



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Penambahan *Bulbous Bow* Pada Kapal Perintis 750 DWT Guna Mengurangi Efek *Slamming*

Brian Haksa Nova¹⁾, Eko Sasmito Hadi¹⁾, Muhammad Iqbal¹⁾,

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

Email : Brianhaksanova@gmail.com

Abstrak

Kemampuan olah gerak kapal (*seakeeping*) merupakan salah satu aspek penting pada Perancangan sebuah kapal. Hal itu berkaitan dengan gerakan kapal dalam merespon pengaruh gaya-gaya luar yang bekerja pada kapal. Gerakan ini akan berpengaruh terhadap kenyamanan dan keselamatan sebuah kapal. Dalam upaya meningkatkan kualitas *seakeeping* pada kapal perintis 750 DWT. Pada penelitian ini, dilakukan analisa perbandingan variasi penggunaan tipe *bulbous bow* terhadap *seakeeping* dengan menggunakan tiga tipe *bulbous bow* yaitu tipe Δ (*Delta Type*), tipe 0 (*Ellips Type*), dan tipe V (*Nabla Type*). *Bulbous Bow* dan kecepatan kapal divariasikan untuk melihat probabilitas dan intensitas *slamming* yang paling rendah. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *Maxsurf* dan kemudian dilakukan analisa gerakan menggunakan metode *Hydrodynamic Diffraction*. Hasil penelitian ini menunjukkan. Untuk respon gerakan *heave* (*vertical acceleration*) variasi *Bulbous Bow* tipe V (*nabla*) mempunyai respon yang lebih baik daripada kapal dengan tipe *bulbous* lainnya, dimana berbanding terbalik dengan respon gerakan *pitch*, variasi *bulbous bow* tipe Δ (*delta*) mempunyai respon yang lebih baik dibanding kapal dengan tipe *bulbous bow* model lainnya. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan variasi *bulbous bow* tipe Δ (*Delta Type*), tipe 0 (*Ellips Type*), dan tipe V (*Nabla*) semua memenuhi standart *Seakeeping criteria Nordsfork '87*. Dan nilai probabilitas *slamming* terendah didapatkan dari *bulbous bow* tipe Δ (*Delta Type*).

Kata Kunci : *slamming*, *Bulbous Bow*, Perintis 750 DWT

I. PENDAHULUAN

Analisis *seakeeping* / kemampuan olah gerak kapal merupakan aspek penting dalam perancangan kapal. Berdasarkan analisis tersebut, dapat diketahui batas operasional dari sebuah kapal. Salah satu fokus dari pembahasan analisa *seakeeping* yaitu masalah *slamming* pada kapal.

Slamming adalah kejadian dimana dasar haluan kapal terangkat dari permukaan air kemudian terhempas kembali [3].

Fenomena ini digunakan sebagai salah satu item untuk mengevaluasi kualitas *seakeeping* dari suatu kapal. Bahkan dalam kondisi yang ekstrim, *slamming* dapat menyebabkan kerusakan pada struktur kapal [4]. Pada penelitian ini bentuk haluan dimodifikasi dengan penambahan *bulbous Bow* hingga mendapatkan hasil olah gerak dan

probabilitas *slamming* optimal [8]. Adapun objek kapal yang akan di teliti adalah kapal perintis 750 DWT. Dengan perkembangan teknologi yang semakin maju, CFD (*Computational Fluid Dynamic*) dan merupakan tool yang saat ini banyak digunakan pada tahap awal desain untuk analisa aliran disekitar lambung kapal [5]. Beberapa studi dilakukan untuk menganalisa olah gerak dengan CFD (*Computational Fluid Dynamic*) antara lain [1] Chen et al (2002), Ozdemir et al (2007), Fonfach dan Soares (2010), Shahid dan Huang (2011). Pada penelitian ini bentuk haluan dimodifikasi dengan ditambahkan tiga tipe *bulbous bow*. Adapun objek kapal yang akan di teliti adalah kapal perintis yang dimiliki oleh Kementerian perhubungan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Kapal Perintis 750 DWT

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan respon olah gerak heaving dan pitching terendah pada haluan kapal yang telah dimodifikasi dengan tiga tipe *bulbous bow* tersebut dan mendapatkan tipe *bulbous bow* yang mempunyai respon slamming paling rendah terhadap olah gerak kapal sehingga kapal tersebut mempunyai keamanan dan kenyamanan yang bagus sesuai dengan Seakeeping Criteria Nordforks 1987.

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 penambahan *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.

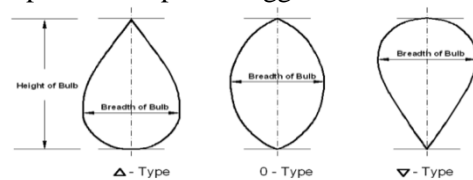
2.2. *Bulbous bow*

Bulbous bow adalah suatu bentuk haluan yang berbentuk bulat telur yang ditempatkan pada linggi haluan bagian depan. Penggunaan *bulbous bow* ini akan mempengaruhi aliran air di sekitar lambung kapal. Penjelasan tentang efek aliran air yang terjadi di sekitar kapal adalah air dipaksakan mengalir di atas *bulbous bow* sehingga dapat memecah gelombang air yang menahan di depannya [3].

Pengaruh *bulbous bow* dapat memberikan dampak dalam mendesain kapal, konstruksi kapal, pembuatan kapal dan pengoperasian kapal yang berkaitan dengan karakteristik *seakeeping*, tahanan dalam berlayar, karakteristik propulsi, *trim*, dll [3].

Macam-macam tipe *bulbous bow* dibagi menjadi 3, yaitu [6] :

1. Tipe *Delta* (Δ – Type)
Tipe ini sesuai dengan kapal-kapal yang bergading “V” dan digunakan pada kapal kapal berkecepatan tinggi. .
2. Tipe *Ellips* (0 – Type)
Tipe *bulbous* ini lebih banyak digunakan pada kapal-kapal yang bentuk gadingnya “U” atau kapal-kapal yang berukuran gemuk.
3. Tipe *Nabla* (V – Type)
Tipe ini sangat cocok untuk kapal-kapal yang menghadapi gelombang di laut bebas. Bentuk ini sering dikombinasikan pada kapal-kapal yang bergading “V” yang digunakan pada kapal berkecepatan tinggi.



Gambar 2.1 Tipe *Bulbous bow*

2.3 Dasar Utama Penentuan *Bulbous Bow*

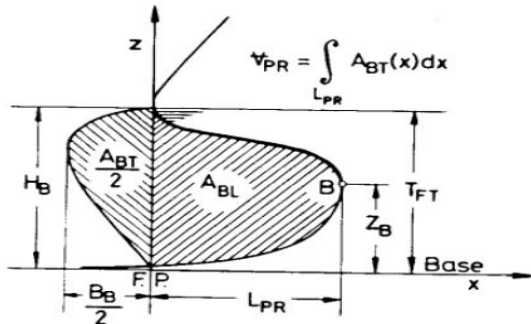
Untuk menentukan ukuran dimensi variasi dari *Bulbous Bows* ini didasarkan dari parameter *Linear Form Coefficients*, diambil dari buku *Ship Design I Msc In Marine Engineering And Naval Architecture*, yang menyatakan bahwa *linear form coefficients* sebagai berikut

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

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

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

LPR : panjang *bulbos bow* dari *fore peak*
 B : lebar *bulbos bow* pada garis *fore peak*



Gambar 2.2 Parameter Linier

Desain *Bulbos Bow* Sedangkan nilai dari *linear form coefficients* adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Nilai khusus *linear form coefficients*

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

Dari hasil perhitungan koefisien tiap bagian maka akan di ketahui perbedaan panjang, tinggi, dan lebar *bulbos bow*.

2.4. Seakeeping

Seakeeping adalah gerakan kapal yang dipengaruhi oleh gaya-gaya dari luar yang disebabkan oleh kondisi air laut. Ada enam macam gerakan kapal di laut yaitu tiga gerakan translasi (*surging, swaying, heaving*) dan tiga gerakan rotasi (*rolling, pitching, yawing*). Akan tetapi, gerakan yang mampu direspon oleh kapal hanya tiga gerakan, yaitu *heaving, pitching*, dan *rolling*.

2.5. Response Amplitudo Operator (RAO)

Respon gerakan kapal terhadap gelombang regular dinyatakan dalam RAO (*Response Amplitudo Operator*), dimana RAO adalah rasio antara amplitudo gerakan kapal (baik translasi maupun rotasi) terhadap amplitudo gelombang pada frekuensi tertentu.

Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan kapal (Z_0) dengan amplitudo

gelombang (ζ_0) (keduanya dalam satuan panjang) [3]:

$$RAO = \frac{Z_0}{\zeta_0} \quad (\text{m/m}) \quad (1)$$

Pada kenyataannya, gelombang di laut adalah gelombang acak sehingga respon kapal terhadap gelombang regular yang dinyatakan dalam RAO tidak dapat menggambarkan respon kapal pada keadaan sesungguhnya di laut. Untuk mendapatkan respon gerakan kapal terhadap gelombang acak dapat digambarkan dengan spektrum respon. Spektrum respon didapatkan dengan mengalikan spectrum gelombang (S_ζ) dengan RAO² :

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

2.6. Spektrum Gelombang

Adapun spektrum gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Bretschneider or ITTC* dengan menggunakan dua parameter, yaitu tingi gelombang signifikan (H_s) dan periode rata-rata (T_{av}) [3].

$$S_{ITTC \zeta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(\frac{-B}{\omega^4}\right) \quad (3)$$

dimana :

ω = Frekuensi gelombang (rad/s)

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

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

Spektrum gelombang (S_w) yang dihasilkan dari persamaan (6) sangat bergantung pada nilai frekuensi gelombang. Akibat pengaruh kecepatan kapal dan sudut datang gelombang, maka frekuensi gelombang insiden (ω_w) akan berubah menjadi frekuensi gelombang papasan atau *ecountering wave frequency* (ω_e). Gelombang papasan inilah yang digunakan untuk membuat spektrum gelombang papasan (S_e). Untuk dapat menghitung frekuensi gelombang papasan dapat menggunakan :

$$\omega_e = \left(1 - \frac{\omega V}{g} \cos \mu\right) \quad (4)$$

dimana :

ω_e = Frekuensi gelombang papasan (rad/s)

ω = Frekuensi gelombang (rad/s)

V = Kecepatan kapal (m/s)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

2.7. Gerak Relatif Haluan

Gerakan vertikal merupakan suatu gerakan yang terjadi pada setiap titik disepanjang lambung kapal diatas gelombang regular. Untuk gelombang

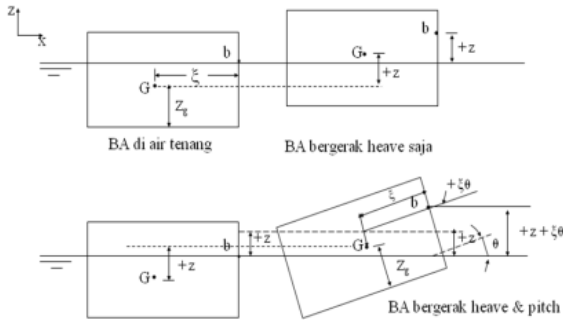
regular, persamaan gerakan *heaving* dan *pitching* bisa dilihat pada persamaan berikut [3] :

Dimana:

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

$\varepsilon \theta$: Sudut fase gerakan *pitching* terhadap gelombang (deg)

$\omega_e t$: Waktu (s)



Gambar 2.3. Gerak Vertikal Haluan

Jika kapal diasumsikan bergerak digelombang regular, maka gerakan vertikal pada haluan kapal dapat dinotasikan dengan Z_b sesuai dengan Persamaan 10 atau jika pada sudut θ kecil dapat disederhanakan menjadi sesuai dengan Persamaan dibawah ini :

$$Z_b = Z + \zeta \sin \theta \quad (5)$$

$$Z_b = Z + \zeta \theta$$

$$= Z_a \cos \omega_e t + \varepsilon_z + \zeta \theta_a \cos (\omega_e t + \varepsilon_\theta) \quad (6)$$

$$= (Z_b)_a \cos \omega_e t + \varepsilon_b$$

Dimana :

Z = Gerakan *heaving* (m)

ξ = Jarak antara CG ke titik b pada haluan

θ = Gerakan *pitching* (rad)

Dengan amplitude gelombang dan sudut fase

$$Z_b = \sqrt{Z_a^2 + (\xi \theta_a)^2 + 2Z_a \xi \theta_a \cos(\varepsilon_\theta)} \quad (7)$$

$$\tan \varepsilon_b = \frac{Z_a \sin \xi \theta_a \sin \varepsilon_\theta}{Z_a \cos \xi \theta_a \cos \varepsilon_\theta} \quad (8)$$

Kemudian persamaan untuk menghitung elevasi gelombang pada gerakan vertikal haluan:

$$\zeta_b = \zeta \cos (k_e \xi - \omega_e t) \quad (9)$$

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)

2.8. Gerak 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 [3]:

$$S_b = (S_b)_a \cos \omega_e t + \varepsilon_s \quad (10)$$

$$(S_b)_a = \sqrt{(b + \zeta)^2 - (b - \zeta) \theta \cos(\zeta - b)} \quad (13)$$

$$T_n \varepsilon_s = \zeta \sin \zeta - b \sin b \zeta \quad (14)$$

Dimana:

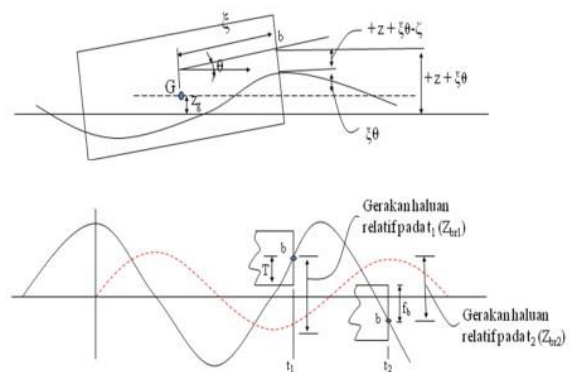
$(S_b)_a$: Amplitudo gerak haluan relatif

$(Z_b)_a$: Amplitudo gerak vertikal haluan

Z_a : Amplitudo gelombang

K_e : Angka gelombang efektif

ε_b : Sudut fase gerakan vertical haluan



Gambar 2.4. Gerak Haluan Relatif Terhadap Gelombang

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Materi Penelitian

- Data Primer

Berikut data utama ukuran kapal :

Loa	=	63,80	m
Lpp	=	57,00	m
B	=	11,60	m
H	=	4,5	m
T	=	2,9	m

- Data Sekunder

Dalam penelitian ini, pada model kapal yang sama akan dilakukan perhitungan olah gerak (*seakeeping*) dengan penambahan tiga tipe *bulbous bow* dengan variasi kecepatan antara 10 hingga 18 knot.

3.2. Parameter Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada efek yang ditimbulkan oleh penambahan *bulbous bow* terhadap olah gerak kapal (*Seakeeping*). Penelitian ini disimulasikan untuk memperoleh nilai respon *seakeeping* yang paling rendah dan probabilitas slamming yang sesuai dengan standar kriteria *Nordsfork 1987*

Parameter yang dipakai adalah sebagai berikut :

- ❖ Parameter tetap :

1. Dimensi properties dari lambung kapal antara lain :
 - a. Length *perpendicular* (LPP) (m)
 - b. *Breadth* (B) (m)
 - c. *Draft* (T) (m)
2. Tinggi gelombang Signifikan (H_s) yang digunakan yaitu 1 m, 2,5 m dan 4 m (sesuai dengan karakteristik tinggi gelombang di kepulauan seribu) dengan periode rata-rata (T_{av}) yaitu 3,2109 detik.
3. Arah gelombang yang ditinjau adalah gelombang dari depan (*Head Waves*) yaitu pada sudut 180^0 .

- ❖ Parameter peubah

1. Kecepatan kapal
2. Tipe Haluan Kapal atau *Bulbous Bow*
3. Arah gelombang yang ditinjau adalah gelombang dari depan (*Head Waves*) yaitu pada sudut 180^0 .

3.3. Kriteria *Seakeeping* untuk Kapal penumpang

Kriteria *seakeeping* untuk kapal digunakan untuk menyesuaikan hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan standar kriteria yang ada. Pada penelitian ini, standar *seakeeping* yang digunakan adalah standar kriteria *Nordsforks 1987*

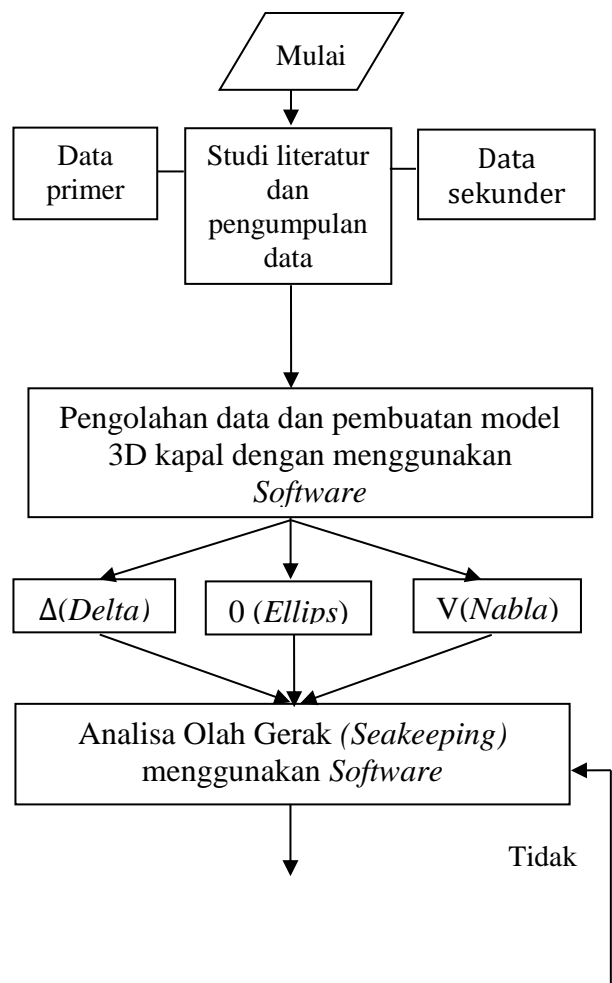
General operability Limiting Criteria for Ships

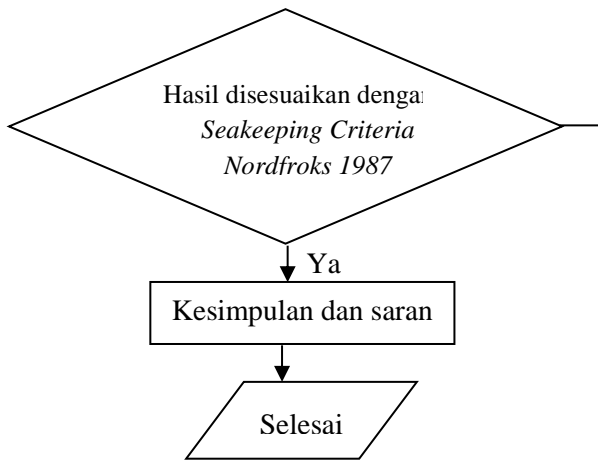
Tabel 2. Kriteria *Nordsfork 1987*

Description	Merchant ships
RMS of vertical acceleration	0,275 g ($L \leq 100$ m) 0,050 g ($L \leq 330$ m)
RMS of vertical acceleration at Bridge	0,15 g
RMS of lateral acceleration of Bridge	0,12 g
RMS of Roll	6,0 deg
Probability of Slamming	0,03 ($L \leq 100$ m) 0,01 ($L \leq 300$ m)
Probability of Deck wetness	0,05

3.4. Diagram Alir Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini terangkum secara sistematis dalam diagram alir di bawah ini :





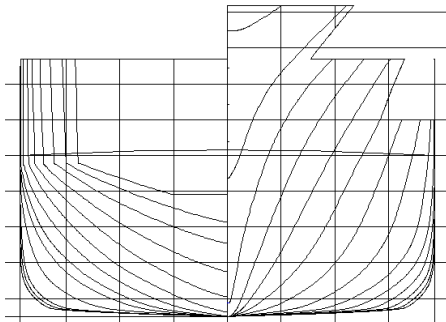
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

4. PERHITUNGAN DAN ANALISA

4.1. Pemodelan

4.1.1 Desain Model Badan Kapal Perintis 750 DWT (Existing)

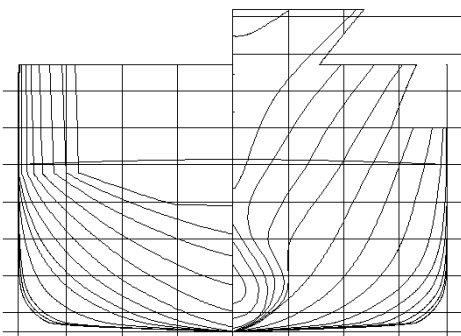
Dari data pada metodologi dibuat pemodelan badan kapal dengan bantuan *Software Autocad 2016* :



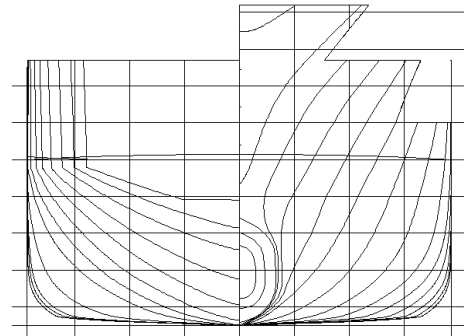
Gambar 4.1 Model Kapal Existing

3.1.2 Variasi Bentuk *Bulbous Bow*

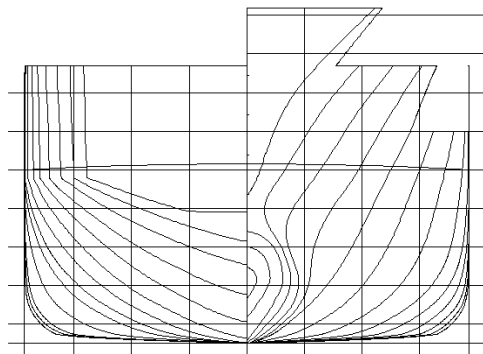
Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah perbedaan jenis *bulbous bow* dan kecepatan kapal. Untuk bentuk *bulbous bow* yang digunakan adalah tipe Δ (*Delta type*), tipe 0 - (*Ellips Type*) dan tipe V (*Nabla Type*). Berikut pemodelan dengan menggunakan *Software* :



Gambar 4.2 Model *Bulbous Bow* Δ (*Delta Type*)



Gambar 4.3 Model *Bulbous Bow* 0 (*Ellips Type*)



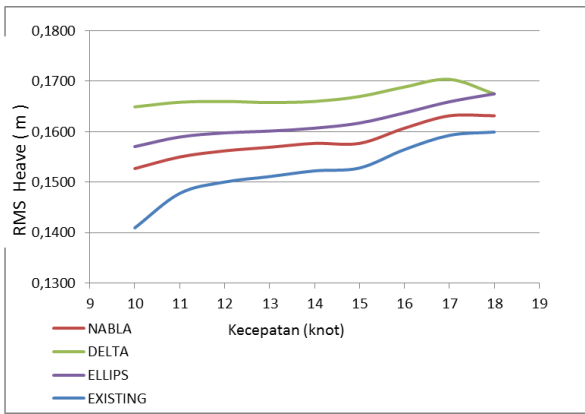
Gambar 4.4 Model *Bulbous Bow* V (*Nabla Type*)

4.2. Konfigurasi *Type Bulbous bow* pada Variasi Kecepatan

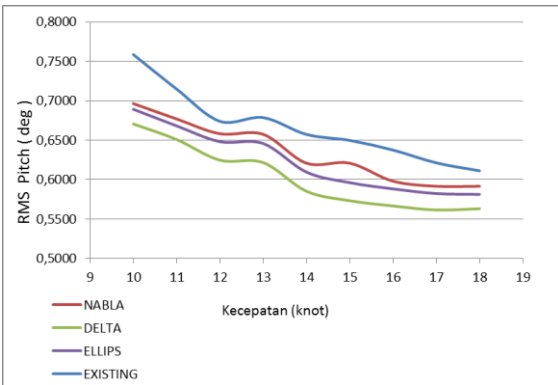
Kapal Perintis yang telah ditambahkan *bulbous* dengan tipe Δ (*Delta type*), tipe 0 (*Ellips Type*) dan tipe V (*Nabla Type*) dihitung nilai RAOnya untuk masing-masing gerakan *heaving* dan *pitching*.

Nilai tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode rata-rata gelombang (T_{ave}) yang digunakan untuk membentuk spektrum gelombang adalah 1 m detik pada kecepatan 10 hingga 18 knot. [2]

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.



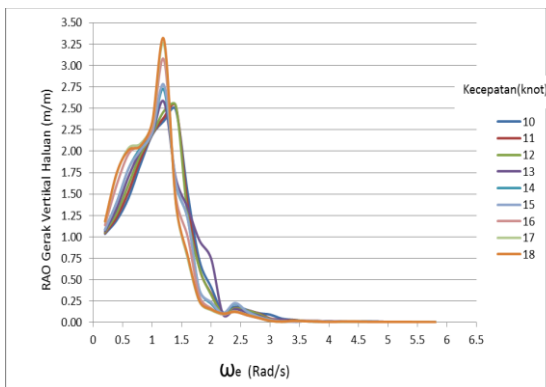
Gambar 4. 5. Komparasi RMS *Heaving*



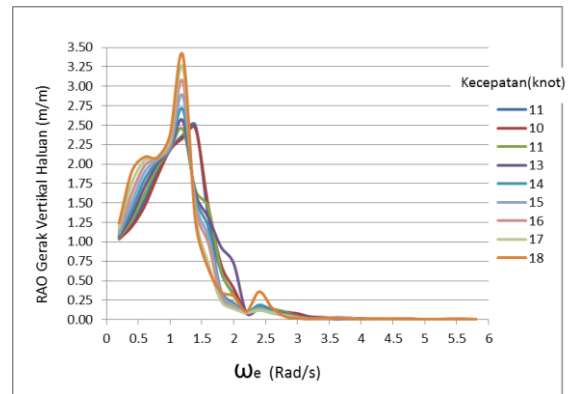
Gambar 4.6. Komparasi RMS *Pitching*

4.3. Gerak Vertikal Haluan

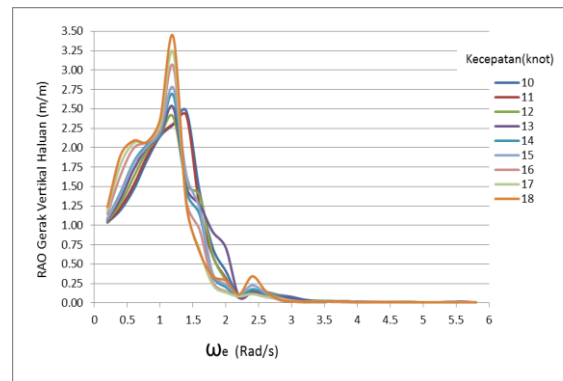
Gerakan vertikal merupakan suatu gerakan yang terjadi pada setiap titik disepanjang lambung kapal diatas gelombang regular. Untuk gelombang regular Dengan menggunakan Persamaan 5-14 selanjutnya kurva RAO gerakan vertikal haluan (Z_b) didapatkan. RAO gerakan vertikal haluan (Z_b) terdapat pada gambar berikut:



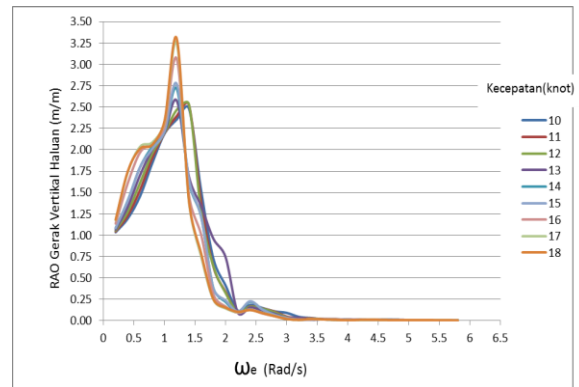
Gambar 4.7. RAO Gerakan Vertikal Haluan *Bulbous Bow Delta*



Gambar 4.8. RAO Gerakan Vertikal Haluan *Bulbous Bow Ellips*



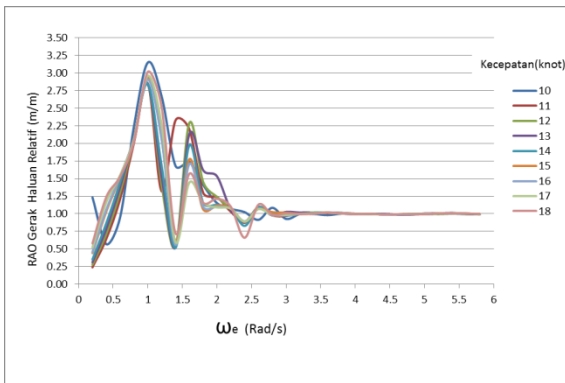
Gambar 4.9. RAO Gerakan Vertikal Haluan *Bulbous Bow Nabla*



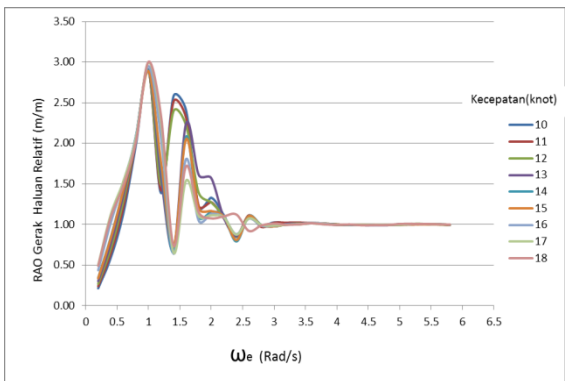
Gambar 4.10. RAO Gerakan Vertikal Haluan *Kapal Existing*

4.4. Gerak Haluan Relatif

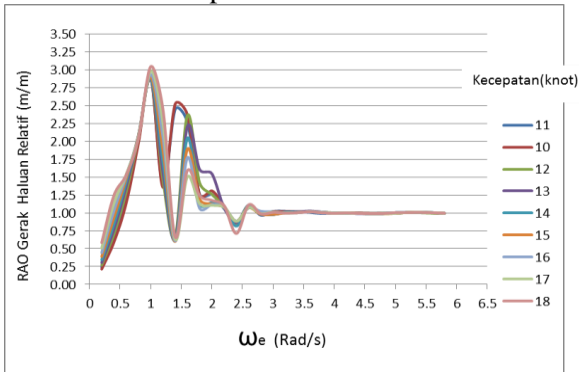
Untuk memprediksi terjadinya *slamming* dilakukan dengan menganalisa gerak relatif pada bagian haluan kapal (*fore peak*) terhadap gelombang. Persamaan dari gerak relatif haluan dapat diketahui pada saat amplitudo dan sudut fase dari gerakan *heaving* dan *pitching* diketahui hubungannya dengan permukaan gelombang dengan menggunakan Persamaan 3-10 dan RAO gerakan vertikal haluan (Z_b) selanjutnya didapatkan RAO untuk gerakan haluan relatif (S_b) terdapat pada gambar berikut:



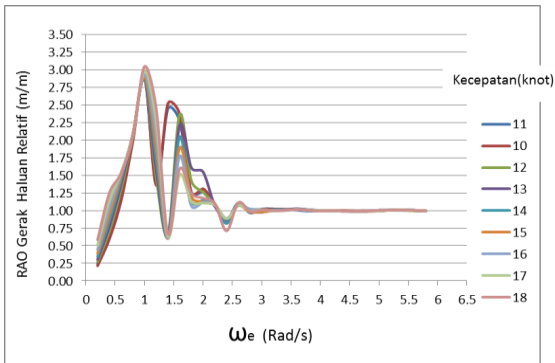
Gambar 4.11. RAO Gerakan Haluan Relatif Bulbous Bow Delta



Gambar 4.12. RAO Gerakan Haluan Relatif Bulbous Bow Ellips



Gambar 4.13. RAO Gerakan Haluan Relatif Bulbous Bow Nabla



Gambar 4.14. RAO Gerakan Haluan Relatif Kapal Existing

4.5. Probabilitas dan Intensitas Slamming

Hasil perhitungan probabilitas dan intensitas *slamming* terdapat pada Tabel 3, 4, dan 5. Model kapal dengan penambahan Bulbous Bow tipe Δ (*Delta type*), tipe 0 (*Ellips Type*) dan tipe V (*Nabla Type*) semua memenuhi standar probabilitas *Nordforsk 1987* karena memiliki probabilitas *slamming* dibawah 3%. [7]

Untuk mendapatkan intensitas *slamming* selama 1 jam, nilai Intensitas *slamming* per detik (*Nw*) dikali dengan 3600 detik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tipe Δ (*Delta type*) memiliki probabilitas dan intensitas *slamming* terkecil, sedangkan tipe V (*Nabla Type*) memiliki probabilitas dan intensitas *slamming* terbesar. Hal ini yang menjadi dasar bahwa model *Bulbous* terbaik terdapat pada *Bulbous* tipe Δ (*Delta type*). [5]

Tabel 3. Hasil Perhitungan Probabilitas dan Intensitas *Slamming* Delta pada gelombang 1 meter.

	M0	M2	Prob (%)	Nw	Slamming /Jam	slamming/detik
10 knot	1.754	2.921	0.386	0,0047	17.140	0.005
11 knot	1.769	2.957	0.389	0,0049	17.671	0.005
12 knot	1.770	2.958	0.390	0,0058	17.705	0.005
13 knot	1.753	2.955	0.389	0,0048	17.289	0.005
14 knot	1.747	2.922	0.328	0,0047	16.989	0.005
15 knot	1.777	2.950	0.401	0,0045	18.822	0.005
16 knot	1.745	3.000	0.389	0,0048	17.309	0.005
17 knot	1.729	3.017	0.381	0,0047	17.008	0.005
18 knot	1.744	3.106	0.400	0,0049	17.795	0.005

Tabel 4. Hasil Perhitungan Probabilitas dan Intensitas *Slamming* Ellips pada gelombang 1 meter.

	M0	M2	Prob (%)	Nw	Slamming /Jam	slamming/detik
10 knot	1.756	2.908	0.385	0.0048	17.173	0.005
11 knot	1.740	2.944	0.381	0.0040	16.980	0.005
12 knot	1.755	3.045	0.400	0.0049	17.826	0.005
13 knot	1.767	2.999	0.401	0.0049	17.887	0.005
14 knot	1.766	3.010	0.402	0.0049	17.921	0.005
15 knot	1.764	3.046	0.405	0.0050	18.049	0.005
16 knot	1.756	3.081	0.404	0.0050	18.030	0.005
17 knot	1.721	3.042	0.381	0.0047	16.995	0.005
18 knot	1.817	3.265	0.405	0.0056	20.447	0.006

Tabel 5. Hasil Perhitungan Probabilitas dan Intensitas *Slamming* Nabla pada gelombang 1 meter.

	M0	M2	Prob (%)	Nw	Slamming /Jam	slamming/detik
10 knot	1.745	2.933	0.382	0.0047	16.924	0.005
11 knot	1.763	2.955	0.389	0.0049	17.449	0.005
12 knot	1.767	2.999	0.401	0.0048	17.755	0.005
13 knot	1.755	3.045	0.400	0.0047	17.690	0.005
14 knot	1.753	2.955	0.390	0.0045	17.211	0.005
15 knot	1.774	3.020	0.392	0.0050	18.024	0.005
16 knot	1.752	3.057	0.400	0.0049	17.628	0.005
17 knot	1.728	3.032	0.384	0.0047	16.989	0.005
18 knot	1.829	3.268	0.406	0.0057	20.625	0.006

Tabel 6. Hasil Perhitungan Probabilitas dan Intensitas Slamming kapal Existing pada gelombang 1 meter.

	M0	M2	Prob (%)	Nw	Slamming /Jam	slamming/detik
10	1.961	6.082	0.776	0.007	25.254	0.007
11	1.921	7.703	0.809	0.007	26.345	0.007
12	2.098	7.633	0.970	0.008	31.581	0.009
13	2.123	5.644	0.885	0.007	28.796	0.008
14	1.922	6.552	0.765	0.006	24.901	0.007
15	1.873	7.678	0.764	0.007	24.882	0.007
16	1.965	7.260	0.833	0.008	27.128	0.008
17	2.312	4.744	0.957	0.008	31.150	0.009
18	1.949	7.282	0.819	0.007	26.663	0.007

Tabel 7. Hasil Perhitungan Probabilitas dan Intensitas Slamming Delta pada gelombang 2,5 meter.

	M0	M2	Prob (%)	Nw	Slamming /Jam	slamming/detik
10 knot	2.195	3.635	0.739	0.0091	32.931	0.009
11 knot	2.175	3.680	0.732	0.0090	32.634	0.009
12 knot	2.194	3.806	0.762	0.0094	33.928	0.009
13 knot	2.209	3.748	0.764	0.0095	34.021	0.009
14 knot	2.208	3.762	0.765	0.0094	34.074	0.009
15 knot	2.205	3.808	0.769	0.0095	34.290	0.010
16 knot	2.195	3.852	0.768	0.0095	34.239	0.010
17 knot	2.152	3.802	0.733	0.0090	32.658	0.009
18 knot	2.271	4.082	0.850	0.0105	37.865	0.011

Tabel 8. Hasil Perhitungan Probabilitas dan Intensitas Slamming Ellips pada gelombang 2,5 meter.

	M0	M2	Prob (%)	Nw	Slamming /Jam	slamming/detik
10 knot	2.182	3.666	0.735	0.0090	32.500	0.009
11 knot	2.204	3.693	0.753	0.0092	33.305	0.009
12 knot	2.209	3.748	0.760	0.0093	33.771	0.009
13 knot	2.194	3.806	0.762	0.0093	33.678	0.009
14 knot	2.191	3.694	0.745	0.0091	32.940	0.009
15 knot	2.217	3.775	0.773	0.0095	34.180	0.009
16 knot	2.190	3.821	0.762	0.0094	33.659	0.009
17 knot	2.160	3.790	0.737	0.0090	32.599	0.009
18 knot	2.287	4.085	0.861	0.0105	38.072	0.011

Tabel 9. Hasil Perhitungan Probabilitas dan Intensitas Slamming Nabla pada gelombang 2,5 meter.

	M0	M2	Prob (%)	Nw	Slamming /Jam	slamming/detik
10 knot	2.192	3.651	0.749	0.0091	32.861	0.009
11 knot	2.211	3.697	0.760	0.0094	33.673	0.009
12 knot	2.332	3.892	0.870	0.0107	38.458	0.011
13 knot	2.191	3.694	0.750	0.0092	33.090	0.009
14 knot	2.184	3.652	0.730	0.0184	33.630	0.009
15 knot	2.221	3.687	0.760	0.0094	33.903	0.009
16 knot	2.181	3.750	0.750	0.0092	33.121	0.009
17 knot	2.161	3.771	0.740	0.0091	32.659	0.009
18 knot	2.180	3.883	0.760	0.0094	33.854	0.009

Tabel 10. Hasil Perhitungan Probabilitas dan Intensitas Slamming kapal Existing pada gelombang 2,5 meter.

	M0	M2	Prob (%)	Nw	Slamming /Jam	slamming/detik
10	2.451	7.602	1.294	0.012	42.098	0.012
11	2.402	9.628	1.339	0.012	43.554	0.012
12	2.622	9.541	1.548	0.014	50.352	0.014
13	2.653	7.055	1.438	0.013	46.767	0.013
14	2.402	8.190	1.280	0.012	41.634	0.012
15	2.342	9.597	1.279	0.012	41.608	0.012
16	2.457	9.075	1.370	0.012	44.586	0.012
17	2.891	5.930	1.531	0.014	49.801	0.014
18	2.436	9.103	1.352	0.012	43.974	0.012

Tabel 11. Hasil Perhitungan Probabilitas dan Intensitas Slamming Delta pada gelombang 4 meter.

	M0	M2	Prob (%)	Nw	Slamming /Jam	slamming/detik
10 knot	3.512	5.816	1.963	0.0244	87.444	0.024
11 knot	3.481	5.887	1.952	0.0243	86.952	0.024
12 knot	3.510	6.090	2.000	0.0247	89.091	0.025
13 knot	3.534	5.997	2.000	0.0247	89.244	0.025
14 knot	3.532	6.019	2.006	0.0248	89.329	0.025
15 knot	3.528	6.092	2.013	0.0249	89.648	0.025
16 knot	3.513	6.162	2.012	0.0248	89.600	0.025
17 knot	3.443	6.083	1.953	0.0241	86.991	0.024
18 knot	3.634	6.531	2.142	0.0265	95.410	0.027

Tabel 12. Hasil Perhitungan Probabilitas dan Intensitas Slamming Ellips pada gelombang 4 meter.

	M0	M2	Prob (%)	Nw	Slamming /Jam	slamming/detik
10 knot	3.508	5.842	1.960	0.0242	87.235	0.024
11 knot	3.537	5.915	2.000	0.0246	88.576	0.025
12 knot	3.731	6.227	2.170	0.0267	96.245	0.027
13 knot	3.506	5.910	1.970	0.0243	87.613	0.024
14 knot	3.495	5.844	1.960	0.0241	86.850	0.024
15 knot	3.553	5.900	2.000	0.0247	88.954	0.025
16 knot	3.489	6.000	1.970	0.0244	87.665	0.024
17 knot	3.457	6.034	1.960	0.0241	86.898	0.024
18 knot	3.488	6.212	0.149	0.0247	88.872	0.025

Tabel 13. Hasil Perhitungan Probabilitas dan Intensitas Slamming Nabla pada gelombang 4 meter.

	M0	M2	Prob (%)	Nw	Slamming /Jam	slamming/detik
10 knot	3.508	5.842	1.960	0.0242	87.235	0.024
11 knot	3.537	5.915	2.000	0.0246	88.576	0.025
12 knot	3.731	6.227	2.170	0.0267	96.245	0.027
13 knot	3.506	5.910	1.970	0.0243	87.613	0.024
14 knot	3.495	5.844	1.960	0.0241	86.850	0.024
15 knot	3.553	5.900	2.000	0.0247	88.954	0.025
16 knot	3.489	6.000	1.970	0.0244	87.665	0.024
17 knot	3.457	6.034	1.960	0.0241	86.898	0.024
18 knot	3.745	6.700	2.240	0.0247	99.422	0.028

Tabel 14. Hasil Perhitungan Probabilitas dan Intensitas Slamming kapal Existing pada gelombang 4 meter.

	M0	M2	Prob (%)	Nw	Slamming /Jam	slamming/detik
10 knot	3.922	12.163	2.786	0.025	90.634	0.025
11 knot	3.843	15.406	2.846	0.026	92.585	0.026
12 knot	4.196	15.265	3.116	0.028	101.363	0.028
13 knot	4.245	11.288	2.975	0.027	96.791	0.027
14 knot	3.844	13.104	2.767	0.025	90.008	0.025
15 knot	3.747	15.355	2.766	0.025	89.973	0.025
16 knot	3.931	14.520	2.888	0.026	93.945	0.026
17 knot	4.625	9.487	3.094	0.028	100.669	0.028
18 knot	3.897	14.564	2.863	0.026	93.137	0.026

5. KESIMPULAN

Dari hasil analisa yang telah dilakukan dapat didapatkan kesimpulan bahwa :

1. Kapal existing mempunyai respon Heaving yang lebih baik dibandingkan dengan tiga variasi modifikasi *bulbous* yang ada yaitu bernilai sekitar 0,14 -0,16 meter , sedangkan *bulbous bow* tipe – Δ (delta) mempunyai respon Pitching yang lebih baik dibandingkan dengan model kapal existing, *bulbous bow* tipe – V (nabla) dan tipe – 0 (elips) yaitu dengan nilai 0,56° – 0,66°.

2. Bulbous tipe Δ (*Delta type*) mempunyai probabilitas dan intensitas *slamming* paling baik diantara model kapal existing dan dua tipe *bulbous* lainnya, dengan nilai probabilitas sekitar 0,145 % hingga 0,149 % pada tinggi gelombang 1 m, lalu 0,732 % hingga 0,850 % pada gelombang 2 meter dan yang terakhir 1,956 hingga 2,0004 % pada gelombang 4 m. Hal ini menjadi dasar bahwa model *Bulbous* terbaik didapatkan pada *Bulbous* tipe Δ (*Delta type*). Tipe *bulbous* ini dapat mengurangi probabilitas *slamming* pada kapal existing sebesar 75 % - 84,2 % .

6. Saran

1. Penulis merekomendasikan melakukan analisa olah gerak dan hambatan dengan memodifikasi bentuk haluan dengan *anti-slamming bulbous bow*.
2. Melakukan analisa hambatan total untuk setiap variasi yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] AQWA User Manual.2012
- [2] 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
- [3] Bhattacharyya, R. 1972. Dynamic of Marine Vehicles. New York, United State of America.
- [4] Darmawan, I., Djatmiko, E.B., Murtedjo, M. 2012. Analisa Slamming Offshore Patrol Boat. Jurnal Teknik POMITS Vol 1 : 1-6.
- [5] Iqbal, M dan Rindo, G. 2016. Pengaruh Anti-Slamming Bulbous Bow Terhadap Gerakan Slamming Pada Kapal Perintis 200 DWT. KAPAL Vol 13. No. 1
- [6] Iqbal, M dan Rindo, G. 2015. Optimasi Bentuk Demihull Kapal Katamaran Untuk Meningkatkan Kualitas Seakeeping. KAPAL Vol 11. No. 1 : 19-24
- [7] N. (1987), "NORDFORSK (1987) - Seakeeping Criteria," p. 1987, 1987.
- [8] Scamardella, A. dan Piscopo, V. 2014. Passenger Ship Seakeeping Optimization by the Overall Motion Sickness Incidence
- [9] Serter, E.H., 1993. Hydrodynamics and naval architecture of Deep-Vee hull forms. Research Developments-Designs, Hydro Research Systems S.A. March