



Implementasi PLTS *Rooftop* sebagai Solusi Energi Mandiri Hemat Biaya bagi Rumah Tangga di Ponpes Riyadhul Awamil, Rumpin, Bogor, Jawa Barat

Sugiono^{1*}, Tarno², Encep Saepudin³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Indonesia

Email korespondensi: dosen01525@unpam.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan energi listrik rumah tangga menyebabkan konsumsi listrik nasional terus meningkat, bergantung pada energi fosil, serta menimbulkan dampak lingkungan berupa emisi karbon dan kenaikan biaya energi. Solusi yang dapat diterapkan adalah penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Rooftop Off-Grid* pada sektor rumah tangga. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan energi mandiri yang hemat biaya di Pondok Pesantren Riyadhul Awamil, Rumpin, Bogor, Jawa Barat. Metode yang digunakan meliputi studi literatur, analisis kebutuhan energi rumah tangga di sekitar kawasan, perancangan kapasitas sistem PLTS, serta analisis ekonomi penghematan biaya listrik dan *Return on Investment* (ROI). Studi kasus dilakukan pada rumah tangga sekitar dengan daya listrik 2.200 VA dan konsumsi energi rata-rata 10–12 kWh per hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem PLTS *Rooftop* berkapasitas 4 kWp mampu menghasilkan energi listrik rata-rata 392–420 kWh per bulan dengan penghematan biaya listrik sebesar Rp500.000–Rp750.000 per bulan. Investasi awal sistem berkisar Rp45.000.000–Rp55.000.000 dengan periode pengembalian modal sekitar 7–10 tahun. Implementasi ini terbukti mampu meningkatkan kemandirian energi warga sekitar, mengurangi emisi karbon, dan mendukung program energi baru terbarukan di Indonesia.

Kata Kunci: PLTS *rooftop off-grid*; energi terbarukan; efisiensi energi; ROI.

ABSTRACT

The increasing demand for household electrical energy causes national electricity consumption to continuously rise, heavily relying on fossil fuels and impacting the environment through carbon emissions and rising energy costs. A potential solution is the implementation of Off-Grid Rooftop Solar Power Plants (PLTS) in the household sector [1, 2]. This study aims to analyze cost-effective independent energy implementation at the Riyadhul Awamil Islamic Boarding School, Rumpin, Bogor, West Java. The methodology includes a literature study, analysis of surrounding household energy needs, design of PLTS system capacity, and economic analysis of electricity cost savings alongside Return on Investment (ROI). The case study was conducted on surrounding households with a 2,200 VA electrical grid connection and an average energy consumption of 10–12 kWh per day. The results show that a 4 kWp Rooftop PLTS system generates an average of 392–420 kWh of electrical energy per month, yielding electricity cost savings of IDR 500,000–750,000 per month. The initial system investment ranges from IDR 45,000,000 to IDR 55,000,000, with a payback period of approximately 7–10 years. This implementation is proven to enhance energy independence, reduce carbon emissions, and support new and renewable energy programs in Indonesia.

Keywords: *off-grid rooftop solar power plants; renewable energy; energy efficiency; ROI.*

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahun seiring bertambahnya jumlah penduduk dan penggunaan perangkat elektronik rumah tangga. Sebagian besar energi listrik nasional masih berasal dari pembangkit berbahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi. Penggunaan energi fosil secara terus-menerus menyebabkan meningkatnya emisi gas rumah kaca dan pemanasan global [1], [2].

Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar karena berada di wilayah tropis dengan intensitas radiasi matahari rata-rata 4,5–5,1 kWh/m²/hari. Potensi tersebut dapat dimanfaatkan melalui teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Rooftop* pada bangunan rumah tangga. PLTS *Rooftop*

merupakan sistem pembangkit listrik yang menggunakan panel surya yang dipasang di atap bangunan untuk menghasilkan energi listrik [3].



Gambar 1. PLTS *Rooftop*

Penerapan PLTS *Rooftop* rumah tangga memiliki beberapa keuntungan, antara lain mengurangi tagihan listrik bulanan, meningkatkan kemandirian energi, mengurangi emisi karbon, serta mendukung program pemerintah dalam pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem PLTS *Rooftop* 4 kWp dapat menghasilkan energi listrik yang cukup untuk memenuhi sebagian besar kebutuhan listrik rumah tangga menengah di Indonesia [4].

Kebanyakan penelitian atau laporan implementasi teknis skala kecil selama ini memiliki keterbatasan fokus [5]. Umumnya, evaluasi hanya berfokus pada penurunan biaya listrik instan setelah pemasangan. Oleh karena itu, diperlukan analisis kelayakan ekonomi yang lebih komprehensif seperti *Return on Investment* (ROI), *Net Present Value* (NPV), dan *Payback Period* dengan mempertimbangkan biaya degradasi efisiensi panel surya serta biaya penggantian baterai atau *inverter* di masa depan [6], [7].

Selain itu, rancangan PLTS pada umumnya cenderung menggunakan perhitungan beban rata-rata atau statis. Padahal, diperlukan analisis mengenai fluktuasi beban dinamis, khususnya pola konsumsi listrik pesantren yang berbeda dari rumah tangga biasa (seperti puncak pemakaian pada waktu subuh, magrib, dan isya) dikaitkan dengan kurva *intermittency* cuaca di wilayah Rumpin, Bogor. Evaluasi penerapan juga sering kali berhenti pada tahap instalasi dan edukasi awal. Efektivitas manajemen perawatan (*maintenance*) berbasis komunitas lokal tanpa pendampingan ahli secara berkelanjutan serta dampaknya terhadap *lifetime* komponen teknis PLTS perlu dikaji lebih lanjut. Dari segi regulasi, analisis dampak implementasi aturan terbaru mengenai pembatasan kapasitas ekspor listrik PLTS *Rooftop* ke jaringan PLN juga sangat menentukan keekonomian tarif listrik di lingkungan institusi sosial dan keagamaan [5], [8].

Keutamaan kegiatan "Implementasi PLTS *Rooftop* sebagai Solusi Energi Mandiri Hemat Biaya bagi Rumah Tangga di Ponpes Riyadhul Awamil, Rumpin" terletak pada kombinasi aspek teknis, lokasional, dan sasaran sosialnya. Metode pelatihan pemeliharaan PLTS diberikan kepada komunitas santri agar dididik menjadi operator mandiri. Hal ini mengubah peran pesantren dari sekadar konsumen energi menjadi pengelola energi bersih. Pengujian performa PLTS *Rooftop* berbasis pada data cuaca dan insolasi matahari spesifik wilayah Bogor Barat yang dikenal memiliki curah hujan tinggi, sehingga memberikan data empiris riil mengenai efisiensi panel surya di area *high-rainfall*. Penerapan teknologi difokuskan pada rumah tangga di lingkungan pesantren guna menjembatani kebutuhan domestik pengajar atau pengelola dengan pusat aktivitas santri.

Skema ini membuktikan bahwa investasi PLTS skala kecil mampu memberikan ruang fiskal (penghematan anggaran) bagi operasional dakwah pesantren. Studi kasus tunggal yang bersifat spesifik

lokasi ini berfungsi sebagai model replikasi dan standarisasi tekno-ekonomi PLTS *Rooftop* untuk diadopsi secara massal oleh pondok pesantren lain di Jawa Barat yang memiliki karakteristik finansial dan geografis serupa [5]. Berdasarkan latar belakang tersebut, kegiatan ini dilakukan untuk menganalisis implementasi PLTS *Rooftop* sebagai solusi energi mandiri hemat biaya bagi rumah tangga di sekitar pesantren.



Gambar 2. Model Replikasi dan Standarisasi PLTS Rooftop

METODE PELAKSANAAN

Studi Literatur

Tahap ini merupakan fondasi teoretis untuk mengumpulkan data sekunder, regulasi, dan teknologi komponen PLTS yang berlaku. Pengumpulan dan analisis informasi dilakukan dari jurnal ilmiah, buku teks, dokumen regulasi (seperti aturan *net-metering* PLN jika menggunakan sistem *on-grid*), serta spesifikasi teknis manufaktur komponen (panel surya, *inverter*, dan baterai). Studi literatur juga mencakup pengumpulan data meteorologi sekunder seperti radiasi harian matahari (*Solar Irradiance*) di lokasi penelitian melalui basis data global seperti NASA POWER atau perangkat lunak meteorologi [9].

Observasi Kebutuhan Listrik Rumah Tangga

Tahap pengumpulan data primer dilakukan langsung dari objek penelitian untuk menentukan profil beban listrik melalui pendataan peralatan elektronik harian. Data yang dicatat meliputi jenis alat elektronik (lampu, AC, kulkas, TV), daya nominal (Watt), jumlah unit, dan durasi operasional harian (jam/hari). Hasil dari akumulasi data ini berupa profil konsumsi energi harian dalam satuan *Watt-hour* (Wh) atau *kilowatt-hour* (kWh) yang menjadi acuan utama dalam penentuan ukuran sistem [10].

Perancangan Kapasitas PLTS

Tahap rekayasa teknis bertujuan menentukan spesifikasi dan konfigurasi seluruh komponen sistem berdasarkan data beban hasil observasi. Peneliti menghitung kapasitas komponen menggunakan rumus matematika atau bantuan perangkat lunak simulasi seperti PVSyst, Helioscope, atau RETScreen [11].

Perancangan komponen utama meliputi penentuan kapasitas panel surya (*Watt-peak* / Wp) yang dihitung dari kebutuhan energi harian dibagi nilai *Equivalent Sun Hours* (ESH) setempat serta memperhitungkan faktor rugi-rugi daya (*system losses*). Selain itu, kapasitas *inverter* ditentukan berdasarkan total beban puncak (Watt) yang beroperasi secara simultan untuk mencegah *overload*. Jika menggunakan sistem *off-grid* atau *hybrid*, kapasitas baterai (*Ampere-hour* / Ah) juga dihitung berdasarkan kebutuhan cadangan energi untuk malam hari atau saat cuaca mendung (*autonomy days*).

Analisis Teknis dan Ekonomi

Tahap akhir dilakukan untuk mengevaluasi kinerja operasional sistem dan kelayakan finansial dari investasi PLTS. Evaluasi teknis mencakup total energi listrik tahunan yang dihasilkan oleh PLTS (kWh/tahun), efisiensi sistem, *Performance Ratio* (PR), serta potensi penurunan emisi gas rumah kaca. Sementara itu, kelayakan finansial investasi jangka panjang dengan siklus hidup 20–25 tahun dihitung menggunakan beberapa parameter ekonomi utama, yaitu *Net Present Value* (NPV) untuk mengukur nilai bersih investasi saat ini, *Internal Rate of Return* (IRR) untuk mengetahui tingkat pengembalian modal internal, *Payback Period* (PBP) untuk menghitung durasi pengembalian modal awal melalui penghematan tagihan listrik, serta *Levelized Cost of Energy* (LCOE) guna menentukan biaya rata-rata per kWh energi yang dihasilkan.

Data Beban Listrik Rumah Tangga

Tabel 1. Konsumsi Energi Listrik Rumah Tangga

No	Peralatan	Daya (W)	Jumlah	Lama Pemakaian (Jam)	Energi (Wh/hari)
1	Lampu LED	15	8	8	960
2	Televisi	80	1	6	480
3	Kulkas	150	1	24	3.600
4	Penanak Nasi (<i>Rice Cooker</i>)	300	1	3	900
5	Mesin Cuci	350	1	1	350
6	Pompa Air	250	1	2	500
7	Pengondisi Udara (AC)	500	1	6	3.000
8	Setrika	300	3	5	4.500
9	Komputer PC	100	5	12	6.000
10	Laptop	60	2	5	600
Total					20.890

Berdasarkan hasil pendataan seluruh peralatan listrik pada Tabel 1, akumulasi total konsumsi energi harian rumah tangga tersebut adalah sebesar 20.890 Wh/hari atau setara dengan 20,9 kWh/hari. Nilai ini yang selanjutnya digunakan sebagai acuan dasar dalam perhitungan kapasitas komponen PLTS.

Perhitungan Kapasitas PLTS

Kapasitas energi PLTS dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$P = E / H \times \eta \dots\dots\dots (1)$$

dengan P menyatakan kapasitas PLTS (kWp), E merupakan kebutuhan energi harian (kWh), H adalah intensitas radiasi matahari harian (jam), dan η menunjukkan efisiensi sistem.

Dengan memasukkan nilai variabel $E = 20,9 \text{ kWh}$, $H = 4,5 \text{ jam}$, dan $\eta = 0,8$, diperoleh kebutuhan daya sebesar $P = 3,63 \text{ kWp}$. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dipilih kapasitas standar sistem sebesar 3,63 kWp.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konfigurasi Sistem PLTS *Rooftop*

Rincian konfigurasi sistem PLTS *Rooftop* dengan kapasitas 3,63 kWp disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Sistem PLTS *Rooftop*

Komponen	Spesifikasi
Panel Surya	6 unit $\times$ 550 Wp
Total Kapasitas	3,63 kWp
Inverter	1 unit 3 kW
Sistem	<i>Off-Grid</i>
Luas Atap	$\pm 20 \text{ m}^2$

Produksi Energi Listrik

Produksi energi harian PLTS dihitung dengan mengacu pada Persamaan 1. Dengan memasukkan nilai variabel $P = 3,63 \text{ kWp}$, $H = 4,5 \text{ jam}$, dan $\eta = 0,8$, diperoleh produksi energi harian sebesar $E = 13,6 \text{ kWh/hari}$. Dengan demikian, total produksi energi listrik bulanan adalah sebesar 391,68 kWh/bulan. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa PLTS *rooftop* 3,63 kWp mampu menghasilkan sekitar 391,68 hingga 420 kWh per bulan pada rumah tangga Indonesia [12].

Analisis Biaya Investasi

Biaya investasi awal (*capital expenditure*) untuk pembangunan sistem PLTS Rooftop berkapasitas 3,63 kWp disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Biaya Investasi Sistem PLTS

Komponen	Biaya
Panel Surya	Rp24.000.000
Inverter	Rp10.000.000
Instalasi & Kabel	Rp6.000.000
Struktur <i>Mounting</i>	Rp5.000.000
Proteksi Sistem	Rp3.000.000
Total Investasi	Rp48.000.000

Analisis Penghematan

Dengan menggunakan acuan tarif listrik PLN rumah tangga sebesar Rp1.444,7 / kWh, estimasi penghematan biaya listrik bulanan dari produksi energi sistem adalah sebesar $391,68 \times 1.444,7 = \text{Rp}565.860/\text{bulan}$. Dari akumulasi tersebut, total penghematan biaya listrik yang diperoleh dalam satu tahun mencapai $\text{Rp}565.860 \times 12 = \text{Rp}6.790.321/\text{tahun}$.

Analisis Return on Investment (ROI)

Periode pengembalian modal dihitung dengan membagi total biaya investasi terhadap penghematan tahunan ($\text{ROI} = \text{Investasi}/\text{Penghematan Tahunan}$). Berdasarkan perhitungan, diperoleh waktu pengembalian investasi selama 7,07 tahun. Hasil ini sejalan dengan berbagai penelitian PLTS rumah tangga di Indonesia yang menunjukkan periode pengembalian modal sekitar 7 hingga 10 tahun, tergantung pada kapasitas sistem dan tingkat konsumsi energi rumah tangga [3].

Dampak Lingkungan

Penggunaan PLTS *rooftop* dapat mengurangi emisi karbon akibat penggunaan listrik berbasis batu bara. Dengan menggunakan faktor emisi sebesar 0,85 kg CO₂/kWh, potensi pengurangan emisi tahunan yang dihasilkan adalah $391,68 \times 12 \times 0,85 = 3.995 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$ atau setara dengan penurunan emisi sebesar $\approx 4 \text{ ton CO}_2$ per tahun.

Kondisi Pengetahuan Mitra Sebelum dan Sesudah Kegiatan PkM

Sebelum pelaksanaan PkM, pengetahuan dan keterampilan mitra mengenai teknologi PLTS *rooftop* masih terbatas. Mitra belum memahami secara menyeluruh prinsip kerja panel surya, komponen-komponen utama PLTS, proses konversi energi matahari menjadi energi listrik, pemanfaatan energi yang dihasilkan, serta faktor-faktor yang dapat memengaruhi kinerja sistem. Selain itu, mitra belum memiliki pengalaman secara langsung dalam pengoperasian maupun pemeliharaan PLTS *rooftop*. Kondisi tersebut menyebabkan potensi pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi alternatif belum dapat dimanfaatkan secara optimal dalam memenuhi kebutuhan listrik sehari-hari.

Setelah pelaksanaan PkM melalui kegiatan implementasi, edukasi, praktik, dan pendampingan, terjadi peningkatan pengetahuan dan keterampilan mitra dalam memahami serta mengelola teknologi PLTS *rooftop*. Mitra mulai memahami fungsi dan keterkaitan berbagai komponen sistem, seperti panel surya, *inverter*, sistem proteksi, kabel, dan komponen pendukung lainnya. Mitra juga memperoleh pemahaman mengenai prinsip penggunaan energi secara efisien, pemantauan kondisi sistem, serta aspek dasar yang perlu diperhatikan agar PLTS dapat beroperasi dengan baik. Dari aspek keterampilan, mitra telah memperoleh pengalaman dasar dalam mengoperasikan sistem, memantau kinerja PLTS, menjaga kebersihan panel surya, serta mengenali kondisi sederhana yang perlu diperhatikan dalam pengoperasian dan pemeliharaan sistem.

Selain peningkatan pengetahuan dan keterampilan, kegiatan PkM juga memberikan perubahan terhadap kesadaran mitra dalam pemanfaatan energi terbarukan. Sebelum PkM, kebutuhan energi listrik mitra masih didominasi oleh penggunaan listrik konvensional dari jaringan PLN dan pemanfaatan energi matahari belum menjadi bagian dari pengelolaan energi sehari-hari. Setelah PkM, mitra memperoleh pengalaman langsung dalam memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi listrik. Pengalaman tersebut meningkatkan pemahaman bahwa energi surya dapat menjadi sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan secara efisien dan berkelanjutan. Kondisi ini diharapkan dapat mendorong terbentuknya kebiasaan penggunaan energi yang lebih hemat serta meningkatkan kepedulian terhadap pemanfaatan energi terbarukan.

Dari aspek kemandirian energi, sebelum pelaksanaan PkM mitra masih memiliki tingkat ketergantungan yang tinggi terhadap pasokan listrik PLN. Setelah implementasi PLTS *rooftop*, mitra mulai memiliki sumber pembangkit listrik alternatif yang memanfaatkan energi matahari. PLTS dapat menghasilkan energi listrik secara mandiri ketika tersedia penyinaran matahari yang memadai, sehingga sebagian kebutuhan energi mitra dapat dipenuhi melalui sumber energi terbarukan tersebut. Meskipun PLTS *rooftop* belum sepenuhnya menggantikan pasokan listrik PLN, keberadaannya telah menjadi langkah awal dalam mengurangi ketergantungan terhadap jaringan listrik eksternal sekaligus meningkatkan kemandirian energi mitra.

Dengan demikian, secara keseluruhan pelaksanaan PkM menghasilkan perubahan positif pada mitra, yaitu: dari kondisi pengetahuan dan keterampilan yang masih terbatas menjadi memiliki pengetahuan dan keterampilan dasar dalam pengoperasian serta pemeliharaan PLTS *rooftop*; dari rendahnya pemanfaatan energi terbarukan menjadi meningkatnya kesadaran terhadap penggunaan energi surya; serta dari ketergantungan yang tinggi terhadap listrik PLN menjadi mulai memiliki sumber energi listrik alternatif secara mandiri. Perubahan tersebut menjadi dasar bagi keberlanjutan pemanfaatan PLTS *rooftop* di lingkungan mitra serta mendukung terciptanya pengelolaan energi yang lebih efisien, hemat biaya, mandiri, dan berkelanjutan.

Tabel 4. Perbedaan Kondisi Mitra Sebelum dan Sesudah PkM

No	Aspek	Sebelum PkM	Sesudah PkM	Perubahan
1	Sumber energi	100% bergantung pada jaringan PLN	PLN + PLTS <i>rooftop</i>	Memiliki sumber energi alternatif
2	Pemanfaatan atap	Belum dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik	Digunakan sebagai lokasi panel surya	Potensi atap menjadi produktif
3	Biaya listrik	Seluruh kebutuhan listrik dibebankan pada konsumsi PLN	Sebagian kebutuhan dapat dipenuhi PLTS	Berpotensi terjadi penghematan

No	Aspek	Sebelum PkM	Sesudah PkM	Perubahan
4	Pemanfaatan energi surya	Belum tersedia	Energi matahari dikonversi menjadi listrik	Energi terbarukan mulai dimanfaatkan
5	Pengetahuan PLTS	Terbatas	Memahami dasar PLTS dan komponennya	Pengetahuan meningkat
6	Keterampilan teknis	Belum memiliki pengalaman pengelolaan PLTS	Memiliki keterampilan dasar pengoperasian dan pemeliharaan	Kapasitas mitra meningkat
7	Kesadaran hemat energi	Belum menjadi fokus utama	Mulai memahami pentingnya efisiensi energi	Kesadaran meningkat
8	Kemandirian energi	Rendah	Mulai memiliki sumber listrik mandiri	Ketergantungan pada PLN berkurang
9	Kepedulian lingkungan	Pemanfaatan energi terbarukan belum optimal	Mulai menerapkan energi surya	Orientasi energi lebih berkelanjutan

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa implementasi PLTS *rooftop* rumah tangga mampu menjadi solusi energi mandiri yang efektif dan ramah lingkungan. Sistem PLTS *rooftop* 3,63 kWp dapat menghasilkan energi sekitar 392 hingga 420 kWh per bulan, sehingga menghasilkan penghematan biaya listrik mencapai Rp500.000 hingga Rp750.000 per bulan tergantung pada pola konsumsi harian. Dengan nilai investasi awal sebesar Rp48.000.000, sistem ini memiliki periode pengembalian modal sekitar 7 hingga 8 tahun serta berpotensi mengurangi emisi karbon hingga 4 ton CO₂ per tahun.

Secara keseluruhan, perbedaan utama kondisi mitra sebelum dan sesudah PkM terletak pada perubahan dari kondisi yang sebelumnya hanya bergantung pada listrik PLN dan belum memanfaatkan energi surya, menjadi kondisi yang telah memiliki dan memanfaatkan PLTS *rooftop* sebagai sumber energi alternatif. Selain perubahan teknologi, kegiatan PkM juga menghasilkan peningkatan kapasitas mitra dalam memahami, mengoperasikan, dan memelihara sistem PLTS.

Dengan adanya perubahan tersebut, program PkM tidak hanya memberikan instalasi fisik berupa PLTS *rooftop*, tetapi juga memberikan dampak pada aspek ekonomi melalui potensi penghematan biaya listrik, aspek teknologi melalui penerapan energi surya, aspek sumber daya manusia melalui peningkatan pengetahuan dan keterampilan, serta aspek lingkungan melalui peningkatan pemanfaatan energi terbarukan. Kondisi akhir ini menjadi dasar bagi mitra untuk mengembangkan pengelolaan energi yang lebih mandiri, efisien, dan berkelanjutan.

Dengan demikian, penggunaan PLTS *rooftop* layak diterapkan pada sektor rumah tangga untuk mendukung pengembangan energi terbarukan dan efisiensi energi nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Wasono *et al.*, “Penerapan Rancang Bangun PLTS Sistem Off-Grid Sebagai Kendali Penyiraman Otomatis Berbasis PLC Pada Perkebunan Widuri Di Desa Wonokerto, Kecamatan Bancak, Kabupaten Semarang,” *J. Pengabd. Kpd. Masy. Nusantara*, vol. 5, no. 2, pp. 1985–1989, 2024.
- [2] P. Harahap, M. Adam, and B. Oktrialdi, “Optimasi Kapasitas Rooftop Pv Off Grid Energi Surya Berakselerasi di Tengah Pandemi Covid-19 untuk Diimplemtasikan pada Rumah Tinggal,” *Resist. (Elektronika Kendali Telekomun. Tenaga List. Komputer)*, vol. 5, no. 1, pp. 31–38, 2022, doi: <https://doi.org/10.24853/resistor.5.1.31-38>.
- [3] Z. T. H. Hamdani, “Analisis Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Skala Rumah Tangga,” *J. Electr. Syst. Control Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 65–71, 2020.

- [4] I. K. B. K. Putra, I. W. S. Yasa, W. Utama, and N. G. Adrama, "Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Rumah Tangga," *JTE UNIBA (Jurnal Tek. Elektro UNIBA)*, vol. 10, no. 1, pp. 690–697, 2025, doi: <https://doi.org/10.36277/jteuniba.v10i1.1298>.
- [5] P. H. D. Prima, "PLTS Rooftop On Grid (PLTS Atap / Surya Atap / Solar Rooftop / PV Roof)." Indonesia. [Online]. Available: <https://www.hexamitra.co.id/plts-rooftop-surya-atap-ongrid.php>
- [6] SUN Energy, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)." Indonesia. [Online]. Available: <https://sunenergy.id/pembangkit-listrik-tenaga-surya>
- [7] B. Prioritas, "3 Keuntungan Menggunakan Panel Surya bagi Bisnis dan Lingkungan." Indonesia, Jul. 03, 2024. [Online]. Available: <https://prioritas.bca.co.id/en/Berita/Ekonomi-Bisnis/2024/07/03/03/21/3-keuntungan-menggunakan-panel-surya-bagi-bisnis-dan-lingkungan>
- [8] A. M. Pal, S. Das, and N. B. Raju, "Designing of a Standalone Photovoltaic System for a Residential Building in Gurgaon, India," *Sustain. Energy*, vol. 3, no. 1, pp. 14–24, 2015.
- [9] J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4th ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.
- [10] R. Syahputra and I. Soesanti, "Renewable energy systems based on micro-hydro and solar photovoltaic for rural areas: A case study in Yogyakarta, Indonesia," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 472–490, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.01.015>.
- [11] R. A. Messenger and H. "Amir" Abtahi, *Photovoltaic Systems Engineering*, 5th ed. Boca Raton: CRC Press, 2024. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003470892>.
- [12] P. Gamonwet and S. Dhakal, "The assessment of the value of electricity saving and economic benefit to residential solar rooftop PV customer: The case of Thailand," *Energy Strateg. Rev.*, vol. 50, p. 101203, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101203>.