

STUDI POTENSI ENERGI GELOMBANG LAUT DI SELAT MADURA MENGUNAKAN WEC-SIM

Arief Budiman, Tri Wrahatnolo, Unit Three Kartini, Ibrohim

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia

arief.21031@mhs.unesa.ac.id

Abstract

This study aims to analyze the potential of electrical energy that can be generated by ocean waves in the Madura Strait using the WEC-Sim (Wave Energy Converter Simulator) software simulation based on MATLAB/Simulink. The simulation was conducted using the RM3 design as a model for the wave energy converter. The wave parameters used were actual data from the BMKG, with wave heights ranging from 0.01449 m and a period of 4 seconds. The simulation results were analyzed to determine the total power and average power, and compared with manual calculations based on theoretical formulas. The results showed that the WEC-Sim simulation provided realistic results that closely matched the manual calculations, with only a small difference in power estimation. This study demonstrates that the Madura Strait has significant potential for development as a renewable source of electrical energy from the sea.

Article History

Submitted: 19 July 2025

Accepted: 28 July 2025

Published: 29 July 2025

Key Words

ocean wave energy, RM3, WEC-Sim, MATLAB simulation, Madura Strait

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh gelombang laut di Selat Madura dengan menggunakan simulasi perangkat lunak WEC-Sim (Wave Energy Converter Simulator) berbasis MATLAB/Simulink. Simulasi dilakukan dengan memanfaatkan desain RM3 sebagai model konverter energi gelombang laut. Parameter gelombang yang digunakan merupakan data aktual dari BMKG, dengan tinggi gelombang berkisar 0,01449 m dan periode 4 detik. Hasil simulasi dianalisis untuk menentukan total daya dan daya rata-rata, serta dibandingkan dengan perhitungan manual berdasarkan rumus teoritis. Hasil menunjukkan bahwa simulasi WEC-Sim memberikan hasil yang realistis dan mendekati perhitungan manual, dengan selisih kecil dalam estimasi daya. Penelitian ini menunjukkan bahwa Selat Madura memiliki potensi yang layak untuk dikembangkan sebagai sumber energi listrik terbarukan dari laut.

Sejarah Artikel

Submitted: 19 July 2025

Accepted: 28 July 2025

Published: 29 July 2025

Kata Kunci

energi gelombang laut, RM3, WEC-Sim, simulasi MATLAB, Selat Madura.

PENDAHULUAN

Perkembangan dan pertumbuhan penduduk Indonesia mempengaruhi konsumsi listrik yang akan terus meningkat di masa mendatang. Lebih jauh lagi, perkembangan teknologi juga mempengaruhi peningkatan konsumsi listrik. Ini berarti bahwa energi listrik memainkan peran penting dalam kehidupan kita [Friscela Y.N., 2022]. Di Indonesia kebutuhan listrik semakin meningkat setiap tahunnya. Secara tren, per konsumsi Indonesia telah meningkat sejak 2017. Pada tahun 2023 terbaru, konsumsi daya mencapai rata-rata 1.285 kWh/kapita. Jumlah ini telah meningkat dari 1.173 kWh/kapita pada tahun 2022. Serta, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menargetkan pada tahun 2024 konsumsi listrik mencapai 1.408 kWh/kapita [Kementerian ESDM, 2024].

Oleh karena itu, pengembangan energi terbarukan menjadi solusi utama untuk memastikan keberlanjutan pasokan energi di masa depan. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar tetapi masih belum dimanfaatkan secara optimal adalah energi gelombang laut. Menurut International Energy Agency (IEA), kapasitas energi gelombang laut secara global diperkirakan mencapai 93.100 TWh per tahun, menjadikannya

salah satu sumber energi paling menjanjikan [Nizamani Z. et al, 2021]. Pemanfaatan sumber energi gelombang laut ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pasokan listrik Indonesia. Dengan garis pantai yang dimiliki Indonesia, energi gelombang laut ini dapat dimanfaatkan secara maksimal.

Keunggulan utama energi gelombang laut dibandingkan energi surya dan angin adalah sifatnya yang lebih stabil karena dipengaruhi oleh pola angin global dan efek pasang surut [Reddy K.S. et al, 2020]. Sehingga dengan adanya hal ini, membuat Indonesia memiliki peluang untuk membuat Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan keuntungan garis pantai yang sangat panjang. Salah satu tempat untuk memanfaatkan energi gelombang laut ini ada di Selat Madura. Selat Madura sebagai wilayah pesisir di Jawa Timur memiliki profil gelombang yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL). Salah satu teknologi yang digunakan untuk mengkaji dan mensimulasikan potensi ini adalah WEC-Sim, perangkat lunak simulasi terbuka berbasis MATLAB/Simulink.

WEC-Sim merupakan toolbox berbasis MATLAB/Simulink yang dirancang khusus untuk mensimulasikan perangkat pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) berbasis multi-body dynamics. Pemanfaatan MATLAB dalam konteks ini memberikan fleksibilitas dalam pemrograman, visualisasi hasil secara grafik, serta integrasi dengan data eksternal seperti data gelombang dari BMKG.

Dalam penelitian ini, desain yang digunakan adalah RM3 (Reference Model 3), yaitu model pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe point absorber dua badan yang dikembangkan oleh Sandia National Laboratories dan NREL (National Renewable Energy Laboratory) sebagai referensi terbuka untuk keperluan simulasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengukur potensi daya yang dapat dihasilkan di wilayah tersebut dan melakukan validasi hasil simulasi dengan perhitungan manual.

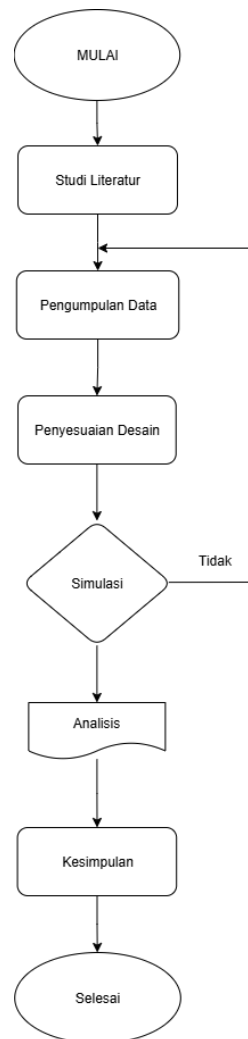
METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan simulasi numerik. Pendekatan yang digunakan bersifat komputasional, di mana proses pengujian dilakukan tanpa eksperimen fisik, melainkan dengan menggunakan simulasi berbasis waktu menggunakan perangkat lunak WEC-Sim (Wave Energy Converter Simulator). WEC-Sim adalah perangkat simulasi berbasis MATLAB/Simulink yang dikembangkan oleh Sandia National Laboratories dan NREL untuk menganalisis dinamika sistem konversi energi gelombang laut.

Desain ini disimulasikan terhadap data gelombang aktual dari BMKG, yang diambil selama tiga hari (1–3 Januari 2025) di wilayah perairan Selat Madura. Fokus penelitian ini adalah pada analisis performa energi berupa energi total dan daya rata-rata yang dihasilkan dari masing-masing desain, untuk menentukan konfigurasi desain yang paling sesuai dengan karakteristik gelombang di wilayah tersebut.

Penelitian ini dirancang untuk menganalisis performa energi dari desain pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe RM3 (Reference Model 3). Rancangan penelitian disusun secara terstruktur mulai dari pengumpulan data gelombang, penyiapan parameter desain, hingga pelaksanaan simulasi dan analisis hasil. Seluruh proses dilakukan secara komputasional menggunakan perangkat lunak WEC-Sim berbasis MATLAB/Simulink, dengan pendekatan

simulasi numerik berbasis waktu (time-domain simulation). Tahapan – tahapan dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1 *Flowchart* kerangka berfikir penelitian

Data Gelombang Laut

Sebelum melakukan simulasi performa desain PLTGL menggunakan WEC-Sim, diperlukan data karakteristik gelombang sebagai input utama. Dalam penelitian ini, data tinggi dan periode gelombang laut diperoleh dari Stasiun Meteorologi Maritim BMKG yang mewakili kondisi Selat Madura. Data dikumpulkan selama tiga hari (1–3 Januari) dengan interval pencatatan tiap jam dari pukul 00.00 hingga 12.00 WIB. Parameter tinggi dan periode gelombang ini menjadi dasar untuk mensimulasikan respons desain terhadap kondisi gelombang nyata. Untuk data ada sebagai berikut:

Tabel 1 Data Hari ke-1

Waktu	Tinggi Gelombang	Periode Gelombang
2025-01-01 00:00:00	0,01449	4
2025-01-01 01:00:00	0,01496	4



2025-01-01 02:00:00	0,01544	4
2025-01-01 03:00:00	0,01591	4
2025-01-01 04:00:00	0,01638	4
2025-01-01 05:00:00	0,01685	4
Waktu	Tinggi Gelombang	Periode Gelombang
2025-01-01 06:00:00	0,01733	4
2025-01-01 07:00:00	0,0178	4
2025-01-01 08:00:00	0,01827	4
2025-01-01 09:00:00	0,01875	4
2025-01-01 10:00:00	0,01922	4
2025-01-01 11:00:00	0,01969	4
2025-01-01 12:00:00	0,02016	4

Tabel 2 Data Hari ke-2

Waktu	Tinggi Gelombang	Periode Gelombang
2025-01-02 00:00:00	0,02584	4
2025-01-02 01:00:00	0,02522	4
2025-01-02 02:00:00	0,02459	4
2025-01-02 03:00:00	0,02397	4
2025-01-02 04:00:00	0,02335	4
2025-01-02 05:00:00	0,02272	4
2025-01-02 06:00:00	0,0221	4
2025-01-02 07:00:00	0,02148	4
2025-01-02 08:00:00	0,02085	4
2025-01-02 09:00:00	0,02023	4



2025-01-02 10:00:00	0,01961	4
2025-01-02 11:00:00	0,01898	4
2025-01-02 12:00:00	0,01836	4

Tabel 3 Data Hari ke-3

Waktu	Tinggi Gelombang	Periode Gelombang
2025-01-03 00:00:00	0,01088	3
2025-01-03 01:00:00	0,01075	3
2025-01-03 02:00:00	0,01062	3
2025-01-03 03:00:00	0,01049	3
2025-01-03 04:00:00	0,01035	3
2025-01-03 05:00:00	0,01022	3
2025-01-03 06:00:00	0,01009	3
2025-01-03 07:00:00	0,00996	3
2025-01-03 08:00:00	0,00983	3
2025-01-03 09:00:00	0,0097	3
2025-01-03 10:00:00	0,00956	3
2025-01-03 11:00:00	0,00943	3
2025-01-03 12:00:00	0,0093	4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi

Setelah proses simulasi dijalankan untuk desain RM3, diperoleh hasil keluaran berupa total energi (Joule) dan daya rata-rata (Watt) dari sistem Power Take-Off (PTO). Simulasi dilakukan untuk setiap jam mulai pukul 00.00 hingga 12.00 WIB selama tiga hari, yaitu 1, 2, dan 3 Januari 2025. Hasil simulasi disajikan dalam bentuk tabel berdasarkan masing-masing hari, dengan masing-masing baris mewakili satu jam simulasi. Untuk hasil lengkapnya terdapat pada tabel 4, tabel 5, dan tabel 6.

Tabel 4 Hasil Simulasi Hari ke-1

Jam	RM3 Asli	
	Total Daya (Joule)	Rata-Rata Daya (Watt)
00.00	6751.87	1.88
01.00	7196.98	2.00
02.00	7666.23	2.13
03.00	8628.09	2.40
04.00	8628.09	2.40
05.00	9130.34	2.54
06.00	9657.93	2.68
07.00	10188.89	2.83
08.00	10734.06	2.98
09.00	11305.50	3.14
10.00	11879.38	3.30
11.00	12467.47	3.46
12.00	13069.77	3.63

Tabel 5 Hasil Simulasi Hari ke-2

Jam	RM3 Asli	
	Total Daya (Joule)	Rata-Rata Daya (Watt)
00.00	21471.98	5.96
01.00	20453.95	5.68
02.00	19444.83	5.40
03.00	18476.64	5.13
04.00	17533.18	4.87
05.00	16599.83	4.61
06.00	15706.22	4.36
07.00	14837.32	4.12
08.00	13979.74	3.88
09.00	13160.69	3.66
10.00	12366.37	3.44
11.00	11584.56	3.22
12.00	10840.08	3.01

Tabel 6 Hasil Simulasi Hari ke-3

Jam	RM3 Asli	
	Total Daya (Joule)	Rata-Rata Daya (Watt)
00.00	304.35	0.08
01.00	297.12	0.08
02.00	289.97	0.08
03.00	282.92	0.08
04.00	275.42	0.08
05.00	268.54	0.07
06.00	261.75	0.07
07.00	255.05	0.07
08.00	248.44	0.07

09.00	241.91	0.07
10.00	234.98	0.07
11.00	228.63	0.06
12.00	2781.33	0.77

Hasil Perhitungan Manual

Untuk mendukung validasi hasil simulasi WEC-Sim, dilakukan perhitungan manual terhadap daya dan energi gelombang laut yang tersedia berdasarkan teori gelombang linear. Rumus yang digunakan untuk menghitung daya gelombang per satuan lebar adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{64\pi} \rho g^2 H^2 T$$

Dengan:

ρ = massa jenis air laut (1025 kg/m³)

g = percepatan gravitasi

H = tinggi gelombang

T = periode gelombang

Kemudian selanjutnya menghitung daya gelombang secara total, karena pada rumus sebelumnya menghitung daya gelombang per meter dari lebar sistem. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$P_{total} = P_{per\ meter} \times B$$

Dengan:

$P_{per\ meter}$ = daya gelombang per satuan meter

B = lebar efektif penangkap gelombang

Setelah mendapatkan nilai daya yang dihasilkan, selanjutnya hitung dengan durasi simulasi yang sudah ditentukan. Rumusnya adalah sebagai berikut :

$$E = P \times t$$

Dengan :

E = Total daya yang dihasilkan

P = Daya yang dihasilkan dari sistem

T = Durasi simulasi

Tabel 7 Hasil Perhitungan Manual Hari ke-1

Jam	Perhitungan Manual	
	Total Daya (Joule)	Rata-Rata Daya (Watt)
00.00	7416	2.06
01.00	7884	2.197
02.00	8388	2.33
03.00	8928	2.48
04.00	9468	2.63

05.00	10008	2.78
06.00	10584	2.94
07.00	11196	3.11
08.00	11772	3.27
09.00	12420	3.45
10.00	13032	3.62
11.00	13716	3.81
12.00	14.328	3.98

Tabel 8 Hasil Perhitungan Manual Hari ke-2

Jam	Perhitungan Manual	
	Total Daya (Joule)	Rata-Rata Daya (Watt)
00.00	23580	6.55
01.00	22464	6.24
02.00	21348	5.93
03.00	20268	5.63
04.00	19260	5.35
05.00	18216	5.06
06.00	17244	4.79
07.00	16272	4.52
08.00	15336	4.26
09.00	14436	4.01
10.00	13572	3.77
11.00	12708	3.53
12.00	11880	3.508

Tabel 9 Hasil Perhitungan Manual Hari ke-3

Jam	Perhitungan Manual	
	Total Daya (Joule)	Rata-Rata Daya (Watt)
00.00	3132	0.87
01.00	3060	0.85
02.00	2988	0.83
03.00	2916	0.81
04.00	2808	0.78
05.00	2736	0.76
06.00	2664	0.74
07.00	2628	0.73
08.00	2556	0.71
09.00	2484	0.69
10.00	2412	0.67
11.00	2340	0.65
12.00	3060	0.85

Hasil dari perhitungan manual ini kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi pada desain RM3 asli. Berdasarkan hasil tersebut, terdapat perbedaan nilai daya rata-rata yang dihasilkan. Hasil simulasi WEC-Sim menghasilkan daya yang sedikit lebih rendah

dibandingkan dengan hasil perhitungan manual yang menunjukkan nilai sedikit lebih tinggi. Selisih ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti model hidrodinamika yang kompleks pada WEC-Sim, adanya redaman PTO, serta interaksi dinamis antar komponen yang tidak diperhitungkan dalam perhitungan manual.

Perbandingan ini menunjukkan bahwa hasil simulasi memiliki validitas yang baik terhadap estimasi teoritis. Namun, karena perhitungan manual bersifat ideal dan tidak mempertimbangkan faktor-faktor teknis seperti redaman, turbulensi, dan efisiensi konversi mekanik-listrik, maka hasil simulasi dianggap lebih realistis dalam merepresentasikan kondisi sebenarnya di lapangan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa desain pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) model RM3 memiliki potensi yang signifikan untuk dimanfaatkan di wilayah Selat Madura. Melalui pendekatan simulasi menggunakan perangkat lunak WEC-Sim dan perhitungan manual, diperoleh hasil yang menunjukkan adanya konsistensi antara kedua metode, meskipun terdapat selisih nilai daya yang dihasilkan.

Hasil simulasi menunjukkan daya rata-rata sebesar 1,88 Watt untuk desain RM3 asli, sedangkan hasil perhitungan manual menghasilkan nilai yang sedikit lebih tinggi. Perbedaan ini terjadi karena simulasi memperhitungkan kondisi dinamis yang lebih kompleks, termasuk pengaruh redaman sistem PTO dan interaksi antar komponen struktur. Sementara itu, perhitungan manual hanya mempertimbangkan pendekatan teoritis berdasarkan parameter gelombang.

Perbandingan ini membuktikan bahwa simulasi menggunakan WEC-Sim dapat dijadikan alat bantu yang valid untuk menganalisis performa desain PLTGL, khususnya dalam menyesuaikan desain dengan kondisi gelombang lokal. Dengan demikian, pendekatan berbasis simulasi dapat menjadi solusi efisien dalam tahap awal perencanaan dan pengembangan pembangkit listrik tenaga gelombang laut di Indonesia.

REFERENSI

- Agustina, S., Yusup, M., Dwijayanti, S., Otong, M., & Suprpto, B. Y. (2022). Desain Pengembangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Berbasis Keseimbangan Gyroscope. *Jurnal Surya Energy*, 5(2), 50-54.
- Aktas, A., Onar, O. C., Asa, E., Ozpineci, B., & Tolbert, L. M. (2024). Genetic Algorithm-Based Optimal Sizing of Hybrid Battery/Ultracapacitor Energy Storage System for Wave Energy Harvesting Applications. *IEEE Access*.
- Alamsah, A., Wahjudi, A., Moon, P. J., Hamidi, N., & Widhiyanuriyawan, D. (2025). Potensi Energi Arus dan Tinggi Gelombang Laut Indonesia Berdasarkan Data Penginderaan Jauh. *TECHNO-SOCIO EKONOMIKA*, 18(1), 49-59.
- Aprilianti, K. P., Baghta, N. A., Aryani, D. R., Jufri, F. H., & Utomo, A. R. (2020, November). Potential assessment of solar power plant: A case study of a small island in Eastern Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 599, No. 1, p. 012026). IOP Publishing.
- Aribowo, W., Agung, A. I., Haryudo, S. I., & Muarif, S. (2020). POWER GENERATOR FROM OCEAN WAVE ENERGY CONVERSION. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 11(2), 429-436.

- Dumatubun, I. A. P. P., Pranowo, W. S., Sartimbul, A., Setiyadi, J., Sari, S. H. J., & Setyawan, F. O. (2024). Karakteristik Arus Permukaan Laut pada Selat Madura: Characteristics of Sea Surface Current in Madura Strait. *Jurnal Chart Datum*, 10(1), 1-10.
- Fahlevi, M., Suriadi, S., & Syukri, M. (2024). Pemodelan dan Simulasi Sistem Pembangkit Listrik (PLTGL) Oscillating Water Column (OWC) Menggunakan Matlab/Simulink. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, 9(3).
- Firyal, F., Susilowati, S. E., Sumardiyanto, D., Setiadi, N., & Khana, J. R. (2024). Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Ombak di Daerah Pesisir Jakarta Utara. *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, 5(1), 84-89.
- Gani, I., Suaib, S., & Alham, I. (2022). Studi Pemanfaatan Energi Gelombang Laut Menjadi Energi Listrik di Pesisir Pantai Kabupaten Bulukumba. *Jurnal Informasi, Sains dan Teknologi*, 5(01), 97-105.
- Jumali, J., Raharjo, H. B., Anwar, K., & Ismail, N. R. Pemanfaatan Ocean Wave Energy Sebagai Pembangkit Tenaga Listrik Menggunakan Model Floating Piston. *Proton: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Mesin*, 5(2), 222233.
- Kharisma, A., Pinandita, S., & Jayanti, A. E. (2024). Literature Review: Kajian Potensi Energi Surya Alternatif Energi Listrik. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 5(2), 145-154.
- Mulkan, A. (2022). Analisis pemanfaatan energi angin sebagai sumber pembangkit energi listrik. *Jurnal Ilmiah Teknik Unida*, 3(1), 74-83.
- Nagifea, F. Y. (2022). Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (Pltgl) Sebagai Energi Alternatif Di Indonesia. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 10(2), 17-24.
- Nizamani, Z., Na, L. L., Nakayama, A., Ali, M. O. A., & Nizamani, M. A. (2021). Renewable wave energy potential for the sustainable offshore oil platforms in South China Sea. *IEEE Access*, 9, 116973-116993.
- Noman, M., Li, G., Khan, M. W., Wang, K., & Han, B. (2024). A Multi-Stage Design Approach for Optimizing a PMSG-Based Grid-Connected Ocean Wave Energy Conversion System. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 9(6), 122-142.
- Paduano, B., Carapellese, F., Pasta, E., Bonfanti, M., Sirigu, S. A., Basile, D., ... & Mattiazzo, G. (2024). Experimental and Numerical Investigation on the Performance of a Moored Pitching Wave Energy Conversion System. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*.
- Parinduri, L., Parinduri, T., Kunci, K., & Fosil, E. (2020). Konversi biomassa sebagai sumber energi terbarukan. *Journal of Electrical Technology*, 5(2), 88-92.
- Reddy, K. S., Prajwal, K. S., & Satwik, T. S. (2020, June). A review on the gradation towards pelamis wave energy converter. In *2020 4th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*(48184) (pp. 130-136). IEEE.
- Robles, I. A. H., Ramírez, X. G., & Muñoz, P. L. C. (2023). Educational Tool to Estimate and Analyze the Wave Energy Potential. *IEEE Latin America Transactions*, 22(1), 55-62.
- Rosati, M., & Ringwood, J. V. (2024). Electric energy maximization for oscillating water column wave energy systems using a receding-horizon pseudospectral control approach. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*.
- Said, H. A., García-Violini, D., Faedo, N., & Ringwood, J. V. (2023). On the ratio of reactive to active power in wave energy converter control. *IEEE Open Journal of Control Systems*.

- Setyono, A. E., & Kiono, B. F. T. (2021). Dari energi fosil menuju energi terbarukan: potret kondisi minyak dan gas bumi Indonesia tahun 2020–2050. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(3), 154-162
- Syaukani, M., & Yanuar, R. (2023, August). Studi Kelayakan Potensi Pembangkit Listrik Gelombang Laut Oscillating Water Column (PLTGL-OWC) Di Perairan Pesisir Barat Lampung. In *Proceeding Technology of Renewable Energy and Development Conference* (Vol. 3, No. 1)
- Vidura, A., Laksmono, R., & Mukhtasor, M. (2022). Potensi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut di Perairan Selatan Pulau Jawa Dalam Mendukung Ketahanan Energi. *Ketahanan Energi*, 8(1).