



Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) Skala Laboratorium

Muhammad Khaisar Wirawan^{1*}, Luh Putri Adnyani², Febryan Melanchton³,
Nurmawati⁴, Thorikul Huda⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Pembangunan Berkelanjutan,
Institut Teknologi Kalimantan

*Penulis Korespondensi: khaisar.wirawan@lecturer.itk.ac.id

Received: 08/08/2026 | Accepted: 11/09/2026 | Publication: 05/10/2026

Abstract: Wave energy is one of the renewable energy resources with significant potential for development in Indonesia as an archipelagic country. This study aimed to design and develop a laboratory-scale Wave Energy Power Plant (PLTGL) prototype and analyze the effects of wave height and wave period variations on the generated electrical output. The prototype consisted of a horizontal turbine, a DC generator, and a real-time monitoring system based on Arduino Nano and ESP8266. Experimental tests were conducted in a wave flume using wave heights of 10, 11, 13, and 15 cm and wave periods of 0.67, 0.90, and 1.00 s. The observed parameters included voltage, current, and electrical power. The results demonstrated that variations in wave height and wave period affected the electrical output of the prototype. The best performance was achieved at a wave height of 13 cm and a wave period of 0.90 s, producing a voltage of 0.71 V, a current of 211 mA, and a power output of 0.61 W. Validation of 21 empirical models indicated that 13 models were classified as highly accurate, with an average Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 16.83%, while the best-performing model achieved a coefficient of determination (R^2) of 0.9806 and a MAPE of 0.0839%. The developed prototype successfully converted wave energy into electrical energy and produced empirical models with good predictive accuracy for estimating electrical output based on wave characteristics.

Keywords : Wave Energy, Wave Energy Power Plant (PLTGL), Wave Flume, Linear Regression, MAPE



Copyright © 2026, The Author(s).

This is an open-access article under the CC-BY-SA license.

How to Cite: Wirawan, M. K., Adnyani, L. P., Melanchton, F., Nurmawati, & Huda, T. (2026). Rancang bangun prototipe pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) skala laboratorium. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 6(5), 2811–2824. <https://doi.org/10.53625/jirk.v6i5.13315>

PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi listrik serta keterbatasan cadangan bahan bakar fosil mendorong pengembangan sumber energi baru terbarukan yang lebih berkelanjutan. Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki potensi energi laut yang besar, salah satunya energi gelombang laut, yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif karena tersedia secara alami dan relatif kontinu (IEA, 2024; Aminuddin et al., 2015). Pemanfaatan energi gelombang laut diharapkan dapat mendukung diversifikasi energi nasional sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil (Islam et al., 2020).

Energi gelombang laut dikonversi menjadi energi listrik melalui perangkat Wave

Energy Converter (WEC). Berbagai teknologi WEC telah dikembangkan, antara lain Oscillating Water Column, Point Absorber, Overtopping, dan sistem turbin (Falcão, 2010; Rusu & Onea, 2018). Performa sistem konversi energi gelombang dipengaruhi oleh karakteristik gelombang, terutama tinggi gelombang dan periode gelombang, yang menentukan besarnya energi yang dapat dikonversi menjadi energi listrik (Bouhrim et al., 2024; Ringwood, 2021).

Beberapa penelitian telah mengembangkan prototipe pembangkit listrik tenaga gelombang laut pada berbagai skala. Mintarso (2010) mengembangkan prototipe pembangkit listrik tenaga ombak skala laboratorium sebagai media pengujian awal untuk mengevaluasi performa sistem konversi energi gelombang, sedangkan Faizal et al. (2010) memanfaatkan turbin Savonius untuk mengonversi energi gerak orbital gelombang menjadi energi mekanik. Halder et al. (2020) dan Boscaino et al. (2017) menunjukkan bahwa variasi karakteristik gelombang berpengaruh terhadap performa sistem konversi energi. Selain itu, penerapan teknologi Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler juga mulai dimanfaatkan untuk meningkatkan efektivitas proses monitoring data secara real-time (Izzinnahdi et al., 2021; Fauzan et al., 2024).

Meskipun demikian, penelitian terdahulu umumnya masih berfokus pada pengembangan perangkat konversi energi atau pengukuran keluaran listrik. Penelitian yang mengintegrasikan rancang bangun prototipe PLTGL skala laboratorium, sistem monitoring berbasis IoT, serta pengembangan model empiris untuk memprediksi keluaran listrik berdasarkan variasi tinggi gelombang dan periode gelombang masih relatif terbatas. Selain itu, validasi model menggunakan parameter statistik seperti koefisien determinasi (R^2) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat akurasi model empiris (Hyndman & Koehler, 2005; José et al., 2013).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan membangun prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) skala laboratorium menggunakan turbin horizontal yang dipadukan dengan sistem monitoring berbasis Arduino Nano dan ESP8266. Selanjutnya, penelitian ini menganalisis pengaruh variasi tinggi gelombang dan periode gelombang terhadap keluaran listrik berupa tegangan, arus, dan daya, serta mengembangkan model empiris menggunakan regresi linier sederhana yang divalidasi berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan prototipe PLTGL skala laboratorium dan menyediakan model prediksi keluaran listrik berdasarkan karakteristik gelombang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada periode Januari hingga Mei 2026. Tahap studi literatur, perancangan, pembuatan prototipe, dan kalibrasi sensor dilakukan sebelum pengujian. Selanjutnya, pengujian prototipe dilaksanakan pada Mei 2026 di Laboratorium Teknik Kelautan, Institut Teknologi Kalimantan menggunakan *wave flume* sebagai media simulasi gelombang laut. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan dan pembuatan prototipe PLTGL, kalibrasi sensor, pengujian, pengambilan data, serta analisis data untuk memperoleh model empiris keluaran listrik.

Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas komponen mekanik, sistem pembangkit listrik, sistem monitoring, dan media pengujian. Spesifikasi komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

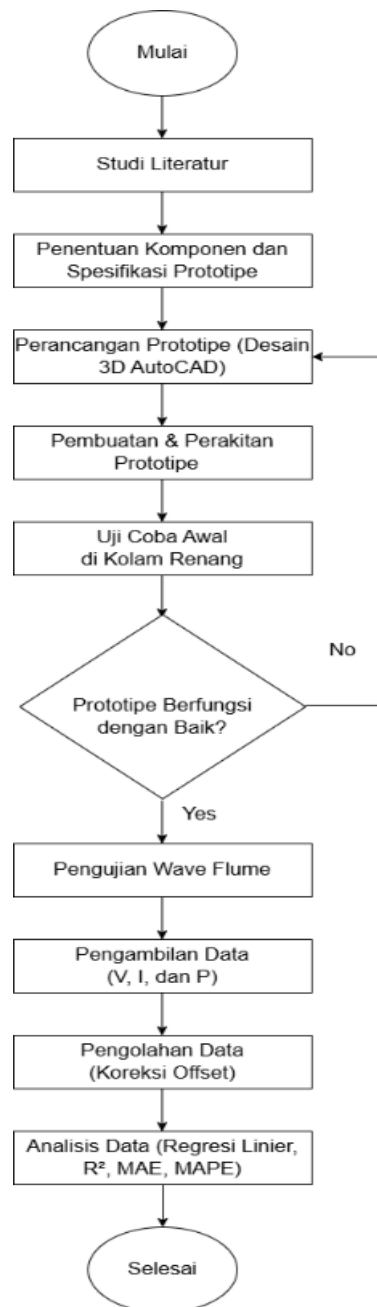
Tabel 1. Spesifikasi komponen utama prototipe PLTGL

No	Komponen	Spesifikasi
1	Turbin	Turbin horizontal berbahan PVC
2	Generator	Motor DC tipe RS555 12 Volt (difungsikan sebagai generator DC)
3	Mikrokontroler	Arduino Nano ATmega328P
4	Modul komunikasi	ESP8266 ESP-12E
5	Sensor arus	ACS712 5 A
6	Sensor tegangan	0–25 Volt
7	Sistem transmisi	Timing Belt GT2 400 mm
8	Pulley	GT2 20T dan GT2 60T
9	Media pengujian	Wave flume

Berdasarkan Tabel 1, prototipe PLTGL terdiri atas sistem mekanik, sistem transmisi, sistem pembangkit listrik, dan sistem monitoring yang saling terintegrasi. Kombinasi komponen tersebut berfungsi untuk mengonversi energi gelombang menjadi energi listrik serta melakukan pengukuran dan monitoring keluaran listrik selama proses pengujian pada *wave flume*.

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur untuk memperoleh dasar teori mengenai konversi energi gelombang laut dan perancangan prototipe PLTGL. Selanjutnya dilakukan proses perancangan, pembuatan prototipe, kalibrasi sensor, pengujian pada *wave flume*, pengambilan data keluaran listrik, serta analisis data menggunakan regresi linier sederhana. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

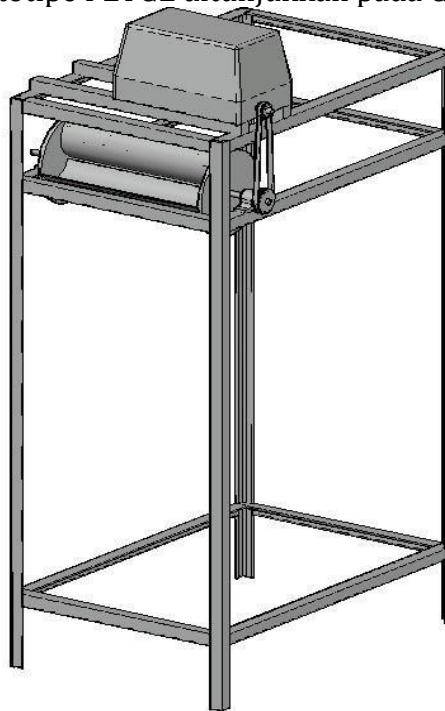


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Berdasarkan Gambar 1, penelitian diawali dengan studi literatur, dilanjutkan dengan penentuan komponen, perancangan, serta pembuatan dan perakitan prototipe PLTGL. Prototipe yang telah selesai diuji pada kolam renang sebelum dilakukan pengujian utama di *wave flume*. Data hasil pengujian kemudian diolah dan dianalisis menggunakan regresi linier sederhana, koefisien determinasi (R^2), MAE, dan MAPE untuk memperoleh model empiris keluaran listrik.

Rancang Bangun Prototipe

Rancang bangun prototipe PLTGL dilakukan untuk menghasilkan desain sistem konversi energi gelombang laut skala laboratorium sebelum proses fabrikasi dan perakitan dilakukan. Perancangan dilakukan menggunakan perangkat lunak AutoCAD untuk menentukan konfigurasi, dimensi, dan tata letak setiap komponen penyusun prototipe. Desain tiga dimensi (3D) prototipe PLTGL ditunjukkan pada Gambar 2.

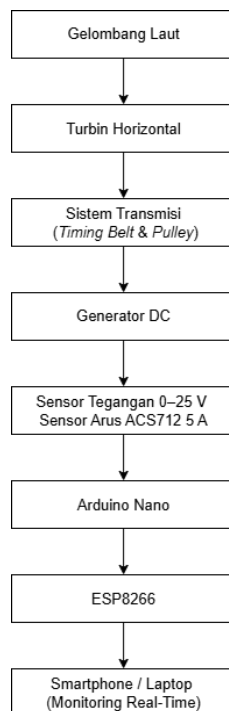


Gambar 2. Desain 3D prototipe PLTGL

Berdasarkan Gambar 2, prototipe PLTGL terdiri atas turbin horizontal, sistem transmisi berupa *timing belt* dan *pulley*, generator DC, rangka penyangga, serta sistem monitoring. Desain tiga dimensi tersebut digunakan sebagai acuan dalam proses fabrikasi dan perakitan sehingga seluruh komponen dapat terpasang sesuai dengan rancangan sebelum dilakukan pengujian pada *wave flume*.

Prinsip Kerja Sistem PLTGL

Prinsip kerja sistem PLTGL menjelaskan alur konversi energi gelombang laut menjadi energi listrik serta proses pengiriman data hasil pengukuran hingga dapat dipantau secara *real-time*. Diagram blok prinsip kerja sistem PLTGL yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram blok prinsip kerja sistem PLTGL

Berdasarkan Gambar 3, sistem PLTGL bekerja dengan mengubah energi gelombang menjadi energi listrik melalui turbin horizontal, sistem transmisi, dan generator DC. Energi listrik yang dihasilkan selanjutnya diukur menggunakan sensor tegangan dan sensor arus ACS712, kemudian diproses oleh Arduino Nano. Data hasil pengukuran dikirimkan melalui modul ESP8266 menggunakan jaringan Wi-Fi sehingga nilai tegangan, arus, dan daya dapat dipantau secara *real-time* melalui perangkat monitoring.

Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan menggunakan empat variasi tinggi gelombang (H_s), yaitu 10 cm, 11 cm, 13 cm, dan 15 cm, serta tiga variasi periode gelombang (T_p), yaitu 0,67 s, 0,90 s, dan 1,00 s. Kombinasi kedua parameter tersebut menghasilkan 12 kondisi pengujian. Pada setiap kondisi dilakukan pengukuran tegangan dan arus listrik yang dihasilkan generator, kemudian daya listrik dihitung berdasarkan hasil pengukuran tersebut. Variasi kondisi pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Variasi kondisi pengujian

Tinggi Gelombang (cm)	Periode Gelombang (s)
10	0,67
10	0,90
10	1,00
11	0,67
11	0,90
11	1,00
13	0,67
13	0,90



13	1,00
15	0,67
15	0,90
15	1,00

Berdasarkan Tabel 2, kombinasi variasi tinggi gelombang (Hs) dan periode gelombang (Tp) menghasilkan 12 kondisi pengujian yang digunakan sebagai dasar pengambilan data. Pada setiap kondisi dilakukan pengukuran tegangan dan arus, kemudian daya listrik dihitung untuk menganalisis pengaruh parameter gelombang terhadap kinerja prototipe PLTGL.

Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi tinggi gelombang dan periode gelombang terhadap keluaran listrik prototipe. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan, arus, dan daya listrik. Daya listrik dihitung berdasarkan hasil pengukuran tegangan dan arus menggunakan Persamaan (1) (Alexander, 2019).

$$P = V \times I \quad (1)$$

dengan:

P = daya listrik (W)

V = tegangan (V)

I = arus (A)

Hubungan masing-masing variabel gelombang, yaitu tinggi gelombang (Hs) maupun periode gelombang (Tp), terhadap parameter keluaran listrik (tegangan, arus, dan daya) dimodelkan menggunakan regresi linier sederhana untuk memperoleh model empiris pada setiap hubungan variabel yang dianalisis (Starbuck, 2023). Bentuk umum persamaan regresi linier ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$Y = a + bX \quad (2)$$

dengan:

Y = variabel terikat (tegangan, arus, atau daya)

X = variabel bebas (tinggi gelombang atau periode gelombang)

a = konstanta

b = koefisien regresi

Kinerja model empiris selanjutnya dievaluasi menggunakan koefisien determinasi (R^2) untuk mengetahui kemampuan model regresi dalam menjelaskan variasi data hasil pengujian (Starbuck, 2023). Nilai R^2 berada pada rentang 0 hingga 1. Semakin mendekati nilai 1 menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang semakin baik dalam menjelaskan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat.

Selain menggunakan koefisien determinasi, akurasi model juga dievaluasi menggunakan Mean Absolute Error (MAE) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE). MAE digunakan untuk mengetahui rata-rata kesalahan absolut antara nilai hasil prediksi dan nilai hasil pengukuran. Nilai MAE yang semakin kecil menunjukkan bahwa hasil prediksi semakin mendekati data aktual (Willmott & Matsuura, 2005). Persamaan MAE ditunjukkan pada Persamaan (3).



$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (3)$$

dengan:

n = jumlah data pengamatan

y_i = nilai hasil pengukuran

$\hat{y}_i$ = nilai hasil prediksi

Selanjutnya, Mean Absolute Percentage Error (MAPE) digunakan untuk mengukur rata-rata persentase kesalahan antara nilai hasil prediksi dan nilai hasil pengukuran sehingga tingkat akurasi model dapat dievaluasi dalam bentuk persentase. Semakin kecil nilai MAPE menunjukkan bahwa model empiris memiliki tingkat akurasi yang semakin baik (Hyndman & Koehler, 2005). Persamaan MAPE ditunjukkan pada Persamaan (4).

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (4)$$

n = jumlah data pengamatan

y_i = nilai hasil pengukuran

$\hat{y}_i$ = nilai hasil prediksi

Berdasarkan data hasil pengujian, regresi linier sederhana digunakan untuk membentuk model empiris hubungan antara parameter gelombang dan keluaran listrik prototipe PLTGL. Kinerja model kemudian dievaluasi menggunakan koefisien determinasi (R^2) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) untuk menentukan tingkat akurasi model dalam merepresentasikan data hasil pengujian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil rancang bangun penelitian ini berupa prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) skala laboratorium yang digunakan untuk mengonversi energi gelombang menjadi energi listrik. Tampilan prototipe hasil rancang bangun ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar a. Tampak depan PLTGL

Gambar b. Tampak Samping PLTGL



Berdasarkan Gambar 4, prototipe terdiri atas turbin horizontal, sistem transmisi pulley dan *timing belt*, generator DC, serta sistem monitoring berbasis Arduino Nano dan ESP8266. Seluruh komponen telah terintegrasi dalam satu sistem dan dapat beroperasi dengan baik selama pengujian pada *wave flume*. Prototipe mampu menghasilkan energi listrik dari energi gelombang serta melakukan monitoring tegangan, arus, dan daya secara *real-time*.

Hasil Pengujian Setelah Kalibrasi dan Koreksi Baseline

Sebelum dilakukan analisis, data hasil pengujian terlebih dahulu melalui proses kalibrasi dan koreksi *baseline* untuk mengurangi pengaruh kesalahan pengukuran. Seluruh analisis pada penelitian ini menggunakan data hasil koreksi sehingga lebih merepresentasikan kondisi aktual sistem PLTGL selama pengujian.

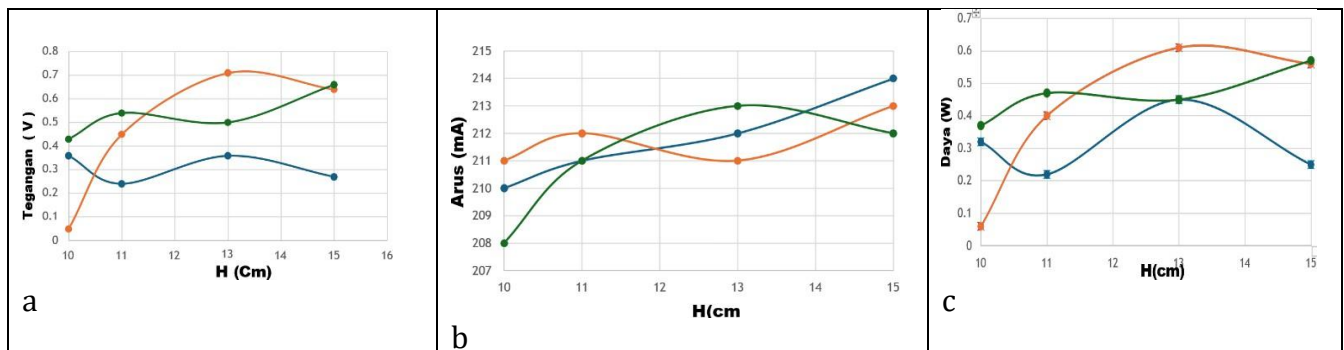
Tabel 3. Hasil Pengujian Prototipe PLTGL Setelah Koreksi Baseline

No	H(cm)	Tp (s)	Tegangan (v)	Arus (A)	Daya (W)
1	10	0.67	0.36	210	0.32
2	10	0.9	0.22	211	0.06
3	10	1	0.43	208	0.37
4	11	0.67	0.24	211	0.22
5	11	0.9	0.45	212	0.40
6	11	1	0.54	211	0.47
7	13	0.67	0.36	212	0.45
8	13	0.9	0.71	211	0.61
9	13	1	0.50	213	0.45
10	15	0.67	0.27	214	0.25
11	15	0.9	0.64	213	0.56
12	15	1	0.66	212	0.57

Berdasarkan Tabel 3, prototipe mampu menghasilkan tegangan sebesar 0,22–0,71 V, arus sebesar 208–214 mA, dan daya sebesar 0,06–0,61 W pada seluruh kondisi pengujian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi tinggi gelombang dan periode gelombang memberikan pengaruh terhadap keluaran listrik yang dihasilkan prototipe.

Pengaruh tinggi gelombang) terhadap Keluaran Listrik

Variasi tinggi gelombang signifikan (H_s) memengaruhi besarnya energi gelombang yang diterima oleh sistem PLTGL. Pengaruh perubahan nilai H_s terhadap keluaran listrik berupa tegangan, arus, dan daya dianalisis berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh pada setiap kondisi gelombang.

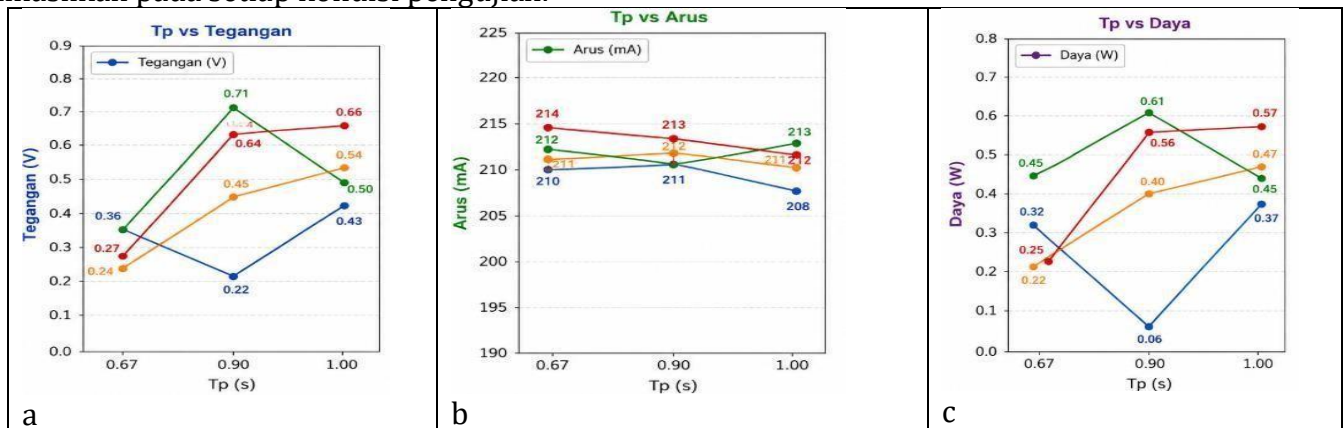


Gambar 5. Pengaruh tinggi gelombang terhadap keluaran listrik: (a) tegangan, (b) arus, dan (c) daya.

Berdasarkan Gambar 5, variasi tinggi gelombang (H) memengaruhi keluaran listrik prototipe PLTGL. Secara umum, peningkatan tinggi gelombang cenderung meningkatkan tegangan dan daya yang dihasilkan, sedangkan arus relatif stabil pada rentang 208–214 mA. Tegangan maksimum sebesar 0,71 V diperoleh pada $H = 13$ cm, sedangkan daya maksimum sebesar 0,61 W diperoleh pada kondisi yang sama. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi gelombang yang diterima sistem, semakin besar energi yang dapat dikonversi menjadi energi listrik. Namun demikian, pada beberapa kondisi masih terjadi fluktuasi yang dipengaruhi oleh karakteristik gelombang, efisiensi generator, dan rugi-rugi mekanik pada sistem transmisi.

Pengaruh Periode Gelombang Puncak (T_p) terhadap Keluaran Listrik

Periode gelombang puncak (T_p) merupakan salah satu parameter yang menentukan karakteristik gerakan gelombang dan interaksinya dengan sistem PLTGL. Pengaruh variasi nilai T_p terhadap keluaran listrik dianalisis melalui perubahan tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan pada setiap kondisi pengujian.



Gambar 6. Pengaruh periode gelombang terhadap keluaran listrik: (a) tegangan, (b) arus, dan (c) daya.

Berdasarkan Gambar 6, periode gelombang puncak (T_p) memengaruhi keluaran listrik prototipe PLTGL yang meliputi tegangan, arus, dan daya. Secara umum, peningkatan nilai T_p cenderung meningkatkan tegangan dan daya yang dihasilkan, sedangkan arus relatif stabil pada rentang 208–214 mA. Tegangan maksimum sebesar 0,71 V dan daya maksimum sebesar 0,61 W diperoleh pada kondisi $H = 13$ cm dan $T_p = 0,90$ s. Hasil ini menunjukkan



bahwa periode gelombang yang lebih panjang memberikan waktu interaksi yang lebih lama antara gelombang dan turbin sehingga proses konversi energi menjadi lebih efektif. Namun demikian, hubungan tersebut tidak selalu linier karena dipengaruhi oleh karakteristik gelombang, efisiensi generator, dan rugi-rugi mekanik pada sistem transmisi (Alexander, 2019; Ringwood, 2021).

Kondisi Operasi Optimum

Untuk mengidentifikasi kondisi operasi terbaik prototipe PLTGL, dilakukan analisis terhadap nilai maksimum tegangan, arus, dan daya yang diperoleh selama pengujian. Hasil identifikasi kondisi operasi optimum ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kondisi Operasi Optimum Prototipe PLTGL

Parameter	Nilai Maksimum	H (cm)	Tp (s)
Tegangan	0,71 V	13	0,90
Arus	214 mA	15	0,67
Daya	0,61 W	13	0,90

Berdasarkan Tabel 4, tegangan maksimum sebesar 0,71 V dan daya maksimum sebesar 0,61 W diperoleh pada kondisi tinggi gelombang 13 cm dan periode gelombang 0,90 s. Sementara itu, arus maksimum sebesar 214 mA diperoleh pada kondisi tinggi gelombang 15 cm dan periode gelombang 0,67 s. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi tinggi gelombang dan periode gelombang memengaruhi kinerja prototipe dalam mengonversi energi gelombang menjadi energi listrik. Pada penelitian ini, kondisi $H = 13$ cm dan $T_p = 0,90$ s dapat dianggap sebagai kondisi operasi optimum karena menghasilkan keluaran daya tertinggi dibandingkan kondisi pengujian lainnya.

Validasi Model Empiris

Untuk mengevaluasi kemampuan model empiris dalam memprediksi keluaran listrik prototipe PLTGL, dilakukan analisis regresi linier sederhana dan validasi menggunakan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Evaluasi dilakukan terhadap seluruh model yang dikembangkan berdasarkan variasi tinggi gelombang dan periode gelombang.

Parameter	Nilai
Jumlah model empiris	21 model
MAPE rata-rata	16,83 %
Tingkat akurasi rata-rata	Baik
MAPE terbaik	0,084 %
R^2 tertinggi	0,9806

Berdasarkan Tabel 5, model empiris yang dikembangkan memiliki nilai MAPE rata-rata sebesar 16,83% yang termasuk kategori baik, sehingga model mampu merepresentasikan hubungan antara parameter gelombang dan keluaran listrik prototipe dengan tingkat akurasi yang memadai. Model terbaik diperoleh pada hubungan tinggi gelombang terhadap arus pada kondisi periode gelombang 0,67 s dengan nilai R^2 sebesar 0,9806 dan MAPE sebesar 0,084%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pendekatan regresi linier sederhana dapat digunakan untuk memprediksi keluaran listrik prototipe PLTGL pada rentang kondisi pengujian yang dilakukan.

KESIMPULAN

1. Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) skala laboratorium berhasil dirancang, dibangun, dan dioperasikan dengan baik. Sistem yang dikembangkan mampu mengonversi energi gelombang menjadi energi listrik melalui turbin horizontal, sistem transmisi, dan generator DC, serta dilengkapi dengan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memantau parameter kelistrikan secara *real-time*.
2. Variasi tinggi gelombang dan periode gelombang berpengaruh terhadap keluaran listrik prototipe PLTGL. Secara umum, peningkatan tinggi gelombang dan periode gelombang cenderung meningkatkan tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan hingga mencapai kondisi optimum. Kinerja terbaik prototipe diperoleh pada tinggi gelombang 13 cm dan periode gelombang 0,90 s. Hasil validasi model empiris menghasilkan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) rata-rata sebesar 16,83% yang termasuk kategori baik, sehingga model yang dikembangkan mampu merepresentasikan hubungan antara karakteristik gelombang dan keluaran listrik prototipe dengan tingkat akurasi yang memadai.

PENGAKUAN/ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada Laboratorium Teknik Kelautan, Institut Teknologi Kalimantan, serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan moral, fasilitas laboratorium, maupun material sehingga pelaksanaan penelitian rancang bangun prototipe PLTGL ini dapat berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, S. (2019). *Electric Machinery Fundamentals*. McGraw-Hill Education.
- Aminuddin, J., Abdullatif, R. F., & Wihantoro. (2015). Persamaan Energi untuk Perhitungan dan Pemetaan Area yang Berpotensi untuk Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut. *Jurnal Kelautan*, 8(2), 89–96.
- Boscaino, V., Cipriani, G., Di Dio, V., Franzitta, V., & Trapanense, M. (2017). Experimental Test and Simulations on a Linear Generator-Based Prototype of a Wave Energy Conversion System Designed with a Reliability-Oriented Approach. *Sustainability*, 9(1), 98.
- Bouhrim, H., El Marjani, A., Nechad, R., & Hajjout, I. (2024). Ocean Wave Energy Conversion: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 198, 114389.
- Faizal, M., Ahmed, M. R., & Lee, Y. H. (2010). On Utilizing the Orbital Motion in Water Waves to Drive a Savonius Rotor. *Renewable Energy*, 35(1), 164–169.
- Falcão, A. F. O. (2010). Wave Energy Utilization: A Review of the Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), 899–918.
- Fauzan, A., dkk. (2024). Monitoring Sistem Kelistrikan Tiga Fasa Berbasis IoT dengan Sensor. *Jurnal Teknologi Elektro*, 13(1), 24–29.
- Halder, P., Takebe, H., Pawitan, K., Fujita, J., & Misumi, S. (2020). Turbine Characteristics of Wave Energy Conversion Device for Extraction Power Using Breaking Waves. *Ocean Engineering*, 217, 107907.
- Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2006). Another Look at Measures of Forecast Accuracy. *International Journal of Forecasting*, 22(4), 679–688. International Energy Agency (IEA). (2024). *World Energy Outlook 2024*. International Energy Agency.

- Islam, M. M., Hasanuzzaman, M., Pandey, A. K., & Rahim, N. A. (2020). Modern Energy Conversion Technologies. Dalam: Energy for Sustainable Development. Elsevier, pp.21–45.
- Izzinnahdi, A., Murdiantoro, R. A., & Armin, E. U. (2021). Sistem Pemantauan Kondisi Air Hidroponik Berbasis Internet of Things Menggunakan NodeMCU ESP8266. Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi, 8(2), 56–63.
- José, J., Moreno, M., Pol, A. P., Abad, A. S., & Blasco, B. C. (2013). Using the R-MAPE Index as a Resistant Measure of Forecast Accuracy. Psicothema, 25(4), 500–506.
- Mintarso, C. S. J. (2010). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Naga Listrik Skala Laboratorium. Wave: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim, 3(1), 33–36.
- Ringwood, J. V. (2021). Rotors for Wave Energy Conversion: Practice and Possibilities. IET Renewable Power Generation, 15(14), 3091–3108.
- Rusu, E., & Onea, F. (2018). A Review of the Technologies for Wave Energy Extraction. Clean Energy, 2(1), 10–19.
- Starbuck, A. (2023). The Fundamentals of People Analytics: With Applications in R. Springer.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN