

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH MASSA PEMBERAT PADA SISTEM PENGGERAK MEKANISME PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA OSCILLATING WATER COLUMN

Rizky Nur Arya^{1,a}, Ahmad Anas Arifin^{2,b} dan Miftahul Ulum^{3,c}

Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya^{1,2}

Program Studi Teknik Mesin Universitas Qomaruddin³

Jl. Bungah No.01 Gresik³

aulum@uqgresik.ac.id

Abstrak.

Kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat dan cadangan sumber daya energi fosil yang semakin menipis, menciptakan beberapa peluang dalam pemanfaatan energi alternatif, antara lain gelombang laut sebagai sumber energi terbarukan yang sudah dimanfaatkan di beberapa negara maju. Melihat geografis Indonesia dengan negara kepulauan dan memiliki banyak pantai membuat salah satu keuntungan untuk memanfaatkan pembangkit listrik tenaga gelombang laut. Salah satu pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang mudah diaplikasikan dan tidak membutuhkan akses yang sulit antara lain *oscillating water column*. Dimana pada *system* ini memanfaatkan tekanan gelombang air yang mencapai sisi pantai. Pada penelitian ini dilakukan percobaan pada prototipe mekanisme pembangkit tekanan sebagai penghasil tekanan sekaligus pengganti ombak buatan pada prototipe PLTGL *system oscillating water column*. Penelitian ini bertujuan mencari pengaruh variasi massa pemberat terhadap gaya tekan dan daya pada mekanisme pembangkit tekanan. Dari pengujian didapatkan hasil minimal pada massa pemberat 0 kg dengan gaya tekan sebesar 214,62 N dan daya tekan sebesar 8,811 J/s. Sedangkan hasil maksimal pada massa pemberat 2 kg dengan gaya tekan yang dihasilkan sebesar 235,2 N dan daya tekan yang dihasilkan sebesar 15,755 J/s. Untuk hasil efisiensi maksimal terjadi pada massa pemberat 2 kg dengan hasil efisiensi 45%.

Keywords: Mekanisme pembangkit tekanan, sistem osilasi, massa pemberat, gaya tekan, daya.

Abstract.

The demand for electrical power is increasing, and with the depletion of fossil fuel reserves, there are numerous opportunities to explore alternative energy sources. Ocean waves have emerged as a promising renewable energy option, particularly in developed nations. Given Indonesia's geography as an archipelagic country with numerous beaches, it is well positioned to harness the potential of ocean wave power plants. Among the various ocean wave power plant designs, the oscillating water column system stands out for its ease of implementation and minimal access requirements. This system operates by capturing the air pressure generated by ocean waves reaching the coast. A study was conducted to experiment with a prototype power generation mechanism that serves as both a pressure generator and a substitute for artificial waves in the oscillating water column power plant system. The objective of this study was to investigate the impact of varying ballast masses on pressure and power generation. The test results revealed that the minimum pressure and power output were recorded with a ballast mass of 0 kg, yielding a pressure of 214.62 N and a power output of 8.811 J/s. Conversely, the maximum compressive force and power output were achieved with a ballast mass of 2 kg, resulting in a compressive force of 235.2 N and a compressive power of 15.755 J/s. The highest efficiency was observed with a ballast mass of 2 kg, yielding an efficiency of 45%.

Keywords: *Mechanism for creating pressure, System for Oscillation, Ballast mass, pressure force, energy.*

Pendahuluan.

Energi terbarukan saat ini sangat dibutuhkan oleh banyak kalangan, terutama di negara-negara berkembang yang sudah lama membutuhkan energi fosil. Pertumbuhan pembangkit listrik, khususnya pembangkit energi ramah lingkungan, mendorong peningkatan konsumsi listrik per kapita di Indonesia, yang seharusnya mencapai angka 1,3 persen. 1,4 MWh per penduduk pada tahun 2024, berkat peningkatan upaya yang ditunjukkan sebesar 445 TWh, yakni sasaran peningkatan produksi listrik sebesar 195 TWh atau 78% dari tahun 2020 dan peningkatan penjualan. Ketenagalistrikan periode 2021-2030 ditargetkan rata-rata 4,7% [1]. Negara-negara ASEAN diperkirakan menargetkan penggunaan sumber energi baru terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 [2]. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) menggunakan turbin pelton dan turbin air jenis lainnya juga dimanfaatkan dalam menghasilkan sumber energi listrik terbarukan saat ini [3]–[8]. Selain beberapa alternatif energi terbarukan yang sudah ada, beberapa alternatif lain sumber energi terbarukan dapat digunakan antara lain, yaitu penggunaan energi potensial air laut dan gelombang [9]–[11], sedangkan alternatif lainnya dapat menggunakan daya dorong air laut atau gelombang laut yang menghantam garis pantai yang sudah banyak digunakan di negara maju antara lain *Oscillating Water Column* [12]–[15]. Beberapa penelitian terdahulu yang membahas tentang prototipe pengembangan sistem osilasi kolom air di Indonesia cukup berkembang dari skala laboratorium dengan pemanfaatan tekanan sebagai penggerak turbin pelton [4] maupun menggunakan turbin angin sebagai penggerak generator [16]. Dari penelitian sebelumnya dengan membahas sistem penggerak pada mekanisme penghasil gelombang osilasi kolom air dan tekanan air dengan kecepatan engkol dan variasi diameter disk terhadap amplitudo, frekuensi dan daya didapatkan putaran crank sebesar 120 rpm dan energi bankitan dalam watt sebesar 4,41 dimana diameter disk mempengaruhi luaran mekanisme pembangkit daya pada prototipe tersebut [17]. Pada penelitian ini akan dibahas variasi massa pemberat pada mekanisme pembangkit tekanan sebagai simulasi input sumber energi tekanan gelombang laut pada mekanisme *oscillating water column*.

Tinjauan Pustaka.

PLTGL OWC (Oscillating Water Column)

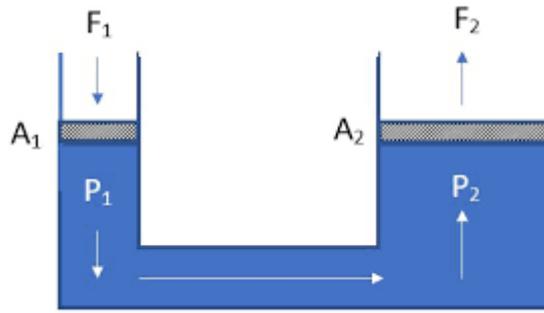
OWC merupakan suatu sistem dan peralatan yang mampu mengubah energi gelombang laut menjadi listrik menggunakan kolom berosilasi. Alat OWC ini menangkap energi gelombang yang mengenai lubang pintu OWC, sehingga terjadilah gerak osilasi atau osilasi air pada ruang OWC, kemudian tekanan udara ini akan menggerakkan sudu-sudu turbin yang dihubungkan dengan generator listrik sehingga menghasilkan listrik [18].

Cara kerja dari OWC adalah mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip kerja kolam berosilasi. Cara kerjanya sebagai berikut :

1. Gelombang laut ini adalah gelombang laut buatan yang digerakkan oleh motor sebagai penggerakannya. Gelombang laut akan menabrak dinding OWC.
2. Kemudian tumbukan gelombang air laut akan masuk pada bagian ruang isolasi yang akan berisolasi naik dan turun nya gelombang.
3. Gerakan gelombang air laut yang naik turun. serta menimbulkan peristiwa vakum angin pada kolam udara di atasnya inilah yang akan menggerakkan turbin. Pada saat turbin berputar maka rotor pun akan berputar dari sinilah energi kinetik menjadi energi mekanik pada generator yang akan menghasilkan listrik [19]

Hukum Pascal

Hukum pascal merupakan temuan dari seorang ilmuwan Francis yang bernama pascal. Hukum pascal adalah hukum yang menyatakan bahwa tekanan yang dikenakan pada zat cair di dalam sebuah ruang tertutup akan diteruskan ke semua arah dengan sama besar dan rata. Hal ini memiliki arti bahwa tekanan yang menekan wadah besarnya sama di segala tempat



Gambar 1. Prinsip Hukum Pascal

Tekanan dalam fluida dapat dirumuskan dengan persamaan dibawah ini

$$P = \frac{F}{A} \tag{1}$$

Dimana P adalah tekanan air dan F adalah gaya tekan dan A adalah luas penampang. Dengan perbedaan luas penampang sisi kanan dan kiri maka persamaan hukum pascal dapat ditulis.

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \tag{2}$$

Sedangkan persamaan gaya sebagai tekanan adalah

$$F = m \times g \tag{3}$$

Dengan massa sebagai berikut :

$$\frac{m_1}{A_1} = \frac{m_2}{A_2} \tag{4}$$

Daya (power) kita definisikan sebagai laju usaha (work) yang dilakukan terhadap waktu. Daya rata – rata yang dikeluarkan oleh sesuatu sama dengan usaha total yang dilakukan dibagi dengan selang waktu total yang dibutuhkan usaha tersebut dimana.

$$P = \frac{W}{t} \tag{5}$$

Usaha didefinisikan sebagai perkalian antara besar gaya dan jarak

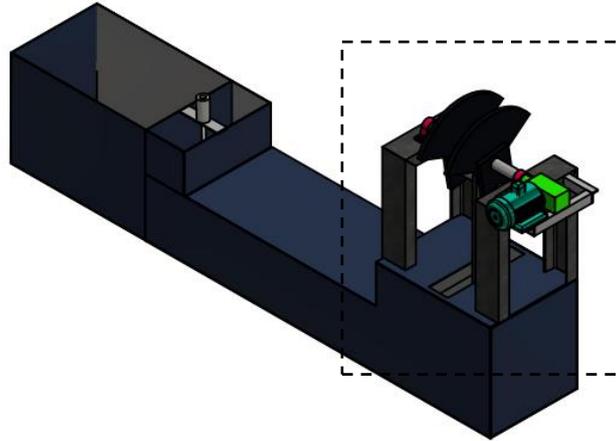
$$W = F \times s \tag{6}$$

Sedangkan untuk mencari efisiensi mekanisme adalah

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{7}$$

Metode Penelitian.

Metode penelitian ini adalah membuat model menggunakan prinsip hukum pascal dengan mencari gaya tekan, daya tekan dan efisiensi pada mekanisme pembangkit tekanan dengan variasi massa pemberat 0 kg, 0.5 kg, 1 kg, 1.5 kg dan 2 kg. Berikut model alat mekanisme pembangkit tekanan.



Gambar 2. Model dan Objek Penelitian

Langkah kerja:

Motor AC mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk gerak rotasi. kemudian dikopel dengan poros untuk memutar engkol. Dalam manuvernya terdapat variasi pembebanan dan non pembebanan yang digunakan untuk menggerakkan papan, dimana papan bergerak secara vertikal mendorong air ke dalam kolam. Gerakan pendorong air menghasilkan tekanan yang menghasilkan osilasi kolom air.

Prosedur Pengujian

Adapun langkah – langkah pengujian sebagai berikut :

1. Mengecek alat uji dan peralatan ukur maupun peralatan pendukung lainnya yang akan digunakan dalam pengujian agar berjalan dengan lancar.
2. Memasang alat pembuat tekanan dan variasi pemberat yang akan digunakan.
3. Mengisi kolam dengan air.
4. Menyalakan motor.
5. Mengukur massa dengan memberikan beban pada kolom untuk menghitung gaya tekan.
6. Mengukur waktu yang dihasilkan dari setiap variasi pemberat untuk mencari daya.

Pengukuran yang dilakukan yaitu untuk mendapatkan gaya tekanan dan kecepatan gerak translasi mekanisme pembuat tekanan dalam menekan kolom air kebawah dan keatas, sehingga akan diperoleh daya berupa daya tekan yang nantinya akan digunakan sebagai input energi dalam konversi prototipe *oscillating water colum*, sedangkan untuk mencari efisiensi mekanisme gerakan engkol yang dihasilkan akan menggunakan daya luaran tekanan dalam J/s dan inputan listrik motor AC dalam watt sebesar 350 sebagai penghasil gerakan putar. Adapun penempatan massa pemberat disesuaikan dengan dengan variasi yaitu 0 kg atau tanpa massa pemberat, 0.5 kg, 1 kg, 1,5 kg, dan 2 kg.

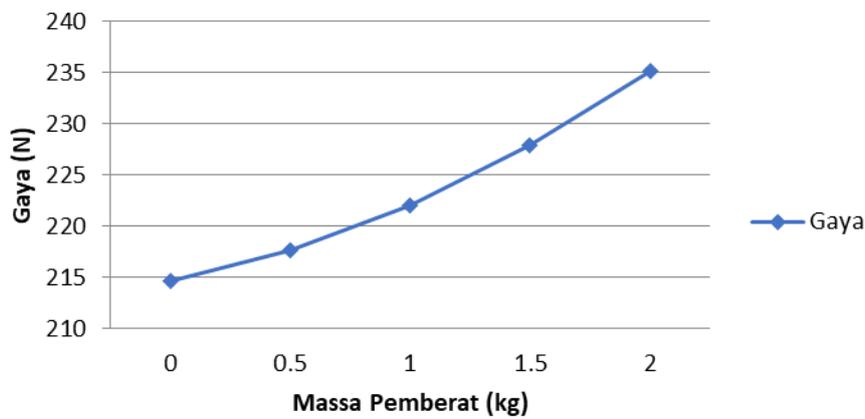
Hasil Dan Pembahasan.

Pengaruh variasi massa pemberat terhadap gaya tekan yang dihasilkan mekanisme penghasil tekanan air ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Pengaruh Variasi Massa Pemberat Terhadap Gaya Tekan

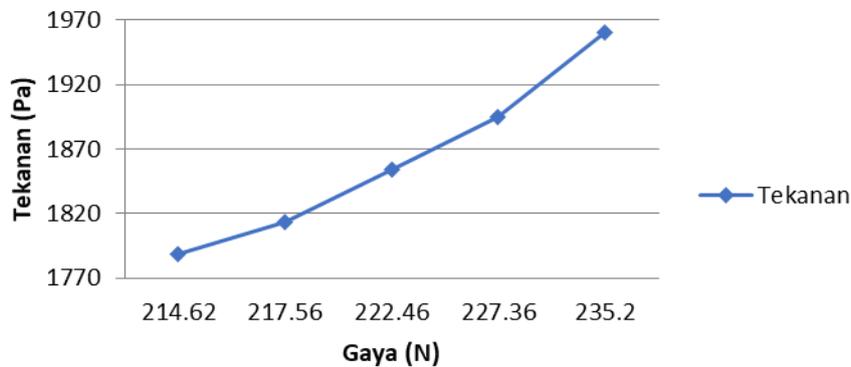
Massa Pemberat (Kg)	Gaya Tekan (N)	Tekanan (Pascal)
0	214,62	1788,5
0.5	217,56	1813
1	221,97	1849,75
1.5	227,85	1898,75
2	234,2	1960

Dari tabel diatas didapatkan hasil dari gaya dan tekanan dimana seiring bertambahnya pemberat pada mekanisme maka gaya dan tekanan yang dihasilkan semakin meningkat. Seperti halnya ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3. Pengaruh Massa Pemberat Terhadap Gaya Tekan

Gambar diatas menunjukkan perubahan gaya tekan akibat pengaruh perbedaan atau variasi massa pemberat. Hasil minimum terdapat pada massa pemberat 0 kg dengan gaya tekan resultan sebesar 214,62 Newton dan hasil maksimum terdapat pada massa pemberat 2 kg dengan gaya tekan sebesar 235,2 Newton. Pada percobaan yang dilakukan terjadi peningkatan dikarenakan pemberat mempengaruhi peningkatan torsi dan inersia yang membuat putaran yang dihasilkan semakin ringan dan dorongan yang kuat dalam usaha langkah translasi.



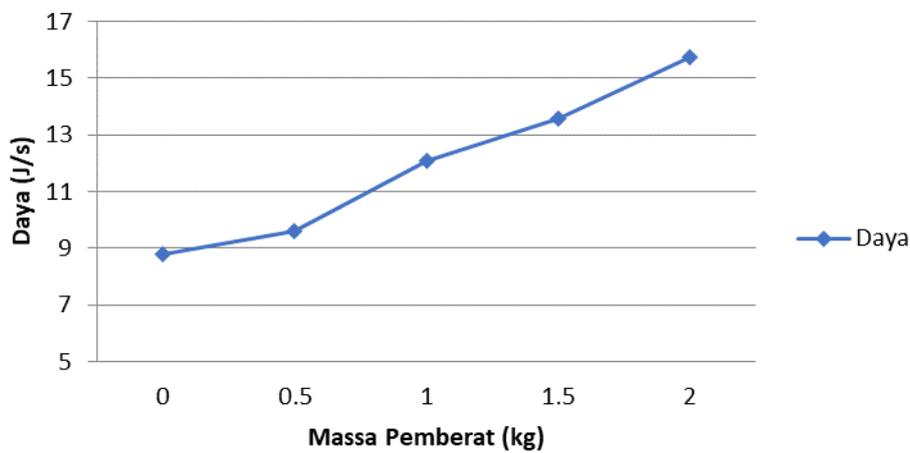
Gambar 4. Pengaruh Massa Pemberat Terhadap Tekanan

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa tekanan berbanding lurus dengan gaya tekan yang terjadi. Sedangkan pada pengaruh massa pemberat terhadap daya ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Pengaruh Massa Pemberat Terhadap Daya

Pemberat (kg)	Waktu (s)	Daya (J/s)
0	3.41	8,811
0,5	3.17	9,608
1	2.57	12,091
1,5	2.35	13,574
2	2.09	15,755

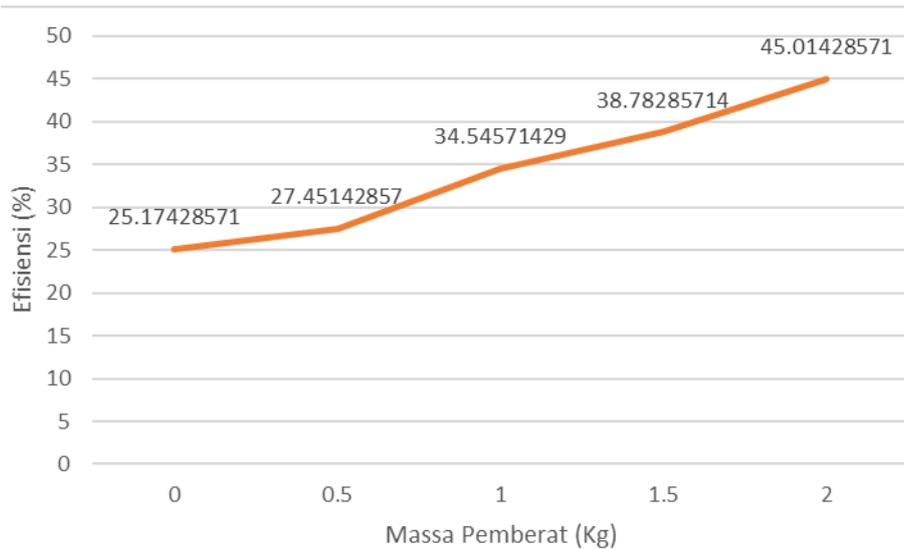
Dari hasil tabel diatas menunjukkan pengaruh berat massa terhadap kecepatan gerak engkol dan daya yang dihasilkan semakin meningkat, dengan bertambahnya massa gerakan rotasi dan translasi dapat berjalan dengan cukup baik seiring bertambahnya massa, hal ini tentunya dipengaruhi oleh gaya dan gravitasi sehingga putaran motor dapat terakumulasikan dengan baik pada mekanisme.



Gambar 5. Pengaruh Massa Pemberat Terhadap Daya Tekan

Gambar diatas menunjukkan hasil daya tekan pada alat pembuat tekanan. Hasil minimal terjadi pada massa pemberat 0 kg dengan satu putaran didapatkan waktu 3.41 s dan daya tekan yang dihasilkan sebesar 8,811 J/s. Hasil maksimal terjadi pada massa pemberat 2 kg dengan waktu dalam satu putaran hanya 2.09 s dan daya tekan yang dihasilkan sebesar 15,755 J/s. Pada grafik diatas terjadi peningkatan terus menerus karena adanya pemberat berpengaruh pada putaran engkol yang semakin meningkat, semakin besar daya maka waktu putaran semakin berkurang.

Sedangkan pengaruh massa pemberat terhadap efisiensi ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 6. Pengaruh Massa Pemberat Terhadap Efisiensi Mekanisme

Dari gambar diatas didapatkan hasil efisiensi terendah pada massa pemberat 0 kg sebesar 25,2 % sedangkan hasil efisiensi tertinggi pada massa 2 kg dengan hasil 45 %, dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa efisiensi mekanisme engkol pada prototipe pembuat tekanan air kolom memiliki tren yang sama dimana massa pemberat memberikan dampak yang signifikan terhadap hasil luaran.

Kesimpulan.

Dari penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan dimana massa pemberat dengan variasi 0, 0.5, 1, 1.5, dan 2 kg memiliki dampak yang cukup signifikan. Pada luaran gaya mendapatkan nilai tertinggi pada massa 2 kg dengan nilai 235,2 Newton, sedangkan pada tekanan mendapatkan hasil 1960 Pascal. Pada hasil daya masih pada massa 2 kg dimana hasil yang didapat sebesar 15,755 J/s dan efisiensi mekanis yang didapatkan sebesar 45 %. Namun bukan berarti penambahan massa pemberat selalu memiliki hasil yang baik, hal ini dikarenakan pada mekanisme memiliki batasan dalam torsi motor yang digunakan, jika torsi yang digunakan kurang memungkinkan maka hal itu akan berdampak terbalik.

Daftar Pustaka.

- [1] M. Ahsan, "Tantangan dan Peluang Pembangunan Proyek Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan (EBT) di Indonesia," *Sutet*, vol. 11, no. 2, pp. 81–93, 2021, doi: 10.33322/sutet.v11i2.1575.
- [2] G. Sihombing, "Tinjauan Strategi Dan Potensi Pemanfaatan Energi Terbarukan Bagi Negara Berkembang Di Asia Tenggara," *E-Link J. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 17, no. 1, p. 35, Jul. 2022, doi: 10.30587/E-LINK.V17I1.3916.
- [3] S. Mochammad saddam amiruddin, "Analisa Pengaruh Sudut Sudu Dan Variasi Debit Air Terhadap ...," *Pros. Senakama*, vol. 3, no. September, pp. 250–258, 2023.
- [4] F. A. Pratama and M. Ulum, "Pengaruh Kombinasi Jumlah Piston dan Turbin Terhadap Performa Pembangkit Listrik Tenaga Mekanisme Oscillating Water Column," *Rekayasa*, vol. 16, no. 3, pp. 359–364, 2023.
- [5] B. A. Nasir, "Design considerations of micro-hydro-electric power plant," *Energy Procedia*, vol. 50, pp. 19–29, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.06.003.
- [6] A. Syahrudin, A. Rijanto, and D. N. Zulfika, "Analisis Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Microhydro (Pltmh) Menggunakan Dinamo Zyt-70-05 Universitas Islam Majapahit , Mojokerto Email : Arifsyahrudin27@Gmail.Com Pendahuluan Listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan manusia .," *Majamecha*, vol. 3, pp. 121–126, 2021.
- [7] A. Wijaya Sitepu, J. B. Sinaga, and D. Agus Sugiri, "Kajian Experimental Pengaruh Bentuk Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Helik Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)," *J. FEMA*, vol. 2, no. 2, pp. 72–78, 2014.
- [8] A. Syarif *et al.*, "Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Turbin Pelton The Design Of Pelton Turbine Micro Hydro Power," *Kinetika*, no. m, pp. 1–6, 2019.
- [9] Y. Pamungkas *et al.*, "Study Eksperimental Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Metode Mekanis Apung Menggunakan Sistem Transmisi Sproket dan Variasi Panjang Lengan."
- [10] A. Noerpamoengkas and M. Ulum, "Pemodelan Pengaruh Frekuensi Dan Amplitudo Eksitasi Terhadap Respon Gerak Dan Daya Mekanis Pendulum Vertikal Pada Konverter Energi Gelombang Laut," *Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. III*, pp. 201–210, 2015.
- [11] M. Ulum, "Studi Experimental Energi Bangkitan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Model Pelampung," *IPTEK*, vol. 22, pp. 29 – 36, 2018, doi: <https://dx.doi.org/10.31284%0b/j.ipitek.2018.v22i1.231>.
- [12] J. F. M. Gadelho and C. Guedes Soares, "CFD study of a Dual Chamber Floating Oscillating Water Column device," *Ocean Eng.*, vol. 261, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.oceaneng.2022.111817.
- [13] M. Rosati, J. C. C. Henriques, and J. V. Ringwood, "Oscillating-water-column wave energy converters: A critical review of numerical modelling and control," *Energy Convers. Manag. X*, p. 100322, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.ecmx.2022.100322.
- [14] M. Battle Martin, G. Pinon, G. Barajas, J. L. Lara, and J. Reveillon, "Computations of pressure loads on an oscillating water column with experimental comparison for random waves," *Coast. Eng.*, vol. 179, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.coastaleng.2022.104228.
- [15] S. Brusca, F. Cucinotta, A. Galvagno, R. Lanzafame, S. Mauro, and M. Messina, "Oscillating Water Column Wave Energy Converter by means of straight-bladed Darrieus turbine," *Energy Procedia*, vol. 82, pp. 766–773, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.809.
- [16] S. Susastro, A. Noerpamoengkas, M. Ulum, and G. Setyono, "Performance Analysis of Wind Power Generation Models Using Oscillating Water Column," *JRST (Jurnal Ris. Sains dan Teknol.)*, vol. 4, no. 2, p. 57, Nov. 2020, doi: 10.30595/jrst.v4i2.6020.
- [17] M. Ulum, A. Noerpamoengkas, A. A. Arifin, and H. D. Firmansyah, "Studi Eksperimental Pengaruh Kecepatan Engkol dan Variasi Diameter Disk terhadap Amplitudo, Frekuensi dan Daya pada Mekanisme Pembangkit Gelombang," *J. Mech. Eng. Sci. Innov.*, vol. 1, no. 1, May 2021, doi: 10.31284/J.JMESI.2021.VIII.1761.
- [18] D. L. O'Sullivan and A. W. Lewis, "Generator selection for offshore oscillating water column wave energy converters," *2008 13th Int. Power Electron. Motion Control Conf. EPE-PEMC 2008*, pp. 1790–1797, 2008, doi: 10.1109/EPEPEMC.2008.4635525.
- [19] J. F. Ludji, V. A. Koehuan, and Nurhayati, "Analisis Efisiensi Sistem Osilator Kolom Air sebagai Pembangkit Daya Tenaga Gelombang Laut," *Lontar*, vol. 1, no. 2, pp. 18–25, 2014.