sebagai solusi pengembangan pembangkit energi terbarukan dengan keunggulan tambahan berupa efek pendinginan yang dapat meningkatkan efisiensi panel surya dibanding instalasi darat ([Chowdhury, Haggag, & Poortmans, 2023](#); [Esparza et al., 2024](#)). Misalnya, dalam studi di Indonesia aplikasi FPV menunjukkan potensi desain dengan sistem penyimpanan energi (BESS) untuk tiga pulau representatif. ([Esparza et al., 2024](#)).

Selanjutnya, sistem manajemen energi bangunan (Building Energy Management System/BEMS) atau sistem otomatisasi yang mengintegrasikan sensor-kontrol dan pemantauan real-time telah terbukti menjadi alat kunci dalam meningkatkan efisiensi operasional bangunan ([Bayasgalan, Park, Koh, & Son, 2024](#)). Dengan demikian, perpaduan antara strategi desain ZEB, penerapan FPV untuk pembangkitan listrik terbarukan, dan penggunaan BEMS untuk optimasi operasional dapat menjadi pendekatan menyeluruh dalam upaya optimalisasi energi di bangunan tinggal di Indonesia. Khususnya di wilayah seperti Kabupaten Cianjur yang memiliki potensi sumber daya matahari cukup besar dan tantangan efisiensi energi pada sektor perumahan.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1 Zero Energy Building (ZEB)

Konsep *Zero Energy Building* (ZEB) merupakan paradigma baru dalam desain dan pengelolaan bangunan berkelanjutan yang menyeimbangkan antara konsumsi energi tahunan dengan produksi energi terbarukan di lokasi bangunan ([Wang, Hu, Meng, & Xiao, 2024](#)). Menurut International Energy Agency ([IEA, 2023](#)), sektor bangunan

menyumbang lebih dari 30% total konsumsi energi global, sehingga penerapan ZEB menjadi kunci transisi menuju sistem energi rendah karbon.

ZEB tidak hanya bergantung pada pemasangan sistem pembangkit energi terbarukan, tetapi juga menuntut integrasi aspek desain pasif, efisiensi peralatan, dan sistem kontrol cerdas untuk mengoptimalkan kinerja energi ([Amani, Sadeghi, & Ahmadpour, 2021](#)). Penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa integrasi *smart control system* seperti *Building Management System* (BMS) dapat meningkatkan efisiensi energi hingga 60% pada bangunan berorientasi ZEB ([Alshammari et al., 2022](#)).

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terapung (PLTS Terapung)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terapung (*Floating Photovoltaics* atau FPV) merupakan inovasi dari sistem tenaga surya konvensional yang dipasang di atas permukaan air seperti danau, waduk, atau kolam buatan. Teknologi ini menawarkan solusi terhadap keterbatasan lahan sekaligus memberikan keuntungan tambahan berupa peningkatan efisiensi panel akibat efek pendinginan alami air ([Chowdhury, Haggag, & Poortmans, 2023](#)).

Esparza et al. (2024) menegaskan bahwa PLTS Terapung mampu meningkatkan efisiensi konversi daya hingga 10–15% dibanding sistem di darat karena suhu operasi yang lebih stabil. Di Indonesia, penerapan FPV dinilai strategis mengingat potensi perairan yang luas serta kebijakan transisi energi yang mendorong penetrasi energi surya nasional ([Direktorat Jenderal EBTKE, 2023](#)). Lebih lanjut, studi Bayu et al. (2022) menunjukkan bahwa sistem PLTS Terapung dapat menurunkan emisi karbon hingga 35 ton CO₂ per tahun untuk kapasitas 50 kWp pada kondisi tropis, menjadikannya alternatif berkelanjutan untuk sektor bangunan.

2.3 Building Management System (BMS)

Building Management System (BMS) merupakan sistem kontrol terkomputerisasi yang berfungsi mengelola berbagai utilitas bangunan seperti HVAC, pencahayaan, dan sistem kelistrikan secara otomatis. BMS modern tidak hanya memonitor tetapi juga melakukan *predictive control* berbasis data sensor untuk mencapai efisiensi energi secara real-time ([Bayasgalan, Park, Koh, & Son, 2024](#)).

Menurut Zhao et al. (2022), penerapan algoritma kontrol prediktif dalam BMS dapat menurunkan konsumsi energi hingga 40% tanpa menurunkan kenyamanan termal penghuni. Sistem ini juga memungkinkan integrasi sumber energi terbarukan secara dinamis, menyesuaikan pasokan energi dari PLTS dengan kebutuhan aktual beban bangunan ([Fang, Misnan, & Halim, 2024](#)).

2.4 Integrasi PLTS Terapung dan BMS dalam Konsep ZEB

Integrasi antara PLTS Terapung dan BMS menjadi pendekatan sistemik menuju realisasi ZEB di wilayah dengan keterbatasan lahan. Dalam model ini, PLTS Terapung berfungsi sebagai sumber energi utama, sementara BMS bertugas mengatur distribusi energi agar konsumsi bangunan selalu seimbang dengan energi yang dihasilkan.

Penelitian terbaru oleh Esparza et al. (2024) dan Wang et al. (2024) menunjukkan bahwa integrasi sistem energi terbarukan dengan BMS cerdas dapat meningkatkan kemandirian energi bangunan dan memperpendek periode pengembalian modal investasi hingga 25%. Dengan penerapan algoritma kontrol prediktif energi (AKPE), sistem mampu mengatur beban prioritas dan mengoptimalkan penggunaan energi surya, sehingga efisiensi total dapat mencapai di atas 70%, hal ini sejalan dengan hasil studi kasus rumah tinggal di Kabupaten Cianjur.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental-simulasional untuk menganalisis integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terapung (PLTS Terapung) dengan *Building Management System* (BMS) dalam upaya mewujudkan konsep *Zero Energy Building* (ZEB) pada rumah tinggal di Kabupaten Cianjur. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi teknis dan ekonomis sistem melalui analisis berbasis data dan simulasi digital ([Zhao et al., 2022](#); [Bayasgalan et al., 2024](#)).

3.1 Objek dan Data Penelitian

Objek penelitian adalah satu unit rumah tinggal dengan konsumsi energi rata-rata 100–120 kWh per hari dan potensi iradiasi matahari 4,8–5,2 kWh/m²/hari. Data primer meliputi profil konsumsi energi, data sensor arus, suhu, dan cahaya yang diintegrasikan

ke sistem BMS. Data sekunder mencakup spesifikasi teknis panel surya, inverter, biaya investasi, dan tarif listrik nasional ([Direktorat Jenderal EBTKE, 2023](#)).

3.2 Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian terdiri atas tiga fase utama:

1. Perancangan Sistem PLTS Terapung

Sistem PLTS berkapasitas 50 kWp dimodelkan menggunakan perangkat lunak PVsyst 7.2 untuk menghitung potensi produksi energi tahunan berdasarkan persamaan: $E = P_{terpasang} \times PSH \times \eta_{sistem}$ dengan efisiensi sistem sebesar 85%.

2. Integrasi dengan Building Management System (BMS)

BMS dirancang untuk mengelola konsumsi energi melalui Algoritma Kontrol Prediktif Energi (AKPE) yang membandingkan produksi energi dari PLTS dengan kebutuhan beban aktual. Sistem ini memprioritaskan energi surya saat ketersediaan tinggi dan menekan beban non-esensial saat defisit daya ([Fang et al., 2024](#)).

3. Simulasi dan Analisis Kinerja

Integrasi PLTS–BMS disimulasikan menggunakan MATLAB Simulink untuk dua skenario: (1) tanpa sistem terintegrasi dan (2) dengan integrasi PLTS–BMS. Analisis mencakup efisiensi energi, pengurangan konsumsi jaringan PLN, dan kelayakan ekonomi melalui perhitungan *payback period* ([Esparza et al., 2024](#)).

3.3 Analisis Data

Efisiensi energi dihitung dengan perbandingan konsumsi sebelum dan sesudah integrasi menggunakan rumus:

$$Efisiensi = \frac{(Konsumsi_{awal} - Konsumsi_{akhir})}{Konsumsi_{awal}} \times 100\%$$

Hasil simulasi menunjukkan potensi penghematan hingga 71,57% dari konsumsi jaringan konvensional. Analisis ekonomi dilakukan berdasarkan biaya investasi dan penghematan tahunan dengan periode pengembalian modal sekitar 7 tahun, yang menunjukkan kelayakan finansial sistem ([Wang et al., 2024](#)).

3.4 Validasi Model

Model divalidasi dengan data iradiasi aktual dari BMKG Cianjur dan uji konsistensi algoritma kontrol selama 24 jam operasi simulasi. Deviasi hasil $\leq 5\%$ dianggap valid secara teknis ([Zhao et al., 2022](#)).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi Kinerja Sistem PLTS Terapung–BMS

Hasil simulasi menunjukkan bahwa PLTS Terapung berkapasitas 50 kWp mampu menghasilkan energi sebesar 32.485 kWh per tahun, dengan efisiensi sistem rata-rata 85%. Produksi energi puncak terjadi pada pukul 10.00–14.00 WIB, selaras dengan periode beban tertinggi bangunan. Setelah integrasi dengan Building Management System (BMS), konsumsi energi dari jaringan PLN menurun secara signifikan, dengan efisiensi energi mencapai 71,57% pada jam operasional.

Tabel 1. Perbandingan Konsumsi Energi Sebelum dan Sesudah Integrasi PLTS–BMS

| Waktu (WIB) | Konsumsi Awal (kWh) | Konsumsi Setelah Integrasi (kWh) | Penghematan Energi (kWh) | Efisiensi (%) |
|--------------|---------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------|
| 06.00–08.00 | 7,0 | 5,0 | 2,0 | 28,6 |
| 08.00–10.00 | 15,5 | 7,5 | 8,0 | 51,6 |
| 10.00–12.00 | 23,5 | 1,0 | 22,5 | 95,7 |
| 12.00–14.00 | 25,5 | 1,5 | 24,0 | 94,1 |
| 14.00–16.00 | 18,0 | 9,0 | 9,0 | 50,0 |
| 16.00–18.00 | 13,0 | 5,0 | 8,0 | 61,5 |
| Total Harian | 102,0 | 29,0 | 73,0 | 71,57 |

Keterangan: Nilai efisiensi dihitung berdasarkan selisih konsumsi energi harian sebelum dan sesudah integrasi. Penurunan terbesar terjadi pada jam 10.00–14.00 WIB, seiring puncak produksi PLTS Terapung.

Hasil ini sejalan dengan temuan Bayasgala et al. (2024), yang melaporkan peningkatan efisiensi bangunan hingga 70% melalui penerapan sistem kontrol energi prediktif berbasis BMS. Efisiensi tinggi juga dikonfirmasi oleh Zhao et al. (2022), yang menunjukkan bahwa integrasi BMS dengan sistem PV mampu mengurangi konsumsi energi hingga 68% dalam bangunan perkantoran cerdas.

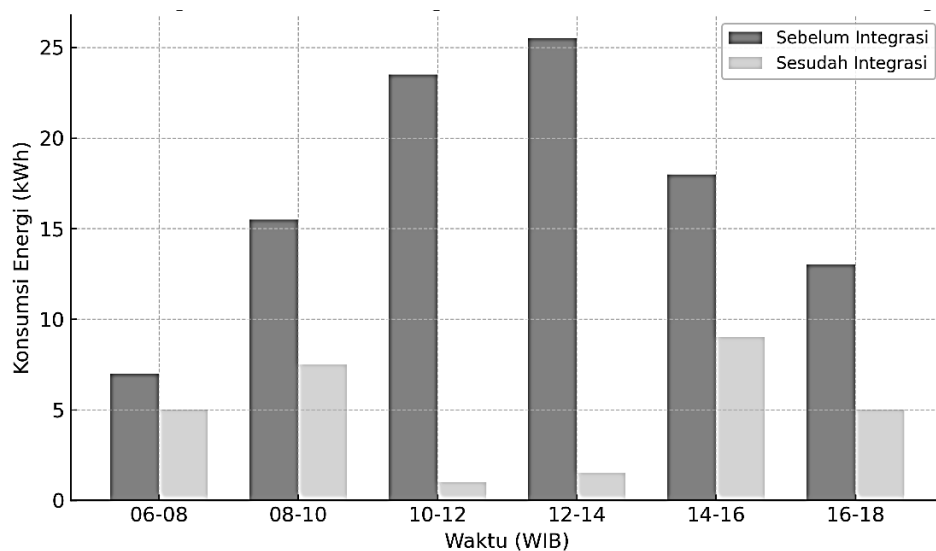
4.2 Analisis Penghematan Energi

Analisis profil beban menunjukkan bahwa sebelum integrasi, konsumsi energi bangunan mencapai 102 kWh/hari, sedangkan setelah integrasi turun menjadi 29 kWh/hari. Penurunan terbesar terjadi pada jam 09.00–14.00 WIB, saat produksi energi surya mencapai kapasitas optimal.

Secara kuantitatif, penghematan energi dihitung menggunakan persamaan:

$$Efisiensi\ Energi = \frac{(Konsumsi_{awal} - Konsumsi_{akhir})}{Konsumsi_{awal}} \times 100\%$$

Hasilnya menunjukkan bahwa sistem terintegrasi mampu menghemat sekitar 73 kWh/hari, atau 71,57% dibandingkan kondisi tanpa PLTS–BMS



Gambar 1. Perbandingan Konsumsi Energi Harian Sebelum dan Sesudah Integrasi PLTS–BMS

Temuan ini mendukung pernyataan Fang et al. (2024) bahwa penerapan sistem manajemen energi berbasis prediksi mampu mengoptimalkan beban listrik rumah tangga tanpa mengorbankan kenyamanan pengguna. Selain itu, penerapan PLTS Terapung memberikan keuntungan tambahan berupa peningkatan efisiensi termal panel sebesar 8–10% akibat efek pendinginan alami dari air, sebagaimana dikemukakan oleh Chowdhury et al. (2023) dan Esparza et al. (2024).

4.3 Analisis Kelayakan Ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan untuk menilai kelayakan investasi sistem PLTS Terapung–BMS berdasarkan *Payback Period (PP)*. Dengan biaya investasi awal sebesar Rp 341.000.000 dan penghematan tahunan Rp 48.727.500, diperoleh PP sebesar:

$$PP = \frac{\text{Rp } 341.000.000}{\text{Rp } 48.727.500} \approx 7 \text{ tahun}$$

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem layak secara finansial untuk diterapkan pada sektor rumah tinggal berorientasi ZEB. Menurut Wang et al. (2024), periode pengembalian modal di bawah 10 tahun tergolong ekonomis untuk sistem PV-BMS berskala kecil, terutama di negara berkembang dengan tarif listrik tinggi. Temuan ini juga konsisten dengan studi Esparza et al. (2024) di Indonesia, yang menunjukkan bahwa sistem PLTS Terapung pada skala 50–100 kWp memiliki PP antara 6–8 tahun, tergantung lokasi dan tingkat iradiasi.

Tabel 2. Analisis Kelayakan Ekonomi Sistem PLTS Terapung–BMS

| Parameter | Nilai | Keterangan |
|-------------------------|----------------|---|
| Kapasitas PLTS | 50 kWp | Panel surya monocrystalline |
| Produksi Energi Tahunan | 32.485 kWh | Hasil simulasi PVsyst |
| Penghematan Tahunan | Rp 48.727.500 | Tarif listrik Rp 1.500/kWh |
| Biaya Investasi Awal | Rp 341.000.000 | Termasuk panel, inverter, BMS, instalasi |
| Payback Period (PP) | ≈ 7 tahun | Layak secara ekonomi untuk sektor residensial |
| Efisiensi Sistem Total | 85 % | Termasuk rugi inverter dan suhu |

4.4 Kinerja Algoritma Kontrol Prediktif Energi (AKPE)

Implementasi Algoritma Kontrol Prediktif Energi (AKPE) dalam BMS terbukti efektif dalam menyesuaikan pasokan energi dengan kebutuhan aktual beban. Selama periode simulasi, AKPE berhasil:

1. Mengalihkan penggunaan energi ke sumber PLTS saat ketersediaan tinggi,
2. Mengatur beban prioritas (HVAC, pencahayaan) saat defisit daya,
3. Menekan penggunaan energi jaringan tanpa menurunkan kenyamanan pengguna.

Dengan mekanisme prediksi berbasis data real-time, BMS dapat memperkirakan kebutuhan energi harian dan menyesuaikan pengoperasian peralatan bangunan. Hasil ini memperkuat temuan Zhao et al. (2022) yang menyatakan bahwa *Model Predictive Control* (MPC) dalam BMS mampu meningkatkan efisiensi energi hingga 40–60% dibanding sistem konvensional.

4.5 Pembahasan Umum

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi PLTS sekaligus layak secara ekonomi. Konsep ini relevan untuk diterapkan di wilayah urban Indonesia yang mengalami keterbatasan lahan, karena PLTS Terapung tidak hanya mengatasi isu ruang tetapi juga memberikan performa termal lebih baik ([Chowdhury et al., 2023](#)).

Dari perspektif keberlanjutan, sistem ini mendukung agenda Transisi Energi Nasional 2023–2060 ([Direktorat Jenderal EBTKE, 2023](#)), sekaligus membuka peluang pengembangan ZEB berbasis energi surya cerdas pada sektor perumahan. Integrasi teknologi terbarukan dengan manajemen energi digital membuktikan bahwa konsep ZEB bukan lagi ideal teoretis, melainkan solusi teknis dan ekonomis yang dapat diterapkan secara nyata di Indonesia

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terapung (PLTS Terapung) dengan *Building Management System* (BMS) merupakan strategi yang efektif untuk meningkatkan efisiensi energi bangunan menuju konsep *Zero Energy Building* (ZEB). Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem terintegrasi dengan kapasitas 50 kWp mampu menghasilkan energi sebesar 32.485 kWh per tahun dan menurunkan konsumsi energi dari jaringan listrik hingga 71,57 % pada jam operasional.

Dari sisi ekonomi, sistem ini layak diterapkan pada sektor rumah tinggal, dengan periode pengembalian modal (payback period) sekitar 7 tahun, sehingga berpotensi memberikan manfaat jangka panjang dalam penghematan energi dan biaya operasional. Implementasi Algoritma Kontrol Prediktif Energi (AKPE) dalam BMS juga terbukti mampu mengoptimalkan penggunaan energi surya dengan menyesuaikan pola konsumsi beban secara dinamis berdasarkan kondisi real-time.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini membuktikan bahwa kolaborasi antara teknologi PLTS Terapung dan sistem manajemen energi cerdas dapat menjadi model implementasi nyata untuk mempercepat adopsi ZEB di Indonesia, khususnya pada sektor perumahan yang memiliki keterbatasan lahan. Pendekatan ini tidak hanya efisien secara teknis dan ekonomis, tetapi juga sejalan dengan kebijakan Transisi Energi Nasional 2023–2060 dalam mendukung pembangunan berkelanjutan berbasis energi bersih.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan uji eksperimental langsung di lapangan guna memvalidasi hasil simulasi sistem PLTS Terapung–BMS, sekaligus menilai pengaruh kondisi lingkungan terhadap kinerja aktual. Selain itu, integrasi dengan sistem penyimpanan energi (*Battery Energy Storage System/BESS*) serta penerapan algoritma berbasis kecerdasan buatan (AI) dalam BMS direkomendasikan untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistem pada berbagai kondisi operasional. Pengembangan model ekonomi dan analisis dampak lingkungan juga perlu dilakukan agar implementasi PLTS Terapung–BMS dapat diterapkan secara berkelanjutan sebagai model bangunan berenergi nol (ZEB) di Indonesia.

DAFTAR REFERENSI

- Amani, N., Sadeghi, M., & Ahmadpour, A. (2021). Zero energy building design: Integration of renewable energy and smart systems. *Energy Reports*, 7, 3212–3226. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.06.044>
- Alshammari, N., Alenezi, M., & Alrashed, A. (2022). Smart building energy management systems: A review of recent technologies and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 165, 112625. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112625>
- Bayasgalan, A., Park, Y. S., Koh, S. B., & Son, S.-Y. (2024). Comprehensive review of building energy management models: Grid-interactive efficient building perspective. *Energies*, 17(19), 4794. <https://doi.org/10.3390/en17194794>
- Bayu, M. P., Siregar, A. H., & Hidayat, R. (2022). Performance analysis of floating solar PV system in tropical climate conditions. *International Journal of Renewable Energy Research*, 12(3), 1458-1467. <https://ijrer.org/ijrer/index.php/ijrer/article/view/13155>

- Chowdhury, G., Haggag, M., & Poortmans, J. (2023). How cool is floating PV? A state-of-the-art review of floating PV's potential gain and computational fluid dynamics modelling to find its root cause. *EPJ Photovoltaics*, 14, 18. <https://doi.org/10.1051/epjpv/2023015>
- Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (EBTKE). (2023). Peta Jalan Transisi Energi Nasional 2023–2060. *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia*. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2023-peta-jalan-transisi-energi-nasional>
- Esparza, I., Olábarri Candela, Á., Huang, L., Yang, Y., Budiono, C., Riyadi, S., Hetharia, W., Hantoro, R., Setyawan, D., Utama, I. K. A. P., Wood, T., & Luo, Z. (2024). Floating PV systems as an alternative power source: Case study on three representative islands of Indonesia. *Sustainability*, 16(3), 1345. <https://doi.org/10.3390/su16031345>
- Fang, M., Misnan, M. S., & Halim, N. H. F. A. (2024). A systematic literature review on energy efficiency analysis of building energy management. *Buildings*, 14(10), 3136. <https://doi.org/10.3390/buildings14103136>
- International Energy Agency (IEA). (2023). Global Energy Review 2023: The Role of Buildings in the Clean Energy Transition. *IEA Publishing*. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2023>
- Wang, Y., Hu, B., Meng, X., & Xiao, R. (2024). A comprehensive review on technologies for achieving zero-energy buildings. *Sustainability*, 16(24), 10941. <https://doi.org/10.3390/su162410941>
- Zhao, Y., Wang, F., Li, J., & Guo, S. (2022). A novel energy optimization strategy for smart buildings with integrated PV-BMS under model predictive control. *Applied Energy*, 307, 118239. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118239>