



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Pengaruh Perubahan *Hullform* Terhadap *Motion Sickness Incidence (MSI)* Pada Kapal Ro – Ro 500 GT

Budi Setyawan¹⁾, Deddy Chrismianto¹⁾, Sarjito Jokosisworo¹⁾,

¹⁾Laboratorium Perancangan Kapal Dibantu Komputer

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

Email: budi.kpl13@gmail.com, deddychrismianto@yahoo.co.id, sarjitojs@gmail.com

Abstrak

Gerakan kapal terombang – ambing atau naik turun yang diakibatkan oleh ombak yang besar dan terus menerus dapat mengakibatkan gejala sakit berupa kepala pusing, mual bahkan muntah yang seringkali diistilahkan sebagai mabuk laut (*motion sickness*). Pada kapal penumpang (*ferry*) kondisi ini menjadi suatu persyaratan penting yang harus dipertimbangkan dalam proses desain. Dalam penelitian ini dilakukan kajian terhadap hasil perhitungan respon gerakan kapal Ro - Ro 500 GT sehingga bisa dilihat respon kapal terhadap kenyamanan penumpang. Pada penelitian ini difokus pada optimasi bentuk lambung kapal untuk meningkatkan kualitas *seakeeping* sesuai dengan standar *seakeeping* pada *Nortforks 1987* serta menurunkan nilai *Motion Sickness Incidence* sesuai dengan standar *ISO-2631/1997*. Perubahan bentuk lambung dilakukan dengan merubah parameter nilai koefisien blok (C_b) sebesar $\pm 5\%$ dan $\pm 10\%$ dengan Metode *Lackenby* serta merubah posisi letak LCB sebesar $\pm 3\%$ dan $\pm 5\%$ dengan bantuan *software Maxsurf Modeler Advance*. Kapal Ro – Ro memenuhi kriteria *seakeeping* sampai *sea state 4* dengan tinggi gelombang 2,012 m dalam periode gelombang 6,084s, serta memenuhi kriteria MSI kurang dari 10% setelah 2 jam pada *following seas* dan *head seas*, nilai OMSI menurun ketika C_b diperkecil dan Lcb digeser kearah depan kapal. Pengaruh paling signifikan terhadap kapal terjadi pada *sea state 4* yaitu penurunan nilai OMSI sebesar 0,709.

Kata Kunci : *Seakeeping*, *Motion Sickness Incidence*, Ro - Ro 500 GT

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal sebagai salah satu faktor utama dalam proyek pembangunan tol laut tentunya memiliki peran yang sangat penting. Perancangan kapal sebagai angkutan penghubung barang dan manusia antar pulau – pulau juga harus memperhatikan aspek kenyamanan dan keselamatan kapal pada saat berlayar yang dapat disebabkan baik oleh olah gerak kapal itu sendiri, maupun dari luar (*seakeeping*), aspek kenyamanan penumpang yang dimaksud adalah kondisi dimana penumpang akan mengalami mabuk laut selama pelayaran berlangsung atau dalam istilah disebut *motion sickness*.

Agar kapal nyaman dikendarai, maka pada tahap perencanaan sudah diketahui besarnya nilai *motion sickness incidence*, selanjutnya nilai ini

dibandingkan dengan *seakeeping* kriteria, bila tidak sesuai ada 2 kemungkinan perbaikannya, yaitu dengan memindahkan rute pelayaran dan dengan merubah rencana garis kapal atau merubah ukuran utama sehingga mampu berlayar di rute pelayaran tersebut. [1]

1.2 Perumusan Masalah

Dari penjelasan latar belakang di atas, dapat dirumuskan masalah yang dihadapi dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

- 1) Bagaimana pengaruh perubahan C_b dan letak Lcb terhadap gerakan *seakeeping* kapal Ro - Ro 500 GT?
- 2) Bagaimana pengaruh perubahan C_b dan letak Lcb kapal Ro - Ro 500 GT terhadap besarnya nilai *Motion Sickness Incidence (MSI)*?

1.3 Tujuan Penelitian

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

- 1) Mendapatkan karakteristik gerakan *seakeeping* dari perubahan Cb dan letak Lcb kapal Ro - Ro 500 GT
- 2) Mengetahui besarnya pengaruh perubahan Cb dan letak Lcb Kapal Ro-Ro 500 GT terhadap nilai *motion sickness incidence (MSI)*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dasar Utama Perubahan Hull form

Metode *Lackenby* adalah metode untuk mengubah bentuk lambung dengan cara mengubah salah satu parameter ukuran utama kapal, parameter peubah biasanya mencakup panjang, lebar, sarat, koefisien prismatic (Cp), (Lcb), dan Koefisien *Midship* (Cm) [2]. Hal ini akan berpengaruh dalam mengubah salah satu dari variabel desain yang utama sambil mempertahankan nilai konstan untuk sisanya. Dalam metode ini terdapat salah satu variabel yang akan berubah dari semula, seperti dalam penelitian kali ini dimana variabel B atau lebar kapal berubah akibat adanya perubahan dari nilai Cb.

Perubahan posisi LCB kapal, maka jarak station harus dihitung secara terpisah untuk bagian midship kedepan (Cbf) dan midship kebelakang (Cba). Perubahan Lcb akan menaikkan nilai salah satu sisi dan mengurangi nilai sisi lainnya. Perubahan %Lcb akan merubah nilai Cbf = Cb + 0,07 dan Cba = Cb - 0,007 [3]

2.2. Kondisi Perairan (Sea State)

Ketika kapal bergerak di laut maka gerakannya dipengaruhi oleh gaya-gaya yang bekerja dari luar antara lain gelombang, arus air, kedalaman dan luas perairan, angin, dan lain sebagainya. Keadaan tersebut dibedakan dalam berapa *sea state* dimana semakin tinggi *sea state* maka kondisi suatu perairan maka semakin meningkat pula kondisi gelombangnya. Data *sea state* tersebut disajikan dalam table di bawah ini:

Tabel 1. Sea State Bhattacharyya [4]

Parameter	Sea State				
	0	1	2	3	4
Wave Height (m)	0,03	0,488	1,006	1,433	2,012
Average Periode (Sec)	0,5	2,3	3,6	4,3	5,1

2.3. Olah Gerak Kapal (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 (*surgings, 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*. [5]

2.4. Response Amplitude 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) [5] (lihat persamaan 1) :

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

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 RAO^2 (lihat persamaan2):

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

2.5. Spektrum Gelombang

Spektrum gelombang yang dihasilkan sangat bergantung pada nilai frekuensi gelombang. Akibat adanya pengaruh kecepatan kapal dan sudut datang gelombang, maka frekuensi gelombang inside (ω_w) akan berubah menjadi frekuensi gelombang papasan (ω_e), gelombang tersebut yang digunakan untuk menghitung gelombang papasan (Se). Dengan persamaan 3 :

$$\omega_e = \omega \left(1 - \frac{wV}{g}\right) \quad (3)$$

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)

Spektrum JONSWAP (*Joint North Sea gelombang Project*) spektrum sering digunakan untuk menggambarkan perairan pesisir di mana pengambilan terbatas. (lihat persamaan 4 dan 5)

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

$$S\zeta_{JONSWAP}(\omega) = 0,658 S\zeta_{ITTC}(\omega) C(\omega) \quad (5)$$

2.6. Root Mean Square (RMS)

RMS merupakan luasan kurva di bawah kurva spectrum respon yang dinyatakan dalam m_0 , dengan persamaan 6 :

$$m_0 = \int_0^\infty S\zeta r(\omega) d\omega \quad (6)$$

Jika nilai RMS dari masing-masing amplitude gerakan (ζ) dinyatakan dalam $\sqrt{m_0}$ maka dinyatakan dalam persamaan 7 :

$$(\zeta)_{av} = 1.253 \sqrt{m_0} \quad (7)$$

Kemudian untuk mendapatkan amplitude signifikan atau disebut dengan rata-rata dari 1/3 amplitude tertinggi dinyatakan dengan persamaan 8 :

$$(\zeta)_s = 2 \sqrt{m_0} \quad (8)$$

Sedangkan luasan spektrum respon untuk kecepatan dan percepatan yang dinyatakan dalam m_2 dan m_4 dengan persamaan 9 dan 10 :

$$m_2 = \int_0^\infty \omega^2 S\zeta r(\omega) d\omega \quad (9)$$

$$m_4 = \int_0^\infty \omega^4 S\zeta r(\omega) d\omega \quad (10)$$

2.7. Perhitungan Probabilitas Slamming

Untuk memprediksi terjadinya slamming dilakukan dengan menganalisa gerak relatif pada bagian haluan kapal (*fore peak*) terhadap gelombang. Untuk menganalisa probabilitas *slamming* menggunakan persamaan 11.

$$P\{\text{slamming}\} = \exp^{-y} \quad (11)$$

$$y = (T^2/2m_0) + (V_{cr}^2/2m_2) \quad (12)$$

$$V_{cr} = 0,093 (gL)^{1/2} \quad (13)$$

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

V_{cr} = *velocity threshold* (kecepatan ambang)

Nw = Intensitas kejadian *slamming* perdetik

m_0 = *Relative vertical motion*

m_2 = *Relative certical velocity*

2.8. Motion Sickness Incidence (MSI)

Motion sickness incidence adalah istilah standar untuk rasa tidak nyaman dan rasa muntah yang disebabkan berbagai kondisi gerakan : dikapal, dipesawat terbang, dimobil, permainan ketangkasan, dalam kondisi tekanan gravitasi nol (ruang angkasa) dan dielevator/lift. Penelitian dikapal ataupun dilaboratorium telah dilaksanakan untuk menentukan pengaruh gerakan kapal (roll, pitch dan heave), frekwensi gerakan dan percepatan juga durasi kejadian dengan *motion sickness incidence*. [6] secara kuantitatif menemukan bahwa komponen vertikal gerakan memberikan respon paling utama pada terjadinya *motion sickness*, lebih sedikit atau tidak ada pengaruhnya pada gerakan *pitch* dan *roll*. Indeks MSI bisa dihitung menggunakan persamaan 14 berikut ini :

$$MSI = 100 \left[0,5 \pm \operatorname{erf} \left(\frac{\pm \log_{10} \frac{av}{g} \pm \mu_{MSI}}{0,4} \right) \right] \quad (14)$$

dimana ;

MSI = indeks MSI

erf = *error function*

av = percepatan vertikal rata – rata pada suatu titik atau lokasi yang ditentukan.

μ_{MSI} = parameter yang dihitung dari persamaan 15 berikut ini;

$$\mu_{MSI} = -0,819 + 2,32 (\log_{10} \omega_e)^2 \quad (15)$$

Selain mencari percepatan vertikal untuk mendapatkan indeks MSI, secara signifikan berbeda-beda di sepanjang kapal berdasarkan koordinat lebar dan panjangnya, indeks baru yaitu OMSI (*Overall Motion Sickness Incidence*), yang menjelaskan besarnya rata-rata MSI pada tiap deck kapal yang ditetapkan berdasarkan kondisi perairan dan sudut arah datangnya gelombang dirumuskan dengan persamaan 16:

$$OMSI_{(H1/3, Tz)_{j,uk}} = \frac{\int_{A_{deck}} MSI_{\left(\frac{H1}{3}, Tz\right)_{j,uk}(x,y,z_{deck})_i} dA}{A_{deck}} \quad (16)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Materi Penelitian

Data Primer

Loa	=	45,5	m
Lpp	=	40,15	m
Lwl	=	42,00	m
B	=	12,00	m
H	=	3,20	m
T	=	2,15	m
Cb	=	0,644	
Displacement	=	715	ton
LCB from midship	=	0,31	m
Speed (percobaan)	=	12	knot

3.2. Parameter Penelitian

Parameter yang dipakai dalam penelitian adalah sebagai berikut :

Parameter tetap :

- 1) Dimensi properties dari lambung kapal antara lain :
 - a. *Length Over All* (Loa) (m)
 - b. *Length of perpendicular* (Lpp) (m)
 - c. *Length of waterline* (Lwl) (m)
 - d. *Draft* (T) (m)
 - e. *Freeboard* (m)
 - f. *Displacement* (ton)

- 2) Sea State sesuai dengan tabel Bhattacharya, dalam penelitian ini menggunakan sea state 3 (Hs : 1,433m, Tav: 4,3 s); dan sea state 4 (Hs: 2,012, Tav: 5,1 s) sesuai kondisi ekstrim di perairan Riau rute Mengkapan – Kp.Balak.

Parameter peubah

- 1) Koefisien Block (Cb) $\pm 5\%$, dan $\pm 10\%$,
- 2) *Longitudinal Center of Bouyancy* (LCB) $\pm 3\%$, dan $\pm 5\%$,

3.3. Kriteria Seakeeping dan MSI untuk Kapal penumpang

Pada penelitian ini, *standart seakeeping* yang digunakan adalah standar kriteria *Nordfords 1987*

Tabel 2. Kriteria *Nordfords 1987*

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

Standar Internasional ISO 2631 mendefinisikan metode untuk estimasi persentase jumlah penumpang yang mengalami gejala *motion sickness* pada berbagai posisi di kapal untuk berbagai kriteria :

- 10% MSI setelah 8 jam
- 10% MSI setelah 2 jam
- 10% MSI setelah 30 menit.

Selain itu dari referensi ISO 2631 juga disebutkan bahwa tingkat kenyamanan atau penyebab MSI yang paling utama adalah adanya percepatan vertikal (*vertical acceleration*)[7]

Tabel 3. Tingkat kenyamanan dan percepatan vertikal

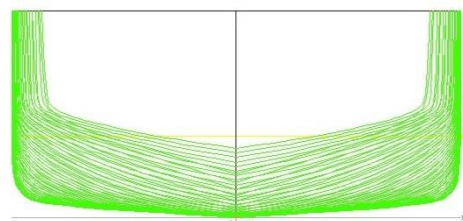
<i>Habitability Acceleration (RMS)</i>	
$< 0,315 \text{ ms}^{-2}$	Not uncomfortable
$0,315 - 0,63 \text{ ms}^{-2}$	A little uncomfortable
$0,63 - 1,0 \text{ ms}^{-2}$	Fairly uncomfortable
$1,0 - 1,6 \text{ ms}^{-2}$	Uncomfortable
$1,6 - 2,5 \text{ ms}^{-2}$	Very Uncomfortable
$> 2,5 \text{ ms}^{-2}$	Extremly Uncomfortable

4. PERHITUNGAN DAN ANALISA

4.1. Pemodelan

4.1.1 Desain Model Badan Kapal Ro – Ro 500 GT

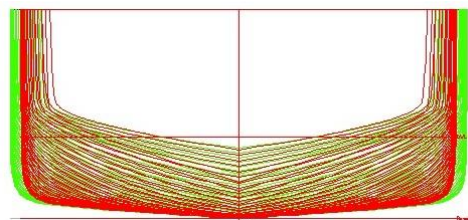
Dari data pada metodologi dibuat pemodelan badan kapal dengan bantuan *Software Maxsurf Modeler Advance* :



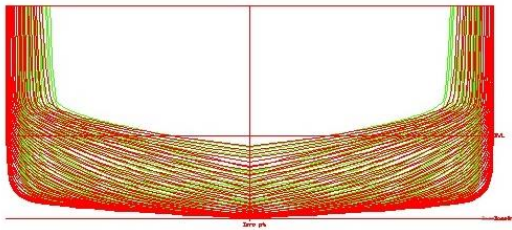
Gambar 1. Bentuk *Hull Form* Awal

4.1.2 Variasi Bentuk *Hullform*

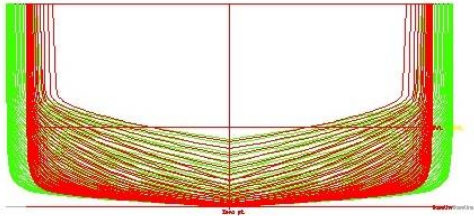
Variasi dilakukan, dengan memperhatikan beberapa aspek antara lain nilai Cb dari kapal dengan berpatokan pada nilai *Displacement* kapal. Terlihat pada gambar bahwa kapal awal ditunjukkan warna hijau sedangkan kapal yang mengalami variasi ditunjukkan dengan warna merah.



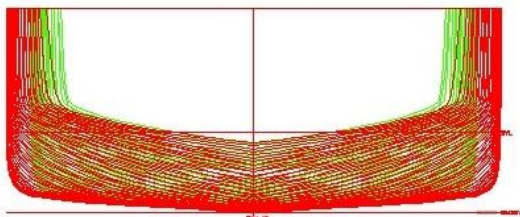
Gambar 2. Bentuk *Hull Form* Awal +5% CB



Gambar 3. Bentuk *Hull Form* Awal -5% CB



Gambar 4. Bentuk *Hull Form* Awal +10% CB

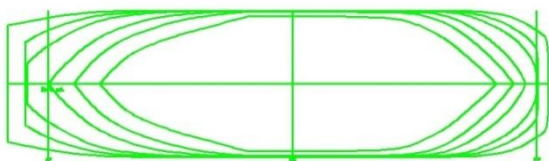


Gambar 5. Bentuk *Hull Form* Awal -10% CB

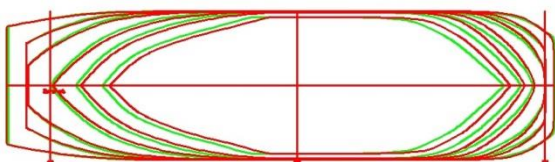
Tabel 4. Hasil Modifikasi Cb

Parameter	Cb - 10%	Cb - 5%	Model Awal	Cb +5%	Cb +10%
Cb	0,579	0,612	0,644	0,676	0,708
B	13,34	12,63	12	11,43	10,91
WSA	540,69	531,13	523,04	516,31	510,76
B/T	6,20	5,87	5,58	5,32	5,07
L/B	3,15	3,32	3,5	3,67	3,85

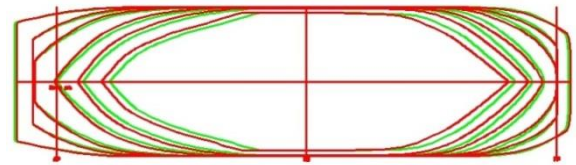
Variasi perubahan LCB kapal dengan range perubahan -5%LCB awal sampai +5%LCB awal, terlihat pada gambar kapal awal ditunjukkan warna hijau sedangkan kapal yang mengalami variasi ditunjukkan dengan warna merah.



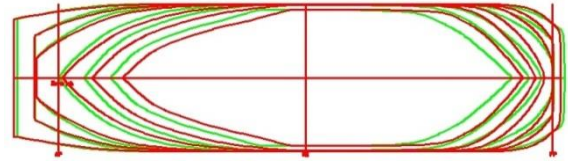
Gambar 6. Bentuk *Hullform* Awal



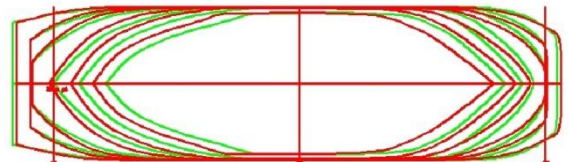
Gambar 7. Bentuk *Hullform* Awal +3% LCB



Gambar 8. Bentuk *Hullform* Awal -3% LCB



Gambar 9. Bentuk *Hullform* Awal +5% LCB



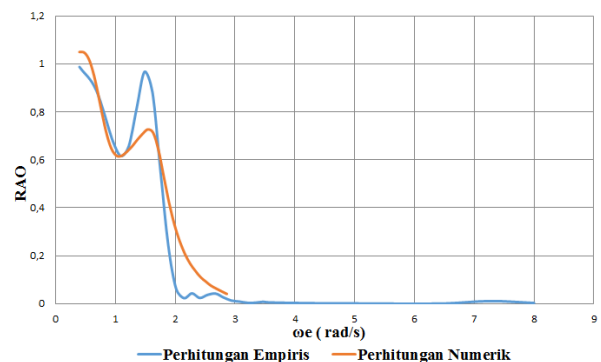
Gambar 10. Bentuk *Hullform* Awal -5% LCB

Tabel 5. Hasil Modifikasi LCB

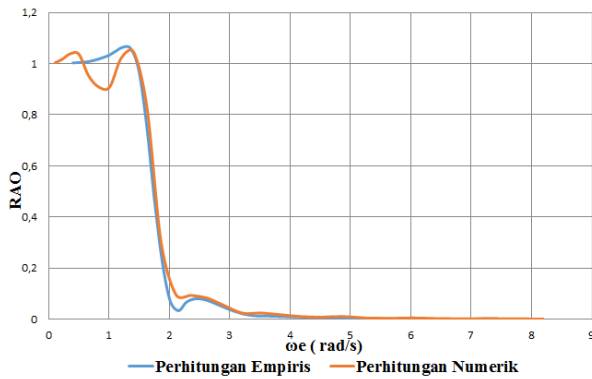
Parameter	LCb -5%	LCB -3%	Model Awal	LCB +3%	LCB +5%
LCB from AP	19,30	19,70	20,30	20,90	21,30

4.2. Response Amplitude Operator (RAO)

Pada tugas akhir ini, digunakan komparasi antara perhitungan empiris dan perhitungan numerik untuk membandingkan hasil RAO dari kapal Ro - Ro 500 GT sehingga didapatkan grafik perbandingan RAO pada gambar 11 dan 12 :



Gambar 11. Perbandingan hasil RAO heave pada wave heading 90 deg dan $V_s = 6,173\text{m/s}$



Gambar 12. Perbandingan hasil RAO heave pada wave heading 180 deg dan $V_s = 6.173$ m/s

Dari hasil perhitungan empiris dan perhitungan numerik, terlihat *trend* yang sama gerakannya, namun RAO hasil perhitungan numerik terlihat lebih rendah dari hasil perhitungan empiris.

4.3 Analisa Karakteristik Seakeeping

Respon gerakan kapal terhadap gelombang reguler digambarkan dalam grafik RAO. Dalam kasus olah gerak kapal (*seakeeping*), respon gerakan kapal akibat gelombang sebisa mungkin diperkecil. Respon gerakan kapal dikatakan minimum ketika puncak dari RAO minimum.

Tabel 6. Perbandingan Hasil Percepatan Heave Pada Beam Seas Akibat Perubahan Cb

RMS 90 deg Model Kapal	Percepatan Heave (m/s^2)	
	Hs : 1,433	Hs : 2,012
<i>Standart Nordforks</i>	1,47	1,47
Model Awal	0,409	0,477
+5% Cb	0,44	0,51
-5% Cb	0,375	0,443
+10% Cb	0,474	0,545
-10% Cb	0,347	0,413

Tabel 7. Perbandingan Hasil Percepatan Pitch Pada Beam Seas Akibat Perubahan Cb

RMS 90 deg Model Kapal	Percepatan Pitch ($rad/s/s$)	
	Hs : 1,433	Hs : 2,012
<i>Standart Nordforks</i>	1,177	1,77
Model Awal	0,03055	0,03693
+5% Cb	0,03076	0,037
-5% Cb	0,03014	0,03659
+10% Cb	0,03094	0,03707
-10% Cb	0,02972	0,03627

Tabel 8. Perbandingan Hasil Roll Motion Pada Beam Seas Akibat Perubahan Cb

RMS 90 deg Model Kapal	Roll Motion (deg)	
	Hs : 1,433	Hs : 2,012
<i>Standart Nordforks</i>	6	6
Model Awal	2,52	2,95
+5% Cb	2,54	2,97

-5% Cb	2,5	2,93
+10% Cb	2,56	2,99
-10% Cb	2,48	2,91

Tabel 9. Validasi Rolling Period Pada Beam Seas Akibat Perubahan Cb

Sudut 90 deg <i>Standart Passenger Ship</i>	Rolling Period (sec)
Model Awal	14,37
+5% Cb	14,40
-5% Cb	14,35
+10% Cb	14,41
-10% Cb	14,31

Tabel 10. Perbandingan Hasil Percepatan Heave Pada Head Seas Akibat Perubahan Cb

RMS 180 deg Model Kapal	Percepatan Heave (m/s^2)	
	Hs : 1,433	Hs : 2,012
<i>Standart Nordforks</i>	1,47	1,47
Model Awal	0,23	0,646
+5% Cb	0,231	0,657
-5% Cb	0,23	0,634
+10% Cb	0,233	0,67
-10% Cb	0,23	0,624

Tabel 11. Perbandingan Hasil Percepatan Pitch Pada Head Seas Akibat Perubahan Cb

RMS 180 deg Model Kapal	Percepatan Pitch ($rad/s/s$)	
	Hs : 1,433	Hs : 2,012
<i>Standart Nordforks</i>	1,177	1,177
0% Cb	0,02731	0,06431
+5% Cb	0,02734	0,06508
-5% Cb	0,02725	0,06325
+10% Cb	0,02749	0,0659
-10% Cb	0,0271	0,06222

Dari Tabel diatas diketahui bahwa akibat perubahan Cb, respon paling rendah terdapat pada perubahan -10% Cb. Maka untuk perubahan Lcb Kapal menggunakan dasar model -10% Cb.

Tabel 12. Perbandingan Hasil Percepatan Heave Pada Beam Seas Akibat Perubahan Lcb

RMS 90 deg Model Kapal	Percepatan Heave (m/s^2)	
	Hs : 1,433	Hs : 2,012
<i>Standart Nordforks</i>	1,47	1,47
-10% Cb, 0% Lcb	0,347	0,413
+3% Lcb	0,332	0,398
-3% Lcb	0,363	0,429
+5% Lcb	0,321	0,386
-5% Lcb	0,373	0,44

Tabel 13. Perbandingan Hasil Percepatan *Pitch* Pada *Beam Seas* Akibat Perubahan Lcb

RMS 90 deg Model Kapal	Percepatan Pitch (rad/s/s)	
	Hs : 1,433	Hs : 2,012
<i>Standart Nordforks</i>	1,177	1,77
-10% Cb, 0%Lcb	0,02972	0,03627
+3% Lcb	0,03037	0,03696
-3% Lcb	0,02912	0,03565
+5% Lcb	0,0307	0,03731
-5% Lcb	0,02874	0,03527

Tabel 14. Perbandingan Hasil *Roll Motion* Pada *Beam Seas* Akibat Perubahan Lcb

RMS 90 deg Model Kapal	<i>Roll Motion</i> (deg)	
	Hs : 1,433	Hs : 2,012
<i>Standart Nordforks</i>	6	6
-10% Cb, 0%Lcb	2,48	2,91
+3% Lcb	2,49	2,92
-3% Lcb	2,47	2,9
+5% Lcb	2,49	2,92
-5% LCB	2,7	2,9

Tabel 15. Validasi *Rolling Period* Pada *Beam Seas* Akibat Perubahan Lcb

Sudut 90 deg <i>Standart Passenger Ship</i>	<i>Rolling Period</i> (sec)
	20 - 25
-10% Cb, 0%Lcb	14,31
+3% Lcb	14,27
-3% Lcb	14,33
+5% Lcb	14,24
-5% Lcb	14,34

Tabel 16. Perbandingan Hasil Percepatan *Heave* Pada *Head Seas* Akibat Perubahan Lcb

RMS 180 deg Model Kapal	Percepatan Heave (m/s ²)	
	Hs : 1,433	Hs : 2,012
<i>Standart Nordforks</i>	1,47	1,47
-10% Cb, 0%Lcb	0,23	0,624
+3% Lcb	0,232	0,633
-3% Lcb	0,229	0,611
+5% Lcb	0,233	0,64
-5% Lcb	0,228	0,602

Tabel 17. Perbandingan Hasil Percepatan *Pitch* Pada *Head Seas* Akibat Perubahan Lcb

RMS 180 deg Model Kapal	Percepatan <i>Pitch</i> (rad/s/s)	
	Hs : 1,433	Hs : 2,012
<i>Standart Nordforks</i>	1,177	1,177
-10% Cb, 0%Lcb	0,0271	0,06222
+3% Lcb	0,02639	0,06079
-3% Lcb	0,02776	0,0635
+5% Lcb	0,02592	0,05973
-5% Lcb	0,0281	0,0642

4.3.1 Probabilitas Slamming dan Deck Wetness

Tabel 18. Prob *Slamming* dan *Deck Wetness* Pada *Sea State 4* Akibat Perubahan Cb

Model Kapal	P Slamming (%)	P. Deck Wetness
<i>Standart Nordforks</i>	3	0,05
0% Cb	0,0329%	0,6924
+5% Cb	0,0332%	0,6934
-5% Cb	0,0317%	0,6908
+10% Cb	0,0325%	0,6947
-10% Cb	0,0318%	0,6898

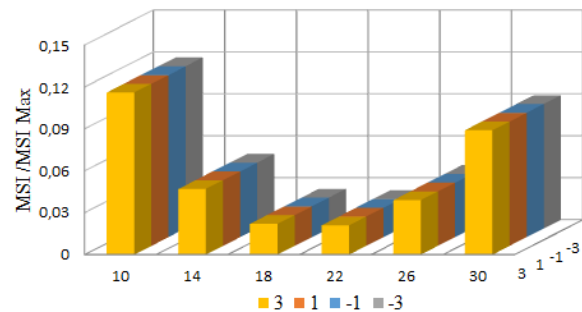
Tabel 19. Prob *Slamming* dan *Deck Wetness* Pada *Sea State 4* Akibat Perubahan Lcb

Model Kapal	P Slamming (%)	P. Deck Wetness
<i>Standart Nordforks</i>	3	0,05
-10% Cb, 0%Lcb	0,0318%	0,6898
+3% Lcb	0,0327%	0,6794
-3% Lcb	0,0306%	0,6990
+5% Lcb	0,0332%	0,6719
-5% Lcb	0,0297%	0,7054

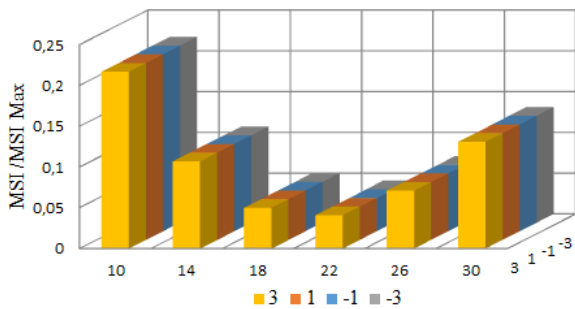
Nilai *Probabilitas Slamming* memenuhi kriteria *Nortforks* 1987, dimana lebih kecil dari 0,03 atau sebesar 3% dan terjadi kebasahan deck di semua model karena lebih besar dari kriteria *Nortforks* 1987, dimana melebihi yang disyaratkan yaitu 0,05 atau sebesar 5%

4.4. Analisa Indeks *Motion Sickness Incidence* (MSI)

Pada analisa ini, nilai MSI didapatkan dengan menempatkan *remote location* pada dek penumpang. Terbagi atas 24 titik yang diteliti secara memanjang diukur dari 10m sampai 30m dari AP, dan secara melintang yang diukur dari -3m sampai 3m dari *midship* kapal selama lama pelayaran 120 menit.

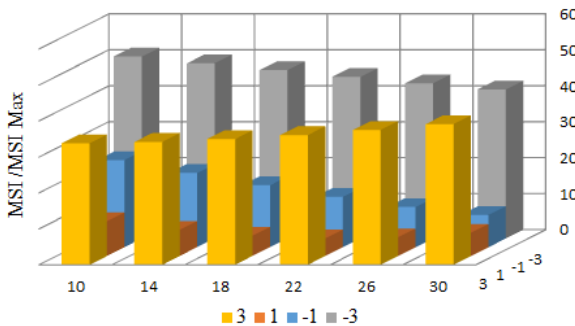


Gambar 13. Grafik MSI Model Awal pada *follow seas* saat *sea state 3*

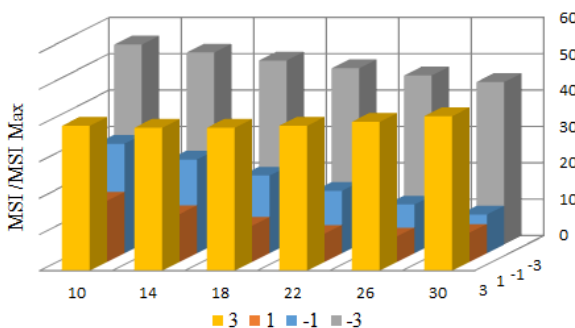


Gambar 14. Grafik MSI Model Awal pada *follow seas* saat *sea state 4*

Dari Gambar 13 dan 14 dapat terlihat MSI_{max} terjadi di area belakang kapal (buritan) pada titik 10m dari AP yaitu 0,116% pada *sea state 3*; 0,217% pada *sea state 4*. Hal ini mengindikasikan bahwa saat kapal mendapat hantaman gelombang yang searah dengan kapal, maka tingkat kenyamanan yang paling aman dan nyaman berada di daerah tengah kapal. Kapal dinyatakan nyaman dan aman pada semua *remote location* karena nilai MSI berada dikisaran 0% sampai 0,217%.



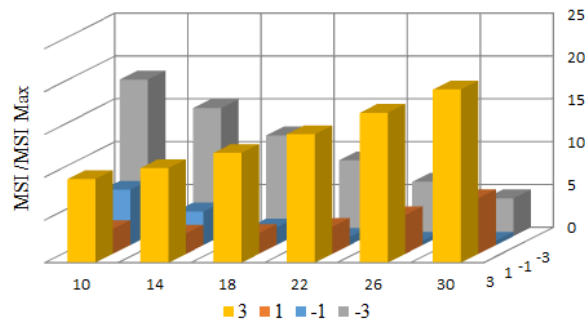
Gambar 15. Grafik MSI Model Awal pada *beam seas* saat *sea state 3*



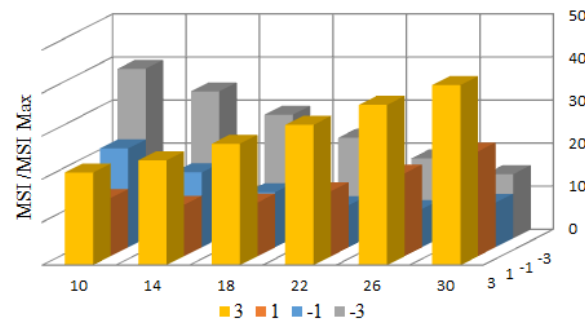
Gambar 16. Grafik MSI Model Awal pada *beam seas* saat *sea state 4*

Dari Gambar 15 dan 16 dapat dilihat bahwa terlihat MSI_{max} terjadi di area samping kiri dan kanan kapal $\pm 3m$ dari tengah kapal. Pada sudut datang gelombang 90 deg terjadi ketidaknyamanan yang sangat serius dan bisa membahayakan bagi penumpang maupun kestabilan kapal itu sendiri. Kapal harus berlayar

menghindari arah gelombang dari samping (*beam seas*).

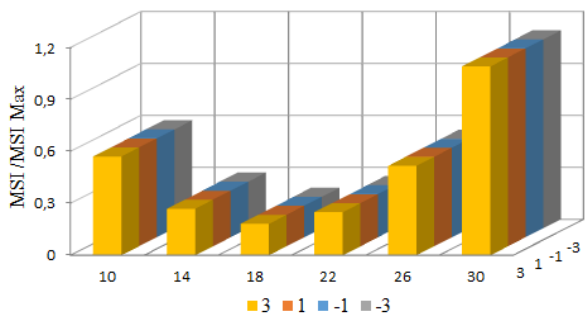


Gambar 17. Grafik MSI Model Awal pada *quarter seas* saat *sea state 3*

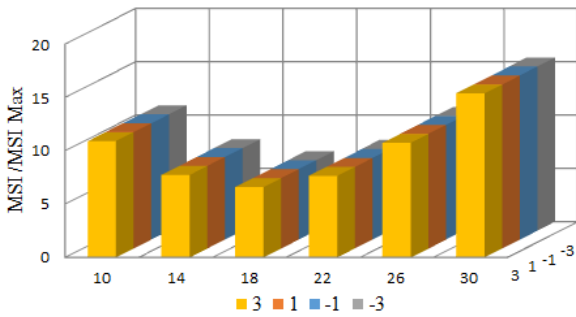


Gambar 18. Grafik MSI Model Awal pada *quarter seas* saat *sea state 4*

Dari Gambar 17 dan 18 dapat dilihat bahwa terlihat MSI_{max} terjadi di area samping kiri dan kanan kapal $\pm 3m$ dari tengah kapal. Pada sudut datang gelombang 135 deg terjadi ketidaknyamanan yang sangat serius dan bisa membahayakan bagi penumpang maupun kestabilan kapal itu sendiri. Kapal harus berlayar menghindari arah gelombang dari sudut 135 deg (*quarter seas*).



Gambar 19. Grafik MSI Model Awal pada *head seas* saat *sea state 3*



Gambar 20. Grafik MSI Model Awal pada *head seas* saat *sea state 4*

Dari Gambar 19 dan 20 dapat dilihat bahwa terlihat MSI_{max} terjadi di area depan kapal (haluan) pada titik 30m dari AP yaitu 1,091% pada *sea state 3*, 15,394% pada *sea state 4*. Hal ini mengindikasikan bahwa saat kapal mendapat hantaman gelombang dari sisi depan kapal, tingkat kenyamanan yang paling aman dan nyaman berada di daerah tengah kapal. Pada *sea state 4* posisi penumpang maksimal hanya pada 10m - 26m dari AP, pada *sea state 3* kapal mengalami kondisi ketidaknyamanan *moderate* berkisar 0 – 5%.

4.5. Analisa Overall Motion Sickness Incidence (OMSI)

Analisa Overall Motion Sickness Incidence (OMSI) menggunakan sudut datang gelombang *head seas* pada *sea state 4* (2,012m, 6,089 s) dengan lama pelayaran selama 2 jam :

Tabel 20. Perbandingan Nilai OMSI terhadap Perubahan Cb Kapal

Titik MSI	Perubahan Cb				
	-10%	-5%	0%	+5%	+10%
10	9,58	10,22	10,91	11,56	12,10
14	6,79	10,22	7,74	8,24	8,68
18	5,98	7,24	6,60	6,96	7,28
22	7,25	6,27	7,66	7,92	8,15
26	10,44	7,44	10,76	10,97	11,15
30	15,06	15,58	15,39	15,60	15,76
OMSI	9,18	9,49	9,84	10,21	10,52

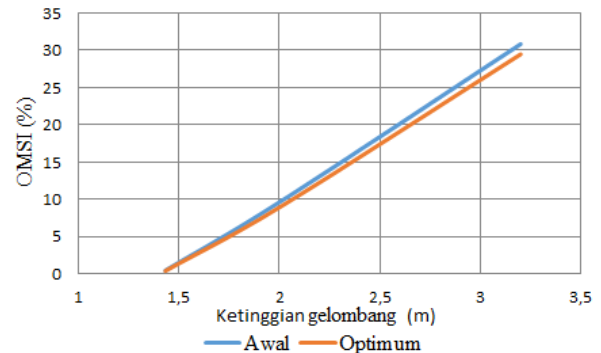
Dari Tabel 20. terlihat bahwa nilai OMSI menurun ketika nilai Cb diperkecil, dan bertambah ketika nilai Cb diperbesar. Model dengan perubahan Cb +5% dan perubahan Cb +10% tidak memenuhi kriteria MSI karena nilai OMSI lebih besar dari 10% setelah 2 jam pelayaran. Model Kapal dengan nilai OMSI terendah terdapat pada perubahan nilai Cb sebesar -10% yang kemudian dijadikan dasar dari analisa perubahan Lcb terhadap nilai OMSI sesuai tabel 4.18

Tabel 21. Perbandingan Nilai OMSI terhadap Perubahan Lcb Kapal

Titik MSI	Perubahan LCB Model Kapal Cb -10%				
	-5%	-3%	0%	3%	5%
10	8,49	8,94	9,58	10,12	10,49
14	6,24	6,57	6,79	7,24	7,56
18	5,67	5,71	5,98	6,20	6,38
22	7,42	7,33	7,25	7,14	7,02
26	11,22	10,89	10,44	9,96	9,67
30	16,37	15,84	15,06	14,23	13,69
OMSI	9,23	9,21	9,18	9,15	9,13

Dari Tabel 21. terlihat bahwa nilai OMSI menurun ketika nilai Lcb digeser ke arah haluan kapal, dan bertambah ketika nilai Lcb digeser ke buritan kapal. Respon terbaik ketika nilai Lcb digeser ke haluan sebesar +5%. Maka *Hullform optimal* terdapat pada perubahan nilai Cb sebesar -10% dan perubahan nilai Lcb ke arah haluan kapal sebesar +5%.

4.6. Perbandingan Nilai OMSI Terhadap Ketinggian Gelombang



Gambar 21. Perbandingan Nilai OMSI terhadap Ketinggian Gelombang

Dari Gambar 21 terlihat bahwa nilai OMSI memenuhi kriteria ISO 2631 (10% MSI setelah 2 jam) sampai ketinggian gelombang 2,012 m.

Tabel 22. Perbandingan Model Awal dan Optimum

Sea State	Awal	Optimum	Selisih
2	0,001	0,001	0,000
3	0,480	0,413	0,067
4	9,843	9,134	0,709
5	30,833	29,471	1,361

Dari Tabel 22. terlihat penurunan nilai OMSI pada *sea state 3* sebesar 0,067, sedangkan pengaruh paling signifikan terhadap kapal pada *sea state 4* yaitu penurunan nilai OMSI sebesar 0,709. Pada *sea state 2* tidak terjadi perubahan

nilai OMSI dan pada *sea state 5* kapal sudah tidak memenuhi persyaratan berlayar.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan dapat didapatkan kesimpulan bahwa :

- 1) Kapal Ro – Ro 500GT dapat berlayar sampai kondisi *sea state 4* dan probabilitas *Slamming* memenuhi standar kriteria *seakeeping Nortfork 1987*, akan tetapi kapal terjadi kabasahan deck.
- 2) Kapal aman dan nyaman bagi penumpang pada *following seas dan head seas*, nilai OMSI menurun ketika Cb diperkecil dan Lcb digeser kearah depan kapal. Pengaruh paling signifikan terhadap kapal terjadi pada *sea state 4* yaitu penurunan nilai OMSI sebesar 0,709.

5.2 Saran

Adapun saran- saran yang dapat dilakukan terhadap analisa ini adalah sebagai berikut:

- 1) Dalam analisa di masing-masing *sea state* harus diperbanyak variasi periode (T_z) agar lebih akurat.
- 2) Hasil dari analisa ini dapat dilanjutkan untuk dijadikan sebagai studi analisa hambatan dan olah gerak yang lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Setiawan, Bambang Teguh. 2015. *Penentuan Motion Sickness Incidence dan Motion Sickness Induced Interruption Untuk Kenyamanan Saat Kapal Berlayar*. Surabaya: Jurnal ITS
- [2]. Lackenby. H. 1950. *On The Systematic Geometrical Variation of Ship Forms*, Trans, INA, Vol 92, pp 289-315
- [3]. Watson,G. 1998. *Practical Ship Design* : Elsevier
- [4]. Bhattacharya, R. 1978. *Dynamics of Marine Vehicles*. New York: John Wiley & Sons
- [5]. Djatmiko, E.B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut Di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- [6]. J. F. O'Halon and M. E. Mc Cauley. 1974. *Motion Sickness Incidence as a Function of Frequency and Acceleration of Vertical Sinusoidal Motion*. Aerospace Medicine Vol. 45.
- [7]. The International Standard ISO 2631–1. 1997. *in Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole body vibration*
- [8]. International Maritime Organization (IMO). 2002. *Stability kriteria for all types of ships, International Maritime Organization*. London
- [9]. Maxsurf Bentley. 2013. *Maxsurf Motion Program and User Manual. - Windows Version 20*. Bentley Systems, Incorporated.
- [10]. Muhammad Iqbal, Good Rindo. 2015. *Optimasi Bentuk Demihull Kapal Katamaran Untuk Meningkatkan Kualitas Seakeeping*. Semarang : Jurnal KAPAL, Vol. 12
- [11]. Paroka,D., Asri,S., Mislih., Sarna,MA., and Haswar. 2012. *Pengaruh Karakteristik Geometri Terhadap Stabilitas Kapal*. Makassar : Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan.
- [12]. Purnama, Dian. 2016. *Analisis Prediksi Motion Sickness Incidence (MSI) Pada Kapal Perintis 500 GT Dalam Tahap Desain Awal (Initial Design)*. Semarang : Jurnal KAPAL, Vol. 21
- [13]. Vincenzo Piscopo and Antonio Scamardella. 2015. *The overall motion sickness incidence applied to catamarans*. Italy : Ocean Engineering