PERAN ELEKTRONIKA DAYA DALAM MERANCANG ENERGI TERBARUKAN DARI BAHAN ALAM DI PAPUA

Dames Kagoya[1], Jherry Gombo[2], Frenos Tabuni[3], Ako Gwijangge[4], Yane Oktovina Ansanay[5], Hardi Hamzah[6*], Muhammad Nurkhalis Agriawan[7]
[1,2,3,4]Teknik Sistem Energi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Internasional Papua
[5]Teknik Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Cenderawasih
[6]Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Cenderawasih
[7]Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sulawesi Barat
[1]Email : hardihamzah88@gmail.com*
(Received: Juli 2024 / Revised: Agustus 2024 / Accepted : Agustus 2024)

ABSTRAK

Penelitian ini mengeksplorasi peran penting elektronika daya dalam desain dan implementasi sistem energi terbarukan dari bahan alami di wilayah Papua, Indonesia. Penelitian ini memberikan latar belakang komprehensif mengenai tantangan energi yang dihadapi masyarakat pedesaan di Papua, diikuti dengan tinjauan literatur menyeluruh mengenai kemajuan terkini dalam elektronika daya untuk penerapan energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peranan elektrtonika daya dalam merancang sumber energi terbarukan dari beberapa sumber literatur yang telah dikaji. Studi ini menyelidiki kesesuaian dan kinerja konverter elektronika daya dan strategi pengendalian dalam memanfaatkan energi dari sumber daya alam lokal, seperti biomassa, tenaga air, dan fotovoltaik surya. Temuan ini menunjukkan dampak signifikan elektronika daya dalam mengoptimalkan efisiensi, keandalan, dan integrasi sistem energi terbarukan, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap pembangunan berkelanjutan di komunitas off-grid dan terpencil di Papua. Artikel ini diakhiri dengan rekomendasi untuk penelitian di masa depan dan inisiatif kebijakan untuk lebih memanfaatkan potensi elektronika daya dalam merancang dan menerapkan solusi energi terbarukan yang disesuaikan dengan kebutuhan dan sumber daya unik di wilayah Papua.
Kata Kunci: *elektronika daya, energi terbarukan, bahan alam Papua.*

1. PENDAHULUAN

Energi terbarukan juga dikenal sebagai "sumber energi alternatif"dihasilkan dari sumber energi terbarukan seperti angin, matahari, tenaga air, panas bumi, biomassa, dan energi panas bumi [1–4]. Pada awal abad kedua puluh satu, jumlah energi yang dapat digunakan dari bahan bakar fosil (gas, minyak, batu bara, gas alam, dan tenaga nuklir) dan sumber energi terbarukan, seperti angin dan surya, masih belum mencapai tingkat pengembangan yang cukup untuk Karena sumber daya bahan bakar fosil terbatas saat ini, orang mulai bergantung pada energi terbarukan. Sebagian besar prediksi menunjukkan bahwa cadangan minyak tidak akan cukup untuk memenuhi permintaan global hingga pertengahan abad ke-21 [5–7]. Ini adalah paradoks karena selama dua abad yang lalu, semua energi adalah terbarukan dan berkelanjutan. Orang-orang menggunakan angin untuk menggerakkan kapal laut dan mengangkut orang dan barang, dan air untuk menggerakkan mesin seperti kincir air. Setelah revolusi industri pertama, penggunaan bahan bakar fosil meningkat, menyebabkan polusi besar-besaran, mendorong pergeseran ke energi terbarukan, pembangunan berkelanjutan, dan digitalisasi sektor.



Gambar 1. Perkembangan sektor energi sebelum dan sesudah Revolusi Industri pertama hingga keempat

Wilayah Papua, Indonesia yang terpencil dan beragam secara geografis, menghadapi tantangan energi yang besar, dimana banyak masyarakat pedesaan bergantung pada generator berbasis bahan bakar fosil yang mahal dan menimbulkan polusi untuk kebutuhan energi mereka. Ketergantungan pada sumber energi tradisional tidak hanya berkontribusi pada peningkatan degradasi lingkungan tetapi juga menghambat perkembangan sosial ekonomi masyarakat tersebut. Dalam beberapa tahun terakhir, terdapat peningkatan minat untuk memanfaatkan sumber daya alam melimpah yang tersedia di Papua, seperti biomassa, tenaga air, dan energi surya, untuk merancang sistem energi terbarukan yang berkelanjutan dan terdesentralisasi.

Namun, keberhasilan integrasi sumber energi terbarukan ini ke dalam sistem tenaga listrik yang praktis dan andal memerlukan penerapan teknologi elektronika daya yang canggih. Elektronika daya memainkan peran penting dalam mengubah, mengendalikan, dan mengkondisikan energi variabel dan intermiten yang dihasilkan dari sumber terbarukan untuk memenuhi kebutuhan beban listrik spesifik masyarakat pedesaan.

Kemajuan dalam perangkat elektronika daya, strategi pengendalian, dan integrasi sistem berpotensi membuka potensi besar energi terbarukan di Papua, sehingga membuka jalan bagi masa depan energi yang berkelanjutan dan berkeadilan [8].

Sektor ketenagalistrikan di Papua, seperti halnya di banyak negara lainnya, mengalami peningkatan kebutuhan energi listrik. Komitmen untuk melakukan dekarbonisasi perekonomian dan mengatasi pemanasan global telah menyebabkan lonjakan konsumsi listrik di seluruh dunia. Oleh karena itu, perlu adanya eksplorasi sumber energi terbarukan dan potensinya dalam memenuhi kebutuhan listrik yang semakin meningkat. Elektronika daya, dengan kemampuannya untuk mengubah dan mengkondisikan daya listrik secara efisien, memainkan peran penting dalam pembangunan berkelanjutan di sektor tenaga listrik [9].

2. METODE PENELITIAN

Tinjauan literatur yang komprehensif telah dilakukan, dengan fokus pada kemajuan terkini dan arah masa depan dalam energi terbarukan dan elektronika daya. Tinjauan tersebut mencakup artikel penelitian asli, ulasan, studi kasus, analisis teoritis, studi eksperimental, pemodelan komputasi, dan analisis tekno-ekonomi dan kebijakan. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi bidang-bidang utama yang memerlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi sistem energi terbarukan. Dengan mengintegrasikan temuan dari tinjauan literatur tim peneliti mengembangkan pemahaman komprehensif tentang peran elektronika daya dalam merancang solusi energi terbarukan yang disesuaikan dengan konteks unik Papua [10] [11] [12].

Penelitian menyajikan hasil penelusuran mengenai elektronika daya dan sumber energi terbarukan. Literature review dilakukan dengan fokus pada artikel original yang memuat abstrak, pendahuluan, metode, dan hasil. Desain penelitian berupa review terhadap artikel dalam kurun waktu 2013-2024.

3. HASIL dan PEMBAHASAN

Pentingnya elektronika daya dalam perancangan dan implementasi sistem energi terbarukan telah terdokumentasi dengan baik dalam literatur yang ada[13]. Para peneliti telah menyoroti peran penting konverter elektronika daya dalam memanfaatkan energi dari berbagai sumber terbarukan secara efektif. seperti angin dan matahari, dan mengintegrasikannya ke dalam jaringan listrik atau sistem off-grid [14].

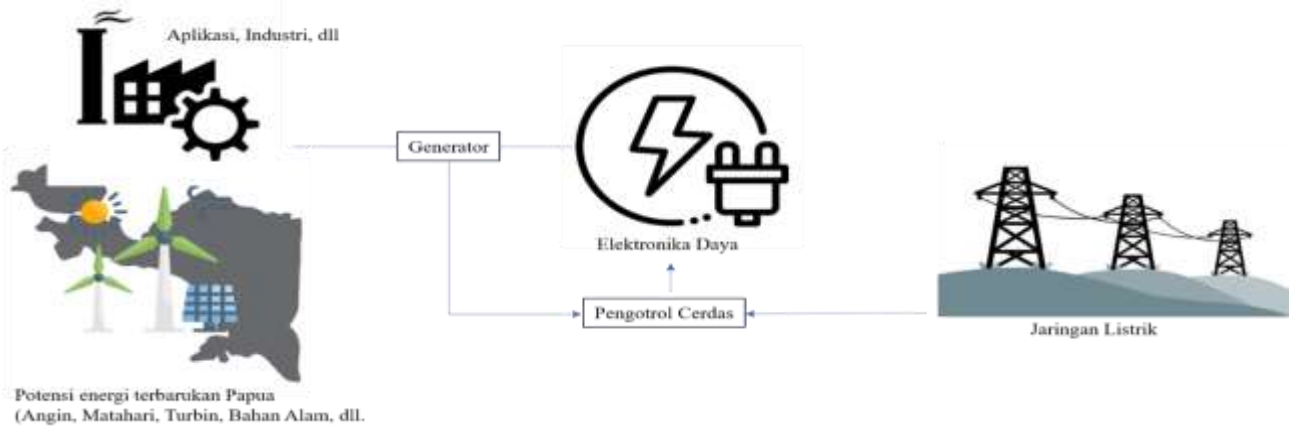
Sebuah studi mengeksplorasi potensi pembangkit listrik tenaga surya-angin-diesel hibrida untuk pulau-pulau kecil di Provinsi Maluku, yang memiliki kesamaan geografis dengan wilayah Papua. Para peneliti melakukan analisis tekno-ekonomi untuk merancang sistem hibrida yang optimal, menekankan penggunaan konverter elektronik daya untuk mengintegrasikan sumber energi terbarukan dengan generator diesel yang ada. Temuannya menunjukkan bahwa sistem hibrida dapat mengurangi biaya hingga 20% dan secara signifikan mengurangi emisi gas rumah kaca dibandingkan dengan sistem yang hanya menggunakan bahan bakar diesel [15].

Studi lain berfokus pada kelayakan elektrifikasi off-grid untuk daerah terpencil, yang merupakan permasalahan mendesak di Papua. Para penulis membahas pentingnya komponen elektronika daya, seperti inverter dan pengontrol muatan, dalam merancang sistem energi terbarukan hibrida yang andal dan efisien yang dapat memenuhi permintaan listrik di masyarakat pedesaan [16].

Meningkatnya permintaan akan solusi energi berkelanjutan telah menyebabkan peningkatan fokus pada peran elektronika daya dalam memanfaatkan sumber energi terbarukan [14]. Dalam konteks Papua, dimana terdapat kekayaan sumber daya alam, teknologi elektronika daya dapat memainkan peran penting dalam perancangan dan implementasi sistem energi terbarukan. Elektronika daya, yang merupakan teknologi utama dalam sistem energi terbarukan, telah mengalami kemajuan signifikan dalam beberapa tahun terakhir [8]. Integrasi elektronika daya dengan sumber energi terbarukan, seperti angin dan matahari, telah mengubah lanskap pembangkitan listrik. Konverter daya, inti dari konversi energi dari sumber daya energi terbarukan menjadi listrik, kini menjadi lebih terkendali dan fleksibel, sehingga memberikan peluang lebih besar untuk menghasilkan energi yang efisien dan andal [10].

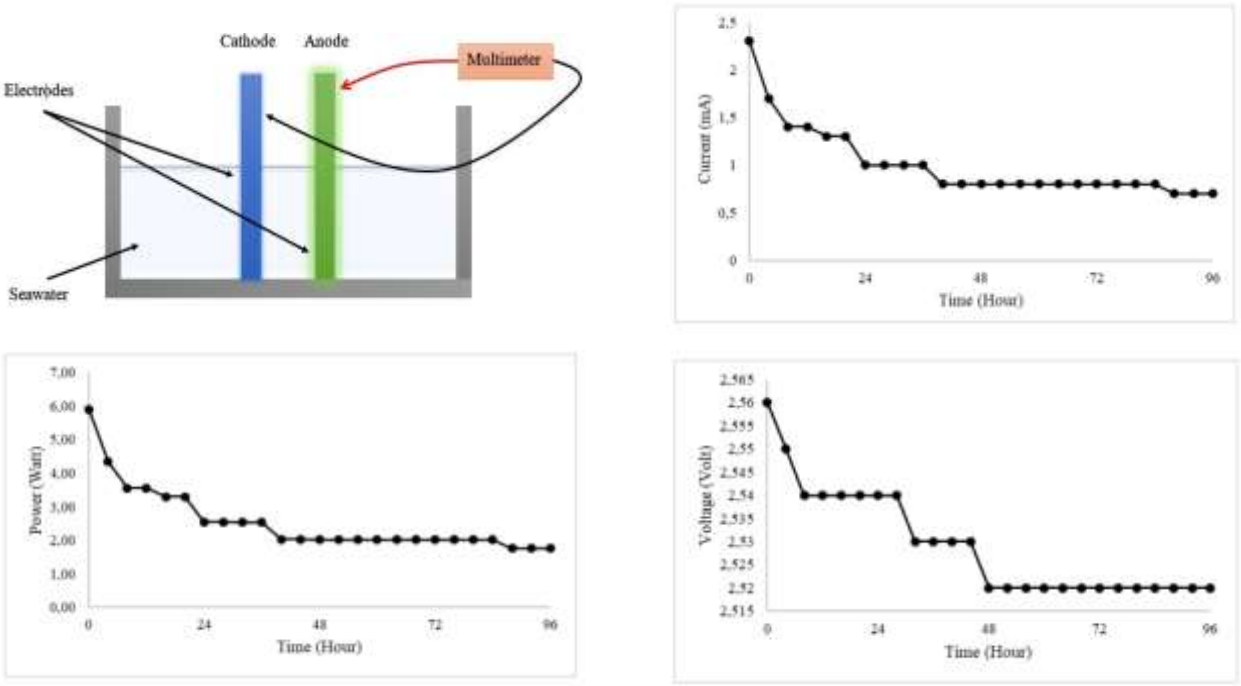
Sebagaimana disebutkan dalam literatur, penerapan elektronika daya dalam skala besar untuk sumber daya energi terbarukan telah menimbulkan tantangan baru, seperti stabilitas jaringan listrik dan pertimbangan pemodelan [8][17]. Namun, kemajuan dalam perangkat semikonduktor daya juga memungkinkan desain konverter daya yang lebih cerdas,

hemat biaya, dan efisien [17]. Dalam kasus Papua, sumber daya alam yang melimpah, termasuk biomassa, tenaga air, dan energi panas bumi, memberikan peluang bagi penerapan sistem energi terbarukan. Elektronika daya dapat memainkan peran penting dalam memanfaatkan sumber daya ini, memastikan konversi energi yang optimal dan integrasi jaringan listrik. Dengan memanfaatkan keunggulan elektronika daya, seperti peningkatan pengendalian dan fleksibilitas, sistem energi terbarukan di Papua dapat dirancang agar lebih tangguh, efisien, dan responsif terhadap tantangan unik lingkungan dan infrastruktur yang dihadapi di wilayah tersebut. Selain itu, kondisi lingkungan yang buruk di Papua menimbulkan tantangan tambahan bagi keandalan dan kinerja komponen elektronika daya. Mengatasi tantangan-tantangan ini melalui desain inovatif dan strategi pengendalian akan sangat penting bagi keberhasilan penerapan sistem energi terbarukan di wilayah ini.



Gambar 2. Teknologi elektronika daya modern dan teknik kontrol cerdas untuk sumber dan beban energi terbarukan.

Potensi air laut Papua juga dapat dioptimalkan sebagai baterai. Penelitian yang telah dilakukan oleh Hamzah, dkk [18] memanfaatkan air laut sebagai sumber energi alternatif. Alat yang dikembangkan pada penelitian ini menggunakan dua buah elektroda (Zn dan Cu) ditempatkan secara vertikal dalam suatu wadah kemudian diisi air laut. Kedua elektroda tersebut dihubungkan secara seri sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang tinggi untuk menyalakan LED. Setelah dilakukan pengukuran awal, tegangan keluaran yang dihasilkan adalah 5V dan dapat menyalakan LED dengan cahaya yang cukup terang. Dalam pengukuran periodik selama 96 jam dengan pengambilan data setiap 4 jam maka tegangan, arus, dan daya tidak berkurang secara signifikan, sehingga lampu air laut ini cocok untuk masyarakat pesisir dan nelayan digunakan sebagai penerangan saat melaut pada malam hari. Kombinasi seri dan paralel dan penambahan rangkaian elektronika penguat daya dikembangkan untuk mencapai nilai tegangan dan daya yang lebih tinggi serta memperoleh cahaya yang lebih terang. Hasil penelitian ini dapat menjadi sumber energi alternatif dan terbarukan di Papua.



Gambar 3. Hasil penelitian potensi air laut sebagai baterai energi terbarukan

Selain pemanfaatan air laut sebagai baterai, penggunaan pasta almond tropis dengan penambahan asam asetat dapat digunakan sebagai bahan dasar biobaterai [19]. Penelitian ini menggunakan metode sel galvani, dimana menggunakan dua elektroda (Cu dan Zn) yang disimpan dalam wadah 600 cm^3. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan kinerja daya yang signifikan, dari 0,25 mW tanpa asam apa pun menjadi 1,62 mW dengan penambahan asam. Biobaterai dari pasta almond tropis yang ditambah asam asetat 20% mempunyai kinerja terbaik. Berdasarkan hasil karakterisasi perangkat ini memiliki tegangan sel terbuka sebesar 0,93 V, dan kurva daya menunjukkan nilai puncak sebesar 1,62 mW pada arus 3,29 mA, dengan arus stabil yang bertahan hingga 200 jam.

Penelitian selanjutnya adalah prototipe bio-baterai dari pasta almond tropis [20]. Karakterisasi perangkat ini menghasilkan tegangan sel terbuka rata-rata sebesar 0,98 ± 0,09 V, dan kurva daya menunjukkan nilai puncak 0,25 mW dengan arus stabil bertahan hingga 2 hari selama diamati saat perangkat dihubungkan dengan beban 100W. perangkat ini mungkin cocok untuk diterapkan di masyarakat pedesaan.

Kesimpulannya, peran elektronika daya dalam merancang energi terbarukan dari sumber daya alam di Papua memiliki banyak aspek. Teknologi elektronika daya dapat memungkinkan konversi dan integrasi sumber energi terbarukan secara efisien, sekaligus mengatasi tantangan unik yang dihadapi di wilayah tersebut. Selain itu, Artikel ilmiah tinjauan mengenai konverter elektronika daya untuk sumber energi terbarukan menyoroti perlunya modul elektronika daya yang sesuai untuk mengoptimalkan pemanfaatan dan investasi dalam sistem energi terbarukan hibrid. Hasil penelitian ini mengeksplorasi berbagai topologi konverter daya, strategi pengendalian, dan persyaratan teknis, yang memberikan wawasan berharga untuk desain dan implementasi sistem energi terbarukan di Papua.

Studi-studi ini menekankan peran penting elektronika daya dalam memanfaatkan dan mengintegrasikan sumber daya energi terbarukan, yang sangat relevan dengan tantangan energi yang dihadapi di wilayah terpencil dan kaya sumber daya di Papua [21-23].

Temuan penelitian ini menunjukkan peran penting elektronika daya dalam memungkinkan adopsi teknologi energi terbarukan secara luas di wilayah terpencil dan kaya sumber daya di Papua, Indonesia. Konverter elektronika daya, seperti inverter, penyearah, dan konverter DC-DC, memainkan peran penting dalam memanfaatkan energi dari berbagai sumber terbarukan secara efektif, termasuk biomassa, tenaga air, dan fotovoltaik surya, dan mengintegrasikannya ke dalam sistem tenaga listrik yang andal dan efisien.

Analisis tekno-ekonomi mengungkapkan bahwa penerapan strategis komponen elektronika daya dapat meningkatkan kinerja, efisiensi, dan efektivitas biaya sistem energi terbarukan di Papua secara signifikan. Misalnya, penggunaan strategi kontrol elektronika daya yang canggih dapat meningkatkan hasil energi dan integrasi jaringan sistem PV surya, sementara inverter pembentuk jaringan dan pengikut jaringan listrik berbasis elektronik dapat memfasilitasi integrasi sumber energi terbarukan ke dalam atau di luar jaringan mikro. -sistem jaringan.

Hasil simulasi dan pemodelan lebih jauh menyoroti potensi sistem energi terbarukan hibrida, yang menggabungkan antarmuka elektronik daya, untuk memenuhi beragam kebutuhan energi masyarakat terpencil di Papua. Sistem ini dapat memanfaatkan sifat saling melengkapi dari berbagai sumber daya terbarukan, seperti tenaga air dan tenaga surya, untuk menyediakan pasokan listrik yang andal dan berkelanjutan, bahkan di wilayah dengan infrastruktur jaringan listrik yang terbatas.

Observasi lapangan dan studi kasus yang dilakukan di Papua mengungkap tantangan dan pertimbangan unik ketika merancang solusi energi terbarukan berbasis elektronika daya untuk wilayah tersebut. Hal ini mencakup kebutuhan akan komponen elektronika daya yang kuat dan tahan cuaca, pentingnya mempertimbangkan material lokal dan kemampuan manufaktur, serta perlunya penerapan program peningkatan kapasitas yang komprehensif untuk memastikan pengoperasian dan pemeliharaan sistem ini dalam jangka panjang.

4. KESIMPULAN

Kesimpulannya, temuan penelitian ini menekankan peran penting elektronika daya dalam merancang dan menerapkan sistem energi terbarukan dari bahan alami di wilayah terpencil dan kaya sumber daya di Papua, Indonesia. Konverter daya elektronik dan strategi pengendalian memungkinkan integrasi yang efisien dari berbagai sumber energi terbarukan, seperti biomassa, tenaga air, dan fotovoltaik surya, ke dalam sistem tenaga listrik yang handal dan hemat biaya yang disesuaikan dengan tantangan energi unik yang dihadapi masyarakat lokal.

Analisis tekno-ekonomi, simulasi, dan observasi lapangan secara kolektif menunjukkan potensi signifikan dari solusi energi terbarukan berbasis elektronika daya untuk mencapai tujuan akses energi dan keberlanjutan di Papua. Untuk mewujudkan potensi ini, sangatlah penting untuk terus berinvestasi dalam penelitian dan pengembangan, serta membina kolaborasi antara akademisi, industri, dan pemangku kepentingan lokal, untuk lebih mengoptimalkan dan menerapkan sistem energi terbarukan berbasis elektronika daya yang selaras dengan kebutuhan spesifik dan sumber daya wilayah Papua.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Kano ˘glu, M.; Çengel, Y.A.; Cimbala, J.M. Fundamentals and Applications of Renewable Energy; McGraw-Hill Education: New York, NY, USA, 2020.

2. Lisin, E.; Shuvalova, D.; Volkova, I.; Strielkowski, W. Sustainable Development of regional power systems and the consumption of electric energy. Sustainability 2018, 10, 1111. [CrossRef]
3. Tishkov, S.; Shcherbak, A.; Karginova-Gubinova, V.; Volkov, A.; Tleppayev, A.; Pakhomova, A. Assessment the role of renewable energy in socio-economic development of rural and Arctic regions. Entrep. Sustain. Issues 2020, 7, 3354–3368. [CrossRef]
4. Andryeyeva, N.; Nikishyna, O.; Burkynskyi, B.; Khumarova, N.; Laiko, O.; Tiutiunnyk, H. Methodology of analysis of the influence of the economic policy of the state on the environment. Insights Reg. Dev. 2021, 3, 198–212. [CrossRef]
5. Ucal, M.; Xydis, G. Multidirectional relationship between energy resources, climate changes and sustainable development: Technoeconomic analysis. Sustain. Cities Soc. 2020, 60, 102210. [CrossRef]
6. Nasr, A.K.; Kashan, M.K.; Maleki, A.; Jafari, N.; Hashemi, H. Assessment of barriers to renewable energy development using stakeholders approach. Entrep. Sustain. Issues 2020, 7, 2526–2541. [CrossRef]
7. Aghahosseini, A.; Breyer, C. Assessment of geological resource potential for compressed air energy storage in global electricity supply. Energy Convers. Manag. 2018, 169, 161–173. [CrossRef]
8. Blaabjerg, F., Yang, Y., & Ma, K. (2013, October 1). Power electronics - Key technology for renewable energy systems - Status and future. https://doi.org/10.1109/epecs.2013.6712980
9. Strielkowski,W.; Civín, L.; Tarkhanova, E.; Tvaronavi˘cien ˙ e, M.; Petrenko, Y. Renewable Energy in the Sustainable Development of Electrical Power Sector: A Review. Energies **2021**, 14, 8240. https://doi.org/10.3390/en14248240
10. Salomez, F.; Helbling, H.; Almanza, M.; Soupremanien, U.; Viné, G.; Voldoire, A.; Allard, B.; Ben-Ahmed, H.; Chatroux, D.; Cizeron, A.; et al. State of the Art of Research towards Sustainable Power Electronics. Sustainability **2024**, 16, 2221. https://doi.org/10.3390/su16052221
11. Fang, L.; Turkbay Romano, T.; Rio, M.; Melot, J.; Crebier, J.-C. Enhancing Sustainability in Power Electronics through Regulations and Standards: A Literature Review. Sustainability **2024**, 16, 1042. https://doi.org/10.3390/su16031042
12. Kolosok, S.; Bilan, Y.; Vasylieva, T.;Wojciechowski, A.; Morawski, M. A Scoping Review of Renewable Energy, Sustainability and the Environment. Energies **2021**, 14,4490. https://doi.org/10.3390/en14154490
13. Apriliyanto, W., Wijaya, F D., & Firmansyah, E. (2016, October 1). Performance of microgrid with photovoltaic, synchronous generator and induction generator power sources. https://doi.org/10.1109/iciteed.2016.7863278
14. Chy, D K., & Khaliluzzaman, M. (2018, July 1). The Significance of Power Electronics Components on Sustainable Energy Sources. https://doi.org/10.1109/icccnt.2018.8494162
15. Pelupessy, D., & Manuhutu, F. (2019, October 1). Hybrid solar-wind-diesel power plant for small islands in Maluku Province. IOP Publishing, 339(1), 012046-012046. https://doi.org/10.1088/1755-1315/339/1/012046
16. Sinha, A., Ranjan, R., Gupta, A K., & Jain, V K. (2020, December 4). Techno-Economic Feasibility Analysis of Off-Grid Electrification for Remote Areas: A Review. https://doi.org/10.1109/smart50582.2020.9337112
17. Blaabjerg, F., Yang, Y., Kim, K A., & Rodríguez, J. (2023, April 1). Power Electronics Technology for Large-Scale Renewable Energy Generation. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 111(4), 335-355. https://doi.org/10.1109/jproc.2023.3253165
18. Kadir, M. R., Arsyad, N. A., Alaydrus, S. N., Puspita, W., Sahrul, S., Agriawan, M. N., & Hamzah, H. (2023). Seawater Lamp: Utilization of Seawater as an Alternative Energy Source to Generate Electricity. *Indonesian Review of Physics*, *6*(1), 17-23.
19. Rumbino, G., Maniambo, L., Soll, M., Dirgantari, G., & Togibasa, O. (2023). Performance Enhancement of Biobattery from Tropical Almond Paste Using Acetic Acid Addition. *INDONESIAN JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*, *13*(1), 99-105.
20. Togibasa, O., Haryati, E., Dahlan, K., Ansanay, Y., Siregar, T., & Liling, M. N. (2019, April). Characterization of bio-battery from tropical almond paste. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1204, No. 1, p. 012036). IOP Publishing.
21. Langer, J.; Quist, J.; Blok, K. Review of Renewable Energy Potentials in Indonesia and Their Contribution to a 100% Renewable Electricity System. Energies **2021**, 14,7033. https://doi.org/10.3390/en14217033
22. Ang, T. Z., Salem, M., Kamarol, M., Das, H. S., Nazari, M. A., & Prabaharan, N. (2022). A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*, *43*, 100939.
23. Souza Junior, M.E.T.; Freitas, L.C.G. Power Electronics for Modern Sustainable Power Systems: Distributed Generation, Microgrids and Smart Grids—A Review. Sustainability **2022**, 14, 3597. https://doi.org/10.3390/su14063597