

ANALISA SEAKEEPING DAN PREDIKSI *MOTION SICKNESS INCIDENCE* (MSI) PADA KAPAL PERINTIS 500 DWT DALAM TAHAP DESAIN AWAL (*INITIAL DESIGN*)

Dian Purnama Putra¹, Deddy Chrismianto¹, Muhammad Iqbal¹

¹)Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : pdianpurnama@gmail.com, deddychrismianto@yahoo.co.id,

iqbal.muhammad.1412@gmail.com

Abstrak

Gerakan kapal terombang – ambing atau naik turun di laut lepas 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 (*sea sickness* atau *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 dan simulasi percepatan vertikal gerakan kapal Perintis 500 DWT sehingga bisa dilihat unjuk kerja kapal terhadap kenyamanan penumpang. Kenyamanan pada penumpang dilihat dari indeks jumlah penumpang yang mengalami mabuk laut pada periode tertentu dengan mengacu pada standard ISO-2631/1997. Perhitungan dan simulasi dilakukan pada beberapa titik di kapal untuk melihat percepatan vertikal yang terjadi. Dari hasil simulasi didapatkan pengaruh dari lokasi pengukuran, durasi dan arah ombak terhadap persentase jumlah penumpang yang mengalami gejala mabuk laut atau *motion sickness incidence* (MSI). Setelah mendapatkan nilai MSI lalu ditampilkan dalam diagram batang sebaran MSI/MSImax di tiap-tiap remote location di tiap deck kapal. Indeks baru yaitu *Overall Motion Sickness Incidence* (OMSI), juga disajikan sebagai salah satu output pada prediksi tingkat kenyamanan penumpang ini, dimana dalam perhitungan OMSI ini memakai 3 *sea-state* berbeda dan juga di masing-masing *sea-state* disimulasi dengan 4 tipe periode (T_z) berbeda, sehingga didapatkan nilai OMSI saat *heading angle* 180° yang paling kecil berada di *sea-state slight* saat $T_z = 4,439$ s, yaitu sebesar 0,0224 %, dan OMSI saat *heading angle* 90° yang paling kecil berada di *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 ini hanya akan aman dan nyaman saat dioperasikan di daerah *slight water* dan *moderate water*, namun untuk *rough water* kapal ini tidak direkomendasikan karena tinggi gelombang yang sangat ekstrim. Ini adalah sebagai prediksi dan acuan yang akurat dalam mempertimbangkan tingkat kenyamanan penumpang pada tahap desain awal ini.

Kata Kunci : Olah gerak kapal, *motion sickness*, mabuk laut, *overall motion sickness incidence*, kapal perintis, ISO 2631.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan penduduk akan barang-barang antara pulau yang satu dengan pulau yang lain tentu bermacam-macam dan berbeda-beda demikian pula barang yang dihasilkannya. Oleh karena itu, untuk mendistribusikan dari pulau satu ke pulau yang lainnya diperlukan alat transportasi laut yang ekonomis yaitu kapal laut, dimana

kapal laut mampu memindahkan orang maupun barang dalam jumlah besar. Untuk memenuhi segala kebutuhan tersebut, pemerintah Indonesia mengupayakan akomodasi dan fasilitas transportasi yang lebih memadai.

Dewasa ini desain perencanaan kapal berkembang dengan pesat untuk menciptakan kapal yang optimal, selain dari segi ekonomis dan performa, proses desain

kapal juga harus mempertimbangkan kenyamanan dan keselamatan kapal pada saat berlayar yang dapat disebabkan baik oleh gerak kapal itu sendiri, maupun dari luar (*seakeeping*). Gerakan yang berasal dari faktor luar kapal yaitu seperti iklim yang tidak mendukung dan mengakibatkan gelombang besar, terjadi badai yang sangat berbahaya bagi ABK dan kapal [4].

Istilah *motion sickness* pada kapal yang dikenal juga dengan istilah mabuk laut adalah gejala sakit yang diakibatkan karena gerakan kapal yang mengakibatkan gejala fisik yang tidak nyaman yang ditandai dengan susah bernapas, pusing, mual, pucat dan muntah. Penyebab utama mabuk laut adalah tidak adanya kesamaan rangsang atau *conformity* antara stimulus, mata dan labirin telinga yang diterima oleh otak manusia. Biasanya orang yang terkena mabuk laut adalah mereka yang berada pada geladak tertutup, dikarenakan mata tidak dapat melihat adanya gerakan sementara labirin telinga merespon adanya gerakan kapal sehingga ada konflik antara rangsangan yang diterima mata dengan labirin telinga yang bertanggung jawab terhadap keseimbangan badan sehingga menyebabkan mual[5].

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 hours
- 10% MSI setelah 2 hours
- 10% MSI setelah 30 menit.

Dimana kriteria tersebut diatas menunjukkan persentase penumpang yang akan mengalamimabuk laut setelah periode tertentu. Selain itu dari referensi ISO 2631 juga disebutkan bahwa tingkat kenyamanan atau penyebab MSI yang paling utama adalah adanya percepatan vertikal (*vertical acceleration*), Tabel 1 dibawah ini

menunjukkan tingkat kenyamanan suatu kapal berdasarkan percepatan vertikal.

Tabel 1. Tingkat kenyamanan dan percepatan vertikal [7]

Habitability Acceleration (RMS)	
$< 0,315 \text{ ms}^{-2}$	Not uncomfortable
$0,315 - 0,63 \text{ ms}^{-2}$	A little uncomfortable
$0,5 - 1,0 \text{ ms}^{-2}$	Fairly uncomfortable
$0,8 - 1,6 \text{ ms}^{-2}$	Uncomfortable
$2,5 \text{ ms}^{-2}$	Very Uncomfortable
$>2 \text{ ms}^{-2}$	Extremely Uncomfortable

1.2 Perumusan Masalah

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang maka dalam penelitian ini diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Menentukan karakteristik gerakan *seakeeping* untuk kapal Perintis 500 DWT setelah dilakukan modifikasi
2. Mengetahui tingkat kenyamanan penumpang yang dilihat dari nilai index *Motion Sickness Incidence (MSI)* pada Kapal Perintis 500 DWT setelah modifikasi
3. Mendapatkan nilai *Overall Motion Sickness Incidence (OMSI)*
4. Menentukan dimana Kapal Perintis 500 DWT modifikasi ini paling aman dan nyaman untuk dioperasikan, sesuai dengan kondisi *sea state* yang ada

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan tugas akhir sehingga sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan. Batasan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Perancangan kapal menggunakan software *Maxsurf Modeler, Rhinoceros 4.0*
2. Kecepatan kapal 16 knot

3. Sudut heading 0 derajat, 45 derajat, 90 derajat dan 180 derajat
4. Memakai 3 variasi *sea-state* yaitu *slight*, *moderate*, dan *rough*
5. Seaway characteristics menggunakan *The JONSWAP Spectrum*
6. Analisa menggunakan *Maxsurf Motion Advance* dan *Ansys Awqa*
7. Tidak ada pengujian *towing tank*

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah dan pembatasan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan karakteristik gerakan *seakeeping* untuk kapal Perintis 500 DWT pada kondisi sudah dimodifikasi
2. Mendapatkan tingkat kenyamanan penumpang yang dilihat dari nilai index *Motion Sickness Incidence (MSI)* pada kapal dalam kondisi sudah dimodifikasi
3. Mengetahui nilai *Overall Motion Sickness Incidence (OMSI)*
4. Mendapatkan tempat operasional dimana Kapal Perintis 500 DWT ini paling aman dan nyaman untuk dioperasikan, sesuai dengan kondisi *sea state* yang ada

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Kapal Penumpang

Kapal penumpang merupakan alat transportasi yang masih mempunyai peran cukup besar dalam melayani jarak antar pulau. Selain itu dengan semakin mudahnya hubungan antar pulau di Indonesia maka semakin banyak beroperasi feri-ferri yang memungkinkan mengangkut mobil, bus, dan truk bersama-sama dengan penumpangnya. Pada umumnya kapal penumpang mempunyai ukuran relatif kecil.

2.2 Olah Gerak Kapal (*Seakeeping*)

Olah gerak kapal (*Seakeeping*) adalah kemampuan suatu kapal untuk tetap bertahan dilaut dalam kondisi apapun. Oleh karena itu kemampuan ini jelas merupakan aspek penting dalam hal perancangan kapal (*Ship Design*). Dasar Perhitungan *Seakeeping* adalah kapal yang berlayar di

suatu perairan akan mengalami gerakan sesuai dengan kondisi gelombang pada saat itu [3].

Gerak ini yang menunjukkan kualitas kapal dalam merespon spektrum gelombang. Perhitungan *seakeeping* kapal Perintis 500 DWT menggunakan software *Maxsurf Motion Advance* yang terdapat beberapa pengaturan dalam pengoperasiannya antara lain adalah Kondisi perairan (*sea condition*) Kondisi perairan (*sea state condition*) mengacu pada kondisi yang telah ditetapkan oleh *world meteorological organization* dengan peninjauan pada tiga kategori gelombang yaitu kecil (*slight*), sedang (*moderate*), dan besar (*Rough*).

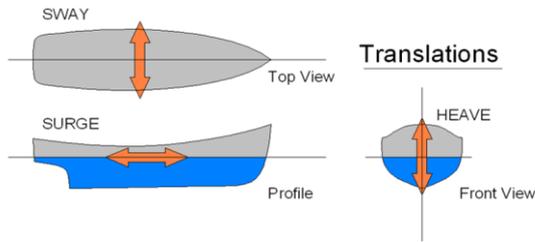
Tabel 2. Data *Sea State World Meteorological Organization*

Sea state code	Significant wave height (m)		Description
	Range	Mean	
0	0	0	Calm (glassy)
1	0,0 - 0,1	0,05	Calm (rippled)
2	0,1 - 0,5	0,3	Smooth (wavelets)
3	0,5 - 1,25	0,875	Slight
4	1,25 - 2,5	1,875	Moderate
5	2,5 - 4,0	3,25	Rough
6	4,0 - 6,0	5,0	Very Rough
7	6,0 - 9,0	7,5	High
8	9,0 - 14,0	11,5	Very High
9	Over 14,0	Over 14,0	Phenomenal

Dalam memperoleh perlakuan dari gelombang kapal mengalami dua jenis gerakan yaitu :

1. Gerakan Rotasi, gerakan ini merupakan gerakan putaran meliputi :
 - Rolling,
 - Pitching,
 - Yawing,

2. Gerakan Translasi (Linier), gerakan ini merupakan gerak lurus beraturan sesuai dengan sumbunya, meliputi :
- Surging,
 - Swaying,
 - Heaving,



Gambar 1. Macam-macam gerak translasi kapal

2.3 Response Amplitude Operator (RAO)

Respon gerakan kapal terhadap gelombang reguler dinyatakan dalam RAO, dimana RAO adalah rasio antara amplitudo gerakan kapal baik translasi maupun rotasi terhadap amplitudo gelombang pada frekuensi tertentu[7].

Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi :

$$RAO_z = \frac{z_o}{\zeta_o} \quad (\text{m/m}) \quad (1)$$

Respon gerakan RAO untuk gerakan rotasi :

$$RAO_\theta = \frac{z_o}{k\zeta_o} \quad (\text{m/m}) \quad (2)$$

Untuk percepatan vertikal :

$$RAO_a = \frac{a_o}{\omega_e^2 \zeta_o} \quad (\text{m/m}) \quad (3)$$

Untuk mendapatkan respon gerakan kapal terhadap gelombang acak dapat digambarkan dengan spektrum respon.

Persamaan spektrum respon adalah :

$$S_{\zeta_r}(\omega) = RAO^2 \times S_{\zeta}(\omega) \quad (4)$$

Dimana ;

Z_o = gerakan linear kapal (m)

θ_o = gerakan angular (rad)

a_o = percepatan vertikal (m/s^2)

ζ_o = amplitudo gelombang (m)

k = radius girasi, $k = \sqrt{I/m}$

I = inersia

m = massa kapal

ωe = frekuensi gelombang (Hz)

2.4 Root Mean Square (RMS)

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

$$m_0 = \int_0^\infty S_{\zeta_r}(\omega) d\omega \quad (5)$$

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

$$(\zeta)_{av} = 1.253 \sqrt{m_0} \quad (6)$$

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

$$(\zeta)_s = 2 \sqrt{m_0} \quad (7)$$

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

$$m_2 = \int_0^\infty \omega^2 S_{\zeta_r}(\omega) d\omega \quad (8)$$

$$m_4 = \int_0^\infty \omega^4 S_{\zeta_r}(\omega) d\omega \quad (9)$$

2.5 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. Griffin (1990) meneliti indikasi tipe lain seperti mual, penyimpangan dalam bernapas, mengantuk, sakit kepala, perasaan tidak peduli kepada nasib orang lain. Akhirnya, akumulasi dari gejala tersebut biasanya menghasilkan rasa muntah. Penelitian dikapal ataupun dilaboratorium telah dilaksanakan untuk menentukan pengaruh gerakan kapal (roll, pitch dan heave), frekwensi gerakan dan percepatan juga durasi kejadian. Mc Cauley dan O'Hanlon (1974) meneliti hubungan

frekwensi gerakan vertikal dan percepatan dengan motion sickness incidence.

MSI index pada umumnya digunakan untuk menilai kemungkinan terjadinya mabuk laut. Indek MSI bisa dihitung menggunakan persamaan 5 berikut ini [8];

$$MSI = 100 \left[0.5 \pm \operatorname{erf} \left(\frac{\pm \log_{10} \frac{a_v \pm \mu_{MSI}}{g}}{0.4} \right) \right] \quad (10)$$

Dimana ;

MSI = indek MSI

erf = error function

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

μ_{MSI} = parameter yang dihitung dari persamaan 6 berikut ini

$$\mu_{MSI} = -0.819 + 2.32 (\log_{10} \omega_E)^2 \quad (9)$$

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 [7], dirumuskan :

$$OMSI_{(H_{1/3}, T_z)_{j, \mu_k}} = \frac{\int_{A_{deck}} MSI_{(H_{1/3}, T_z)_{j, \mu_k}(x, y, z_{deck})} dA}{A_{deck}} \quad (12)$$

Kemudian, berdasarkan (x,y,z deck)_i , didapatkan koordinat Nc yang merupakan remote location yang tersebar pada main deck, OMSI kemudian di rumuskan berdasarkan kondisi perairan dan sudut arah datangnya gelombang :

$$OMSI_{(H_{1/3}, T_z)_{j, \mu_k}} = \frac{1}{N_c} \sum_{i=1}^{N_c} MSI_{(H_{1/3}, T_z)_{j, \mu_k}(x, y, z_{deck})_i} \quad (13)$$

2.6 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 12.

$$P\{\text{slamming}\} = \exp^{-y}$$

(14)

$$y = (T^2/2m0) + (Vcr^2/2m2)$$

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

Vcr = velocity treshold (kecepatan ambang)

$$= 0,093 (gL)^{1/2}$$

Nw = Intensitas kejadian slamming perdetik

M0 = Relative vertical motion

M2 = Relative certical velocity

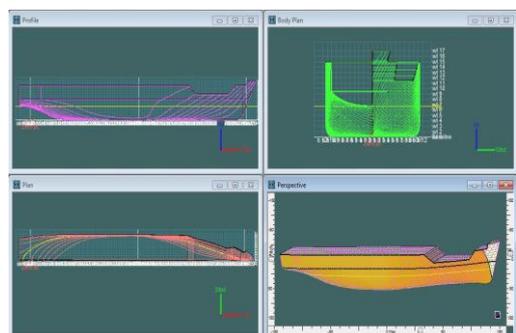
3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bentuk dan Ukuran Kapal

Pada penelitian ini model yang akan di analisa menggunakan software Ansys Aqwa dan Maxsurf Motion Advance untuk mendapatkan RAO pada kapal Perintis 500 DWT. Berikut ukuran utama kapal yang dipakai, dengan rincian sebagai berikut,

Tabel 3 . Ukuran Utama Kapal Perintis

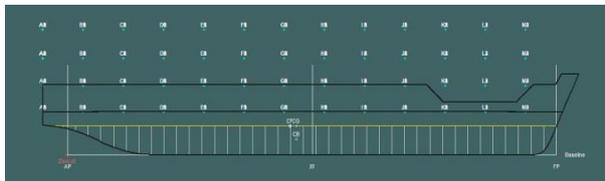
LOA	57,20 m
Lwl	52,20 m
B	10,40 m
H	4,2 m
T	2,85 m
Vs	16 knots



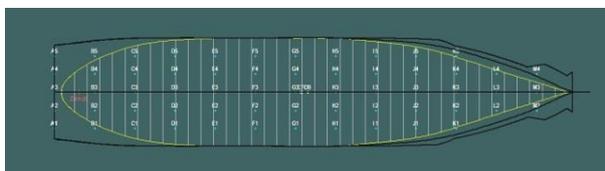
Gambar 2. Hasil Pembuatan Model dengan Maxsurf Modeler.

Untuk dapat melakukan analisa olah gerak kapal guna melihat efeknya terhadap indek MSI maka perlu dilakukan perhitungan *added mass*, factor redaman (*damping factor*), inersia dari gerakan kapal dan gaya pembalik (*restoring force*) dari kapal. Dengan menggunakan Software ; *Maxsurf – Seakeeper* maka kapal dimodelkan dalam bentuk 3 dimensi dan nilai- nilai parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan indek MSI diatas akan dihitung menggunakan *strip theory*.

Pada kapal Perintis ini lokasi pengukuran ditentukan sebanyak 4 deck pada kapal, dimana setiap deck terdapat 61 remote location yang tersebar merata.



Gambar 3. Tampak samping Pembagian Remote Location di Kapal Perintis 500 DWT



Gambar 4. Tampak Main deck Pembagian Remote Location di Kapal Perintis 500 DWT

3.2 Spektrum Gelombang

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

$$\omega_e = \omega \left(1 - \frac{\omega V}{g} \cos \mu\right) \quad (14)$$

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 . Hal ini didasarkan pada spektrum ITTC dan didefinisikan di bawah ini. Secara umum kedua spektra tidak mengandung energi yang sama untuk tinggi gelombang signifikan ditentukan dan periode karakteristik , namun JONSWAP selalu memiliki tinggi , puncak sempit dari ITTC.

$$S_{\text{JONSWAP}\zeta}(\omega) = 0.658 S_{\text{ITTC}\zeta}(\omega) C(\omega) \quad (15)$$

dimana :

$$C(\omega) = 3.3 \uparrow \exp \left[\frac{-1}{2\sigma^2} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1 \right)^2 \right] \quad (16)$$

dengan catatan :

$$\sigma = 0.07 \text{ for } \omega < \omega_0; \sigma = 0.09 \text{ for } \omega > \omega_0, \text{ and } \omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$$

3.3 Kriteria seakeeping menurut NORDFORSK

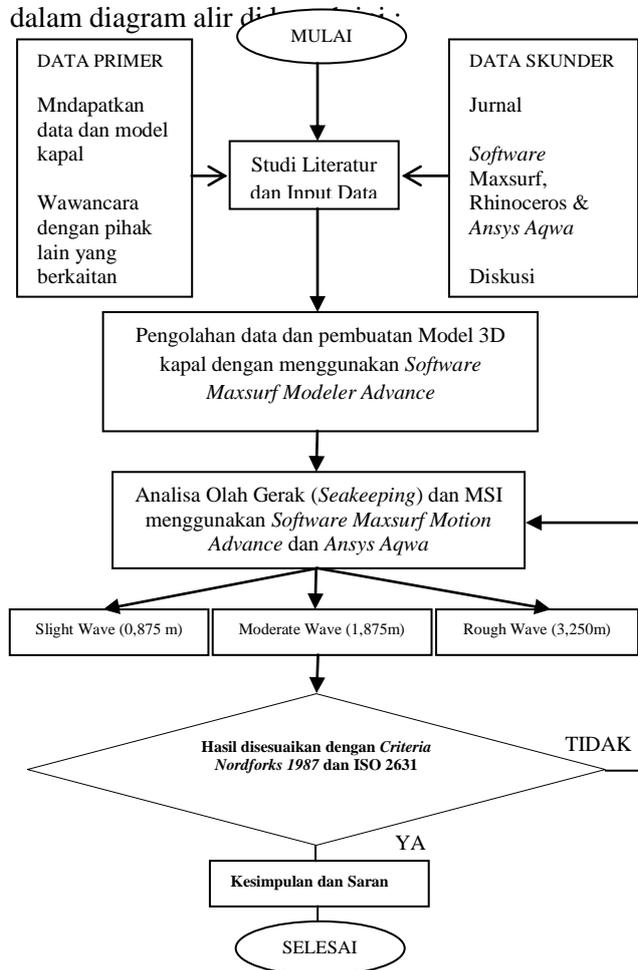
Kriteria *seakeeping* untuk kapal niaga digunakan untuk menyesuaikan hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan standar kriteria yang ada. Pada penelitian ini, standar seakeeping yang digunakan adalah standar kriteria untuk kapal niaga yang terdapat pada tabel 4.

Tabel 4. Kriteria *seakeeping* untuk kapal niaga

No	Kriteria	Nilai
1	RMS of vertical acceleration at FP	0.275 g ($L \leq 100\text{m}$) 0.050 g ($L \geq 330\text{m}$)
2	RMS of vertical acceleration at Bridge	0.15 g
3	RMS of lateral acceleration at Bridge	0.12 g
4	RMS of roll	6.0 deg
5	Probability of Slamming	0.03 ($L \leq 100\text{m}$)
6	Probability of Deck Wetness	0.01 ($L \geq 300\text{m}$) 0.05

3.4 Diagram Alir Penelitian

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

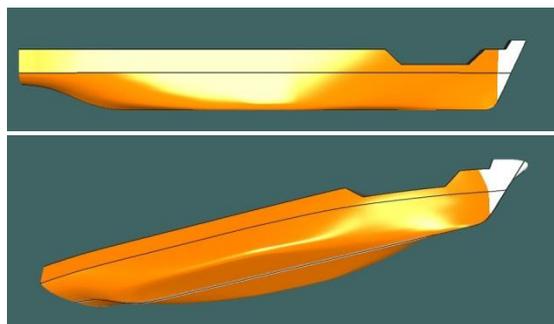


Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

4. PERHITUNGAN DAN ANALISA

4.1. Pemodelan

Dari data dan linesplan dibuat model badan kapal dengan bantuan *Maxsurf Modeler Advance*.

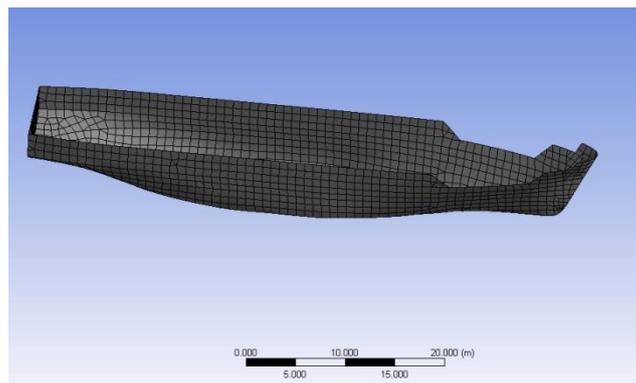


Gambar 5. Model Kapal Perintis

4.2. Meshing

Hydrodynamic Diffraction merupakan software yang digunakan untuk menganalisa gerakan dan beban struktur apung. Dalam desain kerjanya, perlu dideskripsikan dengan menggambarkan model yang akan dianalisa, sifat fluida disekitar model, penentuan *geometri* dan *point mass* dari model. Selanjutnya dalam penyelesaian persoalan akan digunakan pendekatan *solid surface* dan menggunakan persamaan *hydrodynamic diffraction (diffraction potential)* pada setiap sudut datang gelombang, variasi kecepatan, periode dan durasi gelombang [1].

Meshing pada *Hydrodynamic Diffraction* biasanya dilakukan dengan perhitungan *element sizing* 1/40 LOA. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk memberikan kerapatan yang lebih bagus pada proses *meshing* dan hasil yang lebih akurat.



Gambar 6. Model Meshing Kapal

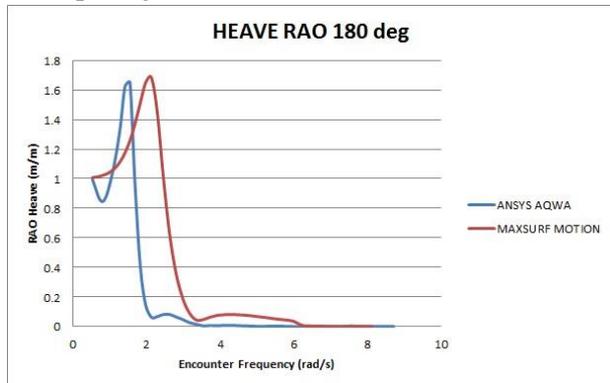
4.2 Response Amplitude Operator (RAO)

Kapal

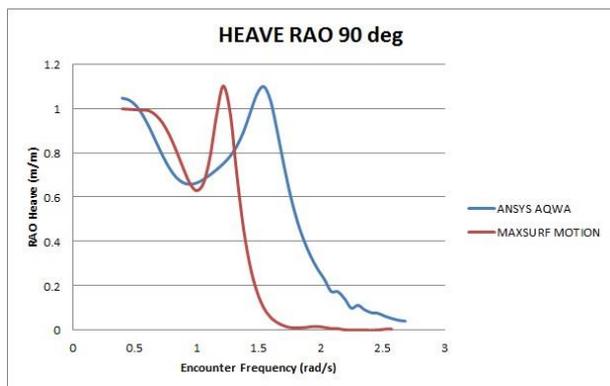
RAO merupakan suatu transfer function yang digunakan untuk menentukan efek dari kondisi laut terhadap gerakan kapal. Sehingga dari situ bisa diketahui apakah suatu kapal memerlukan perubahan desain untuk meningkatkan stabilitas.

Penggunaan RAO pada fase desain suatu kapal memungkinkan untuk ditentukannya modifikasi yang dibutuhkan pada desain untuk memenuhi kriteri keselamatan, maupun untuk meningkatkan performance dari kapal. RAO menunjukkan trend gerakan kapal terhadap gelombang.

Pada tugas akhir ini, digunakan komparasi antara software Ansys Aqwa dan maxsurf motion, untuk membandingkan hasil RAO dari kapal perintis 500 DWT ini, sehingga didapatkan grafik perbandingan RAO pada gambar 9 dan 10 berikut ini.



Gambar 7. Perbandingan hasil RAO heave pada wave heading 180 deg dan $V_s=8.23$ m/s



Gambar 8. Perbandingan hasil RAO heave pada wave heading 90 deg dan $V_s=8.23$ m/s

Dari hasil running dari Ansys Aqwa dan Maxsurf Motion, terlihat trend yang sama gerakannya, dimana memiliki puncak RAO yang hampir sama saat heave RAO 90 deg. Namun saat heave RAO 180 deg, puncak RAO yang lebih tinggi adalah dari hasil running dari Maxsurf Motion.

4.2 Analisa Karakteristik Seakeeping

Olah Gerak Kapal (*Seakeeping Performance*) adalah kemampuan untuk tetap bertahan di laut dalam kondisi apapun dalam keadaan kapal sedang melaksanakan tugasnya. Oleh karena itu kemampuan ini jelas merupakan aspek penting dalam hal perancangan kapal (*Ship Design*). Bahkan pada bangunan lepas pantai sekalipun

kemampuan bertahan ini wajib diperhitungkan dengan analisa perairan yang sesuai pada kondisi setempat.

Tabel 5. *Number of Wave Heading*

No.	Wave Heading (°)	Description
1	0	Following seas
2	45	Quartering seas
3	90	Beam seas
4	180	Head seas

Dari data-data diatas dapat dihitung *seakeeping performance* dari model, dengan menggunakan program yang sudah ditentukan, yaitu dengan software *maxsurf motion advance*. Proses *running* dilakukan berdasarkan data-data diatas dan data kecepatan kapal. Hasil proses *running* adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Nilai amplitudo dan velocity pada kondisi *Rough water*

Item	Wave Heading	Motion	Velocity
Heaving	0	0.655 m	0.192 m/s
	45	0.619 m	0.259 m/s
	90	0.761 m	0.486 m/s
	180	0.887 m	0.897 m/s
Rolling	0	0 deg	0 rad/s
	45	3.5 deg	0.042 rad/s
	90	6.87 deg	0.105 rad/s
	180	0 deg	0 rad/s
Pitching	0	2.19 deg	0.010 rad/s
	45	1.85 deg	0.012 rad/s
	90	1.04 deg	0.177 rad/s
	180	2.17 deg	0.045 rad/s

Tabel diatas menunjukkan nilai amplitudo dan kecepatan (*velocity*) terhadap tipe gelombang *WMO* (*Slight Water, Moderate Water, Rough Water*) pada tiap-tiap *Wave heading* yang ditinjau. sehingga kenyamanan dari *sea behaviour* dari kapal tersebut tergantung pada beberapa hal :

- Tinggi rendahnya simpangan terbesar dari gerakan kapal. Semakin tinggi

simpangan amplitudo kapal berarti semakin besar kemungkinan air masuk ke geladag kapal. Semakin rendah berarti meminimalisir resiko *deck wetness*.

- Cepat lambatnya gerakan kapal. Semakin cepat gerakan kapal berarti respon kapal terlalu kaku sehingga meningkatkan resiko mabuk laut (*Motion Sickness of Incidence*). Semakin lambat berarti nilai MSI semakin rendah sehingga dari tinjauan kenyamanan lebih tinggi.
- Dari nilai amplitudo dan kecepatan akan didapat periode oleng dari kapal. Periode oleng pada olah gerak kapal sangat penting, karena dapat menentukan keamanan dan kenyamanan kapal saat mendapatkan gelombang air laut.

Hasil pengamatan animasi adalah sebagai berikut:

Tabel 7. *Criteria olah gerak*

ITEM	WAVE HEADING	CRITERIA
		KAPAL PERINTIS 500 DWT
SLIGHT WATER	0 deg	Tidak Terjadi Deck Wetness
	45 deg	Tidak Terjadi Deck Wetness
	90 deg	Tidak Terjadi Deck Wetness
	180 deg	Tidak Terjadi Deck Wetness
MODERATE WATER	0 deg	Tidak Terjadi Deck Wetness
	45 deg	Tidak Terjadi Deck Wetness
	90 deg	Tidak Terjadi Deck Wetness
	180 deg	Tidak Terjadi Deck Wetness
ROUGH WATER	0 deg	Terjadi Deck Wetness
	45 deg	Terjadi Deck Wetness
	90 deg	Terjadi Deck Wetness
	180 deg	Terjadi Deck

		Wetness
--	--	---------

Hasil dari perhitungan probabilitas slamming dari ketiga *sea-state condition* disajikan pada tabel 8 berikut ini.

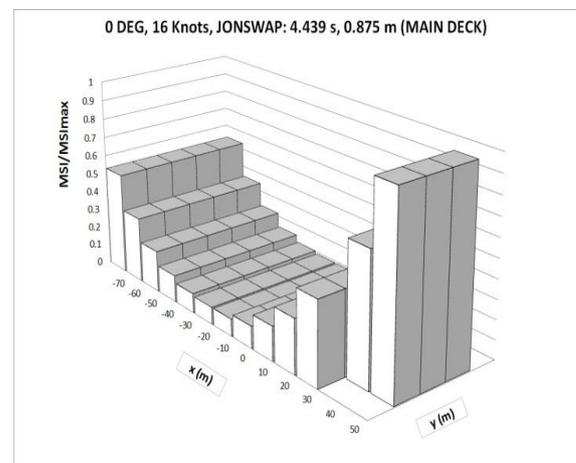
Tabel 8. Hasil Perhitungan Probabilitas Slamming dan intensitas slamming

Item	m0	m2	Prob. Slamming (%)	Slamming/ jam
SLIGHT	0.04	0.54	0.0000016	0
MODERATE	1.62	3.6	0.0439595	20.643456
ROUGH	1.41	2.9	0.0260613	12.478292

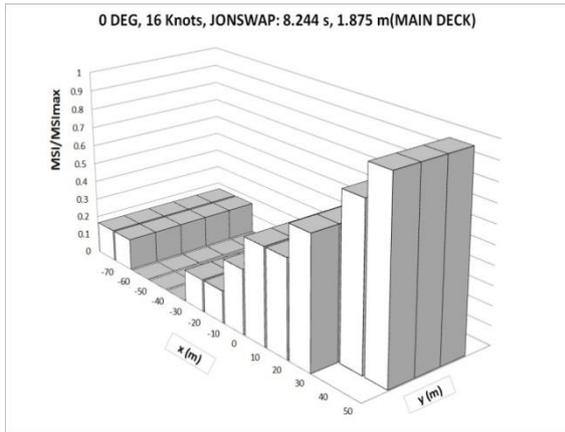
Hasil perhitungan probabilitas slamming terdapat pada Tabel 8. pada kondisi *sea-state slight* dan *rough* telah memenuhi standar probabilitas *slamming* dari Nordfok 1987 karena memiliki probabilitas *slamming* dibawah 3%, namun untuk kondisi *moderate* water tidak memenuhi karena diatas 3%.

4.5 Analisa *Motion Sickness Incidence* (MSI)

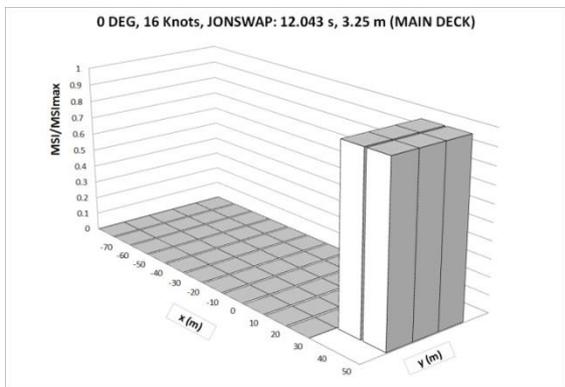
Pada analisa ini, untuk memprediksi nilai indeks MSI, perlu dicari MSI di masing- masing *remote location* pada masing-masing deck pada kapal. Pengaruh utama dalam mencari MSI ini adalah nilai dari *Relative Vertical Velocity* (m_2) dan *Relative Vertical Acceleration* (m_4).



Gambar 9. Grafik MSI/MSImax pada *slight wave following seas*, $T_z = 4.439$ s, $MSI_{max} = 0.079\%$



Gambar 10. Grafik MSI/MSImax pada moderate wave following seas, $T_z = 8.244$ s, $MSI_{max} = 0.006\%$

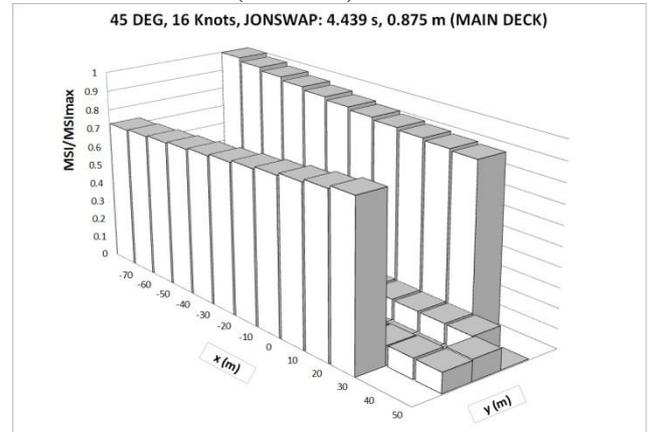


Gambar 11. Grafik MSI/MSImax pada rough wave following seas, $T_z = 12.043$ s, $MSI_{max} = 0.001\%$

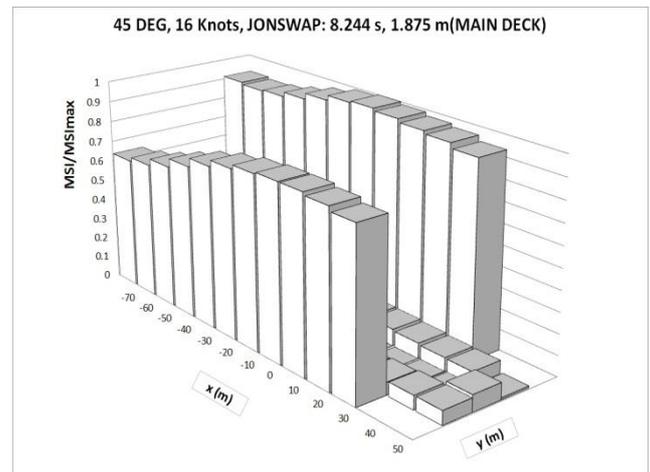
Dari hasil running dengan software *Maxsurf Motion Advance*, didapat rangkuman dan disajikan dalam grafik batang berupa perbandingan MSI tiap remote location dengan MSI_{max} yang ada di satu deck itu. Terbagi atas 61 titik yang diteliti di tiap deck, secara memanjang dari A sampai M, dimana untuk secara melintang tiap abjad terbagi menjadi 5 bagian yaitu dari A1 sampai A5.

Pada heading angle following seas terlihat MSI_{max} terjadi di area depan kapal (haluan) yaitu titik L dan M, yaitu 0.079% pada slight wave, 0.006% pada moderate wave, dan 0.001% pada rough wave. 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 saat kondisi sea-state slight wave, dan pada 3 titik yaitu titik C,D,E pada kondisi sea-state moderate

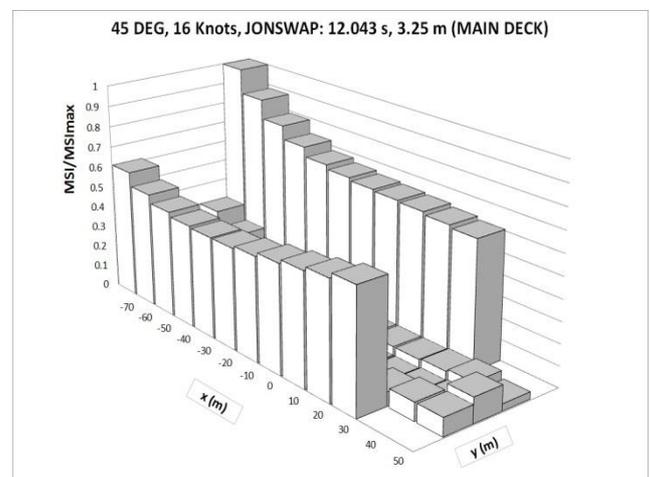
wave, sementara saat kondisi sea-state rough wave semua titik dinayakan nyaman dan aman kecuali titik L,M yang memiliki nilai MSI terbesar (MSI_{max}).



Gambar 12. Grafik MSI/MSImax pada slight wave quartering seas, $T_z = 4.439$ s, $MSI_{max} = 1.556\%$



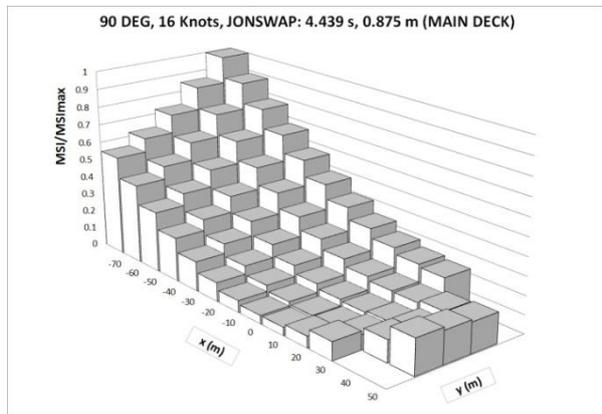
Gambar 13. Grafik MSI/MSImax pada moderate wave quartering seas, $T_z = 8.244$ s, $MSI_{max} = 0.454\%$



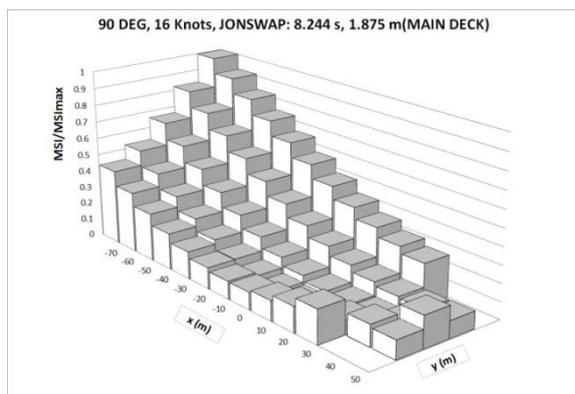
Gambar 14. Grafik MSI/MSImax pada

rough wave quartering seas, $T_z = 12.043$ s,
 $MSI_{max} = 0.154\%$

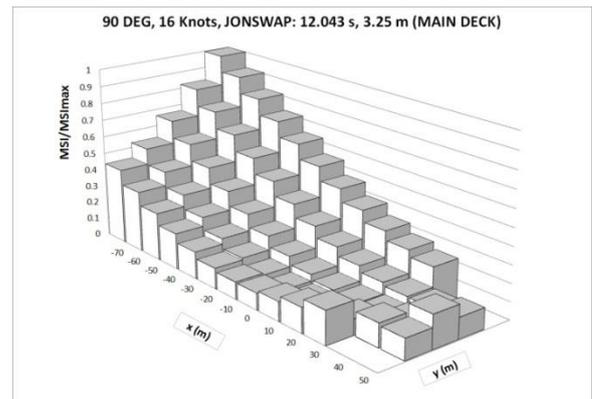
Pada *heading angle quartering seas* terlihat MSI_{max} terjadi di area samping kiri dan kanan dari kapal yaitu di semua titik remote location secara memanjang dan pada ordinat 1 dan 5 secara melintang pada kapal, yaitu 1.556% pada *slight wave*, 0.454% pada *moderate wave*, dan 0.154% pada *rough wave*. Hal ini mengindikasikan bahwa saat kapal mendapat hantaman gelombang dari arah 45° ke arah kapal, maka tingkat kenyamanan yang paling aman dan nyaman berada di daerah tengah kapal yaitu di ordinat 2,3,4 secara melintang kapal, dan pada semua titik yang diteliti secara memanjang pada kapal.



Gambar 15. Grafik MSI/MSI_{max} pada *slight wave beam seas*, $T_z = 4.439$ s,
 $MSI_{max} = 18.318\%$

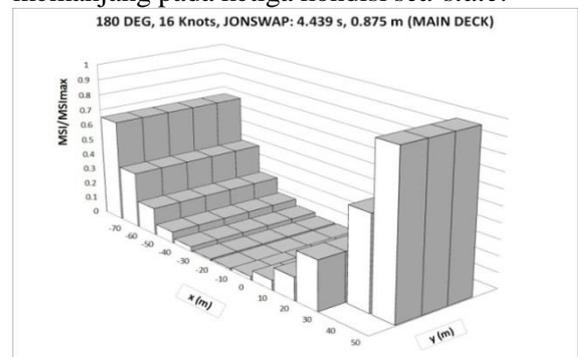


Gambar 16. Grafik MSI/MSI_{max} pada *moderate wave beam seas*, $T_z = 8.244$ s,
 $MSI_{max} = 29.305\%$

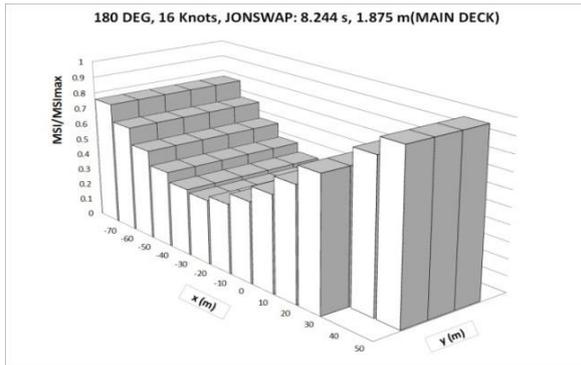


Gambar 17. Grafik MSI/MSI_{max} pada *rough wave beam seas*, $T_z = 12.043$ s,
 $MSI_{max} = 25.799\%$

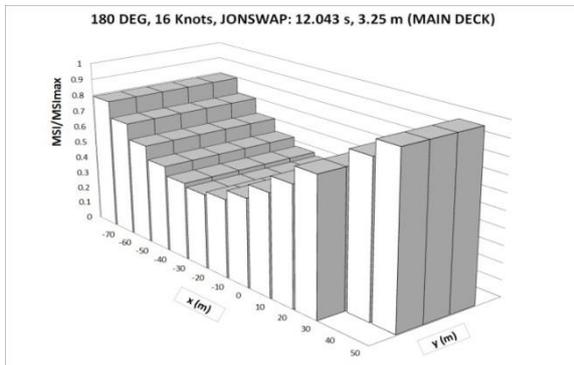
Pada *heading angle beam seas* terlihat MSI_{max} terjadi di pojok kiri belakang pada kapal yang itu adalah titik A5 di semua kondisi *sea-state* yaitu 18.318% pada *slight wave*, 29.305% pada *moderate wave*, dan 25.799% pada *rough wave*. Hal ini mengindikasikan bahwa saat kapal mendapat hantaman gelombang dari sisi kiri kapal, maka tingkat kenyamanan yang paling aman dan nyaman berada di daerah sisi kanan kapal, karena efek yg dihasilkan akibat gelombang dari sisi kiri kapal, terbukti titik teraman dan ternyaman adalah di ordinat 2 secara melintang, J secara memanjang pada ketiga kondisi *sea-state*.



Gambar 18. Grafik MSI/MSI_{max} pada *slight wave head seas*, $T_z = 4.439$ s,
 $MSI_{max} = 0.098\%$



Gambar 19. Grafik MSI/MSImax pada moderate wave head seas, $T_z = 8.244$ s, $MSI_{max} = 50.99\%$

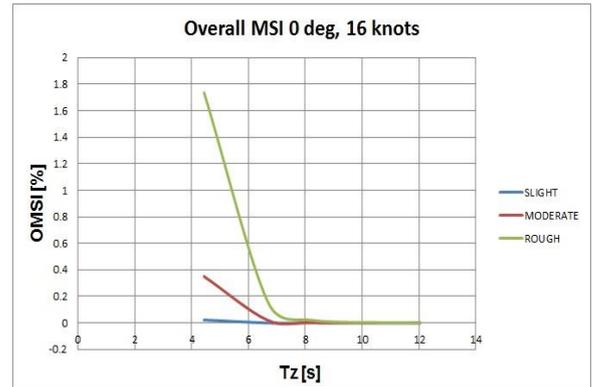


Gambar 20. Grafik MSI/MSImax pada rough wave head seas, $T_z = 12.043$ s, $MSI_{max} = 50.134\%$

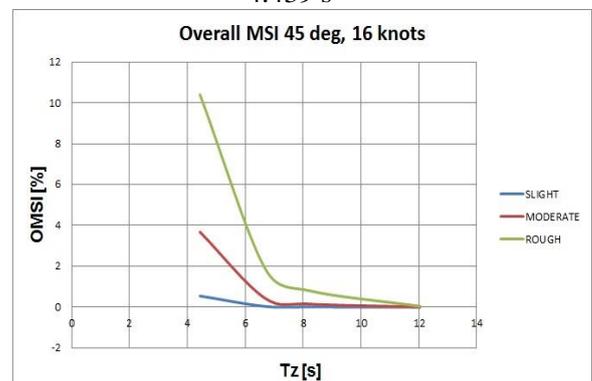
Pada heading angle head seas terlihat MSI_{max} terjadi di bagian depan pada kapal yang itu adalah titik M di semua kondisi sea-state yaitu 0.098% pada slight wave, 50.99% pada moderate wave, dan 50.134% pada rough wave. Hal ini mengindikasikan bahwa saat kapal mendapat hantaman gelombang dari depan kapal, maka tingkat kenyamanan yang paling aman dan nyaman berada di daerah tengah kapal yaitu pada titik F di semua ordinat saat pada ketiga kondisi sea-state yang ada.

4.6 Analisa Overall Motion Sickness Incidence (MSI)

Setelah mendapatkan hasil nilai indeks MSI di masing – masing kondisi heading angle, sea-state dan periode (T_z), maka dapat kita kalkulasikan dalam prediksi OMSI (Overall Motion Sickness Incidence) di 4 kondisi heading angle.



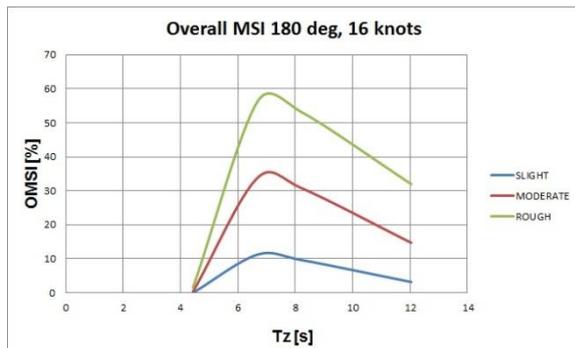
Gambar 21. Grafik OMSI pada heading angle 0° dan pada $V_s = 8.23$ m/s, terlihat $OMSI_{max}$ terjadi pada rough wave saat $T_z = 4.439$ s



Gambar 22. Grafik OMSI pada heading angle 45° dan pada $V_s = 8.23$ m/s, terlihat $OMSI_{max}$ terjadi pada rough wave, saat $T_z = 4.439$ s



Gambar 25. Grafik OMSI pada heading angle 90° dan pada $V_s = 8.23$ m/s, terlihat $OMSI_{max}$ terjadi pada rough wave, saat $T_z = 4.439$ s



Gambar 23. Grafik OMSI pada *heading angle* 180° dan pada Vs = 8.23 m/s, terlihat OMSImax terjadi pada *rough wave*, saat Tz = 6.690 s

Terlihat dari hasil analisa dan perhitungan nilai indeks OMSI, hasil nilai hanya OMSImax di *heading angle* 180° yang memiliki nilai maksimal saat *rough wave* pada Tz = 6.690 s yaitu sebesar 56,3%, sedangkan pada 0°, 45°, dan 90° memiliki nilai maksimal saat *rough wave* pada Tz = 4.439 s, hal ini terjadi karena semakin cepat periode gelombang yang terjadi pada kapal, maka nilai indeks OMSI di satu deck di kapal juga akan semakin besar.

4.7 Prediksi Daerah Operasional Kapal
Tabel 9. Tabel Prakiraan Tinggi Gelombang Perairan Indonesia oleh BMKG Maritim

MODERATE (1.25-2.50 m)	ROUGH (2.50-4.00 m)
- PERAIRAN ACEH	- LAUT
- PERAIRAN KEP. SIMUELUE	- ANDAMAN
- PERAIRAN KEP. NIAS	- PERAIRAN BENGKULU
- PERAIRAN KEP. MENTAWAI	- PERAIRAN BARAT LAMPUNG
- PERAIRAN SELATAN PULAU LOMBOK PERAIRAN SELATAN PULAU SUMBA	- SELAT SUNDA BAGIAN SELATAN
- LAUT SAWU	- PERAIRAN SELATAN PULAU JAWA
- PERAIRAN SELATAN PULAU ROTE	- PERAIRAN SELATAN BALI DAN LOMBOK
- PERAIRAN KUPANG	- LAUT TIMOR
- LAUT TIMOR	- SERTA SAMUDERA HINDIA
- PERAIRAN KEP. LETI-KEP. SERMATA	- BAGIAN BARAT BENGKULU
- PERAIRAN KEP. BABAR-KEP. TANIMBAR, PERAIRAN KEP.	

KAI-KEP. ARU DAN LAUT ARAFURA	HINGGA BAGIAN SELATAN NUSA TENGGARA
-------------------------------	-------------------------------------

Dari hasil analisa seakeeping dan prediksi MSI dan OMSI, maka didapatkan prediksi tempat-tempat operasional Kapal Perintis 500 DWT ini. Tabel 11 menjelaskan bahwa kapal ini hanya akan aman dan nyaman saat dioperasikan di daerah *moderate water*, namun untuk *rough water* kapal ini tidak direkomendasikan karena tinggi gelombang yang sangat ekstrim.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan terhadap model kapal perintis 500 DWT yang telah dilakukan modifikasi, dalam analisa dan hasil indeks MSI dan OMSI maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada penelitian telah diperoleh hasil prediksi *motion sickness incidence* di tiap - tiap remote location, dan diperoleh hasil indeks *overall motion sickness incidence* pada satu deck tiap *heading angle*, dari hasil analisa OMSI akan semakin besar saat berada di *sea-state* yang semakin ekstrim dan memiliki periode (Tz) yang semakin kecil.
2. Kapal Perintis 500 DWT memiliki response percepatan vertikal paling tinggi saat kapal bergerak melawan arah gelombang (*heading seas*), dimana pada kecepatan kapal 16 knots, ketinggian gelombang 3.25 meter dan periode gelombang rata-rata 12.043 detik menimbulkan gerak percepatan vertikal tertinggi di titik M2, M3, dan M4 yaitu sebesar 3.395 m/s² di geladak utama.
3. Mengacu pada standar ISO 2631 maka pada saat kondisi *slight water, moderate water* dan *rough water*, kapal aman sangat stabil dan

diprediksikan tidak ada penumpang yang akan mengalami mabuk laut, itu terjadi saat 0 deg dan 45 deg, *wave heading*. Namun saat terkena gelombang 90 deg, MSI terjadi pada 10% penumpang setelah 2 jam, pada semua titik secara memanjang berkoordinat y 4 dan 5 di geladak utama, dimana terjadi saat Encounter Frequency 0,895 – 1,390 rad/s. Pada saat kapal bergerak melawan gelombang (180 deg) pada kondisi *moderate water* dan *rough water* akan ada kecenderungan 10% penumpang pada seluruh posisi pengukuran akan mengalami mabuk laut setelah periode pelayaran 2 jam, yang terjadi pada encounter 1,555 rad/s.

4. Kapal perintis 500 DWT memiliki karakteristik seakeeping yang baik, saat dioperasikan di perairan *slight dan moderate*, namun untuk *rough water* kapal ini kurang tepat karena respon gelombang yang tinggi menyebabkan kapal mengalami deck wetness. Dari hasil analisa seakeeping dan prediksi MSI dan OMSI, maka didapatkan prediksi tempat-tempat operasional Kapal Perintis 500 DWT ini. Tabel 11 menjelaskan bahwa kapal ini hanya akan aman dan nyaman saat dioperasikan di daerah *moderate water*, namun untuk *rough water* kapal ini tidak direkomendasikan karena tinggi gelombang yang sangat ekstrim.

5.2 Saran

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

1. Dalam Pembuatan model sebaiknya diteliti dan dibuat lebih baik sehingga data yang didapatkan akan lebih akurat.
2. Dalam analisa di masing-masing *sea-state* harus diperbanyak variasi periode (T_z) agar lebih akurat.

3. Hasil dari analisa ini dapat dilanjutkan untuk dijadikan sebagai studi analisa hambatan dan olah gerak yang lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] AQWA User Manual. (2012) (Vol. 15317)
- [2] A. Scamardella, V. Piscopo, "Passenger ship seakeeping optimization by the Overall Motion Sickness Incidence", *Science Direct Ocean Engineering*, 2013.
- [3] Bhattacharya, R. *Dynamics of Marine Vehicles*. New York: John Wiley & Sons, 1978.
- [4] P. Manik, "Analisa gerakan seakeeping kapal pada gelombang reguler," *Kapal*, vol. 4, pp. 1–10, 2007.
- [5] Seakeeper, "Seakeeper User Manual - Windows Version 16," Formation Design Systems Pty Ltd, 2011.
- [6] S. Mardi, "Analisa Prediksi *Motion Sickness Incidence* (MSI) Pada Kapal *Catamaran* 1000 GT Dalam Tahap Desain Awal (*Initial Design*)", *Kapal*, vol. 12, pp. 42–49, 2015.
- [7] "The International Standard ISO 2631–1," in *Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole body vibration*, 1997.
- [8] T. Cepowski, "The prediction of the Motion Sickness Incidence index at the initial design stage," *Polish Maritime Research No. 1 vol. 16*, pp. 25-33, 2010.