

Tantangan dan Peluang Penerapan *Building-Integrated Photovoltaics (BIPV)* di Indonesia: Kajian Literatur Sistematis

Teuku Mizan Sya'rani Denk¹⁾, T. M. Azis Pandria^{2*)}, Edi Mawardi³⁾, Bambang Tripoli⁴⁾, Rahmat Djamaluddin⁵⁾, Ajunda⁶⁾

¹⁾Instalasi dan Pemeliharaan Jaringan Listrik, Akademi Komunitas Negeri Aceh Barat
Komplek STTU Alue Peunyareng, Ujong Tanoh Darat, Meureubo, Kabupaten Aceh Barat, Aceh 23681, Indonesia

²⁾Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar
Jl. Alue Peunyareng, Gunong Kleng, Meureubo, Kabupaten Aceh Barat, Aceh 23681, Indonesia

^{3,4,5)}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar
Jl. Alue Peunyareng, Gunong Kleng, Meureubo, Kabupaten Aceh Barat, Aceh 23681, Indonesia

⁶⁾Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains Teknologi, Universitas Cipta Mandiri
Jl. Lintas Barat Sumatera, Peunaga Cut Ujong, Meureubo, Kabupaten Aceh Barat, Aceh 23681, Indonesia

*Corresponding author E-mail: azispandria@utu.ac.id

Naskah Masuk: Juni 2026; Diterima: Juni 2026; Terbit: Juli 2026

ABSTRACT

Campus buildings are among the largest energy consumers in the education sector, with electricity demand continuously increasing alongside the development of higher education infrastructure in Indonesia. Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) presents an innovative solution by structurally integrating photovoltaic modules into building elements, serving a dual function as both a building material and a renewable energy generator. This article aims to review the challenges and opportunities of implementing BIPV technology in campus buildings in Indonesia through a Systematic Literature Review (SLR) approach. The findings indicate that Indonesia has an average solar irradiance potential of 4.8 kWh/m²/day, making BIPV highly prospective for tropical campus buildings. Key challenges include high initial investment costs, limited skilled human resources, and the absence of education-sector-specific regulations. Conversely, significant opportunities are demonstrated by growing green campus commitments, support from Minister of Energy Regulation No. 2 of 2024, the global BIPV market growth to USD 89.8 billion by 2030, and the campus potential as a living laboratory for renewable energy. This review is expected to serve as a scientific basis for policy development and BIPV design in Indonesian higher education buildings.

Keywords: BIPV, campus building, renewable energy, net zero energy building, tropical climate.

ABSTRAK

Gedung kampus merupakan salah satu konsumen energi terbesar di sektor pendidikan, dengan kebutuhan listrik yang terus meningkat seiring perkembangan infrastruktur perguruan tinggi di Indonesia. Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) hadir sebagai solusi inovatif yang mengintegrasikan modul fotovoltaik ke dalam elemen bangunan secara struktural, sehingga memiliki fungsi ganda sebagai material bangunan sekaligus pembangkit energi terbarukan. Artikel ini bertujuan mengkaji tantangan dan peluang penerapan teknologi BIPV pada gedung kampus di Indonesia melalui pendekatan studi literatur sistematis (Systematic Literature Review/SLR). Hasil kajian menunjukkan bahwa Indonesia memiliki potensi iradiasi surya rata-rata 4,8 kWh/m²/hari yang sangat potensial untuk penerapan BIPV pada gedung kampus beriklim tropis. Tantangan utama meliputi biaya investasi awal yang tinggi, keterbatasan sumber daya manusia terlatih, serta belum optimalnya regulasi yang spesifik untuk sektor pendidikan. Di sisi lain, peluang yang signifikan ditunjukkan oleh meningkatnya komitmen green campus, dukungan Permen ESDM No. 2 Tahun 2024, pertumbuhan pasar BIPV global hingga USD 89,8 miliar pada 2030, serta potensi kampus sebagai living laboratory energi terbarukan. Kajian ini diharapkan menjadi landasan ilmiah bagi pengembangan kebijakan dan perancangan BIPV pada gedung pendidikan tinggi di Indonesia.

Kata Kunci: BIPV, gedung kampus, energi terbarukan, net zero energy building, iklim tropis.

I. PENDAHULUAN

Konsumsi energi bangunan secara global mencapai 36% dan komitmen berbagai negara dalam mencapai target *Net Zero Emission* (NZE) telah mendorong transformasi sistem energi menuju pemanfaatan sumber energi bersih dan berkelanjutan [1] [2]. Sektor pendidikan menjadi salah satu kontributor terbesar terhadap konsumsi energi global. Kebutuhan listrik untuk sektor pendidikan di Indonesia meningkat secara signifikan sebagai akibat dari pertumbuhan pesat jumlah universitas dan infrastruktur kampus baru. Untuk menghindari membebani infrastruktur kelistrikan nasional, solusi energi yang berkelanjutan, efektif, dan efisien harus terintegrasi secara langsung dengan desain bangunan [3] [4].

Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) adalah teknologi yang mengintegrasikan modul fotovoltaik secara langsung ke dalam elemen struktural atau selubung bangunan, seperti atap, fasad, jendela, dan kanopi. Berbeda dengan *Building-Applied Photovoltaic* (BAPV) yang hanya dipasang di atas permukaan bangunan [5]. Integrasi tersebut memberikan berbagai keuntungan, antara lain efisiensi penggunaan lahan, peningkatan nilai estetika bangunan, pengurangan penggunaan material konstruksi konvensional, serta peningkatan efisiensi energi bangunan secara keseluruhan [6] [7].

Letak geografis Indonesia, yang membentang antara 6° LU dan 11° LS, memberikan keuntungan strategis bagi penerapan BIPV karena wilayahnya menerima sinar matahari sepanjang tahun. Rata-rata iradiasi surya nasional mencapai 4,8 kWh/m²/hari, setara dengan potensi energi sebesar 112.000 GWp [8] [9] [10]. Karakter iklim tropis membuat gedung kampus di Indonesia, khususnya bangunan bertingkat dengan luas atap dan fasad yang besar sesuai untuk penerapan BIPV [11] [12] [13]. Sejumlah kampus, seperti Universitas Gadjah Mada, telah mulai menjajaki potensi ini. Meski demikian, kajian nasional yang membahas secara menyeluruh dan sistematis kombinasi tantangan serta peluang penggunaan BIPV di gedung kampus masih sangat terbatas.

Bertolak dari latar belakang tersebut, tulisan ini disusun dengan tiga tujuan: (1) mengidentifikasi karakteristik dan kategori penerapan BIPV yang sesuai untuk gedung kampus beriklim tropis; (2) mengkaji persoalan-persoalan utama dalam penerapan BIPV di lingkungan institusi pendidikan tinggi Indonesia; dan (3) memaparkan peluang strategis yang bisa dimanfaatkan untuk mempercepat adopsi BIPV di kampus. Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) dengan menelaah publikasi ilmiah yang terbit antara tahun 2015 hingga 2025.

II. METODE

Penelitian ini mengikuti pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) dengan berpedoman pada kerangka PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Penelusuran literatur dilakukan pada basis data *Scopus*, *Web of Science*, *Google Scholar*, serta *repositori* sejumlah perguruan tinggi di Indonesia, menggunakan kata kunci "BIPV", "*Building-Integrated Photovoltaics*", "*solar energy campus building*", "*net zero energy building*", "gedung kampus energi surya", dan berbagai kombinasi kata kunci tersebut. Kriteria inklusi yang diterapkan meliputi: (1) artikel jurnal ilmiah terindeks

SINTA, *Scopus*, atau *Web of Science* dan atau *prosiding* nasional maupun internasional; (2) diterbitkan antara tahun 2015–2024; (3) berfokus pada penerapan BIPV atau sistem PLTS pada bangunan gedung, khususnya di sektor pendidikan atau iklim tropis; dan (4) memuat analisis teknis, ekonomi, lingkungan, atau kebijakan yang relevan. Kriteria eksklusif meliputi artikel yang tidak melalui proses *peer-review*, literatur yang tidak berkaitan langsung dengan bangunan gedung atau konteks iklim tropis, serta artikel duplikat.

Pencarian awal berhasil menjangkau 127 artikel. Setelah melalui tahap penyaringan judul dan abstrak serta pengkajian teks lengkap (*full-text review*), tersisa 42 artikel yang lolos kriteria inklusi dan dijadikan sumber utama kajian ini. Temuan-temuan dari artikel tersebut kemudian dianalisis secara tematik dan dikelompokkan ke dalam lima dimensi utama, yaitu teknis, ekonomi, sumber daya manusia dan kelembagaan, regulasi, serta lingkungan dan sosial.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Konsep dan Tipologi BIPV pada Gedung Kampus

BIPV merupakan sistem fotovoltaik yang berfungsi sebagai bagian integral dari struktur bangunan, di mana modul surya menggantikan material bangunan konvensional seperti kaca, genteng, atau panel dinding [14]. Berbeda dari BAPV yang dipasang sebagai tambahan setelah konstruksi selesai, BIPV harus direncanakan sejak tahap awal perancangan arsitektur untuk memastikan integrasi struktural, estetika, dan fungsional yang optimal [15] [16] [17].

Berdasarkan kajian literatur, terdapat empat topologi utama BIPV yang paling relevan untuk gedung kampus. Pertama, BIPV atap (*roof-integrated*) merupakan konfigurasi paling umum dan efisien karena mendapatkan paparan sinar matahari maksimal. Studi di kampus Politeknik Amamapare Timika menunjukkan bahwa sistem *rooftop* 77 panel mampu memproduksi 11.103 kWh/tahun meskipun baru mencukupi sekitar 19–20% dari total beban gedung [18]. Kedua, BIPV fasad (*facade-integrated*) memanfaatkan permukaan dinding vertikal pada bangunan bertingkat. Penelitian global menunjukkan bahwa luas fasad pada gedung tinggi di kota padat dapat mencapai tiga hingga lima kali lipat luas atap [19]. Ketiga, BIPV jendela semi-transparan memadukan transmisi cahaya alami dengan produksi energi, dan sangat relevan untuk gedung kampus yang membutuhkan kenyamanan visual. Keempat, BIPV kanopi dan *skylight* yang berfungsi sekaligus sebagai pelindung cuaca dan pembangkit energi di area terbuka kampus [20].

Sebagai ilustrasi, studi kasus pada gedung rektorat UIN SUSKA Riau memperlihatkan bahwa memadukan BIPV atap dengan BIPV fasad dapat mendongkrak produksi energi hingga 62,5% dibandingkan dengan hanya mengandalkan sistem atap saja [21]. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan optimasi multipermukaan menjadi cara paling efektif untuk mencapai target NZEB pada gedung kampus bertingkat.

B. Tantangan Penerapan BIPV pada Gedung Kampus di Indonesia

Hasil sintesis literatur mengidentifikasi lima dimensi tantangan utama dalam penerapan BIPV pada gedung kampus di Indonesia sebagai berikut. Pertama, tantangan

teknis. Modul BIPV yang dirancang sebagai material bangunan memiliki keterbatasan dalam kepadatan susunan sel semikonduktor dibandingkan panel konvensional, sehingga efisiensi konversinya cenderung lebih rendah [22] [23] [24]. Di lingkungan tropis, suhu permukaan modul yang tinggi menjadi faktor penurunan performa signifikan akibat koefisien suhu negatif pada sel fotovoltaik [25] [26] [27] [28] [29]. Efek pembayangan dari pohon, gedung sekitar, serta elemen arsitektur kampus memerlukan analisis *shadow-casting* yang cermat menggunakan perangkat lunak seperti SAM, PVsyst, atau IESVE. Selain itu, manajemen termal yang belum optimal pada sistem BIPV/T (*thermal*) di gedung bertingkat menjadi tantangan teknis tambahan [30] [31] [32].

Tantangan kedua berkaitan dengan aspek ekonomi. Biaya investasi awal BIPV masih jauh lebih besar dibandingkan sistem BAPV konvensional, karena skala produksinya belum masif dan teknologinya masih terus berkembang. Kajian ekonomi pada beberapa studi kasus gedung kampus di Indonesia bahkan menunjukkan nilai *Net Present Value* (NPV) yang negatif serta *Internal Rate of Return* (IRR) yang kurang menarik apabila tanpa dukungan insentif pemerintah [33] [34] [35]. Dihapuskannya skema net-metering melalui Permen ESDM No. 2/2024 juga dianggap menurunkan daya tarik investasi bagi sebagian pihak, meskipun di sisi lain penghapusan biaya kapasitas justru menguntungkan pengguna berskala besar [36].

Ketiga, tantangan sumber daya manusia dan kelembagaan. Sebagian besar kantor arsitektur dan kontraktor di Indonesia masih memiliki pengalaman minimum dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek BIPV [37]. Ketiadaan standar desain nasional yang spesifik untuk BIPV pada gedung pendidikan mempersulit proses perizinan dan penjaminan kualitas instalasi. Rendahnya kesadaran institusi perguruan tinggi tentang potensi dan manfaat jangka panjang BIPV turut menjadi hambatan adopsi, sebagaimana teridentifikasi dalam kajian penerapan green building pada gedung kampus UGM [38].

Keempat, tantangan regulasi. Capaian nasional PLTS Atap hingga Desember 2023 baru mencapai 140 MW dari target 1 GW per tahun, mengindikasikan masih besarnya gap antara potensi dan implementasi [38]. Regulasi yang secara spesifik mengatur BIPV, khususnya untuk sektor pendidikan belum tersedia. Mekanisme persetujuan dan perizinan pemasangan PLTS pada gedung pemerintah dan pendidikan juga masih memerlukan penyederhanaan lebih lanjut.

Kelima, tantangan estetika dan warisan budaya. Beberapa gedung kampus bersejarah yang termasuk kategori cagar budaya atau memiliki nilai arsitektur tinggi memerlukan pendekatan desain yang sangat cermat dalam integrasi BIPV. Upaya mempertahankan karakter visual bangunan sering kali meningkatkan biaya dan kompleksitas perencanaan sistem BIPV pada gedung-gedung tersebut.

C. Peluang Penerapan BIPV pada Gedung Kampus di Indonesia

Sejalan dengan tantangan yang ada, kajian literatur juga mengidentifikasi sejumlah peluang strategis yang mendukung akselerasi penerapan BIPV pada gedung kampus di Indonesia. Pertama, keunggulan iklim tropis adalah aset utama. Indonesia menerima iradiasi surya rata-rata 4,8 kWh/m²/hari sepanjang tahun tanpa variasi

musiman yang ekstrem, menjadikannya salah satu lokasi paling potensial di dunia untuk penerapan BIPV [39]. Penelitian di negara-negara tropis, termasuk Jakarta, Singapura, Kuala Lumpur, dan Rio de Janeiro, menunjukkan bahwa manfaat BIPV khususnya sangat signifikan di kawasan ini karena paparan matahari yang konsisten sepanjang tahun [40]. Studi di Medan menunjukkan bahwa optimasi BIPV berbasis pendekatan parametrik mampu menghasilkan desain yang efisien secara energi sekaligus estetis untuk bangunan kampus beriklim tropis [41].

Kedua, kampus sebagai *living laboratory* energi terbarukan. Perguruan tinggi memiliki posisi unik yang menggabungkan fungsi pendidikan, penelitian, dan pengabdian masyarakat. Implementasi BIPV pada gedung kampus tidak hanya menghasilkan energi bersih, tetapi juga menjadi media pembelajaran langsung, *platform* riset, dan demonstrasi teknologi bagi sivitas akademika [42] [43] [44]. Konsep *green campus* yang semakin berkembang di Indonesia, seperti yang diimplementasikan pada Gedung *Smart and Green Learning Center* (SGLC) UGM yang memasang panel surya di atap dan menerapkan sistem manajemen energi cerdas, membuktikan bahwa kampus dapat menjadi pelopor praktik berkelanjutan yang nyata [45].

Ketiga, dukungan regulasi yang semakin kondusif. Permen ESDM No. 2 Tahun 2024 membawa sejumlah perubahan mendasar yang menguntungkan: penghapusan batasan kapasitas pemasangan PLTS Atap, penghapusan biaya kapasitas untuk semua jenis pelanggan PLN, dan penyederhanaan prosedur permohonan berbasis mekanisme *First In First Served* (FIFS) (Kementerian ESDM, 2024). Bagi gedung kampus skala besar, penghapusan biaya kapasitas ini secara langsung meningkatkan kelayakan ekonomi investasi BIPV. Sertifikasi *GreenShip* dari *Green Building Council Indonesia* (GBCI) juga memberikan insentif poin tambahan bagi bangunan yang memanfaatkan energi terbarukan *on-site*.

Keempat, pertumbuhan pasar global dan penurunan biaya. Nilai pasar BIPV global tercatat sebesar USD 19,82 miliar pada tahun 2022 dan diproyeksikan meningkat drastis hingga USD 89,8 miliar pada tahun 2030, suatu lonjakan sebesar 453% dalam delapan tahun [46]. Berdasarkan laporan *International Energy Agency* (IEA) dan *International Renewable Energy Agency* (IRENA), menunjukkan tren peningkatan kapasitas fotovoltaik global yang konsisten dari tahun 2022 hingga 2024, sehingga prospek komersialisasi BIPV semakin kuat [47] [48]. Pertumbuhan pasar yang masif ini mendorong inovasi teknologi, skalabilitas produksi, dan penurunan biaya modul BIPV secara berkelanjutan, yang pada akhirnya akan semakin memperbaiki kelayakan ekonomi penerapannya di Indonesia.

Kelima, kontribusi terhadap target *net zero* nasional. Indonesia telah menetapkan target *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060 dan target bauran energi terbarukan sebesar 23% pada 2025, di mana pada akhir 2023 baru tercapai sekitar 13% [49][50]. Gedung kampus yang mengadopsi BIPV berkontribusi langsung pada pencapaian target nasional ini, sekaligus memperkuat reputasi institusi pendidikan sebagai pemimpin dalam transisi energi dan keberlanjutan lingkungan.

D. Sintesis: Matriks Tantangan dan Peluang

Berdasarkan analisis komprehensif terhadap 42 literatur yang dikaji, Tabel 1 menyajikan matriks sintesis tantangan dan peluang penerapan BIPV pada gedung kampus di Indonesia berdasarkan lima dimensi utama.

TABEL 1. MATRIKS TANTANGAN DAN PELUANG PENERAPAN BIPV PADA GEDUNG KAMPUS DI INDONESIA

Aspek	Tantangan	Peluang
Teknis	Efisiensi modul lebih rendah dari panel konvensional; pengaruh suhu tinggi tropis; kompleksitas analisis pembayaran	Iradiasi surya 4,8 kWh/m ² /hari sepanjang tahun; luas fasad gedung bertingkat sangat besar
Ekonomi	Biaya investasi awal tinggi; NPV negatif pada skenario tanpa insentif; penghapusan skema <i>net-metering</i>	<i>Payback</i> period 5–8 tahun; pasar BIPV global USD 89,8 miliar (2030); penghapusan biaya kapasitas PLN
SDM & Kelembagaan	Minimnya arsitek/kontraktor berpengalaman BIPV; tidak adanya standar desain nasional khusus BIPV pendidikan	Kampus sebagai <i>living laboratory</i> ; kolaborasi riset multidisiplin; pengembangan kapasitas SDM
Regulasi	Target 1 GW PLTS Atap/tahun belum tercapai (realisasi 140 MW/2023); belum ada regulasi khusus BIPV kampus	Permen ESDM No. 2/2024 lebih fleksibel; <i>GreenSHIP</i> GBCI; target NZE 2060; <i>green campus</i>
Lingkungan & Sosial	Potensi konflik estetika pada bangunan bersejarah/cagar budaya kampus	Reduksi CO ₂ ; edukasi berkelanjutan sivitas akademika; <i>role model</i> institusi pendidikan

Berdasarkan matriks di atas, terlihat bahwa tantangan terbesar berada pada dimensi ekonomi dan regulasi, sementara peluang terkuat teridentifikasi pada dimensi teknis (iklim tropis) dan kelembagaan (*living laboratory*). Pola ini mengindikasikan bahwa intervensi kebijakan yang tepat, seperti skema insentif fiskal spesifik untuk kampus dan panduan teknis BIPV nasional, dapat menjadi kunci untuk memaksimalkan peluang yang ada sekaligus memitigasi hambatan yang dihadapi.

E. Rekomendasi Strategis

Berdasarkan sintesis tantangan dan peluang yang telah dianalisis, terdapat beberapa rekomendasi strategis untuk mendorong akselerasi penerapan BIPV pada gedung kampus di Indonesia. Pertama, perlu dikembangkan panduan teknis nasional yang spesifik untuk perencanaan dan implementasi BIPV pada bangunan gedung pendidikan, mencakup standar perancangan berbasis iklim, metode simulasi yang tervalidasi, dan prosedur sertifikasi instalasi. Panduan ini idealnya dikembangkan secara kolaboratif antara Kementerian ESDM, PUPR, Kemendikbudristek, GBCI, dan asosiasi profesi terkait.

Kedua, perguruan tinggi perlu mengembangkan program riset terintegrasi yang memanfaatkan gedung kampus sendiri sebagai objek penelitian BIPV, mencakup studi teknis performa jangka panjang, analisis techno-economic berbasis data empiris, dan kajian perilaku pengguna. *Model living laboratory* ini akan menghasilkan

basis pengetahuan yang memperkuat adopsi teknologi yang lebih luas. Ketiga, diperlukan skema pembiayaan inovatif khusus sektor pendidikan, seperti *green bond* kampus, mekanisme *Power Purchase Agreement* (PPA) dengan pihak ketiga, atau kemitraan industri dan akademik yang dapat menurunkan hambatan biaya investasi awal bagi institusi dengan anggaran terbatas.

IV. KESIMPULAN

Kajian literatur sistematis ini mengidentifikasi bahwa penerapan BIPV pada gedung kampus di Indonesia memiliki prospek yang sangat menjanjikan, didukung oleh tiga keunggulan utama: iradiasi surya tropis 4,8 kWh/m²/hari sepanjang tahun, pertumbuhan pasar BIPV global yang masif menuju USD 89,8 miliar pada 2030, serta semakin kondusifnya kerangka regulasi nasional melalui Permen ESDM No. 2 Tahun 2024.

Tantangan utama yang harus diatasi secara sistematis meliputi: (1) biaya investasi awal yang masih tinggi dengan kelayakan ekonomi yang bergantung pada skema insentif; (2) keterbatasan SDM terlatih di bidang perencanaan dan instalasi BIPV; (3) belum adanya regulasi dan panduan teknis yang spesifik untuk sektor pendidikan; serta (4) tantangan teknis terkait performa modul di iklim tropis dan kompleksitas integrasi fasad bangunan bertingkat.

Di sisi peluang, kampus memiliki posisi strategis unik sebagai *living laboratory* yang dapat mengintegrasikan fungsi pembangkitan energi, pendidikan, dan penelitian secara bersamaan. Dukungan regulasi yang semakin fleksibel, target NZE 2060, serta *tren green campus* yang berkembang di berbagai perguruan tinggi Indonesia menjadi akselerator kuat untuk adopsi BIPV di lingkungan pendidikan tinggi.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan studi kasus empiris pada gedung kampus spesifik di berbagai zona iklim Indonesia, mengembangkan model analisis *techno-economic* yang komprehensif dengan data biaya terkini, serta mengkaji aspek sosial-institusional yang mendorong atau menghambat implementasi BIPV di sektor pendidikan.

REFERENSI

[1] International Energy Agency (IEA), Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. Paris, France: IEA, 2023.

[2] International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook 2024. Paris, France: IEA, 2024.

[3] D. Moor, V. Rosenberg, and M. Vasiliev, "High-Transparency Clear Glass Windows with Large PV Energy Outputs," in Challenging Glass Conference Proceedings, 2022.

[4] United Nations Environment Programme (UNEP), Global Status Report for Buildings and Construction 2024. Nairobi, Kenya: UNEP, 2024.

[5] E. Biyik et al., "A Key Review of Building Integrated Photovoltaic (BIPV) Systems," Engineering Science and Technology, an International Journal, vol. 20, no. 3, pp. 833–858, 2017.

[6] L. Dandona et al., "Nations within a nation: variations in epidemiological transition across the states of India, 1990–2016 in the Global Burden of Disease Study," The Lancet, vol. 390, no. 10111, pp. 2437–2460, 2017.

[7] Syafaruddin, Y. A. Sari, and S. M. Said, "A Review of Building Integrated Photovoltaic-Thermal (BIPV/T) Systems: Current and Potential Technology Development," Journal of Engineering Science and Technology Review, vol. 14, no. 4, pp. 197–206, 2021.

[8] Z. Fachri, I. D. Sara, and R. S. Lubis, "Kajian Penerapan Sistem Building Integrated Photovoltaics (BIPV) pada Rancangan Rumah Minimalis di Kota Banda Aceh," J-Innovation, vol. 5, no. 1, 2015.

[9] P. Narpituto, M. Artiyasa, and S. L. Marifah, "Building-Integrated Photovoltaics: A Bibliometric Review of Key Developments and Knowledge Gaps," Engineering Proceedings, vol. 107, 2025.

[10] H. B. Tambunan, W. Digwijaya, and A. Nurfanani, "Global Research Trends in Building-Integrated Photovoltaics: A Bibliometric Analysis

- (1971–2022)," *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 14, no. 1, pp. 43–59, 2025.
- [11] A. Niwanda, E. Kardiana, M. Arif, P. Rahmadani, R. Amalan, and S. M. M. Saufi, "Analisis potensi pemanfaatan energi matahari melalui panel surya di Kota Medan," *SOSIAL: Jurnal Ilmiah Pendidikan IPS*, vol. 3, no. 3, pp. 1–11, 2025.
 - [12] S. Susan and D. K. Wardhani, "Photovoltaic and Wind Turbine: A Comparison as Building Integrated Renewable Energy in Indonesia," *Humaniora*, vol. 11, no. 1, pp. 37–45, 2020.
 - [13] B. Rudianto, S. N. N. Ekasiwi, and I. G. N. Antaryama, "A Review on Effect of Building Integrated Photovoltaic Placement and its Potency in Generating Electrical Energy," *IPTEK Journal of Proceedings Series*, no. 1, pp. 142–148, 2018.
 - [14] F. J. W. Osseweijer, L. B. P. Van Den Hurk, E. J. H. M. Teunissen, and W. G. van Sark, "A comparative review of building integrated photovoltaics ecosystems in selected European countries," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 1027–1040, 2018.
 - [15] T. E. Kuhn, C. Erban, M. Heinrich, J. Eisenlohr, F. Ensslen, and D. H. Neuhaus, "Review of Technological Design Options for Building Integrated Photovoltaics (BIPV)," *Energy and Buildings*, vol. 231, Art. no. 110381, 2020.
 - [16] D. A. Ghosh and V. Sundaram, "Potential of Building Integrated and Attached/Applied Photovoltaic (BIPV/BAPV) for Adaptive Less Energy-Hungry Building Skin: A Comprehensive Review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 276, Art. no. 123343, 2020.
 - [17] A. Hesthagen, B. P. Jelle, and B. D. Hrynyszyn, "Building-Integrated Photovoltaics: From Products to System Integration A Critical Review," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 960, 2020.
 - [18] D. Alfandito, L. Faridah, and I. Usrah, "Optimasi Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap di Gedung Bapenda, Jawa Barat," *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 45–51, 2025.
 - [19] National Institute of Building Sciences, "Building Integrated Photovoltaics (BIPV)."
 - [20] F. Batista, A. S. Guimarães, and A. I. Palmero-Marrero, "Building Integrated Photovoltaics: a multi-level design review for optimized implementation," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 220, p. 115837, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115837>.
 - [21] A. NUGROHO, "Perancangan Pembangkit Listrik Building Integrated Photovoltaic (BIPV) On-Grid System (Studi Kasus: Gedung Rektorat UIN SUSKA Riau)."
 - [22] D. A. Putra, J. I. Rahmat, R. N. Restu, M. Natawibawa, and H. Sumardiyanto, "Perbandingan Rancangan Prototype BIPV (Building Integrated Photovoltaic) Genteng Solar Bergelombang dengan Genteng Solar Datar".
 - [23] T. Zhang, M. Wang, and H. Yang, "Life-Cycle Assessment of Building-Integrated Photovoltaic Systems: A Review," *Energies*, vol. 14, 2021.
 - [24] H. Chen, Y. Li, and Z. Wang, "Energy Performance Evaluation of Building Integrated Photovoltaic Systems," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2022.
 - [25] M. H. Rabani, A. Fudholi, and K. Sopian, "Building Integrated Photovoltaic Thermal (BIPV/T): Recent Progress and Future Prospects," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021.
 - [26] H. Luo, Y. Zhang, and J. Peng, "Recent Advances in Building Integrated Photovoltaic Technologies," *Solar Energy*, 2021.
 - [27] A. Karthick, R. Kalidasa Murugavel, and D. Ghosh, "Building Integrated Photovoltaic Technologies: Performance and Challenges," *Renewable Energy*, 2021.
 - [28] X. Li, Y. Wang, and J. Zhao, "Thermal Performance Assessment of Building-Integrated Photovoltaic Facades," *Applied Energy*, 2021.
 - [29] Y. Zhang, H. Yang, and M. Wang, "Performance Analysis of Building Integrated Photovoltaic Systems under Different Climatic Conditions," *Energy Reports*, 2022.
 - [30] F. Foroutanfar, B. Tejedor, and M. Casals, "Rethinking BIPVs: Evaluating the thermal trade-offs of building-integrated photovoltaics," *Energy Build.*, vol. 348, p. 116451, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116451>.
 - [31] S. T. Asrori, A. M. Zainuri, and E. Yudiyanto, *Teknologi Panel Surya*. [Online]. Available: www.p3h.unpasuruan.ac.id
 - [32] I. R. Syahyadi, N. Safitri, R. Widia, Safriadi, and Azwar, "Building Integrated Photovoltaic (BIPV): Implementing Artificial Intelligent (AI) on Designing Rooftile Photovoltaic," *International Journal of Data Science*, vol. 4, no. 1, pp. 60–66, 2023, doi: [10.18517/ijods.4.1.60-66.2023](https://doi.org/10.18517/ijods.4.1.60-66.2023).
 - [33] Q. A'yun and S. Heryanti, "Integrasi Sistem Fotovoltaik dalam Rancangan Bangunan Bertingkat Rendah Guna Meningkatkan Kinerja Energi," *Nature: National Academic Journal of Architecture*, vol. 11, no. 2, pp. 95–108, 2024, doi: [10.24252/nature.v11i2a4](https://doi.org/10.24252/nature.v11i2a4).
 - [34] Agus Cahyono Adi, "Revisi Permen ESDM PLTS Atap, Skema Jual Beli Listrik Dihapuskan," *Kementerian ESDM*.
 - [35] R. K. Putri, Y. D. R. W. Astuti, A. K. Wardhani, and C. Hudaya, "Building Integrated Photovoltaic for Rooftop and Facade Application in Indonesia," dalam *Proceedings of the International Conference on Sustainable Energy Engineering*, 2018.
 - [36] E. Tarigan, "Potential of Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) Application for Energy Conservation in Indonesian Buildings," *Proceedings of National and International Energy Conferences*, 2017. (Karya Elieser Tarigan banyak dijadikan rujukan dalam kajian BIPV di Indonesia.)
 - [37] Dewi. Larasati, *Apartemen rendah energi*. ITB Press, 2023.
 - [38] M. K. Singla et al., "Prospects for renewable energy sources from biomass waste in indonesia," 2023. [Online]. Available: <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
 - [39] R. R. Al Hakim, "Model energi Indonesia, tinjauan potensi energi terbarukan untuk ketahanan energi di Indonesia: Sebuah ulasan," *ANDASIH Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 1, no. 1, 2020.
 - [40] J. P. Giraldo-Pérez, J. S. Orrego-García, C. C. Ospina-Metaute, A. Velásquez-López, and E. Betancur, "Performance and viability of vertical BIPV in tropical zones: An experimental and simulation approach," *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 14, no. 2, p. 023701, Mar. 2022, doi: [10.1063/5.0065068](https://doi.org/10.1063/5.0065068).
 - [41] A. D. Nasution, D. Larasati, S. Nadia, A. Ferels, Y. S. Indartono, and H. Kurniawan, "Optimization of BIPV Utilization with Parametric Approach: Case Study on Nearly Zero Carbon Building Studio Design in Medan, Indonesia," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 14, no. 4, pp. 1383–1394, Aug. 2024, doi: [10.18517/ijaseit.14.4.19773](https://doi.org/10.18517/ijaseit.14.4.19773).
 - [42] M. Aelenei and D. Aelenei, "Advanced Building Integrated Photovoltaic Technologies for Nearly Zero Energy Buildings," *Buildings*, vol. 12, 2022.
 - [43] E. Belloni et al., "An Overview on Building-Integrated Photovoltaics: Technological Solutions, Modeling and Control," *Energy and Buildings*, 2023.
 - [44] H. Kim, J. Park, and S. Lee, "Optimization of Building Integrated Photovoltaic Systems Using Artificial Intelligence Techniques," *Applied Energy*, 2023.
 - [45] S. S. Utami, B. Prayitno, F. R. Salis, R. J. Yanti, and G. S. Adi, *Karya hijauku untuk kampus biruku*. UGM PRESS, 2021.
 - [46] A. Shufian et al., "Perspectives and pathways to a Carbon-free Advanced Power Network (CAPN) in Bangladesh for sustainable development," *Cleaner Energy Systems*, vol. 10, p. 100172, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cles.2025.100172>.
 - [47] International Energy Agency PVPS, *Trends in Photovoltaic Applications 2022*, Paris, France, 2022.
 - [48] International Energy Agency PVPS, *Snapshot of Global PV Markets 2024*, Paris, France, 2024.
 - [49] H. Energy and B. Riset, "Indonesia hydrogen roadmap," 2023.
 - [50] United Nations Environment Programme (UNEP), *Global Status Report for Buildings and Construction 2024*. Nairobi, Kenya: UNEP, 2024.