

PENGARUH PENGATURAN ZERO EXPORT PADA INVERTER TERHADAP PRODUKSI ENERGI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) 5 KWP PONDOK PESANTREN KOTA SEMARANG

Rizky Adi Nugraha ^{1)*}, Pangestuningtyas Diah Larasati ²⁾, Bagus Satrio Utomo³⁾

¹⁾Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Jawa Tengah

²⁾ Politeknik Negeri Semarang

³⁾ Universitas Muhammadiyah Cileungsi

*Corresponding Author: rizkyadinugraha1304@asn.jatengprov.go.id

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) on-grid menjadi solusi utama dalam mendukung transisi energi menuju energi baru terbarukan. Namun, penerapan kebijakan *zero export* pada sistem PLTS membatasi penyaluran energi ke jaringan utama, sehingga hanya memenuhi kebutuhan beban lokal. Penelitian ini menganalisis profil produksi energi, potensi surplus energi, dan kesesuaiannya dengan simulasi optimal pada sistem PLTS berkapasitas 5 kWp di wilayah Semarang. Simulasi dilakukan menggunakan aplikasi berbasis web *Global Solar Atlas* untuk memperoleh estimasi produksi energi optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi surplus harian rata-rata mencapai 14 kWh, dengan energi aktual yang termanfaatkan hanya sekitar 34% dari kapasitas potensial. Perbandingan antara data aktual dan simulasi menunjukkan adanya potensi pemanfaatan energi yang lebih besar jika pembatasan *zero export* dapat dioptimalkan. Studi ini memberikan gambaran pentingnya evaluasi kinerja PLTS untuk mendukung pengembangan energi terbarukan di Indonesia.

Kata kunci: *PLTS on-grid, zero export, surplus energi, optimalisasi energi*

1. PENDAHULUAN

Energi surya merupakan salah satu sumber energi baru terbarukan yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia. Dengan rata-rata tingkat radiasi matahari yang tinggi sepanjang tahun, implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi pilihan strategis dalam mendukung target bauran energi nasional dimana capaiannya hingga tahun 2023 masih kurang (Paramita & Pranchiska, 2024). Salah satu upaya nyata dalam mendukung bauran energi dilakukan oleh Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) melalui program hibah pembangunan PLTS pada pondok pesantren. Program ini berkontribusi dalam mengurangi emisi karbon sekaligus mendorong penghematan biaya energi listrik (Nugraha et al., 2024).

Penambahan baterai penyimpanan untuk sisa energi terbukti efektif meningkatkan pemanfaatan energi sistem plts, namun perlu diperhatikan biaya per kwh yang dikeluarkan cukup besar hingga Rp 6315/kwh (Haq et al., 2021). Sebagai perbandingan, sebuah rumah tinggal diperkirakan memiliki konsumsi beban 2,8 kWh / hari diperlukan plts offgrid dengan kapasitas 5,6 kwp untuk memastikan baterai terisi penuh. Diperkirakan membutuhkan waktu investasi hingga 55 tahun (Daud et al., 2023). Sistem manajemen pembebanan menjadi salah satu solusi memaksimalkan potensi energi sisa sistem PLTS yakni dengan melakukan pengelompokan pembebanan berdasarkan besaran konsumsi energi serta kontrol switching

berdasarkan besaran arus baterai yang terbaca (Syafii et al., 2020). Beberapa penelitian diatas dapat menjadi referensi bahwa adanya potensi surplus energi akibat rendahnya konsumsi energi pada saat sistem PLTS menghasilkan energi pada kondisi puncak. Langkah yang dapat dilakukan salahsatunya dengan menambahkan baterai sebagai media penyimpanan. Namun demikian ada hal – hal lain yang perlu dipertimbangkan diantaranya biaya investasi dan waktu pengembalian yang cukup lama. Lebih lanjut pada penelitian ini hanya disampaikan bahwa terdapat surplus energi pada sistem PLTS yang telah dibangun.

1.1 Latar Belakang

PLTS on-grid merupakan sistem yang terhubung langsung dengan jaringan listrik utama, memungkinkan distribusi energi secara langsung ke beban lokal. Namun, penerapan kebijakan *zero export*, sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri ESDM No. 26 Tahun 2021 tentang PLTS Atap yang Terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik telah dibatasi. Melalui pembaharuan Permen ESDM nomor 2 tahun 2024 telah menghapuskan skema ekspor impor pada sistem jual beli listrik antara iuptlu dan badan usaha pemilik instalasi plts (Muhammad Rausyan Fikry & Irwan Triadi, 2024). Kebijakan ini mensyaratkan bahwa energi listrik yang dihasilkan PLTS hanya digunakan untuk kebutuhan beban lokal tanpa adanya ekspor ke jaringan. Akibatnya, surplus energi yang dihasilkan PLTS sering kali tidak termanfaatkan, sehingga mengurangi efisiensi sistem serta manfaat ekonominya. Penelitian ini mengacu pada kondisi optimal sistem PLTS yang dihitung menggunakan aplikasi simulasi berbasis web, *Global Solar Atlas*. Aplikasi ini memiliki keunggulan berupa aksesibilitas yang mudah, data radiasi matahari yang komprehensif berdasarkan lokasi geografis, serta kemampuan memproyeksikan produksi energi berdasarkan parameter sistem yang dapat disesuaikan (Natsir et al., 2024). Simulasi ini digunakan sebagai referensi untuk membandingkan produksi aktual PLTS dan menganalisis potensi surplus energi yang tidak termanfaatkan akibat pembatasan *zero export*.

1.2 Tujuan Penelitian

Studi ini dilakukan pada PLTS on-grid berkapasitas 5 kWp yang diterapkan pada sebuah bangunan dengan pola konsumsi energi harian tertentu. Penelitian bertujuan untuk menganalisis profil produksi dan konsumsi energi harian serta menghitung potensi surplus energi yang tidak termanfaatkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan praktis bagi pengembang dan pengguna PLTS, khususnya terkait upaya meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi surya dalam sistem on-grid. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan oleh pemerintah daerah, khususnya Dinas ESDM, dalam pelaksanaan program-program terkait energi terbarukan.

2. METODE

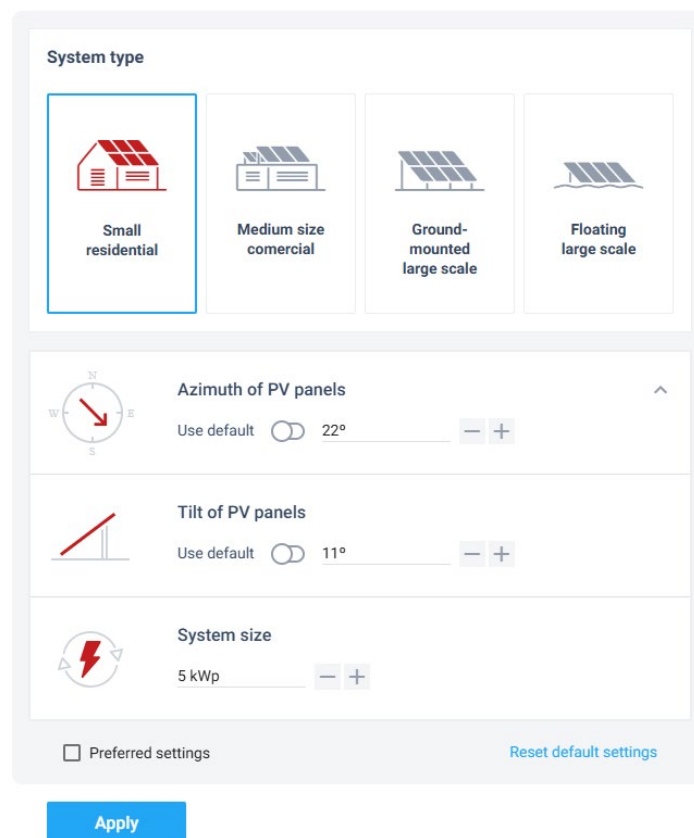
2.1. Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada sistem PLTS on-grid berkapasitas 5 kWp yang terpasang pada sebuah bangunan di wilayah Semarang. Sistem ini menggunakan inverter dengan fitur *zero export* yang membatasi aliran daya listrik ke jaringan utama sehingga hanya memenuhi kebutuhan beban lokal. Data yang digunakan mencakup profil produksi energi aktual PLTS dan konsumsi energi harian dari bulan September 2024.

2.2. Simulasi Produksi Energi

Proyeksi kondisi optimal dilakukan menggunakan aplikasi berbasis web *Global Solar Atlas*. Simulasi dapat menjadi langkah awal menentukan kelayakan sistem plts untuk dibangun (Setiawan et al., 2023). Aplikasi ini dipilih karena memiliki beberapa keunggulan, seperti:

- Aksesibilitas data radiasi matahari berdasarkan lokasi geografis dengan tingkat akurasi tinggi.
- Proyeksi produksi energi yang dapat disesuaikan dengan parameter sistem PLTS.
- Antarmuka yang intuitif, memudahkan proses simulasi tanpa memerlukan perangkat keras tambahan.



The screenshot displays the 'System type' selection screen of the Global Solar Atlas application. It features four selectable options: 'Small residential' (highlighted with a blue border), 'Medium size comercial', 'Ground-mounted large scale', and 'Floating large scale'. Below these options, there are three adjustable parameters: 'Azimuth of PV panels' set to 22° with a compass icon, 'Tilt of PV panels' set to 11° with a panel tilt icon, and 'System size' set to 5 kWp with a lightning bolt icon. Each parameter has a 'Use default' toggle and adjustment buttons. At the bottom, there is a 'Preferred settings' checkbox, a 'Reset default settings' link, and a prominent blue 'Apply' button.

Gambar 1. Setting Parameter Pada Global Solar Atlas

Simulasi dilakukan dengan memasukkan parameter teknis, seperti koordinat lokasi -7.063244459517542; 110.3983523038023, kapasitas sistem 5 kWp, sudut kemiringan panel surya 11°, azimuth 22°, dan efisiensi sistem sebesar 90%. Keseuaian parameter dengan kondisi aktual penting karena sedikit perbedaan dapat berpengaruh terhadap produksi energi (Gunawan & Sudiarto, 2021). Output dari simulasi berupa produksi energi periodik harian, bulanan, dan tahunan yang dijadikan sebagai acuan kondisi optimal sistem.

2.3. Pengumpulan Data Aktual

Data aktual diperoleh melalui pengukuran langsung dari inverter sistem PLTS pada tanggal 1 September 2024. Pengukuran dilakukan setiap jam untuk mendapatkan profil produksi energi harian dan konsumsi beban. Data tersebut

digunakan untuk menghitung efisiensi sistem dan membandingkannya dengan hasil simulasi.

2.4. Analisis Surplus Energi

Surplus energi dihitung dengan membandingkan produksi energi simulasi dengan produksi aktual. Selisih antara kedua data tersebut dianalisis untuk mengidentifikasi potensi surplus yang tidak termanfaatkan akibat pembatasan *zero export*. Rumus yang digunakan untuk menghitung surplus energi adalah:

$$Energi_{surplus} = Energi_{simulasi} - Energi_{aktual}$$

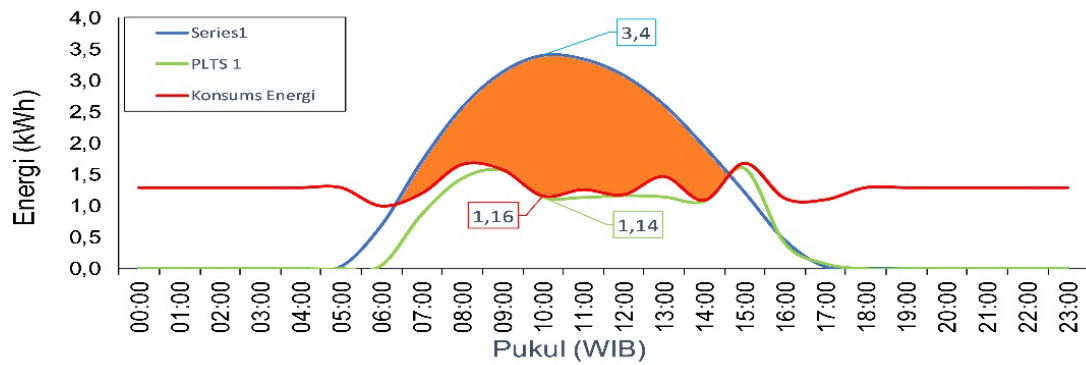
Dimana:

- $Energi_{surplus}$ = Potensi Sisa energi
- $Energi_{simulasi}$ = Estimasi produksi energi optimal GSA
- $Energi_{aktual}$ = Produksi energi aktual dampak dari *zero export*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Profil Daya Harian Pasca Instalasi PLTS On-Grid

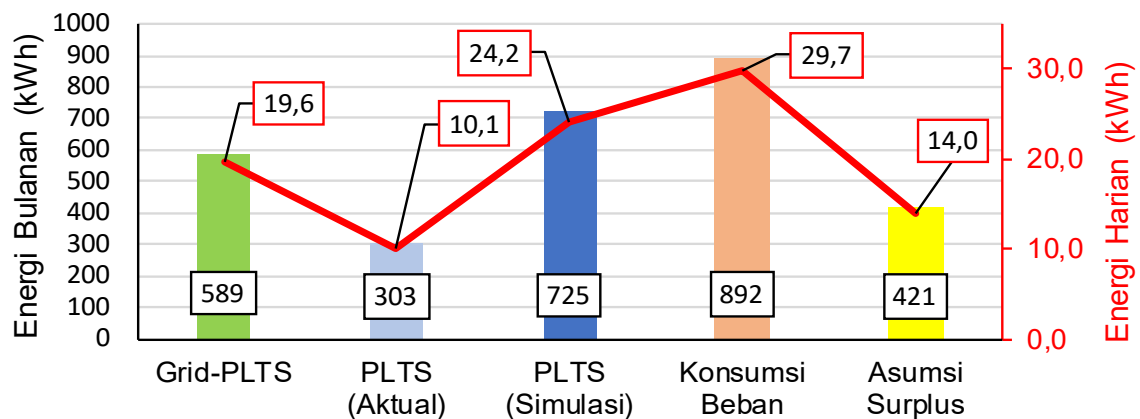
Simulasi produksi energi dari sistem PLTS telah berhasil menggunakan Global Solar Atlas. Hasilnya pada bulan September 2024 secara rata – rata produksi energi terjadi pada jam 05:00 sampai dengan 17:00. Sedangkan secara aktual pembacaan pada tanggal 1 September 2024 produksi energi PLTS mulai terjadi pada jam 06:00. Kondisi puncak secara simulasi terjadi pada pukul 10:00 sebesar 3,4 kWh. Namun secara aktual energi yang diproduksi PLTS hanya 1,14 kWh saja. Hal tersebut terjadi karena pada waktu yang sama kebutuhan konsumsi beban hanya 1,16 kWh. Hal tersebut terjadi karena adanya sistem *Zero Export* pada inverter yang digunakan sistem PLTS. Zero Export pada inverter mengatur arus dan tegangan yang disalurkan ke grid dan konsumsi beban. Dalam proses ini, inverter memanfaatkan fungsi MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) untuk mengatur arus dan tegangan panel surya agar tetap bekerja pada titik daya maksimum, namun membatasi output daya agar sesuai konsumsi beban. Jika produksi energi lebih besar dari konsumsi energi beban, MPPT akan menyesuaikan arus dan tegangan output secara otomatis sehingga daya yang dihasilkan hanya cukup untuk memenuhi kebutuhan beban tanpa adanya surplus daya yang mengalir ke grid. Dengan asumsi bahwa kondisi optimal sistem PLTS mampu menghasilkan energi hingga 3,4 kWh sistem hanya menyediakan energi sebesar 1,14 kWh karena kebutuhan hanya 1,16 kWh. Berdasarkan grafik nampak bahwa hal tersebut terjadi sepanjang waktu optimal PLTS menghasilkan energi dimana konsumsi beban lebih rendah dari produksi energi yang dihasilkan. Seluruh energi yang dihasilkan PLTS sepenuhnya diserap untuk memenuhi kebutuhan beban. Secara visual selisih tersebut dapat diasumsikan sebagai surplus energi yang tidak termanfaatkan dan dapat diwakili secara visual pada gambar yaitu area berwarna jingga.



Gambar 2. Perbandingan Energi antara Produksi Energi Simulasi, Produksi Energi Aktual dan Konsumsi Energi Periodik Harian

3.2 Potensi Surplus Energi

Secara matematis besarnya energi surplus dapat dihitung dengan mengurangi estimasi saya optimal yang diperoleh dari asumsi sama dengan simulasi, dikurangi dengan produksi energi PLTS aktual saat ini. Berdasarkan data tagihan listrik, total daya yang dibayarkan untuk bulan September 2024 adalah sebesar 589 kWh. Nilai tersebut adalah nilai yang ditagihkan setelah daya pemakaian dikurangi dengan daya PLTS yang dihasilkan secara aktual sebesar 303 kWh. Maka besarnya konsumsi energi beban jika tidak ada PLTS sejumlah 892 kWh. Secara simulasi PLTS mampu menghasilkan 725 kWh artinya PLTS jika dapat dimaksimalkan dalam pemanfaatannya memiliki potensi mengurangi tagihan hingga 81,3%. Sedangkan saat ini energi yang baru dimanfaatkan per bulan hanya 303 kWh atau 34% saja. Dengan membagi total energi sejumlah hari dalam bulan September maka pembagian nilai rata – rata per hari dapat diperoleh.



Gambar 3. Perbandingan Energi antara Produksi Energi Simulasi, Produksi Energi Aktual dan Konsumsi Energi Periodik Bulanan

Pada periodik harian total energi yang ditagihkan sebesar 19,6 kWh dan secara aktual PLTS saat ini hanya 10,1 kWh saja yang dapat dimanfaatkan. Secara akumulasi total penggunaan beban per hari adalah sebesar 29,7 kWh per hari. Dengan potensi energi PLTS hingga 24,2 kWh maka terdapat potensi surplus sebesar 14 kWh per hari. Dengan mengetahui besarnya nilai surplus maka beberapa langkah pemanfaatan dapat dilakukan diantaranya menambah konsumsi beban pemanfaatan,

menggeser waktu pemanfaatan beban atau menyediakan perangkat penyimpanan energi surplus.

4. KESIMPULAN

Pembangunan PLTS di Pondok Pesantren sebesar 5 Kwp di Kota Semarang secara simulasi mampu menghasilkan energi 3,4 kWh pada kondisi puncak. Namun karena konsumsi beban rendah maka energi yang dapat dimanfaatkan hanya 1,14 kWh saja. Terdapat potensi surplus sebesar 14 kWh per hari dimana jika dimanfaatkan mampu meningkatkan pemanfaatan energi PLTS hingga 81,3% per bulan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada Bapak Kepala Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Jawa Tengah atas support penuh dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Daud, M., Hasibuan, A., Verawaty Siregar, W., Fachroji, R., Studi Teknik Elektro, P., Teknik, F., Studi Manajemen, P., Ekonomi dan Bisnis, F., Studi Matematika, P., Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Malikussaleh Jl Blang Pulo, F., Muara Satu, K., & Lhokseumawe, K. (2023). *Analisis Perhitungan Penggunaan Energi Listrik Sumber DC Pada Rumah Tinggal Tipe 54 Bersumber Energi Terbarukan*. <https://doi.org/10.30596/rele.v1i1.13088>
- Gunawan, H., & Sudiarto, B. (2021). SIMULASI PERBANDINGAN PERUBAHAN TILT TERHADAP ENERGI ARRAY PADA 34 UNIT PLTS ROOFTOP 100 KWP DI INDONESIA. *Citizen: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 2(1), 46–55. <https://doi.org/10.53866/jimi.v2i1.27>
- Haq, I. N., Pradipta, J., Sheba, M. R. S., Persada, A. W. D., Soelami, F. X. N., & Leksono, E. (2021). Simulasi Energi dan Keekonomian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk Fungsi Peak Load Shaving pada Bangunan di Lingkungan Kampus ITB. *Journal of Science and Applicative Technology*, 5(1), 179. <https://doi.org/10.35472/jsat.v5i1.449>
- Muhammad Rausyan Fikry, & Irwan Triadi. (2024). Evolusi Regulasi Energi Baru Terbarukan: Analisis Perubahan Orientasi Aturan PLTS Atap. *Birokrasi: JURNAL ILMU HUKUM DAN TATA NEGARA*, 2(2), 364–373. <https://doi.org/10.55606/birokrasi.v2i2.1292>
- Natsir, A., Made Seniari, N., Ayu Sri Adnyani, I., & Nababan, S. (2024). *Pemetaan Potensi Energi Surya Berbasis Global Solar Atlas di Fakultas Teknik Universitas Mataram*. 2(1), 7–14.
- Nugraha, R. A., Apriaskar, E., Larasati, P. D., Hutama, D., Bramantyo, A., Dinas, C., Wilayah, E., Demak, S., Energi, D., Daya, S., Provinsi, M., & Tengah, J. (2024). Analisis Kelayakan Ekonomi Proyek Hibah PLTS Atap 5 kWp pada Gedung Pesantren di Gunungpati, Semarang. *Seminar Nasional Teknik Elektro*, 1.
- Paramita, R., & Pranchiska, I. (2024). Target Bauran Energi Indonesia Tahun 2023 Kembali Meleset. *Buletin APBN*, IX(3), 3–7. www.pa3kn.dpr.go.id

- Setiawan, M. A., Sulistyowati, R., Syarifudin, M., Agus, H., Wildan, S., Pambudi, A., Adhi, I. T., & Surabaya, T. (2023). Manajemen Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid. In M. A. Setiawan, R. Sulistyowati, M. Syarifudin, H. A. Sujono, & W. A. Pambudi (Eds.), *SNESTIK III* (pp. 297–306). Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. <https://doi.org/10.31284/p.snestik.2023.3996>
- Syafii, S., Mayura, Y., & Muhardika, M. (2020). Strategi Pembebanan PLTS Off Grid untuk Peningkatan Kontinuitas Suplai Energi Listrik. *Jurnal Rekayasa Elekrika*, 15(3). <https://doi.org/10.17529/jre.v15i3.14793>