

Transformasi Energi Surya Ramah Lingkungan di Gedung KPA UNSRI Menggunakan Sistem On-Grid Terhubung Jaringan PLN

Wirawan Adipradana¹, Armin Sofijan^{2*}, Feby Ardianto³, Siti Sailah⁴, Yulianto Parulian⁵, Ananda Putri Kamila⁶

^{1,2,5,6}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Indonesia

³Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Palembang, Indonesia

⁴Program Studi Fisika, Universitas Sriwijaya, Indonesia.

*e-mail: a_sofijan@ft.unsri.ac.id

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik di sektor pendidikan terus meningkat, seiring bertambahnya aktivitas dan operasional kampus. Di sisi lain, penggunaan energi fosil yang berkelanjutan berdampak buruk pada lingkungan. Oleh karena itu, pemanfaatan energi baru terbarukan, khususnya energi surya, menjadi solusi yang layak dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) on-grid di Gedung KPA Universitas Sriwijaya. Metode yang digunakan mencakup pengukuran konsumsi energi gedung, pengujian output panel surya, serta perancangan sistem dengan pendekatan teknis dan ekonomis. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsumsi listrik tahunan gedung sebesar 216.344,128 kWh. Sistem PLTS dirancang untuk menyuplai 10% dari kebutuhan tersebut dengan 300 panel surya 100 Wp, menghasilkan daya total 30 kWp. Estimasi produksi energi selama 25 tahun mencapai ±553.000 kWh. Analisis keekonomian menunjukkan sistem mampu memberikan keuntungan bersih sebesar ±Rp 160 juta, dengan estimasi penghematan bulanan ±Rp 1,6 juta. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa sistem PLTS on-grid layak diterapkan secara teknis dan ekonomis di lingkungan kampus sebagai bagian dari transisi energi bersih dan strategi efisiensi biaya operasional.

Kata Kunci: PLTS On-Grid, Energi Surya, Universitas Sriwijaya, Analisis Ekonomis, Panel Surya

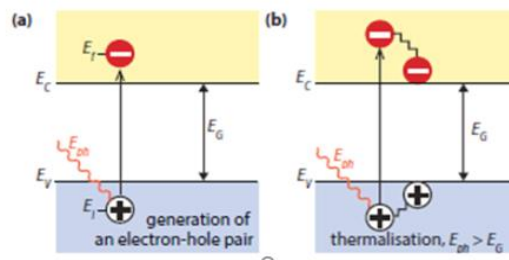
ABSTRACT

Electricity demand in the education sector continues to increase along with campus operational activities. On the other hand, the continuous use of fossil energy negatively impacts the environment. Therefore, the utilization of renewable energy, particularly solar energy, offers a feasible and eco-friendly solution. This study aims to design and analyze a grid-connected solar power plant (PLTS on-grid) system at the KPA Building of Sriwijaya University. The method involves measuring the building's electricity consumption, testing the output of solar panels, and designing the system using both technical and economic approaches. Measurement results show the building's annual electricity consumption is 216,344.128 kWh. The PLTS system is designed to supply 10% of this demand using 300 solar panels of 100 Wp, yielding a total capacity of 30 kWp. The estimated energy production over 25 years is approximately 553,000 kWh. Economic analysis indicates the system provides a net profit of around IDR 160 million, with a monthly saving estimate of IDR 1.6 million. These findings demonstrate that the on-grid PLTS system is both technically and economically viable for campus implementation as part of the clean energy transition and operational cost efficiency strategy.

Keywords: On-Grid PLTS, Solar Energy, Sriwijaya University, Economic Analysis, Solar Panel

PENDAHULUAN

Pertumbuhan kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan perkembangan sektor industri dan pendidikan. Ketergantungan terhadap energi fosil seperti batu bara dan minyak bumi menyebabkan munculnya berbagai permasalahan lingkungan seperti peningkatan emisi karbon dioksida (CO_2) dan ancaman krisis energi di masa depan. Di sisi lain, Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan energi baru terbarukan (EBT), salah satunya adalah energi surya yang sangat melimpah karena posisinya di garis khatulistiwa [1].



Gambar 1. Skema Photovoltaic effect

Energi surya dapat dimanfaatkan melalui teknologi fotovoltaik seperti yang ditunjukkan gambar 1 dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). PLTS dapat dikategorikan menjadi dua jenis berdasarkan keterhubungannya dengan jaringan listrik, yaitu sistem off-grid (mandiri) dan on-grid (terhubung ke jaringan PLN). Sistem on-grid menjadi lebih populer karena mampu menyalurkan energi langsung ke jaringan listrik eksisting tanpa memerlukan baterai sebagai penyimpanan, sehingga lebih hemat biaya dan mudah dalam pengelolaan [2]. Dalam konteks bangunan komersial dan institusional, sistem PLTS on-grid terbukti dapat mengurangi tagihan listrik secara signifikan, sekaligus memberikan kontribusi terhadap pengurangan emisi karbon [3].

Beberapa studi terdahulu telah membahas tentang penerapan PLTS on-grid pada lingkungan kampus. Analisis kelayakan sistem PLTS on-grid dan off-grid di Irak, dan menyimpulkan bahwa sistem on-grid lebih unggul secara ekonomis dan teknis [4]. Analisis di Arab Saudi menunjukkan bahwa penerapan sistem PLTS on-grid pada gedung universitas mampu memberikan efisiensi hingga 30% terhadap konsumsi listrik tahunan. Di Indonesia, studi oleh Diantari dan Pujotomo meneliti desain dan perhitungan kebutuhan PLTS di lingkungan akademik, namun belum banyak membahas implementasi riil dan dampak ekonomis jangka panjangnya pada institusi pendidikan [5], [6].

Gedung KPA Universitas Sriwijaya (Unsri), yang terletak di Indralaya, merupakan salah satu gedung operasional kampus yang memiliki konsumsi energi listrik tinggi setiap bulannya. Hal ini memberikan beban biaya listrik yang signifikan bagi institusi. Oleh karena itu, diperlukan solusi berbasis energi terbarukan yang efisien dan ramah lingkungan untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil sekaligus menurunkan beban biaya listrik secara berkelanjutan [7], [8].

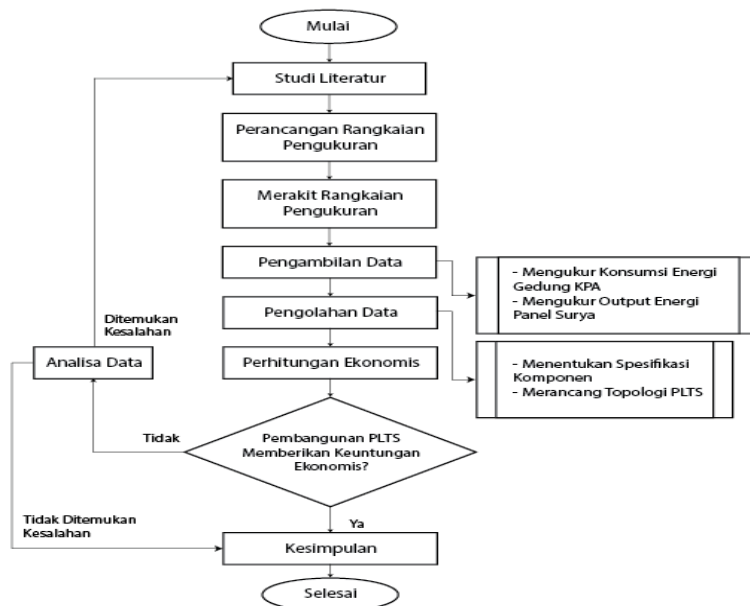
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis sistem PLTS on-grid di Gedung KPA Unsri yang terintegrasi dengan jaringan transmisi PLN. Perancangan meliputi estimasi kebutuhan energi gedung, potensi radiasi. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang lebih berfokus pada simulasi atau perhitungan teoritis semata, penelitian ini menyajikan pendekatan berbasis pengukuran langsung kebutuhan energi di

lapangan, serta mengintegrasikannya dengan evaluasi teknis dan ekonomis PLTS yang dirancang. Selain itu, penelitian ini menyajikan estimasi output energi tahunan berdasarkan data aktual intensitas radiasi matahari setempat dan mempertimbangkan degradasi panel surya jangka panjang. Kebaruan dari penelitian ini juga terletak pada penyusunan sistem PLTS yang sepenuhnya kompatibel dengan sistem jaringan PLN eksisting, serta analisis finansial 25 tahun operasional sistem.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan praktis sekaligus ilmiah dalam mengimplementasikan sistem PLTS on-grid di lingkungan kampus, terutama dalam mendukung agenda nasional transisi energi dan pengembangan kampus hijau.

I. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif yang bertujuan untuk merancang sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) on-grid di Gedung KPA Universitas Sriwijaya serta mengevaluasi potensi daya, efisiensi konversi, dan kelayakan ekonominya seperti yang ditunjukkan gambar 2 dilakukan melalui beberapa tahapan utama yang meliputi prosedur perencanaan teknis, pengukuran lapangan, serta analisis matematis dan ekonomis terhadap sistem yang dirancang.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Tahap awal penelitian dimulai dengan studi literatur guna memperoleh informasi dasar mengenai teknologi PLTS, sistem koneksi on-grid, karakteristik panel surya jenis polycrystalline seperti yang ditunjukkan tabel 1, serta standar desain sistem fotovoltaik. Studi literatur ini juga mencakup evaluasi penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penerapan PLTS di gedung-gedung institusi pendidikan dan pemerintahan [9].

Tabel 1. Spesifikasi Panel Fotovoltaik

Data Teknis Modul Surya	Informasi
Pabrikan	Tesla Corporation
Dimensi (Luas)	(1010 x 670) mm
Pmax	100 Wp
Isc	6,2 A
Voc	21,6 Vdc
Ipm	5,6 A
Vpm	18 V
STC	Normal

Selanjutnya, dilakukan peninjauan lokasi di Gedung KPA Universitas Sriwijaya Kampus Indralaya. Proses ini melibatkan identifikasi area pemasangan panel, analisis kemungkinan shading dari bangunan atau pohon sekitar, serta pengumpulan data koordinat geografis lokasi. Data intensitas radiasi matahari diperoleh dari Global Solar Atlas 2.0 sebagai basis estimasi energi yang tersedia untuk konversi oleh sistem PLTS [10].

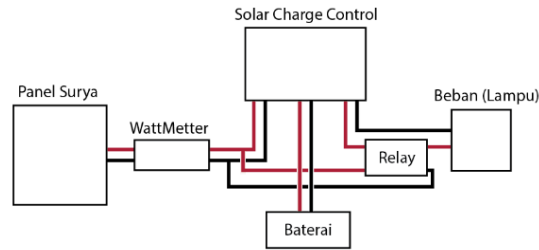
Pengambilan data konsumsi energi listrik gedung KPA Universitas Sriwijaya, dilakukan di dalam gedung tersebut. Sedangkan untuk pengambilan data keluaran energi listrik panel surya, dilakukan pada sebuah lahan kosong di sebelah timur lapangan upacara kampus Indralaya, pada koordinat titik $-03^{\circ}12'51''$, $104^{\circ}38'53''$ seperti yang ditunjukkan gambar 3. Panel surya yang diukur menghadap ke arah utara, atau ke arah garis khatulistiwa, dimana arah hadap tersebut merupakan arah maksimal generasi energi listrik oleh panel surya.



Gambar 3. Denah Lokasi Penelitian

Tahapan berikutnya adalah pengukuran konsumsi energi listrik aktual di gedung KPA. Data arus, tegangan, dan waktu operasi peralatan listrik dikumpulkan menggunakan alat ukur digital dan rangkaian sensor, dengan asumsi faktor daya sebesar 0,8. Energi dihitung dengan menggunakan rumus $E = V \times I \times \cos\phi \times t$, sebagaimana digunakan untuk menjadi acuan dalam menentukan target kontribusi PLTS terhadap kebutuhan listrik gedung.

Untuk memperoleh data kemampuan produksi panel surya, dilakukan pengujian satu panel 100 Wp dengan sistem kontrol PWM. Output energi selama satu bulan dicatat dan kemudian dikonversikan menjadi estimasi MPPT dengan penyesuaian efisiensi sebesar 24,6% lebih tinggi. Estimasi keluaran tahunan dihitung berdasarkan proyeksi radiasi matahari tahunan dan luas aktif sel surya.



Gambar 4. Rangkaian Pengukuran Keluaran Energi Panel Surya

Perancangan sistem PLTS dilakukan dengan menentukan kapasitas sistem yang mampu menyuplai minimal 10% dari total konsumsi tahunan listrik gedung. Perhitungan mencakup jumlah panel surya, konfigurasi string, pemilihan inverter, dan perangkat tambahan seperti combiner box dan panel AC breaker, sesuai panduan instalasi [11]. Rumus teknis yang digunakan antara lain:

$$E_{PV} = \eta_{modul} \times \eta_{lingkungan} \times H \times A$$

Keterangan:

- E_{PV} = Energi listrik yang dihasilkan oleh modul panel surya
- η_{modul} = Efisiensi Modul Panel Surya
- $\eta_{lingkungan}$ = Efisiensi Lingkungan
- H = Intensitas Radiasi Matahari (W/m^2)
- A = Luas Permukaan Modul Panel Surya (m^2)

untuk estimasi energi yang dihasilkan, serta

$$N = \frac{P_{sistem}}{P_{panel}}$$

Keterangan:

- N = Jumlah panel surya (unit panel) yang dibutuhkan dalam sistem
- P_{Sistem} = Total daya yang dibutuhkan oleh sistem (W)
- P_{Panel} = Daya nominal yang dapat dihasilkan oleh satu panel surya (W)

untuk menentukan jumlah panel surya yang dibutuhkan.

Analisis ekonomis dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan investasi sistem PLTS, termasuk biaya pengadaan komponen, biaya operasi dan pemeliharaan (O&M), serta pendapatan dari penghematan tagihan listrik [12], [13]. Digunakan pendekatan sederhana berdasarkan total energi yang dihasilkan selama 25 tahun dikalikan dengan tarif listrik (berdasarkan Keputusan Menteri ESDM), dikurangi total investasi. Rumus yang digunakan yaitu:

$$\text{Keuntungan} = (E_{25 \text{ tahun}} \times \frac{\text{Tarif}}{kWh}) - (\text{Biaya Investasi} + \text{Biaya O\&M})$$

Sebagai pembanding, pendekatan ini telah digunakan untuk menilai kelayakan teknis dan ekonomis PLTS di institusi pendidikan. Melalui prosedur ini, penelitian tidak hanya menghasilkan rancangan sistem yang layak secara teknis, tetapi juga dapat direproduksi dan



diterapkan pada bangunan institusional serupa [14]. Keakuratan data pengukuran dan pendekatan analitis yang digunakan menjadikan hasil penelitian dapat diandalkan sebagai referensi implementasi sistem PLTS on-grid dalam skala bangunan kampus atau pemerintahan [15], [16].

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran konsumsi energi listrik di Gedung KPA Universitas Sriwijaya diperoleh melalui pencatatan parameter arus, tegangan, dan waktu operasi selama lima hari kerja. Dari data tersebut, diperoleh rata-rata konsumsi energi sebesar 832,093 kWh per hari, sehingga dalam lima hari total konsumsi adalah 4.160,464 kWh. Dengan asumsi beban yang konstan setiap minggu selama satu tahun, maka total konsumsi energi tahunan gedung mencapai sekitar 216.344,128 kWh. Berdasarkan angka ini, sistem PLTS dirancang untuk menyuplai minimal 10% dari total kebutuhan tahunan, yaitu sebesar 21.634,4128 kWh.

Tabel 2. Data Konsumsi Energi Listrik Gedung Kpa

Tanggal	Konsumsi Energi (kWh)
9 Maret 2024	812,797
10 Maret 2024	857,912
11 Maret 2024	822,683
12 Maret 2024	805,640
13 Maret 2024	861,432
Total	4.160,464

Selanjutnya, dilakukan pengujian terhadap panel surya jenis polycrystalline berkapasitas 100 Wp di lokasi pengambilan data. Panel diuji dengan kontroler tipe PWM, dan menghasilkan output energi sebesar 6,397 kWh dalam satu bulan pengujian (Juni 2024).

Tabel 3. Data Keluaran Energi Panel Surya Juni 2024

Tanggal	Energi	Tanggal	Energi
1 Juni 2024	238	16 Juni 2024	209
2 Juni 2024	195	17 Juni 2024	204
3 Juni 2024	215	18 Juni 2024	207
4 Juni 2024	198	19 Juni 2024	183
5 Juni 2024	194	20 Juni 2024	199
6 Juni 2024	175	21 Juni 2024	190
7 Juni 2024	259	22 Juni 2024	176
8 Juni 2024	221	23 Juni 2024	170
9 Juni 2024	200	24 Juni 2024	189
10 Juni 2024	229	25 Juni 2024	154
11 Juni 2024	271	26 Juni 2024	260
12 Juni 2024	276	27 Juni 2024	223
13 Juni 2024	208	28 Juni 2024	215
14 Juni 2024	229	29 Juni 2024	260
15 Juni 2024	198	30 Juni 2024	252
Total			6.397

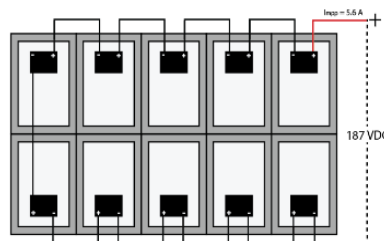
Berdasarkan literatur, kontroler MPPT memiliki efisiensi sekitar 24,6% lebih tinggi dibanding PWM. Dengan demikian, estimasi output energi bulanan dengan kontrol MPPT mencapai 7,971 kWh

Tabel 4. Spesifikasi *Inverter* yang digunakan

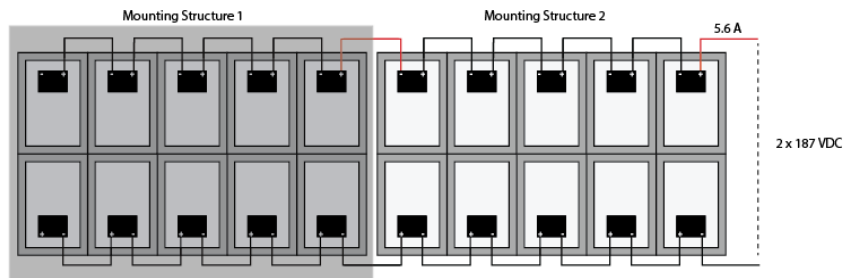
Data Teknis Modul Inverter	Informasi
Seri	SG 40 CX
Max Rated Power	40 Kw
Max Input Voltage	1100 V
Starting Voltage	200/250 VDC
MPPT Voltage Range	200 – 1000 VDC
Max PV Input Current	4 x 26 A
Max DC Sc	4 x 40 A
Max AC Output	66,9 A
Number of MPPT	2
AC Voltage Range	220-240/380-400 V
Power Factor at Nominal Con	>0,99
Feed in Phase	3/3-PE
Max Efficiency	98,6 %
DC Reverse Protection	Yes
Compliance	IEC-62109, IEC 61727, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683, VDE – AR – N 4105 – 2018, VDE – AR – N 4110: 2018, IEC 61000-6-3, EN 50438, AS/NZS 4777.2:2015, CEI 0-21, VDE 0126-1-1/A1 VFR 2014, UTE C15-712-1:2013, DEWA

Untuk mendapatkan estimasi output tahunan, data radiasi matahari tahunan dari Global Solar Atlas digunakan, yang menunjukkan bahwa efisiensi konversi rata-rata sistem adalah 12,701%. Dengan luas panel 0,6767 m² dan intensitas radiasi sebesar 903.000 Wh/m², diperoleh output tahunan sebesar 77,642 kWh per panel.

Dari kebutuhan energi 10% (21.634,4128 kWh) dan output tahunan per panel (77,642 kWh), diperoleh jumlah panel yang dibutuhkan sebesar 278,6 unit. Untuk kemudahan konfigurasi string seperti yang ditunjukkan gambar 5 dan 6 dan pemasangan, jumlah panel dibulatkan menjadi 300 unit. Maka kapasitas total sistem PLTS yang dirancang adalah 30 kWp. Panel disusun dalam enam string, masing-masing terdiri dari 50 panel secara seri. Setiap string memiliki tegangan maksimum sekitar 935 VDC dan arus 5,6 A.

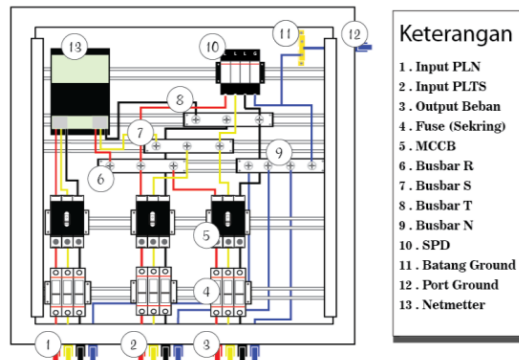


Gambar 5. Konfigurasi susunan seri antar panel dalam satu mounting



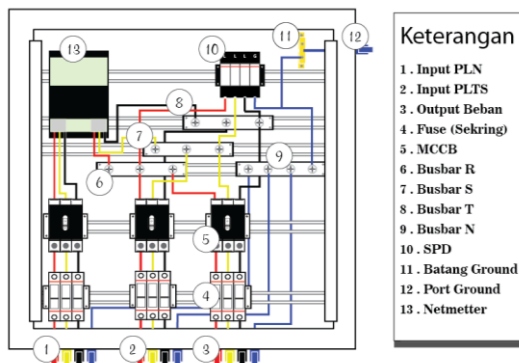
Gambar 6. Konfigurasi Susunan Antar *Mounting* pada *string* yang sama

Sistem ini dikombinasikan melalui satu unit combiner box seperti yang ditunjukkan gambar 7,

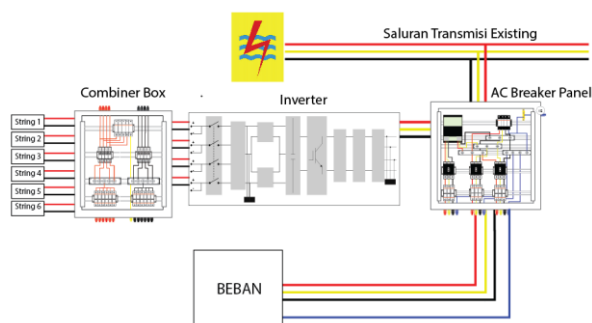


Gambar 7. Skema *Combiner* yang akan digunakan

Outputnya dialirkan ke satu inverter grid-tied berkapasitas 40 kW dengan efisiensi 98,6%. Inverter tersebut kemudian terhubung ke panel AC breaker sebelum masuk ke jaringan eksisting PLN seperti yang ditunjukkan gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Skema Panel AC Breaker yang akan digunakan



Gambar 9. Skema interkoneksi PLTS

Tata letak panel disusun dalam formasi yang memperhatikan arah hadap ke utara (menuju garis khatulistiwa) serta sudut kemiringan optimal. Total luas area pemasangan panel adalah 194,4 m², hasil dari pengalihan antara jumlah panel (300 unit) dan luas satu panel (0,648 m²). Lokasi pemasangan yang dipilih dipastikan bebas dari shading sepanjang hari sehingga memaksimalkan penyerapan radiasi matahari.

Analisis keekonomian dilakukan berdasarkan harga investasi sistem sebesar Rp 271.500.000 untuk pengadaan komponen utama, ditambah biaya operasi dan pemeliharaan selama 25 tahun sebesar Rp 67.875.000 (1% per tahun dari investasi awal). Maka total investasi sistem sebesar Rp 339.375.000. Estimasi total produksi energi selama 25 tahun mempertimbangkan degradasi efisiensi panel sebesar 0,24% per tahun, sehingga total produksi energi sistem mencapai 553.000 kWh. Dengan harga jual listrik Rp 902/kWh, diperoleh total penghematan atau nilai penjualan energi sebesar Rp 500.000.000. Maka, keuntungan bersih selama 25 tahun adalah sebesar Rp 160.625.000, dengan estimasi penghematan tagihan listrik sebesar Rp 1.666.667 per bulan.

Hasil ini menunjukkan bahwa implementasi sistem PLTS on-grid di Gedung KPA UNSRI tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga memberikan manfaat ekonomis jangka panjang. Selain itu, penggunaan energi terbarukan ini mendukung program efisiensi energi nasional dan pengurangan emisi karbon. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Ramli et al. [5] dan Aziz et al. [4], yang menyatakan bahwa sistem PLTS on-grid sangat sesuai diterapkan pada bangunan institusional dengan konsumsi listrik stabil. Konfigurasi sistem yang efisien, ditambah dengan dukungan potensi radiasi matahari di wilayah Ogan Ilir, menjadikan sistem ini sebagai model yang dapat direplikasi untuk gedung-gedung lain di lingkungan Universitas Sriwijaya atau institusi serupa.

III. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran, perancangan, dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) on-grid layak diterapkan pada Gedung KPA Universitas Sriwijaya. Dari data konsumsi energi tahunan sebesar 216.344,128 kWh, sistem PLTS dirancang untuk menyuplai 10% kebutuhan energi tersebut dengan kapasitas sebesar 30 kWp, terdiri atas 300 panel surya polycrystalline. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap panel mampu menghasilkan energi sebesar 77,642 kWh per tahun. Sistem ini disusun dalam enam string yang terhubung ke satu inverter grid-tied berkapasitas 40 kW dengan efisiensi 98,6%.

Analisis ekonomis menunjukkan bahwa total investasi sistem sebesar Rp 339.375.000 dapat menghasilkan energi sekitar 553.000 kWh selama 25 tahun masa operasional dengan mempertimbangkan degradasi efisiensi panel. Dengan harga jual listrik Rp 902/kWh, diperoleh nilai keekonomian sebesar Rp 500.000.000, menghasilkan keuntungan bersih sebesar Rp

160.625.000 dan penghematan biaya listrik sekitar Rp 1.666.667 per bulan. Dengan demikian, sistem PLTS on-grid ini terbukti efisien secara teknis dan ekonomis, serta memberikan kontribusi nyata terhadap penggunaan energi bersih dan ramah lingkungan.

Sebagai saran untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut, sistem dapat dikembangkan ke skala yang lebih besar untuk menyuplai sebagian besar bahkan seluruh kebutuhan listrik gedung. Selain itu, penggunaan sistem monitoring berbasis IoT dapat ditambahkan untuk meningkatkan efisiensi operasional dan pemeliharaan. Implementasi sistem serupa juga direkomendasikan untuk gedung-gedung kampus lainnya guna mendukung inisiatif green campus dan pengurangan emisi karbon secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Ayasyifa, "Determinants of Electricity Consumption in Indonesia," *Jurnal Ilmu Ekonomi Terapan*, vol. 7, no. 1, pp. 132–143, Jun. 2022, doi: 10.20473/jiet.v7i1.30777.
- [2] A. Dixit, A. Saxena, R. Sharma, D. Behera, and S. Mukherjee, "Solar Photovoltaic Principles." [Online]. Available: www.intechopen.com
- [3] S. Yang, H. O. Gao, and F. You, "Integrated optimization in operations control and systems design for carbon emission reduction in building electrification with distributed energy resources," *Advances in Applied Energy*, vol. 12, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.adapen.2023.100144.
- [4] M. Syahril *et al.*, "Lecture Notes in Mechanical Engineering Intelligent Manufacturing and Mechatronics Proceedings of SympoSIMM 2020." [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/11693>
- [5] M. A. H. Alshehri, Y. Guo, and G. Lei, "Renewable-Energy-Based Microgrid Design and Feasibility Analysis for King Saud University Campus, Riyadh," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 13, Jul. 2023, doi: 10.3390/su151310708.
- [6] Wirawan Adipradana, A. Sofijan, Khalif Wisnutama, Feby Ardianto, Cekmas Cekdin, and Baginda Oloan Siregar, "Evaluasi Efektivitas Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hibrida–Generator Set dengan Menggunakan Automatic Transfer Switch," *Jurnal Surya Energy*, vol. 9, no. 2, pp. 83–90, Mar. 2025, doi: 10.32502/jse.v9i2.526.
- [7] S. M. Shafie, Z. Othman, N. Hami, and S. Oma, "The potential of using biogas feeding for fuel cells in malaysia," *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 10, no. 1, pp. 109–113, 2020, doi: 10.32479/ijeeep.8373.
- [8] M. B. Tirta Wijata, Anak Agung Adhi Suryawan, Ketut Astawa, I Gusti Ketut Sukadana, and I Made Parwata, "Design Simulation of Micro-Grid Hybrid Solar Power Plant as a Power Supply," *Natural Sciences Engineering and Technology Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 232–240, Jul. 2023, doi: 10.37275/nasetjournal.v3i2.40.
- [9] Y. Zhang, F. K. P. Hui, C. Duffield, and A. M. Saeed, "A review of facilities management interventions to mitigate respiratory infections in existing buildings," *Build Environ*, vol. 221, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109347.
- [10] A. Maghfiroh, "Implementation of Professional Development Program for Developing Teachers' Literacy and Numeracy Skills: A Case in Indonesian Context," *Tadibia Islamika*, vol. 2, no. 2, pp. 105–121, Dec. 2022, doi: 10.28918/tadibia.v2i2.6662.
- [11] D. Fosterharoldas *et al.*, "Lecture Notes in Civil Engineering Proceedings of the 6th International Conference on Indonesian Architecture and Planning (ICIAP 2022) Beyond Sustainability Through Design, Planning and Innovation."

- [12] R. K. Phanden, R. Kumar, P. M. Pandey, and A. Chakraborty, Eds., *Advances in Industrial and Production Engineering*. in Lecture Notes in Mechanical Engineering. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. doi: 10.1007/978-981-99-1328-2.
- [13] A. Sofijan, "THE SOLAR RENEWABLE ENERGY SYSTEM STUDY WITH A CAPACITY OF 1300 W UTILITIZING POLYCRYSTALLINE PHOTOVOLTAIC," *Journal of Mechanical Science and Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 5–011, 2019.
- [14] P. Kantor Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Penelitian Dan, A. Ardiansyah, I. Nyoman Setiawan, and I. Wayan Sukerayasa, "PERANCANGAN PLTS ATAP ON GRID SYSTEM PENGEMBANGAN KOTA PROBOLINGGO," 2021.
- [15] M. C. Albelda-Estellés Ness, "Indoor relative humidity: relevance for health, comfort, and choice of ventilation system," Universitat Politècnica de Valencia, May 2023. doi: 10.4995/vibrarch2022.2022.15237.
- [16] Z. Ali, K. Saleem, R. Brown, N. Christofides, and S. Dudley, "Performance Analysis and Benchmarking of PLL-Driven Phasor Measurement Units for Renewable Energy Systems," *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 5, Mar. 2022, doi: 10.3390/en15051867.

