



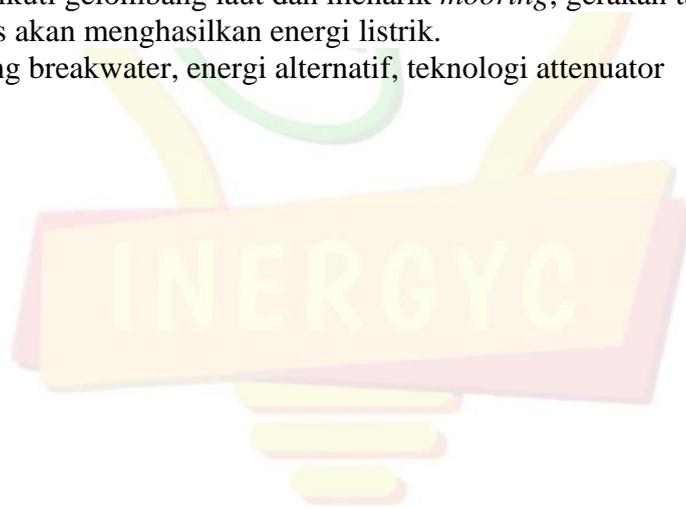
Studi Konseptual dan Desain Floating Breakwater sebagai Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut di Pantai Timur Surabaya

Madhava Anindita Wardahni Agus Wahyudi, Amanda Dinda Olivia
Rizaldy Rizky Pratama, S.Pd., Gr
SMA Negeri 19 Surabaya
madhava1278@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara maritim dan menjadi negara dengan kerapatan gelombang laut sebesar 20 kW/m^2 , yang membuat Indonesia memiliki potensi cukup tinggi untuk menghasilkan energi listrik. Gelombang laut dapat menjadi salah satu energi alternatif yang dapat digunakan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL). Salah satu sumber energi terbarukan adalah teknologi alat terapung yang efektif mengikuti arah gelombang laut. Teknologi ini dipadukan dengan *floating breakwater* dan *teknologi attenuator*. Penelitian ini menggunakan metode studi literatur. Hasilnya menunjukkan bahwa potensi gelombang laut dapat dikonversikan menjadi tenaga listrik dengan menggunakan *mooring* atau tali tambat yang tersambung pada generator yang berada di dalam laut. *Floating breakwater* akan bergerak mengikuti gelombang laut dan menarik *mooring*, gerakan tarik ulur yang terjadi secara terus-menerus akan menghasilkan energi listrik.

Kata Kunci : Floating breakwater, energi alternatif, teknologi attenuator





PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan garis pantai yang sangat panjang, memiliki potensi besar untuk memanfaatkan energi gelombang laut. Gelombang besar dan arus kuat seringkali menyebabkan kerusakan pada pesisir laut, infrastruktur dan lingkungan Pantai sehingga pentingnya meningkatkan perlindungan pada wilayah pesisir. *Floating breakwater* adalah struktur terapung yang digunakan untuk melindungi pesisir atau area tertentu dari gelombang laut. Fungsinya utama adalah meredam energi gelombang sehingga gelombang yang sampai ke garis pantai memiliki energi yang lebih rendah dan tidak menyebabkan erosi. Namun, seiring dengan perkembangan teknologi dan peningkatan kebutuhan energi, *floating breakwater* juga mulai dipertimbangkan sebagai solusi untuk memanfaatkan energi gelombang laut sebagai sumber pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL).

Gelombang laut adalah sumber energi yang sangat melimpah dan terbarukan. Di pesisir pantai, energi gelombang secara alami dihasilkan oleh angin yang bergerak melintasi permukaan laut. Dengan pengaplikasian teknologi yang tepat, energi kinetik dari gelombang ini dapat diubah menjadi energi listrik. Di sinilah konsep *floating breakwater* berperan sebagai infrastruktur ganda, yakni sebagai pelindung pantai sekaligus sebagai pembangkit listrik tenaga gelombang. Dengan mengintegrasikan teknologi pembangkit listrik pada struktur *floating breakwater*, gerakan vertikal dan horizontal yang dihasilkan oleh gelombang dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin atau generator. Beberapa teknologi yang bisa diaplikasikan meliputi pelampung osilasi, flap osilasi, atau mekanisme hidrolik yang terhubung ke generator listrik. Penggunaan teknologi ini dapat dilakukan bersamaan dengan fungsi utama *breakwater*, sehingga memberikan keuntungan ganda yaitu perlindungan pantai dan produksi energi terbarukan.

Di kawasan pesisir yang padat, pengaplikasian teknologi energi terbarukan sering terhalang oleh terbatasnya ruang. *Floating breakwater* yang dipasang di laut memungkinkan pemanfaatan ruang secara efisien tanpa mengganggu aktivitas pesisir. Gelombang laut yang bersifat lebih konsisten dibandingkan energi angin atau matahari, sehingga memungkinkan produksi energi yang lebih stabil dan dapat diandalkan. Dengan memanfaatkan energi gelombang laut, *floating breakwater* menjadi solusi hijau untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mendukung penggunaan energi terbarukan.

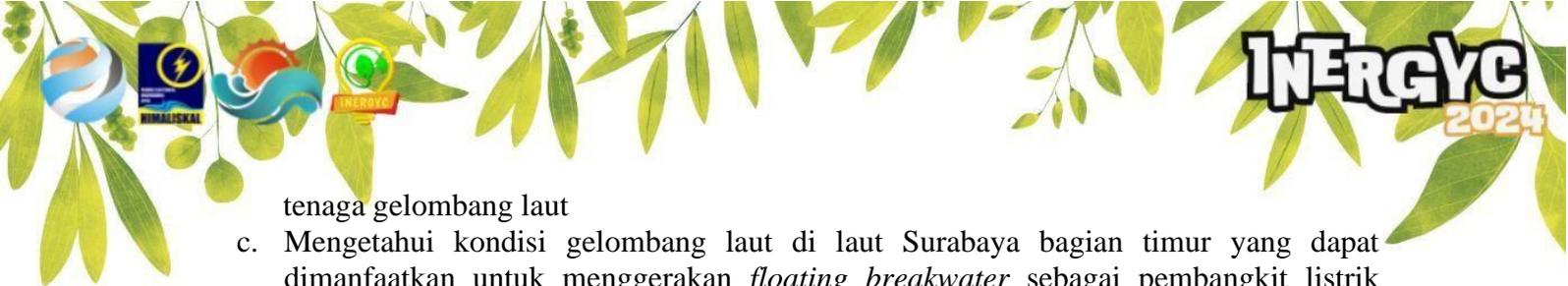
Rumusan Masalah

- Bagaimana desain yang digunakan untuk *floating breakwater* sebagai pembangkit listrik tenaga ombak laut?
- Bagaimana sistem kerja *floating breakwater* yang efektif untuk pembangkit listrik tenaga ombak laut?
- Apakah kondisi gelombang laut di laut Surabaya bagian timur dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan *floating breakwater* sebagai pembangkit listrik tenaga gelombang laut??

Tujuan Penelitian

- Mengetahui desain yang digunakan untuk *floating breakwater* sebagai pembangkit listrik tenaga gelombang laut
- Mengetahui sistem kerja *floating breakwater* yang efektif untuk pembangkit listrik





tenaga gelombang laut

- c. Mengetahui kondisi gelombang laut di laut Surabaya bagian timur yang dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan *floating breakwater* sebagai pembangkit listrik tenaga gelombang laut





TINJAUAN PUSTAKA

Floating Breakwater

Breakwater adalah struktur lepas pantai yang berfungsi melindungi pantai dari dampak gelombang laut, sehingga mencegah pergerakan sedimen di garis pantai yang bisa menyebabkan abrasi. *Breakwater* dibagi menjadi dua jenis yaitu *Fixed Breakwater* dan *Floating Breakwater*. *Fixed Breakwater* merupakan bangunan yang tertanam langsung di dasar laut, biasanya terbuat dari bebatuan, tetra pod, dan biasanya dibangun di daerah dekat garis pantai. *Floating Breakwater* memiliki fungsi yang sama dengan *Fixed Breakwater*, tetapi pembangunannya mengapung di atas air dengan menggunakan tali tambat (*mooring*) agar tidak terbawa arus. Struktur ini biasanya ditempatkan di perairan yang lebih dalam dan lebih jauh dari garis pantai.

Breakwater umumnya dirancang untuk memecah gelombang di perairan dangkal. *Floating Breakwater*, sebagai pengembangan lebih lanjut, menggunakan desain yang memungkinkan bangunan mengapung. Namun, *Floating Breakwater* memiliki beberapa kelemahan, seperti kurang efektif dalam meredam gelombang pendek. Gelombang dengan frekuensi 1,6 radian/detik dan periode lebih dari 6 detik dapat menyebabkan kegagalan mooring, yang meningkatkan risiko kerusakan serta biaya perawatan yang lebih tinggi dibandingkan *Fixed Breakwater*.

Keuntungan *Floating Breakwater* antara lain dapat digunakan di perairan yang lebih dalam, tidak menyebabkan sedimentasi, mudah dipindahkan, dan cocok untuk perlindungan sementara. Efektivitas *breakwater* dapat dilihat dari seberapa banyak energi gelombang yang berhasil ditransmisikan. Semakin kecil energi gelombang yang berkurang, semakin besar koefisien transmisi. Dengan mengikuti pergerakan gelombang laut, *Floating Breakwater* terbukti efisien dalam mengatasi masalah yang dihadapi *Fixed Breakwater*, seperti kondisi dasar laut, kedalaman, serta biaya yang lebih murah dan fleksibilitas dalam pembangunan.

Energi Laut

Gelombang merupakan salah satu faktor penting dalam perencanaan pelabuhan, rekayasa pantai, dan lepas pantai. Gelombang laut dapat terbentuk dari berbagai penyebab, seperti angin, pergerakan lempeng bumi, atau bahkan gerhana. Gelombang di lautan dapat diklasifikasikan berdasarkan penyebabnya. Beberapa di antaranya adalah: gelombang yang dipicu oleh angin (gelombang angin), tarikan gravitasi bumi-bulan-matahari (gelombang pasang-surut), gempa di dasar laut (gelombang tsunami), atau gelombang yang dihasilkan oleh pergerakan kapal.

Gelombang yang paling sering diteliti dalam bidang teknik pantai adalah gelombang angin dan pasang-surut. Gelombang ini dapat membentuk atau merusak pantai serta mempengaruhi struktur pantai. Tenaga yang dihasilkan gelombang dapat menciptakan arus energi dan mempengaruhi pergerakan sedimen baik secara tegak lurus pantai (*cross-shore*) maupun sejajar pantai (*longshore*). Oleh karena itu, dalam studi teknik pantai, gelombang menjadi faktor utama yang dipertimbangkan dalam proses pembentukan struktur pantai.

Potensi Konversi Energi Gelombang Laut

Potensi energi gelombang laut menyimpan banyak peluang untuk dikembangkan. Salah satu negara yang telah melakukan banyak penelitian mengenai energi ini adalah Inggris. Berdasarkan pengamatan, gelombang di sekitar pantai Selandia Baru dengan tinggi rata-rata 1 meter dan periode 9 detik memiliki daya sekitar 4,3 kW per meter panjang gelombang.





Sementara itu, gelombang dengan tinggi 2 meter dan 3 meter mampu menghasilkan daya sebesar 39 kW per meter panjang gelombang. Untuk ombak dengan ketinggian 100 meter dan dengan periode 12 detik menghasilkan daya output sebesar 600 kW per meter panjang ombak. (Redita D. Setiawan, dkk., 2013)

Di Indonesia, terdapat banyak gelombang dengan ketinggian lebih dari 5 meter, sehingga potensi ini perlu diteliti lebih lanjut untuk mengidentifikasi apa yang dapat dihasilkan oleh gelombang tersebut. Pengembangan energi gelombang dapat dilakukan di wilayah laut selatan Pulau Jawa dan Pulau Sumatera. Sebagai contoh, di perairan Semarang yang memiliki karakteristik gelombang berdasarkan tinggi dan periode signifikan, gelombang di wilayah transisi ini memiliki tinggi antara 0,026 hingga 1,255 meter dan periode antara 1,677 hingga 5,781 detik. Daya gelombang yang terbentuk pada sepanjang musim mengalami fluktuasi antara 0,0 – 9 kW/m. (Lestari Anggraini et al., 2020).

Gelombang

Gelombang laut merupakan perubahan permukaan air laut yang ditandai oleh puncak dan lembah gelombang, yang terjadi akibat gerakan osilasi yang disebabkan oleh tiupan angin, letusan gunung berapi, longoran dasar laut, atau aktivitas kapal (Sunarto, 2003). Gelombang laut memiliki beberapa karakteristik, yaitu periode gelombang, tinggi gelombang, panjang gelombang, dan kecepatan rambatnya. Proses pembentukan gelombang menunjukkan bahwa gelombang pendek terbentuk lebih cepat dibandingkan dengan gelombang panjang. Hal ini menandakan bahwa gelombang pendek menerima lebih banyak energi dari angin di bandingkan gelombang panjang. Gelombang dapat diklasifikasikan berdasarkan ukuran dan penyebabnya (Pond dan Pickard, 1983):

1. Riak (ripples) atau gelombang kapiler (capillary wave) memiliki panjang gelombang sekitar 1,7 meter dan periode kurang dari 0,2 detik, yang disebabkan oleh tegangan permukaan serta tiupan angin lemah di permukaan laut.
2. Gelombang angin (seas/wind waves) memiliki panjang gelombang hingga sekitar 130 meter dan periode antara 0,2 hingga 0,9 detik, yang dihasilkan oleh tiupan angin.
3. Alun (swell) memiliki panjang gelombang hingga ratusan meter dengan periode antara 0,9 hingga 15 detik, yang dihasilkan oleh angin yang bertiup dalam waktu lama.
4. Gelombang pasang surut (tidal wave) memiliki panjang gelombang beberapa kilometer dan periode masing-masing 5 jam, 12 jam, serta 25 jam, yang disebabkan oleh fluktuasi gaya gravitasi dari Matahari dan Bulan.

Regular Wave

Gelombang regular merupakan gelombang yang mempunyai tinggi dan periode yang tetap terhadap waktu. Airy (1845) memperkenalkan teori gelombang amplitudo kecil untuk menghitung parameter-parameter gelombang. Rumus-rumus berdasarkan teori gelombang amplitudo kecil adalah sebagai berikut

Persamaan Dispersi

$$t^2 = gk \tanh kh$$

Kecepatan Gelombang

$$C = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh kh}$$



Panjang Gelombang

$$L = \frac{g}{2p} T^2 \cdot \tanh \frac{2ph}{L}$$

h = tinggi gelombang rata-rata

t = periode gelombang rata-rata

g = percepatan gravitasi

f = frekuensi

Spektrum Gelombang

Pemilihan spektrum energi gelombang didasarkan pada kondisi aktual laut yang sedang diteliti. Jika data tersebut tidak tersedia, model spektrum yang dikembangkan oleh berbagai lembaga dapat digunakan, dengan memperhitungkan kesamaan karakteristik fisik lingkungan. Melalui spektrum gelombang ini, parameter-parameter gelombang dapat diperoleh.

Tabel 1. Amplitudo dan tinggi pada spektrum (Bhattacharya,1978)

Profil Gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang rata-rata	$1.25\sqrt{m_0}$	$2.5\sqrt{m_0}$
Gelombang signifikan	$2.00\sqrt{m_0}$	$4.00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/10 gelombang tertinggi	$2.55\sqrt{m_0}$	$5.00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/1000 gelombang tertinggi	$3.44\sqrt{m_0}$	$6.67\sqrt{m_0}$

Dengan:

$$m_0 = \text{Luasan dibawah kurva spektrum (zero moment)} = \int_0^\omega S(\omega) d\omega$$

Salah satu model spektrum yang diajukan oleh Pierson dan Morkowitz pada tahun 1964 masih digunakan secara luas hingga saat ini. Aplikasi umum dari spektrum gelombang satu parameter Pierson-Morkowitz terbatas oleh kenyataan bahwa kondisi laut tidak selalu berkembang secara penuh. Perkembangan gelombang di laut juga dibatasi oleh fetch (jarak angin bertiup di atas air). Melalui program pengukuran gelombang yang dikenal sebagai Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), yang dilakukan di Laut Utara, spektrum JONSWAP diturunkan dari analisis data tersebut. Spektrum JONSWAP ini merepresentasikan kondisi angin dengan keterbatasan fetch.

Gaya Hidrodinamis

Gaya hidrodinamis yang bekerja pada *Floating Breakwater* adalah gaya drag dan gaya inerti. Kim (2001) merumuskan gaya per satuan panjang sebagai berikut:



a. Gaya Drag (FD)

Nilai gaya drag yang terjadi pada suatu struktur *Floating Breakwater* dapat dituliskan sebagai berikut :

$$FD = CD A (W0/2g)Vm^2$$

Dengan :

FD = gaya drag persatuan panjang (N/m) CD = koefisien drag

A = luas *Floating Breakwater* (m²)

W0 = masa jenis air tawar (kg/m³)

Vm = kecepatan maksimal gelombang

g = gravitasi

berdasarkan MarCom Working Group 13, (1994), kecepatan maksimal gelombang didapatkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Vm = \pi(H/T)$$

Dengan :

Vm = kecepatan maksimal gelombang H

H = tinggi gelombang

T = periode

b. Gaya Inertia (Fm)

Nilai gaya inertia yang terjadi pada suatu struktur *Floating Breakwater* dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$FM = CM A (2 \pi W0/2gT)Vm$$

Dengan :

FM = gaya inertia per satuan panjang (N/m)

CM = koefisien inertia

A = luas *Floating Breakwater* (m²)

W0 = masa jenis air tawar (kg/m³)

Vm = kecepatan maksimal gelombang

g = gravitasi

T = periode

c. Gaya Gelombang (Fw)

Nilai gaya gelombang yang terjadi pada suatu struktur *Floating Breakwater* dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut : Dimana :

FW = FM : jika $Fm > 2Fd$

FW = $Fd + (Fm^2/4Fd)$: jika $Fm \leq 2Fd$



d. Gaya Apung (*buoyancy*)

Seperti yang telah dibahas pada hukum Archimedes, semua benda yang berada di dalam air akan mengalami gaya apung (*buoyancy*). Adapun bunyi hukum Archimedes adalah :

“benda yang tercelup ke dalam zat cair akan mengalami gaya angkat yang besarnya setara dengan berat volume zat cair yang dipindahkan.”

Berdasarkan Kim, Chang Gil, (2001) merumuskan *buoyancy* sebagai berikut dengan persamaan sebagai berikut :

$$N = V \cdot \rho$$

Dengan :

N = *Buoyancy*

ρ = massa jenis fluida

V = Volume *Floating Breakwater*

Konsep Pembebanan

Beban-beban yang perlu diperhatikan dalam mendesain struktur lepas pantai menurut Soedjono (1999) adalah sebagai berikut:

a. Beban mati

Beban mati adalah beban yang berasal dari semua komponen tetap, peralatan, perlengkapan, dan mesin yang tidak mengalami perubahan selama operasi suatu struktur. Contohnya termasuk berat struktur itu sendiri, berat peralatan, serta berat mesin yang digunakan ketika struktur dalam keadaan non-operasional.

b. Beban hidup

Beban hidup adalah beban yang timbul selama struktur menjalankan fungsinya dan dapat bervariasi antara mode operasi yang berbeda. Contohnya termasuk beban dari pengoperasian mesin dan peralatan selama struktur beroperasi, termasuk penggunaan crane dalam operasi tersebut.

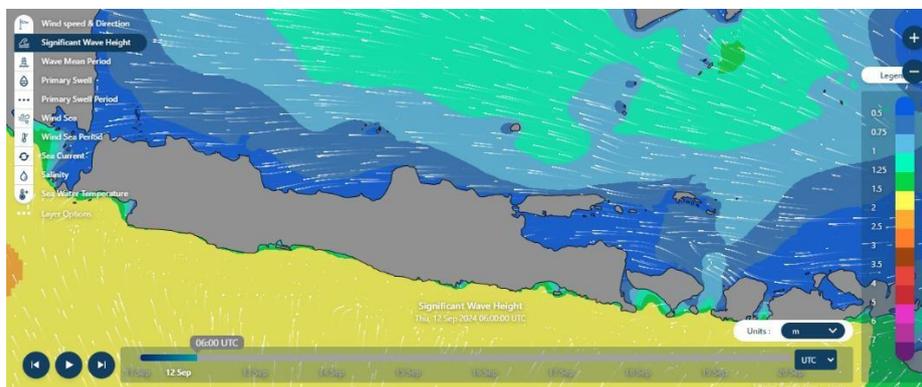
c. Beban lingkungan

Beban lingkungan adalah beban yang timbul akibat pengaruh kondisi alam di sekitar struktur lepas pantai selama operasinya. Contohnya termasuk beban yang diakibatkan oleh angin, gelombang, dan arus laut.



PEMBAHASAN

Kondisi Gelombang di Indonesia



Sumber: Data Gelombang BMKG 2024

Gambar 1. Kondisi Gelombang di Indonesia

Time (UTC)	Wed, 11 Sep 2024				Thu, 12 Sep 2024							
	12	15	18	21	00	03	06	09	12	15	18	21
Wind Speed (knots)	11.06	12.14	9.67	12.92	10.74	9.99	15.76	15.92	11.50	11.47	6.40	6.12
Wind Direction	←	←	←	←	←	←	↗	↗	←	←	←	←
Significant Wave Height (m)	0.73	0.74	0.71	0.70	0.72	0.74	0.87	1.01	0.93	0.81	0.73	0.73
Wave Mean Period (s)	3.80	3.91	4.01	4.05	4.35	4.48	4.31	4.38	4.34	4.23	4.53	4.87
Wave Direction	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖	↖
Primary Swell Height (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.66	0.65
Primary Swell Period (s)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.51	5.61
Wind Sea Height (m)	0.64	0.67	0.62	0.61	-	0.67	0.84	1.04	0.94	0.77	-	-
Wind Sea Period (s)	3.78	4.32	4.40	4.78	-	5.21	5.48	5.09	5.06	4.91	-	-

Sumber: Data Gelombang BMKG 2024

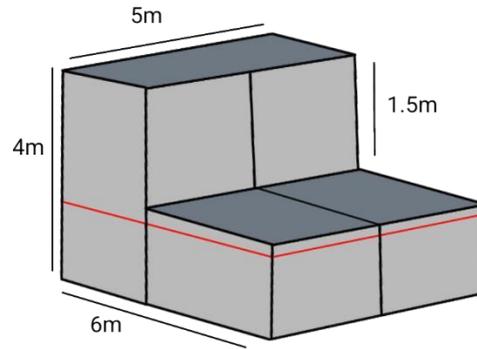
Gambar 2. Kondisi Angin & Gelombang di Indonesia

Berdasarkan data ketinggian gelombang dan kecepatan angin yang diperoleh, laut timur Surabaya cenderung memiliki karakteristik gelombang yang rendah berkisar antara 0.5 hingga 1 meter dan kecepatan angin yang tergolong sedang berkisar antara 10 hingga 15 knots. Gelombang ini tergolong rendah untuk wilayah pesisir yang dikelilingi oleh daratan dan kawasan industri. Dengan kondisi gelombang tersebut, *Floating Breakwater* sebagai pembangkit listrik tenaga gelombang laut dapat digunakan secara efisien meskipun dengan gelombang laut yang rendah, karena *Floating Breakwater* yang dibuat menyesuaikan kondisi gelombang laut yang rendah.

Desain Floating Breakwater

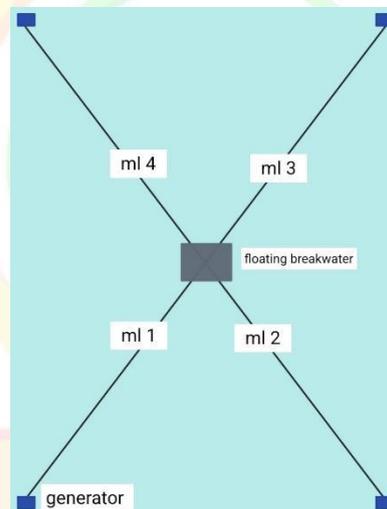
Permodelan struktur *Floating Breakwater* berdasarkan *software* Maxsurf. Dalam desain ini menggunakan dimensi *floating breakwater* yang memiliki dimensi panjang 5 m, lebar 6 m, tinggi 4 m, dan draft 1,5 m serta freeboard 2,5 m.





Gambar 3. Desain Floating Breakwater

Permodelan *mooring line* berdasarkan *software* Ansys Aqwa. Properti *mooring line* diambil dari balmoral Marine Equipment Handbook yang bertipe *wire rope* dengan diameter 83 mm, minimum *breaking load* sebesar 4640 Kn, panjang 105.5 meter, stiffness sebesar 390 MN dengan massa 26 kg/m dan initial tenstion sebesar 19.34 Kn.



Gambar 4. Konfigurasi Mooring Line

Cara kerja alat ini didesain tidak mengikuti arah gelombang, sehingga breakwater mengapung bergerak naik turun mengikuti gelombang. Gerakan tersebut menarik tali tambat atau mooring yang terhubung ke generator di ujung lainnya, menghasilkan gerakan tarik ulur yang berulang. Gerakan inilah yang dimanfaatkan sebagai dasar untuk pembangkitan energi listrik.

Kelebihan dan Kekurangan Floating Breakwater

Floating Breakwater memiliki beberapa kelemahan, salah satunya adalah kurang efektif dalam mereduksi gelombang pendek. Pada frekuensi 1,6 radian/detik dan periode gelombang maksimal 6 detik, kegagalan pada mooring struktur dapat menyebabkan kerusakan besar. Selain itu, biaya perawatannya lebih tinggi dibandingkan dengan breakwater konvensional. Namun, kelebihan dari pemecah gelombang terapung ini adalah kemampuannya untuk digunakan di perairan dengan kedalaman tinggi, tidak menyebabkan masalah sedimentasi, mudah dipindahkan, serta dapat digunakan sebagai perlindungan musiman atau sementara.





Pengaplikasian di Laut Timur Surabaya

Penggunaan teknologi *Floating Breakwater* mendukung pemanfaatan energi terbarukan yang ramah lingkungan dan membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Teknologi ini juga dapat menjadi solusi energi hijau di kawasan padat pesisir yang biasanya memiliki ruang terbatas untuk instalasi energi terbarukan lainnya. *Floating Breakwater* tidak hanya berfungsi sebagai pemecah gelombang untuk melindungi pantai dari erosi, tetapi juga dapat menghasilkan listrik dengan memanfaatkan gerakan vertikal dan horizontal dari gelombang laut. Teknologi *Attenuator* mengubah energi kinetik gelombang menjadi energi listrik melalui sistem *mooring* yang terhubung ke generator. Meski memiliki keunggulan, *Floating Breakwater* menghadapi beberapa tantangan, seperti ketahanan terhadap kondisi cuaca ekstrem, biaya perawatan yang lebih tinggi dibandingkan *breakwater* konvensional, dan risiko kerusakan pada *mooring* akibat gelombang pendek dengan frekuensi tinggi.





KESIMPULAN

Penggunaan teknologi *Floating Breakwater* mendukung pemanfaatan energi terbarukan yang ramah lingkungan dan membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Teknologi ini juga dapat menjadi solusi energi hijau di kawasan padat pesisir yang biasanya memiliki ruang terbatas untuk instalasi energi terbarukan lainnya. *Floating Breakwater* tidak hanya berfungsi sebagai pemecah gelombang untuk melindungi pantai dari erosi, tetapi juga dapat menghasilkan listrik dengan memanfaatkan gerakan vertikal dan horizontal dari gelombang laut. Teknologi *attenuator* mengubah energi kinetik gelombang menjadi energi listrik melalui sistem *mooring* yang terhubung ke generator. Meski memiliki keunggulan, *Floating Breakwater* menghadapi beberapa tantangan, seperti ketahanan terhadap kondisi cuaca ekstrem, biaya perawatan yang lebih tinggi dibandingkan *breakwater* konvensional, dan risiko kerusakan pada *mooring* akibat gelombang pendek dengan frekuensi tinggi.





DAFTAR PUSTAKA

Bella. 2023. *“Rancang Bangun Wave Power Test Bed Model Rack-Pinion sebagai Studi Eksperimental Pengaruh Perubahan Amplitudo Exciter pada Frekuensi Hz terhadap Power Output PLTGL (Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut)*. Semarang: Universitas Diponegoro.

Bhattacharyya, 1972, *Dynamic of Marine Vehicles*, a Wiley Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York.

Hasbi. 2017. *“Desain Tali Tambat pada Struktur Floating Breakwater dengan Konfigurasi Taut Mooring System”*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Lestari Anggraini, D. Prasetyawan, Budi & G. Handoyo. (2020) Analisis Daya Gelombang (Wave Power) di Perairan Semarang, Jawa Tengah, Indonesian Journal of Oceanography.

M. Aiman, R. Shelomita, & F. Mahfud. *“Desain Konseptual dari Kombinasi Floating Breakwater dan Attenuator”*. Makassar. Universitas Hasanuddin.

PIANC. 1994. *Floatings Breakwater A Practical Guide for Design and Construction*. Report of Working Group No.13 of The Permanent. Technical Comitte II. Brussel. Belgium

Pond and G.L Pickard, 1983 *Introductory Dynamical Oceanography (second edition)* Elsevier Ltd

