

ANALISIS PENGARUH VARIASI GEOMETRY *BULBOUS BOW* TERHADAP PROBABILITAS *SLAMMING* LAMBUNG KAPAL PADA KONDISI GELOMBANG REGULER (Studi Kasus Kapal Kontainer 4180 DWT)

Heni Siswanti, Muhammad Musta'in, Akh. Maulidi

Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Negeri Madura
Jl. Raya Camplong KM-4, Taddan, Camplong, Sampang, Jawa Timur, Indonesia

Email: henisiswanti31@gmail.com

Abstrak

Salah satu faktor lingkungan yang mempengaruhi kemungkinan terjadinya kecelakaan kapal adalah tinggi gelombang. Tinggi gelombang yang ekstrim dapat menyebabkan haluan kapal terhempas ke permukaan air laut (*slamming*). *Slamming* dapat menyebabkan buckling lokal dan deformasi pada plat bottom di haluan kapal. Pada kondisi tertentu, *slamming* dapat menyebabkan kerusakan pada struktur haluan kapal. Pada penelitian ini dibahas pengaruh penggunaan *Bulbous bow* dengan beberapa variasi *geometry* terhadap probabilitas *slamming* pada kapal container 4180 DWT. Analisis dilakukan pada kondisi tinggi gelombang 1,5 - 3 meter sesuai dengan kondisi ketinggian gelombang pada jalur pelayaran kapal ini yaitu di Selat Makassar. Dimensi geometri *Bulbous bow* memiliki panjang dan tinggi yang sama, dengan 4 variasi lebar berdasarkan nilai CBB 0,17-0,20. Analisis respon gerak kapal dilakukan pada dua jenis yaitu *heaving* dan *pitching*, dalam kondisi draft maksimum, 5,5 meter dan kecepatan 11,9 knot (6,12 m / s) dengan sudut heading 180°. Selanjutnya dihitung spektrum respon dengan cara mengalikan spektrum gelombang dengan nilai *Response Amplitude Operator* (RAO). Dari hasil analisis diketahui bahwa gelombang yang lebih tinggi menghasilkan respon yang lebih besar terhadap gerakan *heaving* dan *pitching*. Gelombang yang lebih tinggi juga menghasilkan *spektrum relatif bow motion* (RBM) yang lebih tinggi. Pada keempat variasi *geometry Bulbous bow* diketahui bahwa semakin tinggi nilai CBB maka probabilitas *slamming* semakin besar, dengan perbedaan nilai yang tidak signifikan atau mendekati sama. Akan tetapi nilai probabilitas *slamming* ini masih jauh lebih rendah daripada probabilitas *slamming* kapal tanpa *bulbous bow*. Pada tinggi gelombang tertentu (2-3 meter) penggunaan *Bulbous bow* pada kapal ini mengurangi probabilitas *slamming* sebesar 17-49% dan menurunkan intensitas *slamming* per jam sebesar 24-45%.

Kata Kunci: *Geometry, Bulbous bow, Probabilitas, Intensitas, Slamming*

Abstract

One of the environmental factors that influence the possibility of a ship accident is the wave height. Extreme wave height can cause the ship's bow to slam into the sea surface (*slamming*). *Slamming* can cause local buckling and deformation of the bottom plate in the bow of the boat. Under certain conditions, *slamming* can cause damage to the bow structure of the ship. This research discusses the effect of using a *Bulbous bow* with several geometric variations on the *slamming* probability of a 4180 DWT container ship. The analysis was carried out at wave height conditions of 1.5 - 3 meters in accordance with the conditions of the wave height on the shipping route of this ship, namely the Makassar Strait. The geometric dimensions of the *Bulbous bow* have the same length and height, with 4 width variations based on CBB values from 0.17 to 0.20. Analysis of the response to ship motion was carried out on two types, namely *heaving* and *pitching*, in the maximum draft condition, 5.5 meters and a speed of 11.9 knots (6.12 m / s) with a heading angle of 180°. Next, the response spectrum is calculated by multiplying the wave spectrum with the Response Amplitude Operator (RAO) value. From the analysis it is known that the higher waves produce a greater response to the *heaving* and *pitching* movements. Higher waves also produce a higher relative bow motion (RBM) spectrum. In the four variations of *Bulbous bow* geometry, it is known that the higher the CBB value, the greater the *slamming* probability, with the difference in values that are not significant or close to the same. However, the *slamming* probability value is still much lower than the *slamming* probability of ships without *bulbous bow*. At certain wave heights (2-3 meters) the use of the *Bulbous bow* on this ship reduces the *slamming* probability by 17-49% and decreases the *slamming* intensity per hour by 24-45%.

Keywords: *geometry, Bulbous bow, Probability, intensity, Slamming*

1. PENDAHULUAN

Wilayah perairan Indonesia pada waktu-waktu tertentu akan mengalami masa gelombang tinggi. Kondisi ini sangat

berpengaruh terhadap operasional kapal niaga yang mendistribusikan barang komoditas dan kebutuhan ke beberapa wilayah di Indonesia. Salah satu contoh kejadian kecelakaan kapal akibat gelombang tinggi adalah kecelakaan

kapal niaga berikut. Pada tanggal 8 Juli 2013 telah terjadi kasus kecelakaan kapal yaitu tenggelamnya Kapal kontainer KM. Permai di Perairan Pulau Menui, Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah (Sultra). Kapal kontainer KM. Permai berlayar dari Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya ke Papua. Kapal tersebut tenggelam disebabkan oleh hantaman ombak dan angin kencang yang melanda Pulau Menui bagian timur yang berbatasan dengan Laut Banda sehingga kapal mengalami hempasan akibat gelombang yang mengenai bagian haluan kapal dan kemudian tenggelam. Probabilitas kecelakaan kapal dapat disebabkan oleh faktor manusia, faktor lingkungan dan faktor teknis kapal. Penelitian mengenai probabilitas kecelakaan kapal tenggelam di wilayah selat Makassar [1]. Dalam Penelitiannya digunakan metode FTA (*Fault Tree Analysis*) untuk mendapatkan probabilitas kecelakaan kapal, dan didapatkan nilai probabilitas faktor manusia sebesar 0,0049098, faktor lingkungan sebesar 0,1465512, faktor teknis kapal sebesar 2,3801.10-10 dan probabilitas kecelakaan kapal tenggelam sebesar 0,1514611. Dari penelitian tersebut dapat dilihat bahwa faktor lingkungan memiliki nilai probabilitas kecelakaan tertinggi [1]. Faktor lingkungan yang berpengaruh salah satunya yaitu tinggi gelombang. Tinggi gelombang perairan yang ekstrim dapat mengakibatkan bagian haluan kapal terhempas yang dikenal dengan istilah *slamming*. Dalam penelitian Putra (2014) dikatakan bahwa *slamming* kecil atau sedang telah diketahui sebagai penyebab buckling lokal dan deformasi pada pelat alas bagian haluan kapal. Pada kondisi tertentu hempasan pada bagian haluan dapat menyebabkan rusaknya struktur bagian haluan kapal berupa crack dan pecah pada lambung kapal.

Efek *slamming* yang diakibatkan hempasan gelombang yang mengenai bagian haluan kapal dapat dikurangi dengan memodifikasi bentuk lambung kapal, baik secara keseluruhan maupun sebagian. Perubahan bentuk lambung kapal dibawah permukaan air secara keseluruhan dapat

dilakukan dengan mengubah nilai koefisien block (C_b) ataupun mengubah bentuk dari monohull menjadi multihull. Cara lain yang dapat digunakan untuk mengurangi efek *slamming* adalah dengan melakukan modifikasi pada bagian haluan kapal dengan memasang *bulbous bow*. *Bulbous bow* ini juga dikenal juga dengan istilah anti-*slamming bow*. *Bulbous bow* berfungsi sebagai pemecah ombak berperan menginterferensikan gelombang yang datang dari haluan kapal sehingga energi gelombang di sekitar lambung kapal akan berkurang, dengan demikian efek *slamming* dapat diminimalisir. Penambahan *Bulbous bow* dapat meningkatkan kualitas seakeeping dengan mengurangi respon gerakan pitch (gerakan rotasi searah sumbu Y) sekitar 15-20%. [1]

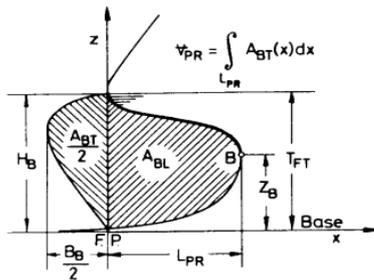
Pada penelitian ini dilakukan perancangan *Bulbous bow* pada lambung kapal kontainer 4180 DWT. *Bulbous bow* yang akan dipasang pada lambung kapal tersebut adalah type elips. Geometry *Bulbous bow* yang digunakan memiliki panjang (LPR) dan tinggi (ZB) yang tetap, akan tetapi lebarnya (BB) divariasikan menjadi 4 variasi berdasarkan nilai CBB 0,17-0,20. Sebagai pembandingan juga dibuat model lambung kapal tanpa *bulbous bow*. Selanjutnya lambung kapal dengan beberapa variasi geometry *Bulbous bow* tersebut dianalisis dengan menggunakan software simulasi [2].

Analisis nilai probabilitas *slamming* dilakukan pada kondisi gelombang dianggap reguler (beraturan), dengan spektrum gelombang berdasarkan ITTC pada tinggi gelombang 1,5 m, 2 m, 2,5 m dan 3 m pada kondisi kecepatan servis kapala dan sudut heading 180°. Analisis dilakukan untuk mendapatkan nilai probabilitas *slamming* dari masing-masing lambung kapal tersebut [1]. Sehingga dapat diketahui bagaimana pengaruh penggunaan *Bulbous bow* pada lambung kapal dan juga pengaruh perbedaan geometry *Bulbous bow* terhadap probabilitas dan intensitas *slamming* lambung kapal 4180 DWT pada kondisi gelombang reguler.

2. METODE

2.1 Desain Variasi Geometri *Bulbous bow*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan desain geometri *Bulbous bow* dengan beberapa variasi di koefisien CBB (lebar *bulbous bow*). Dalam menentukan ukuran dimensi variasi dari *Bulbous bow* ini didasarkan dari parameter *Linear Form Coefficients* yang terdapat pada gambar 1 [3]:



Gambar 1. Geometry *Bulbous bow* [3]

Untuk menentukan dimensi geometri *bulbousbow* menggunakan rumus 1, 2 dan 3.

$$\text{Breadth Coefficients } (C_{BB}): \frac{B_B}{B} \quad (1)$$

$$\text{Length Coefficients } (C_{LPR}): \frac{L_{LPR}}{L_{PP}} \quad (2)$$

$$\text{Height Coefficients } (C_{ZB}): \frac{Z_B}{T_{FT}} \quad (3)$$

Dimana:

LPR: panjang *Bulbous bow* dari *forepeak*

BB : lebar *Bulbous bow* pada garis *forepeak*

ZB : tinggi *Bulbous bow* dari *baseline*

Sedangkan nilai dari *linear form coefficients* menggunakan tabel 1 berikut:

Tabel 1. *Linear Form Coefficients* (sumber: KRACHT, Design Of *Bulbous bow*)

	Min	Max	Used
C _{BB}	0,17	0,20	0,17
C _{LPR}	0,018	0,031	0,023
C _{ZB}	0,26	0,55	0,44

2.2 Simulasi penentuan probabilitas *slamming*

Pada tahap ini dilakukan simulasi beberapa bentuk *bulbous bow* tersebut pada spectrum gelombang. Spektrum gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bretschneider atau ITTC, dengan tinggi gelombang signifikan sebesar 1,5 m, 2 m, 2,5 m dan 3 m. Simulasi juga dilakukan pada lambung kapal tanpa *Bulbous bow* untuk melihat perbedaan probabilitas *slamming*nya dengan ketiga variasi lambung dengan *bulbous bow* [3].

A. *Response Amplitude Operator (RAO)*

Respon gerakan kapal terhadap gelombang reguler dinyatakan dalam RAO (*Response Amplitude Operator*) [6]. RAO adalah rasio antara amplitudo gerakan kapal (baik translasi maupun rotasi) terhadap amplitudo gelombang pada frekwensi tertentu. RAO untuk gerakan translasi merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan kapal dengan amplitudo gelombang yang keduanya dalam satuan panjang Persamaan 4. Sedangkan gerakan rotasi merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) terhadap tinggi gelombang atau dapat pula dibandingkan dengan kemiringan gelombang yang merupakan perkalian angka gelombang, $k_w = \omega^2/g$ dengan amplitudo gelombang Persamaan 5.

Untuk mendapatkan respon gerakan kapal terhadap gelombang acak dapat digambarkan dengan spektrum respon. Spektrum respon didapatkan dengan mengalikan spektrum gelombang (S_ζ) dengan RAO^2 Persamaan 6.

$$RAO = \frac{z_0}{\zeta_0} \quad (\text{m/m}) \quad (4)$$

$$RAO = \frac{\theta_0}{\zeta_0} \quad (\text{deg/m})$$

$$RAO = \frac{\theta_0}{k_w \zeta_0} = \frac{\theta_0}{(\frac{\omega^2}{g}) \zeta_0} \quad (\text{rad/rad}) \quad (5)$$

$$S_{\zeta r} = RAO^2 \times S_\zeta(\omega) \quad (6)$$

B. Wave Spectrum

Pada penelitian ini spektrum gelombang yang digunakan berdasarkan Bretschneider atau ITTC sesuai pada Persamaan 7. Tinggi gelombang signifikan (H_s) dipilih tergantung dari jenis perairan yang dilalui oleh kapal.

$$S(\omega_w) = \frac{0.0081 g^2}{\omega_w^5} e^{-3.11/H_s^2 \omega_w^4} \tag{7}$$

Akibat pengaruh kecepatan kapal dan sudut datang gelombang, maka frekuensi gelombang insiden (ω_w) akan berubah menjadi frekuensi gelombang papasan atau *encountering wave frequency* (ω_e). Gelombang digunakan untuk membuat spektrum gelombang *encounter* ($S(\omega_e)$). Untuk menghitung frekuensi dan spektrum gelombang *encounter* dapat menggunakan Persamaan 8 dan 9.

$$\omega_e = \omega_w - \frac{\omega_w^2 V}{g} \cos \mu \tag{8}$$

$$S(\omega_e) = S(\omega_w) \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{4\omega_e V}{g}\right) \cos \mu}} \tag{9}$$

dimana:

- ω_e = frekuensi gelombang papasan (rad/s)
- ω_w = frekuensi gelombang (rad/s)
- V = kecepatan kapal (m/s)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

C. Gerak relatif vertikal

Menurut Bhattacharyya (1978), gerak relatif vertikal dari kapal diformulasikan sebagaimana persamaan 10 dan 11.

$$z_b = z + \xi \sin \theta \tag{10}$$

Dari persamaan diatas didapatkan persamaan *coupled Heaving and Pitching* sebagai berikut

$$z_b = z_a \cos(\omega_e t + \epsilon_z) + \xi \theta_a \cos(\omega_e t + \epsilon_\theta) = (z_b)_a \cos(\omega_e t + \epsilon_b) \tag{11}$$

dimana :

- z_b = gerakan relatif gabungan
- $(z_b)_a$ = amplitudo gerakan di titik b
= $z_a^2 + (\xi \theta_a)^2 + 2z_a \xi \theta_a \cos(\epsilon_z + \epsilon_\theta)$
- ϵ_b = sudut fase gerakan di titik b
= $\frac{Z_a \sin \epsilon_z + \xi \theta_a \sin \epsilon_\theta}{Z_a \cos \epsilon_z + \xi \theta_a \cos \epsilon_\theta}$

Gerakan vertikal terjadi di setiap titik di sepanjang kapal di atas gelombang regular [4]. Gerakan ini terjadi karena adanya gerakan *couple* antara gerakan *heave* dan *pitch*. Sehingga memungkinkan perbedaan gerakan di setiap titik di sepanjang kapal.

D. Gerakan Vertikal (Vertical Velocity)

Menurut buku Dynamic of Marine Vehicles by Bhattacharyya (1978), gerakan vertikal yang dimaksud adalah *heave* dan *pitch*. Dimana gerakan *heave* dan *pitch* ini berpusat pada titik berat kapal. Apabila gerak kapal pada gelombang regular akan bersifat harmonik. Untuk kecepatan vertikal pada sembarang titik terhadap CG sehingga didapatkan persamaan 12 dan 13.

$$Z\dot{\zeta} = \omega_e (Z\dot{\zeta})_a \cos \omega_e t \tag{12}$$

Dengan mempertimbangkan gerakan *heave* dan *pitch* sehingga didapatkan persamaan amplitudo gerakan sebagai berikut:

$$(Z\dot{\zeta})^2 = (Z)_a^2 + \omega_e \zeta^2 (\theta)_a^2 + 2(Z)_a (\theta)_a \zeta \cos(\epsilon_z - \epsilon_\theta) \tag{13}$$

Dimana:

- $(Z)_a$ = amplitudo kecepatan *heave* pada CG (m/det)
- $(\theta)_a$ = amplitudo kecepatan *pitch* pada CG (rad/det)
- ω_e = frekuensi papasan (*encountering frequency*)
= $\omega_w \{1 - (\omega_w^2 V \cos \mu / g)\}$
- ω_w = frekuensi gelombang (rad/sec)
- μ = sudut datang gelombang
gelombang haluan (*Head seas*) $\mu = 180^\circ$
gelombang buritan (*following seas*) $\mu = 0^\circ$
- $(Z)_a = \omega_e Z_a$ atau $(Z\dot{\zeta})_a = \omega_e (Z\dot{\zeta})_a$

E. Relative Bow Motion (RBM)

Relative Bow Motion adalah gerakan *couple heaving pitching* pada kapal. Untuk perhitungan *relative bow motion* di gelombang regular akan dilakukan dengan metode spectral

$$S_s = S_z + (X \cdot S_\theta) - S_z \quad (14)$$

Dimana:

S_s = Spectral density relative bow motion

S_z = Spectral density respon spectrum gerakan heave

S_θ = Spectral density respon spectrum gerakan pitch

S_z = Spectral density wave encounter spectrum

X = Jarak titik CG ke haluan kapal (m)

F. Probabilitas Slamming

Untuk menganalisa probabilitas *slamming* menggunakan persamaan 15 dan untuk menghitung intensitas *slamming* per jam menggunakan Persamaan 16.

$$P \{slamming\} = exp^{-y} \quad (15)$$

$$N_w = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2m_{0s}}{2m_{2s}}} \times P \{slamming\} \times 3600$$

(16)

Dimana

$$y = (T^2/2m_{0s}) + (V_{cr}^2/2m_{2s})$$

T = Jarak antara dasar haluan ke permukaan air (sarat kapal)

$$V_{cr} = velocity \ threshold \ (kecepatan \ ambang) = 0,093 \ (gL)^{1/2}$$

M_{0s} = Luasan dibawah kurva spektrum respon momen ke - 0

M_{2s} = Luasan dibawah kurva spektrum respon momen ke - 2

A. Sea keeping Criteria

Hasil perhitungan *seakeeping* dievaluasi dengan menyesuaikan standar kriteria *seakeeping* yang ada tergantung dari jenis kapal. Pada penelitian ini, standar *seakeeping* yang digunakan adalah standar kriteria

Nordfoks 1987 untuk probabilitas *slamming* yang terdapat pada Tabel 2 [6]-[9].

Tabel 2. Kriteria *Seakeeping* Nordfoks 1987 [5]

Criteria	Merchant Ship	Naval Vessels	Fast Small Craft
<i>Slamming</i> (Probability)	0,03 (L ≤ 100 m) 0,01 (L ≥ 300 m)	0,03	0,03

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain yang digunakan dalam penelitian ini adalah desain kapal Kontainer 4180 DWT dengan ukuran utama sebagai berikut:

Tabel 3. Principal Dimension

Loa	98 m
Lpp	92 m
B	16,5 m
H	7,8 m
T	5,5 m
Vs	11,9 knot
DWT	4180 ton

Dalam penelitian ini dibuat 4 variasi dimensi geometri *Bulbous bow* berdasarkan nilai C_{BB} sebagai berikut:

(1) Model A :

$$LPR = 2,116 \text{ m}$$

$$BB = 2,805 \text{ m}, \ BB/2 = 1,4025 \text{ m}$$

$$ZB = 2,420 \text{ m}$$

(2) Model B :

$$LPR = 2,116 \text{ m}$$

$$BB = 2,97 \text{ m}, \ BB/2 = 1,485 \text{ m}$$

$$ZB = 2,420 \text{ m}$$

(3) Model C :

$$LPR = 2,116 \text{ m}$$

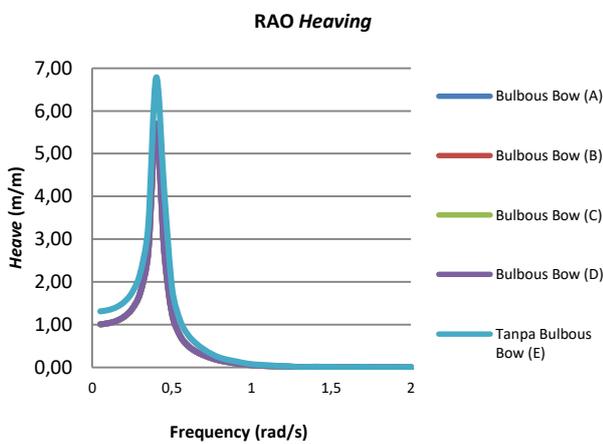
$$BB = 3,135 \text{ m}, \ BB/2 = 1,5675 \text{ m}$$

$$ZB = 2,420 \text{ m}$$

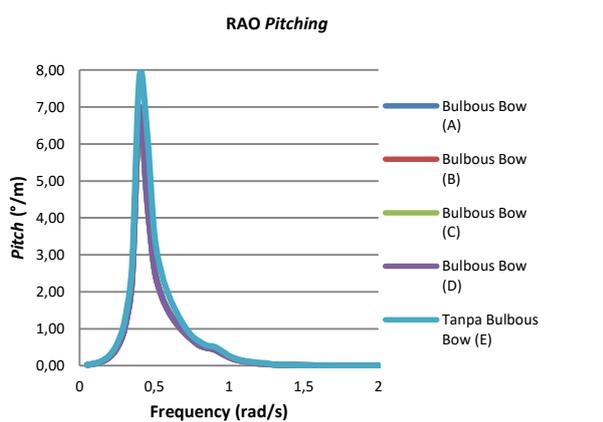
- (4) Model D :
 - LPR = 2,116 m
 - BB = 3,30 m , BB/2 = 1,650 m
 - ZB = 2,420 m

3.1 Analisis Respon Gerak di Gelombang Reguler

Analisis respon gerak kapal dilakukan pada dua jenis gerakan yaitu *heave* dan *pitch* dengan sarat kapal yaitu sarat muatan penuh 5,5 meter dengan kecepatan 11,9 knot atau 6,12 m/s dan sudut *heading* 180°. Dari hasil simulasi didapatkan hasil berupa RAO *heaving* dan *pitching*.



Gambar 3. RAO Heaving



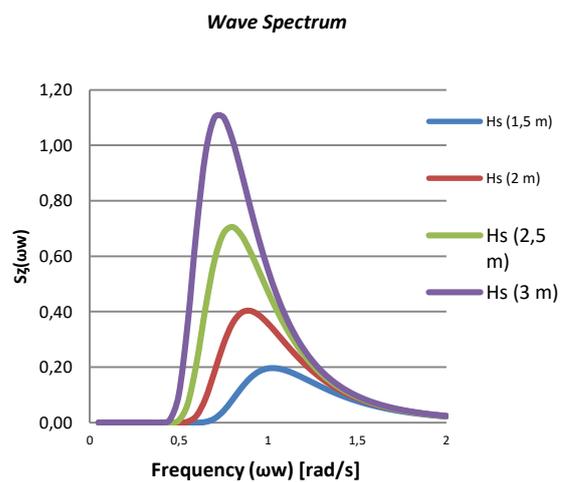
Gambar 2. RAO Pitching

Hasil analisis RAO diatas dapat ditentukan bahwa untuk sarat 5,5 meter gerakan *heave* terbesar terjadi pada model tanpa *Bulbous bow* dengan nilai *heave* 6,781

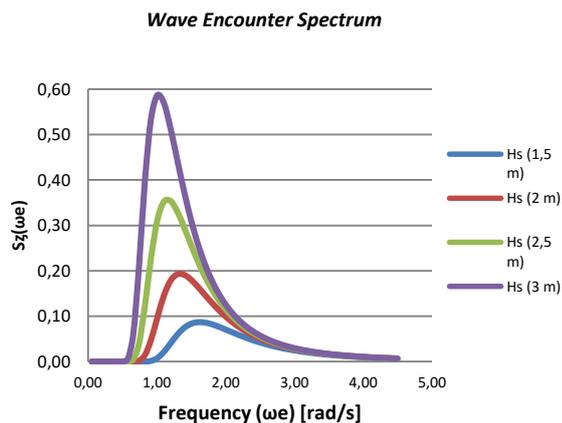
m/m pada frekuensi 0,4 rad/s sedangkan pada model kapal dari beberapa variasi *Bulbous bow* memiliki nilai yang relatif sama dengan nilai rata-rata 5,702 m/m pada frekuensi 0,4 rad/s. Untuk nilai gerakan *pitch* terbesar terjadi pada model tanpa *Bulbous bow* dengan nilai *pitch* 7,824 °/m pada frekuensi 0,4 rad/s, sedangkan pada model kapal dari beberapa variasi *Bulbous bow* memiliki nilai yang relatif sama dengan nilai rata-rata 6,949 °/m pada frekuensi 0,4 rad/s. Dari nilai grafik yang relatif sama pada beberapa variasi *Bulbous bow* menimbulkan grafik terlihat menjadi satu atau saling berhimpitan karena nilai grafik hampir mendekati sama.

3.2 Spektrum Gelombang

Untuk mendapatkan gerakan kapal karena pengaruh gelombang, maka dilakukan perhitungan spektrum gelombang. Spektrum gelombang tersebut kemudian ditransformasikan menjadi spektrum gelombang *encounter*. Tinggi gelombang yang digunakan adalah tinggi gelombang sesuai perairan selat Makassar. *Sea State* yang digunakan adalah tinggi gelombang 1,5 m, 2 m, 2,5 m dan 3 m.



Gambar 4. Wave Spectrum



Gambar 5. Wave Encounter Spectrum

Gambar 4 dan 5 dapat dilihat bahwa spektrum gelombang dengan tinggi gelombang signifikan yang berbeda akan menghasilkan spectrum yang berbeda juga. Semakin tinggi gelombang signifikan, maka semakin besar pula spectrum yang dihasilkan.

3.3 Respon Spectrum Gerakan Heave dan Pitch

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan respon spectrum. Respon spectrum didapatkan dengan cara mengkalikan wave spectrum dengan RAO respon kapal berpengaruh terhadap tinggi gelombang. Dimana respon gerakan heaving terbesar terjadi pada tinggi gelombang 3 meter. Nilai respon gerakan heave terbesar terjadi pada model tanpa Bulbous bow dengan nilai 0,30 pada frekuensi encounter 0,82 rad/s sedangkan pada model kapal dari beberapa variasi Bulbous bow memiliki nilai yang relatif sama dengan nilai rata-rata 0,20 pada frekuensi encounter 0,82 rad/s. Dari analisis diketahui bahwa respon spectrum gerakan pitching terbesar pada tinggi gelombang 3 meter. Dimana respon gerakan pitching terbesar terjadi pada tinggi gelombang 3 meter. Nilai respon gerakan pitch terbesar terjadi pada model tanpa Bulbous bow dengan nilai 0,76 pada frekuensi encounter 0,91 rad/s sedangkan pada model kapal dari beberapa variasi Bulbous bow memiliki nilai yang

relatif sama dengan nilai rata-rata 0,60 pada frekuensi encounter 0,91 rad/s.

3.4 Relative Bow Motion (RBM)

Setelah didapatkan respon spectrum gerakan heaving dan pitching, perlu dilakukan perhitungan untuk mendapatkan spectra density of relative bow motion. Relative bow motion spectrum terbesar pada tinggi gelombang 3 meter. Dimana nilai relative bow motion spectrum terbesar terjadi pada tinggi gelombang 3 meter. Nilai relative bow motion spectrum terbesar terjadi pada model tanpa Bulbous bow dengan nilai 35,81 pada frekuensi encounter 1,01 rad/s sedangkan pada model kapal dari beberapa variasi Bulbous bow memiliki nilai yang relatif sama dengan nilai rata-rata 28,13 pada frekuensi encounter 1,01 rad/s.

Luasan dari relative bow motion spectrum juga dihitung dengan menggunakan metode simpson untuk selanjutnya digunakan dalam perhitungan probabilitas slamming dan intensitas slamming.

Tabel 4. Luas Spektrum Relative Bow Motion

Luas Spektrum Relative Bow Motion (m0) [m²]					
Hs (m)	Bulbous bow (A)	Bulbous bow (B)	Bulbous bow (C)	Bulbous bow (D)	Tanpa Bulbous bow (E)
1,5	1,345	1,324	1,313	1,293	1,793
2	4,487	4,512	4,526	4,546	5,283
2,5	12,825	12,846	12,862	12,887	17,688
3	28,982	28,973	28,982	29,000	41,816

3.5 Relative Vertical Velocity Spectrum

Relative vertical velocity spectrum dihitung untuk kemudian digunakan dalam perhitungan probabilitas slamming dan intensitas slamming. Relative vertical velocity spectrum didapatkan dengan mengkalikan RAO relative bow motion dengan pangkat kuadrat dari frekuensi encounter.

Nilai relative vertical velocity spectrum terbesar terjadi pada model tanpa Bulbous

bow dengan nilai 29,89 pada frekuensi *encounter* 1,01 rad/s sedangkan pada model kapal dari beberapa variasi *Bulbous bow* memiliki nilai yang relatif sama dengan nilai rata-rata 24,59 pada frekuensi *encounter* 1,01 rad/s.

Luasan dari *relative vertical velocity spectrum* juga dihitung dengan menggunakan metode simpson untuk selanjutnya digunakan dalam perhitungan probabilitas *slamming* dan intensitas *slamming*.

Tabel 5 Luas Spektrum *Relative Velocity Bow Motion*
Luas Spektrum *Relative Velocity Bow Motion*

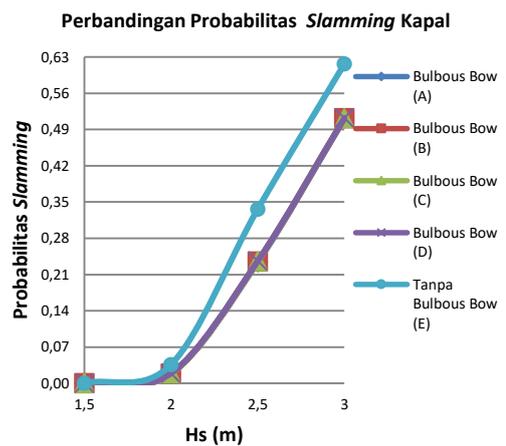
Hs (m)	<i>Bulbous bow</i> (A)	<i>Bulbous bow</i> (B)	<i>Bulbous bow</i> (C)	<i>Bulbous bow</i> (D)	Tanpa <i>Bulbous bow</i> (E)
1,5	2,863	2,817	2,795	2,751	3,316
2	6,271	6,336	6,364	6,409	8,654
2,5	14,634	14,716	14,762	14,827	16,996
3	27,006	27,050	27,085	27,137	32,825

3.6 Analisis Perbandingan Probabilitas *Slamming* dan Intensitas *Slamming*

Nilai probabilitas terjadinya *slamming* dan intensitas *slamming* dari beberapa variasi tinggi gelombang yaitu 1,5 meter, 2 meter, 2,5 meter, 3 meter pada sarat muatan penuh 5,5 meter.

Tabel 6 Nilai Probabilitas *Slamming* Kapal

Hs (m)	Probabilitas <i>Slamming</i>				
	<i>Bulbous bow</i> (A)	<i>Bulbous bow</i> (B)	<i>Bulbous bow</i> (C)	<i>Bulbous bow</i> (D)	Tanpa <i>Bulbous bow</i> (E)
1,5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
2	0,0182	0,0186	0,0189	0,0192	0,0360
2,5	0,2340	0,2348	0,2354	0,2362	0,3362
3	0,5118	0,5118	0,5120	0,5123	0,6167



Gambar 6. Perbandingan Probabilitas *Slamming* Kapal

Hasil perhitungan probabilitas *slamming* antara model kapal menggunakan *Bulbous bow* dengan model kapal tanpa *Bulbous bow* yang terdapat pada Tabel 5. Dari hasil perhitungan bahwa dengan pemasangan *Bulbous bow* dapat mengurangi probabilitas *slamming* pada kapal *existing* (tanpa *bulbous bow*) sebesar 50% pada tinggi gelombang 2 meter dan 30% pada tinggi gelombang 2,5 meter dan 3 meter. Pada tinggi gelombang 2 meter model kapal tanpa *Bulbous bow* tidak memenuhi standar probabilitas *slamming* Nordforsk ‘87 karena memiliki nilai probabilitas *slamming* diatas 0,03 yaitu 0,036. Sedangkan model kapal menggunakan beberapa variasi *Bulbous bow* telah memenuhi standar probabilitas *slamming* Nordforsk ‘87 karena memiliki probabilitas *slamming* dibawah 0,03 yaitu 0,018 – 0,019. Dari nilai grafik yang relatif sama pada beberapa variasi *Bulbous bow* menimbulkan grafik terlihat menjadi satu karena nilai grafik hampir mendekati sama. Namun dari hasil perhitungan pada tabel 6, dapat dilihat model *Bulbous bow* yang terbaik dengan nilai probabilitas *slamming* terendah yaitu model *Bulbous bow* (A) dengan nilai probabilitas *slamming* 0,0182.

Tabel 7. Nilai Intensitas *Slamming* Kapal Per Jam

Intensitas <i>Slamming</i>					
Hs (m)	<i>Bulbous bow</i> (A)	<i>Bulbous bow</i> (B)	<i>Bulbous bow</i> (C)	<i>Bulbous bow</i> (D)	Tanpa <i>Bulbous bow</i> (E)
1,5	0,001	0,001	0,001	0,001	0,027
2	8,807	9,013	9,125	9,290	16,113
2,5	125,577	125,761	125,947	126,220	196,581
3	303,937	303,661	303,616	303,609	398,991

Hasil perhitungan intensitas *slamming* antara model kapal menggunakan *Bulbous bow* dengan model kapal tanpa *Bulbous bow* yang terdapat pada Tabel 7. Hasil perhitungan intensitas *slamming* model kapal tanpa *Bulbous bow* memiliki nilai yang paling terbesar. Sedangkan model kapal menggunakan beberapa variasi *Bulbous bow* memiliki intensitas *slamming* lebih rendah daripada model kapal tanpa *bulbous bow*.

Pada keempat variasi geometry *Bulbous bow* diketahui bahwa semakin tinggi nilai C_{BB} maka probabilitas *slamming* juga semakin besar. Pada ketinggian gelombang tertentu (2-3 meter) menunjukkan bahwa *Bulbous bow* mengurangi probabilitas *slamming* sebesar 17-49%. Intensitas *slamming* per jam untuk kapal 4180 DWT dengan *Bulbous bow* lebih kecil dibandingkan tanpa *bulbous bow*. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *Bulbous bow* mengurangi intensitas *slamming* per jam sebesar 24-45%.

4. KESIMPULAN

Pada keempat variasi geometry *Bulbous bow* diketahui bahwa semakin tinggi nilai C_{BB} maka probabilitas *slamming* semakin besar, dengan perbedaan nilai yang tidak signifikan atau mendekati sama. Akan tetapi nilai probabilitas *slamming* ini masih jauh lebih rendah daripada probabilitas *slamming* kapal tanpa *bulbous bow*. Pada tinggi gelombang tertentu (2-3 meter) penggunaan *Bulbous bow* pada kapal ini mengurangi probabilitas *slamming* sebesar 17-49% dan

menurunkan intensitas *slamming* per jam sebesar 24-45%.

UCAPAN TERIMAKASIH

DRPM Kemristekbrin, P3M Politeknik Negeri Madura, Jurusan Teknik Bangunan Kapal Politeknik Negeri Madura.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M Atlar 2013 *Anti-slamming Bulbous bow and tunnel stern applications on a novel deep-V catamaran for improved performance* *Ijnaoe* 5 302-312
- [2] Mustain, M., H. Siswanti, and M. Islam. "The Effect of *Bulbous bow* on the Probability of *Slamming* on Hull (Case Study on Container vessel 4200 DWT)." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 557. No. 1. IOP Publishing, 2020.
- [3] Kracht M Alfred 1978 *SNAME Trans* **86** 197-217
- [4] Harvard A. Svend 1992 *Ship Resistance and Propulsion* (Malabar :Fla Krieger)
- [5] Putra F Cahaya, Eko B Djatmiko and Murtedjo M 2014 evaluasi aspek *slamming* pada perancangan drillship displasemen 35000 ton POMITS
- [6] Nordforsk 1987 *Assessment of Ship Performance in a Seaway: The Nordic Co-operative Project: Seakeeping Performance of Ships* (Trondheim: Norway)
- [7] Soares G Carlos and Fonseca N 2004 *J Ship Res* 2 48 148-67
- [8] Jiao J, Zhao Y, Chen C and Li X 2019 *J. Shanghai Jiaotong Univ. (Sci.)* 24 559–70
- [9] Wang S, Zhang D Hui and Soares G Carlos 2016 119 135-42