

Penentuan Tinggi Gelombang Desain untuk Perencanaan Rubble Mound Breakwater Pelabuhan Belawan

Chairunnisa¹, Siti Nur Atiah¹, dan Rizki Wahyuni¹
¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jenderal Achmad Yani
chairunnisa@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Pelabuhan Belawan terletak di Kota Medan Provinsi Sumatera Utara. Pelabuhan Belawan merupakan salah satu pelabuhan yang memiliki peranan penting, karena letaknya yang berada di Selat Malaka yang berbatasan langsung dengan Negara Malaysia dan Thailand, dan Pulau Sumatera Indonesia. Alur pelayaran Pelabuhan Belawan mengalami sedimentasi yang cukup signifikan setiap tahunnya, yang berasal dari sedimen litoral. Solusi teknis yang disarankan untuk mencegah sedimentasi tersebut adalah bangunan pemecah gelombang atau *breakwater* di kedua sisi alur pelayaran, jenis *rubble mound*.

Dalam desain *rubble mound breakwater*, hal yang sangat penting adalah menentukan tinggi gelombang desain yang tepat sebagai input perhitungan berat armor yang akan digunakan. Tinggi gelombang desain merupakan tinggi gelombang periode ulang tertentu di lokasi struktur, yang mana gelombang tersebut telah mengalami transformasi selama perambatannya dari laut dalam. Data gelombang yang digunakan adalah periode dan tinggi gelombang yang merupakan hasil proses *hindcasting* data angin jam-jaman selama 10 tahun. Selanjutnya dilakukan analisis gelombang ekstrim yang hasilnya berupa tinggi gelombang berbagai periode ulang untuk setiap arah, dimana tinggi gelombang periode ulang 100 tahun akan dimodelkan transformasinya menggunakan *software* 2D. Berdasarkan hasil pemodelan transformasi gelombang ini, maka didapatkan tinggi gelombang desain untuk perencanaan *rubble mound breakwater* Pelabuhan Belawan.

Kata kunci: tinggi gelombang desain, transformasi gelombang, *rubblemound breakwater*

Abstract

Belawan Port is located in Medan, North Sumatera Province. Belawan Port is one of the ports that has an important role, because it is located in the Malacca Strait which borders Malaysia and Thailand, and Sumatra Island Indonesia. The Belawan Port navigation channel has significant sedimentation every year, which comes from litoral sediments. The proposed technical solutions to prevent sedimentation are breakwater structures on both sides of the navigation channel, rubble mound type.

In the rubble mound breakwater design, the most important parameter is the appropriate design wave height as input for calculating the weight of the armor. Design wave height is a certain return period wave height at the structure location, where the wave has transformed during its propagation from the deep sea. The wave data used is the period and wave height which is the result of the hindcasting process for 10 years of wind data. Furthermore, extreme wave analysis is carried out in the form of various return periods for each direction, which the 100-year return period wave height will be modeled using 2D software. Based on the results of this wave transformation model, the design wave height for calculating the armor of the rubble mound breakwater was obtained.

Keywords: design wave height, wave transformation, rubble mound breakwater

1. Pendahuluan

Dalam perambatannya dari laut dalam ke pantai, gelombang mengalami perubahan bentuk atau transformasi. Umumnya transformasi gelombang yang terjadi merupakan akibat proses *shoaling* (pendangkalan), refraksi dan difraksi. *Shoaling* (pendangkalan) adalah proses berkurangnya kedalaman perairan dalam perambatan gelombang dari laut dalam ke pantai, yang mengakibatkan berkurangnya panjang dan cepat rambat gelombang serta bertambahnya tinggi gelombang. Refraksi adalah proses pembelokan arah datang gelombang akibat perubahan cepat rambat gelombang. Sedangkan difraksi adalah pembiasan gelombang yang terjadi apabila gelombang melewati suatu penghalang, seperti pulau, tanjung atau bangunan teknik di pantai.

Dalam desain bangunan pantai, tinggi gelombang merupakan salah satu parameter yang sangat penting. Tinggi gelombang yang digunakan dalam desain merupakan tinggi gelombang di lokasi untuk periode ulang tertentu. Tinggi gelombang di lokasi (pantai), pada umumnya berbeda dengan tinggi gelombang di laut dalam yang merupakan hasil proses *hindcasting* dari data

Info Makalah:

Dikirim : 04-07-19;

Revisi 1 : 04-22-19;

Revisi 2 : 06-25-19;

Diterima : 07-11-19.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-813-9522-1424

e-mail : chairunnisa@lecture.unjani.ac.id

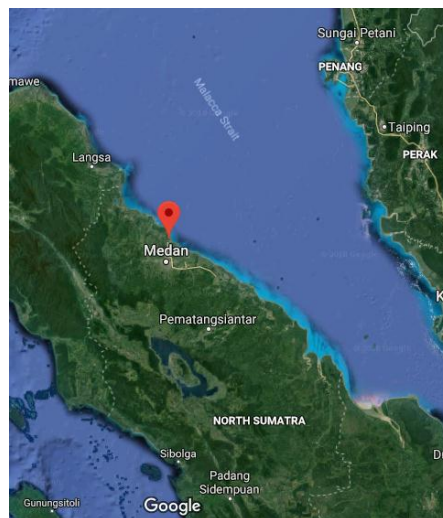
angin jam-jaman dalam 10 tahun. Tinggi gelombang di lokasi (pantai) telah mengalami transformasi, sehingga untuk mendapatkan tinggi gelombang tersebut harus dilakukan analisis transformasi gelombang. Jerome et al., 2000, membandingkan beberapa model refraksi dan difraksi gelombang, yang mana pada umumnya model-model tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam memodelkan refraksi dan difraksi gelombang. Marta et al., 2012, membandingkan dua model spektrum gelombang yang didesain untuk area pantai, berdasarkan integrasi persamaan keseimbangan gaya dengan skema *finite difference* untuk menghasilkan estimasi realistis dari parameter gelombang.

Pelabuhan Belawan terletak di Kota Medan Provinsi Sumatera Utara. Pelabuhan Belawan merupakan salah satu pelabuhan yang memiliki peranan penting, karena letaknya yang berada di Selat Malaka yang merupakan jalur pelayaran internasional, serta berbatasan langsung dengan Negara Malaysia dan Thailand, dan Pulau Sumatera Indonesia. Alur pelayaran Pelabuhan Belawan mengalami sedimentasi yang cukup signifikan setiap tahunnya, yang berasal dari sedimen litoral. Solusi teknis yang disarankan untuk mencegah sedimentasi tersebut adalah bangunan pemecah gelombang atau *breakwater* di kedua sisi alur pelayaran, jenis *rubble mound*.

Dalam desain *rubble mound breakwater*, hal yang sangat penting adalah menentukan tinggi gelombang desain yang tepat sebagai input perhitungan berat armor yang akan digunakan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan tinggi gelombang desain untuk perencanaan *rubble mound breakwater* Pelabuhan Belawan. Tinggi gelombang desain merupakan tinggi gelombang periode ulang tertentu di lokasi struktur, yang mana gelombang tersebut telah mengalami transformasi selama perambatannya dari laut dalam. Data gelombang yang digunakan adalah periode dan tinggi gelombang yang merupakan hasil proses hindcasting data angin jam-jaman selama 10 tahun. Selanjutnya dilakukan analisis gelombang ekstrim yang hasilnya berupa tinggi gelombang berbagai periode ulang untuk setiap arah, dimana tinggi gelombang periode ulang 100 tahun akan dimodelkan transformasinya menggunakan software refraksi dan difraksi 2D, yang merupakan model spektrum gelombang di pantai dengan skema *finite different*, untuk mengestimasi parameter gelombang di pantai (tinggi dan arah gelombang).

2. Metodologi Studi

Pelabuhan Belawan berada di Kota Medan Sumatera Utara, Indonesia, tepatnya berada pada letak geografis $03^{\circ}47'LU$ atau $98^{\circ}42'BT$. Lokasi studi disajikan pada Gambar 1. Secara garis besar studi ini dilakukan dengan 2 (dua) tahap, yaitu analisis data dan pemodelan transformasi gelombang. Analisis data dilakukan untuk menentukan tinggi gelombang ekstrim di laut dalam (lepas pantai lokasi studi) yang dilakukan dengan proses *hindcasting* (pengolahan data angin menjadi data gelombang) dan analisis harga ekstrim. Sedangkan pemodelan transformasi gelombang dilakukan untuk menentukan tinggi gelombang di pantai (lokasi struktur). Adapun tinggi gelombang desain merupakan nilai tinggi gelombang terbesar di lokasi struktur.



Gambar 1. Lokasi Studi.

2.1. Pengumpulan Data

Data teknis yang dikumpulkan terdiri dari data angin, peta global, dan peta bathimetri. Data angin berupa kecepatan dan arah angin jam-jaman selama 10 tahun dari tahun 1991 sampai dengan 2002 yang diperoleh dari BMKG Belawan. Peta global diperlukan untuk membuat *fetch* (daerah pembetulan gelombang). *Fetch* dan data angin selanjutnya akan menjadi input dalam analisis *hindcasting*. Peta bathimetri diperoleh dari Dishidros TNI AL, digunakan sebagai input dalam pemodelan transformasi gelombang.

2.2 Analisis Data

Analisis data terdiri dari analisis statistik data angin, perhitungan *fetch* efektif, *hindcasting*, dan analisis tinggi gelombang ekstrim. Analisis statistik data angin dilakukan untuk memperoleh gambaran kejadian angin dalam bentuk *windrose*. Perhitungan *fetch* efektif dilakukan menggunakan peta global. *Fetch* efektif dan data angin akan menjadi input untuk proses *hindcasting* gelombang. Output *hindcasting* berupa tinggi dan periode gelombang di laut dalam. Selanjutnya dilakukan analisis tinggi gelombang ekstrim untuk setiap arah gelombang, untuk memperoleh tinggi gelombang periode ulang 100 tahun.

2.3 Pemodelan Transformasi Gelombang

Pemodelan transformasi gelombang dilakukan dengan menggunakan *software* refraksi dan difraksi 2D, model spektrum gelombang di pantai. Input pemodelan adalah tinggi gelombang, arah, periode, dan parameter spektrum gelombang. Output pemodelan adalah tinggi dan arah gelombang di pantai. Nilai parameter spektrum gelombang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Spektrum Gelombang.

<i>Approximate Spectral Peaked-ness and Directional Spreading Parameters</i>		
Tp, Sec	γ	nn
≤ 10	3.3	4
11	4	8
12	4	10
13	5	12
14	5	16
15	6	18
16	6	20
17	7	22
18	7	26
19	8	28
20	8	30

Sumber : Manual Permodelan Refraksi dan Difraksi, 2001

2.3.1 Persamaan Pengatur

Interaksi antara gelombang dan arus sering direferensikan dalam koordinat yang bergerak. Parameter gelombang dalam koordinat ini dinotasikan dengan r, dan parameter untuk koordinat yang tidak bergerak dinotasikan dispersi gelombang dalam arah bergerak pada persamaan berikut :

$$\omega_r^2 = gk \tanh kd \tag{1}$$

Sedangkan persamaan dispersi untuk koordinat tetap :

$$\omega_a = \omega_r + kU \cos(\delta - \alpha) \tag{2}$$

Bilangan gelombang dapat diketahui dengan mensubstitusikan persamaan 1 ke persamaan 2. Bilangan gelombang dan panjang gelombang untuk kedua persamaan memiliki nilai yang sama.

Solusi untuk refraksi dan *shoaling* juga membutuhkan kecepatan gelombang C_r , dan kecepatan gelombang kelompok C_{gr} . Berikut ini adalah persamaan tersebut dalam koordinat relatif terhadap arus.

$$C_r = \frac{\omega_r}{k} \tag{3}$$

$$C_{gr} = 0.5 C_r \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \tag{4}$$

Arah dari kecepatan gelombang digambarkan sebesar α dari orthogonal gelombang.

$$c_\alpha = c_r + U \cos(\delta - \alpha) \tag{5}$$

$$c_{ga} = (c_{gr}) + (U)_i \tag{6}$$

Dimana arah dari kecepatan gelombang adalah arah gelombang orthogonal. Arah gelombang dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$\mu = \tan^{-1} \left(\frac{C_{gr} \sin \alpha + U \sin \delta}{C_{gr} \cos \alpha + U \cos \delta} \right) \tag{7}$$

Perbedaan antara orthogonal gelombang dan arah gelombang sangat penting dalam kondisi interaksi arus – gelombang. Tanpa arus arah gelombang akan sama dengan orthogonal gelombang, tetapi dengan adanya arus, energi gelombang bergerak sejajar dengan *rays*, dimana arah gelombang didefinisikan dengan orthogonal. Arah gelombang orthogonal untuk keadaan *steady-state* dapat dihitung dengan :

$$c_{ga} = \frac{D\alpha}{DR} = - \frac{C_r k}{\sinh 2 kd} \frac{Dd}{k} \frac{K_i}{k} \frac{DU_l}{Dn} \tag{8}$$

Persamaan pengatur pada keadaan *steady* untuk spektrum gelombang sepanjang arah gelombang adalah sebagai berikut :

$$c_{ga} = \frac{\partial c_{ga} \cos(\mu - \alpha) E(\omega_a, \alpha)}{\omega_r} = \sum \frac{S}{\omega_r} \tag{9}$$

2.3.2 Spektrum Energi Teoritis

Pierson – Moskowitz (1946) mengajukan suatu ungkapan teoritis yang berhasil memenuhi seluruh batasan teoritis dan didukung dengan data empiris yang dikumpulkan. Spektrum *Pierson – Moskowitz* dituliskan dalam bentuk seperti di bawah ini :

$$S(w) = \left(\frac{ag^2}{w^5} \exp^{-\beta \left(\frac{w_0^4}{w^4} \right)} \right) dw \tag{10}$$

2.3.3 Gelombang Berdasarkan Spektrum Energi Teoritis

Persamaan gerak untuk elevasni muka air gelombang linier adalah $\eta = \alpha \cos(kx - \omega t + \varepsilon)$ (11)

Persamaan diatas dapat digunakan untuk menurunkan persamaan gerak elevasi muka air pada gelombang acak yang terdiri dari banyak komponen gelombang. Caranya adalah dengan menjumlahkan komponen – komponen gelombang tersebut, sehingga persamaannya menjadi

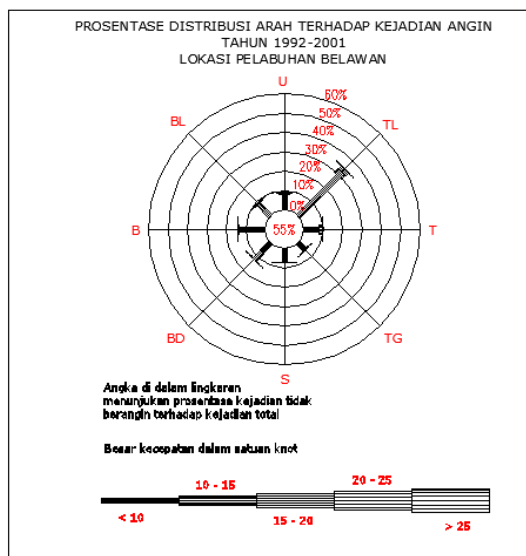
$$\eta(t) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \cos(k_i x - \omega_i t + \varepsilon_i) \tag{12}$$

2.4 Penentuan Tinggi Gelombang Desain untuk Perencanaan *Rubble-mound Breakwater*

Tinggi gelombang desain ditentukan berdasarkan nilai maksimum tinggi gelombang di lokasi studi yang disimulasikan dalam pemodelan transformasi gelombang. Pada umumnya, tinggi gelombang di pantai lebih besar dibandingkan tinggi gelombang di laut dalam. Namun, adakalanya tinggi gelombang di pantai lebih kecil dibandingkan dengan tinggi gelombang di laut dalam, sebagai akibat sebagian besar energi gelombang digunakan untuk proses pembelokan gelombang (refraksi).

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis statistik data angin ditunjukkan pada Gambar 2 dan Tabel 2.



Gambar 2. *Windrose* Tahun 1992-2001 pada Lokasi Pelabuhan Belawan.

Sumber: Hasil analisis

Tabel 2. Total Prosentase Kejadian Angin Tahun 1992 – 2001.

Arah	<10	10-15	15-20	20-25	>25	Jumlah
Utara	3.621	0.405	0.037	0.001	0.003	4.07
Timur Laut	13.099	2.106	0.082	0.017	0.004	15.31
Timur	3.543	0.749	0.064	0.003	0.003	4.36
Tenggara	2.113	0.182	0.028	0.012	0.000	2.33
Selatan	3.144	0.084	0.019	0.009	0.001	3.26
Barat Daya	5.252	0.113	0.036	0.013	0.004	5.42
Barat	6.054	0.140	0.015	0.006	0.003	6.22
Barat Laut	3.841	0.233	0.036	0.004	0.003	4.12
	Prosentase kejadian angin					45.08
	Prosentase kejadian tak ada angin					54.92
	Total					100

Sumber: Hasil analisis

Berdasarkan tabel di atas, diketahui bahwa kejadian angin di Pelabuhan Belawan adalah sebesar 45,08 %, dengan angin dominan berasal dari arah Timur Laut yaitu sebesar 15,31 %, sedangkan kondisi tidak ada angin adalah sebesar 54,92 %.

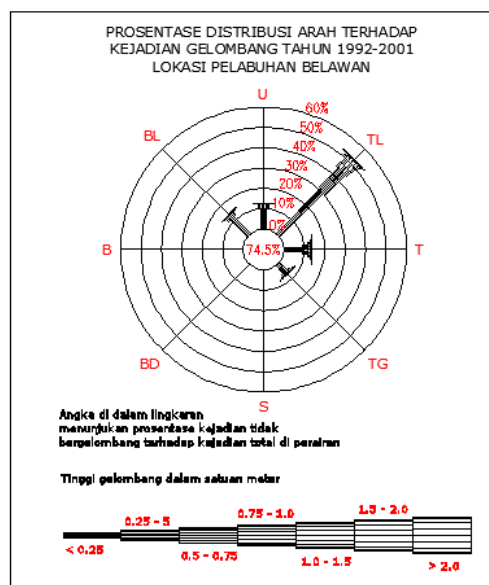
Fetch di lokasi studi dibuat dengan titik pusat yang dianggap mewakili koordinat zona perairan laut dalam. Tabel 3 menyajikan panjang *fetch* efektif di lokasi studi.

Tabel 3. Panjang *Fetch* Efektif.

Arah	<i>Fetch</i> (km)
Timur	251.21
Tenggara	140.00
Barat Laut	572.77
Utara	518.42
Timur Laut	245.23

Sumber: Hasil analisis

Hasil *hindcasting* disajikan berupa *waverose* pada Gambar 3, dan distribusi kejadian gelombang pada Tabel 4.



Gambar 3.2 *Waverose* Tahun 1992-2001 pada Lokasi Pelabuhan Belawan.

Sumber: Hasil analisis

Di bawah ini adalah total prosentase kejadian gelombang pada Pelabuhan Belawan yang disajikan dalam Tabel 4.

Tabel Error! No text of specified style in document.. Prosentase Kejadian Gelombang Total pada Pelabuhan Belawan Tahun 1992 – 2001.

Arah	Tinggi Gelombang (Hmo)							Jumlah	Persentase
	<0.25	0.25-0.5	0.5-0.75	0.75-1	1-1.5	1.5-2	>2		
Utara	205.20	41.30	6.40	0.50	0	0	0	253.40	3.27
Timur Laut	615.70	262.80	115.30	41.00	7.90	0.30	0	1043	13.47
Timur	175.30	60.50	22.50	8.20	5.10	0.30	0	271.90	3.51
Tenggara	102.40	20.70	7.70	2.10	0.30	0	0	133.20	1.72
Barat Laut	237.30	35.20	7.40	1.30	0	0	0	281.20	3.63
Calm*	* Kejadian tidak ada gelombang							5760.8	74.4
Total								7743.5	100

Sumber: Hasil analisis

Berdasarkan tabel di atas, diketahui bahwa kejadian gelombang di Pelabuhan Belawan adalah sebesar 25,6 % dengan gelombang dominan berasal dari arah Timur Laut yaitu sebesar 13,47 %, sedangkan kondisi tidak ada gelombang adalah sebesar 74,4%.

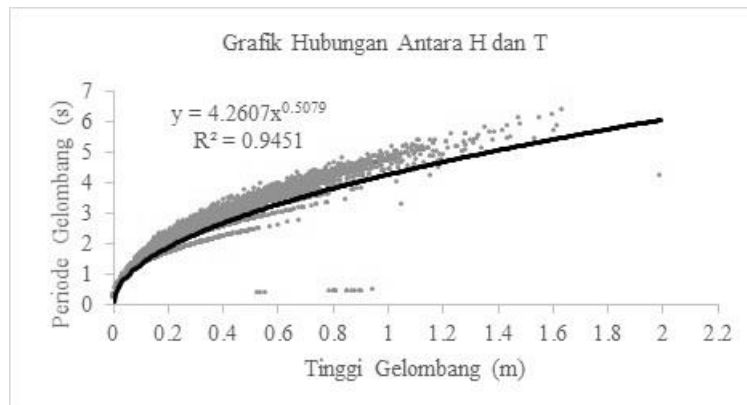
Untuk menentukan tinggi gelombang ekstrim digunakan analisis frekuensi dengan menggunakan metode yang paling sesuai berdasarkan distribusi data dan uji kecocokan, yaitu metode *Gumbel*. Data masukkan untuk analisis adalah gelombang signifikan tahunan selama 10 tahun, maka didapatkan frekuensi tinggi gelombang dengan metode Gumbel untuk periode ulang H_{10} , H_{25} , H_{50} dan H_{100} dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Tinggi Gelombang Rencana (m) pada Pelabuhan Belawan.

No	Periode Ulang (Tahun)	Tinggi Gelombang per arah (m)				
		Timur	Tenggara	Barat Laut	Utara	Timur Laut
1	10	0.846	0.579	0.476	0.450	0.755
2	25	1.046	0.731	0.580	0.562	0.917
3	50	1.195	0.843	0.654	0.645	1.036
4	100	1.300	0.955	0.732	0.728	1.150

Sumber: Hasil analisis

Untuk menentukan periode gelombang rencana digunakan grafik hubungan antara H dan T yang dihasilkan dari proses *hindcasting*, dapat dilihat pada gambar Gambar 4.



Gambar Error! No text of specified style in document.. Grafik Hubungan Antara H dan T.

Sumber: Hasil analisis

Dari grafik di atas dihasilkan persamaan $y=4,2607x^{0.5079}$ dengan nilai $R^2 =0,9451$ yang nantinya persamaan tersebut akan digunakan untuk mengetahui periode gelombang rencana. Hasil perhitungan tinggi dan periode gelombang rencana 100 tahun dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Tinggi dan Periode Gelombang Rencana.

Arah	H_{100} (m)	T (s)
Timur	1.3	5.137
Tenggara	0.955	4.333
Barat Laut	0.732	3.794
Utara	0.728	3.783
Timur Laut	1.150	4.755

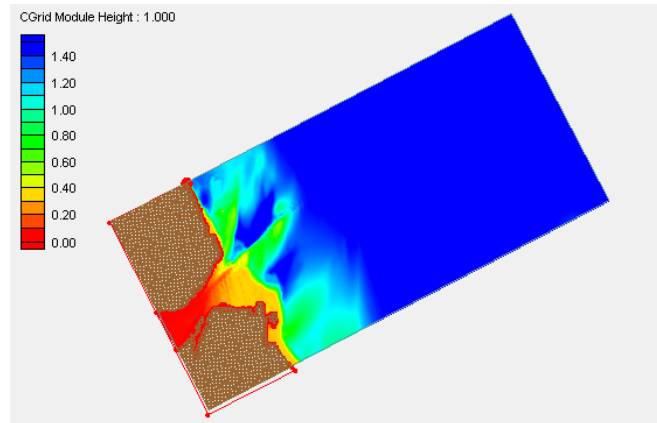
Sumber: Hasil analisis

Kejadian angin dominan berasal dari arah Timur Laut. Kejadian gelombang dominan berasal dari arah Timur Laut. Namun, untuk kejadian gelombang dengan tinggi gelombang 1.5-2 m terjadi dari arah Timur Laut dan Timur, yang masing-masing kejadiannya sebesar 0.3%, yang mana besar tinggi gelombang signifikan tahunan dari arah Timur umumnya lebih besar dibandingkan dari arah Timur Laut, sehingga nilai tinggi gelombang hasil analisis distribusi menunjukkan tinggi gelombang periode ulang dari arah Timur lebih besar dibandingkan dari arah Timur Laut.

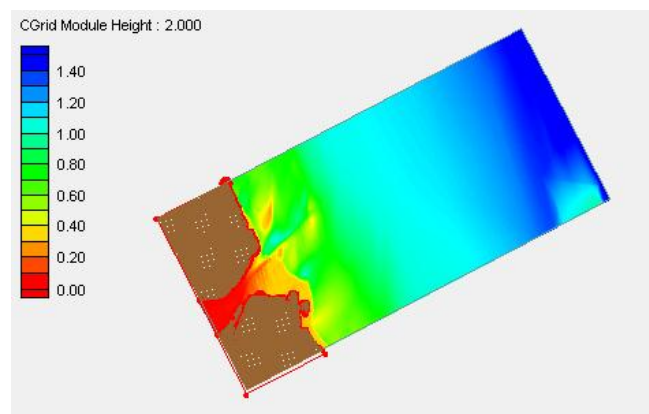
Dari hasil analisis gelombang yang terdapat pada Tabel 6, kejadian gelombang maksimum terjadi pada arah Timur. dengan tinggi gelombang sebesar 1.3 m dan periode gelombang sebesar 5.137 detik.

Pemodelan transformasi gelombang dilakukan untuk setiap arah dengan input tinggi dan periode dari gelombang maksimum yang terjadi, yaitu tinggi gelombang 1.3 m dan periode 5.137 detik. Input pemodelan lainnya adalah parameter spektrum gelombang yang ditunjukkan pada Tabel 1.

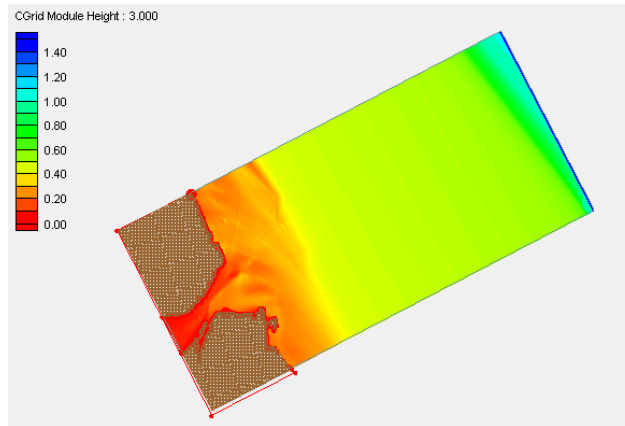
Hasil pemodelan transformasi gelombang di perairan Pelabuhan Belawan untuk setiap arah datang gelombang disajikan pada Gambar 5, 6, 7, 8 dan 9 (hasil analisis).



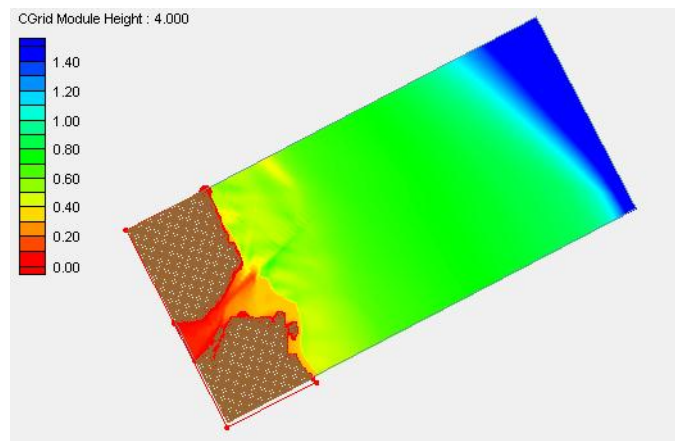
Gambar 5. Tinggi Gelombang Hasil Transformasi Gelombang dari Arah Tenggara.



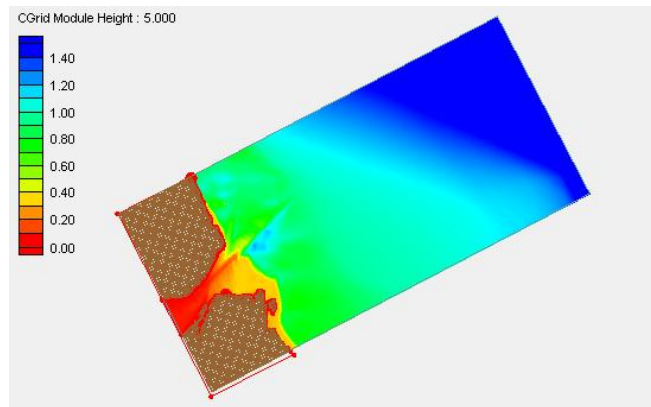
Gambar 6. Tinggi Gelombang Hasil Transformasi Gelombang dari Arah Timur.



Gambar 7. Tinggi Gelombang Hasil Transformasi Gelombang dari Arah Timur Laut.



Gambar 8. Tinggi Gelombang Hasil Transformasi Gelombang dari Arah Utara.



Gambar 9. Tinggi Gelombang Hasil Transformasi Gelombang dari Arah Barat Laut .

Hasil pemodelan menunjukkan gelombang yang merambat ke pantai tidak mengalami peningkatan tinggi gelombang, dimana variasi tinggi gelombang mengikuti perubahan kontur kedalaman. Hal ini dapat terjadi akibat sebagian besar energi gelombang digunakan untuk proses pembelokan gelombang (refraksi). Berdasarkan hasil pemodelan, tinggi gelombang maksimum di lokasi *rubble-mound breakwater*, pada kedalaman 10 m adalah 1.3 m, yang merupakan tinggi gelombang desain untuk perencanaan struktur tersebut.

Kesimpulan

Pada umumnya, ketika gelombang merambat ke pantai akan terjadi peningkatan tinggi gelombang akibat proses *shoaling* (pendangkalan). Namun, hasil pemodelan transformasi gelombang di lokasi studi menunjukkan bahwa variasi tinggi gelombang yang merambat ke pantai, tingginya berkurang mengikuti kontur kedalaman. Hal ini disebabkan sebagian besar energi gelombang digunakan untuk proses pembelokan gelombang (refraksi). Atau dapat

dituliskan, efek refraksi gelombang di lokasi studi ini jauh lebih dominan daripada efek *shoaling*. Tinggi gelombang desain di lokasi *rubble-mound breakwater*, pada kedalaman 10 m adalah 1.3 m. Walaupun tinggi gelombang desain yang diperoleh dari hasil pemodelan transformasi gelombang pada studi ini tidak jauh berbeda dengan tinggi gelombang di perairan dalam, namun dalam perencanaan struktur pantai pada umumnya, analisis transformasi gelombang tetap harus dilakukan agar mendapatkan nilai tinggi gelombang yang tepat dan dapat menghasilkan hasil perencanaan struktur yang aman.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dari berbagai pihak yang terlibat dalam proses studi ini, baik berupa bantuan dalam pengumpulan data fisik, maupun atas dikusinya yang bermanfaat.

Daftar Notasi

- ω = frekuensi *angular* / kecepatan sudut
 g = percepatan gravitasi
 k = bilangan gelombang
 d = kedalaman perairan
 U = kecepatan arus
 δ = arah dari arus relatif terhadap koordinat tetap
 α = arah orthogonal gelombang
 Cr = Kecepatan gelombang
 Cgr = Kecepatan gelombang kelompok
 ω_r = Dispersi gelombang
 D = turunan
 R = koordinat dengan arah gelombang
 N = Koordinat normal terhadap orthogonal gelombang
 E = kerapatan energi gelombang dibagi dengan $\rho_w g$, dimana ρ_w adalah massa jenis air
 S = energi *source* dan *sink* .
 α = 0,0081 (konstanta tak berdimensi pada persamaan spektrum)
 β = 0,74 (konstanta tak berdimensi pada persamaan spektrum)
 W_0 = g/U
 U = kecepatan angin
 w = frekuensi gelombang yang ditinjau
 I = komponen gelombang ke i
 α = amplitudo gelombang
 w = frekuensi sudut gelombang
 ε = fasa gelombang

Daftar Pustaka

- Ahmad Nur Huda, A. A. (2015). Studi Pola Transformasi Gelombang Di Perairan Kota Tegal. *Jurnal Oseanografi*, 341-349.
- CERC, C. E. (1984). *Shore Protection Manual Volume I*. Washington D.C: US Army Corps of Engineer.
- Goncalves, M.; Rusu, E.; Soares, C.G. (2011). Evaluation of The Wave Models SWAN and STWAVE in Shallow Water Using Nested Schemes. *1st International Conference on Maritime Technology and Engineering* (pp. 481-485). Lisbon: Taylor & Francis Group.
- Goncalves, M.; Martinho, P; Soares, C.G. (2012). Wave Energy Condition in the Western French Coast. *1st International Conference on Maritime Technology and Engineering* (pp. 155-163). Lisbon: Taylor & Francis Group.
- Jejen Jenhar Hidayat, M. d. (2013). Dinamika Penjalaran Gelombang Menggunakan Model CMS-Wave Di Pulau Parang Kepulauan Karimunjawa. *Jurnal Oseanografi*, 255-264.
- Jerome P. -Y. Maa, T. -W. Hsu, C. H. Tsai and W. J. Juang. (2000). Comparison of Wave Refraction and Diffraction Models. *Journal of Coastal Research* Vol. 16, No. 4 Autumn, pp. 1073-1082. Coastal Education & Research Foundation, Inc.
- Kramadibrata, S. (2002). *Perencanaan Pelabuhan*. Bandung: Penerbit ITB.
- Maa, J.P.Y.; Hsu, T.W.; Tsai, C.H.; Juang, W.J. (2000). Comparison of Wave Refraction and Diffraction Model. *Journal of Coastal Research*, 1073-1082.
- Pratikto, W. H. (1997). *Perencanaan Fasilitas Pantai dan Laut*. Yogyakarta: BPFE.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset