



Analisis dan Simulasi PLTGL Model OWC menggunakan Ansys Fluent Studi Kasus Keefektifan Sistem dan Pengembangan di Pesisir Pantai Selatan Jawa Tengah

Analysis and Simulation of Pltgl Owc Model using Ansys Fluent Case Study of System Effectiveness and Development on the South Coast of Central Java

Isra' Nuur Darmawan^{1,a)}, Kholistianingsih²⁾, Fahmi Anas³⁾, Asroful Abidin⁴⁾

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma Purwokerto

⁴Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

^{a)}Corresponding author: isra.nuur.darmawan@unwiku.ac.id

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) merupakan teknologi yang mengubah energi kinetik gelombang laut menjadi energi listrik, dengan *Oscillating Water Column* (OWC) sebagai salah satu jenis yang umum digunakan. Penelitian ini bertujuan menganalisis dan mensimulasikan model OWC LIMPET *single column* menggunakan ANSYS FLUENT 2D dan data dari Pesisir Pantai Nusakambangan, Jawa Tengah tahun 2023. Penelitian ini menilai efektivitas sistem OWC dan potensi pengembangannya di daerah tersebut. Simulasi yang digunakan berupa simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*) menggunakan software ANSYS FLUENT 2D untuk menghasilkan *output* kecepatan angin dari kolom. Model OWC disimulasikan dengan variasi *output* diameter kolom 90 cm, 80 cm, 60 cm, dan 40 cm. Daya yang dihasilkan dihitung dengan persamaan umum menghitung daya turbin angin dan selanjutnya dianalisis potensi kelayakan ekonomi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *output* diameter kolom OWC 40 cm paling efektif, menghasilkan kecepatan angin rata-rata 3,08 m/s pada kondisi pasang surut dan gelombang maksimum. Total produksi energi mencapai 27.166,84 kWh/tahun. Proyek PLTGL-OWC di lokasi ini menunjukkan potensi kelayakan ekonomi dengan NPV sebesar Rp 1.644.961.729,51, IRR 17,91%, BCR 7,49, dan PP selama 3 tahun 4 bulan 10 hari.

Kata Kunci: PLTGL; gelombang laut; *oscillating water column*; CFD; *ansys fluent*

Abstract

Sea Wave Power Plant (PLTGL) is a technology that converts the kinetic energy of ocean waves into electrical energy, with Oscillating Water Column (OWC) as one of the commonly used types. This study aims to analyze and simulate a single column OWC LIMPET model using ANSYS FLUENT 2D and data from the Nusakambangan Coast, Central Java in 2023. This study assesses the effectiveness of the OWC system and its development potential in the area. The simulation used was a CFD (Computational Fluid Dynamic) simulation using ANSYS FLUENT 2D software to produce wind speed output from the column. The OWC model is simulated with variations in column diameter output of 90 cm, 80 cm, 60 cm, and 40 cm. The power produced is calculated by the general equation of calculating the power of a wind turbine and subsequently analyzed for potential economic feasibility. The results showed that the output of the OWC column diameter of 40 cm was the most effective, resulting in an average wind speed of 3.08 m/s under tidal conditions and maximum waves. Total energy production reaches 27,166.84 kWh/year. The PLTGL-OWC project in this location shows potential economic feasibility with an NPV of Rp 1,644,961,729.51, IRR 17.91%, BCR 7.49, and PP for 3 years, 4 months and 10 days.

Keywords: PLTGL; sea waves; *oscillating water column*; CFD; *ansys fluent*

PENDAHULUAN

Energi listrik sangat penting untuk kehidupan berkelanjutan dan ekonomi nasional [1]. Krisis lingkungan global dan keterbatasan sumber daya energi konvensional menjadikan kebutuhan akan sumber energi baru terbarukan semakin mendesak seiring dengan meningkatnya permintaan listrik dan biaya yang terus meningkat.

Kebijakan Energi Nasional Indonesia bertujuan meningkatkan proporsi energi terbarukan dalam bauran energi nasional menjadi 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 [2]. Namun, pada tahun 2022, realisasi bauran energi primer gas bumi dan EBT masing-masing hanya sebesar 13,9% dan 12,3%, masih jauh dari target minimal 22% pada tahun 2022 dan 23% pada tahun 2025 [3][16].

Energi laut merupakan energi yang ramah lingkungan dan melimpah, mencakup sekitar 71% permukaan bumi dan berpotensi menghasilkan energi sebesar 80.000 TWh/tahun [4], [5]. Ada lima jenis energi laut yang dapat dimanfaatkan: energi gelombang, pasang surut, arus laut, gradien suhu laut, dan gradien salinitas laut [6]. OWC (*Oscillating Water Column*) adalah teknologi PLTGL yang menggunakan perbedaan tekanan udara pada kolom air yang berayun akibat ombak untuk menghasilkan energi melalui turbin dan generator [7].

ANSYS FLUENT adalah perangkat lunak terkemuka dalam simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang memodelkan aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia [8], [9]. Dengan algoritma canggih dan model fisika yang telah divalidasi, *ANSYS FLUENT* menawarkan keakuratan tinggi, komputasi paralel, antarmuka yang ramah pengguna, dan alat *meshing* otomatis.

Indonesia merupakan negara maritim terbesar di dunia, memiliki potensi energi laut yang besar. Energi laut sepanjang pantai Indonesia berpotensi menghasilkan lebih dari 2 TW jika dikonversikan secara optimal menjadi listrik [10]. Perairan selatan Pulau Jawa, dengan tinggi gelombang 0,8 m – 4,05 m dan gelombang tinggi sekitar bulan Agustus [11], merupakan salah satu wilayah yang berpotensi untuk pengembangan PLTGL.

Konsep kolom air berosilasi (OWC) merupakan teknologi yang menjanjikan, tetapi masih menghadapi tantangan teknis, seperti efisiensi energi, keandalan sistem, dan adaptasi terhadap kondisi laut. Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran potensi instalasi dan pengembangan sistem PLTGL OWC di Pesisir Pantai Nusakambangan Cilacap, Jawa Tengah, dengan fokus pada analisis dan simulasi [18][19].

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Dalam melakukan penelitian ini dibutuhkan alat dan bahan untuk analisis & simulasi Performa PLTGL Model

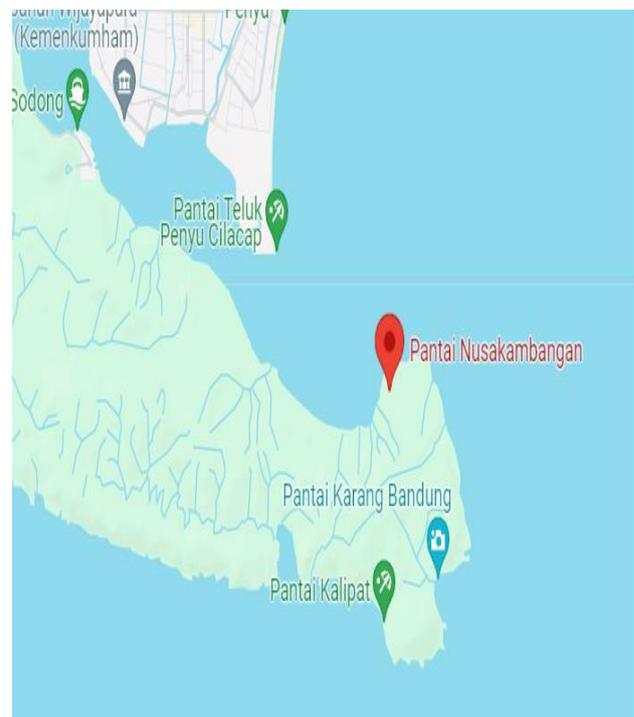
OWC Di Pesisir Pantai Selatan Jawa Tengah yang dapat dilihat pada [Tabel 1](#) sebagai berikut.

Tabel 1. Alat dan Bahan Penelitian

No	Alat dan Bahan	Keterangan
1.	Laptop / PC Windows 11 RAM 8GB	Sebagai media untuk proses mengolah data.
2.	Data Kecepatan Angin, Pasang Surut Air laut & Ketinggian Gelombang laut	Diakses dari <i>website ECMWF</i> dan didapat dari BMKG Kota Cilacap.
3.	<i>Ocean Data View</i>	Digunakan untuk membaca data gelombang laut yang diunduh dari <i>website ECMF</i> .
4.	<i>Microsoft Excel</i>	Untuk mengolah data pasang surut dan ombak laut.
5.	<i>Ansys 2024 R1</i>	Untuk analisis dan simulasi berdasarkan data yang telah didapatkan.
6.	<i>Microsoft Word</i>	Sebagai media penulisan laporan.

Lokasi Penelitian

Pantai Nusakambangan terletak di Pulau Nusakambangan, yang berada di Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah, Indonesia. Pulau Nusakambangan membentang sekitar 30 km dari timur ke barat dan memiliki lebar yang bervariasi. Pulau ini memiliki luas wilayah sekitar 210 km² yang dipisahkan dari daratan utama Jawa oleh Selat Segara Anakan. [Gambar 1](#) menunjukkan Area pesisir Pantai Nusakambangan Jawa Tengah merupakan objek yang akan dikaji dalam studi penelitian ini.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Tahapan Penelitian

Secara garis besar prosedur penelitian ini berisi tentang analisis teknis dan ekonomi dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga gelombang laut pendekatan OWC yang digambarkan dalam *flowchart* pada [Gambar 3](#).

a. Studi Literatur

Studi literatur melibatkan peninjauan dan analisis literatur yang ada mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL), khususnya model Oscillating Water Column (OWC). Tahap ini mencakup pemahaman teori dasar, prinsip kerja, dan teknologi OWC.

b. Pengumpulan Data

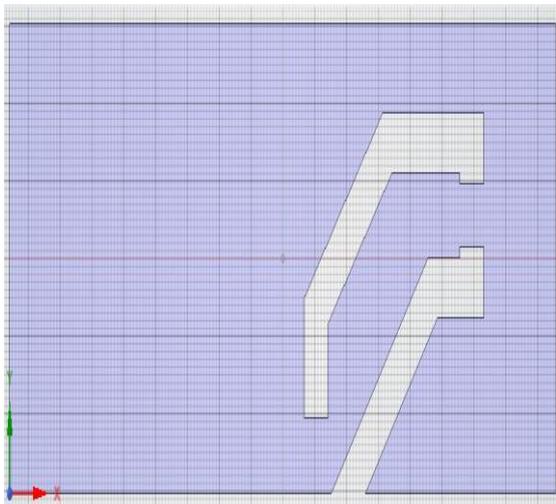
Pengumpulan data melibatkan pengambilan data yang diperlukan untuk simulasi dan analisis. Data yang diambil berupa data pasang surut air laut, tinggi gelombang laut dan kecepatan angin di Pesisir Pantai Nusakambangan tahun 2023.

c. Pengolahan Data

Data yang didapatkan kemudian di olah dalam Microsoft Excel untuk dicari nilai rata-rata setiap bulan selama tahun 2023.

d. Simulasi dan Analisis

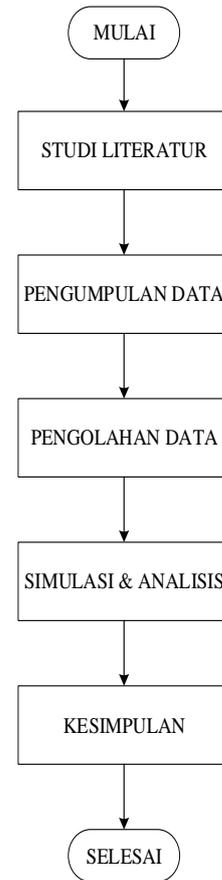
Pada tahap ini data yang telah diolah selanjutnya disimulasikan dengan ANSYS FLUENT menggunakan simulasi 2D (untuk mendapatkan kecepatan angin dari kolom. Model kolom yang digunakan berupa OWC LIMPET *single column* dengan output horizontal dapat dilihat pada Gambar 2 Selanjutnya output kecepatan angin dari hasil simulasi dihitung dayanya menggunakan rumus persamaan yang ada pada penelitian terdahulu dan kemudian dianalisis potensi kelayakan ekonomi pembangunan proyek sistem OWC tersebut di Pesisir Pantai Nusakambangan Jawa Tengah.



Gambar 2. Tampak samping model 2D OWC LIMPET (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2024)

e. Kesimpulan

Dalam tahap ini peneliti mengevaluasi dan memberikan rekomendasi hasil penelitian yang telah diperoleh dan menyimpulkan temuan utama yang telah didapat dari analisis data.



Gambar 3. Flowchart Penelitian

Perhitungan Daya

Dalam penelitian ini daya yang dihasilkan dari kolom OWC dihitung dengan persamaan umum menghitung daya turbin angin seperti yang dijelaskan pada persamaan 1 [12][17].

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^3 \cdot A_1 \cdot C_p \tag{1}$$

Dengan :

P = Daya pada OWC (Watt)

ρ = Densitas udara (kg/m³)

v_1^3 = kecepatan udara pada kolom OWC (m/sec)

A_1 = Luas daerah sapuan angin (m²)

C_p = Koefisien kinerja turbin (teoritis = 0,59 [Bets limit])

Analisa Ekonomi

Aspek ekonomi atau finansial pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan berapa kriteria untuk menyatakan layak atau tidak dari pembangunan suatu pembangkit untuk hasil produksi. Komponen biaya terdiri dari biaya awal (*Capital Cost*) pembangunan PLTGL, biaya operasional (*Operational Cost*), Biaya Operasional dan Pemeliharaan (*Operational and Maintenance Cost*), Biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*) dan Biaya Energi (*Cost of Energy*) [13].

Biaya Investasi (*Capital Cost*)

Biaya investasi awal merupakan langkah awal dalam menganalisis potensi kelayakan ekonomi yang meliputi biaya komponen, pemasangan, dan biaya pendukung lainnya.

Biaya Operasional dan Pemeliharaan (Operational and Maintenance Cost)

Perhitungan biaya operasional dan pemeliharaan dihitung dengan Persamaan 2.

$$O\&M = 1,5\% \times \text{total biaya investasi} \quad (2)$$

Biaya Siklus Hidup (Life Cycle Cost)

Biaya siklus hidup (LCC) dihitung dengan Persamaan 3 dan 4 sebagai berikut [14]:

$$M_{PW} = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^{25}} \right] \quad (3)$$

$$LCC = C + M_{PW} \quad (4)$$

Dimana :

M_{PW} = Nilai harga sekarang

A = Biaya operasional dan pemeliharaan selama 1 tahun

C = Jumlah dari biaya investasi awal

Biaya Energi (Cost of Energy)

Perhitungan COE diawali dengan menghitung faktor pemulihan modal (CRF) seperti pada Persamaan 5.

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (5)$$

Dimana :

i = Tingkat *discount rate*

n = Periode dalam tahun

Sehingga didapat perhitungan untuk COE seperti pada Persamaan 6.

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{A \text{ kWh}} \quad (6)$$

Dimana :

LCC = *Life Cycle Cost* (Rp/kWh)

CRF = Faktor pemulihan daya

A kWh = Energi yang dibangkitkan tahunan (tahunan / kWh)

Indikator Kelayakan Ekonomi

Suatu proyek dapat disebut layak jika memenuhi indikator kelayakan ekonomi yaitu perbandingan manfaat dan biaya; selisih antara manfaat dan biaya; tingkat pengembalian internal (IRR); dan *Payback Periode*.

Net Present Value (NPV)

Rumus yang digunakan dalam perhitungan NPV pada Persamaan 7 [15]:

$$NPV = \sum_{t=1}^1 \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_o \quad (7)$$

Dimana :

C_t = *Net Cash Flow* selama periode waktu (t)

C_o = Total biaya investasi awal

r = *Discount rate*

t = Rentang waktu investasi

Internal Rate of Return (IRR)

Rumus yang digunakan dalam menghitung IRR pada Persamaan 8 [15]:

$$IRR = i_2 + \left(\frac{NPV'}{NPV' - NPV''} \right) (i_2 - i_1) \quad (8)$$

Dimana :

NPV' = NPV yang bernilai positif

NPV'' = NPV yang bernilai negatif

i_1 = Tingkat bunga yang menghasilkan NPV'

i_2 = Tingkat bunga yang menghasilkan NPV''

Benefit Cost Ratio (BCR)

Persamaan 9 merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung *Benefit Cost Ratio* (BCR) [15].

$$BCR = \frac{PV \text{ dari manfaat (benefit)}}{PV \text{ dari biaya awal (cost)}} \quad (9)$$

Payback Periode

Secara sistematis *Payback Periode* dapat dirumuskan pada Persamaan 10 [15]:

$$Payback \text{ Periode} = \frac{I}{A_b} \quad (10)$$

Dimana :

I = Biaya investasi awal

A_b = Benefit bersih setiap tahun

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Penelitian

Lokasi penelitian yang digunakan untuk simulasi dan analisis sistem OWC yaitu Pesisir Pantai Nusakambangan, Cilacap Jawa Tengah. Pantai Nusakambangan terletak pada garis lintang 07°7' LS dan pada garis bujur 109°0' BT, waktu pengambilan data menggunakan waktu GMT+07.00 Jakarta. Data pasang surut air laut, gelombang laut, dan kecepatan angin diambil rata-rata setiap bulan sepanjang tahun 2023 dari bulan Januari 2023 sampai Desember 2023.

Data yang telah didapatkan mengenai pasang surut, gelombang laut, dan kecepatan angin pada Pesisir Pantai Nusakambangan Jawa Tengah ditampilkan dalam [Tabel 2](#).

Tabel 2. Data Pesisir Pantai Nusakambangan Tahun 2023

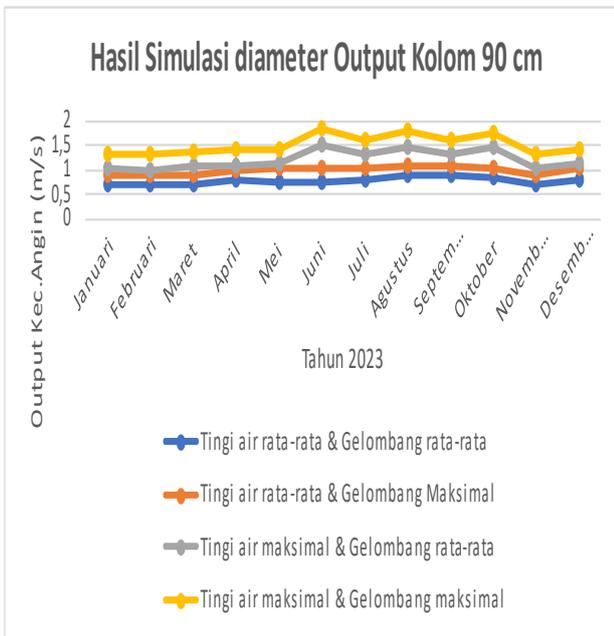
No	Bulan (Tahun 2023)	Pasang Surut Air Laut (m)		Tinggi Gelombang Laut (m)		Rata-rata Kecepatan Angin (m/s)
		Rata-rata	Maksimal	Rata-rata	Maksimal	
1.	Januari	1,1	2,1	1,33	1,80	1,54
2.	Februari	1,1	2,0	1,28	1,67	1,54
3.	Maret	1,1	2,1	1,41	1,87	1,54
4.	April	1,1	2,1	1,56	1,96	1,54
5.	Mei	1,1	2,2	1,41	1,93	2,05
6.	Juni	1,1	2,1	1,41	2,22	2,57
7.	Juli	1,1	2,1	1,45	2,06	2,57
8.	Agustus	1,1	2,1	1,59	2,14	2,57
9.	September	1,1	2,0	1,61	2,10	2,57
10.	Oktober	1,1	2,1	1,52	2,21	2,05
11.	November	1,1	2,1	1,29	1,72	1,54
12.	Desember	1,1	2,1	1,47	2,13	1,54

Hasil Simulasi Ansys

Simulasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu simulasi CFD (*Computational Dynamic Fluid*) menggunakan *software ANSYS FLUENT* versi R1 2024. Simulasi berupa simulasi CFD 2D kolom OWC model LIMPET seperti pada gambar 2, dilakukan sebanyak empat kali pada setiap data tiap bulan yang ada pada tabel 2, yaitu data pasang surut rata-rata terhadap tinggi gelombang rata-rata, data pasang surut rata-rata terhadap tinggi gelombang maksimal, data pasang surut maksimal terhadap tinggi gelombang rata-rata, dan data pasang surut maksimal terhadap gelombang maksimal.

Data angin yang dihasilkan dari kolom OWC diambil nilai rata-rata dari hasil simulasi. Ukuran dimensi kolom OWC sesuai dengan model awal yang telah dibuat dengan variasi diameter *output* kolom 90 cm, 80 cm, 60 cm, dan 40 cm. Ketebalan beton kolom OWC 75 cm dan titik awal datangnya gelombang disimulasikan dengan jarak 10 m dari kolom. Waktu yang digunakan untuk mensimulasikan data selama 40 detik.

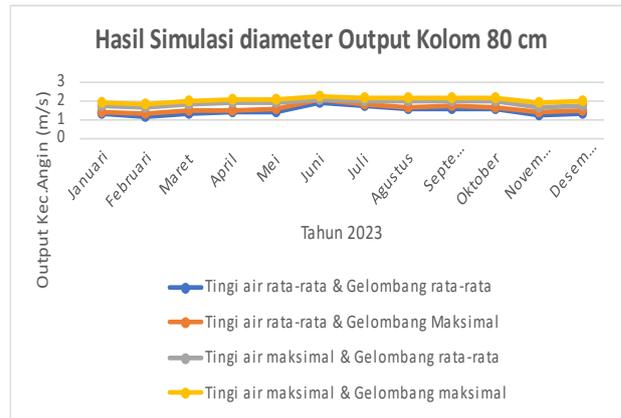
a. Hasil Simulasi OWC dengan diameter *output* OWC 90 cm



Gambar 4. Hasil Simulasi OWC diameter Output 90 cm

Berdasarkan **Gambar 4.** Hasil Simulasi OWC diameter Output 90 cm menunjukkan hasil simulasi pada model dengan diameter output OWC 90 cm didapatkan kecepatan angin rata-rata pada tahun 2023 sebesar 0,773 m/s pada ketinggian air laut rata-rata dan tinggi gelombang rata-rata, 0,993 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang maksimal, 1,212 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang rata-rata, dan 1,519 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang maksimal.

b. Hasil Simulasi OWC dengan diameter *output* OWC 80 cm

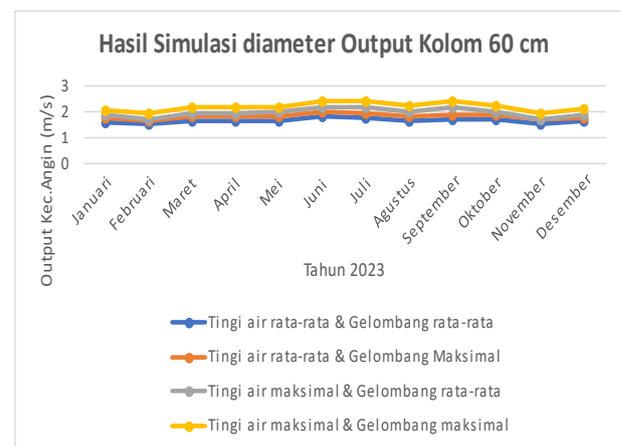


Gambar 5. Hasil Simulasi OWC diameter Output 80 cm

Data hasil simulasi kolom OWC dengan variasi diameter 80 cm ditampilkan pada **Gambar 5.** Hasil Simulasi OWC diameter Output 80 cm didapatkan kecepatan angin rata-rata pada tahun 2023 sebesar 1,443 m/s pada ketinggian air laut rata-rata dan tinggi gelombang rata-rata, 1,580 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang maksimal, 1,853 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang rata-rata, dan 2,060 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang maksimal.

c. Hasil Simulasi OWC dengan diameter *output* OWC 60 cm

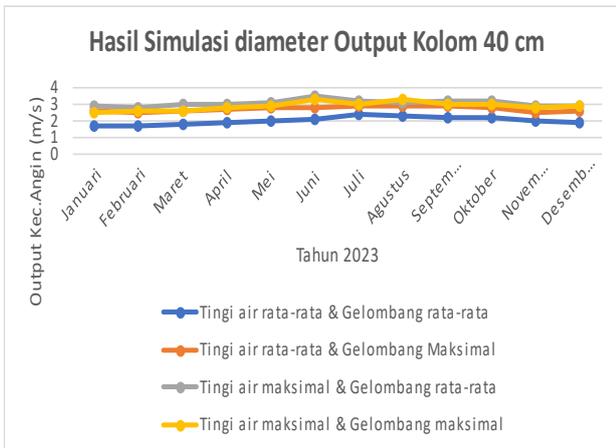
Data hasil simulasi kolom OWC dengan variasi diameter 60 cm ditampilkan pada **Gambar 6.** Hasil Simulasi OWC diameter Output 60 cm didapatkan kecepatan angin rata-rata pada tahun 2023 sebesar 1,683 m/s pada ketinggian air laut rata-rata dan tinggi gelombang rata-rata, 1,841 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang maksimal, 1,982 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang rata-rata, dan 2,195 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang maksimal.



Gambar 6. Hasil Simulasi OWC diameter Output 60 cm

d. Hasil Simulasi OWC dengan diameter output OWC 40 cm

Data hasil simulasi kolom OWC dengan variasi diameter 40 cm ditampilkan pada Gambar 7. Hasil Simulasi OWC diameter Output 40 cm



Gambar 7. Hasil Simulasi OWC diameter Output 40 cm

Berdasarkan Gambar 7. Hasil Simulasi OWC diameter Output 40 cm menunjukkan hasil simulasi pada model dengan diameter output OWC 40 cm didapatkan kecepatan angin rata-rata pada tahun 2023 sebesar 2,019 m/s pada ketinggian air laut rata-rata dan tinggi gelombang rata-rata, 2,724 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang maksimal, 2,900 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang rata-rata, dan 3,086 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang maksimal.

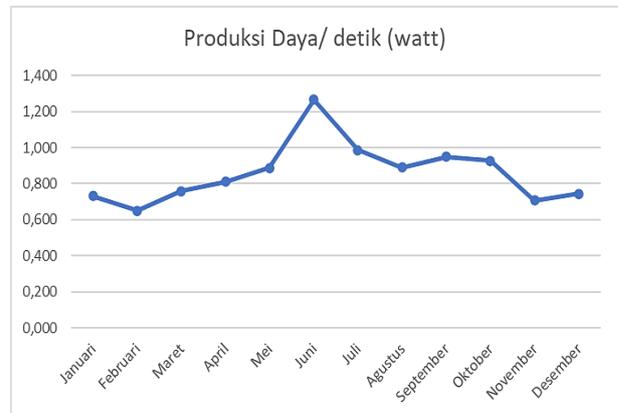
e. Analisis Hasil Simulasi Ansys dengan variasi diameter Output Kolom 90 cm, 80 cm, 60 cm dan 40 cm

Simulasi kolom OWC dengan diameter 90 cm menghasilkan kecepatan angin rata-rata sebesar 0,773 m/s, 0,993 m/s, 1,212 m/s, dan 1,519 m/s untuk berbagai kondisi air dan gelombang, data dapat dilihat pada tabel 4.2. Namun, kecepatan angin ini kurang efektif sehingga simulasi dilakukan dengan diameter kolom 80 cm, 60 cm, dan 40 cm. Data hasil simulasi dengan variasi lebar diameter output kolom dapat dilihat pada tabel 4.3-4.5. Hasil terbaik diperoleh pada diameter 40 cm dengan kecepatan angin tertinggi 3,524 m/s pada Juni 2023 dan rata-rata tahunan 3,086 m/s. Kesimpulannya, model OWC LIMPET dengan diameter kolom 40 cm paling efektif. Data ini digunakan untuk analisis daya dan kelayakan ekonomi berdasarkan kecepatan angin pada ketinggian air dan gelombang maksimal sepanjang tahun 2023.

Perhitungan Daya

Daya yang dihasilkan pada kolom OWC dihitung menggunakan rumus menghitung daya turbin angin seperti pada persamaan 1.

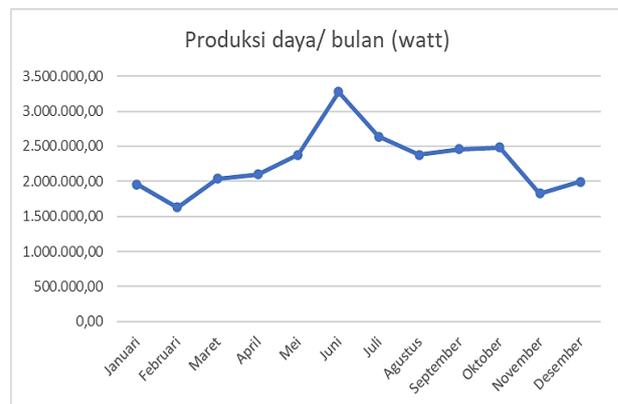
Berdasarkan Gambar 8. Hasil Perhitungan Daya setiap detik dari OWC menampilkan hasil perhitungan matematis menunjukkan daya yang dihasilkan setiap detik selama tahun 2023 ditampilkan pada Gambar 4.5, dengan nilai daya sebagai berikut: Januari 0,731 watt/detik, Februari 0,649 watt/detik, Maret 0,760 watt/detik, April 0,811 watt/detik, Mei 0,887 watt/detik, Juni 1,265 watt/detik, Juli 0,966 watt/detik, Agustus 0,889 watt/detik, September 0,949 watt/detik, Oktober 0,928 watt/detik, November 0,706 watt/detik, Desember 0,744 watt/detik, dan rata-rata tahunan 0,859 watt/detik.



Gambar 8. Hasil Perhitungan Daya setiap detik dari OWC

a. Hasil Perhitungan Daya OWC dalam bulan

Untuk menghitung nilai daya yang dihasilkan dalam setiap bulan, data pada tabel diatas dikalikan dengan jumlah detik setiap bulan pada tahun 2023.



Gambar 9. Hasil Total Daya setiap Bulan pada tahun 2023

Data pada Gambar 9. Hasil Total Daya setiap Bulan pada tahun 2023 menunjukkan total daya yang dihasilkan sebesar 27.166,84 kWh sepanjang tahun 2023. Rinciannya adalah: Januari 1.957,71 kWh, Februari 1.626,18 kWh, Maret 2.034,74 kWh, April 2.101,10 kWh, Mei 2.376,69 kWh, Juni 3.279,37 kWh, Juli 2.640,98 kWh, Agustus 2.381,25 kWh, September 2.460,07 kWh, Oktober

2.485,34 kWh, November 1.829,47 kWh, Desember 1.993,95 kWh dan rata-rata tahunan 2.291,74.

Analisa Ekonomi

Biaya Investasi Awal

Rincian biaya investasi awal bisa dilihat pada [Tabel 3](#).

Tabel 3. Rincian Biaya Investasi Awal

No	Item	Quantity unit	Harga Rp	Total Rp
Biaya Infrastruktur				
1	Konstruksi OWC (Beton Marine Concrete)	25,015 m ³	Rp1.200.000/m ³	Rp30.018.000
2	Instalasi Pesisir	1	Rp30.000.000	Rp30.000.000
3	Peralatan & Material	1	Rp50.000.000	Rp50.000.000
Teknologi & Peralatan				
4	Turbin Wells	1	Rp80.000.000	Rp80.000.000
5	Generator	1	Rp34.693.750	Rp34.693.750
6	Kabel dan Peralatan Listrik	1	Rp30.000.000	Rp30.000.000
7	Sistem Kontrol dan Instrumentasi	1	Rp20.000.000	Rp20.000.000
Biaya Pendukung				
8	Tenaga Kerja & Manajemen Proyek Perizinan	1	Rp75.000.000	Rp75.000.000
9	Lingkungan Proyek Kelautan	1	Rp250.000.000	Rp250.000.000
TOTAL				Rp599.711.750

Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Nilai yang diambil untuk biaya operasional dan pemeliharaan di PLTGL-OWC Pesisir Pantai Nusakambangan adalah sebesar 1,5%. Besar biaya O&M dapat dihitung dengan persamaan 2 yakni sebesar Rp 8.995.676,25.

Biaya Siklus Hidup (Life Cycle Cost)

Diamsuksikan OWC yang dirancang dalam penelitian ini dapat bekerja selama 25 tahun, mengacu pada umur rata-rata proyek EBT. Suku bunga yang berlaku saat ini menurut Bank Indonesia tahun 2024 adalah sebesar 6,25%. Maka nilai harga sekarang dapat dihitung dengan persamaan 3 menghasilkan nilai sebesar Rp 112.313.115,84, dan biaya siklus hidup hidup untuk rancangan sistem OWC selama 25 tahun adalah sebesar Rp 712.024.865,84 berdasarkan perhitungan dengan persamaan 4.

Biaya Energi (Cost Of Energy)

Perhitungan COE diawali dengan menghitung faktor pemulihan modal (CRF) dengan persamaan 3.5 didapatkan hasil sebesar 0,08. Sehingga didapat perhitungan biaya siklus hidup (COE) yaitu Rp 2.099,227/kWh sesuai dengan persamaan 6.

Indikator Kelayakan Ekonomi

Indikator kelayakan ekonomi meliputi *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, *Benefit Cost Ratio (BCR)* dan *Payback Periode*. Karena suku bunga yang berlaku pada tahun 2024 adalah sebesar 6,25%, dan sesuai PERmen ESDM No 49 tahun 2018, untuk nilai impor-ekspor listrik yaitu, 1 berbanding 0,65. Maka *Present Value* untuk biaya saat ini sesuai pada [Tabel 4](#).

Tabel 4. *Present Value*

Investasi Awal	Rp 599.711.750
Lama Proyek	25 tahun
Suku Bunga	6,25%
Jumlah Produksi Energi/tahun	27.166,84 kWh/tahun
Jumlah Energi Dijual	42.221.976 kWh/tahun
Harga Jual Listrik PLN	Rp 1.444,7/kWh
Harga Jual Listrik ke PLN	Rp 1.683,00/kWh
Benefit	(27.166,84 × 1.683) Rp 45.721.790,40
Biaya O&M	Rp 8.995.676,25
LCC	Rp 712.024.865,84
COE	Rp 2.099,227/kWh

Net Present Value (NPV)

Berdasarkan dari data pada Tabel 4 dan persamaan 7, maka besar *Net Present Value (NPV)* adalah sebesar Rp 1.644.961.759,51. Nilai tersebut menunjukkan bahwa besar nilai NPV > 0, maka dapat disimpulkan bahwa proyek **Memenuhi** syarat untuk bisa di realisasikan.

Internal Rate of Return (IRR)

Internal Rate of Return (IRR) adalah hasil dari menghitung nilai saat ini dari biaya dan manfaat yang terjadi dengan menggunakan berbagai tingkat suku bunga, dengan faktor pengalinya bervariasi. Pada penelitian ini digunakan suku bunga sebesar 6,25% dan 12,5% untuk memberikan nilai NPV didapat nilai NPV masing-masing sebesar Rp 1.644.961.759,51 dan Rp 762.889.274. Dari perhitungan berdasarkan persamaan 3.8 didapat nilai *Internal Rate of Return (IRR)* sebesar 17,91%. Sehingga besar nilai IRR > 6,25%, maka dapat disimpulkan bahwa proyek tersebut **Memenuhi** syarat untuk bisa di laksanakan.

Benefit Cost Ratio (BCR)

Benefit Cost Ratio (BCR) merupakan perbandingan antara nilai sekarang (PV) dari manfaat terhadap nilai sekarang dari biaya awal. Diketahui biaya investasi awal sebesar Rp 599.711.750 dan total *Net Cash Flow* sebesar Rp 4.494.656.692.

Dari perhitungan menggunakan persamaan 9 didapat nilai *Benefit Cost Ratio (BCR)* sebesar 7,49. Sehingga besar

nilai $BCR > 1$, maka dapat disimpulkan bahwa proyek tersebut **Memenuhi** syarat untuk bisa di dilaksanakan.

Payback Periode (PP)

Nilai *Payback Periode* untuk proyek sistem OWC ini yaitu 3,425 yang dihitung menggunakan persamaan 10.

Dari nilai PP dapat diketahui bahwa waktu pengembalian dana/investasi perancangan ini adalah berkisar 3 tahun 4 bulan 10 hari < 25 tahun (umur dari proyek), maka dapat disimpulkan bahwa proyek tersebut **Memenuhi** syarat untuk bisa di dilaksanakan.

Setelah *Payback Periode* diketahui, maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui berapa besar keuntungan selama 25 tahun proyek tersebut beroperasi, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Besar Profit Kumulatif} &= \text{Kumulatif Net Cash Flow} - \\ \text{Biaya Investasi} &= \text{Rp } 4.494.656.692 - \\ \text{Rp } 599.711.750 & \\ &= \text{Rp } 3.894.944.942,22 \end{aligned}$$

Pembahasan

1. Simulasi kolom OWC menggunakan *software anys fluent* dengan model simulasi *Multiphase* metode *Layering-Mixture* untuk 2 *phase* (air & udara). Model OWC yang digunakan yaitu model *OWC LIMPET single column* dengan output horizontal. Pada simulasi OWC menggunakan *anys fluent* dengan diameter *output* OWC 90 cm menghasilkan kecepatan angin rata-rata pada tahun 2023 sebesar 0,773 m/s dengan kondisi ketinggian air laut rata-rata dan tinggi gelombang rata-rata, pada ketinggian air laut rata-rata dan tinggi gelombang maksimal sebesar 0,993 m/s, pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang rata-rata menghasilkan 1,212 m/s, dan pada ketinggian air rata-rata dan tinggi gelombang rata-rata menghasilkan *output* kecepatan angin sebesar 1,519 m/s.
2. Berdasarkan hasil simulasi pertama menggunakan diameter *output* 90 cm kecepatan angin yang dihasilkan kolom kurang efektif untuk dapat menggerakkan turbin, sehingga dilakukan percobaan dengan mengubah ukuran diameter *output* dari kolom OWC dengan variasi 80 cm, 60 cm dan 40 cm. Dari hasil percobaan menggunakan variasi diameter *output* 40 cm, 60 cm dan 80 cm didapatkan kecepatan angin yang paling optimal pada variasi diameter *output* 40 cm dengan rata-rata 1,683 m/s pada ketinggian air laut rata-rata dan tinggi gelombang rata-rata, 1,841 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang maksimal, 1,982 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang rata-rata, dan 2,195 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang maksimal.
3. Perhitungan daya yang dihasilkan oleh kolom OWC menggunakan rumus umum untuk menghitung daya

dari turbin angin menggunakan persamaan 1, untuk luas sapuan turbin diasumsikan diameter bilah turbin 80% dari total diameter *output* kolom OWC yaitu $(80\% \times 40 \text{ cm} = 32 \text{ cm})$. Dihadirkan rata-rata daya setiap detik (*secon*) sebesar 0,859 watt. Selanjutnya untuk mengetahui nilai daya yang dihasilkan setiap bulan pada kolom OWC dilakukan perhitungan dengan mengalikan daya yang dihasilkan setiap detik dengan jumlah detik pada setiap bulan sepanjang tahun 2023. Jumlah detik menyesuaikan jumlah hari disetiap bulan pada tahun 2023. Hasil perhitungan daya yang didapatkan dari kolom OWC setiap bulan ditampilkan pada Gambar 9.

PENUTUP

Simpulan

Dari analisis dan simulasi didapat beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Hasil simulasi kolom OWC model LIMPET yang telah dimodelkan dengan diameter *output* 90 cm dan menggunakan data pada Pesisir Pantai Selatan Jawa Tengah khususnya Pantai Nusakambangan Jawa Tengah, didapatkan potensi kecepatan angin rata-rata sebesar 0,773 m/s pada ketinggian air rata-rata dan tinggi gelombang rata-rata, pada ketinggian air rata-rata dan tinggi gelombang maksimal sebesar 0,993 m/s, pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang rata-rata menghasilkan 1,212 m/s, dan pada ketinggian air rata-rata dan tinggi gelombang rata-rata menghasilkan *output* kecepatan angin sebesar 1,519 m/s.
2. Hasil simulasi pada model dengan diameter *output* OWC 40 cm didapatkan hasil kecepatan angin rata-rata 2,019 m/s pada ketinggian air laut rata-rata dan tinggi gelombang rata-rata, 2,724 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang maksimal, 2,900 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang rata-rata, dan 3,086 m/s pada ketinggian air laut maksimal dan tinggi gelombang maksimal.
3. Total produksi energi yang dihasilkan dari analisis dan simulasi kolom OWC model LIMPET dengan diameter *output* 40 cm sebesar 27.166,84 kWh/tahun pada Tahun 2023.
4. Hasil analisis kelayakan ekonomi untuk perencanaan PLTGL-OWC di Pesisir Pantai Nusakambangan Cilacap menunjukkan *Net Present Value* (NPV) sebesar Rp 1.644.961.759,51; *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 17,91%, *Benefit Cost Ratio* (BCR) mencapai 7,49 dan *Payback Period* (PP) selama 3 tahun 4 bulan 10 hari. Oleh karena itu, perencanaan PLTGL-OWC di Pesisir Pantai Nusakambangan Cilacap sudah memenuhi syarat dan layak dalam standar keputusan

untuk investasi, dengan keuntungan yang didapat jika OWC beroperasi selama 25 tahun adalah sebesar Rp 3.894.944.942,22.

Saran

Untuk mengembangkan penelitian ini maka saran yang bisa dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Simulasi kolom OWC dalam penelitian ini menggunakan model 2D, untuk menghasilkan data yang lebih akurat dan detail, peneliti selanjutnya dapat membuat simulasi kolom OWC dalam model 3D.
2. Untuk menentukan lokasi paling tepat pemasangan kolom OWC diperlukan studi topografi lebih lanjut mengenai daerah Pantai Nusakambangan Cilacap.
3. Perlunya desain instalasi secara teknis seperti pemasangan kabel dan komponen pendukung lainnya untuk memudahkan apabila rancangan akan di realisasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. G. Pratomo and H. A. S. R. Soebari, "Pemetaan Awal Potensi Energi Laut Di Pantai Selatan Pulau Jawa Dengan Pemodelan Hidrodinamika," *Geoid*, vol. 15, no. 1, p. 77, 2020, doi: 10.12962/j24423998.v15i1.3977.
- [2] J. Aspan Latifah, M. S. Boedoyo, and D. Yoesgiantoro, "Analisis Pemanfaatan Energi Terbarukan di Calon Ibukota Negara Provinsi Kalimantan Timur dengan Metode Analytical Hierarchy Proess untuk Ketahanan Energi," *J. Ketahanan Energi*, vol. 7, no. 2, pp. 77–84, 2021.
- [3] R. J. Artami, "Evaluasi Kebijakan Energi Nasional," *Pertamina Energy Inst.*, vol. 9, no. 2, pp. 151–165, 2023, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/374230893%0D>
- [4] H. Mirzaei, M. N. Moghim, and B. Movahedian, "Numerical Solution of Hydrodynamic Efficiency Equations for an Oscillating Water Column Wave Energy Converter Using the Method of Fundamental Solutions," *Eng. Anal. Bound. Elem.*, vol. 158, pp. 270–288, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2023.10.029>.
- [5] N. Khan, A. Kalair, N. Abas, and A. Haider, "Review of ocean tidal, wave and thermal energy technologies," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 72, pp. 590–604, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.079>.
- [6] S. Vignesh, J. R. S. Thangamani, T. Poongundran, S. S. Joshva, and D. Sathish, "Wave energy harvester," *Ijresm E*, vol. 2, no. 5, pp. 194–196, 2019.
- [7] B. Dzanzar, P. Bakti, I. N. D. S. T, M. Eng, S. T. Kholistianingsih, and M. Eng, "Monitoring Dan Pengamanan Ketinggian Ombak Pada Kolom OWC Berbasis ESP32".
- [8] T. Stolarski, Y. Nakasone, and S. Yoshimoto, "Overview of ANSYS structure and its graphic capabilities," T. Stolarski, Y. Nakasone, and S. B. T.-E. A. with A. S. (Second E. Yoshimoto, Eds. Butterworth-Heinemann, 2018, pp. 37–49. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102164-4.00002-9>.
- [9] J. E. Matsson, *An Introduction to ANSYS FLUENT 2023*. SDC Publications, 2023. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=XLTFEAAQBAJ>
- [10] A. Vidura, R. L. W, and Mukhtasor, "Potensi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Di Perairan Selatan Pulau Jawa Dalam Mendukung Ketahanan Energi," *J. Ketahanan Energi*, vol. 8, no. 1, pp. 32–48, 2022.
- [11] M. G. Manek, "Pemanfaatan Data Satelit Altimetri Jason-2 Untuk Analisa Karakteristik Kecepatan Angin Dan Tinggi Gelombang (Studi Kasus: Perairan Pulau Jawa)," 2019, [Online]. Available: <http://eprints.itn.ac.id/id/eprint/3981>
- [12] M. Adam, P. Harahap, and M. R. Nasution, "Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 30–36, 2019, doi: 10.30596/rele.v2i1.3648.
- [13] A. B. Muljono, K. B. K. Mukti, and A. Natsir, "Kajian Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Menggunakan Perangkat Lunak LandGEM TPA Kebon Kongok Gerung Lombok Barat," *Dielektrika*, vol. 9, no. 1, pp. 68–79, 2022, [Online]. Available: <http://www.dielektrika.unram.ac.id/index.php/dielektrika/article/view/296>
- [14] F. Hidayat, B. Winardi, and A. Nugroho, "Analisis Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro," vol. 7, no. 4, 2019, doi: 10.14710/transient.7.4.875-882.
- [15] H. J. Patricia, "Analisis Keekonomian Kompleks Perumahan Berbasis Energi Sel Surya (Studi Kasus: Perumahan Cyber Orchid Town Houses, Depok)," *Fmipa Ui*, no. 0806455143, 2012.
- [16] I. N. Darmawan, K. Kholistianingsih, S. A. Pramono, and A. Abidin, "Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik Kabupaten Rembang Menggunakan Software LEAP," *J-Proteksion*, vol. 6, no. 2, pp. 56–61, 2022, doi: 10.32528/jp.v6i2.6823.

- [17] I. Nuur Darmawan, M. Alif, and Kholistianingsih, "Rancang Bangun Generator Fluks Axial Magnet Permanen Satu Phasa Sistem 24 V dan 48 V pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu," *Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 100–108, 2024, doi: 10.32528/jp.v8i2.1129.
- [18] I. N. Darmawan and G. A. Ramadani, "Experimental Testing of 48 V Hybrid System of Solar-Wind Power Modul at Baru Beach Pandansimo and Mount Buthak Bantul Special Region of Yogyakarta," *2024 12th Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*, pp. 37–43, 2024, doi: 10.1109/EECCIS62037.2024.10840143.
- [19] I. N. Darmawan, B. Dzanzar, and P. Bakti, "Wave Height Monitoring and Security System on Oscillating Water Column Using ESP32 Microcontroller," *2024 12th Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*, no. C, pp. 29–36, 2024, doi: 10.1109/EECCIS62037.2024.10840039.