

PREDIKSI WAKE WASH KAPAL CEPAT BERDASARKAN PENGUJIAN MODEL

Arifin

PTRIM-BPPT

arifinsah03@gmail.com

Abstrak: Kapal yang bergerak di perairan terlebih pada kecepatan yang cukup tinggi akan menimbulkan gelombang Kelvin. Gelombang yang diakibatkan oleh pergerakan kapal cepat yang melintas di dekat pantai atau sungai seringkali menyebabkan permasalahan kerusakan lingkungan. Meningkatnya permasalahan yang ditimbulkan, mendorong perencana kapal untuk mengurangi pengaruh energi gelombang yang ditimbulkan oleh kapal tersebut. Suatu penelitian dengan menggunakan metode pengujian model kapal dilakukan untuk mendapatkan data tinggi gelombang pada beberapa harga y/L dan harga *Froude Number* yang berbeda. Model kapal untuk pengujian dibuat dari bahan fiberglass dengan skala model tertentu. Dari hasil penelitian diketahui bahwa semakin besar harga y/L (semakin jauh dari garis lintasan kapal), maka semakin kecil nilai tinggi gelombang maksimum yang terjadi. Adapun semakin besar *Froude Number* maka tinggi gelombang maksimum yang terjadi cenderung semakin besar.

Kata kunci: Gelombang Kelvin, Kapal Cepat, Froude Number, Tinggi Gelombang

PENDAHULUAN

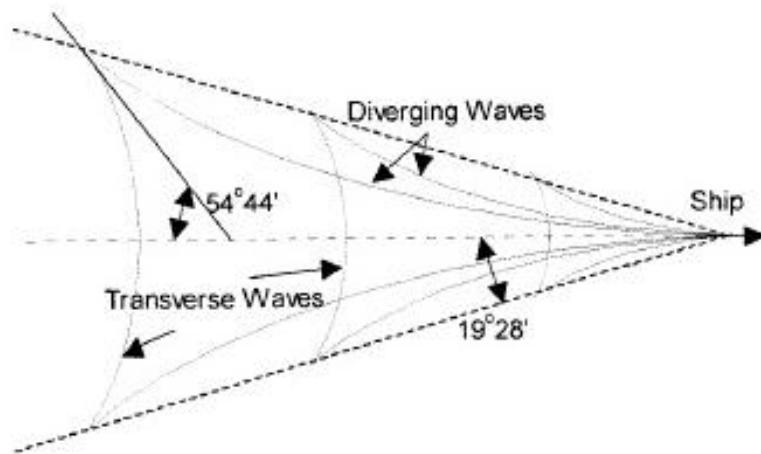
Dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan sarana transportasi, maka moda transportasi air merupakan pilihan yang tepat. Hal ini dikarenakan adanya kesiapan, daya dukung yang besar dan biaya modal yang relatif rendah, yaitu kapal dan pelabuhan. Terlebih, banyak kota besar dan kota kecil yang terletak di sekitar perairan dan berpotensi untuk mengambil keuntungan dari pemanfaatan moda transportasi ini (European Commission, _). Namun jika dilihat dari sisi lain, dampak peningkatan lalu lintas air sangat penting dan harus dipertimbangkan, khususnya dampak hembusan gelombang kapal. Kekhawatiran dampak tersebut berupa kerusakan lingkungan dan resiko keselamatan publik (Pattiaratchi, 1990).

Gelombang/wake yang ditimbulkan oleh pergerakan kapal cepat menjadi aspek penting dalam tahapan perencanaan kapal dan sebagai bahan evaluasi terhadap kapal-kapal yang sudah beroperasi. Akhir-akhir ini, banyak keluhan di masyarakat terkait dengan erosi lahan yg ada terjadi di pinggiran alur pelayaran. Gelombang panjang yang ditimbulkan oleh pergerakan kapal terlebih bila frekuensi lalu lintas kapal cukup tinggi, maka akan menambah serius permasalahan yang ada. Dengan demikian perlu adanya suatu penelitian yang pada akhirnya nanti akan menghasilkan satu peraturan terkait dengan hal tersebut.

Dalam pembuatan peraturan terkait dengan masalah wake wash kapal terutama kapal cepat yang melintas di perairan terbatas, seringkali melibatkan kajian secara teoritis maupun uji model. Suatu kajian (Blume, 2001) merekomendasikan sistem pendekatan untuk evaluasi pembangkitan, perambatan dan dampak dari *wake*. Faktor-faktor yang mempengaruhi *wake wash* cukup banyak dan rumit, akan tetapi faktor tersebut dapat dikelompokkan menjadi 3 kategori yaitu: 1) Pembangkitan gelombang di kapal, 2) Penjalaran gelombang, dan 3) Transformasi gelombang di perairan dangkal.

Pada penelitian ini yang difokuskan pada penjalaran gelombang di perairan dalam dan transformasi di perairan dangkal, merupakan topik penting dalam evaluasi pengaruh *wake wash* sebagai bagian dari tahanan kapal. Adapun fokus dari evaluasi penjalaran gelombang adalah pada bentuk gelombang dan hubungannya dengan kedalaman dan kecepatan kapal.

Kapal yang bergerak di permukaan air akan menimbulkan gelombang Kelvin (Reynold, 2002) yang terdiri atas gelombang divergen yang muncul dari centreline pergerakan kapal dengan membentuk sudut tertentu dan gelombang transversal yang muncul dari bagian buritan kapal pada centreline pergerakan kapal. Gelombang tersebut sangat mudah ditemukan dengan melihat pergerakan kapal dari tempat yang tinggi misalnya dari atas jembatan atau tempat lain yang cukup tinggi (Stumbo et.al, 1999).

**Gambar 1.** Gelombang Kelvin

Pembangkitan gelombang divergen merupakan fungsi bentuk lambung kapal (koefisien prismatic), sudut masuk haluan, kecepatan serta rasio kecepatan dan panjang gelombang $V/(L_s)^{0.5}$. Hal tersebut merupakan hal penting dalam pertumbuhan tinggi dan energi gelombang yang merambat, terutama pada kecepatan rendah dan sedang. Bentuk gelombang transversal pada umumnya dapat diabaikan pada kecepatan rendah, tetapi akan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan yaitu pada *Froude Number* panjang, F_{nl} sekitar 0.6 dan pada kecepatan yang lebih tinggi gelombang transversal akan menghilang pada $0.6 \leq F_{nl} \leq 1.0$ (Whittaker, 2001).

Sudut α yang terbentuk sekitar $19,4^\circ$ untuk setiap kapal, akan tetapi sudut β bervariasi terhadap bentuk lambung dan kecepatan, yang makin rendah pada harga rasio kecepatan dan panjang (4° - 10°) dan makin tinggi pada rasio kecepatan panjang (20° - 30°). Pentingnya sudut kemiringan β adalah merupakan arah pergerakan energi. Pada umumnya, semakin baik bentuk haluan kapal maka semakin kecil sudut β dan semakin kecil panjang gelombang dan periode gelombang yang terjadi. Dengan demikian maka densitas energi gelombang yang terjadi akibat pergerakan kapal akan semakin kecil (Stumbo, 2000).

PENDEKATAN TEORITIS

Tinggi gelombang yang ditimbulkan saat kapal bergerak di perairan bisa diprediksi menggunakan model regresi (Kriebel, 2005). Model tersebut dikembangkan dari analisa regresi data gelombang dari pengujian model berbagai jenis kapal.

Perumusan yang digunakan sebagian besar merupakan modifikasi dan kombinasi dari perumusan yang didapatkan oleh Sorensen (Sorensen, 1997) , (Gates dan Herbich. 1977). Data kapal yang digunakan dalam pengujian memiliki kisaran Froude Number, F_{nh} hingga 0.8. Beberapa perumusan yang digunakan diantaranya adalah:

Tinggi gelombang tertinggi pada jarak y dari tengah lintasan kapal seperti persamaan 1 berikut :

$$H = \frac{V_s^2}{g} \beta (F_* - 0.1)^2 \left(\frac{y}{L}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

Modifikasi *Froude Number* seperti pada persamaan 2.

$$F_* = F_L(e)^{\alpha \frac{R}{d}} \quad (2)$$

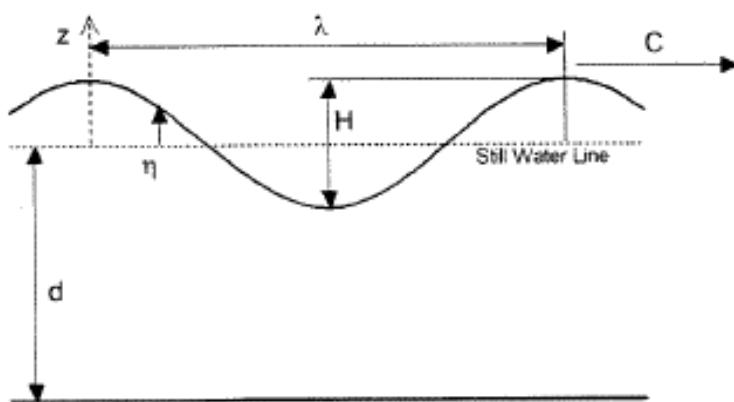
Parameter *hull form* seperti pada persamaan 3.

$$\begin{aligned} \alpha &= 2.35(1 - C_b) \\ \beta &= 1 + 8 \tanh^3 \left(0.45 \left(\frac{L}{L_e} - 2 \right) \right) \end{aligned} \quad (3)$$

dimana:

- H : tinggi gelombang maksimum (m)
- C : kecepatan gelombang (m/s)
- F_L : *Froude Number* panjang kapal
- F_d : *Froude Number* kedalaman air
- F* : modifikasi *Froude Number*
- L_{PP} : panjang antara garis tegak kapal
- d : kedalaman air
- R : sarat kapal
- C_b : koefisien *block*
- L_e : panjang garis masuk di haluan
- V_s : kecepatan kapal
- α : koefisien terkait bentuk lambung kapal
- β : koefisien terkait bentuk haluan kapal
- y : jarak arah lateral dari garis lintasan kapal
- L_w : panjang gelombang
- θ : sudut antara garis lintasan kapal dengan gelombang divergence.

Adapun parameter gelombang didefinisikan sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 2 berikut.



Gambar 2. Parameter Gelombang Permukaan 2-D.

Seminar Nasional Kelautan XIV

" Implementasi Hasil Riset Sumber Daya Laut dan Pesisir Dalam Peningkatan Daya Saing Indonesia"
Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah, Surabaya 11 Juli 2019

Gelombang akan menjalar sepanjang jarak λ dalam satu periode T, sehingga kecepatan penjalaran gelombang dirumuskan pada persamaan 4 berikut:

$$C = \lambda/T \quad (4)$$

Penentuan persamaan penjalaran gelombang diperoleh melalui penyelesaian potensial kecepatan yang memenuhi persamaan Laplace pada persamaan 5 berikut.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (5)$$

Diberikan kondisi batas aliran yang tegak lurus terhadap dasar, kondisi batas kinematik dan dinamik permukaan, sehingga diperoleh penyelesaian persamaan dalam bentuk sederhana pada persamaan 6 berikut:

$$C = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{\lambda}} \quad (6)$$

Berikut adalah batasan kecepatan gelombang di perairan dengan kedalaman terbatas. Untuk rentang harga $0.5 < \tanh 2\pi d/\lambda < 0.05$, persamaan lengkap itu harus digunakan, dan panjang gelombang bisa diperoleh dengan menggunakan persamaan dispersi secara berulang dengan cara memasukkan persamaan 2 ke dalam persamaan 4, sehingga diperoleh persamaan 7 dan 8 berikut:

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{\lambda} \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{\lambda} \quad (8)$$

Terlihat bahwa ketika gelombang merambat dari perairan dalam menuju perairan dangkal, maka panjang dan percepatan gelombang akan berubah, namun periode gelombangnya tetap (Ippen, 1966).

Pola Wake Wash

Suatu besaran yang biasa digunakan untuk mengukur gelombang yang ditimbulkan oleh pergerakan kapal di perairan dalam pada persamaan 9 berikut:

$$F_{nh} = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (9)$$

Dimana :

- | | |
|---|------------------------|
| V | : kecepatan kapal |
| g | : percepatan gravitasi |
| h | : kedalaman perairan. |

Suatu kapal dapat dianggap bebas dari pengaruh kedalaman air jika harga h/L_{WL} lebih besar dari 1. Harga *Froude Number* kedalaman merupakan batasan kritis dalam penentuan karakteristik gelombang kapal pada perairan dangkal, sedangkan *Froude Number* panjang menentukan karakteristik gelombang di perairan dalam. Akan tetapi pengaruh harga kritis tersebut F_{nh} lebih jelas dan dapat didefinisikan dengan baik dibandingkan *Froude Number* panjang.

Seminar Nasional Kelautan XIV

" Implementasi Hasil Riset Sumber Daya Laut dan Pesisir Dalam Peningkatan Daya Saing Indonesia"
Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah, Surabaya 11 Juli 2019

Froude Number panjang dirumuskan pada persamaan 10 berikut :

$$F_{nl} = \frac{V}{\sqrt{g(LWL)}} \quad (10)$$

Berdasarkan rumus *Froude Number* fungsi kedalaman air, maka Froude Number dapat diklasifikasikan menjadi 5 kategori:

1. Sub-kritis ; $F_{nh} < 1$
2. Kritis ; $F_{nh} = 1$ (kecepatan kapal = kecepatan maksimum gelombang)
3. Super-Kritis ; $F_{nh} > 1$ (kecepatan kapal > kecepatan gelombang)
4. Kecepatan Tinggi Super-Kritis ; hampir sama dengan Sub-Kritis, hanya saja pada kondisi kecepatan tinggi suatu kapal di perairan dalam dapat menghasilkan gelombang divergence dengan atau tanpa adanya komponen gelombang transversal yang tergantung pada harga Froude Number fungsi panjang kapal.
5. Trans-Kritis ; mendekati harga Froude Number fungsi kedalaman pada rentang harga $0.85 - 1.1$

Pengaruh Kedalaman Air

Pada perairan dangkal, gradien tekanan pada badan kapal dan pola gelombang yang ditimbulkan oleh pergerakan kapal, dipengaruhi oleh gelombang yang dipantulkan oleh dasar perairan. Jika suatu gelombang merambat di perairan dengan kedalaman kurang dari 0.5 panjang gelombang, maka gerakan partikel gelombang akan mencapai dasar perairan, dengan demikian kedalaman air akan mempengaruhi karakteristik gelombang tersebut.

$$C = L_T / \sqrt{gd} \quad (11)$$

Harga perbandingan kecepatan kapal terhadap kecepatan gelombang maksimum di perairan dangkal sering digunakan untuk mengklasifikasikan gelombang yang ditimbulkan oleh kapal saat beroperasi.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan korelasi data antara tinggi gelombang *wake wash* pada jarak lateral tertentu dari garis lintasan kapal adalah dengan menggunakan uji model di kolam *Manoeuvring Ocean engineering Basin* (MOB). Fasilitas uji ini memiliki alat ukur tinggi gelombang sehingga memungkinkan dilakukan pengukuran tinggi gelombang pada banyak titik lokasi pengukuran secara akurat.

Pengujian Model

Pengujian di lakukan di kolam *Manoeuvring Ocean engineering Basin* (MOB), lihat gambar 3 yang memiliki ukuran kolam 60m x 35m x 2.5m. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi kecepatan model 1.2 – 1.7 m/s. Adapun beberapa besaran yang diukur selama proses uji model adalah gerakan heave dan pitch kapal serta tinggi gelombang pada 7 titik pengukuran yang telah ditentukan, sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 1.

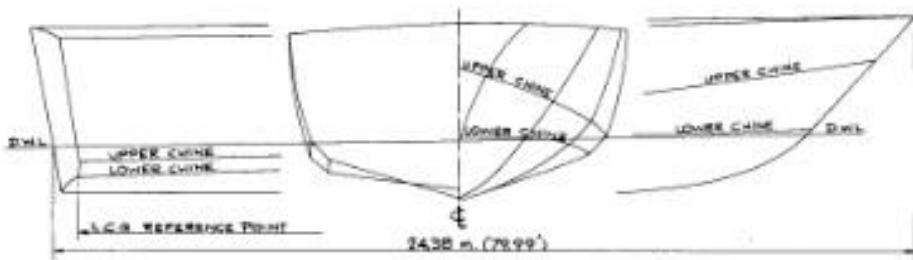
Seminar Nasional Kelautan XIV

" Implementasi Hasil Riset Sumber Daya Laut dan Pesisir Dalam Peningkatan Daya Saing Indonesia"
Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah, Surabaya 11 Juli 2019



Gambar 3. Fasilitas Uji Model MOB.

Pengujian dilakukan untuk meneliti kejadian gelombang wake wash yang ditimbulkan oleh pergerakan model di air tenang pada rentang harga Froude Number tertentu (0.6-1.4). Pengujian dilakukan dengan menggunakan model penumpang kapal cepat, yang memiliki bentuk lambung sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 4.



Gambar 4. Lines Plan Kapal

Tabel 1. Posisi Pengukuran Tinggi Gelombang

Wave Probe No.	Posisi terhadap CL Lintasan (m)
WP # 1	2,0
WP # 2	4,5
WP # 3	7,3
WP # 4	10,3
WP # 5	13,3
WP # 6	16,3
WP # 7	19,3

Setup Pengujian

Setup pengujian model ini perlu direncanakan sedemikian rupa agar bisa diperoleh semua data-data pengukuran. Satu hal yang cukup penting adalah penentuan posisi di kolam uji sehingga bisa diperoleh semua data gelombang pada semua lokasi pengukuran. Selain itu, harus dipastikan bahwa tidak terjadi gelombang pantul selama proses pengukuran tinggi gelombang.

Seminar Nasional Kelautan XIV

" Implementasi Hasil Riset Sumber Daya Laut dan Pesisir Dalam Peningkatan Daya Saing Indonesia"
Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah, Surabaya 11 Juli 2019

Setelah posisi lintasan pergerakan model uji ditentukan relatif terhadap dinding kolam uji, maka selanjutnya ditentukan posisi penempatan alat ukur tinggi gelombang sebagaimana yang telah direncanakan (gambar 5).



Gambar 5. Setup Wave Probe di Kolam Uji

Pengujian model dilakukan dengan metode uji *captive test* dimana model uji ditarik menggunakan *Ship Model Movement* (SMM) yang menempel pada *Carriage* yang digerakkan sesuai kecepatan uji yang direncanakan, lihat gambar 6.



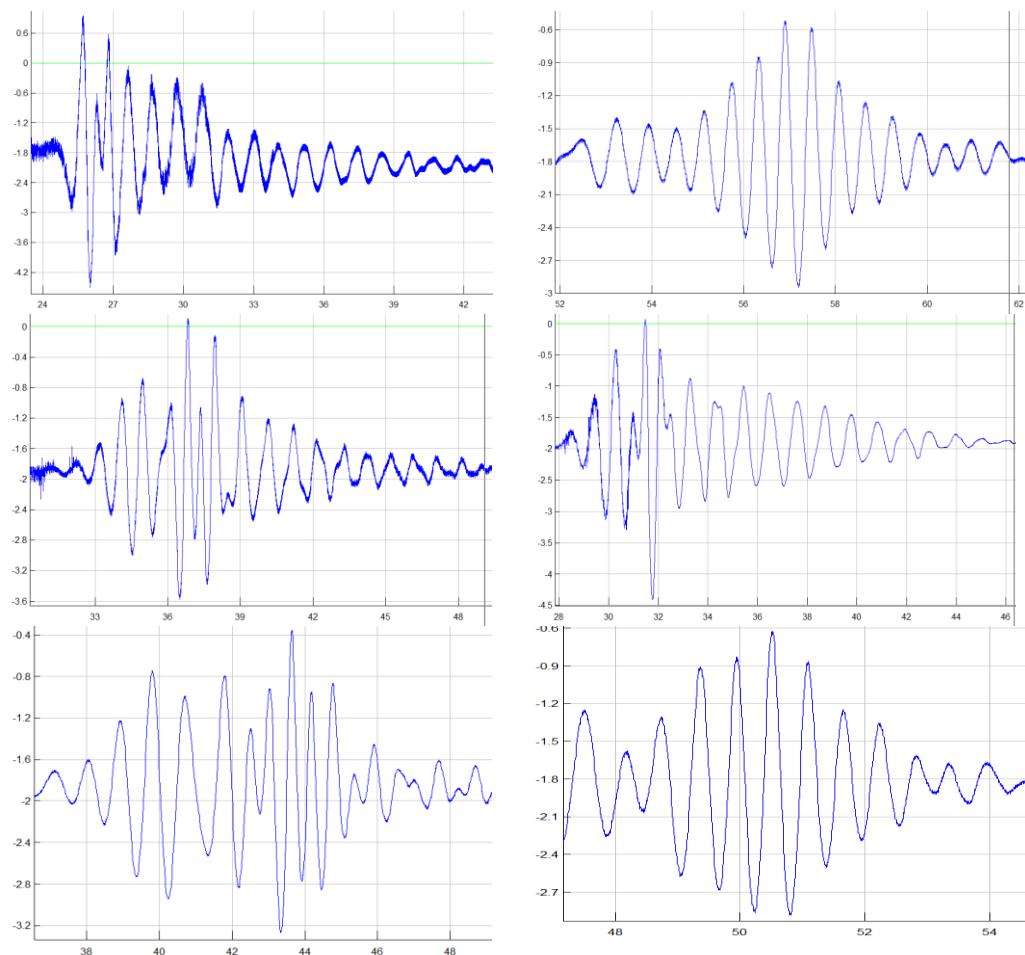
Gambar 6. Setup Model Uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari tahap awal hasil perekaman data pengukuran pengujian model yang dilakukan maka diperoleh data hasil uji yang bisa ditampilkan dalam bentuk time history sebagaimana diperlihatkan pada gambar 7 berikut.

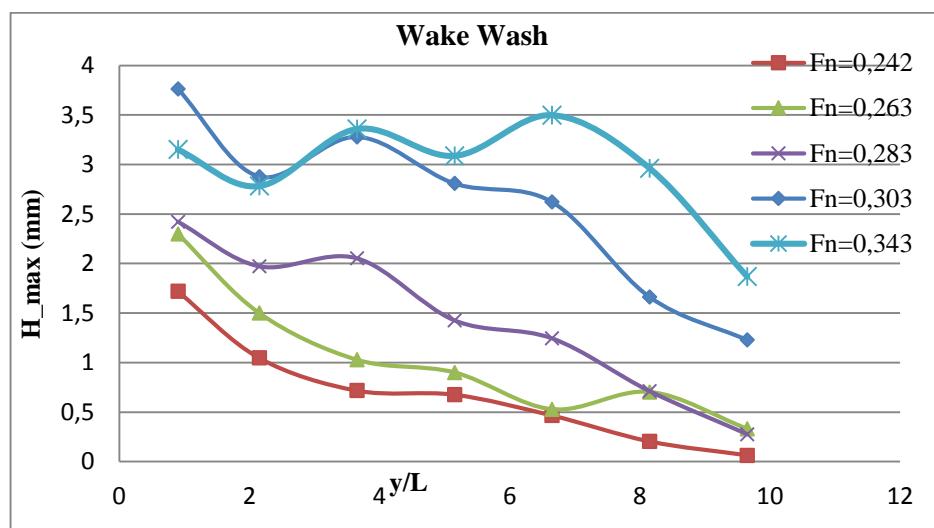
Seminar Nasional Kelautan XIV

" Implementasi Hasil Riset Sumber Daya Laut dan Pesisir Dalam Peningkatan Daya Saing Indonesia"
 Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah, Surabaya 11 Juli 2019



Gambar 7. Time History Wave Probe No. 1-6

Secara grafis, hasil pengukuran tinggi gelombang wake wash maksimum yang terjadi di sekitar kapal pada beberapa harga *Froude Number*, ditunjukkan oleh gambar 8 berikut.



Gambar 8. H max pada harga y/L

Data-data uji model selanjutnya dianalisis sehingga diperoleh ringkasan hasil uji sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2-6 sebagai berikut

Tabel 2. Wake Wash

F_n	y	y/L	H (mm)
0,242	1,8	0,9	1,72
	4,3	2,15	1,047
	7,3	3,65	0,717
	10,3	5,15	0,676
	13,3	6,65	0,466
	16,3	8,15	0,204
	19,3	9,65	0,064
0,263	1,8	0,9	2,300
	4,3	2,15	1,500
	7,3	3,65	1,028
	10,3	5,15	0,900
	13,3	6,65	0,528
	16,3	8,15	0,703
	19,3	9,65	0,331
0,283	1,8	0,9	2,422
	4,3	2,15	1,971
	7,3	3,65	2,052
	10,3	5,15	1,426
	13,3	6,65	1,244
	16,3	8,15	0,711
	19,3	9,65	0,277
0,303	1,8	0,9	3,763
	4,3	2,15	2,878
	7,3	3,65	3,278
	10,3	5,15	2,808
	13,3	6,65	2,621
	16,3	8,15	1,663
	19,3	9,65	1,229
0,343	1,8	0,9	3,151
	4,3	2,15	2,782
	7,3	3,65	3,359
	10,3	5,15	3,087
	13,3	6,65	3,498
	16,3	8,15	2,962
	19,3	9,65	1,868

Seminar Nasional Kelautan XIV

" Implementasi Hasil Riset Sumber Daya Laut dan Pesisir Dalam Peningkatan Daya Saing Indonesia"
Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah, Surabaya 11 Juli 2019

KESIMPULAN

Kapal yang bergerak di perairan terutama pada kecepatan tinggi akan menimbulkan gelombang Kelvin. Besarnya gelombang Kelvin dapat ditentukan melalui pengujian model kapal di kolam uji pada beberapa harga Froude Number. Dari pengujian model tersebut dapat ditentukan tinggi gelombang maksimum yang terjadi di sekitar kapal pada beberapa harga Froude Number. Semakin besar harga y/L (semakin jauh dari garis lintasan kapal), maka semakin kecil nilai tinggi gelombang maksimum yang terjadi. Adapun semakin besar harga Froude Number maka tinggi gelombang maksimum yang terjadi cenderung semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- European Commission, (____) “*Navigation and Inland Waterway Action and Development in Europe (NAIADES)*”, www.naiades.info.
- Pattiaratchi, C. and Hegge, B., (1990) “*Impact of Ferry and Large Vessel Traffic on Swan River Foreshore Erosion*”, Centre for Water Research Report WP 452 CP, University of Western Australia.
- Blume, A.L., (2001), “*Managing Wake Wash from High-Speed Vessel: An Overview of Guidelines Being Developed by PIANC*”, 17th Fast Ferry Conference, New Orleans, LA.
- Reynolds E.J. (2002), “*A Review of Wake Wash for the Practicing Naval Architect*”.
- Stumbo, S., Fox, K., Dvorak, F. and Elliot, L, 1999, “*The Prediction, Measurement, and Analysis of Wake Wash from Marine Vessels*”, Marine Technology, Vol. 36, No. 4.
- Whittaker Trevor, J.T., (2001), An Experimental Investigation of the Physical Characteristics of Fast Ferry Wash, *2nd International Euro-Conference on High-Performance Marine Vehicles HIPER'01*, Coastal Engineering; Queen's University of Belfast.
- Stumbo, S., Fox, K. and Elliott, L., (2000), “*An Assessment of Wake Wash Reduction of Fast Ferries at Supercritical Froude Numbers and at Optimized Trim*”, Marine Technology, Vol. 40, No. 5.
- Kriebel, Seelig, (2005), “*An Empirical Model for Ship Generated Waves*”, Waves 2005 Conference.
- Sorensen, R. M., (1997), “*Prediction of Vessel-Generated Waves with Reference to Vessels Common to the Upper Mississippi River System*”. Upper Mississippi – Illinois Waterway System, Navigation Study, ENV Report 4.
- Gates, E.T. and Herbich, J.B, (1977), “*The Squat Phenomenon and Related Effects of Chemical Geometry*”, 25th Annual Hydraulics Division Conference, ASCE, Texas.
- Ippen, (1966), “*Estuary and Coastline Hydrodynamics*”, Mc. Graw Hill, New York.