

Studi Awal Pemodelan Medan Gelombang di Laut Jawa dan Karakteristik Spektrum Energi Gelombang di Teluk Jakarta

Safwan Hadi*, Nining Sari Ningsih, Kandaga Pujiana

Pusat Pengembangan Kawasan Pesisir dan Laut (PPKPL), Institut Teknologi Bandung
safwan@ppk.itb.ac.id

Abstrak

Informasi tentang karakteristik gelombang suatu perairan merupakan hal yang penting untuk diketahui guna melakukan berbagai aktifitas di laut seperti penangkapan ikan, pelayaran, rekayasa pantai dan lepas pantai. Pengukuran lapangan dalam waktu yang panjang dapat memberikan informasi ini tetapi memerlukan biaya yang sangat besar. Dengan semakin meningkatnya kemampuan komputer, informasi ini dapat diperoleh melalui simulasi model numerik. Dalam studi ini simulasi model numerik dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang karakteristik gelombang di laut Jawa dan spektrum energi gelombang di Teluk Jakarta. Model numerik yang digunakan adalah model gelombang generasi ke - 3, WAM Model Cycle 4. Penerapan model dilakukan pada musim barat dan musim timur untuk melihat pengaruh arus laut pada karakteristik gelombang di Laut Jawa dan spektrum energi gelombang di Teluk Jakarta. Hasil simulasi model di Laut Jawa menunjukkan bahwa pada musim barat tinggi gelombang signifikan dan perioda puncak secara berturut-turut berkisar antara 0,44 - 1,83 m dan 2 - 5 detik sementara pada musim timur berkisar antara 0,35 - 1,06 m dan 2 - 5 detik. Arus laut berperan dalam penguatan tinggi gelombang. Pada musim barat tinggi gelombang signifikan bertambah dari 0,44 m menjadi 0,5 m sementara pada musim timur bertambah dari 0,35 m menjadi 0,37 m. Spektrum energi gelombang di Teluk Jakarta menunjukkan pengaruh Sea lebih dominan pada musim timur sementara pengaruh Swell lebih dominan pada musim barat. Pengaruh arus mengubah kondisi gelombang di Teluk Jakarta baik Sea maupun Swell pengaruhnya dominan pada musim timur.

Kata kunci : Model Gelombang, Variasi Musim, Pengaruh Arus

Abstract

Information about ocean wave characteristics is very important for working on various activities in the ocean such as fishing, navigation, coastal and offshore engineering. This information can be derived from long term field observation, but this would require substantial amount of money. With ever increasing computer capabilities such information could be derived by applying a numerical model. In this research third generation wave model, WAM Model Cycle 4, was applied to study wave characteristics in Java Sea and wave energy spectrum in Jakarta Bay. The model was applied for two conditions i.e west and east monsoons and the influence of current on wave was also taken into consideration. Simulation results indicate that significant wave height during west monsoon is higher than east monsoon. Significant wave height and peak period during west monsoon vary between 0,44 - 1,83 m and 2 - 5 second respectively while during east monsoon they vary between 0,35 - 1,06 m and 2 - 5 second respectively. Ocean current causes wave height to increase. During west monsoon significant wave height increases from 0,44 m to 0,5 m while during east monsoon it increases from 0,35m to 0,37 m. Wave energy spectrum of Jakarta bay indicates that Sea is more dominant during east monsoon while Swell during west monsoon. The influence of current changes the wave condition in which both Sea and Swell are dominant during east monsoon.

Key words : Wave model, Seasonal variation, Effect of ocean current.

Pendahuluan

Pemanfaatan sumber daya laut berupa eksploitasi minyak dan gas di lepas pantai terus meningkat seiring

dengan bertambahnya kebutuhan dunia akan komoditi tersebut. Akibatnya, pemahaman komprehensif mengenai dinamika laut menjadi tuntutan yang tidak terhindarkan bagi pihak-pihak yang melaksanakan

kegiatan pemanfaatan sumber daya dan aktifitas perekonomian lainnya di laut. Salah satu aspek dinamika laut yang berperan sangat signifikan terhadap aktifitas kelautan adalah gelombang laut.

Informasi yang dapat diandalkan mengenai karakteristik gelombang laut dan spektrum energinya merupakan hal mutlak yang dibutuhkan oleh masyarakat pengguna kelautan. Informasi ini dapat diperoleh dengan melakukan pengukuran lapangan namun berbiaya besar karena harus dilakukan dalam jangka panjang, memerlukan penguasaan teknologi instrumen pengukuran gelombang yang tidak mudah, dan sulitnya medan laut yang harus dihadapi. Cara lain yang relatif lebih murah adalah melalui simulasi model numerik gelombang laut.

Pada studi awal ini, model numerik medan gelombang diterapkan di Laut Jawa untuk mendapatkan informasi karakteristik gelombang dengan memperhatikan pengaruh arus laut dan variasinya dengan musim. Kajian tentang karakteristik spektrum energi gelombang dilakukan di Teluk Jakarta. Hasil dari studi awal ini diharapkan menjadi kerangka pengerjaan lebih lanjut bagi pemodelan spektrum energi gelombang laut di perairan Indonesia yang dapat menghasilkan informasi bermanfaat dan terpercaya bagi masyarakat kelautan.

Materi dan Metode

Input dan Desain Model

Daerah model pada studi awal ini meliputi lokasi dengan batas-batas 2°39'57.6" LS - 8°9'57.6" LS, dan 105°9'57.6"- 115°0'0" BT. Ukuran grid model seragam untuk seluruh daerah model dengan besar 0.2° x 0.2° atau 18,6 km x 18,16 km. Untuk kajian model regional, ukuran grid model yang dipilih dapat dikatakan bisa mewakili kondisi bathimetri perairan Laut Jawa. Namun untuk kajian lebih lanjut dengan mengambil skala model pantai, diperlukan ukuran grid model yang lebih kecil atau resolusinya lebih tinggi disertai dengan perubahan skema numerik dan penambahan suku-suku fisis pada model WAM tersebut. Daerah model beserta kondisi bathimetrinya diperlihatkan pada Gambar 1.

Langkah simulasi untuk penyelesaian suku-suku sumber diambil selama 5 menit, sedangkan untuk suku-suku adveksi diambil selama 10 menit. Penyelesaian suku-suku sumber dan adveksi dilakukan secara terpisah (*splitting technique*).

Hasil simulasi model berupa tinggi, arah, perioda dan spektrum energi baik untuk sea dan swell setiap 6 jam dihasilkan untuk seluruh grid di daerah model, namun pada tulisan ini khusus untuk bahasan spektrum

energi gelombang hanya akan dibahas hasil simulasi di sebuah lokasi di teluk Jakarta dengan koordinat 6°0'36" LS dan 106°39'36" BT.

Karakteristik angin sebagai input utama energi pembangkit gelombang diambil dari data hasil pengamatan satelit dan model yang dihasilkan oleh ECMWF (*European Centre for Medium Range Weather Forecasting*). Data berupa besar dan arah angin di ketinggian 10 m setiap 6 jam untuk tiap musim, yaitu musim barat (bulan Februari) dan musim timur (bulan Agustus) digunakan sebagai data input bagi model gelombang WAM untuk mensimulasikan kondisi karakteristik gelombang di Laut Jawa dan melihat pengaruh yang diberikan oleh perubahan musim.

Pola angin pada musim barat dan timur di Laut Jawa diperlihatkan pada Gambar 2 dan 3.

Pada studi awal ini, dilakukan kajian arus sebagai faktor yang berperan pada proses refraksi gelombang selama penjalarnya menuju perairan dangkal selain faktor perubahan kedalaman. Selain untuk mempertajam kualitas hasil model dengan memasukkan pengaruh arus terhadap gelombang, juga diharapkan kajian tentang pengaruh arus ini dapat dijadikan kerangka umum untuk menyertakan faktor arus pada skala model yang beresolusi lebih tinggi yaitu model skala pantai dimana peran arus terhadap karakteristik gelombang di perairan dangkal sangatlah signifikan (Hargreaves, et al, 2000).

Data arus yang digunakan pada studi ini diperoleh dari model Hidrodinamika untuk lokasi yang sama yang telah dilakukan oleh Ningsih (2000) untuk dua musim berbeda, yaitu musim barat dan musim timur dengan angin dan pasang surut sebagai gaya-gaya pembangkit. Pola arus untuk musim barat dan musim timur diperlihatkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Model Gelombang WAM

Metoda yang digunakan adalah pemodelan numerik gelombang laut menggunakan model gelombang WAM generasi ketiga cycle 4.

WAM merupakan model gelombang generasi ketiga yang menghitung perubahan spektrum energi gelombang secara eksplisit dengan didasarkan pada integrasi numerik dari persamaan kesetimbangan energi (WAMDI Group, 1988). Perubahan spektrum energi gelombang dibangun oleh persamaan transport :

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{\cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (\phi \cos \phi F) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (\lambda F) + \frac{\partial}{\partial \theta} (\theta F) = S_m + S_{ds} + S_{nl} + S_b \quad (1)$$

Suku pertama, kedua dan ketiga yang terletak pada sisi kiri persamaan (1) merupakan suku-suku perubahan lokal densitas energi gelombang, perambatan, dan perubahan frekuensi dan refraksi yang dipengaruhi oleh variabilitas kedalaman dan faktor arus. Adapun suku-suku yang terdapat pada bagian kanan dari persamaan (1) merupakan suku-suku sumber dan disipasi.

Metoda yang dikembangkan oleh Miles (1959) dan Janssen (1991) tentang angin sebagai suku sumber energi yang digunakan didalam WAM, adalah :

$$S_{in} = 2\pi f \frac{\rho_a \beta_m}{\rho_w \kappa^2} \mu \log(\mu)^4 x^2 F(f, \theta) \text{ , if } \mu < 1 \quad (5)$$

dimana :

$$\mu = \left(\frac{U_*}{C}\right)^2 \frac{g z_0}{U_*^2} \exp\left(\frac{\kappa}{x}\right) \quad (6)$$

$$x = \left(\frac{U_*}{C} + Z_{alp}\right) \cos(\theta - \theta_w) \quad (7)$$

$$z_0 = \frac{\alpha U_*}{g \sqrt{1 - \frac{\tau_w}{\tau}}} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \phi &= V R^{-1} \cos \theta \\ \lambda &= V \sin \theta (R \cos \theta)^{-1} \\ \theta &= V \sin \theta \tan \phi R \end{aligned} \quad (2)$$

Selanjutnya dengan memperhatikan kesetimbangan momentum udara, maka stress yang diberikan oleh angin sangat dipengaruhi oleh kondisi perairan, dan diberikan oleh persamaan (9).

$$\tau = C_D U^2 (L) \quad (9)$$

$$\text{dengan koefisien drag } C_D = \left(\frac{\kappa}{\ln(L/z_0)}\right)^2 \quad (10)$$

Sedangkan stress yang ditimbulkan oleh gelombang, diberikan oleh persamaan (11).

$$\tau_w = \rho_w \int \omega \gamma (F \cdot \cos(\theta - \theta_w)) df d\theta \quad (11)$$

Suku disipasi yang digunakan di model WAM merujuk pada persamaan yang diberikan oleh Komen, et.al (1994) adalah :

$$S_{ds} = -3,33 \cdot 10^{-5} \varpi \left(\frac{\omega}{\varpi}\right)^2 \left(\frac{\alpha}{\alpha_{pm}}\right)^2 F \quad (12)$$

dimana

$$\varpi = E^{-1} \iint F(f, \theta) \omega df d\theta \quad (13)$$

$$E = \iint F(f, \theta) \omega df d\theta \quad (14)$$

Nilai α diberikan oleh persamaan (15).

$$\alpha = E \varpi^4 g^{-2} \quad (15)$$

sedangkan parameter kecuraman gelombang berdasarkan spektrum Pierson Moskowitz, a_{pm} diberikan dengan nilai $4.57 \cdot 10^{-3}$.

Suku sumber interaksi nonlinier gelombang-gelombang diberikan oleh :

$$S_{nl}^{exact}(k_4) = \int \omega_4 \sigma \delta(k_1 + k_2 - k_3 - k_4) \times \delta(\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 - \omega_4) (n_1 n_2 (n_3 + n_4) - n_1 n_2 (n_3 + n_4)) dk_1 dk_2 dk_3 \quad (16)$$

Suku disipasi yang ditimbulkan oleh gesekan dasar diberikan oleh Hasselman et al (1985) melalui persamaan (17).

$$S_b = -\frac{0.076}{g} \frac{k}{\sinh(2kh)} F(f, \theta) \quad (17)$$

Suku-suku sumber dan disipasi, dan suku-suku perambatan pada persamaan (1) diselesaikan dengan 2 metoda yang berbeda. Metoda implisit orde ke-2 terpusat terhadap waktu digunakan untuk menyelesaikan suku-suku sumber, sedangkan skema upwind orde ke-1 digunakan untuk menyelesaikan suku-suku adveksi.

Metoda implisit orde ke-2 terpusat terhadap waktu diberikan oleh persamaan (18).

$$F_j^{n+1} = F_j^n - \sum_k \frac{\Delta t}{\Delta x^k \cos(\phi_j)} [(u^k \cos(\phi) F^n)_j - (u^k \cos(\phi) F^n)_{j-1}] \quad (18)$$

Metoda skema upwind orde ke-1 diberikan oleh persamaan (19).

$$F_j^{n+1} = F_j^{n-1} - \sum_k \frac{\Delta t}{2\Delta x^k \cos(\phi_j)} [(u^k \cos(\phi) F^n)_j - (u^k \cos(\phi) F^n)_{j-1}] \quad (19)$$

Notasi

- F Spektrum energi gelombang yang merupakan fungsi dari f, θ, λ , dan θ
- f Frekuensi
- q Arah gelombang
- f Lintang
- l Bujur
- S_{in} Angin sebagai suku sumber
- S_{ds} Disipasi white capping (*white-capping dissipation*)
- S_{nl} Interaksi antar gelombang sebagai suku sumber (*non linear quadruplet wave-wave interactions*)
- S_b Disipasi akibat gesekan dasar (*bottom friction*)
- ρ_a Rapat jenis udara
- ρ_w Rapat jenis air
- β_m Konstan bernilai 1,2
- κ Bilangan von Karman

	Variabel tidak berdimensi yang mewakili tinggi kritis
	Panjang kekasaran permukaan (<i>length roughness</i>)
U_*	Kecepatan gesekan (<i>friction velocity</i>)
z_{alp}	Sebuah konstan bernilai 0,011 untuk kestabilan numerik
α	Sebuah konstan bernilai 0,0185
C	Kecepatan fasa gelombang
	Arah angin
τ_w	Stress yang diberikan gelombang
τ	Stress yang diberikan angin
g	Tegangan permukaan
g	Percapatan gravitasi
	Frekuensi rata-rata
E	Energi total
	Parameter kecuraman gelombang
	Parameter kecuraman gelombang berdasarkan spektrum Pierson Moskowitz
Δx^k	Ukuran grid
u^k	Kecepatan grup
j-	Posisi sebelumnya pada arah perambatan
k	Bilangan gelombang

Hasil dan Pembahasan

Simulasi Model pada Musim Barat dan Musim Timur

Pada musim Barat, tinggi gelombang signifikan dan perioda puncak berkisar diantara nilai 0.44-1.83m dan 2-5 detik. Nilai tinggi gelombang signifikan untuk laut Jawa bagian timur lebih besar dibandingkan di laut Jawa bagian barat, atau semakin ke timur semakin besar tinggi gelombang signifikan. Hal yang sama berlaku pula untuk informasi perioda puncak, yaitu perioda puncak gelombang untuk di bagian timur lebih besar dibandingkan perioda puncak di bagian barat.

Faktor arus berperan cukup signifikan pada perubahan karakteristik gelombang Laut Jawa. Umumnya pengaruh arus memperbesar tinggi gelombang signifikan. Pada musim Barat, tinggi gelombang signifikan dan perioda puncak dengan pengaruh arus berkisar pada nilai 0.5-2.0m dan 3-8 detik.

Karakteristik gelombang pada musim barat dengan faktor arus dan tanpa arus diperlihatkan pada Gambar 6,7,8, dan 9.

Tinggi gelombang signifikan dan perioda puncak pada musim timur berkisar di nilai 0.35-1.06 m dan 2-5 detik. Dibandingkan dengan karakteristik gelombang musim barat, karakteristik gelombang musim timur memiliki nilai lebih kecil. Hal ini sesuai dengan kondisi angin pada musim timur yang melemah dibandingkan dengan kondisi angin pada musim barat.

Tinggi gelombang signifikan dan perioda puncak akibat pengaruh arus berkisar diantara nilai 0.37-1.11 m dan 3-6 detik. Karakteristik gelombang pada musim timur dengan faktor arus dan tanpa arus diperlihatkan pada Gambar 10,11,12, dan 13.

Spektrum Energi Gelombang Pada Musim Barat dan Musim Timur di Teluk Jakarta

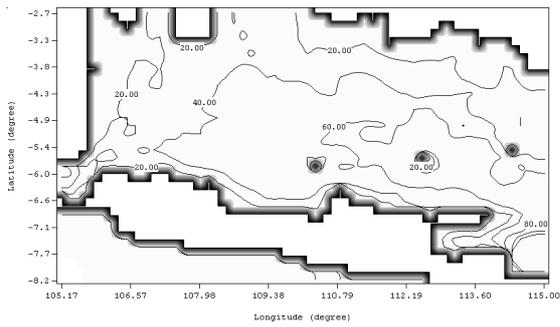
Hasil simulasi gelombang untuk 2 musim di Teluk Jakarta konsisten dengan karakteristik gelombang di laut Jawa yaitu terlihatnya pengaruh arus yang cukup signifikan terhadap gelombang. Spektrum energi gelombang 1D dan 2D untuk tiap musim (tanpa dan dengan pengaruh arus) diperlihatkan pada Gambar 14,15,16, dan 17.

Dari gambar-gambar tersebut dapat dilihat peningkatan tinggi gelombang signifikan di Teluk Jakarta akibat pengaruh arus, baik pada musim barat maupun musim timur. Pada musim barat tinggi gelombang signifikan naik dari 0.34 m menjadi 0.35 m, dan pada musim timur dari 0.37 m menjadi 0.38 m. Berbeda dengan kondisi umum di laut Jawa, tinggi gelombang di Teluk Jakarta lebih tinggi pada musim timur daripada musim barat.

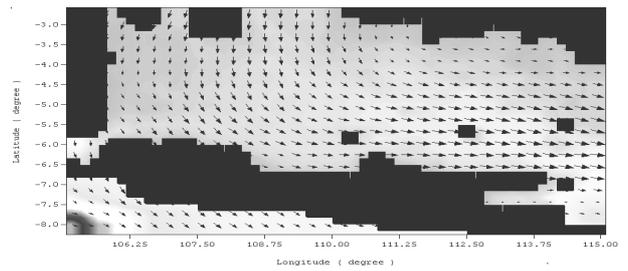
Di Teluk Jakarta, Sea lebih dominan daripada Swell. Pada musim barat tinggi Swell lebih besar dari pada musim timur. Ini menunjukkan kontribusi Swell lebih dominan pada musim barat dari pada musim timur.

Rata-rata nilai tinggi gelombang Swell signifikan pada musim barat adalah 0.22 m, sedangkan nilai rata-rata tinggi gelombang Sea signifikan pada musim barat adalah 0.25 m. Rata-rata nilai tinggi gelombang Swell signifikan pada musim timur adalah 0.19 m, sedangkan nilai rata-rata tinggi gelombang Sea signifikan pada musim timur adalah 0.32 m.

Pengaruh Arus terlihat dengan nyata pada musim barat terutama pada Sea. Pada musim barat, dengan adanya arus, tinggi Sea bertambah dari 0.25 m menjadi 0.32 m sementara tinggi Swell berkurang dari 0.22 m menjadi 0.19 m. Pada musim timur dimana Sea jauh lebih mendominasi Swell, pengaruh arus hanya terlihat pada peningkatan tinggi Swell yang berubah

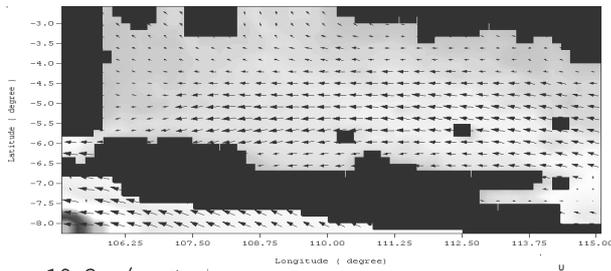


Gambar 1. Daerah Model dan Bathimetri Laut Jawa (Ningsih, 2000)



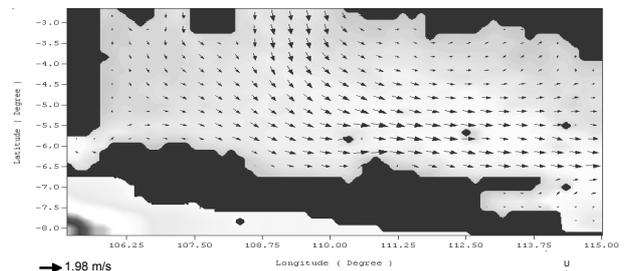
→ 11.5 m/s

Gambar 2. Pola Angin Monsun Barat pada bulan Februari 1996



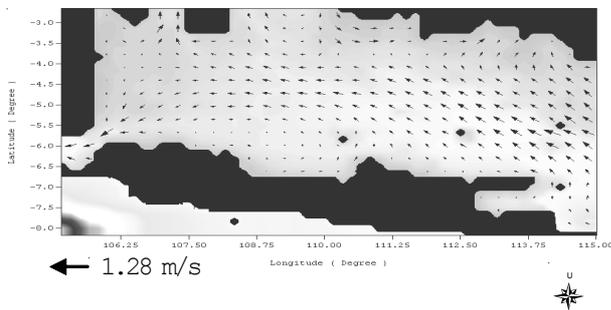
10.3 m/s ←

Gambar 3. Pola Angin Monsun Timur pada bulan Agustus 1996



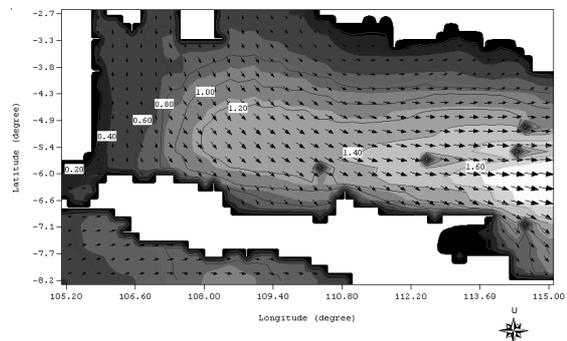
→ 1.98 m/s

Gambar 4. Pola Arus musim barat pada bulan Februari 1996 (Ningsih, 2000)

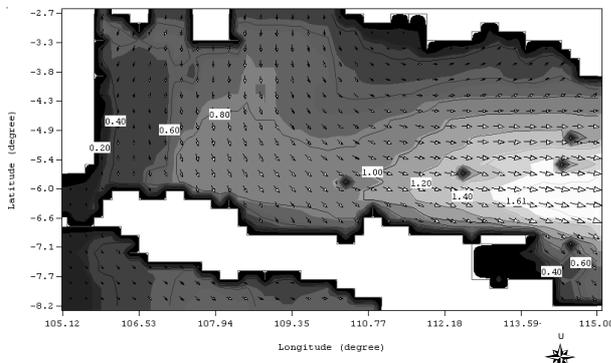


← 1.28 m/s

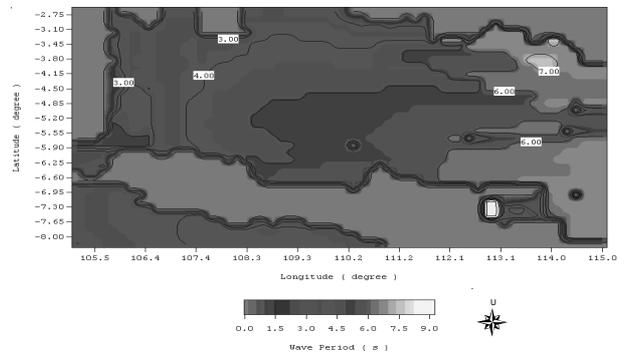
Gambar 5. Pola Arus musim timur pada bulan Agustus 1996 (Ningsih, 2000)



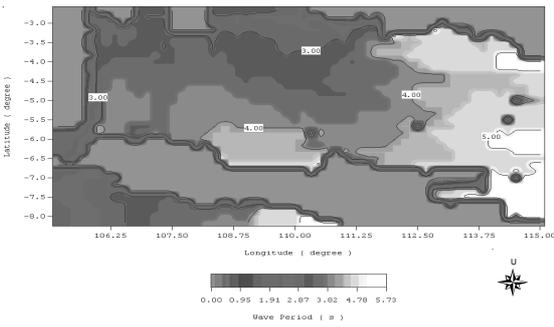
Gambar 6. Arah dan Tinggi Gelombang Signifikan tanpa arus musim barat



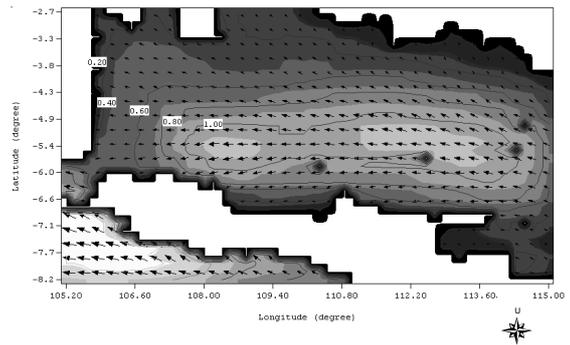
Gambar 7. Arah dan Tinggi Gelombang Signifikan dengan arus musim barat



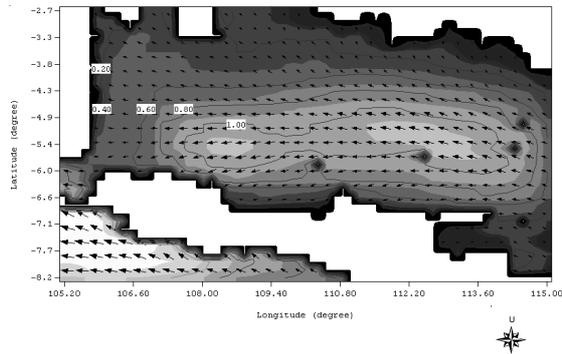
Gambar 8. Periode Puncak dari Gelombang tanpa Arus musim barat



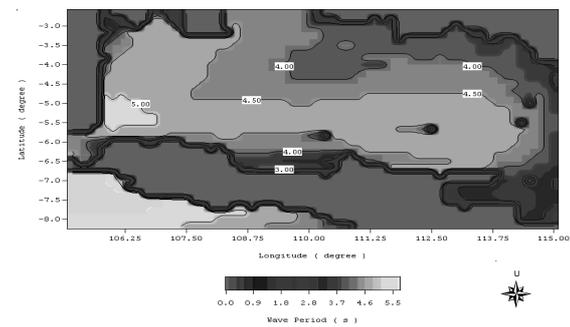
Gambar 9. Periode Puncak dari Gelombang dengan Arus musim barat



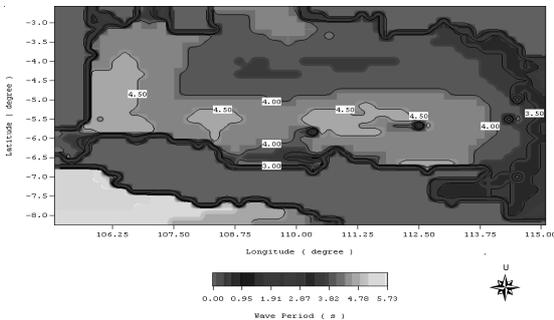
Gambar 10. Arah dan Tinggi Gelombang Signifikan tanpa arus musim timur



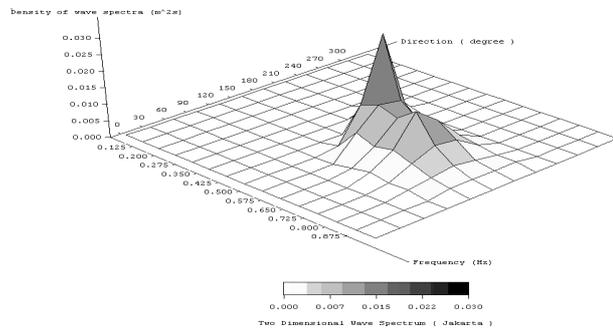
Gambar 11. Arah dan Tinggi Gelombang Signifikan dengan Arus musim timur



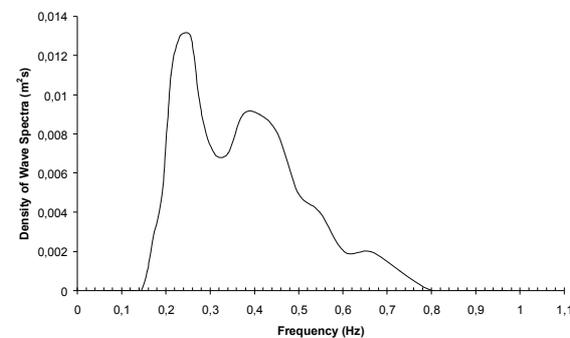
Gambar 12. Periode Puncak Gelombang tanpa Arus musim timur



Gambar 13. Periode Puncak Gelombang dengan Arus musim timur



Gambar 14a. Spektrum 2D Gelombang tanpa pengaruh arus di Teluk Jakarta pada musim barat

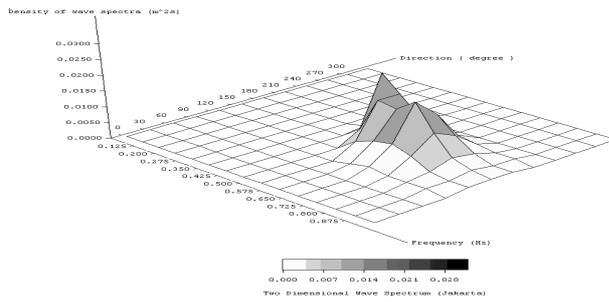


Gambar 14b. Spektrum 1D Gelombang tanpa pengaruh arus di Teluk Jakarta pada musim barat

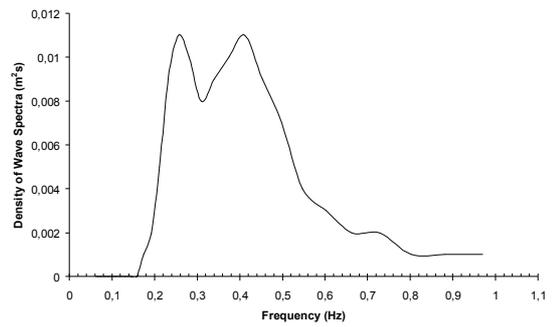
$$H_s \text{ Swell} = 0.22 \text{ m}, H_s \text{ Sea} = 0.25 \text{ m}$$

$$\theta_s \text{ Swell} = 175^\circ, \theta_s \text{ Sea} = 154^\circ$$

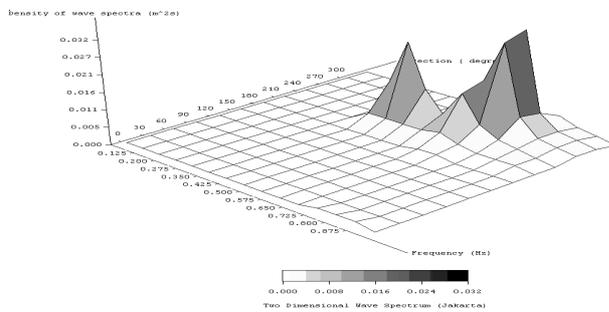
$$H_s = 0.34 \text{ m}; \theta_s = 162^\circ$$



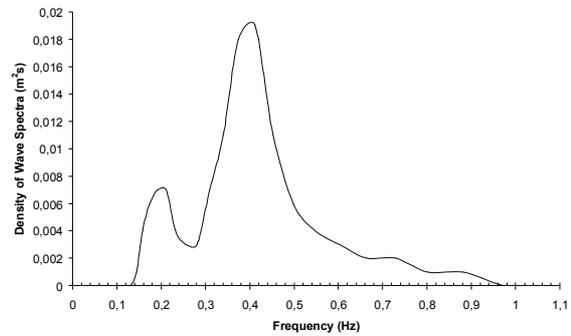
Gambar 15a. Spektrum 2D Gelombang di Teluk Jakarta pada musim barat dengan pengaruh arus



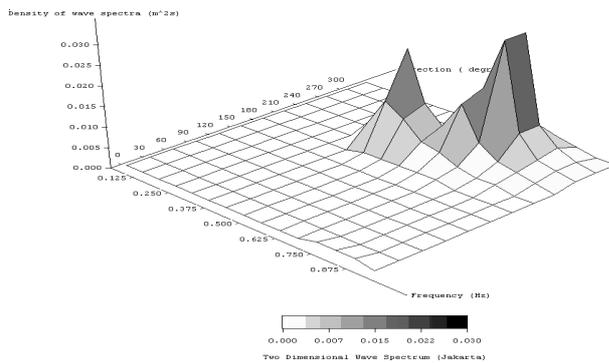
Gambar 15b. Spektrum 1D Gelombang di Teluk Jakarta pada musim barat dengan pengaruh faktor arus
 H_s Swell = 0.19 m, H_s Sea = 0.31 m
 θ_o Swell = 175° θ_o Sea = 156°
 $H_s = 0.35$ m ; $\theta_o = 160^\circ$



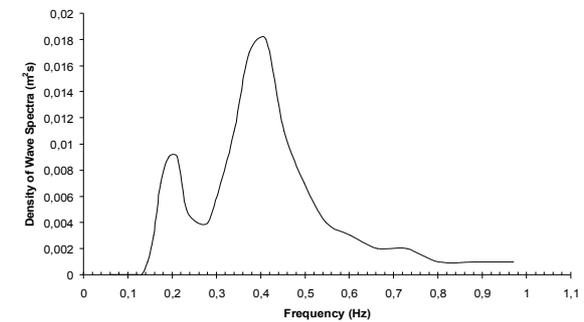
Gambar 16a. Spektrum 2D Gelombang tanpa pengaruh arus di Teluk Jakarta pada musim timur



Gambar 16b. Spektrum 1D Gelombang tanpa pengaruh arus di Teluk Jakarta pada musim timur
 H_s Swell = 0.19 m, H_s Sea = 0.32 m
 θ_o Swell = 270° θ_o Sea = 260°
 $H_s = 0.37$ m ; $\theta_o = 270^\circ$



Gambar 17a. Spektrum 2D Gelombang Swell di Teluk Jakarta pada musim timur dengan pengaruh arus



Gambar 17b. Spektrum 1D Gelombang Swell di Teluk Jakarta pada musim timur dengan pengaruh arus
 H_s Swell = 0.2 m, H_s Sea = 0.32 m
 θ_o Swell = 277° θ_o Sea = 260°
 $H_s = 0.38$ m ; $\theta_o = 270^\circ$

dari 0.19 m menjadi 0.20 m. Sementara tinggi Sea nya tetap.

Kesimpulan

- a Karakteristik gelombang di laut Jawa bervariasi terhadap musim. Pada musim barat tinggi gelombang signifikan lebih besar dari pada musim timur. Tinggi gelombang signifikan dan perioda puncak pada musim barat dan musim timur secara berturut-turut berkisar antara 0,44 - 1,83 m dan 2 - 5 detik dan 0,35 - 1,06 m dan 2 - 5 detik
- b Faktor arus laut berperan dalam memperbesar tinggi gelombang. Tinggi dan perioda puncak pada musim barat akibat pengaruh arus laut berkisar antara 0,5 - 2,0 m dan 3 - 8 detik, sementara pada musim timur berkisar antara 0,37 - 1,11 m dan 3 - 6 detik.
- c Tinggi gelombang di Teluk Jakarta pada musim timur lebih tinggi (0,37 m) dari pada musim barat (0,34 m). Faktor arus memperbesar tinggi gelombang dari 0,34 m menjadi 0,35 m di musim barat dan 0,37 m menjadi 0,38 m di musim timur.
- d Di Teluk Jakarta pengaruh dari Sea lebih dominan pada musim timur sementara kontribusi Swell lebih dominan pada musim barat. Tinggi Sea rata-rata pada musim barat 0,25 m sedangkan tinggi Swell rata-rata 0,22 m. Pada musim timur tinggi Sea rata-rata 0,32 m sedangkan tinggi Swell rata-rata 0,19 m
- e Pengaruh arus cukup signifikan pada musim barat, terutama pada Sea. Pengaruh arus memperbesar Sea dari 0,25 m menjadi 0,32 m tetapi memperkecil Swell dari 0,22 m menjadi 0,19 m. Pada musim timur pengaruh arus memperbesar Swell dari 0,19 m menjadi 0,22 m sementara tinggi Sea tidak berubah. Kenyataan ini mengisyaratkan dalam kajian dan peramalan

gelombang laut pengaruh arus harus diperhitungkan.

Ucapan Terima kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Kelautan (PPK) ITB, sekarang bernama Pusat Pengembangan Kawasan Pesisir dan Laut (PPKPL) ITB, yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini hingga selesai.

Daftar Pustaka

- Hasselmann, S. and K. Hasselmann, 1985, "Computations and parametrizations of the nonlinear energy transfer in a gravity wave spectrum. *J. Phys. Oceanogr.*, 15(11) : 1369-1377.
- Janssen, P., 1991, "Improvements of the short fetch behaviour in the WAM model". *J. Atmos. Oceanic Technol.* 16 : 884-892.
- J., Hargreaves, J.C., Carrero, J.C., Gerritsen, H., Flather, R., 2000, "Wave Modelling in the PROMISE project", *J. Coastal Engineering.* 37 : 379-407.
- Komen, G.J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S., Janssen, P.A.E.M., 1994, "Dynamics and Modelling of Ocean Waves", Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Miles, J.W., 1957, "On the generation of surface waves by shear flow", *J. Fluid Mech.*, 102 : 1-59.
- Ningsih, N.S., 2000, "Three-Dimensional Model for Coastal Ocean Circulation and Sea Floor Topography Changes: Application to the Java Sea", Dissertation, Kyoto University, Japan.
- WAMDI Group., 1998, "The WAM Model-A Third-generation Ocean Wave Prediction Model", *J. Phys. Oceanography* 18 : 1775-1810