

PENGARUH ANTI-SLAMMING BULBOUS BOW TERHADAP GERAKAN SLAMMING PADA KAPAL PERINTIS 200 DWT

Muhammad Iqbal¹, Good Rindo¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Email: m_iqbal@undip.ac.id

Abstrak

Analisis *seakeeping* (kemampuan olah gerak kapal) merupakan aspek penting dalam perancangan kapal. Berdasarkan analisis tersebut, dapat diketahui batas operasional dari sebuah kapal. Salah satunya adalah dapat mengetahui kemampuan kapal pada tinggi gelombang signifikan (H_s) tertentu. Memodifikasi bentuk haluan kapal dengan membuat dasar dari haluan tersebut lebih rendah dibandingkan dengan dasar lambung kapal nya (dibawah garis *baseline* kapal) dinamakan *Anti-Slamming Bow*. Pada penelitian ini, *anti-slamming bow* ditambahkan dengan *bulbous bow* yang dinamakan dengan *Anti-Slamming Bulbous Bow* (ASB). Panjang (l_{asb}) dan tinggi (h_{asb}) *Anti-Slamming Bulbous Bow* divariasikan untuk mendapatkan probabilitas dan intensitas slamming yang paling rendah. Metode untuk menghitung RAO menggunakan Metode Panel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai probabilitas pada kapal *existing* (model awal) pada $H_s = 4$ m dan $T_{ave} = 5$ s pada kecepatan 14 knot tidak memenuhi standar kriteria Nordforsk '87 karena memiliki nilai probabilitas slamming sebesar 12,19%. Selain model awal, model 1, model 3 dan model 5 juga tidak memenuhi standar kriteria karena memiliki nilai probabilitas slamming sebesar 5,19%, 5,04% dan 5,10%. Parameter ukuran anti-slamming bulbous bow terbaik terdapat pada model 6 dimana rasio panjang ASB terhadap L_{pp} kapal sebesar 0,4 dan rasio tinggi ASB terhadap sarat kapal sebesar 0,4. Sedangkan bentuk Bulbous terbaik adalah Bulbous A yaitu bulbous tipe bentuk titik air tergantung. Model ini memiliki nilai probabilitas sebesar 1,95% dan memenuhi kriteria Nordforsk '87.

Kata Kunci : *anti-slamming bulbous bow*, *slamming*, perintis 200 DWT

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Analisis *seakeeping* (kemampuan olah gerak kapal) merupakan aspek penting dalam perancangan kapal. Berdasarkan analisis tersebut, dapat diketahui batas operasional dari sebuah kapal. Salah satunya adalah dapat diketahui tinggi gelombang signifikan (H_s) maksimum yang mampu di arungi oleh kapal tersebut.

Seperti dikutip dari detik.com bahwasanya hingga bulan Februari 2015 terdapat 6 kecelakaan kapal di Jawa Tengah. Menurut Kombes Pol Edison Sitorus selaku Direktorat Polisi Perairan (Dit Polair) Polda Jawa Tengah kecelakaan tersebut disebabkan karena ombak besar dan cuaca buruk. Tentunya jika awak kapal sudah mengetahui batas tinggi gelombang yang mampu di arungi maka kapal tersebut tidak diperbolehkan beroperasi di daerah yang tinggi gelombangnya melebihi kemampuan kapal. Hanya saja, jika kapal dalam perjalanan dan tinggi gelombang berubah secara tiba-tiba hingga melebihi batas operasional, maka

kecelakaan merupakan hal yang tak dapat dihindari.

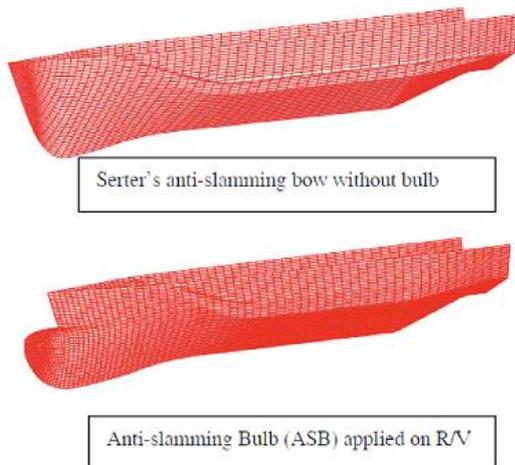
Ketika menghadapi gelombang dari arah depan, kapal akan mengalami gerakan searah vertikal yang menyebabkan terjadinya fenomena *green water* dan *slamming*. Fenomena *green water* adalah kejadian dimana geladak pada haluan kapal tersentuh oleh permukaan air laut. Sedangkan fenomena *Slamming* adalah kejadian dimana dasar haluan kapal terangkat dari permukaan air kemudian terhempas kembali. Kedua fenomena ini digunakan sebagai salah satu item untuk mengevaluasi kualitas *seakeeping* dari suatu kapal. *Greenwater* dan *Slamming* dapat mengganggu kestabilan suatu struktur kapal [1]. Bahkan dalam kondisi yang ekstrim, *slamming* dapat menyebabkan kerusakan pada struktur kapal [2].

Usaha untuk meningkatkan kualitas *seakeeping* dari suatu kapal telah banyak dilakukan oleh para ahli perkapalan. Mengubah bentuk lambung kapal dengan mengubah parameter nilai koefisien blok (C_b)

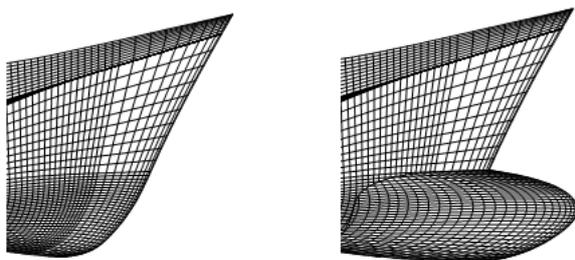
telah dilakukan pada kapal *monohull* [3] dan pada kapal katamaran [4].

Selain mengubah bentuk lambung kapal, usaha untuk meningkatkan kualitas *seakeeping* juga dilakukan dengan memodifikasi bentuk haluan kapal [5] yang kemudian dinamakan *anti-slamming bow*. Dasar dari haluan tersebut lebih rendah dibandingkan dengan dasar lambung kapalnya (dibawah garis *baseline* kapal). Bentuk haluan ini tidak hanya mengurangi intensitas *slamming* kapal, akan tetapi dapat mengurangi hambatan gelombang kapal.

Bentuk *anti-slamming bow* milik [5] dimodifikasi oleh [6] pada kapal katamaran 17,12 meter dengan menambahkan *bulbous*. Modifikasi haluan kapal katamaran dengan menambahkan *bulbous* juga telah diteliti oleh [7]. Hasil penelitian [7] menunjukkan bahwa penambahan *bulbous* dapat meningkatkan kualitas *seakeeping* dengan mengurangi respon gerakan *pitch* (gerakan rotasi searah sumbu Y) sekitar 20%. Sedangkan hasil penelitian [6] menunjukkan bahwa penambahan *bulbous* pada haluan *anti-slamming bow* dapat mengurangi hambatan gelombang kapal sekitar 15-20%.



Gambar 1. Bentuk Haluan Serter [5] Dan Hasil Modifikasi Atlar [6]



Gambar 2. Bentuk Haluan Seo[7]

Pada penelitian ini bentuk haluan *anti-slamming bulbous bow* diubah parameter panjangnya (l_{asb}) dan tingginya (h_{asb}). Adapun objek kapal yang akan diteliti adalah kapal perintis yang dimiliki oleh Kementerian perhubungan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Kapal Perintis Kementerian Perhubungan

1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang serta permasalahannya maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan nilai probabilitas dan intensitas *slamming* pada kapal *existing* dengan kapal yang haluannya telah dimodifikasi menjadi *anti-slamming bulbous bow* sesuai dengan standar Nordfoks 1978 mengenai batasan probabilitas *slamming*.
2. Mendapatkan ukuran parameter *anti-slamming bulbous bow* terbaik yang dapat digunakan pada kapal penumpang barang 200 DWT.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapal Perintis

Kapal perintis merupakan jenis kapal penumpang dan barang khusus untuk menghubungkan masyarakat antar pulau-pulau kecil yang ada diseluruh Indonesia, sebagian besar berada di wilayah Indonesia Timur. Kapal perintis memiliki peranan penting dalam menghubungkan masyarakat antar pulau-pulau kecil yang ada di Indonesia. Kapal perintis adalah tipe kapal penumpang barang yang dimiliki oleh kementerian perhubungan laut Indonesia. Kapal ini dibangun di berbagai galangan kapal nasional, salah satunya adalah PT. Daya Radar Utama (DRU). Kapal ini

merupakan *sister ship* sehingga memiliki tipikal kesamaan setiap kapal yang dibuat.

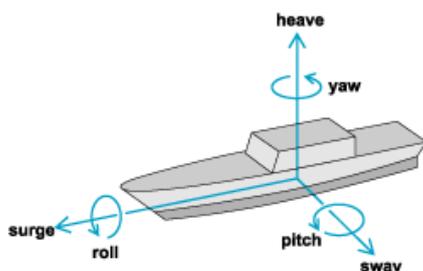
Adanya Program pemerintah untuk mencanangkan Tol laut maka peran kapal perintis semakin dibutuhkan untuk penunjang sarana akomodasi pelayaran kapal. Dalam petikan berita **penabahari.com** – “Dalam waktu dekat, pemerintah segera mengoperasikan enam rute tol laut ke pulau-pulau terdepan. Pemerintah juga akan menambah jumlah kapal perintis dengan prioritas kawasan Indonesia timur”. Dengan adanya peningkatan jumlah kapal perintis yang ada, perlu untuk melakukan kajian terhadap pengembangan desain untuk mendapatkan kapal yang memiliki performa yang baik saat operasional terutama dalam hal *seakeeping* kapal. Adanya *Anti-Slamming Bulbous Bow* pada haluan kapal diharapkan dapat memperkecil probabilitas dan intensitas terjadinya *Slamming* saat kapal mengarungi ombak dilaut, sebab *slamming* juga dapat mengganggu kenyamanan para penumpang di kapal perintis.

2.2. Olah Gerak Kapal (Seakeeping)

Istilah *seakeeping* digunakan untuk mengukur baik buruknya sebuah kapal bertahan pada suatu kondisi lingkungan tertentu. *Seakeeping* disebut juga dengan kemampuan kapal dalam operasionalnya terhadap kondisi gelombang.

2.2.1. Persamaan Gerak Kapal

Setiap kapal memiliki karakteristik gerakan yang berbeda-beda ketika memperoleh gaya dari gelombang, bergantung dari bentuk lambung, titik berat, sarat dan beberapa faktor lain. Gerakan kapal sendiri dibedakan menjadi 6 macam berdasarkan sumbu gerakannya. Terdiri dari 3 gerakan rotasi, meliputi *roll*, *pitch*, *yaw*, dan 3 gerakan translasi meliputi *heave*, *surge*, *sway*. Keenam macam gerakan tersebut diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Macam Gerakan Kapal Berdasarkan Sumbu Axis

Setiap gerakan memiliki sebuah persamaan umum, yang di dalamnya terdapat beberapa komponen.

$$a\ddot{z} + b\dot{z} + cz = F_o \cos \omega_e t \quad (1)$$

Persamaan 1 menggambarkan gerakan heaving dan disebut sebagai *Forced heving motion*. Untuk gerakan translasi lainnya, persamaan tersebut dapat diterapkan dengan merubah sumbu axis gerakan terhadap x dan y, di mana a adalah *virtual mass* (masa kapal ditambah dengan *added mass*), b adalah koefisien damping (gaya melawan arah gerakan), c adalah koefisien *restoring force* (gaya pengembali ke titik seimbang) dan F_o adalah *existing force/encountering force* atau gaya luar yang bekerja pada benda, jika kapal berada pada kondisi air tenang (*calm water*) maka nilai F_o adalah nol [1].

Sedangkan untuk gerakan rotasi, persamaan dasar yang dipakai tetap sama hanya merubah variabel gerakan dari translasi menjadi sudut dan gaya menjadi momen seperti dituliskan pada persamaan *pitching* berikut:

$$a \frac{d^2 \theta}{dt^2} + b \frac{d\theta}{dt} + c\theta = M_o \cos \omega_e t \quad (2)$$

a adalah *inertial moment*, b adalah *damping moment*, c adalah *restoring moment* dan M_o adalah *existing moment*. Untuk persamaan gerak rolling sudut θ diganti dengan ϕ .

2.2.2. Response Amplitude Operator (RAO)

Respon gerakan kapal terhadap gelombang reguler dinyatakan dalam RAO (*Response Amplitude Operator*), dimana 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 3).

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 4).

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 5).

$$RAO = \frac{Z_0}{\zeta_0} \text{ (m/m)} \quad (3)$$

$$RAO = \frac{\theta_0}{\zeta_0} \text{ (deg/m)} \\ = \frac{\theta_0}{k_w \zeta_0} = \frac{\theta_0}{(\omega^2/g) \zeta_0} \text{ (rad/rad)} \quad (4)$$

$$S_{\zeta_r}(\omega) = RAO^2 \times S_\zeta(\omega) \quad (5)$$

2.2.3. Spektrum Gelombang

Spektrum gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bretschneider atau ITTC dengan 2 parameter sesuai pada Persamaan 6. Tinggi gelombang signifikan (H_s) dan Periode Rata-rata (T_{av}) dipilih tergantung dari jenis perairan yang dilalui oleh kapal.

$$S_{ITTC\zeta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(\frac{-B}{\omega^4}\right) \quad (6)$$

dimana :

ω = frekwensi gelombang (rad/det)

$$A = 172,75 \frac{H_s^2}{T_{ave}^4}$$

$$B = \frac{691}{T_{ave}^4}$$

Akibat pengaruh kecepatan kapal dan sudut datang gelombang, maka frekwensi gelombang insiden (ω_w) akan berubah menjadi frekwensi gelombang papasan atau *encountering wave frequency* (ω_e). Gelombang digunakan untuk membuat spektrum gelombang papasan (S_e). Untuk menghitung frekwensi gelombang papasan dapat menggunakan Persamaan 7.

$$\omega_e = \omega \left(1 - \frac{\omega V}{g} \cos\mu\right) \quad (7)$$

dimana:

ω_e = frek. gelombang papasan (rad/det)

ω_w = frek. gelombang (rad/det)

V = kecepatan kapal (m/s)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

2.2.4. Kriteria Seakeeping

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 '87 [8] untuk probabilitas *slamming* yang terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria *Seakeeping* Nordfoks '87 [8]

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

2.2.5. Gerak Relatif Haluan

Gerakan vertikal merupakan suatu gerakan yang terjadi pada setiap titik disepanjang lambung kapal diatas gelombang regular. Untuk gelombang regular, persamaan gerakan *heaving* dan *pitching* bisa dilihat pada Persamaan 8 dan 9.

$$Z = Z_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_z) \quad (8)$$

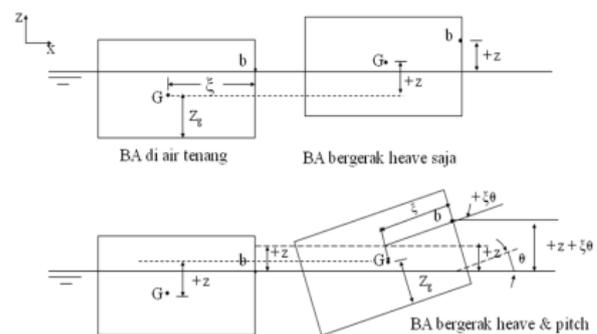
$$\theta = \theta_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_\theta) \quad (9)$$

Dimana:

ε_z : Sudut fase gerakan *heaving* terhadap gelombang (deg)

ε_θ : Sudut fase gerakan *pitching* terhadap gelombang (deg)

$\omega_e t$: Waktu (s)



Gambar 5. Gerak Vertikal Haluan

Jika kapal diasumsikan bergerak digelombang regular, maka gerakan vertikal pada haluan kapal dapat dinotasikan dengan Zb sesuai dengan Persamaan 10 atau jika pada sudut θ kecil dapat disederhanakan menjadi sesuai dengan Persamaan 11.

$$Zb = Z + \zeta \sin\theta \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
Zb &= Z + \zeta\theta \\
&= Z_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_z) + \zeta \theta_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_\theta) \\
&= (Zb)_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_b)
\end{aligned} \quad (11)$$

Dimana :

Z = Gerakan *heaving* (m)

ζ = Jarak antara CG ke titik b pada haluan (m)

θ = Gerakan *pitching* (rad)

Dengan amplitude gelombang dan sudut fase

$$(Zb)_a = \sqrt{Z_a^2 + (\zeta\theta_a)^2 + 2Z_a\zeta\theta_a \cos(\varepsilon_\theta)} \quad (12)$$

$$\tan \varepsilon_b = \frac{Z_a \sin \zeta\theta_a \sin \varepsilon_\theta}{Z_a \cos \zeta\theta_a \cos \varepsilon_\theta} \quad (13)$$

Kemudian persamaan untuk menghitung elevasi gelombang pada gerakan vertikal haluan:

$$\zeta_b = \zeta_a \cos(k_e \zeta - \omega_e t) \quad (14)$$

Dimana:

$$k_e = \frac{2\pi}{L_e}$$

$$L_e = \frac{L_w}{\cos \mu}$$

$$\omega_w = \sqrt{\frac{2\pi g}{L_w}}$$

L_w = Panjang gelombang (m)

ω_w = Frekuensi gelombang (rad/s)

ζ_a = Amplitudo gelombang (m)

2.2.6. Gerakan Vertikal Haluan Relatif

Untuk memprediksi terjadinya *slamming* dilakukan dengan menganalisa gerak relatif pada bagian haluan kapal (*fore peak*) terhadap gelombang. Persamaan dari gerak relatif haluan dapat diketahui pada saat amplitudo dan sudut fase dari gerakan *heaving* dan *pitching* diketahui hubungannya dengan permukaan gelombang, yaitu:

$$S_b = (S_b)_a \cos(\omega_e t + \varepsilon_s) \quad (15)$$

$$(S_b)_a = \sqrt{(Zb)_a^2 + (\zeta_a)^2 - 2(Zb)_a \zeta_a \cos(ke\zeta - \varepsilon_b)} \quad (16)$$

$$\tan \varepsilon_s = \frac{\zeta_a \sin(k_e \zeta - \varepsilon_b) - Z_b \sin \varepsilon_b}{\zeta_a \cos(k_e \zeta - \varepsilon_b) - Z_b \cos \varepsilon_b} \quad (17)$$

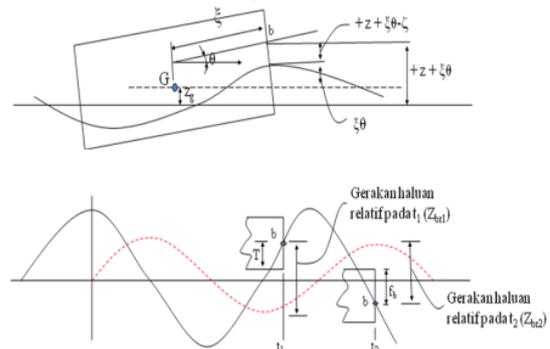
Dimana:

(S_b)_a : Amplitudo gerak haluan relatif

(Z_b)_a : Amplitudo gerak vertikal haluan

ζ_a : Amplitudo gelombang

k_e : Angka gelombang efektif
 ε_b : Sudut fase gerakan vertical haluan



Gambar 6. Gerakan Haluan Relatif Terhadap Gelombang

2.2.7. Perhitungan Probabilitas Dan Intensitas Slamming

Untuk menganalisa probabilitas *slamming* menggunakan persamaan 18 dan untuk menghitung intensitas *slamming* perdetik menggunakan Persamaan 19.

$$P\{\text{slamming}\} = \exp^{-y} \quad (18)$$

$$N_w = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2m_{0R}}{2m_{2R}}} \times P\{\text{slamming}\} \quad (19)$$

Dimana

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

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

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

N_w = Intensitas kejadian *slamming* perdetik

M_{0r} = Luasan dibawah kurva kpektrum respon momen ke - 0

M_{2r} = Luasan dibawah kurva kpektrum respon momen ke - 2

2.3. Bulbous Bow

Bulbous bow adalah tonjolan berbentuk bola yang terletak pada *bow* (bagian depan) dari sebuah kapal hanya pada bagian dibawah garis air. *Bulbous bow* pertama kali diperkenalkan pada tahun 1912 oleh angkatan laut Amerika Serikat, yang mana pada mulanya diperkenalkan oleh David Taylor.

Fungsi utama dari *bulbous bow* adalah untuk mengurangi hambatan kapal saat eksploitasi atau beroperasi, prinsip kerja *bulbous* adalah dengan membangkitkan gelombang atau menginterferensi gelombang laut yang datang dari haluan, sehingga gelombang yang datang akan terinterferensi akibat *bulbous bow*. Umumnya *bulbous bow*

akan merugikan kapal pada kecepatan rendah. *Bulbous bow* akan lebih efektif dalam penggunaannya jika pada kondisi :

- Ketika digunakan pada lambung kapal dengan panjang garis air lebih dari 15 m
- Ketika digunakan pada lambung yang panjang
- Ketika digunakan pada kecepatan dinas sampai kecepatan penuh

2.3.1. Tipe *Bulbous Bow*

Penelitian yang dilakukan oleh Krachth (1978) membagi *bulbous bow* menjadi tiga, yaitu :

a. Bentuk titik air tergantung

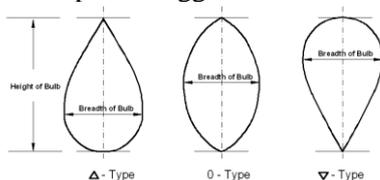
Bentuk ini, sesuai dengan kapal-kapal yang berlayar pada daerah yang kurang menghadapi hampasan gelombang yang besar.

b. Bentuk Elips

Bentuk *Bulbous* yang ketiga ini lebih banyak digunakan pada kapal-kapal yang bentuk gadingnya “U” atau kapal-kapal yang berukuran gemuk.

c. Bentuk titik air terbalik

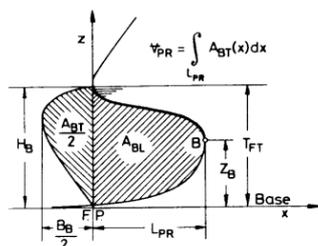
Bentuk ini sangat cocok untuk kapal-kapal yang menghadapi gelombang dilaut bebas. Bentuk ini sering dikombinasikan pada kapal-kapal yang bergading “V” yang digunakan pada kapal-kapal berkecepatan tinggi.



Gambar 7. Bentuk *Bulbous Bow*

2.3.2. Dasar Penentuan Ukuran Dimensi Variasi *Bulbous Bow*

Untuk menentukan ukuran dimensi variasi dari *Bulbous bow* ini didasarkan dari parameter *Linear Form Coefficients* yang terdapat pada [9].



Gambar 8. Geometri *Bulbous Bow*

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

$$\text{Length Coefficients } (C_{LPR}) : \frac{L_{LPR}}{L_{LPP}}$$

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

LPR : panjang *bulbos bow* dari *forepeak*

BB : lebar *bulbous bow* pada garis *fore peak*

ZB : tinggi *bulbous bow* dari *baseline*

Sedangkan nilai dari *linear form coefficients* adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Nilai Khusus *Linear Form Coefficients*

	Minimal	Maksimal	Digunakan
C_{BB}	0,17	0,2	0,185
C_{LPR}	0,018	0,031	0,0245
C_{ZB}	0,26	0,55	0,405

3. METODOLOGI

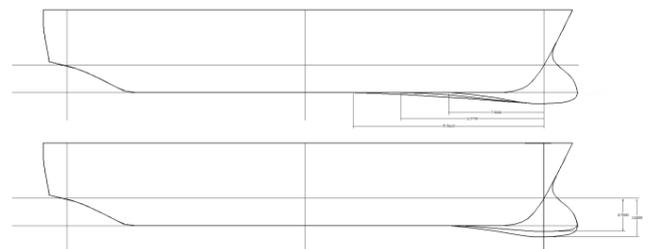
3.1. Ukuran Utama Kapal

Adapun data ukuran utama kapal yang diperoleh adalah :

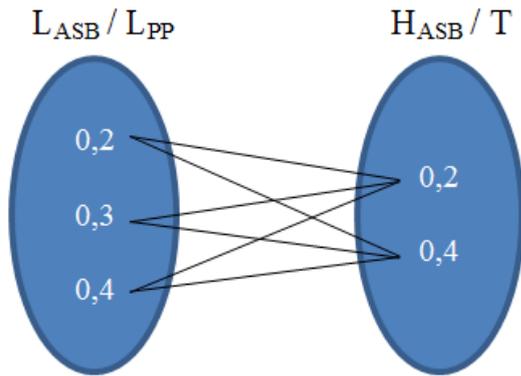
Panjang Keseluruhan (LOA)	: 44.3 m
Panjang Garis Air (LWL)	: 40 m
Lebar Kapal (B)	: 9 m
Tinggi Kapal (H)	: 3.6 m
Sarat Kapal (T)	: 2.3 m

3.2. Penentuan Variasi Panjang dan Tinggi Haluan di Bawah *Baseline*

Pada penelitian ini akan dilakukan penentuan ukuran panjang *Anti Slamming Bulbous Bow* (l_{asb}) dan tingginya (h_{asb}) seperti pada Gambar 9. Panjang ASB (l_{asb}) dibandingkan dengan panjang garis air kapal (lwl) dengan rasio 0,2, 0,3 dan 0,4. Tinggi ASB (h_{asb}) dibandingkan dengan sarat kapal dengan rasio 0,2 dan 0,4 seperti pada Gambar 10 dan Tabel 3.



Gambar 9. Bentuk Lambung Awal Dan Konfigurasi Panjang ASB dan Tinggi ASB

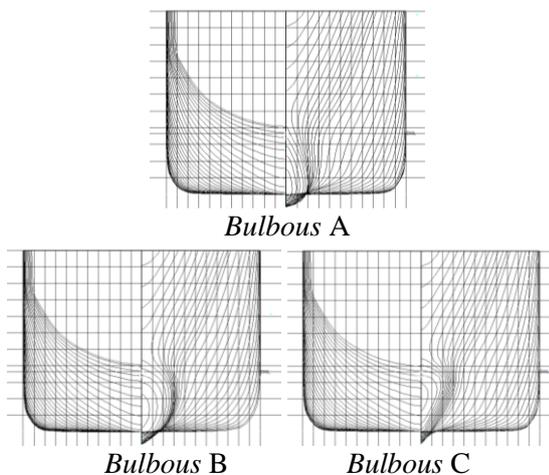


Gambar 10. Konfigurasi Panjang dan Tinggi ASB

Tabel 3. Konfigurasi Panjang dan Tinggi ASB

Model	L_{ASB} / L_{PP}	H_{ASB} / T
Model 1	0,2	0,2
Model 2	0,2	0,4
Model 3	0,3	0,2
Model 4	0,3	0,4
Model 5	0,4	0,2
Model 6	0,4	0,4

Bentuk *bulbous bow* yang digunakan adalah bentuk Bentuk titik air terbalik yang selanjutnya disebut dengan *Bulbous A*. Hasil ukuran panjang dan tinggi ASB terbaik pada *Bulbous A* akan digunakan pada 2 tipe *bulbous* lainnya yaitu Bentuk Elips yang selanjutnya disebut dengan *Bulbous B* dan Bentuk titik air terbalik yang selanjutnya disebut dengan *Bulbous C*. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan bentuk dan ukurn ASB yang terbaik yang ditandai dengan kecilnya nilai probabilitas dan intensitas *slamming*.



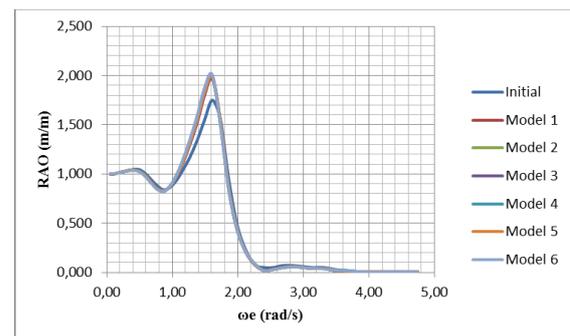
Gambar 11. Tiga Tipe *Bulbous* yang di Uji Pada Penelitian ini

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

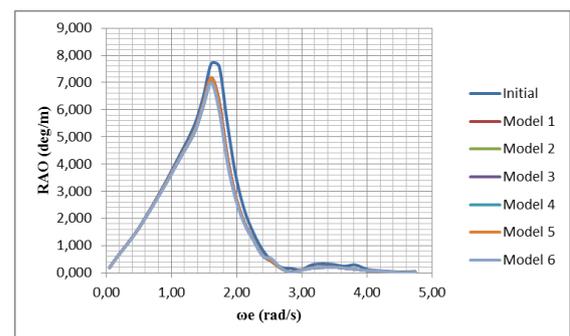
4.1. Konfigurasi Ukuran ASB Pada *Bulbous A*

Ukuran panjang dan tinggi ASB yang terdapat pada Gambar 10 dan Tabel 5 serta kapal yang tidak menggunakan *bulbous* (initial) dihitung nilai RAOnya untuk masing-masing gerakan *heaving* dan *pitching*. Hasil RAO terdapat pada Gambar 12 – 13. Frekwensi alami terdapat pada puncak kurva RAO tersebut, yakni berada pada sekitar 1,6 rad/s.

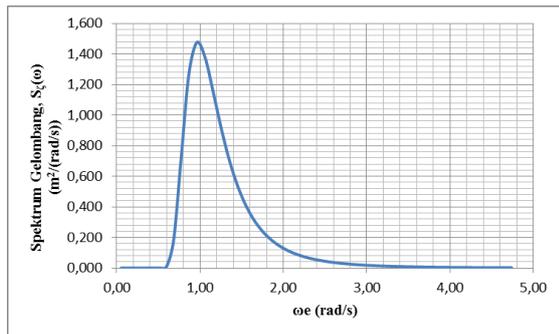
Nilai tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode rata-rata gelombang (T_{ave}) yang digunakan untuk membentuk spektrum gelombang adalah 4 m dan 5 detik pada kecepatan 14 knot. Hasil spektrum gelombang terdapat pada Gambar 14. Spektrum gelombang tersebut mempunyai frekwensi alami di frekwensi sekitar 1 rad/s. Perbedaan frekwensi alami antara gelombang dan gerakan dapat mencegah terjadinya resonansi, yaitu respons gerakan kapal yang ekstrim.



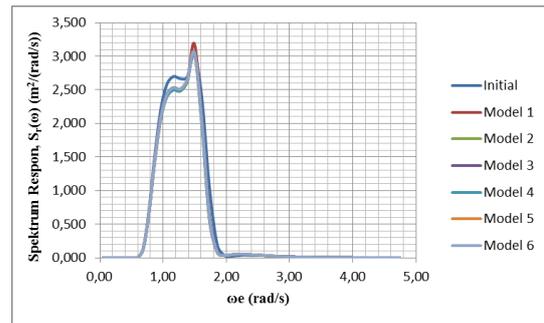
Gambar 12. RAO *Heaving*



Gambar 13. RAO *Pitching*



Gambar 14. Spektrum Gelombang
Hs = 4 m, T = 5 s

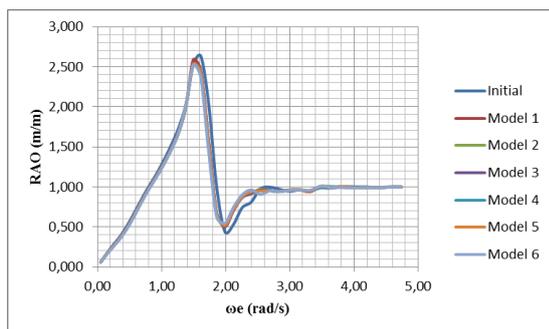


Gambar 16. Spektrum Respons Gerak Haluan Relatif

Dengan menggunakan Persamaan 8-17 selanjutnya kurva RAO untuk gerakan haluan relatif didapatkan. RAO gerakan haluan relatif beserta spektrum responnya terdapat pada gambar 15 dan 16. Kurva RAO untuk gerakan haluan relatif didapatkan Dengan menggunakan Persamaan 8-17. RAO gerakan haluan relatif beserta spektrum responnya terdapat pada gambar 15 dan 16.

Hasil perhitungan probabilitas dan intensitas *slamming* terdapat pada Tabel 4. Model awal, 1,3 dan 5 tidak memenuhi standar probabilitas Nordforsk '87 karena memiliki probabilitas *slamming* diatas 3%.

Untuk mendapatkan intensitas *slamming* selama 1 jam, nilai Nw dikali dengan 3600 detik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Model 6 memiliki probabilitas dan intensitas *slamming* terkecil. Intensitas *slamming* Model 6 dapat mengurangi intensitas *slamming* model awal sebesar 83,93%. Selanjutnya konfigurasi panjang dan tinggi ASB pada Model 6 digunakan pada *Bulbous B* dan *Bulbous C*.



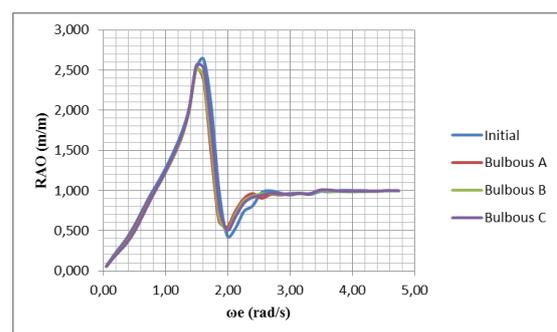
Gambar 15. RAO Gerak haluan Relatif

Tabel 4. Hasil Perhitungan Probabilitas dan Intensitas *Slamming*

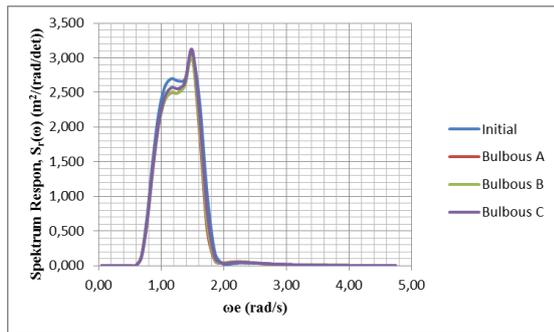
Model	m ₀	m ₂	Prob (%)	Nw	<i>Slamming</i> /jam
Initial	1,54	2,50	12,19	0,150	541,43
1	1,49	2,40	5,19	0,064	231,50
2	1,48	2,37	1,99	0,025	88,66
3	1,48	2,37	5,04	0,062	224,98
4	1,47	2,36	1,96	0,024	87,74
5	1,48	2,38	5,10	0,063	227,78
6	1,47	2,35	1,95	0,024	87,02

4.2. Perbandingan Tiga Tipe Anti *Slamming Bulbous Bow*

Konfigurasi panjang dan tinggi ASB pada model 6 digunakan pada *Bulbous B* dan *Bulbous C*. Perbandingan RAO gerak haluan relatif dan spektrum respon antara model awal dan ketiga tipe ASB terdapat pada Gambar 17 dan 18.



Gambar 17. RAO Gerak haluan Relatif Model Awal dan Ketiga Tipe ASB



Gambar 18. Spektrum Respon Model Awal dan Ketiga Tipe ASB

Tabel 5. Hasil Perhitungan Probabilitas dan Intensitas *Slamming* Model Awal dan Ketiga Tipe ASB

Model	m_0	m_2	Prob (%)	Nw	<i>Slamming</i> /jam
Initial	1,541	2,498	12,19	0,150	541,43
<i>Bulbous A</i>	1,470	2,354	1,95	0,024	87,02
<i>Bulbous B</i>	1,472	2,369	1,96	0,024	87,36
<i>Bulbous C</i>	1,499	2,431	2,11	0,026	93,89

Hasil perhitungan probabilitas dan intensitas *slamming* terdapat pada Tabel 4. Model awal, Model 1, Model 3 dan Model 5 tidak memenuhi standar probabilitas Nordforsks '87 karena memiliki probabilitas *slamming* diatas 3%.

Hasil perhitungan probabilitas dan intensitas *slamming* antara model awal dan ketiga tipe ASB terdapat pada Tabel 5. Hanya model awal yang tidak memenuhi standar probabilitas *slamming* Nordforsks '87. Perbedaan besarnya pengurangan intensitas ketiga *bulbous* terhadap model awal yaitu 83,93% untuk *Bulbous A*, 83,86% untuk *Bulbous B* dan 82,66% untuk *Bulbous C*.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *Bulbous A* memiliki probabilitas dan intensitas *slamming* terkecil dan memiliki nilai terbesar dalam mengurangi intensitas *slamming* model awal. Hal ini yang menjadi dasar bahwa ukuran ASB dan model *Bulbous* terbaik terdapat pada *Bulbous A*.

5. KESIMPULAN

1. Nilai probabilitas pada kapal *existing* (model awal) tidak memenuhi standar kriteria Nordforsks '87 karena memiliki nilai probabilitas *slamming* sebesar 12,19%. Selain model awal model 1, model 3 dan model 5 juga tidak memenuhi standar kriteria karena memiliki nilai probabilitas *slamming* sebesar 5,19%, 5,04% dan 5,10%.
2. Parameter ukuran *anti-slamming bulbous bow* terbaik terdapat pada model 6 dimana rasio panjang ASB terhadap L_{pp} kapal sebesar 0,4 dan rasio tinggi ASB terhadap sarat kapal sebesar 0,4. Sedangkan bentuk *Bulbous* terbaik adalah *Bulbous A* yaitu *bulbous* tipe bentuk titik air tergantung.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang telah mendanai penelitian ini dalam Penelitian Dasar Hibah Bersaing Dana DIPA FT UNDIP 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bhattacharyya, R. 1972. Dynamic of Marine Vehicles. New York, United State of America.
- [2] Darmawan, I., Djatmiko, E.B., Murtedjo, M. 2012. Analisa *Slamming Offshore Patrol Boat*. Jurnal Teknik POMITS Vol 1 : 1-6
- [3] Scamardella, A. dan Piscopo, V. 2014. Passenger Ship Seakeeping Optimization by the Overall Motion Sickness Incidence, Ocean Engineering, Vol 76: 86 – 97
- [4] Iqbal, M dan Rindo, G. 2015. Optimasi Bentuk Demihull Kapal Katamaran Untuk Meningkatkan Kualitas Seakeeping. KAPAL Vol 11. No. 1 : 19-24
- [5] Serter, E.H., 1993. Hydrodynamics and naval architecture of Deep-Vee hull forms. Research Developments-Designs, Hydro Research Systems S.A. March
- [6] Atlar, M., Seo, K., Sampson, R., Danisman, D.B. 2013. Anti-slamming bulbous bow and tunnel stern applications on a novel Deep-V catamaran for improved performance, International Journal of Naval Architect & Ocean Engineering Vol 5 : 302-312

- [7] Seo, K., Lee, C., Atlar, M., Lee, G., Gim, O. 2013. Analysis on the Pitch Spectra of a Catamaran with Bulb. *Journal of navigation and Port Research*. Vol 37. No 5 : 481 – 498.
- [8] NORDFORSK, 1987, The Nordic Cooperative Project, Seakeeping performance of ships, In *Assessment of a Ship Performance in a Seaway*, Trondheim, Norway: MARINTEK.
- [9] Kracht, Alfred M. 1978. *Design of Bulbous Bows*. SNAME Transactions vol 86 : 197-217.