

Dampak Pemasangan PLTS pada Sistem Distribusi terhadap Kualitas Tegangan dan Rugi – Rugi Daya (Studi Kasus Penyulang Nila 111 Bus)

Awansah¹, Muhammad Fikri², Fahrur Riza Priyana³, Rizkima Akbar Setiawan⁴, dan M. Nur Khawarizmi⁵
^{1,2,3,4,5} Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung
Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung, Lampung 35141
e-mail: awansahmt@gmail.com

Abstrak— Transisi energi menuju sumber yang lebih bersih menjadi prioritas seluruh dunia termasuk Indonesia untuk mengurangi dampak negatif ketergantungan pada bahan bakar fosil. Salah satu langkah signifikannya yaitu dengan penggunaan energi baru terbarukan (EBT) berupa Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), khususnya pada sistem distribusi listrik. Studi ini menganalisis pengaruh pemasangan PLTS terhadap kualitas tegangan dan rugi-rugi daya aktif pada jaringan distribusi. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Matlab dengan metode Newton Raphson pada dua kasus sistem distribusi: IEEE 33 bus dan penyulang Nila 111 bus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan PLTS meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya aktif. Pada sistem IEEE 33 bus, pemasangan PLTS sebesar 500 kWp di bus kritis meningkatkan tegangan minimum dari 0,903 pu menjadi 0,924 pu dan mengurangi rugi-rugi daya aktif sebesar 25,94%. Sementara itu, pada penyulang Nila 111 bus, pemasangan dua unit PLTS sebesar 500 kWp masing-masing di bus kritis meningkatkan tegangan minimum hingga 0,9 pu dan mengurangi rugi-rugi daya aktif sebesar 33,33%. Penelitian ini menegaskan potensi PLTS sebagai solusi EBT yang efektif dalam meningkatkan efisiensi sistem distribusi listrik dan mendukung target energi berkelanjutan di Indonesia.

Kata kunci: *Distribusi, EBT, PLTS, Tegangan, Rugi–rugi Daya*

Abstract—The global transition toward cleaner energy sources has become a priority, including in Indonesia, to mitigate the negative impacts of dependency on fossil fuels. One significant step is the utilization of renewable energy sources such as solar power plants (PLTS), particularly within the electricity distribution system. This study analyzes the impact of PLTS installation on voltage quality and active power losses in distribution networks. Simulations were conducted using Matlab software and the Newton-Raphson method in two case studies: the IEEE 33-bus system and the Nila feeder 111-bus system. The results show that PLTS installation improves voltage profiles and reduces active power losses. In the IEEE 33-bus system, installing a 500 kW PLTS at critical buses increased the minimum voltage from 0.903 pu to 0.924 pu and reduced active power losses by 25.94%. Meanwhile, in the Nila feeder 111-bus system, installing two 500 kW PLTS units at critical buses increased the minimum voltage to 0.9 pu and reduced active power losses by 33.33%. This research underscores the potential of PLTS as an effective RES solution to improve the efficiency of electricity distribution systems and support Indonesia's sustainable energy goals.

Keyword: *Distribution, Losses, PLTS, Renewable Energy, Voltage*

I. PENDAHULUAN

Transisi ke sumber energi yang lebih ramah lingkungan serta berkelanjutan adalah topik utama untuk banyak negara, termasuk salah satunya Indonesia. Ketergantungan yang tinggi pada bahan bakar fosil seperti minyak dan batubara memiliki dampak yang buruk pada lingkungan dan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap gas rumah kaca. Energi baru terbarukan (EBT) telah banyak dikembangkan sebagai solusi untuk sistem energi yang lebih ramah lingkungan [1]. Menurut Rencana Energi Umum Nasional Indonesia (RUEN), pemerintah Indonesia bertujuan untuk menggunakan energi baru terbarukan (EBT) menjadi 21% pada tahun 2030. Salah satu untuk mendukung dari tujuan ini

adalah dengan mengimplementasikan pemasangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dalam sistem distribusi tenaga listrik[2]. Sebagai negara tropis yang memiliki paparan sinar matahari yang cukup selama setahun penuh, Indonesia memiliki potensi besar untuk menggunakan energi matahari sebagai sumber energi nasionalnya [3].

Sistem tenaga listrik umumnya dibagi menjadi tiga komponen utama: sistem pembangkit, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Seiring dengan perkembangan zaman, dengan adanya pertumbuhan populasi, pengembangan industri, pemrosesan produksi dan perkembangan teknologi lainnya dapat meningkatkan kebutuhan akan tenaga listrik. Perkembangan yang cepat ini belum diikuti dengan

pengembangan pembangkit listrik. Pembangkit listrik biasanya jauh dari pusat pemukiman dan industri, biasanya berada di dekat pantai. Hal ini diperlukan karena sumber bahan bakar seperti batu bara biasanya diangkut menggunakan jalur laut. Untuk mencapai pusat perumahan dan industry maka memerlukan sistem transmisi dan distribusi yang sangat panjang.

Masalah utama yang biasanya muncul dari sistem transmisi dan sistem distribusi adalah jatuh tegangan dan rugi - rugi daya. Rugi - rugi daya dapat menyebabkan penyaluran daya yang tidak efisien ke beban. Jatuh tegangan dapat menyebabkan tegangan tidak sesuai dengan tegangan operasi sehingga dapat tidak dapat bekerja peralatan ataupun merusak peralatan listrik konsumen. Oleh karena itu, dibutuhkan upaya untuk mengatasi hal tersebut. Salah satunya dengan memasang sistem pembangkit di dekat pusat beban. Untuk merencanakan pembangkit baru pada sistem, terlebih dahulu harus melakukan analisis aliran daya pada sistem tersebut.

Analisis aliran daya atau load flow analysis digunakan pada sistem transmisi maupun sistem distribusi. Perhitungan ini digunakan untuk menentukan tegangan, daya aktif dan reaktif, rugi - rugi daya serta parameter lainnya pada sistem. Analisis ini diperlukan untuk menentukan kondisi operasi sistem, perencanaan dan penambahan sistem serta gangguan - gangguan yang dapat terjadi pada sistem. Dalam analisis aliran daya, satuan yang digunakan biasanya yaitu per unit (pu). Manfaat dari penggunaan sistem per unit dibandingkan dengan sistem ohmic adalah mempermudah dalam perhitungan. Keuntungan lainnya seperti penggunaan $\sqrt{3}$ dalam perhitungan dapat dikurangi, memudahkan penyelesaian rangkaian dengan banyak transformator, serta komputasi digital menjadi lebih efisien.

Pemasangan PLTS dalam sistem distribusi adalah satu solusi untuk menurunkan rugi - rugi daya serta menaikkan profil tegangan pada sistem. PLTS atau Pembangkit Listrik Tenaga Listrik merupakan sistem pembangkit listrik yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan solar panel [5]. PLTS adalah salah satu sumber energi baru terbarukan (EBT) yang ramah lingkungan dan membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil. Dampaknya dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan dampak lingkungan yang merugikan lainnya.

II. METODE

A. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh parameter yang diperlukan dalam perhitungan aliran daya. Data yang dikumpulkan meliputi:

1. Diagram satu garis dari sistem distribusi yaitu sistem IEEE 33 bus dan Penyulang Nila 111 bus.
2. Jenis kabel yang digunakan pada penyulang Nila. Dengan jenis kabel yang digunakan yaitu AAAC 35 mm², AAAC 70 mm², AAAC 150 mm².
3. Data beban seperti daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) pada masing-masing bus. Data ini menjadi dasar dalam pemodelan sistem dan penentuan lokasi beban serta karakteristik saluran.

B. Pemodelan Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi dimodelkan menjadi dua jenis:

1. Model Bus: Model Bus menjelaskan tentang nomor bus, jenis bus (Slack, PV, atau PQ), serta data beban daya aktif (P) dan reaktif (Q) yang terhubung ke masing-masing bus.

a. Slack bus

Slack atau swing bus, digunakan sebagai referensi di mana besar dan sudut fasa tegangan ditentukan. Bus ini menyesuaikan perbedaan antara besarnya beban dan daya yang dihasilkan akibat rugi-rugi dalam jaringan.

b. Load bus

Load Bus menjelaskan tentang daya aktif dan daya reaktif yang ditentukan. Besar dan sudut fasa tegangan di bus tidak diketahui. Bus ini disebut juga sebagai P-Q bus.

c. Regulated bus

Regulated Bus merupakan generator bus, dikenal sebagai voltage-controlled bus. Pada bus ini, daya aktif dan besar tegangan ditentukan. Sudut fasa tegangan dan daya reaktif perlu dihitung. Batas nilai daya reaktif juga ditentukan. Bus ini disebut sebagai P-V bus.

2. Model Saluran: Model saluran menjelaskan tentang hubungan antar bus, berupa pasangan bus awal dan akhir serta nilai resistansi (R) dan reaktansi (X) dari saluran yang menghubungkan bus satu dengan bus lainnya. Pemodelan ini bertujuan agar jaringan sesuai dengan kondisi sistem distribusi sebenarnya yang digunakan dalam simulasi aliran daya.

C. Analisis Aliran Daya

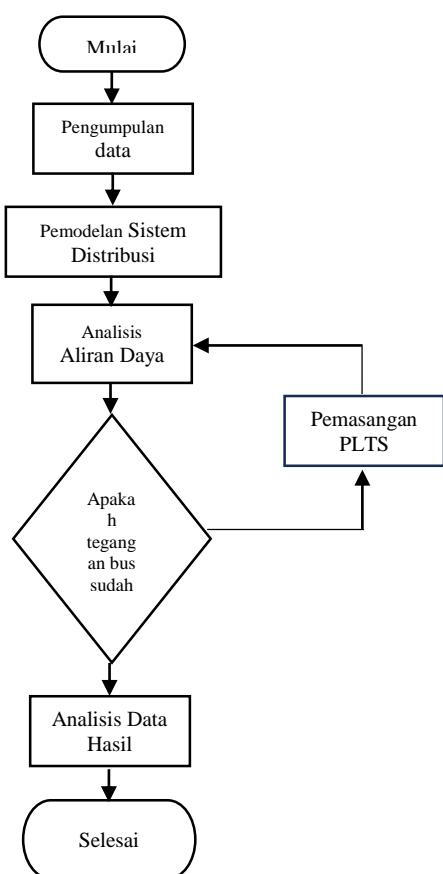
Analisis aliran daya dilakukan menggunakan MATLAB R2023b dengan metode perhitungan aliran daya Newton-Raphson. Sebelum simulasi dilakukan, data yang dikumpulkan diolah dalam format yang sesuai untuk kebutuhan pemrograman dan input simulasi. Metode Newton-Raphson dipilih karena memiliki konvergensi yang cepat dan cocok untuk sistem tenaga listrik seperti jaringan distribusi

D. Penempatan PLTS

Penempatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dirancang dengan menempatkannya pada bus-bus yang mengalami tegangan kritis atau di bawah batas standar. Tujuannya adalah untuk menaikkan profil tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya. Penentuan titik penempatan PLTS ini berdasarkan pada hasil analisis awal aliran daya sebelum PLTS ditempat

E. Analisis Data Hasil Simulasi

Hasil simulasi meliputi Profil tegangan pada tiap bus dan Rugi-rugi daya aktif dalam jaringan. Data hasil simulasi dibandingkan antara kondisi sebelum dan sesudah pemasangan PLTS. Analisis ini digunakan untuk menilai sejauh mana pengaruh PLTS dalam memperbaiki profil tegangan dan efisiensi sistem distribusi melalui pengurangan rugi-rugi daya aktif.

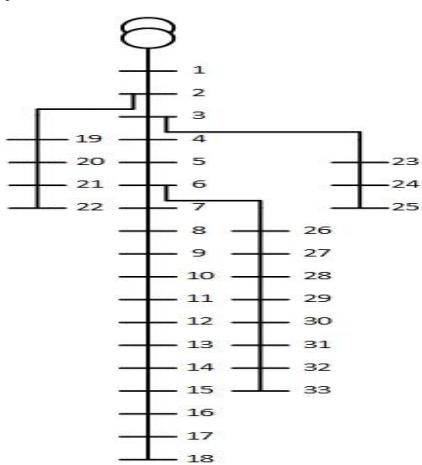


Gambar 1. Flow Chart Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

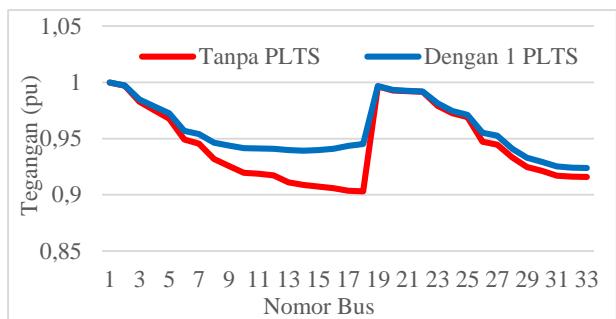
A. Kasus IEEE 33 bus

Percobaan pertama dilakukan pada sistem distribusi IEEE 33 bus. Pada penelitian ini digunakan pemasangan PLTS sebesar 500 kW pada bus 18 untuk memperbaiki tegangan setiap bus dan mengurangi rugi – rugi daya pada system distribusi. Penempatan PLTS pada bus 18 dikarenakan bus terletak di ujung saluran dan merupakan tegangan minimum di saluran setelah dilakukan simulasi awal tanpa penempatan PLTS. Single Line Diagram dari sistem distribusi IEEE 33 bus dapat dilihat pada gambar 2. Berikut hasil yang didapatkan dari hasil simulasional yang diterapkan pada sistem IEEE 33 bus:



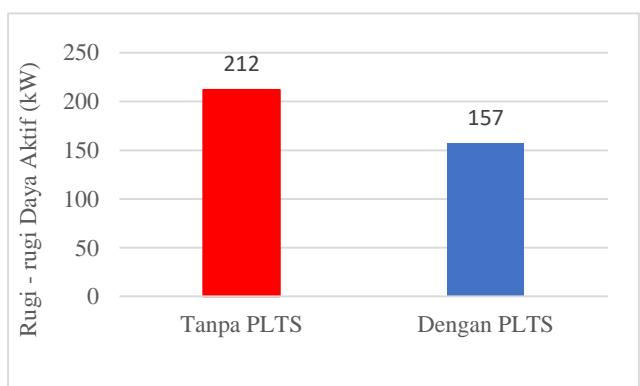
Gambar 2. Single Line Diagram 33 bus

Pada kondisi tanpa penempatan PLTS menunjukkan beban daya aktif dan beban reaktif total masing – masing sebesar 3,715 MW dan 2,295 MVAR dengan rugi – rugi daya aktif total sebesar 212 kW dan tegangan minimum sebesar 0,903 pu di bus 18. Dengan profil tegangan pada masing – masing bus ditunjukkan pada grafik berwarna merah. Dengan penempatan satu PLTS di saluran tepatnya pada bus 18, hasil simulasi menunjukkan rugi – rugi daya aktif total di saluran sebesar 157 kW dan tegangan minimum sebesar 0,924 pu di bus 33. Dengan profil tegangan pada masing – masing bus ditunjukkan pada grafik berwarna biru.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Tegangan Setiap Bus pada 33 bus

Setelah dilakukan analisis terhadap profil tegangan perlu dilakukan analisis terhadap rugi – rugi daya pada saluran karena berdampak pada efisiensi saluran tersebut. Setelah dilakukan simulasi awal dan simulasi dengan penempatan 1 PLTS dihasilkan rugi – rugi daya aktif total tanpa dan dengan pemasangan PLTS pada gambar 4. Pada gambar dapat dilihat bahwa rugi – rugi daya aktif total dengan adanya penempatan satu PLTS lebih kecil dibandingkan dengan simulasi awal atau tanpa PLTS. Dengan rugi – rugi daya aktif total tanpa PLTS sebesar 212 kW sedangkan dengan adanya penempatan satu PLTS sebesar 157 kW. Hal ini menunjukkan bahwa adanya penempatan PLTS di saluran dapat menurunkan rugi – rugi daya aktif sebesar 55 kW atau 25,94% dari tanpa PLTS.

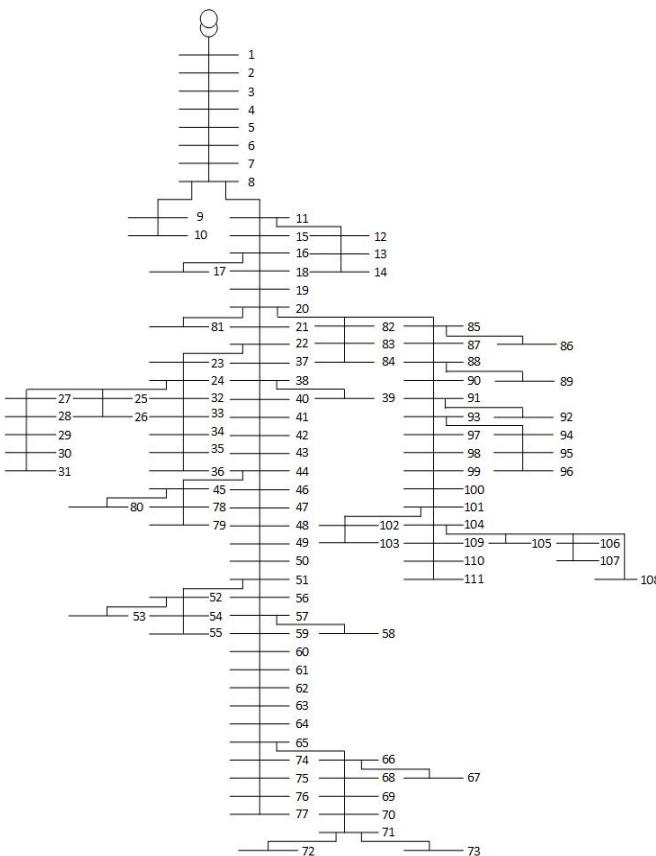


Gambar 4. Grafik Perbandingan rugi-rugi daya pada 33 bus

B. Kasus Penyulang Nila 111 Bus

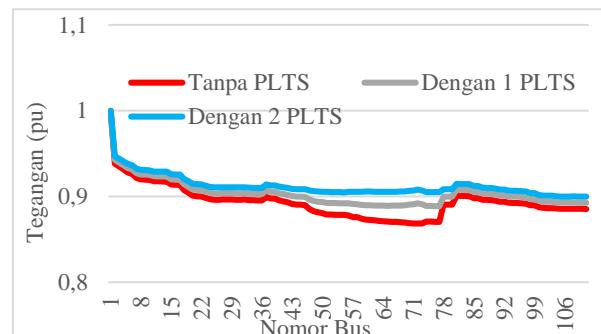
Percobaan kedua dilakukan pada sistem distribusi penyulang Nila dengan 111 bus. Pada percobaan kedua ini digunakan pemasangan PLTS sebesar 500 kW pada bus 72 dan 62 untuk memperbaiki tegangan setiap bus dan mengurangi rugi – rugi daya pada system distribusi. Penempatan PLTS pada bus 72 dan 61 dikarenakan bus terletak di ujung saluran dan merupakan tegangan minimum di saluran.

Pada simulasi awal keadaan tanpa penempatan PLTS didapatkan hasil tegangan yang belum sesuai standar dengan tegangan minimum terletak pada bus 72 sehingga dilakukan penempatan satu PLTS di bus tersebut. Selanjutnya dilakukan simulasi satu PLTS pada bus 72, namun hasil menunjukkan bahwa tegangan saluran masih belum mencapai standar dengan tegangan minimum terletak pada bus 62. Penempatan PLTS dilanjutkan pada bus 62 dengan hasil simulasi semua tegangan bus sudah mencapai standar sehingga penambahan PLTS belum diperlukan. Single Line Diagram dari sistem distribusi penyulang Nila 111 bus dapat dilihat pada gambar 5. Berikut hasil dan analisis yang didapatkan pada simulasi yang diterapkan pada sistem distribusi penyulang Nila dengan 111 bus.



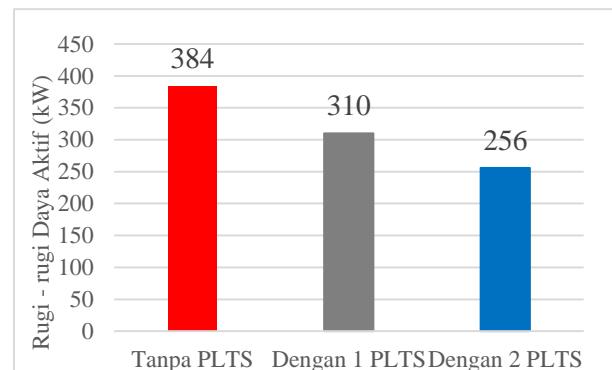
Gambar 5. Single Line Diagram 111 bus

Pada kondisi tanpa pemasangan PLTS, total beban daya aktif dan reaktif masing-masing tercatat sebesar 4.553 kW dan 2.845 kVAR, dengan rugi-rugi daya aktif total sebesar 370 kW dan tegangan minimum mencapai 0,871 pu di bus 72. Dengan penambahan satu unit PLTS pada bus 72 mengurangi rugi-rugi daya aktif total menjadi 310 kW, dengan tegangan minimum meningkat menjadi 0,889 pu di bus 62. Setelah penambahan dua unit PLTS secara bersamaan di bus 72 dan bus 62 mengurangi rugi-rugi daya aktif menjadi 256 kW, dengan tegangan minimum naik menjadi 0,9 pu di bus 111. Tegangan setiap bus dengan masing – masing skenario dapat dilihat pada gambar 6



Gambar 6. Grafik Perbandingan Tegangan Setiap Bus pada 111 bus

Perbandingan total rugi-rugi daya aktif antara kondisi tanpa PLTS dan dengan PLTS ditampilkan pada gambar 7. Pada gambar tersebut terlihat bahwa total rugi-rugi daya aktif dengan pemasangan PLTS lebih kecil dibandingkan tanpa PLTS. Rugi-rugi daya aktif total tanpa PLTS tercatat sebesar 384 kW, dengan satu PLTS sebesar 310 kW, dan dengan dua PLTS sebesar 256 kW. Hal ini menunjukkan bahwa pemasangan dengan satu PLTS mampu mengurangi rugi – rugi daya aktif sebesar 74 kW atau sebesar 19,27%, sedangkan dengan dua PLTS mampu mengurangi rugi-rugi daya aktif sebesar 128kW atau setara dengan penurunan 33,33% dibandingkan kondisi tanpa PLTS.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Tegangan Setiap Bus pada 111 bus

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan pada dua sistem distribusi yaitu sistem IEEE 33 bus dan penyulang Nila 111 bus dapat disimpulkan bahwa penempatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada bus - bus dengan tegangan kritis dapat meningkatkan profil tegangan pada setiap bus dan mengurangi rugi - rugi daya pada saluran sistem distribusi. Pada kasus IEEE 33 bus, tegangan minimum meningkat dari 0,903 pu menjadi 0,924 pu. Sementara pada penyulang Nila 111 bus, tegangan minimum meningkat dari 0,871 pu menjadi 0,9 pu. Hal ini menunjukkan bahwa suplai energi di dekat pusat beban mampu mengatasi permasalahan jatuh tegangan, yang umum terjadi pada sistem distribusi dengan panjang saluran yang signifikan dan beban tersebar. Pada sistem IEEE 33 bus terjadi penurunan rugi - rugi daya aktif sebesar 55 kW atau sekitar 25,94%, sedangkan pada sistem penyulang Nila 111 bus terjadi pengurangan sebesar 128 kW atau sekitar 33,33%. Hal ini menunjukkan bahwa suplai daya dari PLTS

dapat mengurangi aliran daya dari sumber utama, sehingga mengurangi kehilangan energi pada penghantar.

Dengan integrasi PLTS pada sistem distribusi bukan hanya memberikan solusi teknis terhadap tegangan dan rugi-rugi daya, tetapi juga dalam mendukung kebijakan nasional terkait transisi energi dan pembangunan energi baru terbarukan (EBT) di Indonesia.

REFERENSI

- [1] Fahmi, Jauhar, "Studi Awal Penerapan Distributed Generation untuk Optimalisasi PLTS Atap On Grid pada Pelanggan PLN Sistem Jawa Bali untuk Memenuhi Target EBT Nasional", *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 2021, Vol. 2, No. 2, No. 1, pp 1 – 13, doi: 10.14710/jebt.2021.10038.
- [2] Rizky, Lucitania. "Peran Negara G20 dalam Percepatan Transisi Energi Baru Terbarukan (EBT) untuk Mewujudkan Ketahanan Energi Nasional," *Jurnal Ketahanan Nasional*, Vol. 29, No. 3, Desember 2023: 271 – 290. DOI:<http://dx.doi.org/10.22146/jkn.88751>.
- [3] Sianipar. Reinhard, Januar. Rifki, "Analisis Pemetaan Potensi dan Realisasi Energi Baru Terbarukan (EBT) dengan Pemodelan Determinan Konsumsi dan Metode Grouping Analysis EBT di Indonesia," *JEBT*, 2024, Vol. 5, No. 4, pp 30 – 49. doi: 10.14710/jebt.2024.22970.
- [4] Wibowo. Agung, "Strategi Pengembangan Energi Baru Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi," *Kertas Karya Ilmiah Perseorangan (TASKAP)*, 2023.
- [5] Ariyono, "Analisa Teknologi Fotovoltaik Sebagai Distributed Generation (Dg) Pada Sistem Distribusi Menggunakan Software Electric Transient dan Analysis Program (Etap)," *Jurnal Energi Elektrik*, 2019, Vol. 08, No. 1 (11 – 17).
- [6] Zainuddin, Muammar, "Pengaruh Masuknya PLTS on Grid Skala Besar Pada Sistem Distribusi 20 KV Terhadap Kualitas Tegangan dan Rugi – rugi Daya." *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro (FORTEI 2017)*, No. 131 – 136.
- [7] Hakim, Lukmanul, "Analisa Sistem Tenaga," *Jurusan Teknik Elektro*, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
- [8] Yuntardi, Daffa Aryudha, "Integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Dengan Jaringan Distribusi Untuk Memperbaiki Profil Tegangan dan Rugi Daya," *Program Studi Teknik Elektro*, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.
- [9] Arnando, Vito, "Desain Sistem PLTS On-Grid pada Barbershop Gaul dengan menggunakan Helioscope," *IJEERE (Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy)*, 2023, Vol. 3, No. 47-57.
- [10] Syahputra, R. "Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik," 2016. LP3M UMY, Yogyakarta, 249-256