

Desain Kinematika Point Absorber dan Silinder untuk Meningkatkan Konversi Energi Gelombang

Kurniawan T. Waskito^{a,1}, Muhamad ainun N. Chuzain^a, Yanuar^a

^aDepartment of Mechanical Engineering, Universitas Indonesia, 16424 Depok, Indonesia

¹waskito@eng.ui.ac.id

ABSTRACT

This paper discusses the utilization of renewable energy using a Wave Energy Converter (WEC) equipped with a point absorber to utilize ocean wave energy. This study analyzes the kinematic design of a hydraulic cylinder to determine the optimal stroke length, moment arm, and arm angle that enhances wave energy conversion. The hydrodynamic study of the point absorber was conducted using potential flow theory. This study also analyzes the Response Amplitude Operator (RAO) and hydrodynamic forces with variations in the diameter ratio to draft and determine the optimal design. The Boundary Element Method is used for simulation using commercial software Ansys AQWA and compared with the Constant Panel Method (CPM) and the High Order Boundary Element Method (HOBEM). The analysis results show that the WEC arm-to-hydraulic cylinder ratio is 1.14 ~ 1.23 with optimal stroke length, moment arm, and arm angle. The heave RAO of the point absorber shows a significant effect in determining the optimal design. The optimal variation of the ratio of point absorber diameter to draft is 0.67 ~ 1.00, considering the peak heave resonance point's moderate value and the prevention of extreme response under stormy sea conditions

Keywords: Wave Energy Conversion, Point Absorber, Cylinder Kinematics, Potential Flow Theory

Received 2 September 2024; **Presented** 2 Oktober 2024; **Publication** 20 Januari 2025

DOI: 10.71452/590517

PENDAHULUAN

Sejak tahun 2000-an, penurunan cadangan bahan bakar fosil telah menjadi masalah global yang mendesak, dengan peringatan serius tentang ancaman yang ditimbulkan oleh kelangkaan ini pada KTT iklim COP26 2021 di Glasgow (Nation, 2021). Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan garis pantai sepanjang 99.093 km dan luas permukaan air 6,32 juta km² (Farrok et al., 2020), memiliki potensi besar untuk memanfaatkan energi terbarukan, khususnya energi gelombang laut. Gelombang laut dapat menghasilkan hingga 100 kW/m energi, yang lebih tinggi dibandingkan dengan energi matahari dan angin (Zhang et al., 2018). Potensi global energi gelombang laut mencapai 93.000 TWh per tahun (Melikoglu, 2018), menjadikannya sumber energi yang penting bagi Indonesia.

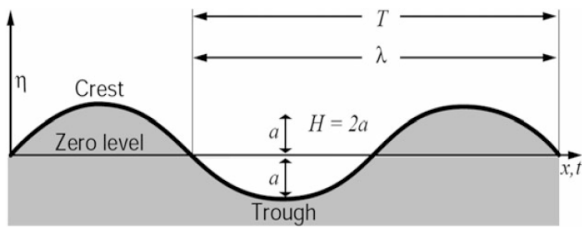
Penelitian telah menunjukkan bahwa energi gelombang laut tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga efisien dalam menghasilkan listrik melalui teknologi seperti Permanent Magnet Linear Buoy (Rhinefrank et al., 2006) dan wave energy converters (Goggins & Finnegan, 2014). Selain itu, pengembangan teknologi ini juga difokuskan pada optimalisasi bentuk dan ukuran buoy serta sistem hidrolik yang efisien untuk memaksimalkan penyerapan energi (Vantorre et al., 2004; Zou & Abdelkhalik, 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan floating absorber yang optimal, khususnya untuk kondisi gelombang yang relatif kecil di perairan Indonesia, dengan menggunakan konsep Response Amplitude Operator (RAO) dan metode Boundary Element Method (Djarmiko, 2019). Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi energi terbarukan di Indonesia, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan memaksimalkan potensi energi gelombang laut.

TINJAUAN TEORITIS

Mekanika Gelombang Laut

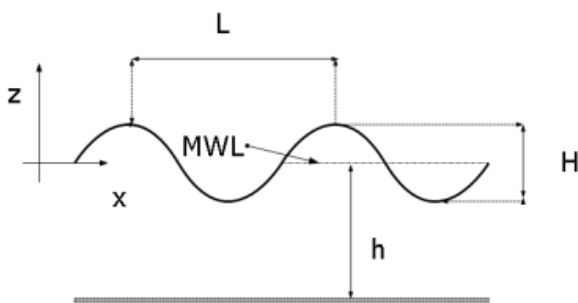
Gelombang dasar biasanya dianggap sebagai variasi sinusoidal pada elevasi permukaan air dan dapat didefinisikan memiliki tinggi, H , yang merupakan jarak vertikal dari puncak gelombang ke lembah gelombang, panjang gelombang, k , yang merupakan jarak antara dua titik serupa dari gelombang dan periode gelombang, T , yang merupakan waktu yang dibutuhkan gelombang untuk berulang.



Gambar 1. Definisi parameter gelombang pada gelombang sinusoidal

- η : Fluktuasi muka air terhadap muka air diam,
 $\eta = a \cos(kx - \omega t)$
- a : Amplitudo gelombang
- H : Tinggi gelombang = $2a$
- L : Panjang gelombang
- T : Periode gelombang
- C : Kecepatan rambat gelombang (L/T)
- k : Konstanta gelombang ($2\pi/L$)
- ω : Frekuensi Gelombang ($2\pi/T$)
- g : Gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Pada gambar berikut menampilkan gelombang air laut linear.



Gambar 2. Karakteristik Gelombang Laut Linear (Susanto, 2016)

Pada dasarnya gelombang laut terbagi menjadi beberapa tipe yaitu gelombang linear dan non linear. Gelombang linear memiliki ciri yang khusus yaitu berbentuk sinusoidal. Sebuah gelombang laut yang dalam dengan nilai H/λ kecil merambat dengan profil sinusoidal adalah gelombang linear. Namun jika rambatannya mencapai kedangkalan tertentu, profil gelombangnya akan berubah dengan puncak gelombang yang meruncing diikuti dengan panjang gelombang yang mengecil.

Model gelombang Airy mengikuti teori linier (menganggap bahwa gelombang memiliki lereng

kecil dan gelombang bersifat dispersif) dan didasarkan pada teori potensial untuk menggambarkan pergerakan gelombang gravitasi di permukaan air. Dalam 1D, elevasi permukaan bebas $\eta(x, t)$ adalah fungsi sinus dari posisi horizontal x dan waktu t ,

$$\eta(x, t) = -a \sin(kx - \omega t)$$

Dimana :

a = amplitudo gelombang

k = wave number

ω = wave frequency

Gelombang berjalan di permukaan dengan kecepatan fase c :

$$c = \frac{\omega}{k} = \frac{\lambda}{T}$$

Solusi persamaan Laplace untuk masalah ini dengan kondisi batas linier yang sesuai menghasilkan potensial kecepatan sebagai berikut:

$$\phi = \frac{\omega}{k} a \frac{\cosh[k(z+d)]}{T \sinh(kd)} \cos(kx - \omega t)$$

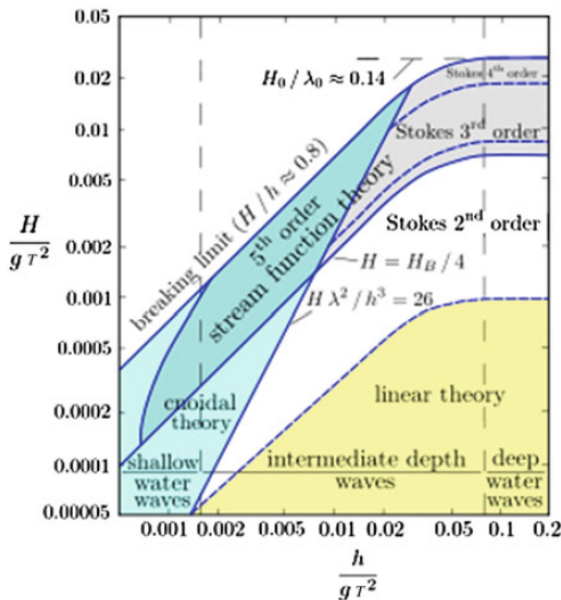
Dimana:

d = kedalaman air

Frekuensi sudut gelombang dan bilangan gelombang k digabungkan melalui hubungan dispersi linier di bawah ini:

$$\omega^2 = gk \tanh(kd)$$

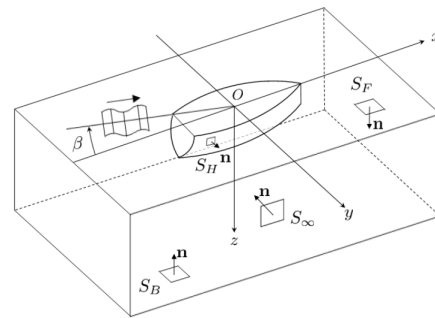
Pada gambar 3 dapat diketahui bahwa kecuraman gelombang sering digunakan untuk membedakan antara gelombang linier dan non-linier. Biasanya, jika kecuraman kurang dari 0,001 maka hubungan gelombang linier valid, tetapi ketika kecuraman meningkat maka teori linier menjadi kurang akurat dan model gelombang orde tinggi seperti gelombang Stokes



Gambar 1. Chart of wave model suitability Pecher & Kofoed, 2017)

Teori Hidrodinamika

Sebuah sistem koordinat Cartesian O – xyz dibuat dengan titik asal O terletak di pusat geometris dari pandangan denah dan pada permukaan bebas yang tidak terganggu yang merupakan bidang xy. Sumbu z positif ke bawah, dan draft benda dan kedalaman air (yang diasumsikan konstan) dalam arah z masing-masing dilambangkan sebagai d dan h . Panjang dalam arah x dan lebar dalam arah y dari benda mengambang masing-masing dilambangkan sebagai L dan B . Sudut datang gelombang masuk relatif terhadap sumbu x positif dilambangkan sebagai β . Kita asumsikan bahwa daerah fluida dikelilingi oleh permukaan terendam dari benda terapung S_H , permukaan bebas S_F , permukaan kontrol pada tak terhingga S_∞ dan dasar air S_B . Asumsikan bahwa persamaan kondisi batas yang ada pada setiap permukaan batas dapat dilinierkan, pertimbangkan teori potensial linier. Arah gelombang insiden adalah derajat β seperti Gbr. 4. Amplitudo gelombang diwakili oleh ζ_a .



Gambar 4. Sistem Koordinat

Dalam naskah ringkas ini, teori aliran potensial linier diadopsi, dan karenanya potensial kecepatan diperkenalkan dan dinyatakan sebagai berikut:

$$\phi(x, y, z) = Re[\phi(x, y, z)e^{i\omega t}] \quad \left. \begin{aligned} \phi = \frac{g\zeta_a}{i\omega} \{ \phi_0 + \phi_7 \} + i\omega \sum_{j=1}^6 X_j + \phi_j \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Di mana g menunjukkan percepatan gravitasi, ω masing-masing adalah frekuensi melingkar dari gelombang datang. ϕ_0 menunjukkan potensi kecepatan gelombang datang yang diberikan oleh

$$\phi_0 = \frac{\cosh k_0(z-h)}{\cosh k_0 h} e^{-ik_0(x \cos \beta + y \sin \beta)} \quad (2)$$

$$K \equiv \frac{\omega^2}{g} = k_0 \tanh k_0 h \quad (3)$$

ϕ_j ($j = 1 \sim 6$) dalam Eq.(x) adalah potensial radiasi dengan X_j amplitudo kompleks dari mode gerak ke- j . ϕ_7 adalah potensial hamburan, dan $\phi_D = \phi_0 + \phi_7$ didefinisikan dalam tulisan ini sebagai potensial difraksi.

Potensi kecepatan ini harus memenuhi persamaan Laplace sebagai persamaan yang mengatur dan kondisi batas berikut:

$$[F] \quad \frac{\partial \phi}{\partial z} + K\phi = 0 \quad \text{on } z = 0, \quad (4)$$

$$[B] \quad \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad \text{on } z = h, \quad (5)$$

$$[H] \quad \frac{\partial \phi_D}{\partial n} = 0, \quad \frac{\partial \phi_j}{\partial n} = n_j \quad (j = 1 \sim 6) \quad \text{on } S_H, \quad (6)$$

Di mana n_j adalah komponen ke- j dari vektor normal (yang didefinisikan positif saat menunjuk ke fluida dari batas benda), dengan n_j untuk $j = 4 \sim 6$ gerakan rotasi didefinisikan sebagai $n_j = (\mathbf{r} \times \mathbf{n})_{i-3}$. S_H dalam Eq.(x) menunjukkan

permukaan lambung dari benda terapung. Melalui Teorema-Green, kita dapat menunjukkan bahwa solusi yang memenuhi Eq.(x) ~ Eq.(x) dan kondisi radiasi pada tak terhingga dapat diperoleh dengan menyelesaikan secara numerik persamaan integral batas yang dinyatakan dalam bentuk.

$$C(P)\phi_j(P) + \iint_{S_H} \phi_j(Q) \frac{\partial}{\partial n_Q} G(P; Q) dS(Q) = \begin{cases} \iint_{S_H} \frac{\partial \phi_j}{\partial n_Q} G(P; Q) dS(Q) & (j = 1 \sim 6) \\ \phi_0(P) & (j = D) \end{cases} \quad (7)$$

Di mana $C(P)$ menunjukkan sudut padat yang dapat ditentukan hanya dari geometri benda; $P = (x, y, z)$ adalah titik bidang; $Q = (x', y', z')$ adalah titik integrasi pada permukaan lambung basah dari sebuah body S_H . $G(P; Q)$ menunjukkan fungsi Green untuk kedalaman air terbatas.

Suatu hal yang penting untuk mendiskritisasi bagian benda terapung yang terendam ke dalam sejumlah panel bidang dan menganggap yang tidak diketahui (yang merupakan potensial kecepatan) konstan pada setiap panel. Kemudian persamaan integral dapat diubah menjadi sistem linear persamaan simultan untuk yang tidak diketahui. Membagi permukaan benda S_H menjadi N panel dan mengasumsikan kecepatan benda V_n konstan pada setiap panel diskrit, kita mendapatkan

$$2\pi\phi(P_i) - \sum_{j=1}^N \phi(Q_j) D_{ij} = - \sum_{j=1}^N (V_n)_j S_{ij}, \quad i = 1 \sim N \quad (8)$$

$$\text{where } \left. \begin{aligned} D_{ij} &= \iint_{S_j} \frac{\partial}{\partial n_Q} \left(\frac{1}{r} \right) dS(Q) \\ S_{ij} &= \iint_{S_j} \frac{1}{r} dS(Q), \quad r = r(P_i, Q) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Mempertimbangkan koordinat lokal pada panel yang ada di $\zeta = 0$, dan setiap titik dinyatakan sebagai $(\xi_n, \eta_n), n = 1 \sim 4$

$$D_{ij} = \iint \left[\frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\frac{1}{r} \right) \right]_{\zeta=0} d\xi d\eta = - \iint \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{r} \right) \right]_{\zeta=0} d\xi d\eta \quad (10)$$

$$S_{ij} = \iint \left(\frac{1}{r} \right)_{\zeta=0} d\xi d\eta = \int_z^\infty D dz = - \int_z^\infty z dD - zD \quad (11)$$

Namun, untuk menjaga akurasi numerik yang cukup dengan metode ini, kami membutuhkan jumlah panel yang lebih besar yang merupakan metode elemen batas orde tinggi (HOBEM) seperti yang diterapkan oleh Kashiwagi et al., yang dapat mencapai akurasi numerik yang lebih tinggi hanya dengan jumlah panel yang lebih sedikit. Permukaan benda yang terendam didiskritisasi menjadi sejumlah panel melengkung, dan setiap panel akan diubah menjadi panel datar segitiga atau segi empat dalam bentuk fungsi kuadrat $N_k(\xi, \eta)$. Transformasi ini menggunakan fungsi bentuk dapat dinyatakan sebagai

$$\{x, y, z\}^T = \sum_{k=1}^M N_k(\xi, \eta) (x_k, y_k, z_k)^T \quad (12)$$

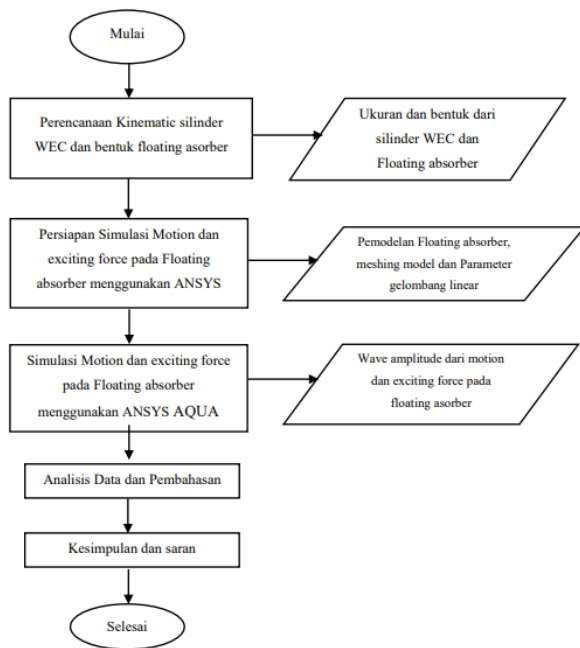
Di mana k adalah nomor node dalam sebuah panel, dan jumlah total node pada satu panel adalah $M = 7$ untuk panel segitiga dan $M = 9$ untuk panel segi empat. Di sini ξ dan η adalah koordinat yang dinormalisasi bervariasi pada rentang $-1 \leq \xi, \eta \leq 1$. Dalam HOBEM ini, dengan menggunakan fungsi bentuk yang sama $N_k(\xi, \eta)$, potensial kecepatan yang tidak diketahui $\phi(\xi, \eta)$ pada masing-masing panel diasumsikan diberikan dalam bentuk.

$$\phi\{x, y, z\} = \sum_{k=1}^M N_k(\xi, \eta) \phi_k \quad (13)$$

dimana ϕ_k menunjukkan nilai potensial kecepatan yang tidak diketahui pada titik nodal ke- k . fungsi bentuk didekati dengan fungsi kuadrat.

METODOLOGI

Pada penelitian ini, model yang digunakan adalah model numerik yang dibuat dengan bantuan perangkat lunak Ansys Aqwa. Sedangkan untuk metodologi penelitiannya, secara umum dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut:



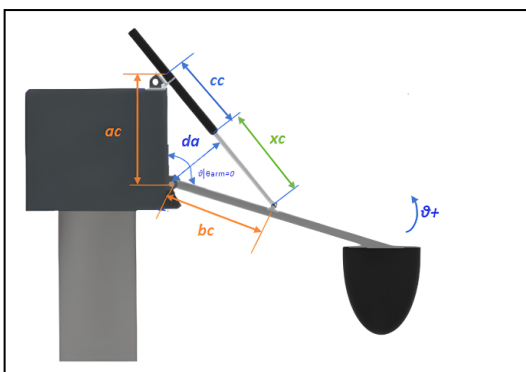
Gambar 5 Diagram Alir Metode Penelitian

Perancangan kinematika silinder WEC dan Bentuk floating absorber

Berikut ini data dimensi dari Wave Energy Converter (WEC) yang dimodelkan berdasarkan dari bentuk studi literature:

Tabel 1. Parameter dimensi WEC

Parameter	Ukuran (m)
ac	2.8
bc	2.6
Silinder	3.2
L2	4.3

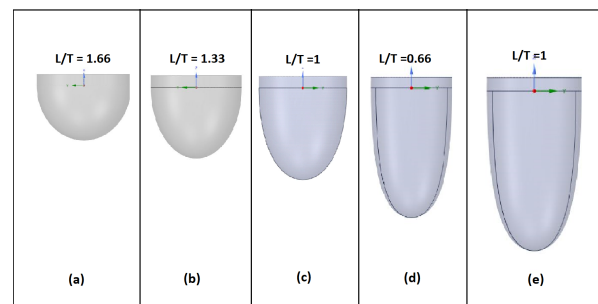


Gambar 6. Bentuk dan parameter dari WEC

Berikut data *floating absorber* yang digunakan untuk pengerjaan tugas akhir ini adalah data geometri *floating absorber* yang berbentuk tabung dan setengah bola yang memiliki dimensi utama :

Tabel 2. Ukuran model Floating Asorber .

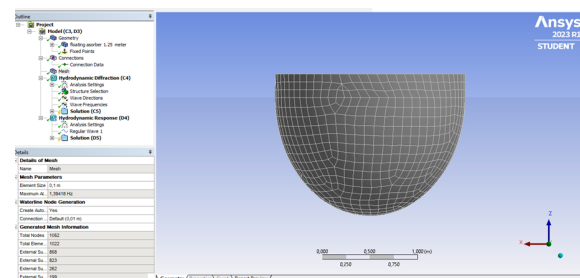
Diameter	2 meter
Tinggi Freeboard	0,25 meter
Draft floating absorber	1,25 meter, 1,5 meter, 2 meter , 3 meter , dan 4 meter



Gambar 7. Bentuk Floating asorber (a) 1,25 m (b)1,5m (c) 2 (d) 3 m dan (e) 4 m.

Simulasi ANSYS AQUA dengan floating absorber

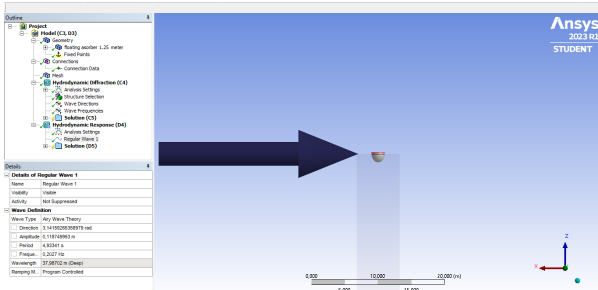
Simulasi Motion Floating Absorber menggunakan software Ansys Aqua Hydrodinamic Response. Tahap awal ansys memasukan file model serta menentukan draft dan titik berat dari floating absorber yang diuji, Setelah itu pembuatan meshing model dengan elemen size sebesar 0.1 m untuk semua ukuran draft floating absorber



Gambar 8. Meshing model Floating absorber

Tahapan selanjutnya sebelum melakukan solving pada Ansys Aqua Hydrodinamic Response perlu dilakukanya inputan parameter parameter gelombang

berupa Amplitude gelombang, frekuensi gelombang dan arah gelombang. Pada penelitian ini disimulasikan floating asorber pada gelombang linear dimana parameter untuk linear H/gt^2 harus kurang dari 0,001 bedasarkan Gambar 3 sehingga H/gt^2 di tentukan sebesar 0,0098 dan hal ini membuat setiap amplitudo berubah setiap periode.



Gambar 9. Persiapan input parameter gelombang linear

Simulasi ANSYS AQUA dengan floating absorber

Setelah persiapan simulasi, perlu dilakukan pemilihan output solving yang ingin diuji, seperti motion dan exciting force. Output solving dilakukan dengan memilih output motion pada posisi heaving dengan subtype Z serta pitching dengan subtype Ry. Untuk pengujian exciting force, dipilih output diffraction dan Froude-Krylov untuk heaving dengan subtype Z, serta untuk pitching dengan subtype Ry. Output solving akan menghasilkan data dan grafik dalam bentuk time domain. Setelah semua frekuensi gelombang disimulasikan, data dan grafik time domain akan diubah menjadi frequency domain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Kinematika Silinder Wave Energy Converter

Pergerakan floating absorber bergerak naik turun karena dipengaruhi oleh perubahan tinggi gelombang laut yang datang. Pada Gambar 10, dengan mengatur fixed joint pada titik B dan rotasi pada sumbu Y di titik A, maka ketika gelombang laut datang, floating absorber akan bergerak secara optimal dalam gerakan heaving dibandingkan dengan gerakan pitch dan lainnya. Gerakan heave pada floating absorber menghasilkan perubahan sudut pada lengan arm yang menyebabkan perubahan jarak langkah silinder yang bergerak secara translasi (stroke) pada sumbu ZX.

Untuk mengatasi lonjakan gelombang yang signifikan serta menjaga sudut floating absorber saat turun, digunakan proteksi berupa rubber damper. Selain itu, sensor tinggi gelombang juga ditambahkan. Ketika

tinggi gelombang melebihi batas maksimum yang telah ditetapkan, yaitu 3 meter, sistem proteksi akan diaktifkan, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 10.

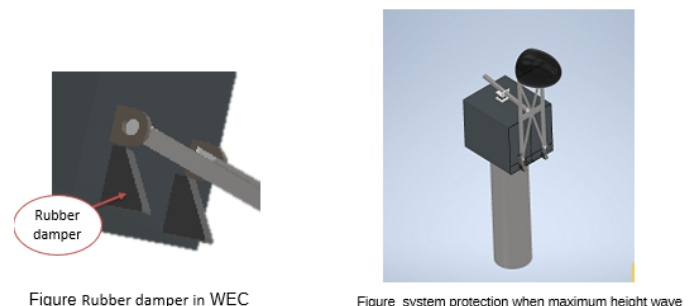
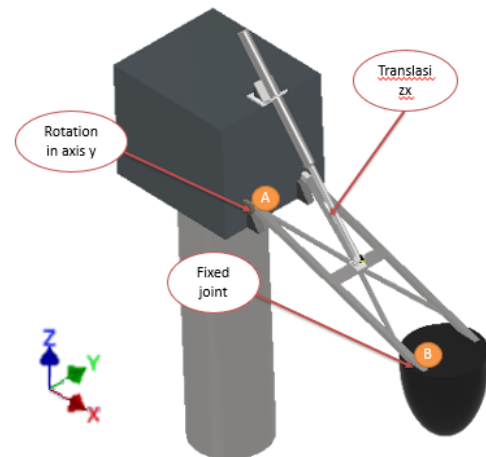
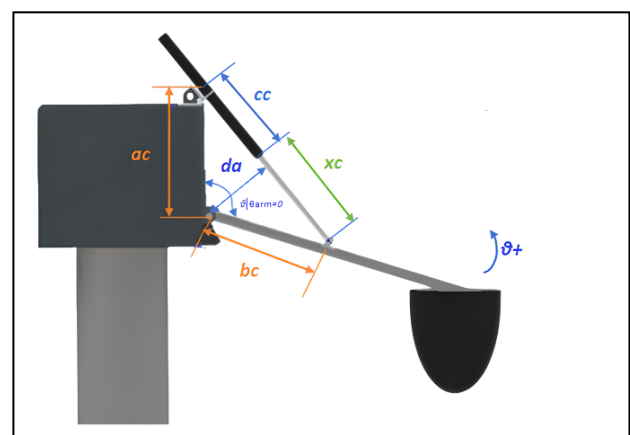


Figure Rubber damper in WEC

Figure system protection when maximum height wave

Gambar 10 desain WEC

Pada Gambar 11, terlihat bahwa floating absorber memiliki titik rotasi di antara AC dan BC, sehingga sudut lengan akan berubah ketika gelombang datang. Perubahan ini menyebabkan variasi stroke yang dialami oleh sistem hidrolik pada WEC. Penelitian ini juga menghitung perubahan sudut yang terkait dengan stroke tersebut.

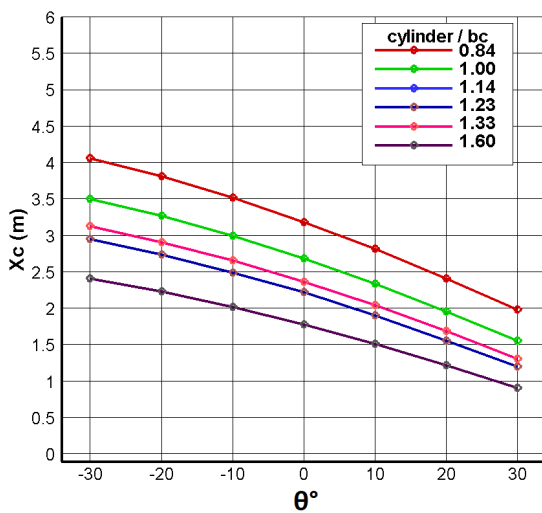


Gambar 11. Kinematika WEC

Tabel 3. Hasil Perhitungan panjang lengan dan Stroke

Sudut lengan (θ°)	Ratio silinder / lengan (bc)					
	0.84 (3,8m)	1.00 (3,2m)	1.14 (2,8m)	1.23 (2,6m)	1.33 (2,4m)	1.60 (2m)
-30°	4.06 m	3.50 m	3.13 m	2.95 m	3.13 m	2.41 m
-20°	3.81 m	3.27 m	2.91 m	2.74 m	2.91 m	2.23 m
-10°	3.52 m	3.00 m	2.66 m	2.49 m	2.66 m	2.02 m
0°	3.18 m	2.69 m	2.37 m	2.22 m	2.37 m	1.78 m
10°	2.82 m	2.34 m	2.05 m	1.90 m	2.05 m	1.51 m
20°	2.41 m	1.96 m	1.69 m	1.56 m	1.69 m	1.22 m
30°	1.98 m	1.56 m	1.31 m	1.20 m	1.31 m	0.91 m

Terlihat pada Tabel 3 bahwa pada rasio 0,84, sudut lengan terbentuk dari 0 hingga 30 derajat. Sementara itu, pada rasio 1 m, sudut lengan hanya terbentuk dari -10 hingga 30 derajat. Hal ini disebabkan oleh panjang stroke yang telah melebihi batas langkah silinder yang dirancang sebesar 3,2 m.



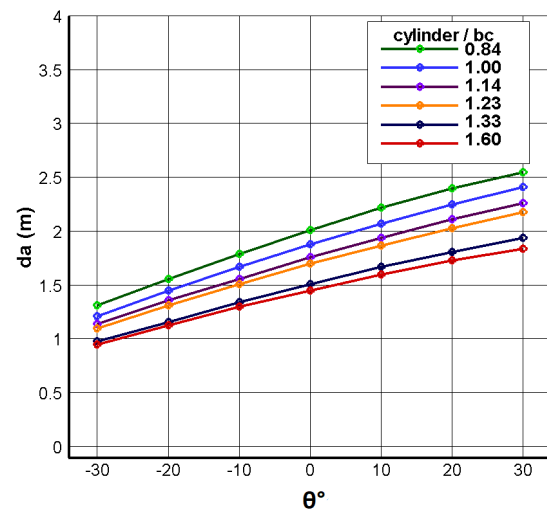
Gambar 12. Grafik hubungan stroke dengan sudut lengan

Berikut adalah hasil perhitungan panjang sudut lengan dengan panjang lengan momen (Da) pada Tabel 3, berdasarkan variasi rasio silinder hidrolik dengan panjang lengan bc. Grafik hubungan antara sudut lengan dan stroke dapat dilihat pada Gambar 12.

Tabel 4. Hasil Perhitungan panjang lengan dan lengan momen (Da)

Sudut lengan (θ°)	Ratio silinder / lengan (bc)					
	0.84 (3,8m)	1.00 (3,2m)	1.14 (2,8m)	1.23 (2,6m)	1.33 (2,4m)	1.60 (2m)
-30°	1.31 m	1.21 m	1.14 m	1.10 m	0.98 m	0.95 m

-20°	1.56 m	1.45 m	1.36 m	1.31 m	1.16 m	1.13 m
-10°	1.79 m	1.67 m	1.56 m	1.51 m	1.34 m	1.30 m
0°	2.01 m	1.88 m	1.76 m	1.70 m	1.51 m	1.45 m
10°	2.22 m	2.07 m	1.94 m	1.87 m	1.67 m	1.60 m
20°	2.40 m	2.25 m	2.11 m	2.03 m	1.81 m	1.73 m
30°	2.55 m	2.41 m	2.26 m	2.18 m	1.94 m	1.84 m



Gambar 13. Grafik hubungan pajang lengan momen da dengan sudut lengan

Berikut juga tabel masa lengan dan masa floating yang dibutuhkan untuk mengapung sesuai dengan draft:

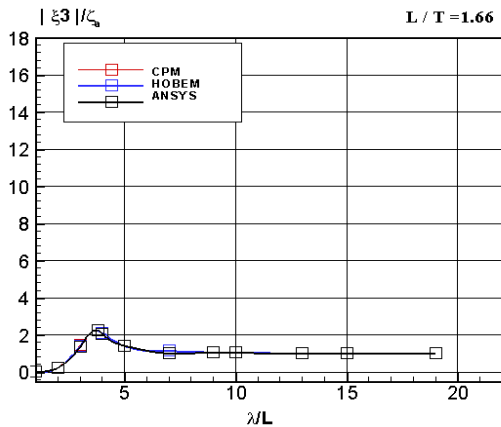
Tabel 5. Masa lengan dan masa floating absorber pada Wave energy converter

Ratio (L/T)	DRAFT (m)	Masa lengan (kg)	Masa floating (kg)
1.6	1.25	536.69	2146.76
1.33333333	1.5	644.028	2576.112
1	2	858.704	3434.816
0.66666667	3	1288.056	5152.224
0.5	4	1717.408	6869.632

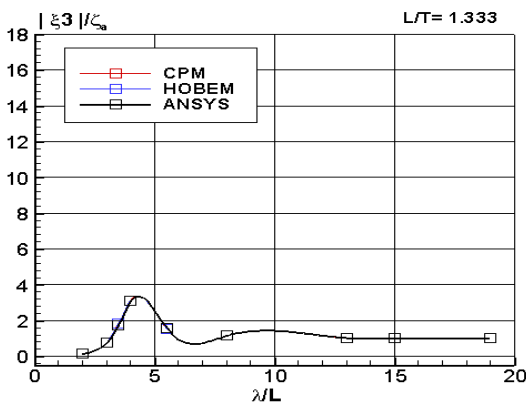
RAO Heave Motion

Berikut adalah hasil perhitungan yang dilakukan menggunakan Ansys Aqua serta dibandingkan dengan metode CPM dan HOBEM. Pertama, analisis dilakukan terhadap grafik Response Amplitude Operator untuk gerakan floating absorber. Selanjutnya,

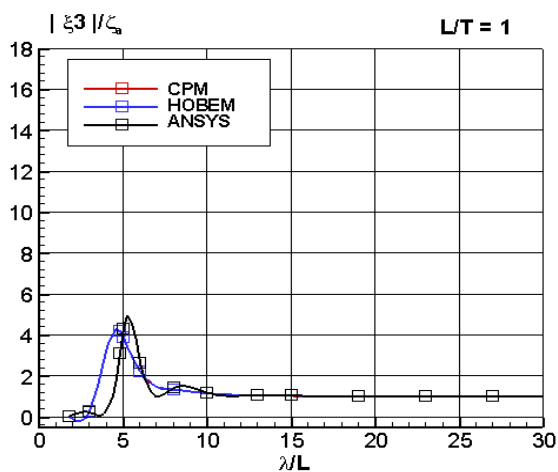
dilakukan analisis terhadap grafik Response Amplitude Operator untuk gaya eksitasi yang dihasilkan oleh floating absorber.



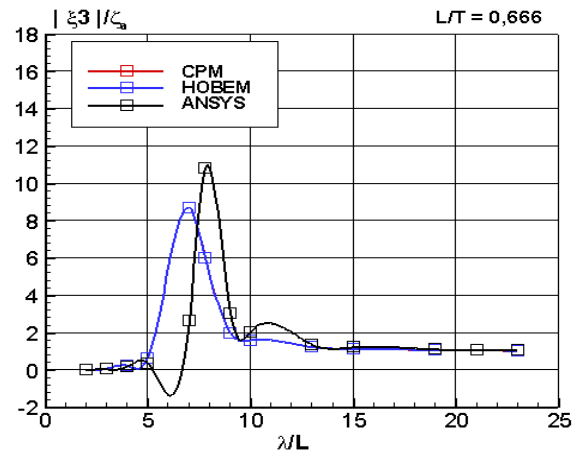
(a)



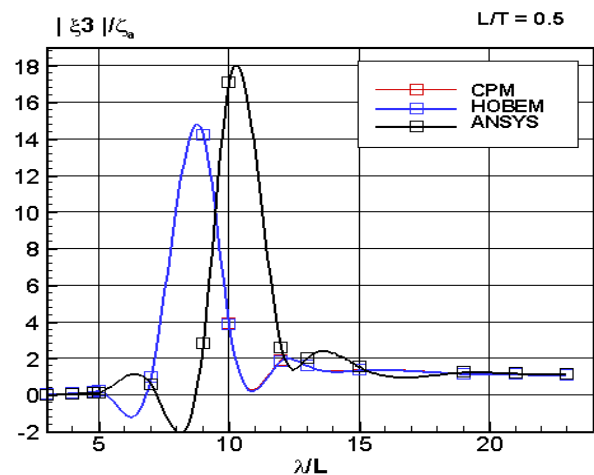
(b)



(c)



(d)



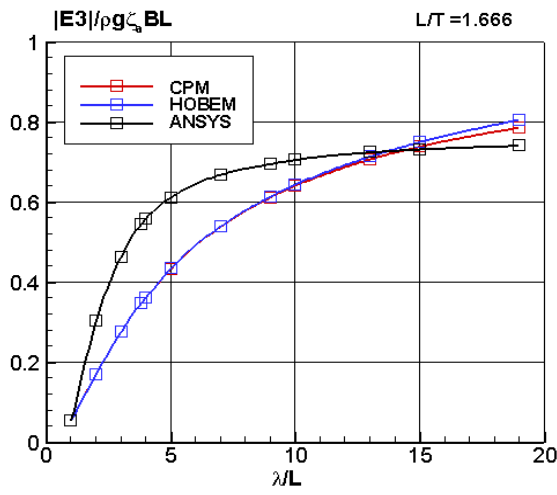
(e)

Gambar 14. Grafik RAO *heave motion* pada (a) 1,25m (b)1,5m (c)2m (d) 3m dan (e) 4m

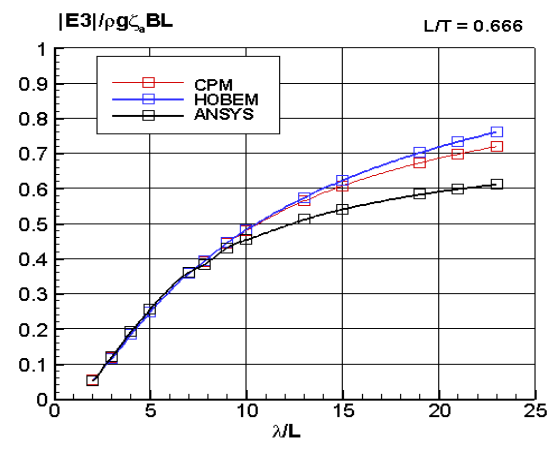
Pada Gambar 4.3 menunjukkan Perbandingan RAO untuk *motion heave* Hasil dari *heave* dan *pitch* RAO ditunjukkan dalam berbagai rasio dari L/T . Dari hasil tersebut, kita dapat melihat bahwa hasil dari Ansys aqua tidak terlalu jauh berbeda dengan metode CPM dan HOBEM, akan tetapi pada kondisi $L/T = 1$ sampai 0,5 mengalami perbedaan dimana titik resonansi λ/L di Ansys Aqua semakin menjauh dengan morede CPM dan HOBEM dan semakin tinggi pula nilai *heave motion*nya.

RAO Heave Exciting Force

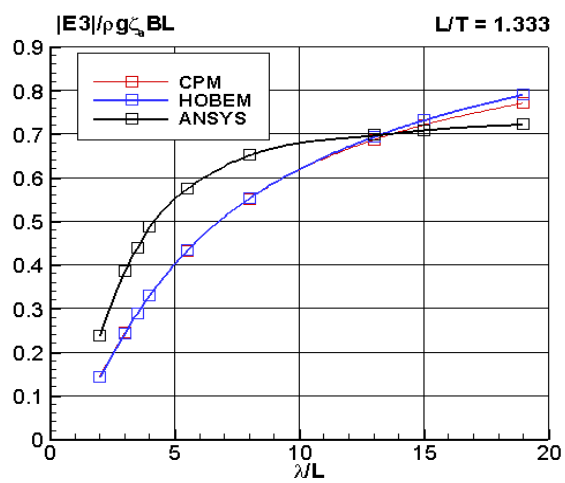
Berikut ini data gaya eksitasi *heave* yang dihasilkan dari berbagai variasi desain



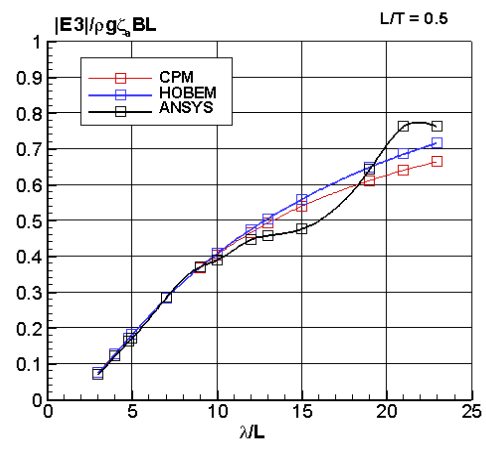
(a)



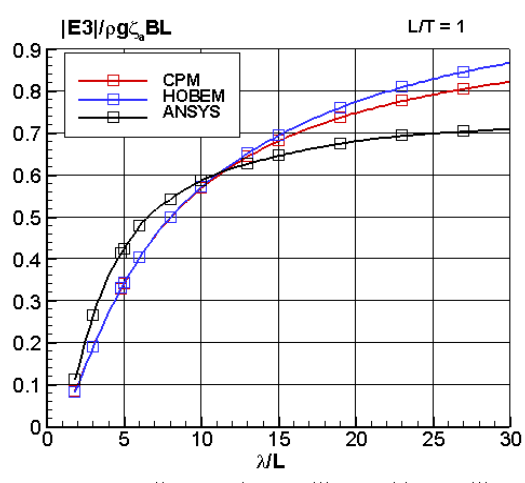
(d)



(b)



(e)



(c)

Gambar 15. Grafik RAO heave exciting force pada (a)1,25m (b)1,5m (c)2m (d)3m dan (e)4m

Sesuai dengan Gambar 15, tidak ada perbedaan yang signifikan antara CPM dan HOBEM untuk gaya eksitasi. Gaya gelombang yang dihasilkan oleh gerakan heave juga tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan menggunakan Ansys Aqua dengan metode CPM dan HOBEM tidak terlalu berbeda, terutama dalam hal heave.

KESIMPULAN

Puncak heave RAO di wilayah resonansi meningkat dengan penurunan rasio diameter-ke-draft sementara wilayah resonansi juga bergeser ke rasio panjang gelombang-ke-diameter yang lebih tinggi.

Tidak ada perbedaan yang signifikan pada gaya eksitasi gelombang heave dengan variasi draft

Model kinematika gerak WEC yang diambil adalah gerak heave dan perbandingan panjang lengan (bc)

dengan silinder hidrolik yang sesuai adalah kira-kira 1,23 dan 1,14.

Rasio Design Diameter-to-Draft yang sesuai untuk digunakan dengan floating absorber adalah antara 0,67-1,00

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Nation, U. (2021). *COP 26 THE GLASGOW CLIMATE PACT*. <https://ukcop26.org/>
- [2]. Anggraini, D., & Ihsan Al Hafiz. (2015). Quantitative Analysis of Indonesian Ocean Wave Energy Potential Using Oscillating Water Column Energy Converter. *MATTER: International Journal of Science and Technology*, 1(1), 228–239. <https://doi.org/10.20319/mijst.2016.s11.228239>
- [3]. Rhinefrank, K., Agamloh, E. B., von Jouanne, A., Wallace, A. K., Prudell, J., Kimble, K., Aills, J., Schmidt, E., Chan, P., Sweeny, B., & Schacher, A. (2006). Novel Ocean Energy Permanent Magnet *Linear* Generator Buoy. *Renewable Energy*, 31, 1279–1298. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.07.005>
- [4]. Farrok, O., Islam, M. R., Muttaqi, K. M., Sultanto, D., & Zhu, J. (2020). Design and Optimization of a Novel Dual-Port *Linear* Generator for Oceanic Wave Energy Conversion. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67(5), 3409–3418. <https://doi.org/10.1109/TIE.2019.2921293>
- [5]. J. Welly Ginting, & Setiawan, I. K. D. (2018). KINERJA PROTOTYPE PAPAN OSILASI PADA POMPA FLAP TENAGA GELOMBANG UNTUK PEMANFAATAN MATA AIR DI PANTAI BANYU ASRI, KOTA SINGARAJA-BALI. 09, 85–98.
- [6]. Goggins, J., & Finnegan, W. (2014). Shape optimisation of floating wave energy converters for a specified wave energy spectrum. *Renewable Energy*, 71, 208–220. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.05.022>
- [7]. Jufri. (2020). *Studi Eksperimental Penyerapan Energi Pelampung Bentuk Peluru dengan Rumah Terapung Redaman-Beban pada Konverter Energi Gelombang*. Universitas Hasanuddin.
- [8]. Indonesia, P. (2010). Zamrisyaf: Penemu Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandulan. <https://indonesiaproud.wordpress.com/2010/09/03/zamrisyaf-sy-penemu-listrik-tenaga-gelombang-laut-sistem-bandulan/>
- [9]. Network, E. N. (2008). Mechanical Fin Power: Oceanic Power Generation. <https://www.enn.com/articles/36641-mechanical-fin-power--oceanic-power-generation>
- [10]. Djatmiko, E. B. (2019). Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak Analysis of Slamming Load on Submarine Hull View project Sustainable Island Development Initiatives (SIDI) View project. <https://www.researchgate.net/publication/335620271>
- [11]. Wurjanto, A., Mukhti, J.A., & Wirasti, H.D. Extreme Significant Wave Height Map of Indonesia Based on SEAFINE and ERA5 Database. 2021.
- [12]. Pecher, A., & Kofoed, J. P. (2017). *Handbook of Ocean Wave Energy- Wave-to-Wire Modeling of WECs*. <https://books.google.com/books?id=Iu-TxjwEACAAJ>
- [13]. Newman, J.N., Distributions of sources and normal dipoles over a quadrilateral panel. *Journal of Engineering Mathematics*, 1986. 20(2): p. 113-126.
- [14]. ANSYS. (2015). *Aqwa Theory Manual old. Ansys, 15317*(November), 174.
- [15]. Kashiwagi, M. (2020). *Wave-Body Interaction Theory (Theory of Ship Waves)*. Osaka University.
- [16]. Kurniawan, A., & Moan, T. (2013). Optimal geometries for wave absorbers oscillating about a fixed axis. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 38(1), 117–130. <https://doi.org/10.1109/JOE.2012.2208666>
- [17]. Kashiwagi, M., et al. Motion Characteristics in Waves of a Floating Platform of Complex Geometry for Renewable Energy Utilization. in *Proceedings of the International Symposium on Marine and Offshore Renewable Energy*. 2013.
- [18]. Nielsen, Kim. (1986, June). On The Performance Of Wave Power Converter. *Kongens Lyngby: Int.Sym. Util.Of Ocean Waves*.

- [19]. Megaputra, B. H. (2017). *Analisis Hambatan dan Seakeeping Akibat Pengurangan Kecepatan Untuk Mengurangi Emisi Gas Buang pada Kapal Tanker*. 150. <http://repository.its.ac.id/47420/>
- [20]. Melikoglu, M. (2018). Current status and future of ocean energy sources: A global review. *Ocean Engineering*, 148, 563–573. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.11.045>
- [21]. Saputra, A., & Satriani. (2016). *MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA OMBAK* [UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR]. https://digilibadmin.unismuh.ac.id/upload/26000-Full_Text.pdf
- [22]. Wijaya, I. W. A. (2010). *PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT MENGGUNAKAN TEKNOLOGI OSCILATING WATER COLUMN DI PERAIRAN BALI*. 9.
- [23]. Sirajang, N., & Darwis, M. (2017). Metode Elemen Batas pada Persamaan Integral Batas. *Jurnal Matematika, Statistika & Komputasi*, 13(2), 91–100. <https://journal.unhas.ac.id/index.php/jmsk/article/view/3494/2018>
- [24]. Susanto, I. (2016). *Susanto, I. (2016). Studi Karakteristik Energi Listrik yang Dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) Metode Pelampung dengan Variasi Dimensi Pelampung dan Panjang Lengan* [Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. <https://repository.its.ac.id/41890/1/2113205007-Master-Thesis.pdf>
- [25]. Vantorre, M., Banasiak, R., & Verhoeven, R. (2004). Modelling of hydraulic performance and wave energy extraction by a point absorber in heave. *Applied Ocean Research*, 26(1–2), 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2004.08.002>
- [26]. Wurjanto, A., Mukhti, J. A., & Wirasti, H. Della. (2021). Extreme significant wave height map of Indonesia based on SEAFINE and ERA5 database. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 53(1), 1–13. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2021.53.1.10>
- [27]. Zhang, X., Tian, X., Xiao, L., Li, X., & Chen, L. (2018). Application of an adaptive bistable power capture mechanism to a point absorber wave energy converter. *Applied Energy*, 228(June), 450–467. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.100>
- [28]. Zou, S., & Abdelkhalik, O. (2018). Control of Wave Energy Converters with Discrete Displacement Hydraulic Power Take-Off Units. *Journal of Marine Science and Engineering*, 6, 31. <https://doi.org/10.3390/jmse6020031>
- [29]. Jusoh, M. A., Yusop, Z. M., Albani, A., Daud, M. Z., & Ibrahim, M. Z. (2021). Investigations of hydraulic power take-off unit parameters effects on the performance of the wab-wecs in the different irregular sea states. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/jmse9080897>
- [30]. Jusoh, M. A., Yusop, Z. M., Albani, A., Daud, M. Z., & Ibrahim, M. Z. (2022). An Improved Hydraulic Power Take-Off Unit Based on Dual Fluid Energy Storage for Reducing the Power Fluctuation Problem in the Wave Energy Conversion System. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/jmse10081160>
- [31]. Hjerm, R. (2013). Aalborg Universitet Design and Control of the PowerTake-Off System for a Wave Energy Converter with Multiple Absorbers. <https://core.ac.uk/download/pdf/60558659.pdf>