TEKNOSAINS
MEDIA INFORMASI DAN TEKNOLOGI
Journal homepage: https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/teknosains/

Rancang bangun pembangkit listrik tenaga *hybrid* di daerah Pesawaran, Lampung

Muhammad Fairo Yans Azfaro[1], Muhammad Fabian Alfaris[2], Natraya El Daffa[3], Gurum Ahmad Pauzi[4], Sutiarno[4*]

[1]Program Studi Sains Data
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran No.10-11, Malang, Jawa Timur, Indonesia. 65145
[2]Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Terusan Ryacudu, Lampung Selatan, Lampung, Indonesia. 35365
[3]SMA Qur'an Darul Fattah
Jl. Kopi No.23A, Bandar Lampung, Lampung, Indonesia. 35141
[4]Program Studi Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1, Bandar Lampung, Lampung, Indonesia. 35141
*E-mail: sutiarno832@gmail.com

Abstrak: Ketergantungan Provinsi Lampung terhadap pasokan listrik eksternal menimbulkan berbagai permasalahan seperti pemadaman tidak terduga, biaya operasional tinggi, dan keterbatasan akses listrik di wilayah pesisir. Penelitian ini bertujuan merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) yang mengintegrasikan energi surya, angin, dan gelombang laut untuk meningkatkan kemandirian energi daerah. Lokasi penelitian dipilih di Kecamatan Punduh Pidada, Kabupaten Pesawaran yang memiliki potensi energi terbarukan melimpah dengan kecepatan angin rata-rata 10 m/s, periode gelombang 4,63 detik, dan intensitas cahaya mencapai 0,315 W/m². Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan pengumpulan data sekunder potensi energi terbarukan, perhitungan matematis *output* daya menggunakan Microsoft Excel, serta perancangan desain sistem menggunakan AutoCAD dan Blender. Hasil penelitian menunjukkan bahwa satu unit PLTH yang mengintegrasikan panel surya *polycrystalline*, turbin angin vertikal (VAWT), dan pembangkit gelombang laut tipe *Archimedes Wave Swing* mampu menghasilkan daya maksimal 1.012,02 Watt dan minimal 546,46 Watt, dengan kontribusi terbesar dari PLTGL (663,78 Watt), diikuti PLTS (318 Watt) dan PLTB (30,24 Watt) pada kondisi optimal. Sistem PLTH ini dapat menghasilkan energi listrik harian sebesar 87,4 kWh (maksimal) hingga 47,2 kWh (minimal). Untuk memenuhi kebutuhan listrik harian Provinsi Lampung sekitar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% diperlukan berturut-turut sekitar 8.065 unit, 16.130 unit, 24.195 unit, 32.260 unit, dan 40.325 unit PLTH yang terintegrasi dalam suatu sistem instalasi. Penelitian ini memberikan gambaran bahwa integrasi tiga sumber energi terbarukan dalam sistem PLTH dapat meningkatkan stabilitas dan kontinuitas pasokan listrik, mengurangi ketergantungan pada pasokan eksternal, serta mendukung pengembangan ekonomi masyarakat pesisir melalui pemanfaatan sumber daya energi lokal yang berkelanjutan.

Kata Kunci: EBT, PLTB, PLTGL, PLTH, Punduh Pidada

Abstract: The dependence of Lampung Province on external electricity supply causes various problems such as unexpected power outages, high operational costs, and limited access to electricity in coastal areas. This study aims to design a hybrid power plant system that integrates solar, wind, and ocean wave energy to increase regional energy independence. The research location was selected in Punduh Pidada District, Pesawaran Regency, which has abundant renewable energy potential with an average wind speed of 10 m/s, a wave period of 4.63 seconds, and solar irradiance reaching 0.315 W/m². The research method uses a quantitative approach with secondary data collection on renewable energy potential, mathematical calculations of power output using Microsoft Excel, and system design using AutoCAD and Blender. The results show that one hybrid power plant system unit integrating polycrystalline solar panels, a vertical axis wind turbine (VAWT), and an Archimedes Wave Swing type wave power plant is able to produce a maximum power of 1,012.02 Watts and a

Cara Sitasi:
Azfaro, M. F. Y., Alfaris, M. F., Daffa, N. E., Pauzi, G. A., Sutiarno, S. (2025). Rancang bangun pembangkit listrik tenaga *hybrid* di daerah Pesawaran, Lampung. *Teknosains: Media Informasi Sains dan Teknologi*, 19(3), 410-423. https://doi.org/10.24252/teknosains.v19i3.60230

Diajukan 28 Juli 2025; Ditinjau 15 Oktober 2025; Diterima 22 Desember 2025; Diterbitkan 31 Desember 2025
Copyright © 2025. The authors. This is an open access article under the CC BY-SA license

minimum power of 546.46 Watts, with the largest contribution from the ocean wave power plant (663.78 Watt), followed by the solar power plant (318 Watts) and the wind power plant (30.24 Watt) under optimal conditions. This system can generate daily electrical energy of 87.4 kWh (maximum) to 47.2 kWh (minimum). To meet the daily electricity demand of Lampung Province of approximately 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%, it requires approximately 8,065 units, 16,130 units, 24,195 units, 32,260 units, and 40,325 units of hybrid power plant system integrated in an installation system. This study provides an overview that the integration of three renewable energy sources in a hybrid power plant system can increase the stability and continuity of electricity supply, reduce dependence on external supply, and support the economic development of coastal communities through the utilization of sustainable local energy resources.

Keywords: Renewable Energy Sources, Wind Power Plant, Ocean Wave Power Plant, Hybrid Power Plant, Punduh Pidada

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia meningkat setiap tahun seiring pertumbuhan populasi, industri, dan elektrifikasi wilayah terpencil. Di lain sisi, pembangkit listrik tenaga batu bara dan diesel masih banyak digunakan di Indonesia yang menyebabkan emisi gas CO_2 yang tinggi. Banyak negara telah mengembangkan pembangkit listrik rendah emisi karbon seperti pembangkit listrik tenaga surya, angin, dan gelombang laut untuk meningkatkan produksi energi. Oleh sebab itu, pengembangan sumber energi terbarukan di tingkat daerah menjadi sangat penting, termasuk wilayah seperti Lampung.

Rasio desa berlistrik di Lampung mencapai 98,56 % dan sekitar 1,44 % desa masih menghadapi masalah serius terkait akses listrik. PT PLN Lampung menghadapi tantangan dalam meratakan penyediaan listrik di seluruh Provinsi Lampung karena kapasitas pembangkit yang terbatas. Lampung hanya memiliki 1 pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) yang menghasilkan energi 2,25 GWh. Sehingga, Lampung sangat bergantung pada listrik yang dipasok dari unit pembangkit lain di luar Lampung (PT PLN, 2024). Ketergantungan ini membuat kondisi listrik di daerah Lampung banyak terjadi permasalahan, seperti pemadaman listrik yang tidak terduga akibat gangguan sistem transmisi kabel, biaya listrik yang lebih mahal, dan perawatan infrastruktur yang sulit. Maka diperlukan investasi besar dalam pengembangan infrastruktur kelistrikan yang dibuat di daerah ini termasuk proyek pembangkit listrik berbasis energi terbarukan. Hal tersebut membuat program penyediaan listrik di desa-desa terpencil lebih murah, distribusi energi listrik yang lebih merata, meningkatkan efisiensi transmisi listrik, dan lebih murah karena memanfaatkan sumber daya lokal (PT PLN, 2022).

Belakangan ini, untuk meningkatkan pasokan listrik ramah lingkungan, beberapa peneliti mulai mengembangkan pembangkit listrik tenaga hybrid (PLTH) yang menggabungkan energi surya dan angin (Putra et al., 2021; Roy et al., 2024). Kombinasi PLT surya dan angin terbukti mampu meningkatkan stabilitas dan kontinuitas energi yang dihasilkan dibandingkan pembangkit yang hanya mengandalkan satu sumber. Namun, meski sistem *hybrid* telah terbukti menghasilkan energi listrik yang stabil dan kontinu, sejauh ini integrasi yang dilakukan umumnya belum melibatkan sumber gelombang laut, terutama untuk wilayah pesisir. Padahal daerah seperti Punduh Pidada, Provinsi Lampung memiliki potensi yang lengkap yaitu kecepatan angin rata-rata 10 m/s, periode gelombang 4,63 s, dan intensitas cahaya mencapai 0,315 W/m^2. Menurut penelitian sebelumnya, potensi dari ketiga sumber energi tersebut dapat dikonversi menjadi daya listrik berturut-turut 1.548 kWh, 23.911,2 kWh, 2.268 kWh (BPS, 2021; Gunawan & Santoso, 2022;

Kananda, 2017; Utami, 2010). Jika digabungkan, total energi listrik yang dihasilkan dapat mencapai 665.448 kW per hari. Output daya listrik tersebut dapat memenuhi kebutuhan penggunaan listrik 518 kapita dengan rata-rata 1.285 kWh per kapita (Kementerian ESDM, 2024). Pemenuhan energi ini membuka peluang percepatan pengembangan daerah tersebut dan mendukung aktivitas ekonomi masyarakat pesisir serta mengurangi ketergantungan pasokan listrik dari luar daerah.

Mengintegrasikan PLTS, PLTB, dan PLTGL dalam satu unit PLTH memungkinkan pemanfaatan berbagai sumber energi terbarukan secara bersamaan untuk menghasilkan daya yang lebih besar dan berkelanjutan. Listrik yang dihasilkan disimpan dalam baterai sebagai cadangan, kemudian dikonversi dari arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter. Setelah itu, listrik melewati trafo step up untuk meningkatkan tegangan sebelum didistribusikan. Pada Gardu Induk, tegangan diturunkan kembali sebelum listrik didistribusikan ke masyarakat, memastikan tegangan yang aman dan sesuai untuk digunakan oleh masyarakat (PT PLN, 2022).

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dibutuhkan analisis untuk mengidentifikasi solusi yang efektif dalam mengatasi masalah ketimpangan akses listrik di Provinsi Lampung. Tantangan utama yang dihadapi PT PLN Lampung adalah keterbatasan kapasitas pembangkit listrik yang menyebabkan ketergantungan pada pasokan listrik dari wilayah lain, meningkatkan risiko pemadaman, menurunkan biaya listrik yang tinggi, dan mengurangi biaya perawatan infrastruktur. Hasil akhir yang diharapkan dari penelitian ini adalah pengembangan strategi investasi infrastruktur kelistrikan berbasis energi terbarukan lokal yaitu surya, angin, dan gelombang laut untuk meningkatkan efisiensi distribusi energi dan mengurangi ketergantungan Lampung pada pasokan eksternal.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan April–September tahun 2024 di Laboratorium SMA Qur'an Darul Fattah Bandar Lampung. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsep integrasi tiga sistem pembangkit listrik berbasis energi terbarukan, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), dan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) dalam satu sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) guna meningkatkan kontinuitas suplai daya dan konversi energi listrik. Tahapan penelitian secara singkat ditunjukkan pada Gambar 1.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan memanfaatkan data yang akan disajikan pada penelitian ini berupa data sekunder dari potensi energi surya, energi angin, dan energi gelombang laut. Selanjutnya, data tersebut akan menjadi bahan acuan perhitungan *output* daya listrik yang dihasilkan oleh masing masing sumber energi yang diintegrasikan dalam satu sistem PLTH.

Perancangan desain dan visualisasi sistem PLTH dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak AutoCAD dan Blender untuk menggambarkan konfigurasi dan tata letak sistem pembangkit. Sementara itu, Microsoft Excel digunakan untuk melakukan perhitungan matematis dan analisis daya listrik yang dihasilkan oleh setiap komponen pembangkit serta total *output* daya sistem PLTH.

Tahapan penelitian diawali dengan mengumpulkan dan mengolah data potensi energi dari masing-masing sumber. Data tersebut kemudian digunakan untuk menghitung *output* daya listrik dari setiap pembangkit secara terpisah. Daya listrik yang dihasilkan oleh komponen PLTB dihitung menggunakan Persamaan (1) yang mengacu pada

karakteristik turbin dan kecepatan angin. Selanjutnya, daya listrik yang dihasilkan oleh PLTS dihitung menggunakan Persamaan (3), dengan parameter tegangan dan arus listrik. Adapun estimasi daya listrik dari PLTGL dihitung menggunakan Persamaan (4) berdasarkan karakteristik gelombang laut sesuai dengan referensi yang digunakan (Kananda, 2017; Zulfadli & Mulkan, 2019).

Setelah *output* daya dari masing-masing pembangkit diperoleh, dilakukan tahap integrasi sistem pembangkit hybrid. Integrasi ini dilakukan dengan menggabungkan output daya listrik dari PLTS, PLTB, dan PLTGL ke dalam satu sistem PLTH secara paralel. Hal ini memungkinkan ketiga pembangkit listrik berkontribusi secara simultan terhadap total daya keluaran sistem, sehingga fluktuasi daya dari satu sumber dapat dikompensasi oleh sumber energi lainnya.

Hasil perhitungan dan analisis disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan visualisasi sistem PLTH untuk menunjukkan pengaruh integrasi tiga sumber energi terhadap peningkatan kontinuitas suplai daya dan efisiensi konversi energi listrik dibandingkan dengan satu sumber energi terbarukan secara tunggal.

(1) $$P_{Listrik} = \eta \times 0{,}5 \times \rho \times A^3 \times C_P$$

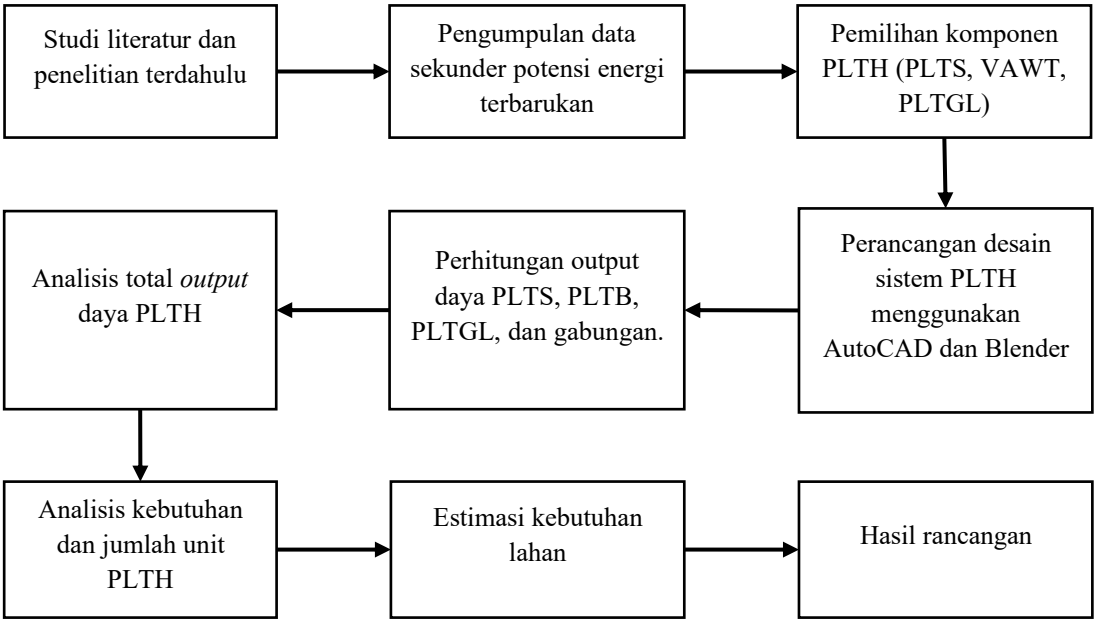
(2) $$A = \pi \times r^2$$

(3) $$P_{Listrik} = V \times I$$

(4) $$P = \frac{\rho_{laut} \times g^2 \times H^2 \times T}{64\,\pi}$$

Keterangan:

$P_{Listrik}$ = Daya listrik (watt)
A = Luas penampang sapuan turbin (m^2)
r = Jari-jari rotor turbin (m)
C_P = *Coefficient of power* (0,59)
ρ = Densitas udara (1,225 Kg/m^3)
η = Efisiensi turbin
V = Tegangan (Volt)
I = Arus (Ampere)
ρ_{laut} = Densitas air laut (1025 Kg/m^3)
H = Tinggi gelombang (m)
T = Periode (s)
π = 3,14



Gambar 1. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Potensi geografis Punduh Pidada, Pesawaran sebagai rencana implementasi PLTH

Kabupaten Pesawaran terletak pada koordinat 5,12º–5,84º LS dan 104,92º–105,34º BT. Kabupaten Pesawaran memiliki luas daratan sebesar 1.173,77 km² dan laut sebesar 689 km^2. Kondisi geografis Pesawaran dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta wilayah Kabupaten Pesawaran (Sumber: ArcGIS Online, 2025)

Berdasarkan Gambar 2, Kecamatan Punduh Pidada berada di bagian selatan Kabupaten Pesawaran (area berwarna merah). Kecamatan Punduh Pidada merupakan salah satu daerah yang memiliki pantai terluas. Secara administratif, kecamatan Punduh Pidada memiliki 11 desa (BPS, 2021). Setiap desa tersebut memiliki potensi pantai yang dapat diolah untuk meningkatkan nilai ekonomi masyarakat di daerah Punduh Pidada.

Beberapa strategi yang telah dilakukan warga di daerah tersebut yaitu mengelola pantai menjadi tempat wisata dan sumber pendapatan ekonomi sebagai nelayan (BPS, 2023b).

Selain memiliki potensi wisata dan perikanan, kecamatan tersebut ternyata memiliki potensi kondisi alam yang belum dimanfaatkan seperti angin, cahaya matahari dan gelombang laut (Alim et al., 2023). Ide untuk memaksimalkan potensi alam yang telah disebutkan adalah dengan membuat rancangan PLTH. Jika ditinjau secara geografis Punduh Pidada terletak di wilayah Indonesia bagian barat tepatnya di garis khatulistiwa dengan kecepatan angin minimal 5,14 m/s. Kemudian, potensi ombak memiliki rentang periode ombak sebesar 1,94–4,63 sekon. dan potensi energi surya mencapai 3,77–5,05 kWh/m2 (Alim et al., 2023; BPS, 2025; Kananda, 2017; Utami, 2010).

Tahun 2019 terdapat sekitar 78% pantai di Kecamatan Punduh Pidada dikelola menjadi tempat wisata. Sekitar 20% lainnya belum dikelola oleh masyarakat dan memiliki potensi dalam pengembangan proyek PLTH. Kondisi pantai yang belum terkelola di daerah tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 yang berlokasi di daerah Sukarame (Purnomo *et al*., 2019). Penyebab kurang terkelolanya pantai disebabkan oleh pertumbuhan pembangunan di daerah tersebut yang masih tertinggal dibandingkan dengan kecamatan lain di Kabupaten Pesawaran. Selain itu, rata–rata penduduk daerah Sukarame masih tergolong miskin. Sehingga masyarakat tidak bisa melakukan pembangunan sendiri dan sangat bergantung pada pemerintah setempat. Melihat kondisi tersebut dan kebutuhan untuk meningkatkan pendapatan daerah dan potensi ekonomi warga, maka dilakukanlah pemilihan daerah Sukarame untuk dijadikan sampel sebagai pengembangan proyek PLTH.



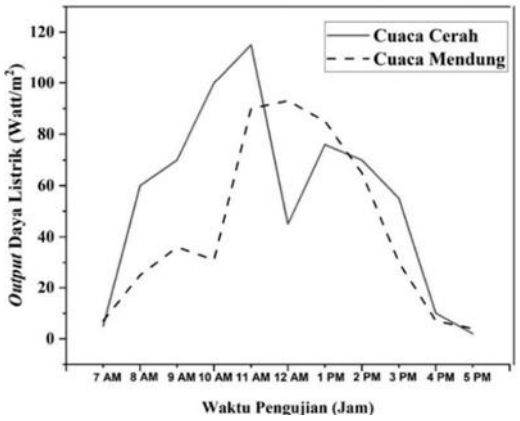
Gambar 3. Pantai Sukarame, Kecamatan Punduh Pidada, Kabupaten Pesawaran (Google Maps, 2019).

2. Potensi output daya listrik berbasis energi surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atau yang biasa disebut panel surya dapat bekerja secara maksimal dipengaruhi oleh seberapa besar intensitas cahaya matahari pada suatu daerah. Intensitas cahaya matahari merupakan satuan untuk mengukur seberapa besar sudut datang cahaya matahari, disimbolkan dengan lux (1 lux = 1 Cd = 0,0079 W/m^2). Semakin besar intensitas cahaya matahari yang didapat, semakin banyak output daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Menurut penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penggunaan unit panel surya dengan intensitas matahari sebesar 6900 lux memperoleh daya sebesar 54,51 W/m^2 (Usman, 2020).

Penelitian rancangan PLTH ini meninjau seberapa besar potensi energi matahari pada Kecamatan Punduh Pidada, Kabupaten Pesawaran. Mengutip dari penelitian yang telah dilakukan (Kananda, 2017) berlokasi di Lampung, pengujian *output* panel surya dilakukan dalam keadaan cuaca cerah dan mendung. Pengujian ini dilakukan selama dua hari dengan kondisi cuaca cerah pada hari pertama dan cuaca mendung pada hari kedua. Ia melaporkan, waktu yang optimal untuk panel surya menghasilkan daya listrik berkisar 6 jam per harinya dari pukul 09.00–15.00 WIB. Rata–rata daya listrik yang dikeluarkan

sebesar 53 watt per jamnya jika kondisi cuaca derah dengan intensitas cahaya rata-rata 57.102,58 lux dan 39 watt per jam ketika kondisi cuaca berawan dengan intensitas cahaya 45.774,17 lux. *Output* daya listrik panel surya akan menurun pada pagi dan malam hari. Satu unit panel surya berukuran 1 m^2 dapat menghasilkan *output* daya listrik rata–rata sebesar 0,5–0,63 kWh/m^2. Potensi energi surya di wilayah Lampung Selatan adalah sebesar 3,77–5,05 kWh/m^2.



Gambar 4. Grafik potensi output daya listrik panel surya (Kananda, 2017).

PLTS atau panel surya diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu *Monocrsytalline Silicon*, dan *Polycrystalline Silicon*. Panel *monocrsytalline* dikenal karena kemampuannya yang superior dalam menyerap cahaya matahari, sehingga dapat menghasilkan lebih banyak energi listrik. Namun, panel ini kurang efektif dalam kondisi cahaya rendah seperti saat cuaca mendung. Sebaliknya, panel *polycrystalline*, meskipun menghasilkan daya yang lebih rendah dibandingkan panel *monocrsytalline*, memiliki keunggulan dalam kemampuannya untuk berfungsi meski dalam kondisi cahaya matahari yang tidak optimal. Panel *polycrystalline* juga membutuhkan area permukaan yang lebih besar untuk mencapai output daya yang sama. Pilihan antara kedua jenis panel ini bergantung pada kebutuhan spesifik dan kondisi lingkungan tempat mereka digunakan. Perbedaan mendetail antara panel *monocrsytalline* dan *polycrystalline* dapat dilihat dalam gambar yang menyertainya (D. A. Pratama & Siregar, 2018; Purwoto *et al*., 2018). Perbedaan unit panel surya *monocrsytalline* dan *polycrystalline* dapat dilihat pada Gambar 5.

Panel surya *monocrystalline* umumnya lebih mahal daripada panel *polycrystalline* karena proses produksi yang lebih rumit dan waktu yang lebih lama. Kemudian, *polycrystalline* berfungsi lebih efisien dalam cuaca mendung dan cenderung menghasilkan total output daya yang lebih tinggi per hari. Panel monokristalin mencapai output daya listrik rata-rata 122,12 Watt dengan intensitas matahari 937,1 W/m^2, sedangkan panel *polycristallyne* mencapai output daya listrik rata-rata 179,695 Watt dengan intensitas matahari 717,1 W/m^2 (Asrori et al., 2022; Wardhani et al., 2022). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan panel surya polycrystalline dalam merancang PLTH dan data perbandingan rata-rata output daya listrik dapat dilihat pada Tabel 1. Panel surya *polycristalline* lebih baik untuk Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) karena performanya yang lebih stabil dalam kondisi cahaya rendah dan cuaca mendung, serta memberikan output daya yang lebih konsisten sepanjang hari.



(a) **(b)**

Gambar 5. (a) Panel surya jenis monocrsytalline (b) Panel surya polycrystalline (Pratama & Watiasih, 2020)

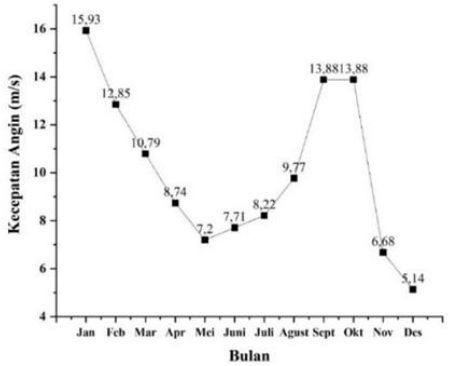
Tabel 1. Perbandingan rata–rata output daya listrik panel surya *monocrsytalline* dan *polycrystalline*.

Waktu (WIB)	Daya *Output* Listrik yang diukur dengan *Optical Power Meter* (OPM/ Panel *Input optical power* (P_s)	
	Monocrsytalline **(Watt)**	***Polycrystalline*** **(Watt)**
06.00	30,802	43,64
07.00	114,99	162,91
08.00	147,85	209,46
09.00	180,71	256
10.00	211,51	299,64
11.00	236,15	334,55
12.00	240,26	340,36
13.00	207,4	293,62
14.00	119,1	168,73
15.00	30,802	43,64
16.00	26,695	37,82
17.00	22,588	32
18.00	18,481	26,18

Sumber : *Daily Performance Comparison Test of Monocrsytalline and Polycrystalline Solar Panels* (Wardhani *et al*., 2022).

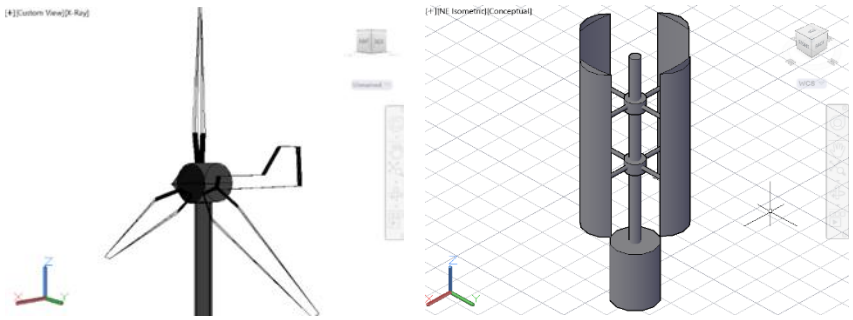
3. Potensi output daya listrik berbasis energi angin

Daerah Pesawaran memiliki potensi angin tinggi rata-rata 10,06 m/s per bulan, ideal untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Turbin angin ada dua jenis: *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). HAWT lebih efisien tetapi kurang cocok untuk daerah dengan arah angin yang sering berubah, seperti pantai. VAWT, yang lebih baik dalam kondisi angin yang berubah-ubah, lebih efisien untuk pantai Pesawaran. Simulasi menunjukkan VAWT dapat menghasilkan rata-rata 1.129 kWh per tahun, atau 3,09 kWh per hari (Nahkoda & Saleh, 2015; Nofiantoro & Firdaus, 2018).



Gambar 6. Data kecepatan angin di Kabupaten Pesawaran (BPS, 2025)

Turbin angin vertikal memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan turbin horizontal. Namun, unggul dalam kondisi turbulensi dan arah angin yang berubah-ubah. Berdasarkan alasan tersebut, konsep turbin vertikal dinilai lebih cocok untuk PLTH di Kecamatan Punduh Pidada, Pesawaran. Pengujian menunjukkan turbin vertikal menghasilkan daya listrik rata-rata listrik dari pukul 08.00 hingga 16.00 adalah 0,2 watt dengan kecepatan angin rata-rata 3,18 m/s. Detail *output* daya listrik dapat dilihat pada Tabel 2. Perbedaan bentuk turbin angin horizontal dan vertikal ditunjukkan pada Gambar 7 (Gunawan & Santoso, 2022). Berdasarkan data pada Gambar 6, kecepatan angin di daerah Pesawaran mencapai 10 m/s. Hal tersebut berpotensi menghasilkan energi listrik yang lebih tinggi ketika digunakan untuk pembangkit listrik tenaga turbin.



(a) **(b)**

Gambar 7. Skema (a) Unit turbin angin horizontal (b) Turbin angin vertikal

Tabel 2. Data *output* daya listrik turbin angin vertikal pada cuaca cerah.

Waktu (WIB)	Pengujian Ouput Daya Listrik Turbin Angin Vertikal			
	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (Volt)	Arus (mA)	Daya Listrik (Watt)
08.00	1,3	0,78	15,5	0,01
09.00	2,64	2,62	44,2	0,12
10.00	2,18	1,4	40,7	0,06
11.00	3,29	3,4	75,21	0,26
12.00	3,23	2,46	73,1	0,17
13.00	4,18	3,52	53,3	0,19
14.00	5,24	5,1	83,8	0,43
15.00	3,31	4,21	63,7	0,27
16.00	3,92	5,2	60,63	0,32

Sumber: Analisis perbandingan daya *output* turbin angin tipe vertikal (Generator 300 W) dan panel surya (Monokristalin 200 Wp) (Gunawan & Santoso, 2022)

4. Potensi output daya listrik berbasis tenaga gelombang laut (PLTGL)

PLTGL (Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut) memanfaatkan gaya dorong gelombang laut untuk menghasilkan listrik. Gelombang laut, yang terbentuk dari dorongan angin, bergerak secara sinusoidal di permukaan air. Seperti halnya PLTB yang menggunakan turbin angin, PLTGL menggunakan gaya dorong gelombang untuk menghasilkan energi. Daerah Punduh Pidada, Pesawaran, dengan kecepatan angin tinggi, juga memiliki potensi gelombang laut yang besar. PLTGL dapat menghasilkan listrik dengan kerapatan energi tinggi, mencapai 2–3 kWh/m² (Aminuddin et al., 2015; Parjiman et al., 2018).

Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTH) ini menggunakan jenis turbin *Archimedes Wave Swing*, yang berbentuk silinder dan dilengkapi dengan sambungan hidrolik untuk memompa energi dari gelombang laut (Veerabhadrappa et al., 2022). Pompa ini memanfaatkan gaya kinetik dari gelombang yang bergerak naik turun untuk menghasilkan listrik. Ketinggian gelombang laut dipengaruhi oleh angin monsun

Asia, sebuah fenomena iklim global yang mengubah pola atmosfer dan laut di Asia. Gelombang laut tertinggi terjadi selama monsun timur (April hingga September) ketika angin seragam yang lebih luas menghasilkan gelombang yang lebih panjang dan lebih tinggi dibandingkan monsun barat (Serodja et al., 2023). PLTGL sangat potensial di pantai dengan gelombang tinggi, seperti di Punduh Pidada, Pesawaran, yang berhadapan langsung dengan Selat Sunda. Selat Sunda memiliki potensi gelombang laut dengan energi minimum sebesar 10.562,05 Joule dan periode gelombang minimum 1,94 detik. Data ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan daya yang dapat dibangkitkan

Lokasi	Potensi Energi Gelombang Laut (J)		Periode Gelombang (s)		Daya (Watt)	
	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
Perairan utara Aceh	3129,494	764036,6	1,59	3,97	1968,235	480526,2
Perairan barat Bengkulu hingga Lampung	25035,96	2683150	2,25	4,89	15745,88	1687516
Selat Sunda	10562,05	1921901	1,94	4,63	6642,796	1208742

Sumber: Studi potensi pembangkit listrik tenaga gelombang laut (Utami, 2010)

5. Rancangan proyek PLTH

Berdasarkan studi literatur yang telah dibahas sebelumnya, material yang dipilih pada masing-masing komponen yang digunakan untuk mengembangkan PLTH ini adalah sel surya *polycristalline, Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT), PLTGL *Archimedes Wave Swing*. Kemudian, estimasi output daya listrik dan rancangan satu unit PLTH dapat dilihat pada Gambar 8. Lalu sistem PLTH yang dirancang peneliti dapat dilihat pada Gambar 9 (a) dan mekanisme distribusi dari pembangkit ke pengguna di suatu wilayah dapat dilihat pada Gambar 9 (b).

Berdasarkan analisa peneliti melalui studi literatur potensi daya satu panel surya *polycristalline* per meter persegi menggunakan Persamaan 3 dapat menghasilkan daya maksimum dengan cuaca cerah di Lampung mencapai 63,6 Watt dan cuaca mendung mencapai 50 Watt (Kananda, 2017). Melalui konsep yang peneliti rancang, sel surya tersebut di lahan 1 meter persegi dapat ditempati 5 panel surya dengan potensi daya pada cuaca cerah sebesar 318 Watt dan cuaca mendung sekitar 250 Watt.

Potensi daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh energi angin di daerah Pesawaran dengan estimasi kecepatan angin tertinggi mencapai 15,93 m/s dan terendah 5,14 m/s pada Gambar 6 dan dihitung dayanya menggunakan Persamaan 1. Selanjutnya, konsep *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) dipilih oleh peneliti untuk digunakan pada rancangan PLTH ini disebabkan kondisi angin di laut Pesawaran yang terjadi dari dua arah. Dimana, satu unit blade VAWT dengan luas lahan satu meter persegi dengan jari-jari rotor 0,5 m dapat menghasilkan daya listrik sebesar 7,56 Watt (kecepatan angin maksimum) dan 0,24 Watt (kecepatan angin minimum) (Soeripno & Ibrochim, 2009). Pada konsep ini dibuat 4 blade VAWT dengan estimasi daya listrik yang didapatkan menggunakan Persamaan 1 pada kecepatan angin tinggi (15,93 m/s) dan kecepatan angin rendah (5,14 m/s) berturut-turut 30,24 Watt dan 0,96 Watt.

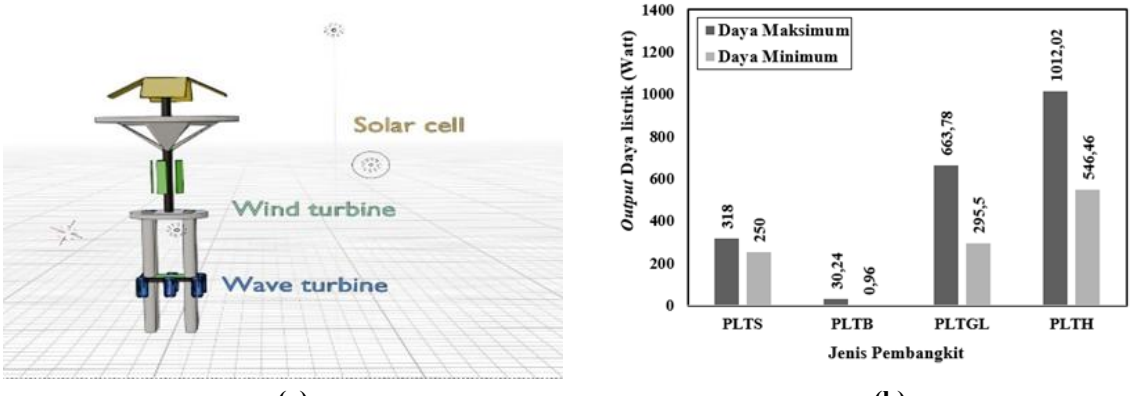
Potensi berikutnya berupa gelombang laut yang dapat menggerakkan sebuah generator untuk menghasilkan listrik. Jenis pembangkit yang peneliti pilih adalah PLTGL *Archimedes Wave Swing* (AWS) karena memiliki efisiensi yang tinggi dan bentuknya silinder dapat menghemat lahan. Berdasarkan perhitungan menggunakan Persamaan 4

dengan data potensi gelombang laut di perairan Punduh Pidada, Pesawaran, satu unit PLTGL AWS dapat menghasilkan daya listrik sebesar 110,63 Watt dengan estimasi gelombang maksimum (4,63 s) dan menghasilkan daya listrik sebesar 49,25 Watt dengan estimasi gelombang minimum (1,94 s) (Utami, 2010). Pada rancangan PLTH ini peneliti menggunakan 6 unit PLTGL AWS dengan ukuran lahan sebesar satu meter persegi dengan estimasi daya listrik mencapai 663,78 Watt (maksimum) dan 295,5 Watt (minimum). Rancangan dan estimasi daya dari satu unit PLTH dapat dilihat pada Gambar 8.

Gambar 8 (b) menunjukkan perbandingan *output* daya listrik dari setiap komponen pembangkit dalam unit PLTH. Pada kondisi maksimal, PLTH menghasilkan total *output* daya sebesar 1.012,02 Watt, dengan kontribusi terbesar dari PLTGL (663,78 Watt), diikuti PLTS (318 Watt), dan PLTB (30,24 Watt). Pada kondisi minimal, total output daya turun menjadi 546,46 Watt dengan distribusi PLTGL (295,5 Watt), PLTS (250 Watt), dan PLTB (0,96 Watt). Dengan asumsi waktu operasi optimal, satu unit PLTH mampu menghasilkan energi listrik harian sebesar 87,4 kWh (maksimal) hingga 47,2 kWh (minimal).

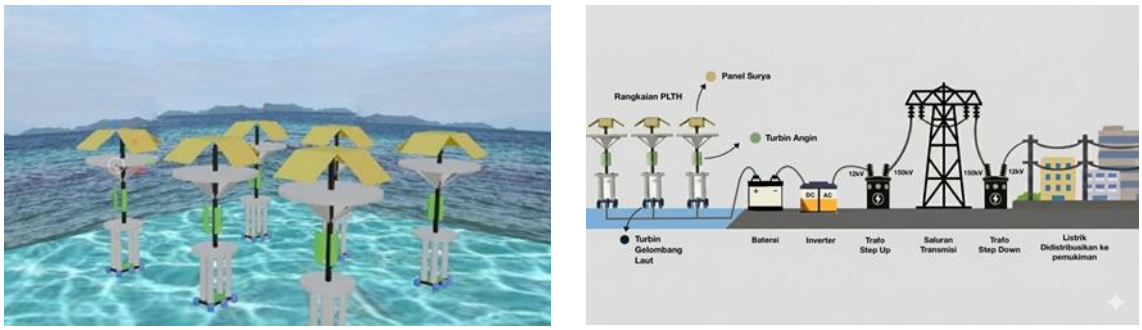
Menurut BPS (2023a) kebutuhan energi listrik Provinsi Lampung mencapai sekitar 14,1 juta kWh per hari. Apabila sistem PLTH yang dirancang dalam penelitian ini diaplikasikan sebagai pembangkit listrik terbarukan pendukung, maka kontribusinya terhadap kebutuhan listrik daerah dapat dianalisis secara parsial. Untuk memenuhi sekitar 5% dari kebutuhan listrik harian Provinsi Lampung, diperlukan sekitar 8.065 unit PLTH dengan asumsi energi listrik maksimum sebesar 87,4 kWh per unit per hari. Sementara itu, kontribusi sebesar 10%, 15%, 20%, dan 25% masing-masing membutuhkan sekitar 16.130 unit, 24.195 unit, 32.260 unit, dan 40.325 unit PLTH yang terintegrasi dalam suatu sistem instalasi.

Pendekatan kontribusi bertahap ini menunjukkan bahwa sistem PLTH lebih relevan dikembangkan sebagai pembangkit listrik terdistribusi di wilayah pesisir, khususnya untuk meningkatkan bauran energi terbarukan dan mendukung ketahanan energi daerah. Skema sistem instalasi di kawasan Pantai Punduh Pidada serta mekanisme distribusi energi listrik PLTH kepada pengguna ditunjukkan pada Gambar 9(a) dan Gambar 9(b).



(a) **(b)**

Gambar 8. (a) Konsep desain PLTH (b) Perbandingan output daya listrik dari masing-masing jenis pembangkit



(a) **(b)**

Gambar 9. (a) Ilustrasi instalasi PLTH di Pantai Punduh Pidada (b) Proses distribusi energi listrik PLTH.

Tabel 4. Estimasi jumlah unit PLTH untuk berkontribusi dalam menyuplai kebutuhan listrik di Lampung.

Kontribusi	Energi (kWh/hari)	Jumlah unit PLTH
5%	705.000	8.065
10%	1.410.000	16.130
15%	2.115.000	24.195
20%	2.820.000	32.260
25%	3.525.000	40.325

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) yang mengintegrasikan energi surya, angin, dan gelombang laut di Kecamatan Punduh Pidada, Kabupaten Pesawaran, Lampung. Kecamatan Punduh Pidada memiliki potensi energi terbarukan yang sangat baik dengan kecepatan angin rata-rata 10 m/s, periode gelombang laut 4,63 detik, dan intensitas cahaya matahari 0,315 W/m². Satu unit PLTH yang mengintegrasikan panel surya *polycrystalline*, turbin angin vertikal (VAWT), dan PLTGL tipe *Archimedes Wave Swing* mampu menghasilkan daya maksimal 1.012,02 Watt dan minimal 546,46 Watt, dengan energi harian berkisar 47,2–87,4 kWh per unit. Kontribusi terbesar berasal dari PLTGL (663,78 Watt), diikuti PLTS (318 Watt) dan PLTB (30,24 Watt). Integrasi tiga sumber energi terbarukan dalam sistem PLTH memberikan gambaran bahwa sistem ini dapat meningkatkan stabilitas dan kontinuitas pasokan listrik, mengurangi ketergantungan pada pasokan eksternal, serta mendukung pengembangan ekonomi masyarakat pesisir melalui pemanfaatan sumber daya energi lokal yang berkelanjutan. Sistem PLTH ini berpotensi menjadi solusi energi terbarukan untuk wilayah pesisir di Indonesia yang memiliki potensi tinggi namun masih menghadapi keterbatasan akses listrik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim peneliti, SMAQ Darul Fattah, dan berbagai pihak yang terlibat dalam penelitian ini. Tanpa dukungan dari berbagai pihak, penelitian ini tidak akan terwujud. Semoga hasil riset ini dapat memberikan manfaat positif dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

DAFTAR PUSTAKA

Alim, M. S., Thamrin, S., & W., R. L. (2023). Pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya sebagai alternatif ketahanan energi nasional masa depan. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Nusantara (JPkMN)*, 4(3), 2427–2435. https://doi.org/10.55338/jpkmn.v4i2.1480.

Aminuddin, J., Abdullatif, R. F., & Wihantoro. (2015). Persamaan energi untuk perhitungan dan pemetaan area yang berpotensi untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga gelombang laut. *Wave*, 9(1), 9–16. https://doi.org/10.29122/jurnalwave.v9i1.2647.

Asrori, Fahrudin, H., & Agus, H. (2022). Perbandingan performansi panel surya tipe amorphous dan polycrystalline terhadap daya pengisian baterai lithium-ion pada electric scooter. *Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang*, 7(November), 1091–1103. https://doi.org/10.28926/briliant.v7i4.1056.

BPS. (2021). *Kecamatan Punduh Pidada Dalam Angka 2021*. Pesawaran: Badan Pusat Statistik Kabupaten Pesawaran.

BPS. (2023a). *Statistik Listrik 2017–2021*. https://www.bps.go.id/id/publication/2023/02/20/6c01fd49bf46c1ba61242fd5/statistik-listrik-2017-2021.html.

BPS. (2023b). *Jumlah rumah tangga perikanan menurut kecamatan dan sektor di Kabupaten Pesawaran, 2022*. https://pesawarankab.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTk1IzI=/jumlah-rumah-tangga-perikanan-menurut-kecamatan-dan-sektor-di-kabupaten-pesawaran.html.

BPS. (2025). *Rata-rata kecepatan angin menurut bulan di Stasiun Klimatologi (knot), 2024*. http://lampungtengahkab.bps.go.id/en/statistics-table/1/MjMwMCMx/rata-rata-kecepatan-angin-menurut-bulan-di-stasiun-klimatalogi--knot---2024.html.

Gunawan, L., & Santoso, D. B. (2022). Analisis perbandingan daya output turbin angin tipe vertikal (generator 300 W) dan panel surya (monokristalin 200 Wp). *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(13), 227–236. https://doi.org/10.5281/zenodo.6962321.

Kananda, K. (2017). Studi awal potensi energi surya wilayah Lampung: Studi kasus kampus Institut Teknologi Sumatera (ITERA) menuju smart campus. *Journal of Science and Applied Technology*, 1(2), 75–81. https://doi.org/10.35472/281417.

Kementerian ESDM. (2024). *Konsumsi listrik masyarakat meningkat, tahun 2023 capai 1.285 kWh/kapita*. https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/konsumsi-listrik-masyarakat-meningkat-tahun-2023-capai-1285-kwh-kapita.

Nahkoda, Y. I., & Saleh, C. (2015). Tenaga listrik sumbu vertikal Savonius portabel. *Rancang Bangun Kincir Angin*, 5(September), 19–24.

Nofiantoro, M. A., & Firdaus, R. (2018). Pengaruh wintip pada wind turbine VAWT (vertical axis wind turbine) Naca 0015 terhadap unjuk kerjanya. *Jurnal Mesin Nusantara*, 8(1), 109–116. https://doi.org/10.21070/ups.6314.

Parjiman, P., Daryanto, D., Subekti, M., & Rif'an, M. (2018). Simulasi gelombang laut untuk pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL). *Jurnal Teknologi Elektro*, 9(2), 50–55. https://doi.org/10.22441/jte.v9i2.4068.

Pratama, D. A., & Siregar, I. H. (2018). Uji kinerja panel surya tipe polycrystalline 100 Wp. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin UNESA*, 6(3), 79–85.

Pratama, E., & Watiasih, R. (2020). Perbandingan performa solar panel monocrystalline dan polycrystalline. *Elkha*, 12(2), 1–7. https://doi.org/10.26418/elkha.v12i2.41518.

PT PLN. (2022). *Statistik PLN 2022*. https://web.pln.co.id/en/stakeholders/statistical-report.

PT PLN. (2024). *Statistik PLN 2024 (Issue 01001)*. https://web.pln.co.id/en/stakeholders/statistical-report.

Purnomo, A., Farida, I., & Vandika, A. Y. (2019). Tourism development based on science and technology in Pesawaran District of Lampung Province. 2*nd International Conference on Education, Business, Islamic and Technology*, 1-6.

Purwoto, B. H., Jatmiko, J., Fadilah, M. A., & Huda, I. F. (2018). Efisiensi penggunaan panel surya sebagai sumber energi alternatif. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 18(1), 10–14. https://doi.org/10.23917/emitor.v18i01.6251.

Putra, R. A., Yuniahastuti, I. T., & Laksono, R. D. (2021). Skenario perbaikan nilai keandalan loss of load probability pada PLTH Pantai Baru Pandansimo. *Jurnal Energi Terbarukan*, 2(1), 16–22. https://doi.org/10.25273/electra.v2i1.10500.

Roy, M., Saputra, A., & Hudallah, N. (2024). Analisis ketercukupan daya listrik pada pembangkit listrik tenaga hybrid (angin dan surya) Pantai Baru. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 24(1), 32–49. https://doi.org/10.23917/emitor.v24i1.2741.

Serodja, C. M., Ismanto, A., Hakim, A. R., & Ramdhani, A. (2023). Analisa pengaruh angin monsoon timur terhadap arus permukaan berdasarkan data HF radar di perairan Selat Sunda. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(4), 11–18. https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i4.15672.

Soeripno, S., & Ibrochim, M. (2009). Analisa potensi energi angin dan estimasi energi output turbin angin di Lebak Banten. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 7(1), 51–59.

Usman, M. (2020). Analisis intensitas cahaya terhadap energi listrik yang dihasilkan panel surya. *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, 9(2), 52–57. https://doi.org/10.30591/polektro.v9i2.2047.

Utami, S. R. (2010). Studi potensi pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan sistem oscillating water column (OWC) di tiga puluh wilayah kelautan Indonesia. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Veerabhadrappa, K., Suhas, B. G., Mangrulkar, C. K., Kumar, R. S., Mudakappanavar, V. S., Narahari, & Seetharamu, K. N. (2022). Power generation using ocean waves: A review. *Global Transitions Proceedings*, 3(2), 359–370. https://doi.org/10.1016/j.gltp.2022.05.001.

Wardhani, P. C., Fauziyah, N. A., Fatikasari, A. D., & Aryaseta, B. (2022). Daily performance profile comparison test of monocrystalline and poly-crystalline solar panels. *NST Proceedings*, 131–137. https://doi.org/10.11594/nstp.2022.2721.

Zulfadli, T., & Mulkan, A. (2019). Studi kelayakan energi matahari-angin (hybrid) sebagai sumber daya pompa air untuk sistem pengairan di kawasan Aceh Besar. *Jurnal Polimesin*, 17(2), 7–12. https://doi.org/10.30811/jp.v17i2.1113.