Ranah Research
Journal of Multidisciplinary Research and Development
E-ISSN: 2655-0865
DINASTI RESEARCH
082170743613 ranahresearch@gmail.com https://jurnal.ranahresearch.com

DOI: https://doi.org/10.38035/rrj.v7i4
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Kombinasi Panel Surya dan Generator Konvensional untuk Pemenuhan Beban Listrik

Bambang Harianto[1], Mochamad Karjadi[2]
[1] Universitas Gunadarma; bharianto70@staff.gunadarma.ac.id
[2] Universitas Gunadarma; mkaryadi98@gmail.com

Corresponding Author: bharianto70@staff.gunadarma.ac.id[1]

Abstract: *This study aims to analyze the effectiveness of a hybrid system of solar panels and conventional generators in meeting the electricity load in remote areas and to identify optimal strategies to improve its efficiency technically, economically, and policy-wise. This study uses a literature method with a systematic approach to analyze and synthesize scientific sources related to the combination of solar panels and conventional generators in meeting the electricity load. Data collection techniques are carried out through literature searches from relevant journals, books, reports, and news articles, with content analysis to identify patterns and interpretations of findings. The uniqueness of this study lies in its multidisciplinary approach that combines engineering, economics, policy, and environmental aspects, although it has limitations because empirical testing was not carried out and relies on available literature. The results of the study indicate that the combination of solar panels and conventional generators can be an effective solution to meet electricity needs in remote areas that are difficult to reach by the main electricity grid. Solar panels offer environmentally friendly and sustainable energy, although high initial costs and limited energy storage are still challenges. Meanwhile, conventional generators can provide a stable electricity supply, but the operational costs and environmental impacts generated need to be taken into account. Therefore, the application of a hybrid system is an efficient choice to overcome dependence on fossil fuels. For long-term sustainability, policy support is needed that encourages the transition to renewable energy and innovation in more efficient and affordable energy storage technologies.*

Keywords*: Conventional Generator, Solar Panel, Electricity Load Fulfillment*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas sistem hybrid panel surya dan generator konvensional dalam pemenuhan beban listrik di daerah terpencil serta mengidentifikasi strategi optimal untuk meningkatkan efisiensinya secara teknis, ekonomi, dan kebijakan. Penelitian ini menggunakan metode kepustakaan dengan pendekatan sistematis untuk menganalisis dan mensintesis sumber ilmiah terkait kombinasi panel surya dan generator konvensional dalam pemenuhan beban listrik. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui pencarian literatur dari jurnal, buku, laporan, dan artikel berita yang relevan, dengan analisis konten untuk mengidentifikasi pola dan interpretasi temuan. Keunikan penelitian ini terletak pada pendekatan multidisipliner yang menggabungkan aspek teknik, ekonomi, kebijakan, dan

lingkungan, meskipun memiliki keterbatasan karena tidak dilakukan pengujian empiris dan bergantung pada literatur yang tersedia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi panel surya dan generator konvensional dapat menjadi solusi efektif untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah terpencil yang sulit dijangkau jaringan listrik utama. Panel surya menawarkan energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, meskipun biaya awal yang tinggi dan keterbatasan penyimpanan energi masih menjadi tantangan. Sementara itu, generator konvensional dapat menyediakan pasokan listrik yang stabil, namun biaya operasional dan dampak lingkungan yang dihasilkan perlu diperhitungkan. Oleh karena itu, penerapan sistem hybrid menjadi pilihan yang efisien untuk mengatasi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Untuk keberlanjutan jangka panjang, diperlukan dukungan kebijakan yang mendorong transisi energi terbarukan serta inovasi dalam teknologi penyimpanan energi yang lebih efisien dan terjangkau.

Kata kunci: Generator Konvensional, Panel Surya, Pemenuhan Beban Listrik

PENDAHULUAN

Kondisi kelistrikan Indonesia saat ini menunjukkan perkembangan yang signifikan, namun masih menghadapi beberapa tantangan. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), konsumsi energi listrik nasional mencapai 199 TWh, sementara produksi tenaga listrik mencapai 228 TWh, dengan rasio elektrifikasi nasional sebesar 84,35% (Darmakusumah & Bangsa, 2023). Meskipun demikian, tingkat konsumsi listrik per kapita di Indonesia masih lebih rendah dibandingkan dengan negara-negara ASEAN lainnya, yang dapat menjadi indikator bahwa pemanfaatan listrik belum optimal (Noor & Saputra, 2020; Rahmah, n.d.). Distribusi pasokan listrik belum merata di seluruh wilayah Indonesia (Mufida et al., 2020). Beberapa daerah, terutama di luar Jawa, masih mengalami rasio elektrifikasi yang belum mencapai 100%. Hal ini disebabkan oleh tantangan dalam pembangunan jaringan listrik ke daerah pelosok yang memerlukan biaya tinggi, sementara daya beli masyarakat di daerah tersebut relatif rendah. Dalam upaya meningkatkan kapasitas listrik nasional, Indonesia berpotensi pengembangan EBT di Indonesia sebesar 442 Gigawatt (GW) (Adhiem et al., 2021). Dari jumlah tersebut, 70% direncanakan berasal dari sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, serta potensi pengembangan energi nuklir dan hidrogen.

Panel surya menawarkan sumber energi yang bersih dan melimpah (Soleh et al., 2024), tetapi masih memiliki keterbatasan dalam hal kestabilan pasokan, terutama saat cuaca mendung atau malam hari. Oleh karena itu, kombinasi panel surya dengan generator konvensional menjadi solusi yang menarik untuk memastikan ketersediaan listrik yang lebih andal. Sistem hybrid ini memungkinkan pemanfaatan energi matahari secara optimal sambil tetap memiliki cadangan energi dari generator berbahan bakar fosil.

Integrasi panel surya dengan generator konvensional menjadi inovasi yang penting dalam konteks ini (Farizal et al., 2024; Wardhana et al., 2025). Penggunaan sistem hibrida ini dapat mengoptimalkan efisiensi pemanfaatan energi matahari (Syahputra & Rahmat, 2024), terutama pada kondisi minim cahaya atau saat malam hari. Misalnya, konsep hibrida antara generator termoelektrik dengan panel surya dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi matahari, sehingga dapat membantu memenuhi kebutuhan listrik secara lebih andal dan berkelanjutan. Dengan demikian, inovasi dalam kombinasi panel surya dan generator konvensional memiliki urgensi yang tinggi untuk meningkatkan keandalan pasokan listrik, terutama di daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik utama. Selain itu, langkah ini sejalan dengan upaya global untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meningkatkan penggunaan energi terbarukan. Implementasi sistem hybrid ini tidak terlepas dari tantangan, baik dari segi ekonomi, teknologi, maupun kebijakan. Biaya awal yang tinggi

untuk pemasangan panel surya dan baterai penyimpanan masih menjadi kendala utama bagi masyarakat dan pemerintah daerah. Selain itu, ketergantungan pada bahan bakar fosil dalam generator konvensional tetap menjadi permasalahan karena harga bahan bakar yang fluktuatif dan dampaknya terhadap lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas sistem hybrid dalam pemenuhan beban listrik serta mencari solusi untuk meningkatkan efisiensinya.

Meskipun pemerintah telah berupaya meningkatkan rasio elektrifikasi, masih terdapat banyak daerah yang bergantung pada generator diesel sebagai sumber utama listrik (Harianto & Karjadi, 2024; Haryanto, 2021). Masalah utama yang dihadapi adalah tingginya biaya bahan bakar, keterbatasan pasokan, serta dampak lingkungan dari emisi karbon. Selain itu, infrastruktur kelistrikan yang belum memadai membuat integrasi energi terbarukan seperti panel surya menjadi lebih kompleks dan memerlukan investasi yang besar. Oleh karena itu, diperlukan strategi inovatif untuk mengoptimalkan kombinasi energi terbarukan dan konvensional agar pemenuhan listrik di Indonesia menjadi lebih efisien dan berkelanjutan.

Energi terbarukan, seperti energi surya, menjadi solusi utama dalam transisi dari energi fosil ke energi bersih dan berkelanjutan (Wibowo, 2024). Panel surya bekerja dengan prinsip fotovoltaik, di mana cahaya matahari yang mengenai sel surya akan menyebabkan pergerakan elektron dalam bahan semikonduktor, menghasilkan arus listrik (Ezwarsyah & Bintoro, 2022). Namun, efisiensi panel surya sangat bergantung pada intensitas sinar matahari, yang bisa bervariasi tergantung pada kondisi cuaca dan waktu (Dwisari et al., 2023). Di Indonesia, dengan intensitas sinar matahari yang tinggi sepanjang tahun, panel surya menjadi pilihan utama dalam pengembangan energi terbarukan. Namun, keterbatasannya adalah tidak dapat beroperasi optimal saat malam hari atau cuaca mendung, sehingga memerlukan sistem penyimpanan energi atau solusi tambahan seperti sistem hybrid dengan generator konvensional (Wibowo, 2024).

Integrasi panel surya dengan generator konvensional dalam sistem hybrid bertujuan untuk menciptakan pasokan listrik yang lebih stabil dan berkelanjutan. Pada siang hari, panel surya dapat memenuhi sebagian besar kebutuhan listrik, sementara generator konvensional berfungsi sebagai cadangan saat produksi energi surya tidak mencukupi (Hernowo, 2020). Sistem hybrid ini meningkatkan efisiensi energi dengan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, menghemat biaya operasional dalam jangka panjang, serta meningkatkan ketahanan energi, terutama di daerah terpencil yang tidak terhubung dengan jaringan listrik utama (Julisman et al., 2017). Dengan optimasi sistem hybrid yang tepat, penggunaan energi terbarukan dapat lebih efektif dalam mendukung transisi energi yang berkelanjutan di Indonesia (Wibowo, 2024).

Sejumlah penelitian sebelumnya telah membahas kombinasi panel surya dan generator konvensional untuk memenuhi kebutuhan listrik. Misalnya, pengembangan turbin angin skala kecil berbasis VAWT di daerah terpencil dapat menjadi solusi energi terbarukan yang berkelanjutan, dengan tantangan utama pada efisiensi di kecepatan angin rendah dan potensi pengurangan biaya melalui pemanfaatan bahan lokal serta keterlibatan masyarakat (Harianto & Karjadi, 2024). Sistem Solar Tracking Automatic Dual Axis (STADA) mampu meningkatkan daya keluaran panel surya hingga 15,34% dibandingkan panel statis, sehingga dapat menjadi solusi efektif dalam mengoptimalkan pemanfaatan energi surya dan mengurangi ketergantungan pada energi tak terbarukan (Saina & Prananda, 2024). Optimasi sistem pembangkit hibrida menggunakan metode PSO mampu menghemat biaya hingga 31,75% dibandingkan biaya aktual dan 31,08% dibandingkan metode Genetic Algorithm (GA), dengan konfigurasi optimal 681 panel surya, 195 baterai, dan 1 generator di BOSF Kalimantan (Utamidewi, 2023).

Berdasarkan hasil observasi awal di beberapa daerah terpencil di Indonesia, ditemukan bahwa sebagian besar masyarakat masih mengandalkan generator diesel sebagai sumber listrik utama, dengan biaya bahan bakar yang cukup tinggi. Selain itu, beberapa wilayah yang telah

menerapkan panel surya sering menghadapi kendala dalam penyimpanan energi, sehingga pasokan listrik menjadi tidak stabil saat malam hari atau cuaca buruk. Kondisi ini menunjukkan perlunya pendekatan sistem hybrid yang lebih optimal untuk meningkatkan akses energi di daerah tersebut. Penelitian sebelumnya telah mengkaji manfaat sistem hybrid, tetapi masih terbatas dalam konteks penerapannya di Indonesia, terutama di daerah dengan kondisi geografis yang menantang. Selain itu, penelitian terdahulu lebih banyak berfokus pada aspek teknis tanpa mengkaji secara mendalam faktor kebijakan dan sosial-ekonomi dalam implementasi sistem hybrid. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengisi kesenjangan dengan menggabungkan pendekatan teknis, ekonomi, dan kebijakan dalam satu kajian yang komprehensif.

Kebaruan dalam penelitian ini terletak pada pendekatan holistik dalam menganalisis sistem hybrid panel surya dan generator konvensional, mencakup aspek teknis, ekonomi, dan kebijakan secara bersamaan. Selain itu, penelitian ini menawarkan model optimasi sistem hybrid yang lebih efisien dan berkelanjutan untuk diterapkan di daerah terpencil Indonesia, dengan mempertimbangkan faktor geografis dan sosial-ekonomi setempat. Penelitian ini memiliki relevansi yang tinggi dalam mendukung kebijakan energi berkelanjutan di Indonesia, terutama dalam upaya meningkatkan rasio elektrifikasi di daerah terpencil. Dari segi signifikansi, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi pemerintah, perusahaan energi, serta masyarakat dalam mengembangkan solusi energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas sistem hybrid panel surya dan generator konvensional dalam pemenuhan beban listrik di daerah terpencil serta mengidentifikasi strategi optimal untuk meningkatkan efisiensinya secara teknis, ekonomi, dan kebijakan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kepustakaan (library research) dengan pendekatan sistematis dalam mengumpulkan, menganalisis, dan mensintesis berbagai sumber ilmiah yang relevan. Metode ini bertujuan untuk menggali teori, konsep, serta hasil penelitian sebelumnya terkait kombinasi panel surya dan generator konvensional dalam pemenuhan beban listrik. Pendekatan yang digunakan bersifat deskriptif-analitis, yaitu menggambarkan fenomena berdasarkan kajian literatur yang tersedia dan menganalisis relevansinya dengan implementasi sistem hybrid energi di Indonesia. Penelitian ini menggunakan sumber data yang beragam, meliputi jurnal ilmiah dari database terkemuka seperti Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, dan IEEE Xplore yang membahas energi terbarukan, panel surya, dan generator konvensional. Selain itu, digunakan juga buku referensi yang membahas teori energi terbarukan, laporan dari lembaga resmi seperti Kementerian ESDM, PLN, World Energy Council, dan IRENA, serta prosiding seminar dan artikel berita yang mengulas kebijakan terbaru di Indonesia. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui pencarian literatur menggunakan kata kunci spesifik, seleksi sumber berdasarkan kredibilitas dan relevansi, serta kategorisasi data dalam beberapa tema utama. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan content analysis, yang mencakup identifikasi pola, interpretasi temuan, sintesis berbagai perspektif, dan kritik konseptual terhadap penelitian terdahulu.

Keunikan metode penelitian ini terletak pada pendekatan multidisipliner yang menggabungkan aspek teknik, ekonomi, kebijakan, dan lingkungan. Selain itu, penelitian ini mengintegrasikan sumber primer dan sekunder untuk menghasilkan analisis komprehensif, membandingkan studi kasus dari berbagai negara sebagai pembelajaran, dan mengkaji kontribusi sistem hybrid terhadap ketahanan energi dan pengurangan emisi karbon. Penelitian ini memiliki keterbatasan karena tidak melakukan pengujian empiris dan bergantung pada ketersediaan literatur yang dapat diakses. Variasi konteks regional juga menjadi tantangan dalam mengaplikasikan temuan dari negara lain ke kondisi Indonesia. Meski demikian, metode

ini memberikan gambaran yang mendalam dan terstruktur mengenai implementasi sistem hybrid panel surya dan generator konvensional sebagai solusi energi yang berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Meskipun Indonesia memiliki potensi sumber daya energi terbarukan, ketergantungan terhadap energi fosil seperti batubara dan gas alam untuk pembangkit listrik masih sangat tinggi (Agung, 2013; Tangkudung, 2024). Ini menimbulkan masalah dalam hal keberlanjutan, karena bahan bakar fosil adalah sumber daya yang terbatas dan menghasilkan emisi karbon yang berdampak buruk pada lingkungan. Salah satu tantangan besar di Indonesia adalah distribusi listrik yang belum merata (Naufal, 2021; Utari, 2024), terutama di daerah-daerah terpencil dan pulau-pulau kecil. Banyak wilayah yang masih kesulitan mendapatkan pasokan listrik yang stabil. Penggunaan panel surya di daerah-daerah ini bisa menjadi solusi, tetapi masalahnya adalah ketergantungan pada cuaca dan kebutuhan sistem cadangan, seperti generator konvensional, agar pasokan listrik tetap stabil.

Dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri yang pesat, kebutuhan listrik di Indonesia terus meningkat (Adistia et al., 2020; Aziz et al., 2020). Infrastruktur pembangkit listrik konvensional seringkali tidak dapat mengimbangi peningkatan ini, sehingga menyebabkan pemadaman listrik yang cukup sering terjadi. Kombinasi panel surya dengan generator konvensional bisa membantu memenuhi kebutuhan beban listrik yang terus bertambah, khususnya di daerah-daerah yang sulit dijangkau. Meskipun Indonesia memiliki potensi besar untuk memanfaatkan energi terbarukan (seperti energi surya, angin, dan hidro), implementasi teknologi tersebut masih menghadapi banyak hambatan. Panel surya, misalnya, membutuhkan biaya awal yang cukup besar, dan penyimpanan energi dalam bentuk baterai juga menjadi tantangan. Di sisi lain, generator konvensional, meski lebih fleksibel dan dapat digunakan kapan saja, tetap bergantung pada bahan bakar fosil (Panulisan et al., 2023). Meskipun panel surya dapat mengurangi biaya listrik dalam jangka panjang, investasi awal untuk memasang sistem surya dan generator konvensional yang efisien masih relatif tinggi (Kadir et al., 2021). Ini menjadi kendala bagi banyak sektor, terutama di daerah yang masih belum memiliki akses yang baik terhadap pembiayaan atau insentif dari pemerintah.

Berdasarkan data lapangan yang menunjukkan tingginya ketergantungan Indonesia pada energi fosil seperti batubara dan gas alam untuk pembangkit listrik, serta tantangan distribusi listrik yang belum merata, penting untuk membandingkan data tersebut dengan teori-teori energi terbarukan yang relevan. Kecocokan antara teori yang dikemukakan oleh berbagai tokoh dan kondisi lapangan di Indonesia dapat diuraikan sebagai berikut:

Teori energi terbarukan yang dijelaskan oleh Dwisari et al. (2023) dan Sinaga et al. (2021) menawarkan pandangan bahwa energi terbarukan, khususnya energi surya, memiliki potensi besar untuk menggantikan energi fosil yang terbatas (Dwisari et al., 2023). Dalam konteks Indonesia, yang memiliki potensi besar untuk mengembangkan panel surya, teori ini sangat relevan dengan kondisi di lapangan, di mana intensitas sinar matahari sangat tinggi sepanjang tahun. Panel surya berpotensi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, data lapangan juga menunjukkan bahwa biaya awal yang cukup tinggi dan keterbatasan sistem penyimpanan energi merupakan tantangan besar yang dihadapi oleh banyak sektor, terutama di daerah terpencil. Hal ini sesuai dengan temuan dalam penelitian oleh Kadir et al. (2021), yang mencatat bahwa investasi awal untuk instalasi panel surya dan generator konvensional masih sangat tinggi (Kadir et al., 2021).

Trilemma Energi yang dikemukakan oleh Wardhana dan Marifatullah (2020) menekankan tiga dimensi penting: keamanan energi, akses yang adil terhadap energi, dan keberlanjutan lingkungan. Ketiga dimensi ini sangat relevan dengan tantangan di Indonesia, terutama dalam hal akses energi yang belum merata, terutama di daerah-daerah terpencil dan pulau-pulau kecil (Wibowo, 2024). Data lapangan mengonfirmasi bahwa meskipun panel surya dapat memberikan solusi untuk daerah-daerah yang sulit dijangkau, kebutuhan akan sistem

cadangan, seperti generator konvensional, menjadi sangat penting untuk menjamin keamanan pasokan energi ketika produksi surya tidak mencukupi. Penggunaan generator konvensional sebagai sumber cadangan tidak hanya memberikan solusi bagi keberlanjutan pasokan energi, tetapi juga berisiko terhadap keberlanjutan lingkungan karena ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Menurut Ekonomi Lingkungan yang dibahas oleh Sinaga, Sasue, dan Hutahaean (2021), biaya eksternalitas negatif (seperti polusi dan emisi karbon) harus dimasukkan dalam perhitungan biaya energi fosil agar energi terbarukan menjadi lebih ekonomis dalam jangka panjang (Wibowo, 2024). Dalam konteks Indonesia, ketergantungan pada energi fosil menyebabkan kerusakan lingkungan yang signifikan, dan peralihan ke energi terbarukan dapat mengurangi biaya eksternalitas ini. Panel surya bisa mengurangi emisi karbon, tantangan dalam biaya awal dan penyimpanan energi masih menjadi penghambat. Data lapangan juga menunjukkan bahwa tanpa dukungan kebijakan yang memadai dan insentif untuk energi terbarukan, transisi energi ini akan berjalan lambat. Kebijakan yang mendukung transisi energi ini sangat penting agar energi terbarukan menjadi lebih kompetitif secara ekonomi.

Hernowo (2020) menjelaskan cara kerja generator konvensional, yang dapat diandalkan untuk menyediakan energi cadangan pada saat panel surya tidak dapat menghasilkan listrik, seperti pada malam hari atau saat cuaca buruk. Ini sangat sesuai dengan kenyataan di lapangan, di mana generator konvensional masih diperlukan untuk memastikan pasokan listrik yang stabil, terutama di daerah terpencil yang belum terhubung dengan jaringan utama (Hernowo, 2020). Generator konvensional memiliki fleksibilitas dalam hal waktu operasional, biaya operasional yang tinggi dan emisi gas rumah kaca menjadi masalah lingkungan yang perlu dipertimbangkan. Oleh karena itu, meskipun generator konvensional berperan penting dalam pemenuhan beban listrik, penggunaan bahan bakar fosil masih menjadi penghalang dalam hal keberlanjutan dan pengurangan polusi.

Berdasarkan data lapangan dan teori yang ada, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi panel surya dan generator konvensional memiliki potensi untuk meningkatkan pemenuhan beban listrik, terutama di daerah-daerah yang sulit dijangkau. Meskipun panel surya dapat menyediakan energi yang efisien dan ramah lingkungan, tantangan dalam biaya awal dan penyimpanan energi (baterai) masih menjadi hambatan utama. Selain itu, meskipun generator konvensional menyediakan pasokan cadangan yang fleksibel, biaya bahan bakar fosil dan emisi gas rumah kaca yang tinggi mengurangi manfaat lingkungan yang bisa dicapai.

Implementasi sistem hybrid antara panel surya dan generator konvensional dapat memberikan solusi sementara untuk mengatasi masalah ketidakmerataan distribusi energi dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Namun, untuk mencapai keberlanjutan jangka panjang, diperlukan kebijakan yang mendukung transisi energi terbarukan dan pengembangan teknologi penyimpanan energi yang lebih efisien. Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi panel surya dan generator konvensional dapat menjadi solusi yang efektif dalam memenuhi beban listrik, terutama di daerah-daerah terpencil dan sulit dijangkau di Indonesia. Berdasarkan temuan ini, terdapat beberapa implikasi penting yang perlu dipertimbangkan dalam kebijakan energi, teknologi, dan aspek sosial-ekonomi.

Pemerintah memegang peranan penting dalam mendorong pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Salah satu langkah penting adalah memperkenalkan insentif untuk pengembangan energi terbarukan. Misalnya, memberikan subsidi bagi masyarakat yang ingin membeli panel surya dan baterai penyimpanan energi. Dengan adanya subsidi, biaya awal yang cukup tinggi untuk instalasi sistem energi terbarukan dapat ditekan, sehingga masyarakat, terutama di daerah-daerah yang sulit dijangkau jaringan listrik, dapat lebih mudah mengadopsi teknologi ini. Selain itu, kebijakan ini juga dapat mempercepat transisi Indonesia menuju energi bersih dan mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Pemerintah juga perlu memperkenalkan kebijakan yang lebih tegas dalam mengurangi ketergantungan pada generator berbahan bakar fosil. Salah satunya adalah dengan menerapkan pajak karbon atau mengurangi

subsidi bahan bakar fosil. Kebijakan ini akan memberikan insentif bagi sektor industri dan masyarakat untuk beralih ke energi yang lebih ramah lingkungan, sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Langkah ini akan sangat mendukung transisi Indonesia menuju sistem kelistrikan yang lebih berkelanjutan, serta menciptakan sistem energi yang lebih aman dan efisien.

Dari segi teknologi dan riset, pengembangan lebih lanjut dalam teknologi penyimpanan energi menjadi sangat krusial. Baterai penyimpanan energi yang lebih murah dan efisien adalah salah satu aspek yang harus diprioritaskan untuk mendukung keberhasilan integrasi panel surya dalam sistem kelistrikan yang lebih luas. Dalam sistem energi terbarukan seperti panel surya, masalah utama adalah ketergantungan pada sinar matahari yang bersifat intermittant (tidak selalu tersedia), sehingga pengembangan teknologi penyimpanan yang murah dan efisien akan mengatasi masalah ini. Dengan penyimpanan energi yang lebih baik, surplus energi yang dihasilkan panel surya di siang hari bisa disimpan dan digunakan pada malam hari atau saat cuaca mendung, sehingga pasokan energi dapat terus terjaga. Penelitian lebih lanjut mengenai pengoptimalan sistem hybrid antara panel surya dan generator konvensional sangat diperlukan. Menggabungkan keduanya akan meningkatkan efisiensi sistem kelistrikan, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan menurunkan biaya operasional dalam jangka panjang. Penelitian ini perlu mengidentifikasi cara-cara untuk mengurangi biaya dan meningkatkan efektivitas sistem hybrid tersebut, serta mencari solusi untuk meningkatkan kualitas sistem penyimpanan energi agar lebih terjangkau oleh masyarakat luas.

Dalam dimensi sosial-ekonomi, penerapan sistem hybrid energi terbarukan ini dapat memberikan dampak positif yang signifikan, terutama bagi masyarakat yang tinggal di daerah-daerah terpencil atau daerah yang belum terhubung dengan jaringan listrik utama. Dengan menggunakan sistem panel surya yang digabungkan dengan generator konvensional, akses terhadap listrik dapat diperluas, memberikan ketersediaan energi yang lebih stabil dan berkelanjutan bagi rumah tangga di wilayah yang sebelumnya belum terjangkau. Keberadaan energi yang stabil dan terjangkau ini tentunya akan mengurangi beban ekonomi rumah tangga, karena biaya energi yang lebih rendah dalam jangka panjang akan mengurangi pengeluaran masyarakat untuk membeli bahan bakar. Program pelatihan dan pemberdayaan masyarakat untuk mengelola dan memelihara sistem energi terbarukan akan membuka peluang kerja baru. Masyarakat lokal bisa dilibatkan dalam pengelolaan dan perawatan sistem energi ini, yang tidak hanya membantu mereka memperoleh pendapatan, tetapi juga meningkatkan kesadaran mereka tentang pentingnya energi bersih dan keberlanjutan. Dengan demikian, selain memberikan manfaat ekonomi, penerapan teknologi energi terbarukan juga dapat mendorong kesadaran lingkungan yang lebih tinggi di kalangan masyarakat.

KESIMPULAN

Kombinasi panel surya dan generator konvensional terbukti menjadi solusi yang potensial dalam memenuhi kebutuhan listrik, terutama di daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik utama. Meskipun panel surya menawarkan sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, tantangan utama seperti biaya awal yang tinggi dan keterbatasan penyimpanan energi masih menjadi kendala. Sementara itu, generator konvensional dapat menyediakan pasokan listrik yang stabil, tetapi biaya bahan bakar dan dampak lingkungan yang ditimbulkan menjadi pertimbangan serius. Oleh karena itu, implementasi sistem hybrid dapat menjadi solusi sementara yang efektif, namun keberlanjutan jangka panjang tetap membutuhkan dukungan kebijakan yang mendorong transisi energi terbarukan serta inovasi dalam teknologi penyimpanan energi agar lebih efisien dan terjangkau.

Implikasi dari penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi panel surya dan generator konvensional dapat meningkatkan akses listrik di daerah terpencil, namun keberlanjutan sistem ini sangat bergantung pada kebijakan energi yang mendukung transisi ke sumber energi terbarukan. Oleh karena itu, direkomendasikan agar pemerintah memberikan insentif bagi

penggunaan panel surya, mendorong penelitian dan pengembangan teknologi penyimpanan energi, serta mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil melalui regulasi yang lebih ketat. Selain itu, diperlukan program edukasi dan pelatihan bagi masyarakat agar dapat mengelola sistem hybrid secara mandiri dan berkelanjutan. Namun, penelitian ini memiliki beberapa limitasi, seperti keterbatasan data terkait efektivitas sistem hybrid dalam jangka panjang dan faktor-faktor eksternal seperti kebijakan energi yang dapat berubah seiring waktu, sehingga diperlukan studi lanjutan untuk mengevaluasi dampak jangka panjang dari implementasi sistem ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adhiem, M. A., Permana, S. H., & Faturahman, B. M. (2021). *Pembangkit Listrik Tenaga Surya bagi Pembangunan Berkelanjutan*. Publica Indonesia Utama.

Adistia, N. A., Nurdiansyah, R. A., Fariko, J., & Simatupang, J. W. (2020). *Potensi energi panas bumi, angin, dan biomassa menjadi energi listrik di Indonesia*.

Agung, A. I. (2013). Potensi sumber energi alternatif dalam mendukung kelistrikan nasional. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, *2*(2), 892–897.

Aziz, M., Marcellino, Y., Rizki, I. A., Ikhwanuddin, S. A., & Simatupang, J. W. (2020). *Studi analisis perkembangan teknologi dan dukungan pemerintah Indonesia terkait mobil listrik*.

Darmakusumah, A., & Bangsa, I. A. (2023). Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Rooftop Pada Gedung Water Intake PT Pembangkit Jawa Bali Unit Muara Karang. *Aisyah Journal Of Informatics and Electrical Engineering (AJIEE)*, *5*(2), 182–190.

Dwisari, V., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Pemanfaatan energi matahari: masa depan energi terbarukan. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, *7*(2), 376–384.

Ezwarsyah, A., & Bintoro, A. (2022). Analisa Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Tegangan Panel Surya Jenis Mono Chrystalline Kapasitas Daya 50 WP. *Jurnal Energi Elektrik*, *11*(1), 22–25.

Farizal, M., Sembiring, R. J., Loi, R. Y., Sihombing, F., & Tharo, Z. (2024). Analisis Pemasangan Solar Panel Pada Mesin Perontok Padi. *Journal of Telecommunication and Electrical Scientific*, *1*(01), 26–31.

Harianto, B., & Karjadi, M. (2024). Pengembangan Turbin Angin Skala Kecil untuk Energi Terbarukan untuk Daerah Terpencil. *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, *7*(1), 468–476.

Haryanto, T. (2021). Perancangan energi terbarukan solar panel untuk essential load dengan sistem switch. *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, *10*(1), 41–50.

Hernowo, S. (2020). Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal Sederhana dengan Panjang Sudu 1 Meter. *Jurnal Voering*, *5*(1), 15–21.

Julisman, A., Sara, I. D., & Siregar, R. H. (2017). Prototipe Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Otomasi Stadion Bola. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, Dan Elektro*, *2*(1).

Kadir, E. A., Syukur, A., Rosa, S. L., & Ramdani, W. S. (2021). Bantuan dan Instalasi Listrik Tenaga Surya Untuk Mesjid An-Nur Kecamatan Kuala Kampar, Pelalawan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Dan Penerapan Ilmu Pengetahuan*, *2*(2), 1–7.

Mufida, S., Timur, F. G. C., & Waluyo, S. D. (2020). Strategi pemerintah Indonesia dalam menangani wabah covid-19 dari perspektif ekonomi. *INDEPENDEN: Jurnal Politik Indonesia Dan Global*, *1*(2), 121–130.

Naufal, M. H. (2021). *Analisis Pengaruh Jumlah Pelanggan, Pendapatan, dan Harga Listrik Terhadap Konsumsi Listrik di Indonesia Tahun 1990-2020*. Universitas Brawijaya.

Noor, M. A., & Saputra, P. M. A. (2020). Emisi Karbon dan Produk Domestik Bruto: Investigasi Hipotesis Environmental Kuznets Curve (EKC) pada Negara

Berpendapatan Menengah di Kawasan ASEAN. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, *8*(3), 230–246.

Panulisan, B. S., Suzanti, W., Handayani, Y. S., Permana, B. R. S., Khaerudin, D., Rini, A. S., & Rahmatullah, A. (2023). Kelayakan Potensi Sumber Daya Energi Terbarukan Sebagai Solusi Keterbatasan Daya Listrik Di Pedesaan Dengan Metode Sel Surya. *Indonesian Journal of Thousand Literacies*, *1*(3), 279–288.

Rahmah, N. (n.d.). *PERKEMBANGAN TEKNOLOGI DAN REKAYASA FARMASI PADA ERA REVOLUSI INDUSTRI 4.0*.

Saina, A. R., & Prananda, R. P. (2024). *Perancangan Sistem Tracking Otomatis pada Panel Surya untuk Mengoptimalkan Daya Keluaran*. Universitas Islam Indonesia.

Soleh, A. M., Callista, A. B., & Alamsyah, M. (2024). Pelatihan Instalasi Panel Surya bagi Masyarakat di Sekitar Politeknik Penerbangan Palembang. *Darmabakti: Jurnal Inovasi Pengabdian Dalam Penerbangan*, *5*(1), 54–60.

Syahputra, I., & Rahmat, M. (2024). Optimalisasi Penggunaan Energi Terbarukan dalam Sistem Pembangkit Listrik Hibrida untuk Komunitas Pedesaan. *Jurnal Kolaborasi Sains Dan Ilmu Terapan*, *3*(1), 17–20.

Tangkudung, A. G. (2024). Jejak Sejarah Mobil Listrik di Indonesia: Perkembangan dan Tantangan. *Syntax Idea*, *6*(9), 6087–6096.

Utamidewi, D. (2023). *Optimasi Pembangkit Hibrida (PV, Baterai, dan Generator) pada Daerah Off-Grid dengan Pendekatan Multi Objective Optimization*. Universitas Hasanuddin.

Utari, R. F. (2024). Pengelompokan Data Pendistribusian Listrik Menggunakan Algoritma Mean Shift. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, *4*(3), 1017–1025.

Wardhana, A. S., Ferdiansyah, M., & Kholifah, S. (2025). Desain dan Prototipe Integrasi IoT dalam Pertanian Hidroponik Cerdas Berbasis Energi Terbarukan. *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika Dan Komunikasi*, *6*(1), 105–114.

Wibowo, K. (2024). Kontribusi Pembangkit Listrik Energi Terbarukan dalam Mengurangi Emisi Karbon. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, *4*(6), 5140–5153.