

Penerapan Strategis PLTS Skala Industri dalam Pembangunan Energi Bersih dan Ekonomi Hijau di Kawasan Tropis

Paris Manarira Sitanggang^{1*}, Choisee Purba², Kristian Sihombing³, Riean Wijaya⁴,
Brimen Mikhael Manurung⁵

¹⁻⁵ Universitas Negeri Medan, Indonesia

Alamat: Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang,
Sumatera Utara 20221

Korespondensi penulis: parismanarira01@gmail.com*

Abstract. *Tropical regions offer significant opportunities in the development of renewable energy, particularly through industrial-scale Solar Power Plants (PLTS). This study aims to analyze PLTS implementation strategies in tropical areas as a means to support clean energy and green economic development. A literature study with a qualitative-descriptive approach was employed. The results show that industrial-scale PLTS implementation is highly promising due to stable and high solar radiation throughout the year. However, challenges persist such as limited infrastructure, high initial capital, and inconsistent regulatory frameworks. Thus, collaboration among stakeholders is essential to establish a sustainable energy ecosystem.*

Keywords: *Energy policy; Energy transition; Industrial-scale PLTS; Renewable energy; Tropical region*

Abstrak. Wilayah tropis menawarkan peluang besar dalam pengembangan energi terbarukan, terutama melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) skala industri. Kajian ini bertujuan menganalisis strategi implementasi PLTS di kawasan tropis sebagai upaya mendukung pengembangan energi bersih dan pertumbuhan ekonomi hijau. Metode yang digunakan adalah studi pustaka dengan pendekatan kualitatif deskriptif. Hasil analisis menunjukkan bahwa implementasi PLTS berskala besar sangat menjanjikan karena intensitas radiasi matahari yang tinggi dan konsisten sepanjang tahun. Namun, tantangan masih muncul, seperti keterbatasan infrastruktur, kebutuhan investasi awal yang besar, dan regulasi yang belum konsisten. Oleh karena itu, diperlukan sinergi multi-stakeholder untuk membentuk ekosistem energi berkelanjutan.

Kata kunci: Energi terbarukan; Kawasan tropis; Kebijakan energi; PLTS industri; Transisi energi

1. LATAR BELAKANG

Perubahan iklim telah menjadi persoalan global yang kompleks dan mendesak, ditandai dengan meningkatnya suhu permukaan bumi, naiknya permukaan laut, serta meningkatnya frekuensi dan intensitas bencana hidrometeorologi seperti banjir, kekeringan, dan badai tropis. Kondisi ini secara langsung dipicu oleh peningkatan emisi gas rumah kaca yang bersumber terutama dari sektor energi berbasis bahan bakar fosil, yang selama ini menjadi tulang punggung pasokan energi global. Ketergantungan yang berlarut terhadap energi fosil bukan hanya menyebabkan kerusakan ekologis yang masif, tetapi juga menciptakan ketidakstabilan energi jangka panjang akibat fluktuasi harga, keterbatasan cadangan, dan dominasi geopolitik negara-negara produsen minyak dan gas. Oleh karena itu, transisi menuju sistem energi bersih berbasis energi terbarukan merupakan kebutuhan mendesak yang tidak dapat ditunda, tidak

hanya sebagai solusi lingkungan, tetapi juga sebagai strategi pembangunan ekonomi yang lebih berkelanjutan dan berkeadilan.

Dalam konteks ini, energi surya menjadi salah satu solusi utama yang menawarkan potensi besar untuk dikembangkan secara luas, terutama di negara-negara tropis yang menerima intensitas radiasi matahari tinggi dan relatif konstan sepanjang tahun. Indonesia, sebagai negara beriklim tropis dengan posisi geografis yang strategis, memiliki potensi energi surya yang sangat melimpah dan tersebar di hampir seluruh wilayah nusantara. Rata-rata penyinaran matahari yang tinggi memungkinkan pengembangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) baik dalam skala kecil, menengah, hingga industri besar, yang dapat diintegrasikan ke dalam sistem energi nasional. Pengembangan PLTS skala industri secara optimal dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pemenuhan kebutuhan listrik nasional, sekaligus memperkuat ketahanan energi dan mengurangi ketergantungan terhadap impor bahan bakar fosil.

Meskipun demikian, realisasi pemanfaatan energi surya di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan struktural dan teknis. Kontribusi PLTS terhadap bauran energi nasional masih berada pada angka yang sangat rendah, jauh dari target yang telah ditetapkan dalam perencanaan energi jangka menengah dan panjang. Salah satu faktor penghambat utama adalah tingginya biaya investasi awal yang masih menjadi kendala bagi pelaku industri dan investor, khususnya dalam pembangunan sistem PLTS skala besar yang membutuhkan infrastruktur panel, inverter, dan sistem penyimpanan energi dalam skala luas. Selain itu, teknologi penyimpanan energi seperti baterai berkapasitas besar masih belum berkembang secara optimal dan harganya masih tergolong mahal, sehingga mempersulit pengelolaan beban dan kestabilan pasokan listrik terutama pada malam hari atau saat cuaca mendung.

Di sisi lain, kebijakan pemerintah dalam mendorong transisi energi belum sepenuhnya terintegrasi secara lintas sektor dan belum memberikan insentif yang cukup menarik bagi investasi energi terbarukan. Keterbatasan dalam peraturan harga, ketidakpastian regulasi, serta kurangnya harmonisasi antara kebijakan pusat dan daerah turut memperlambat adopsi teknologi surya secara luas. Padahal, pengembangan PLTS skala industri memiliki potensi untuk menjadi penggerak utama dalam pencapaian target pengurangan emisi nasional, sekaligus membuka peluang ekonomi baru melalui penciptaan lapangan kerja hijau, inovasi teknologi, serta pembangunan industri energi berbasis domestik.

Dari sudut pandang teoritis, transisi energi bukan hanya merupakan perubahan teknis dalam penggunaan sumber daya energi, tetapi juga merupakan proses sosial-ekonomi yang kompleks yang mencakup aspek kebijakan, institusi, perilaku, dan pasar. Keberhasilan transisi

ini bergantung pada kemampuan suatu negara untuk menciptakan ekosistem yang mendukung inovasi, memperkuat kapasitas kelembagaan, serta menyusun strategi adaptif dalam menghadapi hambatan struktural yang ada. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang holistik dan interdisipliner dalam merancang strategi implementasi PLTS skala industri, mulai dari perencanaan teknis, desain kebijakan, penyusunan skema pembiayaan, hingga partisipasi masyarakat.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini diarahkan untuk menganalisis secara mendalam strategi penerapan PLTS skala industri di wilayah tropis, dengan menjadikan Indonesia sebagai studi kasus yang representatif. Kajian ini akan mengkaji aspek teknis, ekonomi, kelembagaan, dan sosial secara simultan, dengan tujuan merumuskan strategi yang aplikatif dan adaptif dalam mendukung agenda transisi energi nasional serta mendorong pembangunan ekonomi hijau yang inklusif dan berkelanjutan di masa depan.

2. KAJIAN TEORITIS

Transisi energi merupakan suatu proses sistemik dan bertahap yang melibatkan pergeseran mendasar dari sistem penyediaan energi konvensional yang didominasi oleh bahan bakar fosil menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan berbasis energi terbarukan. Proses ini tidak hanya melibatkan inovasi teknologi, tetapi juga menyangkut dinamika kelembagaan, kebijakan, struktur pasar, serta aspek sosial dan budaya yang memengaruhi pola konsumsi dan produksi energi secara keseluruhan. Keberhasilan transisi energi dalam suatu negara sangat bergantung pada kemampuan sistem tersebut untuk mengelola kompleksitas lintas sektor, yang meliputi pengembangan teknologi energi bersih, integrasi jaringan listrik, kesiapan ekonomi untuk menanggung investasi awal, serta penerimaan sosial terhadap perubahan sistem energi yang sedang berlangsung.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), dalam konteks ini, menempati posisi strategis sebagai salah satu pilar utama dalam transformasi energi karena sifatnya yang fleksibel, modular, dan dapat diimplementasikan baik dalam skala rumah tangga, komersial, hingga skala industri. Karakteristik PLTS yang tidak memerlukan bahan bakar operasional, memiliki biaya operasional rendah, serta menghasilkan emisi karbon yang sangat minim, menjadikannya pilihan yang sangat relevan dalam mendukung sistem energi rendah karbon. Namun, pengembangan PLTS tidak dapat dipisahkan dari pertimbangan teknis seperti efisiensi konversi energi, manajemen beban dan penyimpanan energi, serta aspek ekonomis seperti biaya levelized cost of electricity (LCOE) dan skema insentif investasi. Transisi menuju energi

surya tidak hanya harus dilihat dari sisi teknologinya, tetapi juga dalam konteks kebijakan dan kesiapan kelembagaan untuk mendorong adopsi secara masif dan berkelanjutan.

Dalam kerangka pembangunan ekonomi kontemporer, konsep ekonomi hijau menjadi paradigma yang menekankan pentingnya pertumbuhan ekonomi yang tetap menjaga kelestarian lingkungan dan keberlanjutan sumber daya alam. Ekonomi hijau bukan hanya menolak pendekatan pertumbuhan konvensional yang eksploitatif, tetapi juga mendorong integrasi antara penciptaan nilai ekonomi dan pengurangan tekanan ekologis. Dalam hal ini, investasi pada infrastruktur energi terbarukan seperti PLTS memberikan kontribusi ganda: pertama, sebagai motor penggerak pertumbuhan ekonomi melalui penciptaan lapangan kerja baru, pengembangan industri teknologi bersih, dan peningkatan daya saing sektor energi; kedua, sebagai instrumen mitigasi perubahan iklim melalui pengurangan emisi karbon, substitusi energi fosil, dan peningkatan efisiensi energi secara keseluruhan.

Adopsi teknologi baru dalam konteks energi terbarukan, termasuk PLTS skala industri, sangat dipengaruhi oleh persepsi pelaku terhadap manfaat relatif teknologi tersebut dibandingkan sistem yang ada, kesesuaiannya dengan nilai dan praktik lokal, serta tingkat kompleksitas dalam penerapannya. Teknologi yang dirasakan kompatibel, mudah digunakan, dan memberikan manfaat ekonomi serta lingkungan yang nyata akan lebih mudah diterima dan diadopsi oleh masyarakat dan sektor industri. Namun demikian, kesiapan infrastruktur, ketersediaan sumber daya manusia yang kompeten, serta dukungan riset dan pengembangan yang berkelanjutan menjadi faktor kunci dalam memastikan proses adopsi berlangsung secara efektif dan efisien. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan pendekatan implementasi yang mempertimbangkan aspek sosial dan perilaku pengguna akhir agar inovasi energi tidak hanya menjadi wacana elit teknokratik, tetapi benar-benar dapat diinternalisasi dalam kehidupan masyarakat dan sistem industri.

Dalam perumusan dan pelaksanaan strategi pembangunan PLTS skala industri, diperlukan pula pendekatan kolaboratif yang melibatkan seluruh pemangku kepentingan secara aktif dan setara. Pendekatan ini mencerminkan pentingnya pengambilan keputusan yang inklusif, transparan, dan mempertimbangkan berbagai perspektif yang mungkin berbeda antara sektor pemerintah, pelaku usaha, lembaga riset, organisasi masyarakat sipil, serta komunitas lokal. Kolaborasi multi-pihak memungkinkan identifikasi kebutuhan riil di lapangan, perumusan solusi yang kontekstual, serta pembagian peran dan tanggung jawab yang proporsional dalam pelaksanaan proyek energi surya. Selain itu, keterlibatan aktif para pemangku kepentingan juga meningkatkan akuntabilitas dan legitimasi dari kebijakan yang

diambil, sehingga memperbesar peluang keberhasilan implementasi PLTS dalam mendukung agenda transisi energi dan pembangunan ekonomi hijau secara menyeluruh.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif yang bertujuan untuk memberikan pemahaman mendalam terhadap fenomena transisi energi melalui pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) skala industri, khususnya dalam konteks negara tropis seperti Indonesia. Pendekatan ini dipilih karena mampu mengeksplorasi dan menjelaskan dinamika sosial, ekonomi, teknis, dan kelembagaan secara holistik, sebagaimana diperlukan dalam mengkaji isu-isu strategis yang kompleks dan bersifat multidimensi. Penelitian kualitatif berfokus pada makna, konteks, dan interpretasi subjektif terhadap data yang dikumpulkan, sehingga sangat relevan untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi implementasi energi terbarukan dalam kerangka pembangunan ekonomi hijau.sistematis. Sumber data berasal dari jurnal ilmiah, laporan institusi nasional dan internasional, serta dokumen kebijakan energi. Analisis dilakukan dengan mengidentifikasi tema utama seperti potensi teknis, tantangan, strategi implementasi, dan dampak terhadap ekonomi hijau.

Metode pengumpulan data dilakukan melalui studi pustaka sistematis, yakni dengan menelaah, mengevaluasi, dan mensintesis berbagai sumber informasi yang kredibel dan relevan dengan topik penelitian. Sumber data meliputi artikel jurnal ilmiah nasional dan internasional yang telah melewati proses peer-review, laporan tahunan dan tematik dari institusi resmi seperti lembaga pemerintahan, lembaga internasional, serta organisasi lingkungan hidup, dokumen kebijakan energi dan peraturan perundang-undangan, serta publikasi teknis dari lembaga riset yang memiliki reputasi akademik. Pemilihan sumber dilakukan secara purposif dengan mempertimbangkan keterkinian data, relevansi isi, serta kedalaman analisis yang disajikan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerapan strategis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) skala industri di kawasan tropis, khususnya di negara-negara berkembang seperti Indonesia, merupakan langkah yang semakin relevan dan krusial dalam menjawab tantangan global terkait krisis energi dan perubahan iklim. Guna menggambarkan hubungan antara potensi teknis dan realisasi implementasi PLTS di negara-negara tropis Asia Tenggara, disajikan Tabel 1 yang

memperlihatkan perbandingan antara kapasitas PLTS terpasang dan potensi rata-rata radiasi matahari harian di lima negara utama kawasan tropis tersebut.

Tabel 1. Kapasitas PLTS Terpasang dan Potensi Radiasi Surya Harian di Negara Tropis Asia Tenggara

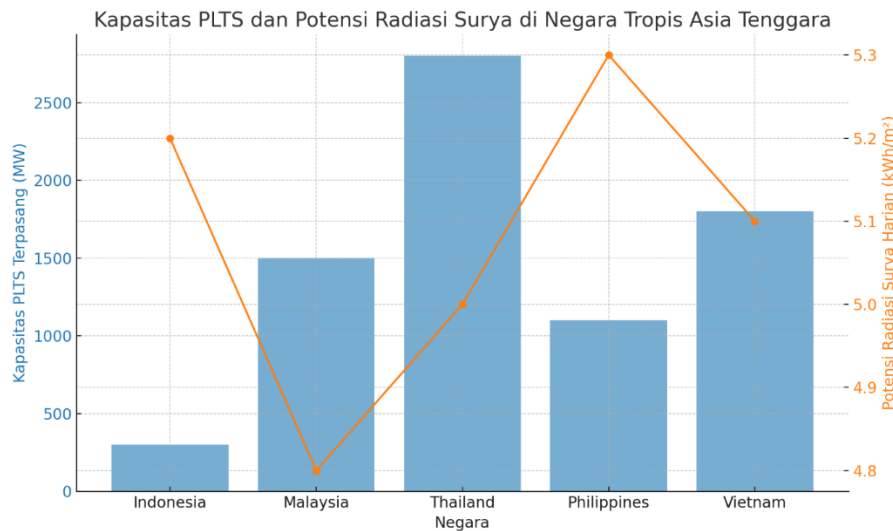
NO	Negara	Kapasitas PLTS Terpasang	Potensi Radiasi Surya Harian
1	Indonesia	3001	5,2
2	Malaysia	1500	4,8
3	Thailand	2800	5,0
4	Philippines	11001	5,3
5	Vietnam	1800	5,1

Kawasan tropis memiliki karakteristik iklim yang sangat mendukung pengembangan energi surya, yaitu intensitas radiasi matahari yang tinggi dan stabil sepanjang tahun. Kondisi ini memberikan dasar teknis yang kuat bagi pembangunan PLTS berskala besar, baik untuk mendukung sistem kelistrikan nasional, mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, maupun sebagai pendorong utama dalam menciptakan sistem energi bersih yang berkelanjutan. Selain itu, wilayah tropis juga memiliki lahan luas yang dapat dimanfaatkan untuk instalasi PLTS utilitas maupun integrasi dengan kawasan industri.

Dalam konteks pengembangan energi terbarukan, PLTS skala industri memiliki beberapa keunggulan yang signifikan, antara lain modularitas, fleksibilitas integrasi dengan sistem jaringan eksisting, serta kemampuan untuk diterapkan di berbagai jenis lahan—termasuk atap bangunan industri, lahan marjinal, hingga waduk (dalam bentuk PLTS terapung). Secara ekonomi, teknologi PLTS semakin kompetitif dari waktu ke waktu seiring menurunnya biaya modul fotovoltaik dan meningkatnya efisiensi konversi energi. Di sisi lain, tekanan global terhadap pengurangan emisi karbon dan pencapaian target dekarbonisasi juga mendorong negara-negara tropis untuk mempercepat transisi energi melalui pemanfaatan sumber daya surya sebagai energi primer.

Namun, meskipun memiliki potensi teknis dan lingkungan yang sangat besar, realisasi pembangunan PLTS skala industri di kawasan tropis masih menghadapi berbagai kendala struktural, seperti ketidakpastian regulasi, minimnya insentif investasi, keterbatasan teknologi penyimpanan energi, dan rendahnya kapasitas kelembagaan. Tantangan-tantangan ini menyebabkan adanya ketimpangan antara potensi dan implementasi aktual di lapangan.

Untuk memberikan gambaran konkret mengenai ketimpangan tersebut, Gambar 1 berikut menyajikan perbandingan antara kapasitas PLTS terpasang dan rata-rata potensi radiasi surya harian di lima negara tropis di Asia Tenggara:



Data diolah dari berbagai sumber internasional dan nasional (2023)

Gambar 1. Kapasitas PLTS dan Potensi Radiasi Surya Harian di Negara Tropis Asia Tenggara

Dari grafik tersebut, terlihat bahwa meskipun Indonesia memiliki potensi radiasi surya yang sangat tinggi (sekitar 5,2 kWh/m²/hari), kapasitas PLTS yang telah terpasang masih sangat terbatas, jauh tertinggal dibandingkan negara-negara tetangga seperti Vietnam dan Thailand. Fenomena ini menunjukkan adanya gap implementasi yang sangat lebar, yang mencerminkan lemahnya dukungan struktural, baik dari segi kebijakan, infrastruktur, maupun kesiapan pasar. Ketidakseimbangan ini mengindikasikan bahwa potensi teknis yang tinggi tidak serta-merta akan terkonversi menjadi kapasitas produksi energi bersih jika tidak didukung oleh tata kelola yang progresif dan kebijakan strategis yang konsisten.

Dalam konteks strategi pembangunan energi bersih, PLTS skala industri tidak hanya dipandang sebagai solusi teknis dalam memenuhi kebutuhan listrik, tetapi juga sebagai bagian integral dari pembangunan ekonomi hijau. Investasi dalam teknologi PLTS berkontribusi terhadap penciptaan nilai ekonomi melalui pengembangan industri energi baru dan terbarukan, penciptaan lapangan kerja ramah lingkungan, dan penguatan sektor manufaktur berbasis teknologi bersih. Selain itu, PLTS juga berperan dalam menstabilkan harga listrik jangka panjang bagi sektor industri dan bisnis, mengingat fluktuasi harga energi fosil yang tidak stabil dan bergantung pada pasar global. Hal ini menjadikan PLTS sebagai instrumen strategis untuk mendorong ketahanan energi nasional serta meningkatkan daya saing ekonomi secara keseluruhan.

Secara sosial dan kelembagaan, implementasi PLTS skala industri juga membutuhkan pendekatan partisipatif dan kolaboratif. Pelibatan pemangku kepentingan dari sektor publik, swasta, akademisi, hingga masyarakat lokal menjadi kunci dalam memastikan keberlanjutan

proyek. Pendekatan ini menciptakan legitimasi sosial, meningkatkan akuntabilitas kebijakan, dan memperkuat komitmen kolektif dalam menjalankan agenda transisi energi. Oleh karena itu, strategi penerapan PLTS skala industri di kawasan tropis perlu dirancang secara integratif, dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, sosial, dan kelembagaan secara bersamaan.

Adopsi teknologi PLTS juga sangat dipengaruhi oleh persepsi manfaat, kemudahan implementasi, serta kompatibilitas dengan kebutuhan lokal. Maka dari itu, peningkatan kapasitas teknis, pelatihan tenaga ahli, dan dukungan riset menjadi elemen penting untuk mempercepat difusi teknologi. Tanpa intervensi tersebut, inovasi teknologi seringkali terhambat oleh resistensi sosial atau ketidaksiapan infrastruktur. Dengan dukungan sistematis dari negara melalui kebijakan afirmatif, pembiayaan inovatif, serta penyusunan roadmap jangka panjang yang terukur, pengembangan PLTS skala industri dapat menjadi penggerak utama dalam transformasi sistem energi dan perekonomian menuju arah yang lebih hijau, resilien, dan inklusif.

KESIMPULAN

Kawasan tropis, dengan karakteristik iklim yang ditandai oleh paparan radiasi matahari tinggi dan stabil sepanjang tahun, memiliki potensi luar biasa dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) skala industri sebagai bagian dari strategi transisi energi menuju sistem yang bersih, berketahanan, dan berkelanjutan. Potensi teknis yang tinggi ini, apabila dioptimalkan melalui intervensi kebijakan yang adaptif dan dukungan kelembagaan yang kuat, dapat menjadi katalisator utama dalam mendukung pencapaian target dekarbonisasi, diversifikasi energi nasional, serta pembangunan ekonomi hijau yang inklusif. Akan tetapi, temuan penelitian ini menunjukkan bahwa potensi tersebut belum sepenuhnya terealisasi akibat adanya berbagai hambatan struktural yang meliputi aspek teknis, regulatif, ekonomi, serta sosial-kultural, yang saling berkaitan dan membutuhkan penanganan lintas sektor yang terkoordinasi.

Dalam hal ini, adopsi PLTS skala industri tidak dapat dipahami hanya sebagai proyek teknis, melainkan harus diposisikan dalam kerangka transisi energi yang bersifat sistemik, di mana faktor-faktor seperti kebijakan energi, kesiapan infrastruktur, skema pembiayaan, literasi teknologi, serta kapasitas kelembagaan memainkan peran yang saling menentukan. Keberhasilan implementasi PLTS tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan teknologi dan sumber daya, tetapi juga oleh kemampuan suatu negara atau wilayah untuk menciptakan ekosistem kebijakan yang kondusif, sistem insentif yang menarik, serta mekanisme kolaborasi antara pemangku kepentingan dari sektor publik, swasta, akademisi, dan masyarakat sipil. Oleh

karena itu, strategi pengembangan PLTS di kawasan tropis harus dirancang secara terintegrasi dengan mempertimbangkan pendekatan teoritis yang menjelaskan dinamika transisi energi, serta pendekatan praktis yang dapat diterapkan dalam konteks lokal dan regional.

Penelitian ini menekankan pentingnya integrasi antara kajian konseptual dan pemetaan empiris sebagai dasar dalam menyusun kebijakan dan tindakan nyata di sektor energi terbarukan. Temuan yang diperoleh menunjukkan adanya kesenjangan antara potensi dan realisasi kapasitas PLTS, yang tidak hanya mencerminkan tantangan teknis, tetapi juga menunjukkan perlunya inovasi dalam model bisnis, reformasi kebijakan fiskal dan regulatif, serta pembangunan kapasitas teknologi domestik. Oleh karena itu, studi lanjutan sangat diperlukan untuk mengeksplorasi faktor-faktor lokal yang memengaruhi implementasi PLTS, termasuk dalam hal ketersediaan lahan, preferensi energi masyarakat, kesiapan jaringan listrik, serta peluang integrasi PLTS dengan sektor industri dan manufaktur. Selain itu, diperlukan pula kajian mendalam terkait pengembangan model bisnis adaptif yang mampu menjawab dinamika pasar energi tropis, seperti skema power purchase agreement (PPA), feed-in tariff (FiT), atau solar leasing yang sesuai dengan kebutuhan industri dan struktur pembiayaan nasional.

Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi terhadap penguatan basis teoritis dalam kajian transisi energi, tetapi juga menawarkan panduan praktis bagi para perumus kebijakan, investor, dan pemangku kepentingan lainnya dalam merancang strategi pengembangan PLTS skala industri yang efektif, inklusif, dan berkelanjutan di kawasan tropis.

DAFTAR REFERENSI

- ASEAN Centre for Energy. (2022). The 7th ASEAN energy outlook 2022. ASEAN Centre for Energy.
- Asian Development Bank. (2022). Unlocking private sector participation in clean energy in Southeast Asia. Asian Development Bank.
- Freeman, R. E. (2020). Strategic management: A stakeholder approach. Cambridge University Press.
- Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8–9), 1257–1274. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)
- Handayani, K., Krozer, Y., & Filatova, T. (2020). From fossil fuels to renewables: An analysis of long-term scenarios considering technological learning. *Energy Policy*, 138, 111220. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111220>

- International Energy Agency. (2023). World energy outlook 2023. IEA.
- International Renewable Energy Agency. (2023). Renewable capacity statistics 2023. IRENA.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2021). Handbook of energy & economic statistics of Indonesia 2021. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- PT PLN & Masdar. (2023). PLTS Terapung Cirata – Joint development report.
- Rodrik, D. (2014). Green industrial policy. Oxford Review of Economic Policy, 30(3), 469–491. <https://doi.org/10.1093/oxrep/gru025>
- Rogers, E. M. (2019). Diffusion of innovations (5th ed.). Free Press.
- Schot, J., & Geels, F. W. (2008). Strategic niche management and sustainable innovation journeys: Theory, findings, research agenda, and policy. Technology Analysis & Strategic Management, 20(5), 537–554. <https://doi.org/10.1080/09537320802292651>
- Sovacool, B. K. (2016). How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions. Energy Research & Social Science, 13, 202–215. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.020>
- Sovacool, B. K. (2021). The governance of energy megaprojects: Politics, hubris and energy security. Edward Elgar Publishing.
- United Nations Environment Programme. (2023). Green economy progress measurement framework: Methodology and guidance. UNEP.