



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Optimasi Lambung *Demihull Katamaran* Menggunakan *Response Surface Methode* Pada *Motion Sickness Incidence*

Fahrizal Amir⁽¹⁾, Berlian Arswendo⁽¹⁾, Muhammad Iqbal⁽¹⁾

Laboratorium Perancangan kapal dibantu komputer

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

Email: amirfahrizal53@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*). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan ukuran lambung yang optimal dan sesuai kriteria Nortforks 1987. Dengan contoh kasus mencari nilai *Motion Sickness Incidence* yang minimum yang dipengaruhi oleh perubahan nilai Coefisien Block dan Coefisien Midship yang dirangkum dengan perhitungan *Response Surface Methode* (RSM). Bentuk lambung tersebut diubah dengan mengubah parameter nilai koefisien blok (C_b) dan koefisien midship (C_m) awal sebesar -1% dan +1% pada Orde 1 menggunakan bantuan *software Maxsurf Modeler Advance*. Hasil bentuk lambung yang optimal didapatkan dengan memperkecil nilai C_b menjadi 0,37 serta pada perubahan C_m menjadi 0,62 pada head seas untuk dimasukkan dalam model awal pada Orde 2. Sehingga didapatkan Model variasi Nilai Coefisien block sebesar 0,373 dan nilai Coefisien Midship 0,619 dengan nilai *Motion Sickness Incidence* 7,581 pada Orde 2. Lambung *Demihull* memenuhi kriteria seakeeping pada semua kondisi wave heading sampai sea state 2 dengan tinggi gelombang 1,006 m dan periode gelombang 3,6 s pada kondisi pelayaran 120 menit kapal dinyatakan nyaman dan aman

Kata Kunci : *Optimasi, Response Surface Methode, Motion Sickness Incidence, Katamaran*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Prediksi performa *seakeeping* (olah gerak) kapal di perairan tertentu adalah salah satu dari aspek-aspek penting pada tahap perencanaan kapal. Performa *seakeeping* menjadi penting karena terkait dengan aspek kenyamanan dan keselamatan suatu kapal [1].

Motion Sickness adalah kondisi dimana penumpang mengalami gejala sakit yang diakibatkan pergerakan kapal seperti pusing, mual, pucat, susah bernafas, dan muntah. Penyebab utama mabuk laut atau *motion sickness* ini adalah ketidakseimbangan rangsang atau *comformity* antara stimulus, mata, dan labirin yang diterima oleh otak manusia. *Motion sickness* sering terjadi pada penumpang dalam

geladak tertutup karena mata tidak dapat melihat adanya gerakan sementara labirin telinga merespon adanya gerakan [2].

Response Surface Methodology (RSM) merupakan sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk menganalisa permasalahan dimana beberapa variabel independen mempengaruhi variabel respon dan tujuan akhirnya adalah untuk mengoptimalkan respon [3]. Ide dasar metode ini adalah memanfaatkan desain eksperimen berbantuan statistika untuk mencari nilai optimal dari suatu respon. Metode ini pertama kali diajukan sejak tahun 1951 dan sampai saat ini telah banyak dimanfaatkan baik dalam dunia penelitian maupun aplikasi industri. Misalnya dengan menyusun suatu model matematika Peneliti

dapat mengetahui nilai variabel-variabel independen yang menyebabkan nilai variabel respon menjadi optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimal respons dengan menerapkan metode permukaan respons. Dengan contoh kasus mencari Bentuk Lambung minimum yang dipengaruhi oleh perubahan nilai Coefisien Block dan Coefisien Midship

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 Lambung Demihull kapal Terhadap Seakeeping?
- 2 Bagaimana pengaruh perubahan Cb dan Cm dalam lambung Demihull Kapal dengan nilai *Motion Sickness Incidence* (MSI)

1.3 Batasan Masalah

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

- 1 Data lambung demihull diambil dari data kapal yang terdapat dalam jurnal "Optimasi Bentuk Demihull Kapal Katamaran Untuk Meningkatkan Kualitas Seakeeping"
- 2 Kecepatan kapal 12 knot
- 3 Sudut heading 180 derajat dan 90 derajat
- 4 Metode perhitungan yang dipakai Hanya RSM
- 5 Analisa biaya tidak diperhitungkan
- 6 *Seaway* karakteristik menggunakan *The JONSWAP Spectrum*
- 7 Analisa menggunakan *Maxsurf Motion Advance dan Ansys Aqwa*
- 8 Tidak ada pengujian *towing tank*

1.4 Tujuan Penelitian

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

- 1 Untuk mengetahui Pengaruh Bentuk lambung yang optimal untuk kapal Katamaran dengan variasi parameter Cb dan Cm dengan metode hitung Response Surface Methode
- 2 Lambung yang sudah dimodifikasi dihitung perubahan nilai *motion*

sickness incidence (MSI) yang optimal guna dibandingkan dengan model awal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Methode Response Surface

2.1.1 Response Surface Methode (RSM)

Metode permukaan respon (*response surface methodology*) merupakan sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk menganalisis permasalahan dimana beberapa variabel independen mempengaruhi variabel respon dan tujuan akhirnya adalah untuk mengoptimalkan respon (Montgomery, 2001). Ide dasar metode ini adalah memanfaatkan desain eksperimen berbantuan statistika untuk mencari nilai optimal dari suatu respon. Metode ini pertama kali diajukan sejak tahun 1951 dan sampai saat ini telah banyak dimanfaatkan baik dalam dunia penelitian maupun aplikasi industri. Misalnya, dengan menyusun suatu model matematika, peneliti dapat mengetahui nilai variabel-variabel independen yang menyebabkan nilai variabel respon menjadi optimal. Makalah ini membahas tentang metode permukaan respon. Pembahasan dimulai dengan penjabaran konsep, dilanjutkan dengan prosedur analisis dan pengujian software.

Response Surface Methodology (RSM) merupakan suatu metode gabungan antara teknik matematika dan teknik statistik, digunakan untuk membuat model dan menganalisa suatu respon y yang dipengaruhi oleh beberapa variabel bebas/faktor x guna mengoptimalkan respon tersebut. Hubungan antara respon y dan variabel bebas x adalah:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) + \varepsilon \quad (1)$$

dimana:

Y = variabel respon

X_i = variabel bebas/ faktor ($i = 1, 2, 3, \dots, k$)

ε = error

Langkah pertama dari RSM adalah menemukan hubungan antara respon y dan faktor x melalui persamaan polinomial orde pertama dan digunakan model regresi linear, atau yang lebih dikenal dengan *first-order model* (model orde I):

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i \quad (2)$$

Rancangan eksperimen orde I yang sesuai untuk tahap penyaring faktor adalah rancangan faktorial 2^k (*Two Level Factorial Design*).Selanjutnya untuk model orde II,

biasanya terdapat kelengkungan dan digunakan model polinomial orde kedua yang fungsinya kuadratik:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (3)$$

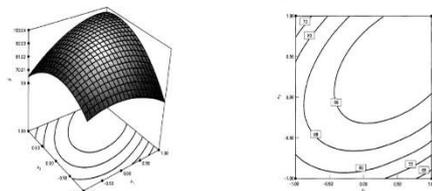
Rancangan eksperimen orde II yang digunakan adalah rancangan faktorial 3^k (*Three Level Factorial Design*), yang sesuai untuk masalah optimasi. Kemudian dari model orde II ditentukan titik stasioner, karakteristik permukaan respon dan model optimasinya.

2.1.2. Rancangan Percobaan yang Sesuai untuk Permukaan Respon

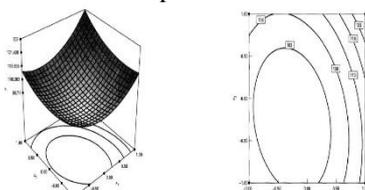
Pemilihan rancangan percobaan yang sesuai beserta analisisnya untuk permukaan respon adalah hal yang sangat penting. Berikut ada beberapa kriteria dalam pemilihan rancangan percobaan yang sesuai untuk metode permukaan respon:

1. Memungkinkan untuk mencari model yang memenuhi kelayakan model
2. Memungkinkan untuk membuat blok-blok dalam percobaan
3. Memungkinkan untuk membuat rancangan-rancangan yang mempunyai orde lebih tinggi
4. Memberikan pendugaan error dalam rancangan
5. Memberikan pendugaan koefisien model yang tepat
6. Memberikan pendugaan varians yang baik

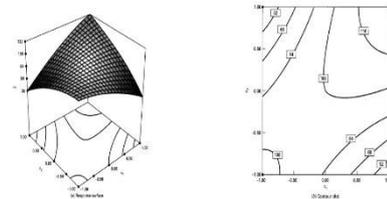
Kadang-kadang, kriteria diatas saling tidak mendukung, tetapi pemilihan rancangan harus tetap dilakukan sebaik mungkin.



Gambar 1. Ilustrasi permukaan respon maximum



Gambar 2. Ilustrasi permukaan respon minimum



Gambar 3. Ilustrasi permukaan respon pelana

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, 1978) [4]

2.3. Response Amplitude Operator (RAO)

Respon gerakan kapal terhadap

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

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]:

$$RAO = \frac{Z_0}{\zeta_0} \quad (\text{m/m}) \quad (4)$$

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 :

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

2.4. Root Mean Square (RMS)

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

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_{\zeta_r}(\omega) d\omega \quad (6)$$

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} m_2 &= \int_0^{\infty} \omega^2 S_{\zeta_r}(\omega) d\omega \\ m_4 &= \int_0^{\infty} \omega^4 S_{\zeta_r}(\omega) d\omega \end{aligned} \quad (9)$$

2.5 Spektrum Gelombang

Adapun spektrum gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bretschneider atau ITTC dengan 2 parameter sesuai pada Persamaan 4. Tinggi gelombang signifikan (H_s) yang digunakan adalah 1,00 m dengan Periode Rata-rata (T_{av}) 5,00 detik. Katagori perairan ini termasuk pada Slight Waters atau termasuk pada Sea State 3 (3)

Dimana :

Ω = frekwensi gelombang (rad/det)

$$\begin{aligned} A &= 172,75 H_s^2 \frac{H_s^2}{T_{ave}^4} \\ B &= \frac{691}{T_{ave}^4} \end{aligned} \quad (10)$$

Spektrum gelombang (S_w) yang dihasilkan dari Persamaan 4 sangat bergantung pada nilai frekwensi gelombang. Akibat pengaruh kecepatan kapal dan sudut datang

gelombang, maka frekwensi gelombang insiden (ω_w) akan berubah menjadi frekwensi gelombang papasan atau *encountering wave frequency* (ω_e). Gelombang papasan inilah yang digunakan untuk membuat spektrum gelombang papasan (S_e). Untuk menghitung frekwensi gelombang papasan dapat menggunakan Persamaan 5.

$$\omega_e = \omega \left(1 - \frac{\omega V}{g} \cos \mu \right) \quad (11)$$

dimana :

ω_e = frek. Gelombang papasan (rad/det)

ω_w = frek. Gelombang (rad/det)

V = kecepatan kapal (m/s)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

2.5. 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 (*surging, swaying, heaving*) dan tiga gerakan rotasi (*rolling, pitching, yawing*). Akan tetapi, gerakan yang mampu direspon oleh kapal hanya tiga gerakan, yaitu *heaving, pitching, dan rolling* [6].

2.6. 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 meneliti indikasi tipe lain seperti menguap, 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 dengan *motion sickness incidence*. Mc Cauley dan O'Hanlon 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* [7]. Indeks MSI bisa dihitung menggunakan persamaan 5 berikut ini :

$$MSI = 100 \left[0,5 \pm \operatorname{erf} \left(\frac{\pm \log_{10} \frac{av}{g} \pm \mu MSI}{0,4} \right) \right] \quad (12)$$

Dimana ;

MSI = indek MSI

erf = *error function*

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

μ_{MSI} = parameter yang dihitung dari persamaan 14 berikut ini;

$$\mu_{MSi} = -0,819 + 2,32 (\log_{10} \omega_e)^2 \quad (13)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Materi Penelitian

- Data Primer

Particular	Demihull
Lwl	19,963 (m)
B	2,22 (m)
H	2,50 (m)
T	1,11 (m)
Cb	0,394
Cm	0,653
WSA	53,386 m ²
Volume	19,443 m ³
Displacement	19,929 Ton
L/B	9,0
B/T	2,0
L/(Vol) ^{1/3}	7,42

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. *Displacement* (ton)
2. Sea State sesuai dengan tabel Bhattacharya, dalam penelitian ini menggunakan sea state 1 (Hs : 0,488 m, Tav: 2,3 s) ,sea state 2 (Hs: 1,006 Tav: 3,6s) dan sea state 4 (Hs : 2,012 , Tav: 4,3)

- ❖ Parameter peubah

1. Koefisien Block (Cb)
2. Koefisien Midship (Cm)

3.3. Kriteria *Seakeeping* dan MSI untuk Kapal Militer

Hasil perhitungan *seakeeping* harus dievaluasi dengan menyesuaikan standar kriteria *seakeeping* yang ada tergantung dari jenis kapal tersebut. Pada penelitian ini, standar

seakeeping yang digunakan adalah *Standart Nordforks1987* yang terdapat pada Tabel 2 [8].

Tabel 2. Kriteria *Standart Nordforks 1987*

Description	Merchant ships
RMS of vertical acceleration	0,275 g (L ≤ 100 m) 0,050 g (L ≤ 330 m)
RMS of vertical acceleration at Bridge	0,15 g
RMS of lateral acceleration of Bridge	0,12 g
RMS of Roll	6,0 deg
Probability of Slamming	0,03 (L ≤ 100 m) 0,01 (L ≤ 300 m)
Probability of Deck	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 hours
- 10% MSI setelah 2 hours
- 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*)

Tabel 3. Tingkat kenyamanan dan percepatan vertikal [9]

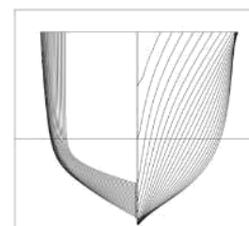
<i>Habitability Acceleration (RMS)</i>	
< 0,315 ms ⁻²	Not uncomfotable
0,315 – 0,63 ms ⁻²	A little uncomfotable
0,63 – 1,0 ms ⁻²	Fairly uncomfotable
1,0 – 1,6 ms ⁻²	Uncomfotable
1,6 – 2,5 ms ⁻²	Very Uncomfotable
> 2,5 ms ⁻²	Extremly Uncomfotable

4. PERHITUNGAN DAN ANALISA

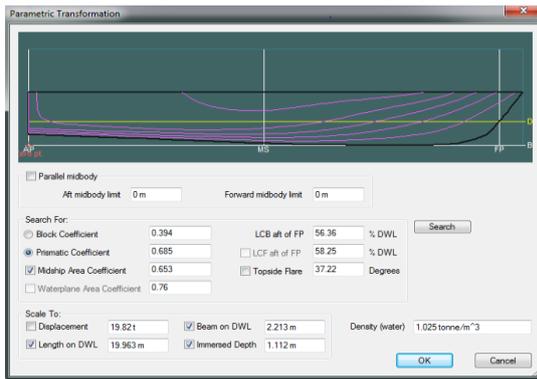
4.1. Pemodelan

4.1.1 Desain Model NPL hull series 4

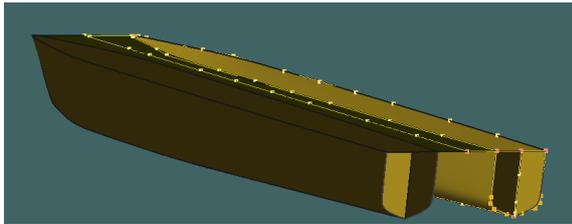
Dari data pada metodologi dibuat pemodelan badan kapal dengan bantuan *Software Maxsurf Modeler Advance* :



Gambar 4. Bentuk *Hull Form* Awal



Gambar 5. Parameter awal

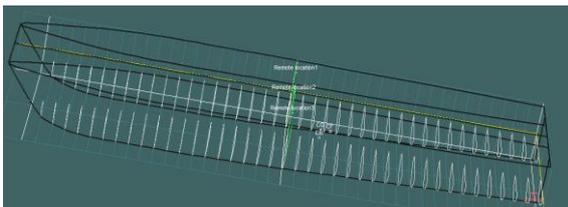


Gambar 6. Permodelan kapal pada Software Maxsurf Bentley 2.0

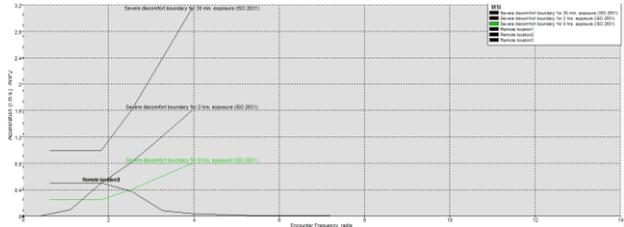
Untuk merubah parameter pengubah terlebih dahulu dirubah pada Software Maxsurf Modeller lalu ubah nilai C_b dan C_m .

4.2. Simulation Maxsurf Motion

Software yang digunakan adalah *Maxsurf motion advanced*. Proses simulasi numerik dimulai dari pembuatan model badan kapal dalam bentuk file *.Msd* yang berasal dari file *export* program *Maxsurf Modeller*. Kemudian tahap selanjutnya adalah pembuatan titik remote Location yang dipusatkan pada titik tengah kapal. Kemudian, tahap selanjutnya masukan nilai Kecepatan, tinggi gelombang, waktu periode dan sudut masuk gelombang.



Gambar 7. titik remote location dan model kapal

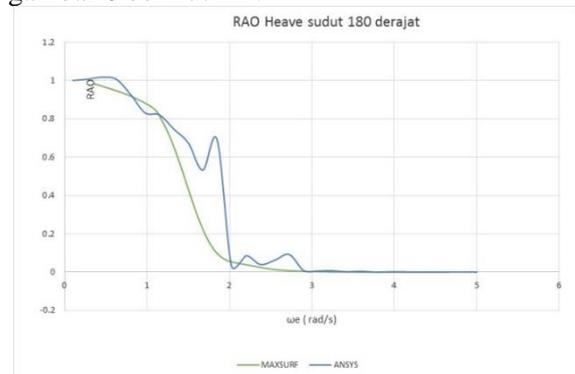


Gambar 8. hasil MSI kapal pada maxsurf Motion

4.3. Response Amplitude Operator (RAO)

RAO merupakan suatu transfer function yang digunakan untuk menentukan efek dari kondisi laut terhadap gerakan kapal. Penggunaan RAO pada fase desain suatu kapal memungkinkan untuk ditentukannya modifikasi yang dibutuhkan pada desain untuk memenuhi kriteria keselamatan, maupun untuk meningkatkan performance dari kapal.

Pada tugas akhir ini, digunakan komparasi antara software *Ansys Aqwa* dan *maxsurf motion*, untuk membandingkan hasil RAO dari NPL hull series 4 ini, sehingga didapatkan grafik perbandingan RAO pada gambar 6 berikut ini :



Gambar 9. Perbandingan hasil RAO heave pada wave heading 180 deg dan $V_s = 8,22$ Knot

Dari hasil *running* dari *Ansys Aqwa* dan *Maxsurf Motion*, terlihat *trend* yang sama geraknya, namun RAO hasil *running* dari *Ansys Aqwa* terlihat lebih tinggi dari hasil *running* *Maxsurf Motion*.

4.4 Penentuan Pencarian Model Optimal Pengurangan Motion Sickness Incidence dengan Menggunakan Response Surface Methode (RSM)

Metode perhitungan menggunakan RSM diawali dengan di buatnya pengkodean dari kedua variasi awal menggunakan variabel X^1 sebagai *Coeffisien Block*, X^2 sebagai *Coeffisien Midship* dan Y sebagai Hasil *Motion Sickness Incidence* seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. Pengkodean Variasi		
variasi	cb	cm

1	0.394	0.653
2	0.397	0.659
3	0.397	0.646
4	0.39	0.659
5	0.39	0.646

variasi	x1	x2
1	0	0
2	1	1
3	1	-1
4	-1	1
5	-1	-1

Pehitungan menggunakan RSM menggunakan 3 (tiga) tahap yaitu :

- a. Orde I
- b. *Steepest Decsent*
- c. Orde II

4.4.1 Orde I

Orde 1 merupakan tahap pemilihan variabel-variabel input (faktor-faktor) yang mempengaruhi Respon.

Tabel 5. Hasil eksperimen Orde 1

variasi	x1	x2	cb	cm	y
1	0	0	0.394	0.653	7.908
2	1	1	0.397	0.659	7.957
3	1	-1	0.397	0.646	7.872
4	-1	1	0.39	0.659	7.869
5	-1	-1	0.39	0.646	7.844

Dari perhitungan orde I di dapatkan persamaan $Y = 7,89 + 0,029 + 0,0275$, lalu hasil dari perhitungan orde I di masukan ke dalam persamaan untuk menentukan langkah awal pada tahap II atau *Steepest Decsent*

4.4.2 *Steepest Decsent*

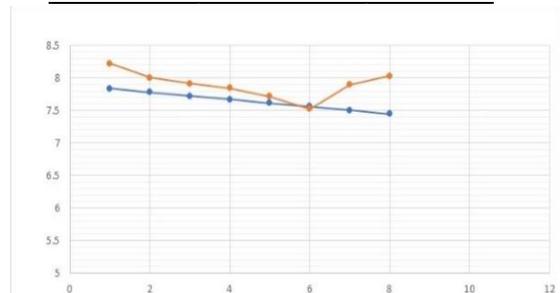
Steepest Decsent merupakan penurunan maksimal pada taksiran nilai respon (y). Tujuan *Steepest Decsent* untuk mencari daerah nilai yang baru dari variabel input yang diinginkan yaitu penurunan nilai Respon.

Tabel 6. Data Cb dan Cm *Steepest decsent*

variasi	x1	x2	cb	cm
1	-1	-0.94828	0.39	0.647
2	-2	-1.89655	0.386	0.639
3	-3	-2.84483	0.382	0.633
4	-4	-3.7931	0.378	0.627
5	-5	-4.74138	0.3743	0.621
6	-6	-5.68966	0.3703	0.62
7	-7	-6.63793	0.366	0.609
8	-8	-7.58621	0.362	0.698

Tabel 7. Perbandingan msi Perhitungan maxsurf dan formula

yMaxsurf	yFormula	eror
8.22	7.834922414	0.385078
8.001	7.779844828	0.221155
7.917	7.724767241	0.192233
7.846	7.669689655	0.17631
7.716	7.614612069	0.101388
7.52	7.559534483	-0.03953
7.896	7.504456897	0.391543
8.028	7.44937931	0.578621



Gambar 10. Grafik formula dan maxsurf

Dari tabel dan gambar di atas dapat di lihat hasil analisa nilai Error yaitu pada variasi ke 7 yaitu $X_1 = 0,37$ dan $X_2 = 0,62$ model ini di jadikan perhitungan awal pada tahap Orde II.

4.4.3 Orde II

Orde II merupakan tahap penentuan model awal baru ,tahap ini juga menentukan serta mencari nilai Variabel yang baru.

Tabel 8. Nilai Cb dan Cm Orde II

	cb	cm
-1	0.366	0.613
0	0.37	0.62
1	0.373	0.626
-1.414	0.364	0.611
1.414	0.375	0.628

Tabel 9. Hasil perhitungan Orde 2

variasi	maxsurf					y
	x1	x2	x1*x2	x1*x1	X2*x2	
1	0	0	0	0	0	7.696
2	-1	-1	1	1	1	7.233
3	-1	1	-1	1	1	7.528
4	1	-1	-1	1	1	7.371
5	1	1	1	1	1	7.516
6	-1.414	0	0	1.999396	0	7.174
7	1.414	0	0	1.999396	0	7.447
8	0	-1.414	0	0	1.999396	7.367
9	0	1.414	0	0	1.999396	7.724

Dari hasil perhitungan di tabel orde II di dapatkan persamaan $Y = 7,79602 - 0,07622X_1 + 0,03368X_2 + 0,007X_1.X_2 - 0,0256X_1^2 + 0,01218X_2^2$

Lalu untuk mencari nilai X_1 dan X_2 menggunakan rumus persamaan fungsi Eliminasi dari Persamaan diatas Yaitu:

$$\frac{dy}{dx1} = 0 \quad \frac{dy}{dx2} = 0$$

Sehingga terhitung nilai $X_1 = -1,74$ dan $X_2 = 1,239$

Yang di pergunakan untuk mendapatkan nilai Coefisien Block dan Coefisien Midship maka dihitung dengan rumus interpolasi, Sehingga Nilai Coefisien Block yaitu 0,373 dan Nilai Coefisien midship yaitu 0,619

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa model pada orde II dengan variasi nilai Cb 0,373 dan Nilai Cm 0,619 dapat mengurangi sekitar 4.13 % MSI total kapal

Tabel 10. Tabel Perbandingan Nilai Cb,Cm dan MSI

	Cb	Cm	MSI
model awal	0.394	0.653	7.908
model optimal	0.373	0.619	7.581
selisih	5.32%	5.20%	4.13%

4.5 Analisa Karakteristik Seakeeping dan Perbandingan RMS

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 11. Perbandingan Hasil Percepatan Pada *Beam Seas*

heading	standart	Hs : 0,408		Hs : 1,006		Hs : 2,012	
		nordforks	awal	optimal	awal	optimal	awal
90 deg							
heave	1.47	0.921	0.736	0.633	0.563	1.233	1.099
Roll	6	2.71	2.7	4.04	4.03	7.89	7.88
pitch	1.177	0.03825	0.03423	0.02794	0.02686	0.05428	0.05214

Perbandingan nilai RMS gerakan percepatan heave, Roll dan Pitch sudut 90 derajat pada sea state 1, 2 Dan 4 disajikan dalam Tabel 11 Nilai RMS gerakan percepatan heave, pitch dan roll model memeuhi kriteria Nortforks 1987 pada saat memasuki sea state 1 dan 2, Namun di Sea state 4 Gerakan heave, pitch dan roll sudah tidak memenuhi standart Nortforks.

Tabel 12. Hasil *Percepatan Pada Head Seas*

heading	standart	Hs : 0,408		Hs : 1,006		Hs : 2,012	
		nordforks	awal	optimal	awal	optimal	awal
180 deg							
heave	1.47	0.145	0.096	1.105	0.829	2.16	1.627
pitch	1.177	0.04008	0.02187	0.195	0.089	0.381	0.176

Tabel 13. Perbandingan selisih Hasil Percepatan *heave* Pada *Beam Seas*

RMS Model Kapal	Percepatan Heave (m/s ²)			
	180 deg	Hs : 0.488	Hs : 1.006	Hs : 2.012
<i>Standart Nordforks</i>	1.47	1.47	1.47	
Model Awal	0.145	1.105	1.627	
Model Optimal	0.096	0.829	0.176	
selisih	51%	33%	21%	

Perbandingan nilai RMS gerakan percepatan heave sudut 180 derajat pada sea state 1 dan 2 disajikan dalam Tabel 13 Nilai RMS gerakan percepatan heave model memenuhi kriteria Nortforks 1987, dimana lebih kecil dari 1.177 m/s², tetapi pada sea state 4 nilai gerak percepatan heave kapal dinyatakan tidak memenuhi kriteria Nortforks 1987, dimana lebih besar dari 1,177 m/s²

Tabel 14. Perbandingan Hasil Percepatan *Pitch* Pada *Head Seas*

RMS 180 deg Model Kapal	Percepatan Heave (m/s ²)		
	Hs : 0.488	Hs : 1.006	Hs : 2.012
<i>Standart Nordfork</i>	1.177	1.177	1.177
Model Awal	0.04008	0.195	0.381
Model Optimal	0.02187	0.089	0.176
selisih	83%	117%	129%

Dari Tabel diatas menunjukkan bahwa kapal dapat berlayar sampai *sea state* 2 (Hs: 1.006 m) karena hasil olah gerak kapal telah memenuhi standart yang ditentukan oleh *Nordforks1987*.

5. Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan dapat didapatkan kesimpulan bahwa :

1. Bentuk *demihull* yang paling optimal ketika nilai C_b yaitu 0,373, serta nilai C_m diperkecil menjadi 0,619 pada sudut 180 deg. Respon gerakan roll dan percepatan heave memberikan respon paling utama pada terjadinya *motion sickness*, dan respon percepatan pitch hanya sedikit pengaruhnya terhadap *motion sickness*.
2. Waktu kapal berlayar selama 30 menit sampai 120 menit, kapal dikatakan aman dengan tingkat ketidaknyamanan penumpang yang sedang pada *sea state* 2, pada *sea state* 4 kapal mengalami kondisi ketidaknyamanan serius hingga sangat serius sehingga dapat membahayakan penumpang kapal.

5.1 Saran

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

1. Dalam analisa di masing-masing *seastate* 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]. Muhammad Iqbal, Good Rindo. 2015. Optimasi Bentuk Demihull Kapal Katamaran Untuk Meningkatkan Kualitas Seakeeping. Semarang : Jurnal KAPAL, Vol. 12
- [2]. International Maritime Organization (IMO). 2002. *Stability kriteria for all types of ships*, International Maritime Organization. London

- [3]. Montgomery. 2001. *design and analysis of experiments*
- [4]. 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.
- [5]. [Wikipedia.org/wiki/Kapal_Ro-Ro](https://id.wikipedia.org/wiki/Kapal_Ro-Ro)
- [6]. Bhattacharya, R. 1978. *Dynamics of Marine Vehicles*. New York: John Wiley & Sons
- [7]. 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
- [8]. Setiawan, Bambang Teguh. 2015. Penentuan *Motion Sickness Incidence dan Motion Sickness Induced Interruption* Untuk Kenyamanan Saat Kapal Berlayar. Surabaya: Jurnal ITS
- [9]. The International Standard ISO 2631-1. 1997. in *Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole body vibration*