



# JEEE: Journal of Educational Engineering and Environment

## Literature Study on the Development of Solar Power Plant (PLTS) Technology

Received 1th May 2025  
Accepted 11th May 2025  
Published 29th May 2025

Open Access

Abdan Fajrul Falah<sup>a</sup>, Muhamad Lukman Hakim<sup>b</sup>, Ikhwanul Qiram<sup>c\*</sup>

<sup>a,b</sup> Student Departemen of Mechanical Engineering, University of PGRI Banyuwangi, Jl. Ikan Tongkol 22, Kertosari, Banyuwangi

<sup>c</sup> Lecturer Departemen of Mechanical Engineering, University of PGRI Banyuwangi, Jl. Ikan Tongkol 22, Kertosari, Banyuwangi

[abdanfalah1922@gmail.com](mailto:abdanfalah1922@gmail.com)<sup>a</sup>, [muhamadlukman.zx@gmail.com](mailto:muhamadlukman.zx@gmail.com)<sup>b</sup> \* [ikhwanulqiram@gmail.com](mailto:ikhwanulqiram@gmail.com)

**Abstract:** The development of solar power plants (PLTS) has become a key focus in the global transition toward clean and sustainable energy, including in Indonesia. This study aims to examine the technological advancements in PLTS over the past decade, with an emphasis on solar panel efficiency, emerging technologies such as perovskite solar cells, and the challenges of implementing these systems within Indonesia's geographic and socio-economic context. The methodology includes a systematic review of scientific articles from academic databases such as Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, and ResearchGate, using inclusion criteria of peer-reviewed articles published between 2015 and 2025. The review reveals improvements in solar cell efficiency from first-generation technologies to perovskite innovations, alongside emerging trends in hybrid systems and the integration of PLTS with smart grids to enhance energy distribution reliability. The findings also highlight key barriers to PLTS implementation in Indonesia, including high initial investment costs, soiling losses, and limited infrastructure. This study recommends future research to focus on the development of high-efficiency systems, integrated energy storage solutions, climate-adaptive technology design for tropical environments, and the formulation of supportive policies to expand PLTS adoption in household, industrial, and remote area sectors.

**Keywords:** Solar Power Plant, solar energy, perovskite cells, photovoltaic efficiency, renewable energy

### Introduction

Peningkatan kebutuhan energi global yang terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan industrialisasi menjadi tantangan serius bagi banyak negara. Ketergantungan pada bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama telah menyebabkan masalah lingkungan seperti emisi karbon yang tinggi, perubahan iklim, serta kerusakan ekosistem [1]. Oleh karena itu, pergeseran menuju energi terbarukan menjadi keharusan guna mencapai keberlanjutan lingkungan dan ketahanan energi jangka panjang.

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan. PLTS merupakan sistem konversi energi yang mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik melalui modul fotovoltaik. Teknologi ini terus mengalami perkembangan, baik dari segi efisiensi konversi, kestabilan, maupun biaya produksi [4]. Sel surya generasi pertama seperti silikon monokristalin telah mendominasi pasar selama beberapa dekade, namun kini mulai bermunculan alternatif baru seperti *thin-film* dan *perovskite solar cells* dengan efisiensi yang semakin meningkat [4], [5]. Salah satu kendala utama dalam pemanfaatan PLTS adalah

tantangan lingkungan seperti soiling atau penumpukan debu yang mengurangi efisiensi sistem [6]. Selain itu, keterbatasan dalam penyimpanan energi dan ketergantungan terhadap kondisi cuaca turut menjadi isu teknis yang perlu diatasi melalui pendekatan sistem *hybrid* dan integrasi dengan *smart grid* [7]

Indonesia sebagai negara berkembang memiliki potensi besar dalam mengembangkan PLTS, namun realisasi implementasinya masih tergolong rendah dibandingkan kapasitas potensial yang dimiliki [2]. Faktor-faktor seperti keterbatasan dana, kurangnya insentif pemerintah, serta minimnya kesadaran masyarakat menjadi penghambat utama dalam penyebaran PLTS secara massif [7]. Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, potensi energi surya di Indonesia diperkirakan mencapai lebih dari 200 GWp, namun pemanfaatannya baru menyentuh angka kurang dari 1% [8]. Ketimpangan antara potensi dan realisasi ini menunjukkan perlunya pendekatan multi-sektoral dalam mengembangkan sektor energi surya. Sementara, tren pemanfaatan PLTS menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam satu dekade terakhir.

Negara-negara maju seperti Jerman, Tiongkok, dan Amerika Serikat telah menunjukkan keberhasilan dalam integrasi PLTS ke dalam sistem kelistrikan nasional mereka [9]. Hal ini didorong oleh kebijakan pemerintah yang progresif, insentif ekonomi, serta kemajuan teknologi yang pesat. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi panel surya dan penurunan biaya produksi modul menjadi faktor utama dalam mendorong adopsi PLTS secara luas [1], [4]. Selain itu, munculnya teknologi baru seperti tandem cells dan modul fleksibel memberikan peluang baru dalam pengembangan PLTS untuk aplikasi rumah tangga maupun industri.

Dalam skala lokal, beberapa proyek percontohan PLTS telah berhasil dilaksanakan, terutama di wilayah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik nasional [10]. Proyek-proyek ini menunjukkan bahwa PLTS dapat menjadi solusi yang efektif dan berkelanjutan dalam menyediakan energi listrik [3], [9]. Namun demikian, masih diperlukan upaya peningkatan literasi energi di kalangan masyarakat dan pemangku kebijakan guna mendukung pengembangan PLTS secara sistematis dan berkelanjutan. Keterlibatan sektor swasta dan lembaga penelitian juga krusial dalam menciptakan inovasi teknologi serta menekan biaya investasi awal [7], [9].

Dengan latar belakang tersebut, kajian ini disusun untuk mengevaluasi tren, perkembangan, dan tantangan teknologi PLTS dalam rentang waktu 2015–2025. Fokus kajian diarahkan pada aspek efisiensi panel, adopsi teknologi baru seperti perovskite, serta kendala implementatif khususnya di Indonesia. Diharapkan hasil kajian ini dapat memberikan gambaran yang komprehensif bagi akademisi, praktisi, dan pengambil kebijakan dalam merumuskan strategi pengembangan PLTS di masa depan

## Metode

Kajian ini menggunakan pendekatan *literature review* sistematis yang bertujuan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis berbagai penelitian ilmiah yang relevan terkait perkembangan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Metode ini dipilih karena mampu menyajikan rangkuman pengetahuan yang komprehensif serta mengungkap tren dan temuan-temuan utama dari sejumlah besar publikasi ilmiah. Studi literatur menggunakan lima database ilmiah utama, yaitu: *Google Scholar*, *Science Direct*, *Scopus*, *IEEE Xplore*, dan *Research Gate*. Masing-masing database memiliki cakupan jurnal internasional yang luas dan menjadi rujukan utama yang dianggap kredibel.

Kriteria inklusi untuk pemilihan artikel dalam kajian ini meliputi:

1. Artikel *peer-reviewed* yang telah diterbitkan antara tahun 2015–2025.
2. Artikel yang relevan dengan teknologi, efisiensi, atau implementasi PLTS, dan
3. Publikasi dalam jurnal nasional atau internasional bereputasi.

Sedangkan kriteria eksklusi mencakup:

1. Artikel non-ilmiah seperti berita, opini, blog, atau dokumen kebijakan tanpa validasi ilmiah
2. Artikel yang tidak melalui proses peer-review, dan
3. Artikel yang memiliki topik terlalu umum atau tidak berkaitan langsung dengan pembangkit listrik tenaga surya.

Keseluruhan proses penelusuran, ditemukan lebih dari 35 artikel awal yang sesuai dengan kata kunci pencarian. Setelah melalui proses penyaringan ketat berdasarkan abstrak dan konten lengkapnya, sebanyak 10 artikel ilmiah terpilih untuk dianalisis secara tematik. Artikel-artikel tersebut kemudian menjadi dasar dalam menyusun bagian hasil dan pembahasan dari kajian literatur ini.

## Hasil dan Pembahasan

### 1. Perkembangan Teknologi Panel Surya dan Efisiensi Fotovoltaik

Teknologi panel surya berbasis silikon monokristalin dan polikristalin telah menjadi tulang punggung industri fotovoltaik selama beberapa dekade. Teknologi ini mengalami peningkatan efisiensi dari rata-rata 15–16 % pada 2015 menjadi mencapai 20–23 % pada 2021 berkat perbaikan struktur sel, tekstur permukaan, dan optimalisasi algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) yang canggih. Seiring kematangan teknologi silikon, penelitian mulai bergeser ke *thin-film* generasi kedua seperti CdTe dan CIGS, yang menawarkan fleksibilitas produksi dan biaya yang lebih rendah. Meski efisiensi rata-ratanya lebih rendah (~10–12 %), *thin-film* memiliki keunggulan pada integrasi ke permukaan lengkung atau atap yang tidak mungkin dijangkau panel tradisional.

Generasi ketiga, yakni *perovskite solar cells* (PSC), telah merevolusi lanskap fotovoltaik. Dimulai dari efisiensi 3,8 % pada 2009, PSC telah melampaui 25 % pada dekade terakhir, dengan tren riset yang semakin intensif, sebagaimana diuraikan Zhang et al. (2024) dalam tinjauan komprehensif mereka [3].

Peningkatan efisiensi PSC didorong oleh kemajuan dalam teknik fabrikasi, seperti deposisi vakum atau solusi yang dikontrol secara presisi, serta rekayasa antarmuka melalui

*self-assembled monolayers* (SAMs). Sebagai contoh, pendekatan SAM pada antarmuka *hole transport layer* (HTL) meningkatkan efisiensi menjadi ~23,3 % dan kestabilan operasional. Tak hanya itu, PSC juga menjanjikan produksi biaya rendah dan fleksibilitas material. Studi Cao et al. (2024) menyoroti *chalcogenide* dan strategi tandem yang telah mencapai efisiensi >25 % dengan struktur kristal dan pengaturan lapisan yang optimal. Kombinasi tandem silik/perovskite menjadi tren unggulan, karena mampu mencapai efisiensi teoretis melampaui batas *Shockley-Queisser* untuk *single-junction*. Reuters melaporkan efisiensi 28,6 % pada sel tandem komersial M10 dari Qcells, serta rekor efisiensi >30 % oleh Longi pada ukuran kecil 2–3 cm<sup>2</sup> [8], [10]. Meski menjanjikan, PSC menghadapi tantangan serius terkait stabilitas jangka panjang. Degradasi akibat kelembapan, radiasi UV, dan trap states menjadi isu utama. Northwestern University, misalnya, menggunakan pelapis amidinium untuk mem-tiga-lipatkan masa pakai hingga T90>90 % setelah paparan lingkungan ekstrem. PSC berbasis timah (*lead-free*) juga tengah dikembangkan.

Universitas Queensland dan tim lainnya mengklaim efisiensi ~16–17 % dan stabilitas >1.500 jam dalam kondisi nyata, membuka jalan menuju teknologi ramah lingkungan [6]. Sementara itu, teknologi perovskite fleksibel dan modul tandem monolitik telah meraih kemajuan besar. Eksperimen dari Sun et al. (2025) menghasilkan modul tandem fleksibel dengan efisiensi hampir 29,9 %, memberikan peluang bagi aplikasi wearable dan struktur ringan [3].

## 2. Sistem Hybrid dan Smart Grid

PLTS memiliki keterbatasan utama berupa ketergantungannya pada intensitas radiasi matahari yang bersifat fluktuatif. Untuk mengatasi hal ini, sistem *hybrid* dikembangkan sebagai solusi yang menggabungkan sumber energi surya dengan sumber energi lain seperti diesel, angin, atau baterai penyimpanan. Sistem *hybrid* mampu menjamin kontinuitas suplai energi terutama di malam hari atau saat cuaca mendung. Di Indonesia, pendekatan ini sangat penting mengingat banyaknya daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik utama [9]

Sistem *hybrid* PLTS-diesel merupakan bentuk integrasi yang paling umum digunakan di wilayah perdesaan dan kepulauan. Meskipun penggunaan genset berbahan bakar fosil masih menjadi bagian dari sistem ini, kehadiran panel surya berfungsi mengurangi konsumsi bahan bakar secara signifikan dan menurunkan biaya operasional jangka panjang [7].

Integrasi PLTS dengan sistem smart grid membawa lompatan besar dalam manajemen energi berbasis data. *Smart grid* memungkinkan pengumpulan dan pemrosesan informasi secara *real-time* terkait produksi, distribusi, dan konsumsi listrik, sehingga meningkatkan efisiensi operasional dan mendukung penggunaan energi terdistribusi ([1]. Teknologi ini mencakup penggunaan sensor cerdas, kontrol otomatis, *Internet of Things* (IoT), dan bahkan kecerdasan buatan (AI) dalam mengelola aliran energi.

Salah satu keunggulan utama *smart grid* adalah kemampuannya dalam mendukung skema net metering, yakni mekanisme di mana kelebihan listrik dari PLTS rumah tangga dapat disalurkan kembali ke jaringan PLN. Hal ini tidak hanya memberikan insentif bagi pengguna rumah tangga untuk memasang PLTS, tetapi juga membantu menyeimbangkan beban jaringan nasional. Dalam jangka panjang, sistem ini akan menciptakan ekosistem energi yang lebih berkelanjutan dan partisipatif [8].

Namun, adopsi sistem *hybrid* dan *smart grid* di Indonesia menghadapi berbagai tantangan. Salah satunya adalah tingginya biaya awal investasi yang membuat banyak rumah tangga dan pelaku industri ragu untuk beralih dari sistem konvensional. Kesiapan infrastruktur teknologi informasi dan komunikasi yang menjadi tulang punggung smart grid masih terbatas di sebagian besar wilayah Indonesia, terutama di luar Pulau Jawa [3].

Tantangan teknis lainnya mencakup interoperabilitas sistem antara perangkat dari berbagai vendor, keamanan data (*cybersecurity*), serta keterbatasan regulasi yang mendukung integrasi teknologi energi baru ini. Oleh karena itu, diperlukan kebijakan yang lebih proaktif dari pemerintah, termasuk penyusunan standar teknis nasional dan pemberian insentif fiskal untuk mempercepat adopsi sistem ini [2]. Penerapan sistem *hybrid* dan *smart grid* juga perlu didukung oleh pelatihan sumber daya manusia lokal agar mampu mengelola, merawat, dan mengembangkan sistem secara berkelanjutan. Tanpa kapasitas SDM yang memadai, ketergantungan terhadap teknisi luar akan meningkatkan biaya pemeliharaan dan memperlambat proses pemulihan bila terjadi kerusakan sistem [10]

Dalam jangka panjang, kolaborasi antara sektor publik, swasta, dan akademik diperlukan untuk melakukan inovasi teknologi serta memperkuat sistem ekosistem energi digital. Riset dan pengembangan (R&D) yang berfokus pada teknologi inverter pintar, *battery management system* (BMS), dan *AI-based energy forecast* akan memainkan peran kunci dalam menyempurnakan penerapan *smart grid*

berbasis PLTS [1]. Dengan potensi energi surya yang melimpah dan tantangan geografis yang unik, Indonesia memiliki peluang besar untuk menjadi pelopor dalam sistem *hybrid* dan *smart grid* di kawasan Asia Tenggara. Namun hal ini hanya akan terwujud apabila ada komitmen kuat dari berbagai pemangku kepentingan untuk membangun infrastruktur, kapasitas, dan regulasi yang mendukung [2].

### 3. Implementasi PLTS di Indonesia

Indonesia memiliki posisi geografis yang strategis untuk pengembangan PLTS karena intensitas matahari yang tinggi dan stabil sepanjang tahun. potensi energi surya di Indonesia diperkirakan mencapai lebih dari 200 Gigawatt peak (Gwp), namun hingga kini baru dimanfaatkan kurang dari 1% [8]. Kesenjangan antara potensi dan realisasi ini mencerminkan permasalahan struktural, sosial, dan kebijakan yang masih harus dibenahi secara komprehensif.

Salah satu faktor utama yang menghambat implementasi PLTS di Indonesia adalah tingginya biaya investasi awal, baik untuk instalasi skala rumah tangga maupun industri. Meskipun biaya modul fotovoltaik telah menurun secara global, biaya non-teknis seperti instalasi, izin, dan perawatan masih tinggi. Hal ini membuat PLTS kurang kompetitif dibandingkan sumber energi konvensional, terutama di wilayah dengan akses listrik yang sudah mapan [6]. Keterbatasan infrastruktur jaringan dan sistem penyimpanan energi juga menjadi kendala yang signifikan. Banyak wilayah terpencil belum memiliki sistem transmisi dan distribusi yang mampu mengintegrasikan PLTS ke dalam jaringan nasional. Selain itu, ketergantungan terhadap kondisi cuaca dan masalah *soiling losses* akibat debu atau kotoran yang menempel pada permukaan panel dapat mengurangi efisiensi dan umur pakai sistem [7].

Di sisi sosial, minimnya kesadaran dan literasi energi di kalangan masyarakat menjadi hambatan tersendiri. Masih banyak yang menganggap PLTS sebagai teknologi mahal dan tidak praktis. Padahal, dengan edukasi dan sosialisasi yang tepat, masyarakat dapat memanfaatkan PLTS untuk mengurangi tagihan listrik dan mendukung lingkungan bersih [10]. Program-program pelatihan berbasis komunitas yang melibatkan LSM dan akademisi telah terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman masyarakat terhadap manfaat energi surya.

Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan berbagai kebijakan untuk mendorong penggunaan PLTS, antara lain Peraturan Menteri ESDM No. 26 Tahun 2021 yang mengatur pemanfaatan PLTS atap dengan skema ekspor-impor ke jaringan PLN. Namun, implementasi kebijakan ini masih menghadapi resistensi dari pihak utilitas dan belum

tersosialisasi secara merata di daerah [9]. Beberapa proyek percontohan menunjukkan keberhasilan dalam penerapan PLTS di wilayah terpencil, terutama pada sekolah-sekolah, fasilitas kesehatan, dan komunitas pesisir. Proyek-proyek ini memperlihatkan bahwa PLTS dapat menjadi solusi efektif untuk menyediakan energi listrik yang andal dan berkelanjutan, sekaligus meningkatkan kualitas hidup masyarakat [3], [10].

Untuk memperluas penerapan PLTS, pendekatan multi-sektoral perlu diterapkan. Keterlibatan sektor swasta, LSM, perguruan tinggi, dan masyarakat lokal harus difasilitasi melalui skema pembiayaan yang inklusif, seperti leasing, subsidi langsung, atau kredit mikro energi [2]. Hal ini akan mendorong adopsi teknologi surya secara lebih merata dan cepat. Selain itu, penguatan ekosistem inovasi nasional sangat penting. Pengembangan produk panel surya dalam negeri, penelitian tentang efisiensi tropis, serta peningkatan kualitas instalator dan teknisi merupakan langkah penting untuk mengurangi ketergantungan pada impor dan menciptakan lapangan kerja baru di sektor energi terbarukan [8].

Dalam konteks global, Indonesia perlu mengambil pelajaran dari negara-negara seperti Jerman dan Tiongkok yang telah sukses mengintegrasikan PLTS ke dalam sistem energi nasional mereka melalui regulasi yang progresif dan insentif yang kompetitif [9]. Dengan strategi yang tepat, Indonesia berpeluang besar menjadi pemimpin regional dalam pengembangan energi surya berbasis masyarakat.

### 4. Dampak Sosial dan Ekonomi PLTS

Penerapan PLTS tidak hanya memberikan manfaat teknis dan lingkungan, tetapi juga memiliki dampak sosial dan ekonomi yang signifikan. Salah satu dampak utamanya adalah peningkatan akses terhadap energi listrik di daerah-daerah terpencil. Di wilayah seperti Nusa Tenggara Timur, Papua, dan pulau-pulau kecil lainnya, PLTS telah menjadi solusi utama untuk menyediakan listrik yang sebelumnya hanya bergantung pada genset berbahan bakar diesel [10]. Kehadiran PLTS di daerah terpencil memungkinkan peningkatan kualitas hidup masyarakat. Akses listrik berkelanjutan berkontribusi terhadap peningkatan pendidikan (melalui penerangan di malam hari), layanan kesehatan (pendinginan vaksin dan alat kesehatan), serta kegiatan ekonomi produktif seperti pertanian dan perikanan berbasis listrik [3]. Dengan demikian, PLTS dapat mempersempit kesenjangan pembangunan antar wilayah.

Dari sisi ekonomi, PLTS membuka peluang lapangan kerja baru di sektor energi terbarukan, seperti teknisi panel surya, desainer sistem kelistrikan, hingga operator *smart grid*.

Pengembangan ekosistem PLTS lokal juga mendukung tumbuhnya industri panel surya dalam negeri, meskipun hingga kini produksi masih sangat terbatas dan banyak komponen masih bergantung pada impor [8]. Skema bisnis seperti *leasing*, *pay as you go*, dan pembiayaan mikro telah memungkinkan masyarakat berpenghasilan rendah untuk mengakses teknologi PLTS tanpa harus membayar secara penuh di awal. Pendekatan ini telah terbukti sukses di berbagai negara berkembang dan mulai diadopsi di beberapa proyek percontohan di Indonesia [1].

PLTS mendorong kesadaran masyarakat terhadap keberlanjutan energi dan tanggung jawab lingkungan. Pendidikan berbasis energi terbarukan di sekolah-sekolah serta kampanye komunitas dapat membentuk generasi yang lebih sadar akan pentingnya transisi energi bersih [6]. Selain itu, keterlibatan perempuan dalam proyek PLTS rumah tangga turut meningkatkan pemberdayaan ekonomi keluarga. PLTS juga memberi dampak signifikan terhadap pengurangan subsidi energi. Dengan berkurangnya konsumsi listrik dari jaringan PLN atau bahan bakar fosil, beban subsidi energi dari pemerintah dapat ditekan. Hal ini membuka ruang fiskal untuk investasi sektor lain seperti pendidikan dan kesehatan [9].

Namun, untuk memaksimalkan dampak sosial-ekonomi, diperlukan kebijakan yang mengintegrasikan aspek teknis, keuangan, dan pemberdayaan masyarakat. Proyek PLTS harus dirancang dengan pendekatan partisipatif dan mempertimbangkan kebutuhan serta kapasitas lokal agar tidak sekadar menjadi instalasi fisik, melainkan benar-benar dimiliki dan dikelola oleh masyarakat [3]. Ke depan, kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan akademisi akan menjadi kunci untuk mengoptimalkan manfaat sosial dan ekonomi dari PLTS. Pendekatan ini tidak hanya akan mempercepat transisi energi nasional, tetapi juga memastikan bahwa manfaatnya menjangkau seluruh lapisan masyarakat secara adil dan merata [2].

## Kesimpulan

Kajian ini menunjukkan bahwa perkembangan teknologi PLTS dalam satu dekade terakhir mengalami kemajuan yang signifikan, baik dari sisi efisiensi, inovasi material, maupun strategi integrasi sistem. Peningkatan efisiensi dari sel surya berbasis silikon hingga perovskite telah membuka peluang besar untuk menurunkan biaya energi terbarukan dan meningkatkan aksesibilitasnya di berbagai sektor. Teknologi perovskite, khususnya dalam konfigurasi tandem, menawarkan solusi masa depan dengan efisiensi tinggi dan

potensi aplikasi yang luas, meskipun masih menghadapi tantangan stabilitas dan keberlanjutan material.

Integrasi PLTS ke dalam sistem *hybrid* dan *smart grid* menunjukkan potensi besar dalam menjawab tantangan fluktuasi energi surya dan kebutuhan energi berkelanjutan di masa depan. Teknologi ini memungkinkan distribusi energi yang lebih andal dan adaptif melalui pengelolaan data secara real-time, meskipun masih memerlukan pengembangan infrastruktur dan regulasi yang mendukung.

Implementasi PLTS di Indonesia menghadapi hambatan struktural seperti biaya awal, keterbatasan infrastruktur, dan kurangnya kesadaran masyarakat. Namun, potensi geografis dan dukungan kebijakan yang meningkat menunjukkan bahwa Indonesia memiliki peluang besar untuk menjadi pelopor dalam pengembangan energi surya di kawasan Asia Tenggara. Penguatan riset lokal dan keterlibatan lintas sektor menjadi kunci keberhasilan strategi ini. Dari perspektif sosial dan ekonomi, PLTS terbukti membawa dampak positif, terutama dalam peningkatan akses energi di daerah terpencil, penciptaan lapangan kerja baru, dan penguatan ekonomi lokal. Program-program PLTS berbasis komunitas dan pembiayaan inklusif menjadi strategi penting untuk memastikan bahwa transisi energi dapat dinikmati oleh seluruh lapisan masyarakat secara adil dan merata.

Secara keseluruhan, pengembangan PLTS merupakan bagian integral dari transisi menuju sistem energi berkelanjutan. Dengan sinergi antara inovasi teknologi, kebijakan yang berpihak, dan partisipasi masyarakat, PLTS dapat menjadi solusi nyata bagi ketahanan energi nasional dan kontribusi Indonesia terhadap mitigasi perubahan iklim global

## Daftar Pustaka

- [1] A. Mdallal, A. Yasin, M. Mahmoud, M. A. Abdelkareem, A. H. Alami, dan A.
- [2] G. Olabi, "A comprehensive review on solar photovoltaics: Navigating generational shifts, innovations, and sustainability," *Sustainable Horizons*, vol. 13, hlm. 100137, 2025, doi:
- [3] <https://doi.org/10.1016/j.horiz.2025.100137>.
- [4] S. Al-Ali, A. G. Olabi, dan M. Mahmoud, "A review of solar photovoltaic technologies: developments, challenges, and future perspectives," *Energy Conversion and Management: X*, vol. 27, hlm. 101057, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101057>.
- [5] C. Harito, S. A. Abrori, M. Khalil, B. Yulianto, dan S. Erten-

- Ela, "Current progress of perovskite solar cells stability with bibliometric study," *Curr Opin Colloid Interface Sci*, vol. 74, hlm. 101862, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2024.101862>.
- [6] A. A. Hossam-Eldin, A. Farghly, A. Hossam, dan M. Refaey, "A Review on Photovoltaic Solar Energy Technology and its Efficiency," 2015. [Daring].
- [7] Tersedia pada: <https://www.researchgate.net/publication/287792329>
- [8] F. Otto dkk., "When risks become reality: Extreme weather in 2024," *World Weather Attribution*, vol. 27, 2024.
- [9] S. F. Viranika dan S. Nanra, "Analisis Pengaruh Iradiasi Matahari dan Suhu Permukaan terhadap Kinerja Panel Surya pada String Inverter 9 PLTS 1 MWp Batam.," *Journal of Syntax Literate*, vol. 9, no. 8, 2024.
- [10] P. Tipole dkk., "Applying a magnetic field on liquid line of vapour compression system is a novel technique to increase a performance of the system," *Appl Energy*, vol. 182, hlm. 376–382, 2016.
- [11] A. Sulistiyono, H. Rifai, dan N. Y. Sudiar, "Literature Review: Solar Energy for Alternative Renewable Energy and Potential Application in Indonesia," *Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering*, vol. 5, no. 1, hlm. 59–66, 2025.
- [12] G. Masson dkk., "A snapshot of global PV markets-the latest survey results on PV markets and policies from the IEA PVPS Programme in 2017," dalam 2018 IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC)(A Joint Conference of 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC & 34th EU PVSEC), IEEE, 2018, hlm. 3825–3828.
- [13] J. Windarta, E. W. Sinuraya, A. Z. Abidin, A. E. Setyawan, dan A. Kusuma, "Penerapan Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di SMA Negeri 6 Surakarta sebagai Sekolah Hemat Energi dan Ramah Lingkungan," *Prosiding: Konferensi Nasional Matematika dan IPA Universitas PGRI Banyuwangi*, vol. 1, no. 1, hlm. 215–227, 2019.
- [14] Hassan Q, Algburi S, Sameen AZ, Salman HM, Jaszczur M, A review of hybrid renewable energy systems: Solar and wind-powered solutions: Challenges, opportunities, and policy implications, *Results in Engineering* 20, 101621, 2023
- [15] Van der Wiel K, Stoop LP, van Zuijlen BRH, Blackport R, van den Broek MA, Selten FM, Meteorological conditions leading to extreme low variable renewable energy production and extreme high energy shortfall, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 111, 261-275 2019.