



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Stabilitas, Olah Gerak, *Motion Sickness Incidence* (MSI) dan *Motion Induced Interruptions* (MII) Kapal Feri Ro-Ro 500 GT, 1100 GT dan 1300 GT di Perairan Aceh

Intan Komala Dewi¹⁾, Dedy Chrismianto¹⁾, Berlian Arswendo Adietya¹⁾

¹⁾Laboratorium Perencanaan Kapal Dibantu Komputer

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*}e-mail : i.komaladewi@yahoo.com, dedychrismianto@yahoo.com, berlian@undip.ac.id

Abstrak

Faktor kenyamanan dan faktor keselamatan adalah dua aspek penting dalam perancangan kapal terutama kapal penumpang, maka untuk menunjang hal tersebut perlu mempertimbangkan beberapa hal seperti : stabilitas, olah gerak, *motion sickness incidence* (MSI) dan *motion induced interrupted* (MII). Pada penelitian ini analisa menggunakan metode CFD (*Computation Fluid Dynamic*) pada kapal Ro-Ro 500 GT, 1100 GT dan 1300 GT yang diaplikasikan di perairan Aceh untuk menentukan kapal yang lebih cocok untuk beroperasi diperairan ini. Analisa ini menunjukkan kapal 1300 GT dan 1100 GT memiliki nilai yang lebih unggul pada beberapa aspek, dengan hasil analisa yaitu untuk damage stability semua kapal memiliki indeks $A > R$, untuk olah gerak kapal yaitu rolling pada setiap kapal mempunyai nilai lebih kecil dari 6° , untuk probabilitas slamming kapal 500 GT memiliki nilai yang paling tinggi sebesar yaitu 0,306933 pada kecepatan 5 knot, tinggi gelombang 2,5, sudut datang gelombang 90° , untuk probabilitas deck wetness 0,491719 pada kecepatan 5 knot, tinggi gelombang 1,875, sudut datang gelombang 90° , untuk MSI yaitu kapal 500 GT memiliki nilai MSI lebih dari 10% pada kecepatan 5 knot, 9 knot dan 13 knot, tinggi gelombang 2,5 meter, sudut datang gelombang 90° , dan untuk MII semua kapal berada pada keadaan possible.

Kata Kunci : *Damage Stability, Olah Gerak Kapal, Motion Sickness Incidence, Motion Induced Interruptions*

1. PENDAHULUAN

Kapal berfungsi sebagai pengangkut barang dan orang untuk menghubungkan dan memenuhi kebutuhan penduduk antar pulau yang sangat efektif dan ekonomis karena dapat mengangkut beban barang maupun orang dalam jumlah besar dibandingkan moda transportasi lainnya.

Proses pembuatan kapal diawali dengan pembuatan *design* kapal, ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam perancangan kapal yaitu faktor keselamatan dan faktor kenyamanan penumpang saat berlayar karena pada saat itu kapal mengalami gerakan yang disebabkan baik dari kapal itu sendiri (*Maneuverability*) maupun dari faktor luar (*Seakeeping*). Gerakan yang berasal dari faktor luar kapal yaitu iklim yang tidak mendukung yang menyebabkan gelombang besar, terjadi badai

yang sangat berbahaya bagi kapal maupun ABK dan penumpang [1].

Faktor keselamatan bisa dipengaruhi oleh stabilitas, olah gerak kapal dalam berlayar, karena stabilitas kapal bisa menentukan seberapa baik kapal tersebut mempertahankan/ kembali keposisi semula setelah mengalami oleng. Faktor kenyamanan bisa dipengaruhi oleh indeks *Motion Sickness Incidence* (MSI) dan *Motion Induced Interruptions* (MII). *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 [2]. *Motion induced interruptions* didefinisikan sebagai suatu kejadian yang disebabkan gerakan kapal, memaksa seseorang dari keadaannya semula

untuk kehilangan keseimbangan atau terpaksa meninggalkan aktivitasnya untuk mengatasi efek dari gerakan kapal tersebut.

Kecelakaan kapal di Indonesia dari tahun 2003 – 2018 sebanyak 15 kecelakaan tenggelamnya kapal yang diantaranya 12 kapal tenggelam diakibatkan masuknya air laut ke kompartemen kapal, 2 kapal tenggelam diakibatkan kelebihan muatan dan 1 kapal tenggelam diakibatkan cuaca buruk.

Tanggal 15 Oktober 2016 Kapal *Ro-Ro* Dharma Kencana VII tenggelam diakibatkan kebocoran kamar mesin karena menabrak karang sehingga air masuk kedalam kompartemen kapal dan kapal kehilangan stabilitasnya, dalam kejadian ini sebanya 121 penumpang selamat karena telah di evakuasi sebelum kapal tenggelam [3].

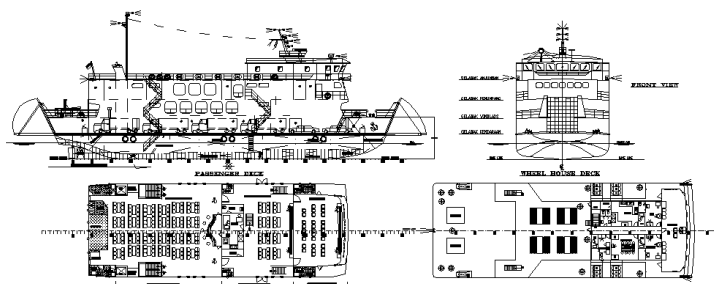
Dalam penelitian yang sebelumnya terkait kapal penumpang membahas tentang Nilai indeks R dipengaruhi oleh jumlah penumpang kapal, sedangkan nilai indeks A dipengaruhi oleh faktor ρ dan σ . Aturan ini diaplikasikan untuk kapal feri *ro-ro* berukuran 500, 600 dan 750 GT yang umum digunakan pada penyebrangan pulau-pulau di Indonesia. Hasil perhitungan pada ketiga kapal yaitu, kapal pertama dengan panjang 40,15 m (500GT) menghasilkan indek R sebesar 0,693865 dan indek A sebesar 0,968. Kapal kedua dengan panjang 48,70 m (600GT) menghasilkan indek R sebesar 0,695886 dan indek A sebesar 0,960. Kapal ketiga dengan panjang 48,82 m (750GT) menghasilkan indek R sebesar 0,694448 dan indeks A sebesar 0,816 [4]. Nilai rata – rata respon gerakan *roll* pada sudut heading 90° terbesar terjadi pada model monomaran pada gelombang 4,359 m yaitu senilai 0,07 dan terendah pada model monohull pada gelombang 1,097 m senilai 0,04 [5]. Nilai OMSI (*Overall Motions Sickness Incidence*) pada saat *heading edge* 180° yang paling kecil berada di *sea-state slight* saat $T_z = 4,439 s$, yaitu sebesar 0,0224%, dan OMSI pada saat *heading angle* 90° paling kecil berada *sea-state slight* saat $T_z = 12,043 s$ yaitu sebesar 0,3244%. Dari hasil analisa seakeeping dan prediksi MSI dan OMSI, maka didapatkan prediksi tempat – tempat operasional Kapal Perintis 500 DWT ini, kapal hanya akan aman dan nyaman saat dioperasikan di daerah *slight water* dan *moderate water*, dan tidak direkomendasikan untuk *rough water* [6].

Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan peforma kapal feri *ro-ro* 1100 GT dan 1300 GT dalam hal stabilitas kapal, olah gerak kapal, *Motion Sickness Incidence* (MSI) dan *Motion Induced Interrupted* (MII) dengan kriteria – kriteria yang sudah ditentukan.

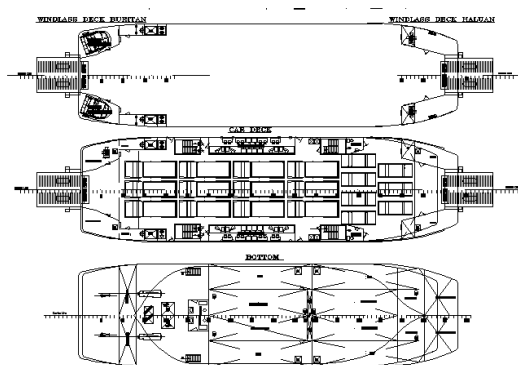
2. METODE

2.1. Objek Penelitian

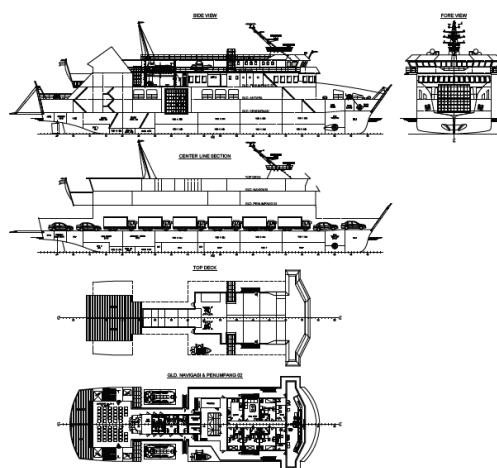
Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini didapatkan dari data primer dan sekunder yang dimana data primer diperoleh secara langsung dari sumber asli atau pihak pertama, data primer dapat berupa pendapat subjek riset, hasil observasi terhadap sebuah benda, hasil pengujian. Data – data primer yang di kumpulkan antara lain: *General Arrangement* dan data kapal, data sekunder di peroleh secara tidak langsung, melalui media perantara. Pada umumnya data sekunder berupa bukti, catatan, atau lapora historis yang telah tersusun dalam arsip baik yang dipublikasikan maupun tidak.



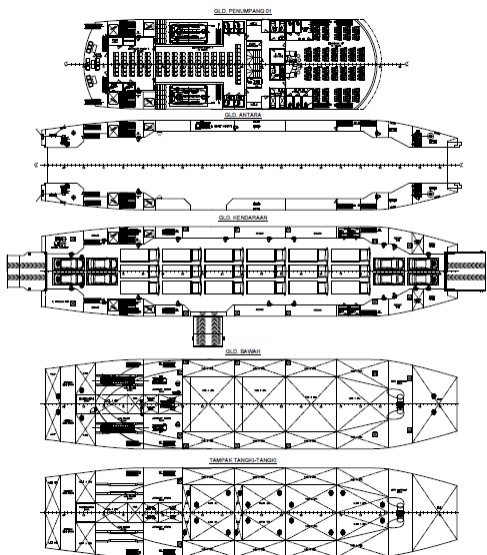
Gambar 1.a. *General Arrangement Ferry Ro-Ro* 500 GT



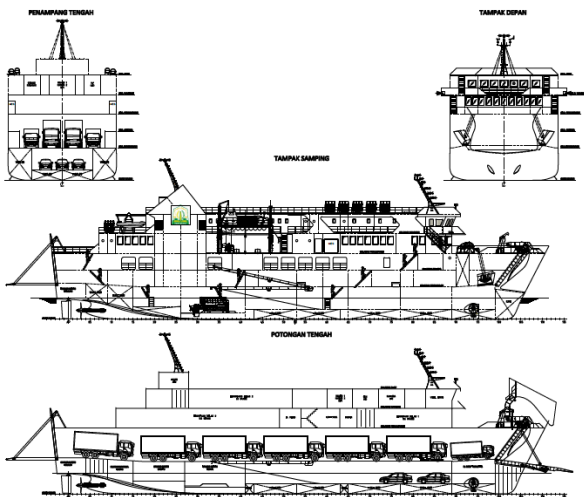
Gambar 2.b. *General Arrangement Ferry Ro-Ro* 500 GT



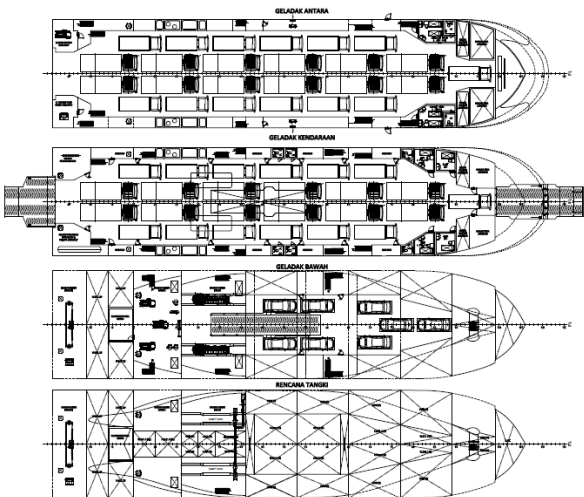
Gambar 2.a. *General Arrangement Ferry Ro-Ro* 1100 GT



Gambar 2.b. General Arrangement Ferry Ro-Ro 1100 GT



Gambar 3.a. General Arrangement Ferry Ro-Ro 1300 GT



Gambar 3.b. General Arrangement Ferry Ro-Ro 1300 GT

Tabel 1. Ukuran utama Ferry Ro-Ro 500 GT

No		Dimensi
1	Length Over All	45,5 m
2	Length of Water Line	42 m
3	Breadth	12 m
4	Depth	3,2 m
5	Draft	2,15 m
6	Speed	13 Knot

Tabel 2. Ukuran utama Ferry Ro-Ro 1100 GT

No		Dimensi
1	Length Over All	63,75 m
2	Length of Water Line	59,82 m
3	Breadth	13,6 m
4	Depth	3,90 m
5	Draft	2,8 m
6	Speed	13 Knot

Tabel 3. Ukuran utama Ferry Ro-Ro 1300 GT

No		Dimensi
1	Length Over All	69,06 m
2	Length of Water Line	64,79 m
3	Breadth	15,1 m
4	Depth	4,5 m
5	Draft	3 m
6	Speed	13 Knot

Gambar 1.a sampai gambar 3.b merupakan gambar *General Arrangement* dari kapal yang digunakan sebagai data primer.

Tabel 1 sampai tabel 3 merupakan ukuran utama kapal yang digunakan sebagai data primer.

2.2. Variabel Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada perbandingan hasil analisa antara ketiga kapal yang memiliki data primer yang berbeda tapi memiliki rute pelayaran yang sama, untuk memilih jenis kapal yang memiliki stabilitas kapal, olah gerak, MSI dan MII yang lebih bagus untuk dioperasikan di rute pelayaran yang sudah ditentukan.

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

- Kecepatan kapal 5 knot, 9 knot dan 13 knot.
- Tinggi gelombang meliputi 1.25 meter, 1.875 meter dan 2.5 meter (*moderate*) berdasarkan BMKG.
- Menggunakan spektrum gelombang ITTC.
- Analisa MSI dan MII hanya di geladak penumpang.

2.3. Damage Stability

Peraturan SOLAS tentang *subdivision* bertujuan untuk mendapatkan jarak sekat minimum bagi kapal yang masih memenuhi standar keselamatan. Memenuhi atau tidaknya penyekatan suatu kapal ditentukan oleh suatu indek tingkat subdivisi R, sedangkan indek subdivisi untuk kapal penumpang dirumuskan:

$$R = 1 - \frac{5000}{Ls + 2,5 N + 15225} \quad (1)$$

Dimana:

$$N = N1 + 2N2$$

N1 = jumlah orang dalam setiap sekoci

N2 = jumlah orang (termasuk perwira dan awak kapal)

Rumus indek R pada kapal cargo [7].

Nilai indek yang dicapai *Attained Subdivision Index*, A sebuah kapal tidak boleh kurang dari nilai indek R (*Required Subdivision index*, R), $A > R$. [8]

Perhitungan *Attained Subdivision Index* A Indeks A dihitung berdasarakan persamaan di bawah ini :

$$A = \sum P_i \cdot S_i \quad (2)$$

$$A = 0.4A_s + 0.4A_p + 0.2A_l \quad (3)$$

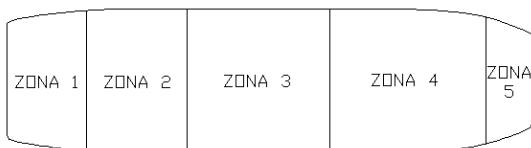
Rumus perhitungan Indeks A dimana:

A = Attained Subdivision Index

A_s = kondisi *fullload*

A_p = kondisi *partial*

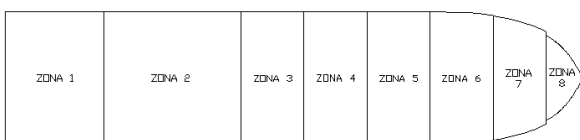
A_l = kondisi *lightship*



Gambar 4. Pembagian Zona pada Ferry Ro-Ro 500 GT



Gambar 5. Pembagian Zona pada Ferry Ro-Ro 1100 GT



Gambar 6. Pembagian Zona pada Ferry Ro-Ro 1300 GT

Gambar 4 samapi gambar 6 adalah gambar pembagian zona pada kapal sesuai dengan sekat melintang kapal, yang digunakan untuk menganalisa *damage stability* kapal.

2.4. Olah Gerak

2.4.1. Respons 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.

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

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

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

2.4.2. Root Mean Square (RMS)

RMS merupakan luasan kurva di bawah kurva *spectrum response* yang dinyatakan dalam m_0 , dengan persamaan :

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_{\zeta r}(\omega) d\omega \quad (7)$$

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

$$(\zeta)_{av} = 1.253 \sqrt{m_0} \quad (8)$$

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

$$(\zeta)_s = 2 \sqrt{m_0} \quad (9)$$

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

$$m_2 = \int_0^{\infty} \omega^2 S_{\zeta r}(\omega) d\omega \quad (10)$$

$$m_4 = \int_0^{\infty} \omega^4 S_{\zeta r}(\omega) d\omega \quad (11)$$

Tabel 4. Standar Kriteria NORDFORSK 1987 [9]

No	Description	Machant Ship
1	RMS of vertical acceleration at FP	0,275 g (L ≤ 100 m) 0,050 g (L ≤ 330 m)
2	RMS of vertical acceleration at Bridge	0,15 g
3	RMS of lateral acceleration of Bridge	0,12 g
4	RMS of Roll	6,0 deg
5	Probability of Slamming	0,03 (L ≤ 100 m) 0,01 (L ≤ 300 m)
6	Probability of Deck wetness	0,05

Tabel 4 digunakan sebagai standar kriteria olah gerak kapal dari NORDFORSK 1987 untuk hasil analisa *rolling*, *slamming* dan *deck wetness*.

2.4.3. 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 9.

$$P\{\text{slamming}\} = \exp^{-y} \quad (12)$$

$$y = (T^2/2m_0) + (Vcr^2/2m_2)$$

dimana

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

Vcr = *velocity threshold* (kecepatan ambang)
= 0,093 (gL)^{1/2} (13)

M₀ = *Relative vertical motion*

M₂ = *Relative vertical velocity*

2.4.4. Probabilitas Deck Wetness

$$P\{\text{slamming}\} = \exp^{-y} \quad (14)$$

$$y = (l^2) + (2m_0)$$

dimana :

l = *Freeboard*

M₀ = *Relative vertical motion*

2.5. Motion Sickness Incidence (MSI)

Indeks MSI bisa dihitung menggunakan persamaan berikut ini :

$$MSI \% = 100 [0,5 \pm \operatorname{erf} \left(\frac{\pm \log_{10} \frac{av}{g} \pm \mu_{MSI}}{0,4} \right)] \quad (15)$$

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 12 berikut ini;

$$\mu_{MSI} = -0,819 + 2,32 (\log_{10} \omega_e)^2 \quad (16)$$

Tabel 5. Standar Internasional ISO 2631 [7]

No	Percentage	Peroid
1	10 %	8 Hours
2	10 %	2 Hours
3	10 %	30 Menit

Tabel 5 digunakan sebagai standar kriteria *Motion Sickness Incidence* kapal dari ISO 2631 pada analisa kapal di geladak penumpang kapal. Kapal 500 GT hanya memiliki 1 geladak penumpang, sedangkan kapal 1100 GT dan 1300 GT memiliki 2 geladak penumpang.

2.6. Motion Induced Interrupted (MII)

Nilai dari *upcrossings* or *downcrossings* per satuan waktu dari ambang batas pada level *t* didapat dari :

$$N_{Tp} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \exp \left(-\frac{t_{Tp}}{2m_0} \right) \quad (17)$$

Dimana :

N_{Tp} = jumlah dari kejadian *tipping* dalam satuan waktu di *post Direction*

t_{Tp} = batasan yang pada hal spesifik sama dengan $\left(\frac{b}{h}\right)g$

Tabel 6. Standar kriteria NATO STANAG 4154, 1998. [10]

No	Risk Level	MII per minute
1	Possible	0,1
2	Probable	0,5
3	Serious	1,5
4	Severe	3,0
5	Extrime	5,0

Tabel 6 digunakan sebagai standar kriteria *Motion Induced Interrupted* kapal dari NATO STANAG 4154, 1998 pada analisa kapal di geladak penumpang kapal. Kapal 500 GT hanya memiliki 1 geladak penumpang, sedangkan kapal 1100 GT dan 1300 GT memiliki 2 geladak penumpang.

2.7. Alat Dan Bahan Yang Digunakan

Alat yang digunakan untuk penelitian ini

1. OS : Windows 10 64 Bit
2. Processor : Intel Pentium Core i5
3. RAM : 8 GB
4. Grafik : Intel HD

Software yang digunakan untuk penelitian ini

1. Software Modeler
2. Software CFD (*Computation Fluid Dynamic*)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian membahas tentang perbandingan performa kapal 500GT, 1100 GT dan 1300 GT dalam hal *damage stability*, *seakeeping*, *motion sickness incidence* (MSI) dan *motion induced interruptions* (MII) di perairan aceh yang hasilnya di bandingkan dengan peraturan IMO is code 2008 untuk *damage stability*, NORDFORSK1987 untuk *seakeeping*, ISO 2631 untuk MSI dan NATO STANAG 4154, 1998 untuk MII.

3.1. Analisa Damage Stability

Analisa *damage stability* menggunakan standar SOLAS *Consolidated edition 2009 Chapter II-1 part B-1* tentang *Subdivision and damage stability* [8], dimana indeks A lebih besar dari indeks R, pada penelitian ini Analisa *damage stability* pada kapal Ro – Ro 500 GT, 1100 GT dan 1300 GT.

$$R = 1 - \frac{5000}{Ls + 2,5 N + 15225} \quad (18)$$

Dimana:

$$N = N1 + 2N2$$

N1 = jumlah orang dalam setiap sekoci

N2 = jumlah orang (termasuk perwira dan awak kapal)

Rumus indeks R pada kapal cargo [6].

3.2. Evaluasi Damage Stability

Tabel 7. Perhitungan Indeks R

Kapal	Parameter Perhitungan	Indeks R
500 GT	Ls = 42 m N ₁ = 28 orang N ₂ = 187 orang	0,6850
1100 GT	Ls = 59,82 m N ₁ = 28 orang N ₂ = 272 orang	0,6895
1300 GT	Ls = 64,79 m N ₁ = 28 orang N ₂ = 366 orang	0,6940

Tabel 7 merupakan hasil perhitungan manual dari indeks R kapal 500 GT, 1100 GT dan 1300 GT sebagai kapal penumpang.

Tabel 8. Perhitungan indeks A pada Software

	Conditions	A Factor
500 GT	Full Load	0,885110
	Partial	0,827739
	Lightship	0,787705
1100 GT	Full Load	0,811951
	Partial	0,784657
	Lightship	0,76198
1300 GT	Full Load	0,998803
	Partial	0,998803
	Lightship	0,998803

Tabel 8 merupakan hasil analisa faktor A dari kapal 500 GT, 1100 GT dan 1300 GT .

Tabel 9. Perbandingan A factor dan R factor

Kapal	Condition	A factor	R factor	Pass/Fail
500 GT	Full load	0,885110	0,616565	Pass
	Partial	0,827739	0,616565	Pass
	Lightship	0,787705	0,616565	Pass
1100 GT	Full load	0,811951	0,62057	Pass
	Partial	0,784657	0,62057	Pass
	Lightship	0,76198	0,62057	Pass
1300 GT	Full load	0,998803	0,624701	Pass
	Partial	0,998803	0,624701	Pass
	Lightship	0,998803	0,624701	Pass

Tabel 10. Perbandingan Indeks A dan Indeks B

Kapal	Condition	SOLAS 2009 MSC. 216(82)		Pass/Fail
		Indeks A	Indeks R	
500 GT	Full load			
	Partial	0,84268	0,6850	Pass
	Lightship			
1100 GT	Full load			
	Partial	0,790863	0,6895	Pass
	Lightship			
1300 GT	Full load			
	Partial	0,998803	0,6940	Pass
	Lightship			

Tabel 9 dan tabel 10 adalah perbandingan nilai index A dengan indeks R dari hasil analisa *software maxsurf stability*. Dalam Peraturan SOLAS (*Safety of Life at Sea*) tentang Subdivisi, untuk menghitung indeks *damage stability*.

Dimana nilai indeks yang dicapai A sebuah kapal tidak boleh kurang atau sama dengan nilai Indeks R yang disyaratkan atau $A \geq R$, nilai index $A \geq R$ pada kapal Ro – Ro 500 GT, 1100 GT dan 1300 GT memenuhi kriteria SOLAS 2009 MSC.216(82) [9].

4. Analisa Olah Gerak Kapal

Analisa olah gerak kapal semua model menggunakan *software* CFD. Peneliti memakai dua variasi *wave heading* yaitu 90 derajat (*beam seas*) dan 180 derajat (*head seas*), tiga variasi kecepatan yaitu 5 knot, 9 knot dan 13 knot, tiga variasi tinggi gelombang yaitu 1,25 meter, 1,875 meter dan 2,5 meter. Perhitungan olah gerak dievaluasi dengan standar kriteria NORDFORSK 1987 [9].

4.1. Evaluasi Analisa Olah Gerak Kapal

Hasil RMS *rolling* kapal 500 GT, 1100 GT dan 1300 GT pada dua sudut *heading* yaitu 90 *degree*, dan 180 *degree*.

Tabel 11. RMS *Rolling* pada kapal 500 GT

Wave Heading (deg)	Hs (m)	500 GT		
		5 Knot	9 Knot	13 Knot
90	1,25	0,0517	0,139258	1,597,197
	1,875	0,0671	0,211039	2,054,781
	2,5	0,7932	0,278783	2,632,938
180	1,25	0,0015	0,001459	0,354612
	1,875	0,0020	0,001891	0,727105
	2,5	0,0023	0,002195	0,841985

Dari Tabel 11 menyatakan bahwa *Rolling* pada kapal 500 GT memenuhi kriteria NORDFORSK 1987, dan nilai tertinggi berada pada sudut datang gelombang 90°, tinggi gelombang 2,5 meter dan pada setiap variasi kecepatan kapal 13 Knot yaitu 2,633°.

Tabel 12. RMS *Rolling* pada kapal 1100 GT

Wave Heading (deg)	Hs (m)	1100 GT		
		5 Knot	9 Knot	13 Knot
90	1,25	1,828	1,905	1,762
	1,875	2,365	2,466	2,285
	2,5	2,868	2,868	2,663
180	1,25	2,9 E-05	2,9 E-05	2,3 E-05
	1,875	3,5 E-05	3,9 E-05	3,0 E-05
	2,5	4,1 E-05	4,1 E-05	3,5 E-05

Dari Tabel 12 menyatakan bahwa *Rolling* pada kapal 1100 GT memenuhi kriteria

NORDFORSK 1987, dan nilai tertinggi berada pada sudut datang gelombang 90°, tinggi gelombang 2,5 meter dan pada setiap variasi kecepatan kapal 5 knot dan 9 knot yaitu 2,868°.

Tabel 13. RMS *Rolling* pada kapal 1300 GT

Wave Heading (deg)	Hs (m)	1300 GT		
		5 Knot	9 Knot	13 Knot
90	1,25	1,178	1,166	1,166
	1,875	1,541	1,525	1,523
	2,5	1,815	1,795	1,792
180	1,25	7,3 E-05	7,6 E-05	1,3 E-04
	1,875	9,4 E-05	9,8 E-05	1,7 E-04
	2,5	1,1 E-04	1,2 E-04	1,9 E-04

Dari Tabel 13 menyatakan bahwa *Rolling* pada kapal 1300 GT memenuhi kriteria NORDFORSK 1987, dan nilai tertinggi berada pada sudut datang gelombang 90°, tinggi gelombang 2,5 meter dan pada setiap variasi kecepatan kapal 5 Knot yaitu 1,815°.

RMS maksimal gerakan *rolling* terjadi pada sudut *heading* 90° dan standar kriteria *rolling* disajikan dalam tabel 10 sampai tabel 12. Berdasarkan tabel, respon gerakan *roll* di tinggi gelombang 2,5 pada kapal 1100 GT yaitu 2,868°. Nilai bertambah seiring dengan adanya penambahan tinggi gelombang pada sudut datang gelombang 90° dan pada sudut datang gelombang 180°. Semua respon gerakan *roll* dari masing-masing model memenuhi kriteria olah gerak (*seakeeping*).

Tabel 14. Nilai Probabilitas *Slamming* pada kecepatan 5 knot

Wave Heading (deg)	Hs (m)	500 GT	1100 GT	1300 GT
90	1,25	0,000149	1,53E-08	5,33E-09
	1,875	0,001499	8,87E-07	1,01E-06
	2,5	0,034602	5,89E-06	7,24E-04
180	1,25	0,000290	0,000459	2,04E-08
	1,875	0,002212	0,003663	1,79E-06
	2,5	0,005755	0,004195	1,47E-03

Tabel 14. menunjukkan nilai maksimum probabilitas *slamming* kecepatan 5 knot ada di kapal 500 GT pada tinggi gelombang 2,5 meter dan sudut datang gelombang 180° yaitu 0,005755.

Tabel 15. Nilai Probabilitas *Slamming* pada kecepatan 9 knot

Wave Heading (deg)	Hs (m)	500 GT	1100 GT	1300 GT
Standar		0,03		
90	1,25	7,45E-05	1,47E-08	3,18E-09
	1,875	0,001000	2,13E-06	3,48E-07
	2,5	0,003503	2,33E-05	3,16E-06
180	1,25	0,137498	0,088333	0,012982
	1,875	0,236308	0,172653	0,036747
	2,5	0,306933	0,238250	0,059876

Tabel 15. menunjukkan nilai maksimum probabilitas *slamming* kecepatan kapal 9 knot ada di kapal 500 GT pada tinggi gelombang 2,5 meter dan sudut datang gelombang 180⁰ yaitu 0,306933.

Tabel 16. Nilai Probabilitas *Slamming* pada kecepatan 13 knot

Wave Heading (deg)	Hs (m)	500 GT	1100 GT	1300 GT
Standar		0,03		
90	1,25	9,46E-05	2,22E-09	1,10E-07
	1,875	0,000986	2,12E-07	6,55E-06
	2,5	0,003012	1,80E-06	4,72E-05
180	1,25	0,000207	1,18E-09	3,87E-10
	1,875	0,001175	1,73E-07	5,00E-07
	2,5	0,009459	2,13E-06	4,13E-05

Tabel 16. menunjukkan nilai maksimum probabilitas *slamming* kecepatan kapal 13 knot ada di kapal 500 GT pada tinggi gelombang 2,5 meter dan sudut datang gelombang 180⁰ yaitu 0,009459.

Hasil Probabilitas *Deck Wetness* kapal 500 GT, 1100 GT dan 1300 GT pada variasi dua sudut datang gelombang yaitu 90⁰ dan 180⁰, variasi tinggi gelombang yaitu 1,25 meter, 1,875 meter dan 2,5 meter, variasi kecepatan kapal yaitu 5 knot, 9 knot dan 13 knot.

Tabel 17. Nilai Probabilitas *Deck Wetness* pada kecepatan 5 knot

Wave Heading (deg)	Hs (m)	500 GT	1100 GT	1300 GT
Standar		0,05		
90	1,25	0,160785	0,089224	0,013845
	1,875	0,260460	0,153917	0,044766
	2,5	0,491719	0,198647	0,086032
180	1,25	0,186038	0,345105	0,020232

1,875 0,283303 0,459637 0,054134
2,5 0,345329 0,482562 0,086032

Tabel 17. menunjukkan nilai maksimum probabilitas *deck wetness* kecepatan kapal 5 knot ada di kapal 500 GT pada tinggi gelombang 2,5 meter dan sudut datang gelombang 90⁰ yaitu 0,491719.

Tabel 18. Nilai Probabilitas *Deck Wetness* pada kecepatan 9 knot

Wave Heading (deg)	Hs (m)	500 GT	1100 GT	1300 GT
Standar		0,05		
90	1,25	0,137498	0,088333	0,012982
	1,875	0,236308	0,172653	0,036747
	2,5	0,306933	0,238250	0,059877
180	1,25	0,136686	0,054705	0,017576
	1,875	0,217179	0,104104	0,047126
	2,5	0,269725	0,140680	0,074959

Tabel 18. menunjukkan nilai maksimum probabilitas *deck wetness* kecepatan kapal 9 knot ada di kapal 500 GT pada tinggi gelombang 2,5 meter dan sudut datang gelombang 90⁰ yaitu 0,306933.

Tabel 19. Nilai Probabilitas *Deck Wetness* pada kecepatan 13 knot

Wave Heading (deg)	Hs (m)	500 GT	1100 GT	1300 GT
Standar		0,05		
90	1,25	0,137498	0,068972	0,029325
	1,875	0,236308	0,127354	0,072115
	2,5	0,300202	0,169777	0,111257
180	1,25	0,169347	0,060440	0,008150
	1,875	0,247141	0,119722	0,040547
	2,5	0,374568	0,167017	0,104932

Tabel 19. menunjukkan nilai maksimum probabilitas *deck wetness* kecepatan kapal 13 knot ada di kapal 500 GT pada tinggi gelombang 2,5 meter dan sudut datang gelombang 180⁰ yaitu 0,374568 dan sebagian besar tidak memenuhi standar kriteria.

Hasil probabilitas *deck wetness* menunjukkan ada beberapa hasil yang tidak memenuhi Standar Kriteria NORDFORSK 1987, nilai paling tinggi terdapat pada kapal 500 GT pada tinggi gelombang 2,5 meter dan sudut datang gelombang 90⁰ yaitu 0,491719.

5. Analisa Motion Sickness Incidence (MSI)

Pada analisa ini, nilai MSI didapatkan dengan menempatkan remote location pada *deck* penumpang. Terbagi atas 6 titik yang diteliti secara memanjang dan di ukur secara melintang pada setiap *deck* penumpang.

Pembagian lokasi setiap *deck* pada kapal yaitu :

- a. *Deck* pertama kapal 500 GT :
 1. Lokasi 1 = 2,1 meter di depan AP
 2. Lokasi 2 = 6,87 meter di depan AP
 3. Lokasi 3 = 13,75 meter di depan AP
 4. Lokasi 4 = 20,62 meter di depan AP
 5. Lokasi 5 = 27,49 meter di depan AP
 6. Lokasi 6 = 34,37 meter di depan AP
- b. *Deck* pertama kapal 1100 GT :
 1. Lokasi 1 = 6,43 meter di depan AP
 2. Lokasi 2 = 14,39 meter di depan AP
 3. Lokasi 3 = 22,34 meter di depan AP
 4. Lokasi 4 = 30,3 meter di depan AP
 5. Lokasi 5 = 38,26 meter di depan AP
 6. Lokasi 6 = 46,22 meter di depan AP
- c. *Deck* kedua kapal 1100 GT :
 1. Lokasi 1 = 6,43 meter di depan AP
 2. Lokasi 2 = 7,83 meter di depan AP
 3. Lokasi 3 = 9,23 meter di depan AP
 4. Lokasi 4 = 10,63 meter di depan AP
 5. Lokasi 5 = 12,03 meter di depan AP
 6. Lokasi 6 = 13,44 meter di depan AP
- d. *Deck* pertama kapal 1300 GT
 1. Lokasi 1 = 6,70 meter di depan AP
 2. Lokasi 2 = 15,96 meter di depan AP
 3. Lokasi 3 = 25,33 meter di depan AP
 4. Lokasi 4 = 34,69 meter di depan AP
 5. Lokasi 5 = 44,06 meter di depan AP
 6. Lokasi 6 = 53,42 meter di depan AP
- e. *Deck* kedua kapal 1300 GT :
 1. Lokasi 1 = 6,70 meter di depan AP
 2. Lokasi 2 = 11,52 meter di depan AP
 3. Lokasi 3 = 16,44 meter di depan AP
 4. Lokasi 4 = 21,36 meter di depan AP
 5. Lokasi 5 = 26,28 meter di depan AP
 6. Lokasi 6 = 31,21 meter di depan AP

5.1. Evaluasi Analisa Motion Sickness Incidence (MSI)

Tabel 20. MSI di *deck* pertama pada kecepatan 5 Knot

Wave Heading (deg)	Hs (m)	500 GT	1100 GT	1300 GT
90	1,25	3,8924583	1,11075	1,2704583
	1,875	6,7479167	1,3322083	1,5199167
	2,5	8,99825	1,5242917	1,7375833

180	1,25	0,3438333	0,1701667	0,193
	1,875	0,7538333	0,2196667	0,2456667
	2,5	1,1263333	0,241	0,2631667

Tabel 21. MSI di *deck* pertama pada kecepatan 9 Knot

Wave Heading (deg)	Hs (m)	500 GT	1100 GT	1300 GT
90	1,25	3,8382917	1,0915	1,2455
	1,875	6,6642917	1,3062917	1,4965417
	2,5	8,8961667	1,4974167	1,7113333
180	1,25	0,8898333	1,6697917	0,5163333
	1,875	1,8493333	1,828375	0,6211667
	2,5	2,7068333	1,9781667	0,6643333

Tabel 22. MSI di *deck* pertama pada kecepatan 13 Knot

Wave Heading (deg)	Hs (m)	500 GT	1100 GT	1300 GT
90	1,25	3,7797083	1,07175	1,2229167
	1,875	6,5732083	1,2885417	1,471
	2,5	8,7845	1,4784583	1,6809167
180	1,25	1,7841667	1,0061667	1,0678333
	1,875	3,5396667	1,2143333	1,2568333
	2,5	4,9606667	1,3475	1,3571667

Tabel 20 menunjukkan bahwa nilai maksimum MSI pada kecepatan 5 knot adalah kapal 500 GT pada tinggi gelombang 2,5 meter dan sudut datang gelombang 90⁰ yaitu 8,99825.

Tabel 21 menunjukkan bahwa nilai maksimum MSI pada kecepatan 9 knot adalah kapal 500 GT pada tinggi gelombang 2,5 meter dan sudut datang gelombang 90⁰ yaitu 8,8961667.

Tabel 22 menunjukkan bahwa nilai maksimum MSI pada kecepatan 13 knot adalah kapal 500 GT pada tinggi gelombang 2,5 meter dan sudut datang gelombang 90⁰ yaitu 8,7845.

Tabel 23. MSI di *deck* kedua pada kecepatan 5 Knot

Wave Heading (deg)	Hs (m)	1100 GT	1300 GT
90	1,25	1,6933333	1,9295
	1,875	1,8455833	2,1019167
	2,5	1,9872083	2,2608333
180	1,25	0,2535	0,2708333

1,875	0,2706667	0,2848333
2,5	0,3096667	0,3285

Tabel 24. MSI di *deck* kedua pada kecepatan 9 Knot

Wave Heading (deg)	Hs (m)	1100 GT	1300 GT
90	1,25	1,6697917	1,8977083
	1,875	1,828375	2,063625
	2,5	1,9781667	2,2174167
180	1,25	0,6786667	0,6918333
	1,875	0,7346667	0,7425
	2,5	0,8398333	0,8635

Tabel 25. MSI di *deck* kedua pada kecepatan 13 Knot

Wave Heading (deg)	Hs (m)	1100 GT	1300 GT
0	1,25	1,6473333	1,8616667
	1,875	1,8010833	2,0230417
	2,5	1,9455833	2,1745417
180	1,25	1,4526667	1,436
	1,875	1,5815	1,5598333
	2,5	1,7848333	1,792

Tabel 23 menunjukkan bahwa nilai maksimum MSI pada kecepatan 5 knot adalah kapal 1300 GT pada tinggi gelombang 2,5 meter dan sudut datang gelombang 90° yaitu 2,2608333.

Tabel 24 menunjukkan bahwa nilai maksimum MSI pada kecepatan 9 knot adalah kapal 1300 GT pada tinggi gelombang 2,5 meter dan sudut datang gelombang 90° yaitu 2,2174167.

Tabel 25 menunjukkan bahwa nilai maksimum MSI pada kecepatan 13 knot adalah kapal 1300 GT pada tinggi gelombang 2,5 meter dan sudut datang gelombang 90° yaitu 2,1745417.

Dari Gambar 20 sampai gambar 25 dapat dilihat bahwa terlihat MSI semua *deck* pada kapal 500 GT, 1100 GT dan 1300 GT memenuhi kriteria Standar Internasional ISO 2631 dan memiliki nilai maksimum pada kapal 500 GT pada tinggi gelombang 2,5 meter, kecepatan kapal 5 Knot dan sudut datang gelombang 90° yaitu 8,99825.

6. Analisa Motion Induced Interrup (MII)

Pada analisa ini, nilai MII didapatkan dengan menggunakan nilai dari *upcrossings or downcrossings* per satuan waktu, kapal 500 GT, 1100 GT dan 1300 GT pada kecepatan 5 knot, 9 knot dan 13 knot, tinggi gelombang 1,25 meter, 1,875 meter dan 2,5 meter dengan sudut datang gelombang 90° dan 180°.

6.1. Evaluasi Analisa Motion Induced Interruptions (MII)

Tabel 26. Nilai Indeks MII kecepatan 5 knot *Deck* penumpang 1

Wave Heading (deg)	Hs (m)	500 GT	1100 GT	1300 GT
90	1,25	6,36 E-28	5,32 E-20	3,15 E-18
	1,875	6,4 E-20	6,49 E-15	4,63 E-12
	2,5	4,6 E-08	1,56 E-12	9,99 E-07
180	1,25	4,2 E-21	5,6 E-11	3,65 E-20
	1,875	4,9 E-15	1,5 E-07	1,08 E-14
	2,5	5,37 E-12	7,23 E-07	4,62 E-12

Tabel 27. Nilai Indeks MII kecepatan 9 knot *Deck* penumpang 1

Wave Heading (deg)	Hs (m)	500 GT	1100 GT	1300 GT
90	1,25	9,4 E-21	1,26 E-24	1,02 E-19
	1,875	1,13 E-19	3,3 E-17	2,27 E-13
	2,5	1,59 E-11	1,24 E-13	4 E-10
180	1,25	1,53 E-19	2,95 E-20	7,71 E-20
	1,875	3,92 E-13	4,99 E-15	1,35 E-13
	2,5	5,75 E-10	1,41 E-12	1,54 E-10

Tabel 28. Nilai Indeks MII kecepatan 13 knot *Deck* penumpang 1

Wave Heading (deg)	Hs (m)	500 GT	1100 GT	1300 GT
90	1,25	1,41 E-26	1,01 E-21	4,32 E-19
	1,875	3,91 E-14	7,09 E-16	2,66 E-13
	2,5	6,71 E-11	5,8 E-13	4 E-10
180	1,25	1 E-19	5,07 E-16	7,71 E-20
	1,875	5,13 E-13	7,41 E-11	1,35 E-13
	2,5	1,34 E-12	3,5 E-11	1,54 E-10

Tabel 29. Nilai Indeks MII kecepatan 5 knot *Deck* penumpang 2

Wave Heading (deg)	Tinggi Gelombang (m)	1100 GT	1300 GT
90	1,25	5,34 E-24	8,92 E-23
	1,875	3,52 E-17	4,9 E-17
	2,5	7,42 E-14	1,07 E-08
180	1,25	3,32 E-12	4,51 E-33
	1,875	1,42 E-08	1,08 E-23
	2,5	2,72 E-08	2,66 E-18

Tabel 30. Nilai Indeks MII kecepatan 9 knot *Deck* penumpang 2

Wave Heading (deg)	Tinggi Gelombang (m)	1100 GT	1300 GT
90	1,25	7,08 E-24	3,51 E-30
	1,875	2,65 E-17	4,45 E-23
	2,5	4,86 E-14	1,17 E-19
180	1,25	1,84 E-27	9,01 E-27
	1,875	6,42 E-21	3,16 E-20
	2,5	7,4 E-18	3,68 E-17

Tabel 31. Nilai Indeks MII kecepatan 13 knot *Deck* penumpang 2

Wave Heading (deg)	Tinggi Gelombang (m)	1100 GT	1300 GT
90	1,25	7,81 E-27	2,14 E-19
	1,875	1,77 E-20	2,81 E-14
	2,5	1,66 E-17	6,92 E-12
180	1,25	4 E-27	8,91 E-26
	1,875	8,6 E-20	4,29 E-1
	2,5	4,2 E-15	4,03 E-13

Tabel 26 dapat dilihat bahwa semua nilai indeks MII dibawah 0,1 maka dikategorikan di kondisi *possible*.

Tabel 27 dapat dilihat bahwa semua nilai indeks MII dibawah 0,1 maka dikategorikan di kondisi *possible*.

Tabel 28 dapat dilihat bahwa semua nilai indeks MII dibawah 0,1 maka dikategorikan di kondisi *possible*.

Tabel 29 dapat dilihat bahwa semua nilai indeks MII dibawah 0,1 maka dikategorikan di kondisi *possible*.

Tabel 30 dapat dilihat bahwa semua nilai indeks MII dibawah 0,1 maka dikategorikan di kondisi *possible*.

Tabel 31 dapat dilihat bahwa semua nilai indeks MII dibawah 0,1 maka dikategorikan di kondisi *possible*.

Kesimpulan dari tabel 26 sampai 31 bahwa semua nilai indeks MII dari kapal 500 GT, 1100 GT dan 1300 GT pada kecepatan 5 knot, 11 knot dan 13 knot dengan tinggi gelombang 1,25 meter, 1,875 meter dan 2,5 meter sudut datang gelombang 90⁰ dan 180⁰ berada dibawah 0,1 yang menunjukkan bahwa keadaan MII diatas kapal terletak pada kondisi *possible*.

7. KESIMPULAN

Hasil analisa *damage stability* menyatakan bahwa kapal 500 GT, 1100 GT dan 1300 GT memenuhi kriteria SOLAS 2009 MSC.216(82) yaitu nilai indeks $A > R$.

Hasil analisa olah gerak kapal menyatakan bahwa kapal 1300 GT memiliki hasil yang lebih baik dari pada kapal 500 GT dan 1100 GT meskipun terdapat beberapa point yang tidak memenuhi persyaratan yang sudah ditentukan, yaitu *rolling* pada setiap kapal mempunyai nilai lebih kecil dari 6⁰, untuk probabilitas slamming kapal 500 GT memiliki nilai yang paling tinggi sebesar yaitu 0,306933 pada kecepatan 9 knot, tinggi gelombang 2,5, sudut datang gelombang 90⁰, untuk probabilitas deck wetness 0,491719 pada kecepatan 5 knot, tinggi gelombang 2,5, sudut datang gelombang 90⁰ hasil *seakeeping* dibandingkan dengan kriteria menurut Standar NORDFORSK 1987.

Hasil analisa MSI semua *deck* pada kapal 500 GT, 1100 GT dan 1300 GT memenuhi kriteria Standar Internasional ISO 2631 dan memiliki nilai maksimum pada kapal 500 GT pada tinggi gelombang 2,5 meter, kecepatan kapal 5 Knot dan sudut datang gelombang 90⁰ yaitu 8,99825.

Hasil analisa MII semua nilai indeks MII dari kapal 500 GT, 1100 GT dan 1300 GT pada kecepatan 5 knot, 11 knot dan 13 knot dengan tinggi gelombang 1,25 meter, 1,875 meter dan 2,5 meter sudut datang gelombang 90⁰ dan 180⁰ berada dibawah 0,1 yang menunjukkan bahwa keadaan MII diatas kapal terletak pada kondisi *possible* NATO STANAG 4154, 1998.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Manik. P, dkk. “Analisa gerakan *seakeeping* kapal pada gelombang reguler,” *Kapal*, vol. 4, pp. 1–10, 2007.
- [2] Nordforsk 1987, *General Operability Limiting Criteria for Ship*. 1987.
- [3] “Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT), Laporan Investigasi Kecelakaan Pelayaran, Tenggelamnya KM. Dharma Kencana VIII,” 2016.
- [4] M. Lily, dkk.”Analisa Keselamatan Kapal *Ferry Ro-Ro* Ditinjau dari *Damage Stability Probabilistik*”,S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro:Semarang, 2016.
- [5] P.S. Sahat, dkk.” Perbandingan Performa Hullform Lambung *Monohull* dan *Monomaran* pada Kapal *Ro-Ro* 5000 GT”, S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro:Semarang, 2016.
- [6] P.P. Dian, dkk.” Analisa *Seakeeping* dan Prediksi *Motion Sickness Incidence* (MSI) pada Kapal Perintis 500 DWT dalam Tahap Desain Awal (*Initial Design*)”, S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro:Semarang, 2016.
- [7] International Maritime Organization (IMO), *SOLAS Consolidated Edition 2014, 6th ed.* London *International Maritime Organization*, 2014.
- [8] *International Maritime Organization* (IMO), *SOLAS Chapter II-1 Resolution MSC.281(85), Subdivision and damage stability regulation*’. 2009
- [9] NORDFORSK, 1987. The Nordic Coorative Project, Seakeeping performance of ships. In *Assessment of a Ship Performance in a Seaway*, Trondheim, Norway: MARINTEK.
- [10] “NATO STANAG 4145” *on Common Procedures for Seakeeping in the Ship Design Process*,1998.