

Analisis Hidrodinamika dan Sistem Tambat pada Perencanaan *Floating Breakwater* (Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Emas Semarang)

Mochammad Sharif Rezanta Putra, Haryo Dwito Armono, Wahyudi
 Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: wahyudictr@oe.its.ac.id

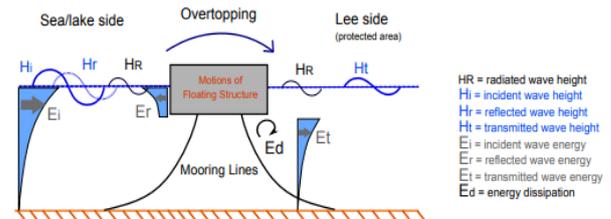
Abstrak—Salah satu metode untuk mendapatkan gelombang yang relatif tenang pada daerah pelabuhan adalah dengan menggunakan *breakwater* sebagai peredam energi gelombang. Pada artikel ini akan dilakukan analisis hidrodinamika dan sistem tambat struktur *floating breakwater* yang akan digunakan di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang dengan metode numerik. Analisis hidrodinamika yang akan diperhitungkan adalah redaman gelombang yang terjadi dengan variasi layout, periode gelombang, dan tinggi gelombang. Sedangkan analisis sistem tambat yang akan diperhitungkan adalah tension tali tambat dengan variasi diameter dan panjang tali tambat. Dari analisis hidrodinamika yang telah dilakukan, didapat bahwa *layout* dengan penempatan *breakwater* secara tertutup mempunyai hasil yang paling baik dalam meredam energi gelombang di area Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. Pada pemodelan tersebut, tinggi gelombang dengan arah dominan barat laut yang terjadi di area pelabuhan berkisar antara 0.803 – 1.073 m. Sedangkan dengan arah dominan timur, tinggi gelombang yang terjadi di area pelabuhan berkisar 0.292 - 0.414 m. Pada analisis konfigurasi sistem tambat, tali tambat yang direkomendasikan adalah tali tambat dengan ukuran diameter 19 mm dengan panjang 18 m. *Tension* terbesar yang terjadi pada struktur *breakwater* dengan lebar 10 meter sebesar 119.94 kN dengan *safety factor* 2.79. Sedangkan struktur *breakwater* dengan lebar 6 m memiliki *tension* terbesar yaitu 94.82 kN dengan *safety factor* 3.53.

Kata Kunci—*Floating breakwater*, redaman gelombang, sistem tambat.

I. PENDAHULUAN

WILAYAH pesisir yang perlu mendapat perhatian karena mempunyai fungsi cukup potensial untuk kegiatan kelautan adalah wilayah pelabuhan. Salah satu pelabuhan yang cukup sibuk adalah Pelabuhan Tanjung Emas di kota Semarang yang merupakan salah satu pintu masuk utama berbagai barang dari dalam dan luar negeri ke Jawa Tengah yang diangkut melalui transportasi laut. Sejalan dengan perkembangan ekonomi regional Jawa-Bali, maka pengembangan pelabuhan tersebut tidak dapat dielakkan [1].

Untuk mengoptimalkan kualitas pelayanan pelabuhan, perlu adanya pemeliharaan area pelabuhan agar kapal aman saat bernavigasi ke dalam pelabuhan dengan gelombang dan arus yang relatif tenang. Salah satu metode untuk menghasilkan gelombang yang relatif tenang pada daerah pelabuhan adalah dengan menggunakan *breakwater* sebagai peredam energi gelombang. Gempuran gelombang yang besar dapat diredam dengan cara mengurangi energi gelombang datang, sehingga gelombang yang menuju daerah pelabuhan energinya menjadi kecil. Untuk itu diperlukan konstruksi *breakwater* yang berfungsi untuk memecahkan, merefleksikan dan mentransmisikan energi gelombang. Ada



Gambar 1. Interaksi antara gelombang dan *floating breakwater*.

Tabel 1.
Kriteria *Safety Factor* Tali Tambat

Condition	Safety factor
Intact (ULS)	> 1.67

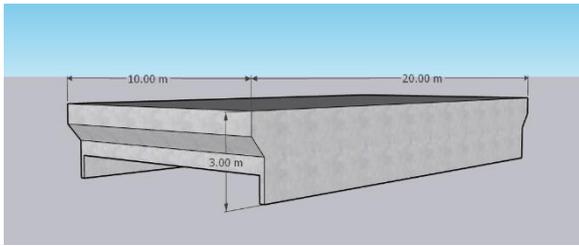
Tabel 2.
Dimensi *Floating Breakwater*

Jenis <i>Floating Breakwater</i>	Keterangan	Nilai
Varian A	Panjang	20 m
	Lebar	10 m
	Tinggi	3 m
	Berat	200 ton
	Freeboard	0,8 m
Varian B	Panjang	20 m
	Lebar	6 m
	Tinggi	2,4 m
	Berat	105 ton
	Freeboard	0,6 m

berbagai macam jenis pemecah gelombang yang telah dikenal yakni *rubble mound breakwater*, *caisson breakwater*, *composite breakwater* dan *floating breakwater* [2].

Mengingat daya dukung tanah di Pelabuhan Tanjung Emas yang cukup rendah, dan juga laju *settlement* yang tinggi [3], *breakwater* dengan struktur apung dipandang lebih tepat untuk diaplikasikan disana. *Breakwater* dengan struktur apung atau yang sering disebut *floating breakwater* dapat digunakan secara efektif pada area pantai atau pelabuhan. Selain untuk mengurangi intensitas aksi gelombang, *floating breakwater* juga menjawab beberapa permasalahan dari *fixed breakwater*. *Floating breakwater* dipandang lebih efektif, efisien, fleksibel dan lebih murah apabila dibangun diperairan yang cukup dalam [4].

Pada penelitian ini akan melakukan analisis hidrodinamika dan sistem tambat struktur *floating breakwater* yang akan digunakan di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. Pemilihan struktur *floating breakwater* di wilayah Pelabuhan Tanjung Emas Semarang menimbang karena di wilayah tersebut terjadi fenomena penurunan tanah yang mengakibatkan *breakwater* konvensional sebelumnya yang digunakan tidak berfungsi lagi. Dimana laju penurunan tanah terbesar yang berada di kawasan Pelabuhan Tanjung Emas (Semarang



Gambar 2. Tipikal desain *floating breakwater* varian A.

Tabel 3.
Variasi Tinggi Gelombang dan Periode Gelombang

Input	Arah	Nilai
MOSES	Barat Laut	1,62 m
		5,31 s
		315 derajat
DELFT3D	Barat Laut	2,65 m
		7,02 s
		315 derajat
	Timur	0,83 m
		6,18 s
		90 derajat

Tabel 4.
Variasi Kecepatan Angin

Input	Arah	Nilai
MOSES	Barat laut	5,28 m/s
DELFT3D	Barat Laut	6,94 m/s
	Timur	12,54 m/s

Tabel 5.
Konstanta Utama Pasang Surut

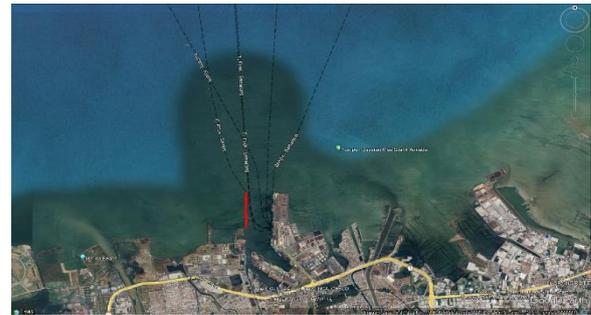
Konstanta	Amplitudo	Fasa
A0	0.000275862	
M2	0.292920099	92.528
S2	0.202944293	280.278
N2	0.075084785	81.292
K2	0.046677187	280.278
K1	0.209313513	269.858
O1	0.152684664	108.388
P1	0.069073459	269.858
M4	0.001300301	206.282
MS4	0.004390103	300.090

Utara) sebesar 4-12 cm/tahun [3]. Analisis hidrodinamika yang akan diperhitungkan adalah redaman gelombang yang terjadi dengan variasi *layout*, periode gelombang, dan tinggi gelombang. Sedangkan analisis sistem tambat yang akan diperhitungkan adalah tension tali tambat dengan variasi diameter dan panjang tali tambat. Dalam proses analisis redaman gelombang pada *floating breakwater* akan menggunakan bantuan *software Delft3D* sebagai penunjang penelitian ini. Sedangkan dalam proses analisis konfigurasi sitem tambat akan menggunakan bantuan *software MOSES*. Pada penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan perencanaan *floating breakwater* dan sistem tambat yang sesuai dengan kondisi Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Floating breakwater*

Brekwater memiliki fungsi untuk melemahkan dan mengurangi intensitas gaya pada gelombang. Pemecah gelombang dapat berupa *fixed breakwater* atau *floating breakwater*, penggunaan pemecah gelombang tergantung pada kedalaman air normal, pasang surut, kondisi tanah dan parameter lainnya. Konstruksi *floating breakwater* biasanya dipasang sejajar atau tegak lurus dengan pantai. Terciptanya



Gambar 3. *Layout 1* pemodelan *floating breakwater*.



Gambar 4. *Layout 2* pemodelan *floating breakwater*.



Gambar 5. *Layout 3* pemodelan *floating breakwater*.

floating breakwater dikembangkan karena adanya kekurangan kinerja dari *fixed breakwater*. Dalam pengembangannya telah ada beberapa tipe *floating breakwater* yaitu box, ponton, mat, dan tethered float [5].

Alasan utama menerapkan jenis pemecah gelombang non-konvensional, dan khususnya *floating breakwater* adalah keterbatasan teknis dan ekonomi terkait dengan jenis pemecah gelombang monolitik dan konvensional [6]. Selain pembatasan tersebut, ada argumen lain yang mendorong pengembangan *floating breakwater*. Meskipun kelebihan dari *floating breakwater* tampak jelas, ada beberapa kelemahan yang juga terdapat pada *floating breakwater*.

B. Transmisi Gelombang

Kinerja *floating breakwater* ditentukan oleh besarnya redaman gelombang, yang sangat bergantung pada besarnya energi pantulan (E_r), energi transmisi (E_t) dan energi disipasi (E_d). Ini secara grafis disajikan pada Gambar 1. Banyak teori transmisi gelombang yang berkaitan dengan transpor energi gelombang dan diturunkan dari teori gelombang linier [7].

Untuk meredam gelombang pendek secara efektif, hanyadiperlukan penyumbatan pada bagian atas kolom air, karena di sana terdapat energi gelombang yang paling banyak. Untuk gelombang yang lebih panjang, struktur harus mempunyai draft yang lebih besar untuk menghalangi sebagian besar kolom air dimana terdapat energi gelombang. Draf yang besar juga menyiratkan gaya tambatan yang besar pada struktur. Untuk itu diperlukan optimasi antara draft dan redaman gelombang agar diperoleh desain yang ekonomis.

Secara umum, untuk semua jenis pemecah gelombang



Gambar 6. Susunan grid pada Delft3D.

Tabel 6. Parameter Pemodelan Delft3D Flow

Modul	Parameter	Nilai	Satuan
Flow	Time step	0.5	menit
	Water level	0.000275862	meter
	Gravity	9.81	m/detik ²
	Water Density	1025	kg/m ³
	Air Density	1.2	kg/m ³
	Wind Speed	5.2	m/detik
	Wind Direction	315	derajat

Tabel 7. Parameter Pemodelan Delft3D Wave

Modul	Parameter	Nilai	Satuan
Wave	Tinggi Gelombang Sognifikan	0.93	meter
	Periode puncak	4.80	detik
	Arah (nautical)	315	derajat
	Spectral space:JONSWAP	2.3	

Tabel 8. Validasi Gelombang

Titik Validasi	Hs ECMWF (m)	Hs Delft3D (m)	RMSE
1	0.922375	0.860844819	0.4%
2	0.927931452	0.87332596	0.3%
3	0.916774194	0.653949419	1.7%
4	0.920766129	0.822346637	0.6%

terapung, efektivitasnya ditentukan oleh koefisien transmisi. Koefisien ini didefinisikan sebagai tinggi gelombang yang ditransmisikan terhadap tinggi gelombang datang:

$$C_t = \frac{H_t}{H_i}$$

dimana,

C_t = koefisien transmisi

H_t = tinggi gelombang yang melewati *breakwater* (m)

H_i = tinggi gelombang datang (m).

C. Sistem Tambat

Sistem tambat adalah salah satu teknologi untuk meredam pergerakan struktur apung yang ditambat karena bersifat mampu bergerak bebas meskipun bergerak sesuai arah beban lingkungan namun tetap tertambat pada tali tambat (mooring line) untuk membantu proses weathervaning sehingga kegiatan operasi berjalan dengan aman [8].

Tipe tali tambat yang digunakan pada system terapung di bagi menjadi 3 kategori, yaitu:

1) Semua Tali Tambat Terbuat dari Tali Kabel (Wire Rope)

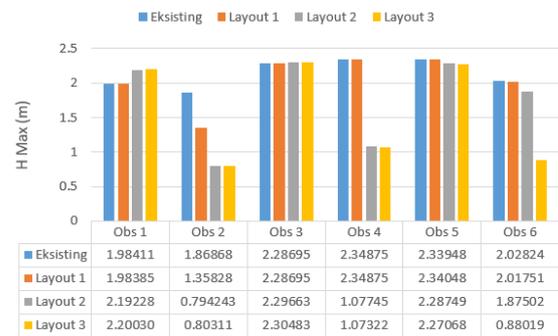
Wire rope lebih ringan dari pada rantai. Karena itu, pada umumnya *wire rope* memiliki restoring force yang lebih di perairan laut dalam dan memerlukan tension awal yang rendah dari pada rantai. Bagaimanapun juga, untuk menghindari terangkatnya jangkar dari dasar laut maka di perlukan *wire rope* yang sangat panjang. Kerusakan yang disebabkan oleh abrasi antara *wire rope* dengan dasar laut yang keras terkadang dapat menjadi suatu masalah. Terlebih

Tabel 9. Parameter Pemodelan Delft3D Flow setelah Dibangun Floating Breakwater

Modul	Parameter	Nilai	Satuan
Flow	Time step	0.5	menit
	Water level	0.0002758	meter
	Gravity	9.81	m/detik ²
	Water Density	1025	kg/m ³
	Air Density	1.2	kg/m ³
	Wind Speed	6.94	m/detik
	Wind Direction	12.54	derajat

Tabel 10. Parameter Pemodelan Delft3D Wave setelah Dibangun Floating Breakwater

Modul	Parameter	Nilai	Satuan
Wave	Tinggi Gelombang Sognifikan	2.65	meter
		0.83	
	Periode puncak	7.02	detik
		6.18	
	Arah (nautical)	315	derajat
	90		
	Spectral space:JONSWAP	2.3	



Gambar 7. Perbandingan tinggi gelombang arah dominan barat laut.

lagi *wire rope* membutuhkan perawatan yang sangat berhati-hati. Korosi pada *wire rope* menyebabkan terjadinya kegagalan.

2) Semua Tali Tambat Terbuat dari Rantai (Chain)

Rantai telah menunjukkan keunggulannya pada operasi lepas pantai. Rantai juga memiliki daya tahan yang lebih terhadap abrasi dasar laut dan memiliki kontribusi holding capacity anchor terhadap yang sangat signifikan.

3) Kombinasi antara Chain dan Wipe Rope

Dengan pemilihan panjang yang tepat dari gabungan antara *wire rope* dan *chain*, maka akan diperoleh system tambat yang menguntungkan yaitu: tension awal yang rendah, *restoring force* yang tinggi dan *holding capacity anchor* yang lebih besar dan daya tahan terhadap abrasi dasar laut yang bagus. Hal tersebut membuat sistem ini cocok digunakan pada oprasi laut dalam.

D. Tension pada Tali Tambat

Gerakan pada *floating breakwater* karena pengaruh beban lingkungan dapat menyebabkan adanya tension tension pada tali tambat. Tension yang terjadi pada tali tambat dapat dibedakan menjadi dua yaitu mean tension dan maximum tension. Untuk mengetahui apakah desain sistem tambat pada suatu struktur telah memenuhi kriteria aman, maka harus dilakukan pengecekan terlebih dahulu. Pengecekan tersebut salah satunya didasarkan pada nilai tension yang dihasilkan oleh masing-masing tali tambat. Nilai tension pada tali tambat



Gambar 8. Perbandingan tinggi gelombang arah dominan timur.

Tabel 11.

Nilai Koefisien Transmisi Arah Gelombang Dominan Barat Laut		
Titik Perbandingan	Tinggi Gelombang	Koefisien Transmisi
Obs 1 & Obs 2	Obs 1 = 2.200 Obs 2 = 0.803	0.365
Obs 3 & Obs 4	Obs 3 = 2.304 Obs 4 = 1.073	0.465
Obs 5 & Obs 6	Obs 5 = 2.270 Obs 6 = 0.880	0.387

Tabel 12.

Nilai Koefisien Transmisi Arah Gelombang Dominan Timur		
Titik Perbandingan	Tinggi Gelombang	Koefisien Transmisi
Obs 1 & Obs 2	Obs 1 = 2.200 Obs 2 = 0.803	0.365
Obs 3 & Obs 4	Obs 3 = 2.304 Obs 4 = 1.073	0.465
Obs 5 & Obs 6	Obs 5 = 2.270 Obs 6 = 0.880	0.387

harus sesuai dengan kriteria yang memenuhi *safety factor*. Kriteria yang digunakan mengacu pada API RP 2SK [9] disajikan pada Tabel 1.

III. METODOLOGI

A. Studi Literatur

Tahap ini adalah tahap untuk melakukan pencarian informasi yang berkaitan dengan penelitian mengenai *floating breakwater*, transmisi gelombang, dan sistem tambat. Selain itu, dilakukan studi literatur pula mengenai teori-teori penunjang seperti teori gelombang, sistem tambat, modul atau *guidebook software* pendukung dan lain sebagainya. Informasi dan teori ini berasal dari jurnal, buku, penelitian yang sudah ada.

B. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dimensi struktur, gelombang, angin, pasang surut, batimetri, dan *layout* penempatan struktur yang dilakukan bertujuan untuk dapat mengetahui variabel apa saja dan objek apa saja yang nantinya digunakan dalam penelitian ini. Untuk data geometri, jenis struktur *floating breakwater* yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah *concrete floating breakwater* milik SF Marina dengan dua varian yaitu varian A dan varian B dimana varian A memiliki dimensi yang lebih besar dengan varian B. Data-data dimensi *floating breakwater* setiap varian yang lebih detail akan dijelaskan pada Tabel 2.

Untuk memudahkan pembaca dalam mengetahui bentuk dari struktur *floating breakwater* yang digunakan, Gambar 2 menunjukkan bentuk struktur *floating breakwater* yang digunakan dalam penelitian kali ini.

Data gelombang yang akan digunakan dalam penelitian ini

Tabel 13.
Validasi Displacement

Jenis Struktur	Validasi	Data Marina	SF (kN)	MOSES (kN)	Koreksi (%)
Varian A	Displacement	200		202.8	1.4
Varian B	Displacement	105		104.3	0.9

Tabel 14.
RAO Floating Breakwater Varian A

Gerak Moda	RAO Max Floating breakwater		
	0°	90°	315°
Surge	0.994	0.057	0.703
Sway	0.002	0.988	0.699
Heave	0.960	1.477	0.961
Roll	0.070	22.190	12.740
Picth	7.367	0.938	8.602
Yaw	0.189	0.871	3.861

Tabel 15.

RAO Floating Breakwater Varian B			
Gerak Moda	RAO Max Floating breakwater		
	0°	90°	315°
Surge	0.994	0.000	0.703
Sway	0.003	0.992	0.704
Heave	0.935	1.492	0.935
Roll	0.250	31.257	16.149
Picth	6.636	0.027	7.110
Yaw	1.159	1.161	4.320

adalah data gelombang hasil perhitungan periode ulang yang dihitung selama 100 tahun dengan data sekunder yang di ambil selama 35 tahun dari ECMWF. Tinggi gelombang dan periode gelombang yang digunakan akan sesuai pada Tabel 3 dengan arah dominan yang dihasilkan dalam pengolahan data periode ulang adalah arah barat laut dan timur.

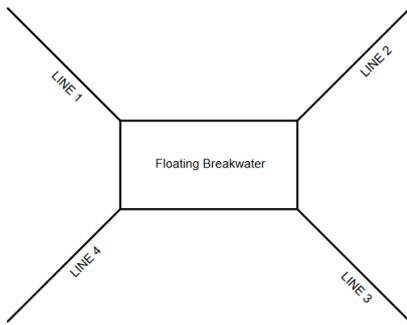
Untuk data angin yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah data angin hasil perhitungan periode ulang yang dihitung selama 100 tahun dengan data sekunder yang di ambil selama 35 tahun dari ECMWF. Kecepatan angin yang digunakan sesuai dengan Tabel 4 dengan arah dominan yang dihasilkan dalam pengolahan data periode ulang adalah arah barat laut dan timur.

Selanjutnya adalah data pasang surut yang digunakan pada pengerjaan Tugas Akhir ini. Pasang surut merupakan salah satu parameter penting dalam kajian lingkungan akibat suatu kegiatan di daerah pelabuhan. Data pasang surut di dapatkan dari Sistem Referensi Geospasial Indonesia (SRGI) selama 31 hari yaitu pada 1 Maret 2024 – 1 April 2024. Untuk memperoleh konstanta harmonik dan tipe pasang surut di wilayah Pelabuhan Tanjung Emas Semarang, perlu dilakukan analisis admiralty. Hasil dari perhitungan konstanta harmonik pasang surut dapat dilihat pada Tabel 5.

Pada penelitian ini akan dilakukan pemodelan dengan tiga *layout floating breakwater* yang berbeda yang akan digunakan pada Pelabuhan Tanjung Emas Semarang yang bertujuan untuk menganalisis efektivitas pengaruh *layout floating breakwater* terhadap redaman gelombang yang terjadi. *Layout 1* pemodelan *floating breakwater* disajikan pada Gambar 3. *Layout 2* pemodelan *floating breakwater* disajikan pada Gambar 4. *Layout 3* pemodelan *floating breakwater* disajikan pada Gambar 5.

C. Pemodelan Hidrodinamika menggunakan Software Delft3D

Setelah mendapatkan data-data yang dibutuhkan untuk pemodelan, pada tahap ini akan dilakukan set up pemodelan untuk menentukan daerah simulasi (*domain*) yang



Gambar 9. Skenario analisis pemodelan sistem tambat.

Tabel 16.

Tension Tali Tambat pada Arah Pembebanan 0° Varian A

Diameter (mm)	Panjang (m)	Line	Tension (kN)	MBL (kN)	SF
19	18	Line 3	119.94		2.79
	24	Line 1	87.38	335	3.83
	30	Line 1	136.71		2.45
20.5	18	Line 1	100.22		3.88
	24	Line 1	124.71	339	3.12
	30	Line 4	106.47		3.65
22	18	Line 3	116.99		3.84
	24	Line 1	134.86	449	3.33
	30	Line 1	110.22		4.07

menunjukkan daerah yang akan disimulasi. Selain itu juga akan menentukan parameter-parameter yang akan digunakan dalam pemodelan.

D. Validasi Gelombang

Validasi berfungsi untuk memvalidasi kondisi model dengan kondisi nyata di lapangan. Tahap ini untuk menjadi penentu dalam tahap eksplorasi pemodelan. Validasi dilakukan menggunakan data gelombang dan menggunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE).

E. Eksplorasi Pemodelan Hidrodinamika

Eksplorasi model akan dilakukan dengan membuat variasi tinggi gelombang, periode gelombang, dan *layout floating breakwater* untuk mengetahui lebih lanjut kinerja redaman gelombang bekerja pada struktur.

F. Pemodelan Struktur menggunakan Software MOSES

Pemodelan struktur *floating breakwater* dilakukan dengan bantuan *software MOSES*. Struktur dimodelkan berdasarkan data-data yang diperoleh. Pemodelan pada tahap ini dimaksudkan sebagai asumsi awal model struktur sebelum dilakukan validasi.

G. Validasi Pemodelan MOSES

Setelah dilakukan pemodelan struktur *floating breakwater*, model perlu divalidasi apakah sudah valid dengan data yang telah diperoleh. Validasi yang digunakan adalah validasi *displacement* yang mengacu pada standard IACS (2020) dengan nilai *error* harus kurang dari 2% [10]. Bila nilai *error* tidak memenuhi standar maka akan dilakukan pemodelan ulang.

H. Analisis Response Amplitude Operator (RAO)

Analisis RAO menggunakan *software MOSES* yang dimana *output* dari analisis ini berupa karakteristik respon gerak pada *floating breakwater* pada moda gerak *surge, sway, heave, roll, pitch*, dan *yaw*.

Tabel 17.

Tension Tali Tambat pada Arah Pembebanan 0° Varian B

Diameter (mm)	Panjang (m)	Line	Tension (kN)	MBL (kN)	SF
19	18	Line 3	82.53		4.06
	24	Line 2	81.37	335	4.12
	30	Line 1	88.82		3.77
20.5	18	Line 3	89.79		4.33
	24	Line 3	90.83	339	4.28
	30	Line 1	85.53		4.55
22	18	Line 3	96.73		4.64
	24	Line 3	99.52	449	4.51
	30	Line 4	97.65		4.60

Tabel 18.

Tension Tali Tambat pada Arah Pembebanan 90° Varian A

Diameter (Mm)	Panjang (M)	Line	Tension (Kn)	MBL (Kn)	SF
19	18	Line 1	113.58		2.95
	24	Line 1	118.37	335	2.83
	30	Line 1	117.97		2.84
20.5	18	Line 1	125.54		3.10
	24	Line 1	118.57	339	3.28
	30	Line 1	112.39		3.46
22	18	Line 1	136.92		3.28
	24	Line 4	172.16	449	2.61
	30	Line 1	118.70		3.78

I. Eksplorasi Pemodelan Konfigurasi Sistem Tambat

Pada tahap ini akan menganalisis konfigurasi sistem tambat yang akan digunakan pada struktur *floating breakwater* dengan mempertimbangkan beban yang bekerja pada struktur yaitu beban angin dan gelombang. Eksplorasi pemodelan dilakukan dengan menggunakan konfigurasi *catenary mooring line* dengan material *chain* dan akan memvariasikan diameter dan panjang sistem tambat.

J. Validasi Safety factor

Hasil dari eksplorasi pemodelan yang berupa *tension* pada tali tambat akan divalidasi untuk menguji kelayakan tali tambat yang digunakan. Validasi mengacu pada standar API RP 2SK yang dimana untuk menguji apakah tali tambat tersebut dapat digunakan maka *tension* maksimum yang diijinkan adalah > 1.67 [9]. Jika nilai *safety factor* tidak memenuhi maka harus mendesign konfigurasi tali tambat yang digunakan.

K. Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan simulasi terhadap kinerja *floating breakwater* dan sistem tambat dengan konfigurasi yang berbeda-beda, pada tahap ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan hasil yang telah diperoleh dari penelitian ini. Kesimpulan yang diambil harus menjawab rumusan masalah yang diajukan pada Bab 1 Pendahuluan. Selain itu, pemberian saran dapat diberikan guna menunjang peneliti lain apabila ingin melakukan penelitian yang serupa.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan Delft3D

Pemodelan Delft3D terdiri dari :

1) Penyusunan Grid

Pembuatan *grid* pada pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan modul *Delft3D RGFRID*. Tujuan pembuatan *grid* ini sendiri adalah untuk menentukan batasan wilayah

Tabel 19.

Tension Tali Tambat pada Arah Pembebanan 90° Varian B

Diamater (Mm)	Panjang (M)	Line	Tension (Kn)	MBL (Kn)	SF
19	18	Line 4	94.82	335	3.53
	24	Line 4	100.56		3.33
	30	Line 4	157.08		2.13
20.5	18	Line 4	101.79	339	3.82
	24	Line 4	108.65		3.58
	30	Line 3	111.81		3.48
22	18	Line 4	109.18	449	4.11
	24	Line 4	115.28		3.89
	30	Line 3	122.89		3.65

Tabel 20.

Tension Tali Tambat pada Arah Pembebanan 315° Varian A

Diamater (Mm)	Panjang (M)	Line	Tension (Kn)	MBL (Kn)	SF
19	18	Line 3	113.32	335	2.96
	24	Line 1	165.87		2.02
	30	Line 1	108.87		3.08
20.5	18	Line 2	121.24	339	3.21
	24	Line 1	190.50		2.04
	30	Line 4	104.46		3.72
22	18	Line 2	129.65	449	3.46
	24	Line 1	172.27		2.61
	30	Line 4	111.23		4.04

dari daratan dan perairan. Gambar 6 menunjukkan *grid* yang digunakan pada penelitian kali ini.

2) *Pemodelan Batimetri*

Setelah pembuatan *grid* pada modul *Delft3D RGFRID* langkah selanjutnya adalah memvisualisasikan batimetri atau data kedalaman dengan modul *Delft3D QUICKIN*.

3) *Kalibrasi Pemodelan*

Kalibrasi dilakukan untuk menyesuaikan modeling dengan kondisi sesuai data yang digunakan untuk validasi. Tahap ini dilakukan sebelum melakukan eksplorasi pemodelan. Tabel 6 dan Tabel 7 menunjukkan parameter-parameter yang digunakan pada tahap kalibrasi pemodelan.

4) *Validasi Pemodelan*

Pada penelitian ini digunakan data gelombang selama 30 hari mulai tanggal 1 Maret 2024 Pukul 00.00 sampai 31 Maret 2024 pukul 23.00. Tabel 8 merupakan hasil validasi gelombang antara data ECMWF dan data simulasi model pada *Delft3D* yang dihitung menggunakan metode *Root Mean Squared Error (RMSE)*.

5) *Eksplorasi Pemodelan*

Eksplorasi pemodelan dilakukan dengan kondisi setelah dibangunnya *floating breakwater* di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. Tabel 9 dan Tabel 10 menunjukkan parameter-parameter yang digunakan pada tahap eksplorasi.

6) *Perbandingan Tinggi Gelombang Setiap Titik Observasi*

Analisis kali ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan tinggi gelombang yang terjadi pada titik observasi yang telah ditentukan saat kondisi eksisting, perencanaan *layout* pertama, perencanaan *layout* kedua, dan perencanaan *layout* ketiga.

Berdasarkan Gambar 7 dan Gambar 8, variasi *layout floating breakwater* di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang mempengaruhi tinggi gelombang yang terjadi di area pelabuhan. Setelah dilakukan pemodelan *layout* 1 sampai *layout* 3, tinggi gelombang yang berada di daerah pelabuhan mengalami penurunan terutama pada titik observasi 2, 4, dan

Tabel 21.

Tension Tali Tambat pada Arah Pembebanan 315° Varian B

Diamater (Mm)	Panjang (M)	Line	Tension (Kn)	MBL (Kn)	SF
19	18	Line 2	92.56	335	3.62
	24	Line 2	104.95		3.19
	30	Line 3	104.56		3.20
20.5	18	Line 2	99.70	339	3.90
	24	Line 2	96.27		4.04
	30	Line 2	95.26		4.08
22	18	Line 2	106.75	449	4.21
	24	Line 2	109.10		4.12
	30	Line 1	113.92		3.94

6. Titik-titik tersebut adalah titik observasi yang berada di dalam area *floating breakwater* atau di area pelabuhan.

7) *Nilai Koefisien Transmisi*

Perhitungan koefisien transmisi dilakukan saat perencanaan *floating breakwater* pada *layout* ketiga. Perhitungan koefisien transmisi akan membandingkan tinggi gelombang setelah melewati *floating breakwater* dengan tinggi gelombang sebelum melewati *floating breakwater* seperti pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Seperti yang telah ditampilkan pada Tabel 12, terlihat bahwa pada perhitungan koefisien transmisi pada Obs 1 & Obs 2 serta Obs 3 & Obs 4 memiliki nilai koefisien transmisi yang cukup besar. Nilai tersebut dikarenakan titik observasi yang berada di dalam *floating breakwater* adalah Obs 2 dan Obs 4, serta arah datang gelombang dari timur yang menyebabkan tinggi gelombang pada Obs 2 dan Obs 4 lebih besar dari Obs 1 dan Obs 3.

B. *Pemodelan MOSES*

1) *Pemodelan Floating breakwater*

Pemodelan struktur *floating breakwater* dalam penelitian ini dilakukan menggunakan bantuan *software MOSES*. Tahap pertama yang dilakukan dalam pemodelan ini adalah memasukkan data dimensi *floating breakwater* sesuai data struktur yang dipakai. Setelah pemodelan dilakukan maka akan didapatkan nilai-nilai hidrostatik dan harus di validasi untuk mengetahui apakah *floating breakwater* tersebut sesuai dengan kondisi yang sebenarnya sehingga layak untuk digunakan untuk analisis-analisis selanjutnya. Validasi yang digunakan adalah validasi *displacement* yang mengacu pada IACS (2020) dimana dibatasi dengan nilai error 2%.

Berdasarkan Tabel 13, diperoleh koreksi *displacement* tidak melebihi 2% maka model dapat dinyatakan valid dan sudah mewakili struktur sesungguhnya. Dapat disimpulkan bahwa model yang digunakan layak untuk dianalisis.

2) *Response Amplitude Operator (RAO) Floating Breakwater*

Karakteristik gerak *floating breakwater* dalam kondisi mengapung bebas (*free floating*) tanpa sistem penambatan akan menghasilkan moda gerak rotasional (*heave, roll, dan pitch*) yang lebih dominan daripada moda gerak translasional (*surge, sway, dan yaw*). Pada analisis kali ini respon gerak struktur *floating breakwater* menggunakan arah *heading* gelombang 0°, 90°, dan 315° untuk masing-masing moda gerak.

RAO *floating breakwater* pada kondisi *free floating* ini dibantu dengan menggunakan *software MOSES*. Untuk variasi tinggi gelombang tidak dimasukkan pada simulasi ini,

karena secara otomatis *MOSES* akan menghitung pada amplitude 1 m. Nilai yang dihasilkan bersifat linear terhadap tinggi gelombang akan tetapi pada frekuensi yang sama. Tabel 14 dan Tabel 15 menunjukkan karakteristik gerak *floating breakwater* pada waktu *free floating*.

3) Catenary Mooring System

Pemilihan jenis *mooring* yang digunakan pada *floating breakwater* ini adalah *catenary mooring line*. Desain *mooring* struktur *floating breakwater* ini menggunakan 4 buah *catenary mooring* dengan konfigurasi pemasangan *conventional catenary mooring*. Pemilihan *catenary mooring* menimbang dari beberapa hal seperti fleksibilitas dari *catenary mooring* yang memungkinkan *floating breakwater* untuk bergerak bersama gelombang sambil mempertahankan posisinya serta dapat mengurangi tekanan pada tali tambat dari struktur itu sendiri. Selain itu *catenary mooring* juga dapat membantu menghilangkan energi gelombang. *Catenary mooring* juga dapat beradaptasi terhadap perubahan kedalaman air yang disebabkan oleh pasang surut air laut.

4) Chain Property

Material yang digunakan pada *catenary mooring* ini adalah *chain*. *Chain* telah menunjukkan keunggulan pada operasi kelautan seperti kekuatan dan daya tahan yang luar biasa. Selain itu fleksibilitas pada *chain* memungkinkan *chain* untuk menyesuaikan diri dengan kontur dasar laut serta dapat menyerap beban dinamis dari gelombang dan arus. Berat dari *chain* juga dapat membantu memberikan efek stabilitas yang penting untuk mempertahankan posisi struktur *floating breakwater*. Pada perencanaan desain *mooring* kali ini mengacu pada katalog *chain mooring* dari Griffin-Woodhouse Limited.

5) Skenario Analisis

Skenario analisis bertujuan untuk mendapatkan konfigurasi sistem tambat yang digunakan pada *floating breakwater*. Pada skenario analisis dilakukan dengan variasi perubahan diameter tali tambat 19, 20.5, dan 22 mm. Panjang tali tambat juga divariasikan 18, 24, dan 30 m. Sedangkan skenario pembebanan lingkungan dilakukan dengan tiga arah pembebanan yaitu 0° , 90° , dan 315° . Skenario analisis pemodelan sistem tambat disajikan pada Gambar 9.

6) Analisis Dinamis Tension Tali Tambat

Analisis dinamis pada *MOSES Executive* bertujuan untuk mendapatkan nilai *tension* maksimum dari tali tambat akibat pembebanan gelombang dan angin. Hasil dari *tension* maksimum ini digunakan untuk menentukan konfigurasi tali tambat yang akan digunakan pada *floating breakwater*. Dalam menentukan konfigurasi tali tambat perlu diperhatikan bahwa nilai dari *tension* tidak boleh melebihi nilai dari *breaking load*. Untuk memastikan hal tersebut, nilai *tension* harus memenuhi *safety factor* yang telah ditetapkan oleh standard dari API RP 2SK yaitu > 1.67 . Analisis dinamis ini dilakukan dengan durasi simulasi 10800 detik (3 jam) sesuai dengan *rules* dari DNV-OS-E301 [11]. Setelah dilakukan simulasi pada *software MOSES Executive*, dihasilkan output *tension* tali tambat. *Tension* tali tambat pembebanan 0° varian A disajikan pada Tabel 16. *Tension* tali tambat pembebanan 0° varian B disajikan pada Tabel 17. *Tension* tali tambat pembebanan 90° varian A disajikan pada Tabel 18. *Tension* tali tambat pembebanan 90° varian B disajikan pada Tabel

19. *Tension* tali tambat pembebanan 315° varian A disajikan pada Tabel 20. *Tension* tali tambat pembebanan 315° varian B disajikan pada Tabel 21.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang Analisis Hidrodinamika dan Sistem Tambat Untuk Perencanaan *Floating breakwater* (Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Emas Semarang) yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa variasi *layout floating breakwater* berpengaruh terhadap tinggi gelombang yang terjadi pada Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. Variasi *layout floating breakwater* berpengaruh terhadap redaman gelombang yang terjadi pada Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. Dimana setelah dilakukan pemodelan *layout* 1 sampai dengan *layout* 3, tinggi gelombang yang terjadi di area Pelabuhan Tanjung Emas Semarang mengalami penurunan. Variasi pemodelan *layout* 3 adalah variasi pemodelan yang paling baik untuk meredam energi gelombang yang berada di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. Lalu Struktur *floating breakwater* ini menggunakan *mooring line* tipe *catenary* dengan konfigurasi pemasangan *conventional catenary mooring*. Material yang digunakan pada *catenary mooring* ini adalah *chain* yang mengacu pada katalog Griffin-Woodhouse Limited. Pada dua variasi struktur *floating breakwater* yang digunakan, tali tambat yang direkomendasikan adalah tali tambat dengan ukuran diameter 19 mm dengan panjang 18 m.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Widada, "Prediksi perubahan arus akibat reklamasi pada pangkal breakwater barat pelabuhan tanjung emas Semarang dengan pendekatan model matematik," *J. Kelaut. Trop.*, vol. 18, no. 3, p. 147, doi: 10.14710/jkt.v18i3.527, 2016.
- [2] Sujantoko and Wardhana, Wisnu and Djatmiko, Eko Budi and Armono, Haryo Dwito and Putro, Wahyu Suryo, "Studi karakteristik gelombang pada floating breakwater tipe terancang dan tambat," *J. Tek. Hidraul.*, vol. 12, no. 1, pp. 39–52, doi: 10.32679/jth.v12i1.650, 2021.
- [3] Istiqomah, Lisa Nur and Sabri, LM and Sudarsono, Bambang, "Analisis penurunan muka tanah kota Semarang metode survei GNSS tahun 2019," *J. Geod. Undip*, vol. 9, doi:10.14710/jgundip.2020.27182, 2020.
- [4] Rahmawati, Dinda Amalia and Zikra, Muhammad and Armono, Haryo Dwito, "Analisis konfigurasi floating breakwater bentuk hexagonal terhadap peredaman gelombang dengan menggunakan flow-3D," *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, doi: 10.12962/j23373539.v8i2.45091, 2019.
- [5] McCartney, Bruce L, "Floating breakwater design," *J. Waterw. Port, Coastal, Ocean Eng.*, vol. 111, no. 2, pp. 304–318, doi: 10.1061/(ASCE)0733-950X(1985)111:2(304), 1985.
- [6] Fousert, MW and Vrijling, JK and Molenaar, WF and Van Kessel, JLF, "Floating breakwater, theoretical study of a dynamic wave attenuating system," in *Coastal Structures 2007*, pp. 339–350, doi: 10.1142/9789814282024_0031, 2009.
- [7] Biesheuvel, AC, "Effectiveness of Floating Breakwaters: Wave Attenuating Floating Structures," Chemical Technology Department, Delft University of Technology Netherlands, 2013.
- [8] Afdhal, M Iqbal and Budiarto, Untung and Mulyatno and Imam Pujo, "Optimasi Disain Spread Mooring Dengan Konfigurasi Variasi Line terhadap Six Degrees of Freedom (DOF) Olah Gerak Pada Kapal Floating Storage And Offloading (FSO)," Departemen Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro, 2019.
- [9] American Petroleum Institute, "API RP 2SK Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures," American Petroleum Institute (API), Washington D.C. 2005.
- [10] International Association of Classification Societies, "Computer Software for Onboard Stability Calculations," International Association of Classification Societies (IACS), London, 2020.
- [11] Det Norske Veritas AS, "Position Mooring," Det Norske Veritas (DNV), Hovik, 2004.