

Perencanaan Kebutuhan Energi Listrik PLTS *Hybrid-Off Grid* pada Kolam Budidaya Ikan Nila menggunakan *Recirculating Aquaculture System* (RAS)

¹Subairi, ²Machmud Effendy, ³Resi Dwi Jayanti Kartika Sari, ⁴Rahman Arifuddin, ⁵Muhammad Ali Ridlo

^{1,3,4,5} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Merdeka Malang

² Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Malang

¹subairi@unmer.ac.id, ²machmud@umm.ac.id, ³resi.sari@unmer.ac.id, ⁴rahman.arifuddin@unmer.ac.id,

⁵maliridlo12345@gmail.com,

Abstract - This study aims to design and analyze a Hybrid Off-Grid Solar Power Plant (PLTS) system to support the operation of Nile tilapia farming based on the Recirculating Aquaculture System (RAS) in Parangargo Village, Wagir District, Malang Regency. The location was chosen due to its high solar energy potential, with an average solar irradiation intensity of 4.5–5.2 kWh/m² per day. The research methodology includes identifying RAS electrical load requirements, calculating solar panel capacity, designing an energy storage system using VRLA batteries, and conducting economic analysis. The system is designed to meet a daily energy demand of 4,200 Wh with a solar panel capacity of 1,250 Wp and a battery capacity of 24V 400Ah. The hybrid off-grid configuration allows the PLTS to serve as the primary power source with the grid (PLN) as backup. The analysis results indicate that the system can provide a reliable and environmentally friendly power supply, with operational cost savings of approximately IDR 2.21 million per year and a payback period of around 11.7 years. The implementation of this system has the potential to reduce dependence on the grid, lower production costs, and enhance the operational efficiency of tilapia farming.

Keywords — PLTS; Hybrid Off-Grid; Recirculating Aquaculture; fish farming; Solar Cell

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Hybrid Off-Grid untuk mendukung operasional budidaya ikan nila berbasis *Recirculating Aquaculture System* (RAS) di Desa Parangargo, Kecamatan Wagir, Kabupaten Malang. Lokasi ini dipilih karena memiliki potensi energi surya tinggi, dengan rata-rata intensitas penyinaran 4,5–5,2 kWh/m² per hari. Metodologi penelitian mencakup identifikasi kebutuhan beban listrik RAS, perhitungan kapasitas panel surya, desain sistem penyimpanan energi menggunakan baterai VRLA, serta analisis keekonomian. Sistem dirancang untuk memenuhi kebutuhan energi harian sebesar 4.200 Wh dengan kapasitas panel surya 1.250 Wp dan baterai berkapasitas 24V 400Ah. Konfigurasi hybrid-off grid memungkinkan PLTS sebagai sumber utama dengan PLN sebagai cadangan. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem ini dapat menyediakan pasokan listrik yang andal dan ramah lingkungan, dengan penghematan biaya operasional ±Rp 2,21 juta per tahun dan periode pengembalian modal sekitar 11,7 tahun. Penerapan sistem ini berpotensi mengurangi ketergantungan pada PLN, menekan biaya produksi, dan meningkatkan efisiensi operasional budidaya ikan nila.

Kata Kunci— PLTS; Hybrid Off-Grid; RAS; Budidaya; Aquaculture

I. PENDAHULUAN

Budidaya ikan nila (*Oreochromis niloticus*) adalah salah satu bentuk kegiatan budidaya yang berkembang pesat dan diminati pembudidaya ikan air tawar di Indonesia. Sebagai komoditas perikanan air tawar yang memiliki nilai ekonomis tinggi, permintaan terhadap ikan nila terus meningkat sesuai dengan pertumbuhan penduduk dan kesadaran masyarakat akan pentingnya konsumsi protein hewani bagi kesehatan. Untuk menjawab tantangan tersebut, diperlukan sistem budidaya yang efisien, produktif, dan berkelanjutan. Salah satu sistem budidaya yang kini banyak dikembangkan adalah *Recirculating Aquaculture System* (RAS), yaitu sistem budidaya yang memungkinkan penggunaan air secara berulang melalui proses filtrasi mekanik dan biologis. Sistem ini terbukti mampu menghemat penggunaan air, mengontrol kualitas lingkungan kolam, serta meningkatkan kesehatan dan kepadatan tebar ikan [1][2].

Karena sistem RAS sangat bergantung pada suplay energi listrik untuk mengoperasikan berbagai komponen seperti pompa air, aerator, lampu hingga sistem kontrol otomatis. Ketersediaan suplay listrik ini menjadi tantangan tersendiri bagi pembudidaya karena kebutuhan listrik yang terus menerus. Untuk itu, penerapan sumber energi alternatif dan menjadi solusi strategis guna menjamin keberlangsungan sistem. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang potensial untuk mendukung sistem RAS secara mandiri. Indonesia, yang berada di garis khatulistiwa, memiliki potensi radiasi matahari yang tinggi sepanjang tahun, sehingga sangat ideal untuk pengembangan PLTS [3][4][5].

Sejumlah literatur telah menunjukkan efektivitas penggunaan PLTS dalam mendukung kegiatan akuakultur. Misalnya, Ullah et al. [6] dalam penelitiannya yang meneliti aquaponik bertenaga surya menekankan pentingnya integrasi sistem energi hijau untuk ketahanan pangan dan energi secara bersamaan. Kemudian, Xu et al. [7] mengkaji tantangan teknis dalam implementasi sistem energi terbarukan pada budidaya air dan menyarankan pendekatan hybrid untuk meningkatkan keandalan. Sementara itu, studi oleh Oladimeji et al. [8] menunjukkan bahwa sistem aerasi bertenaga surya secara signifikan mengurangi biaya operasional dan emisi karbon dalam budidaya ikan.

Handani et al. [9] mengembangkan sistem PLTS 500 Wp untuk mendukung sistem pemberian pakan ikan lele otomatis yang terbukti dapat beroperasi selama lebih dari 8 jam per hari. Gultom [10] merancang panel surya untuk menggerakkan pompa sirkulasi air kolam lele, menghasilkan efisiensi energi yang tinggi dan biaya operasional rendah. Jamiyanti et al. [11] menerapkan PLTS untuk mendukung sistem monitoring kualitas air yang terintegrasi dengan Internet of Things (IoT), sedangkan Panggabean [12] fokus pada suplai energi cadangan untuk aerator dan penerangan pada malam hari. Studi oleh Pratama dan Nurcahyo [13] menunjukkan kelayakan teknis dan ekonomis penggunaan PLTS untuk peternakan ikan hias skala rumah tangga.

Sementara itu, Mulyani et al. [14] melakukan analisis desain PLTS untuk sistem irigasi kolam terintegrasi yang dapat digunakan sebagai referensi awal perencanaan sistem budidaya berkelanjutan. Penelitian dari Susanto et al. [15] meninjau efisiensi penggunaan inverter dan sistem penyimpanan energi berbasis baterai untuk PLTS skala kecil di sektor perikanan. Di sisi lain, studi dari Lestari dan Suryadi [16] mengangkat aspek sosial-ekonomi dari adopsi teknologi energi terbarukan oleh petani ikan di pedesaan. Sihombing et al. [17] meneliti sistem kontrol otomatis untuk pompa dan aerator berbasis energi surya pada kolam nila di Sumatera Utara. Sedangkan Kurniawan et al. [18] menilai keandalan sistem PLTS dalam mendukung operasional hatchery ikan nila selama musim hujan.

Namun demikian, penelitian-penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada satu atau dua komponen sistem akuakultur dan belum membahas secara menyeluruh perencanaan energi listrik mandiri berbasis PLTS untuk sistem RAS. Padahal, sistem RAS memiliki kebutuhan energi yang banyak karena beroperasi selama 24 jam. Diperlukan pendekatan komprehensif yang mencakup analisis kebutuhan beban listrik harian, perencanaan kapasitas panel surya, penyimpanan energi melalui baterai, serta estimasi performa dalam berbagai kondisi cuaca. Selain itu, analisis keekonomian seperti waktu balik modal dan biaya operasional jangka panjang juga penting untuk mengukur kelayakan implementasi sistem ini. Penggunaan PLTS tidak hanya bertujuan untuk memastikan keberlanjutan suplai energi pada sistem RAS, tetapi juga secara langsung berkontribusi terhadap pengurangan biaya operasional atau biaya produksi. Dengan meminimalkan ketergantungan pada listrik PLN yang tarifnya terus mengalami kenaikan, pelaku budidaya dapat meningkatkan efisiensi ekonomi usahanya dalam jangka panjang.

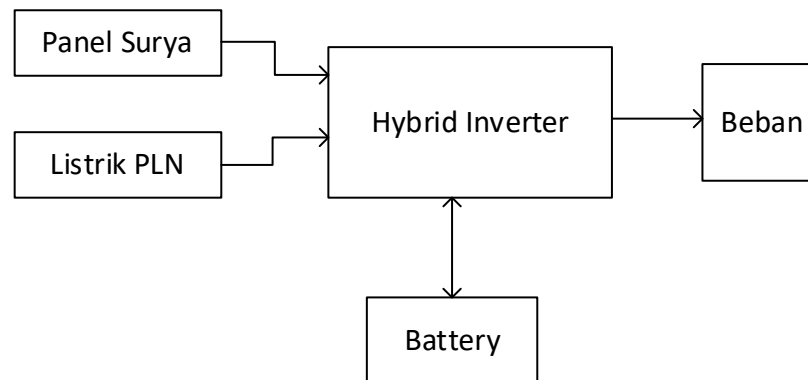
dari uraian diatas maka penelitian ini akan difokuskan pada perencanaan kebutuhan energi listrik mandiri untuk kolam ikan nila berbasis RAS dengan system PLTS. Dengan mempertimbangkan kondisi iklim tropis Indonesia, variasi radiasi matahari harian, serta kebutuhan energi sistem RAS yang berjalan 24 jam nonstop, maka dibutuhkan desain PLTS yang andal, efisien, dan ekonomis. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi teknis dan praktis bagi pelaku budidaya ikan, pengembang teknologi, serta pemerintah dalam mendorong implementasi energi terbarukan di sektor perikanan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Desa Parangargo, Kecamatan Wagir, Kabupaten Malang, yang memiliki potensi tinggi terhadap radiasi matahari dan aktivitas budidaya ikan air tawar. Tujuan dari metode ini adalah untuk merancang sistem PLTS berbasis *hybrid-off grid* guna mendukung sistem *Recirculating Aquaculture System* (RAS) secara mandiri dan efisien.

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah identifikasi sistem RAS yang digunakan dalam kolam budidaya ikan nila. Proses ini melibatkan pengumpulan data teknis dari komponen utama RAS seperti pompa sirkulasi, filter mekanik, biofilter, aerator, dan sistem kontrol otomatis. Setiap komponen dicatat daya listriknya (dalam watt) dan waktu operasional per hari untuk mengetahui kebutuhan beban secara akurat.

Setelah itu, dilakukan estimasi konsumsi energi listrik harian. Estimasi ini mempertimbangkan faktor waktu operasional, efisiensi masing-masing peralatan, dan variasi beban saat penggunaan puncak. Perhitungan dilakukan dalam satuan kilowatt-hour (kWh) per hari sebagai dasar perencanaan sistem PLTS.



Gambar 1. Merupakan diagram blok sistem PLTS Hybrid off grid dari sistem RAS

Langkah selanjutnya adalah perancangan sistem PLTS berbasis hybrid-off grid, yaitu sistem yang menggabungkan tenaga surya dan pasokan listrik dari jaringan PLN secara otomatis melalui inverter hybrid seperti pada Gambar 1. Perencanaan sistem meliputi: Penentuan kapasitas panel surya berdasarkan data radiasi harian rata-rata di lokasi penelitian, Perancangan kapasitas baterai sebagai cadangan energi untuk malam hari atau saat cuaca mendung, Spesifikasi inverter hybrid yang mampu mengelola sumber daya dari panel surya dan PLN secara efisien, Pengaturan kontrol otomatis untuk prioritas penggunaan daya dari PLTS terlebih dahulu sebelum beralih ke PLN.

Desain sistem mempertimbangkan kondisi iklim lokal, intensitas matahari di wilayah tropis, serta kebutuhan energi yang kontinyu selama 24 jam. Data radiasi matahari harian diperoleh dari global solar atlas [19] sebagai referensi.

Setelah sistem dirancang, dilakukan simulasi kinerja PLTS dan sistem RAS dengan bantuan perangkat lunak seperti PVsyst untuk memvalidasi performa sistem dalam kondisi nyata. Simulasi mencakup evaluasi performa energi, ketersediaan daya cadangan, dan efektivitas sistem hybrid dalam mengatasi variabilitas cuaca.

Tahap akhir adalah analisis keekonomian dan dampak lingkungan, meliputi: Perhitungan biaya investasi awal sistem PLTS hybrid, Estimasi penghematan biaya listrik per bulan dan waktu balik modal (payback period), Analisis emisi karbon yang berhasil dikurangi jika dibandingkan dengan sistem full PLN, Aspek keberlanjutan dari sisi ekonomi bagi pembudidaya lokal.

Identifikasi Beban Listrik

Sistem RAS yang digunakan terdiri dari dua kolam budidaya dengan diameter masing-masing 2 meter. Untuk menjamin sirkulasi dan aerasi yang optimal, digunakan pompa submersible berdaya 125 W, serta aerator 45 W yang menyala selama 24 jam penuh. Selain itu, digunakan sistem monitoring otomatis untuk suhu dan kualitas air sebesar 5 W. Identifikasi komponen listrik sistem RAS adalah sebagai berikut:

Pompa air: 125 W, 24 jam/hari

Aerator: 45 W, 24 jam/hari

Sistem monitoring dan sensor: 5 W, 24 jam/hari

Total kebutuhan energi harian dihitung menggunakan rumus (1)

$$E_{total} = \sum_{i=1}^n [(P_i \cdot t_i)] \quad (1)$$

Di mana:

E_{total} = total energi harian (Wh)

P_i = daya beban ke-i (W)

t_i = durasi operasional harian beban ke-i (jam)

Tabel 1. Identifikasi Kebutuhan Listrik Sistem RAS

No	Peralatan	Daya (W)	Durasi (jam/hari)	Energi Harian (Wh)
1	Pompa air	125	24	3000
2	Aerator	45	24	1080
3	Sistem Monitoring	5	24	120
Total				4200

Tabel 1 menunjukkan bahwa kebutuhan harian sistem RAS yang akan dibangun membutuhkan daya sebesar 4,2 kWh dalam sehari, hal ini akan berpengaruh pada sistem perancangan kebutuhan panel surya.

Perhitungan Kapasitas Panel Surya

Kapasitas panel surya dihitung berdasarkan kebutuhan energi harian dan rata-rata intensitas penyinaran matahari (2).

$$P_{panel} = E_{total} / (H_{sun} \cdot PR) \quad (2)$$

H_{sun} = Jam Harian Matahari

PR = Performance Rasio Solar Panel

Desain Sistem Baterai

Sistem baterai menggunakan baterai jenis VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*), yang umum digunakan untuk aplikasi off-grid karena karakteristik tertutup, tidak memerlukan perawatan intensif.

Baterai dirancang untuk menyediakan cadangan daya selama 1 hari:

$$C_{bat} = (E_{total}) / (DOD \cdot \eta) \quad (3)$$

$DOD = 0,5$ (*depth of discharge* untuk VRLA)

$\eta = 0.85$ (efisiensi sistem VRLA).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi Produksi Energi PLTS Bulanan

Simulasi ini menggunakan data rata-rata intensitas iradiasi bulanan di Desa Parangargo (Malang) berdasarkan data Global solar atlas, yang secara umum berkisar 3,9 kWh/m²/hari dari rata-rata tahunan. Asumsi digunakan panel total 1250 Wp, dengan PR (Performance Ratio) = 0,75. Gambar 2 merupakan grafik hasil daya yang bisa dibangkitkan solar panel dengan direct normal irradiation.



Gambar 2. Rata-rata iradiasi matahari perbulan

Dari gambar 2. dan Tabel 1. terlihat bahwa bahwa hasil iradiasi sinar matahari paling tinggi terjadi pada bulan juli hingga agustus, dan rata-rata terlihat surplus kecuali dibulan desember dan februari, yang memang intensitas hujan sedang tinggi[20], Namun, pada bulan Desember dan februari yang memiliki iradiasi lebih rendah, sistem perlu mendapat dukungan dari sumber cadangan (grid PLN) karena produksi mendekati batas minimum kebutuhan harian. Oleh karena itu, sistem hybrid-off grid menjadi solusi ideal yang menjamin ketersediaan daya secara terus-menerus

Tabel 1. Data Iradiasi Matahari dalam 1 Tahun

Bulan	Iradiasi Harian (kWh/m ²)	Energi Harian (Wh)	Energi Bulanan (Wh)
Januari	4.8	4500.00	139,500
Februari	5.0	4687.50	131,250
Maret	5.2	4875.00	151,125
April	5.3	4968.75	149,062
Mei	5.6	5250.00	162,750
Juni	5.1	4781.25	143,438
Juli	5.3	4968.75	153,094
Agustus	5.5	5156.25	159,844
September	5.4	5062.50	151,875
Oktober	5.2	4875.00	151,125
November	5.0	4687.50	140,625
Desember	4.7	4406.25	136,593
Rata-rata	5.17	4850 Wh/hari	1.770.281 Wh/tahun

Kebutuhan Panel Surya dan Baterai

Kapasitas panel surya dihitung berdasarkan kebutuhan energi harian dan rata-rata intensitas penyinaran matahari berdasarkan rumus (2) sebagai berikut:

Daya total harian adalah sebesar 4200 Wh dengan rencana menggunakan solar panel 250Wp maka kebutuhan solar adalah

$$P_{\text{panel}} = 4200 / (5 \times 0,75) = 1120 \text{ Wp}$$

Dengan menggunakan panel 250 Wp, maka jumlah panel yang dibutuhkan:

$$N_{\text{panel}} = 1120 / 250 = 4,48 = 5$$

Sehingga total kapasitas sistem panel surya adalah 1250Wp, kapasitas ini sudah lebih dari cukup untuk memenuhi kebutuhan energi harian 4200 Wh dengan margin cadangan saat penyinaran kurang optimal.

Untuk kebutuhan baterai dapat dihitung menggunakan rumus (3) sebagai berikut:

$$C_{\text{bat}} = 4200 / (0,5 \times 0,85) = 9882 \text{ Wh}$$

$$C_{\text{Ah}} = 9882 / 24 \text{ V} = 412 \text{ Ah}$$

Dengan memakai konfigurasi 4 unit baterai 12V 200Ah yang disusun secara seri dan paralel untuk mendapatkan tegangan 24V dengan kapasitas minimal 400 Ah.

Setelah mengetahui kebutuhan solar panel dan baterai maka langkah selanjutnya adalah menentukan jenis inverter dan solar charge controller

$$\text{Jumlah panel: } 5 \text{ unit} \times 250 \text{ Wp} = 1250 \text{ Wp}$$

Tegangan sistem: 24 Volt

Jenis baterai: VRLA

Inverter: Hybrid 24V, include MPPT + ATS

Rumus Menghitung Arus Maksimum dari Panel Surya:

$$I_{\text{sc}} = P / V_{\text{sistem}} \times \text{Safetyfactor} \quad (4)$$

$$I_{\text{sc}} = 1250 / 24 \times 1,25$$

Safety factor = 1.25 (25% cadangan dari arus maksimum)

$$I_{\text{sc}} = 65,1 \text{ A}$$

Maka, diperlukan MPPT solar charge controller minimal 24V 70A, atau menggunakan inverter hybrid yang memiliki built-in MPPT 24V/80A untuk mendukung sistem ini secara optimal.

Menghitung biaya investasi solar panel

Pembuatan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Hybrid-Off Grid* pada kolam ikan nila dengan sistem RAS di Desa Parangargo, Kecamatan Wagir, memerlukan perencanaan yang tepat terhadap komponen-komponen utama agar sistem dapat beroperasi secara optimal dan efisien. Sistem ini dirancang untuk memanfaatkan energi matahari sebagai sumber daya utama, dengan dukungan dari sumber listrik cadangan PLN melalui fitur *Automatic Transfer Switch* (ATS) pada inverter *hybrid*. Tabel 2 merupakan analisis kebutuhan minimal dalam membangun PLTS hybrid -off grid untuk bisa beroperasi normal dengan penyangga PLTS diletakkan pada atap bangunan.

Tabel 2. Kebutuhan Komponen Solar Panel Hybrid Off-Grid

Nama Barang	Jumlah	Harga	Total Harga
Solar panel 250WP mono	5	Rp 1.500.000.00	Rp 7.500.000.00
Baterai 12V 200Ah	4	Rp 4,500,000.00	Rp 18,000,000.00
Kabel dan Instalasi	1	Rp 500,000.00	Rp 500,000.00
Total			Rp26,000,000.00

Analisis Keekonomian sistem RAS PLTS Hybrid-Offgrid

Dari perbandingan antara total energi produksi PLTS dan kebutuhan energi sistem RAS, diperoleh efisiensi penggunaan energi yang optimal. Berdasarkan estimasi biaya instalasi sistem PLTS hybrid-off grid sekitar Rp 26.000.000 maka nilai keekonomiannya dapat dihitung sebagai berikut:

PLTS diasumsikan menggantikan 100% konsumsi listrik (kasus optimis, sistem *hybrid* menggunakan PLN hanya sebagai cadangan).

Maka perhitungan penghematan tahunan sistem ini adalah:

Konsumsi RAS = 4,2 kWh/hari = 1.533 kWh/tahun.

Tarif listrik asumsi = Rp 1.444,70 / kWh.

Penghematan tahunan = $1.533 \times 1.444,70 = \text{Rp } 2.214.725$ / tahun.

Penghematan bulanan $\approx \text{Rp } 184.560$ / bulan.

Dengan investasi Rp 26.000.000, Payback Period $\approx 11,7$ tahun.

Dengan investasi Rp 26.000.000, pemilik usaha akan mendapatkan penghematan sekitar Rp 2,21 juta per tahun, sehingga modal akan kembali dalam sekitar 11,7 tahun apabila tarif listrik dan pola konsumsi tidak berubah. Perhitungan ini konservatif karena tidak memasukkan potensi kenaikan tarif listrik tahunan, insentif/subsidi, nilai sisa komponen (resale) atau manfaat non-moneter seperti pengurangan emisi CO₂.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Hybrid Off-Grid* pada sistem budidaya ikan nila berbasis *Recirculating Aquaculture System* (RAS) mampu menyediakan pasokan energi listrik yang andal, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Secara teknis, sistem ini dirancang menggunakan inverter hybrid dengan solar charge controller terintegrasi dan baterai VRLA untuk menjamin kontinuitas suplai listrik, terutama saat radiasi surya rendah atau pada malam hari. Perhitungan kapasitas komponen menunjukkan spesifikasi yang optimal untuk efisiensi dan umur pakai sistem.

Dari sisi ekonomi, dengan total investasi sebesar Rp 26.000.000, PLTS ini memberikan penghematan biaya operasional listrik sebesar $\pm \text{Rp } 2.214.725$ per tahun, dengan simple payback period sekitar 11,7 tahun. Menandakan bahwa proyek ini layak secara finansial untuk diaplikasikan. Selain itu, penggunaan PLTS dapat mengurangi ketergantungan terhadap listrik PLN, menekan biaya produksi, dan meningkatkan efisiensi operasional budidaya ikan.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Timmons and J. Ebeling, *Recirculating Aquaculture*, 5th ed., Ithaca: Cayuga Aqua Ventures, 2021.
- [2] Y. M. Cholily, M. Effendy, R. F. Indrawan, S. Subairi, R. R. Hakim, and B. I. Suwandayani, "Diseminasi pakan mandiri pada budidaya ikan berbasis teknologi *Recirculating Aquaculture System* (RAS) berbantuan solar cell di Desa Parangargo," *Community Development Journal: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 5, no. 5, pp. 10252-10260, 2024.

-
- [3] A. Elsaid, M. Sayed, M. Abdelkareem, M. Baroutaji, and A. Olabi, "Environmental impact of solar energy systems: A review," *Science of the Total Environment*, vol. 751, p. 141989, Feb. 2021.
 - [4] E. F. J. Edas, N. Nachrowie, and S. Subairi, "Power Manajemen Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan SCADA," *Blend Sains Jurnal Teknik*, vol. 2, no. 4, pp. 298–302, May 2024.
 - [5] S. R. D. Sari and A. Murdianto, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Industri Berbasis PVsyst," *Journal of Electrical Engineering and Computer (JEECOM)*, vol. 5, no. 2, pp. 171–179, Oct. 2023.
 - [6] R. Ullah, Z. Liang, M. A. Rauf, and A. El-Shafie, "Solar-Powered Aquaponics: A Sustainable System for Food and Energy Security," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 133508–133522, 2021.
 - [7] C. Xu, R. A. Dunlap, and W. Zheng, "Hybrid renewable energy systems for aquaculture: Current status, challenges and future perspectives," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 161, p. 112351, June 2022.
 - [8] A. A. Oladimeji et al., "Performance assessment of solar photovoltaic-powered aquaculture aeration systems," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 244–252, Mar. 2021.
 - [9] W. Handani, A. Susilo, and A. D. Sudjarmiko, "Rancang Bangun Sistem Pakan Ikan Otomatis Menggunakan Panel Surya," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 8, no. 4, pp. 345–350, 2020.
 - [10] F. Gultom, "Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Energi Alternatif untuk Pompa Air Kolam Ikan Lele," *Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan*, vol. 8, no. 1, pp. 55–62, 2020.
 - [11] A. Jamiyanti, S. Hartanto, and M. Ramadhani, "Implementasi PLTS untuk Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis IoT pada Budidaya Ikan," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 2, pp. D172–D176, 2021.
 - [12] M. F. Panggabean, "Penggunaan Energi Surya untuk Aerator dan Lampu Penerangan Kolam Ikan di Malam Hari," *Jurnal Energi Terbarukan*, vol. 12, no. 2, pp. 89–94, 2021.
 - [13] Y. D. Pratama and R. Nurcahyo, "Analisis Kelayakan Energi Surya untuk Peternakan Ikan Hias Skala Rumah Tangga," *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 19, no. 1, pp. 35–44, 2020.
 - [14] I. Mulyani, B. Utomo, and H. Hidayat, "Perancangan PLTS untuk Irigasi Kolam Terpadu pada Daerah Terpencil," *Jurnal Energi dan Lingkungan*, vol. 8, no. 1, pp. 11–18, 2022.
 - [15] R. Susanto, F. Fadillah, and T. Maulana, "Efisiensi Penggunaan Inverter dan Baterai pada Sistem PLTS Skala Kecil di Bidang Perikanan," *Jurnal Teknologi Energi*, vol. 9, no. 3, pp. 167–173, 2020.
 - [16] R. Lestari and D. Suryadi, "Analisis Sosial Ekonomi Adopsi Teknologi Energi Terbarukan oleh Petani Ikan di Pedesaan," *Jurnal Sosial Ekonomi Perikanan dan Kelautan*, vol. 15, no. 2, pp. 123–132, 2021.
 - [17] H. Sihombing, S. Napitupulu, and L. Tobing, "Pengembangan Sistem Pompa dan Aerator Otomatis Bertenaga Surya pada Budidaya Ikan Nila," *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri*, vol. 9, no. 2, pp. 231–238, 2021.
 - [18] D. Kurniawan, R. Syafira, and L. Anindita, "Evaluasi Kinerja PLTS untuk Operasional Hatchery Ikan Nila Selama Musim Hujan," *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, vol. 13, no. 1, pp. 27–34, 2022.
 - [19] Global Solar Atlas, "Site – -8.012784,112.594972," [GlobalSolarAtlas.info](https://globalsolaratlas.info/detail?s=-8.012784,112.594972&m=site&c=-8.040193,112.60025,10). [Online]. Available: <https://globalsolaratlas.info/detail?s=-8.012784,112.594972&m=site&c=-8.040193,112.60025,10>. [Accessed: 2-Aug-2025].
 - [20] hutabarat, SH, Putra, FA. "Perbandingan metode exponential smoothing dan arima pada peramalan curah hujan di kota Malang". *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*. 2025 May 26;9(4):7294-300.