

## STUDI PENGARUH PERUBAHAN SARAT TERHADAP OLAH GERAK KAPAL DI ATAS GELOMBANG

**Rosmani dan Lukman Bochary**

*Dosen Program Studi Teknik Perkapalan*

*Jurusan Perkapalan - Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin*

*Jl. Poros Malino, Bontomarannu, Kabupaten Gowa*

*Email: rosmanimunandar@ymail.com*

### **Abstrak**

*Pada performa kapal, interaksi antara kapal dengan gelombang sangat dipengaruhi oleh bentuk kapal dan kondisi perairan, sehingga kapal yang dirancang perlu untuk dikaji dan diteliti performanya khususnya mengenai Seakeep. ing., khususnya kapal perintis 750 DWT sebagai objek penelitian. Pada proses disain kapal, aspek ship respon di gelombang sangat penting untuk diprediksi. Tujuan penelitian ini adalah menentukan karakter performa kapal di atas gelombang berdasarkan gerak heaving dan pitching. Metode yang digunakan dalam analisis adalah simulasi numerik dengan bantuan software Maxsurf, dimana hasil simulasi menunjukkan bahwa respon gerak kapal tiap perubahan sarat akan meningkat seiring dengan pertambahan panjang gelombang, dimana RAO heaving tertinggi berada pada sarat 3,5 meter dengan panjang gelombang 1.6L yaitu 1,626 untuk tinggi gelombang 1 meter dan 1,600 untuk tinggi gelombang 4 meter. RAO heaving mulai menurun pada panjang gelombang 1.7L sampai 2L. Sedangkan RAO pitching pada tinggi gelombang 1 m tendensi kurva RAO pitching tiap perubahan sarat menunjukkan pola yang hampir sama, dan RAO pitching tertinggi berada pada sarat 2,75 meter dipanjang gelombang 2L yaitu 1,137 pada tinggi gelombang 1 meter dan 4 meter. Nilai tertinggi Amplitudo Heaving pada sarat 3,5 m. yakni untuk tinggi gelombang 1 meter adalah 0.813 meter pada panjang gelombang 1.6L dan untuk tinggi gelombang 4 meter adalah 3,2 meter pada panjang gelombang 1.6L. Sedangkan untuk Amplitudo Pitching tertinggi pada sarat 2,75 m. dimana untuk tinggi gelombang 1 meter adalah 4.838<sup>0</sup> pada panjang gelombang 1.5L dan untuk tinggi gelombang 4 meter adalah 19,814<sup>0</sup> pada panjang gelombang 1.5L.*

### **Kata Kunci**

*Gelombang, RAO, heaving dan pitching.*

## **PENDAHULUAN**

Kejadian kecelakaan kapal pada saat melakukan pelayaran mendapat perhatian dari banyak kalangan, khususnya pada perancang kapal, pemilik kapal, dan juga pemerintah yang dalam hal ini mengeluarkan regulasi tentang pelayaran. Kapal antar pulau atau sebutan lain kapal Perintis yang banyak beroperasi antar pulau terpencil banyak menarik perhatian mengingat kenyamanan penumpang dan keamanan barang pada saat kapal melakukan pelayaran adalah suatu hal yang sangat penting. Meningkatnya armada kapal Perintis ditambah lagi dengan terbukanya jumlah rute baru, harus diikuti dengan kajian-kajian performa kapal berdasarkan karakteristik rute pelayaran.

## Studi Pengaruh Perubahan Sarat terhadap Olah Gerak Kapal Di Atas Gelombang

Pada proses disain kapal, aspek ship motion di gelombang sangat penting untuk diprediksi. Pada performa kapal, interaksi antara kapal dengan gelombang sangat dipengaruhi oleh bentuk lambung kapal dan kondisi alur pelayaran. Keadaan tersebut merupakan realita yang telah dialami oleh kapal dalam pelayaran di lautan, sehingga performa kapal yang jelek dapat mengakibatkan kapal dalam kondisi berbahaya. Beberapa penelitian terdahulu menyimpulkan bahwa beberapa kapal perintis kondisi pemuatannya tidak selalu dalam kondisi penuh tergantung dari jumlah muatan di atas kapal, sehingga load faktor selalu berubah-ubah, akibatnya akan mempengaruhi kondisi sarat kapal pada saat beroperasi. Berdasarkan penjelasan di atas, studi ini dilakukan untuk memprediksi dan menganalisis respon gerak kapal Perintis di atas gelombang khususnya gerak *heaving* dan *pitching*.

### Rumusan Masalah

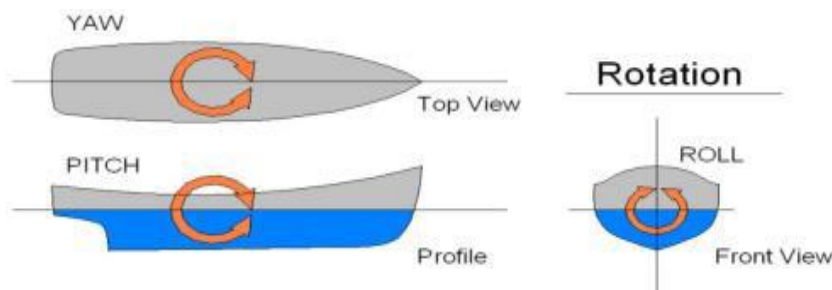
Bahwa kapal Perintis terkadang berlayar pada kondisi sarat muat yang berbeda-beda. Hal ini diduga mempengaruhi performa kapal. Oleh karena itu permasalahan penelitian ini yakni bagaimana karakter performa kapal Perintis di gelombang ketika kondisi sarat muat berbeda-beda. Performa kapal yang dimaksud adalah gerak *heaving* dan *pitching*.

### Tujuan Penelitian

Sesuai rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian ini adalah menentukan karakter performa kapal Perintis di atas gelombang berdasarkan gerak *heaving* dan *pitching*.

## TINJAUAN PUSTAKA

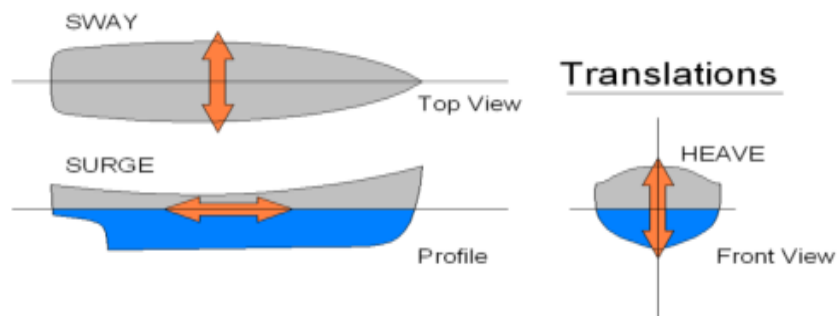
Pembangunan kapal perintis dilakukan guna menyediakan sarana transportasi untuk daerah terpencil, tertinggal, serta wilayah-wilayah yang berada di perbatasan. Performa kapal di lautan memerlukan pengalaman dan pengetahuan teori yang memadai. Seperti pada beberapa kecelakaan kapal yang terjadi, banyak di sebabkan oleh faktor Cuaca dan peralatan yang kurang memadai serta manusianya. Gerak sebuah kapal yang terapung di permukaan laut hampir selalu merupakan gerak isolasi.



**Gambar 1.**

Macam-macam gerak rotasi kapal

Beberapa jenis gerak kapal berdasarkan arahnya dapat dilihat pada gambar 1 dan gambar 2. Menunjukkan gerak kapal dalam 6 derajat kebebasan, dimana 3 diantaranya adalah linear (translatoris) dan 3 lagi berupa gerak rotasi. Keenam gerak tersebut berpedoman pada 3 sumbu utama.



**Gambar 2.**  
Macam-macam gerak translasi kapal

Kemampuan olah gerak kapal akan dipengaruhi oleh faktor dari dalam dan faktor dari luar. Terlebih dulu di bab ini akan di uraikan tentang Faktor Luar, yang berkaitan dengan keadaan laut dan perairan dimana kapal berada, kemudian faktor dari faktor tetap dan tidak tetap.

### Dinamika Gerakan Kapal Terhadap Gelombang *Head Seas*

#### 1. Gerakan *Heaving*

*Heaving* adalah gerakan naik turun suatu bangunan terapung (termasuk kapal) secara vertikal jika berada di atas perairan yang bergelombang (Bhattacharyya, 1978). Gerakan *heaving* suatu bangunan terapung merupakan osilasi yang memiliki kekuatan balik ketika bangunan tersebut mengalami gangguan dari posisi keseimbangannya.

Djatkiko dan Murdijanto (1993) dalam Novita Y, (1999) mengatakan bahwa frekuensi dan periode gerakan osilasi secara transversal yang terjadi sebagai akibat adanya pengaruh dari factor internal yang disebut dengan frekuensi dan periode natural dari gerakan *heaving*. Besarnya frekuensi natural ( $\omega_{nz}$ ) dan periode natural ( $T_{nz}$ ) pada gerakan *heaving* dapat diketahui dari persamaan :

$$\omega_{nz} = \sqrt{\{(p. g. Aw) / (p. v) + az\}} \quad (1)$$

$$T_{nz} = 2\pi \sqrt{\{(p. \nabla) + az / (p. g. Aw)\}} \quad (2)$$

#### 2. Gerakan *Pitching*

Seperti pada penjelasan sebelumnya bahwa *pitching* merupakan gerakan yang terjadi dimana kapal mengalami perubahan trim baik pada bagian depan maupun pada bagian belakang yang disebabkan oleh gaya yang berasal dari bagian depan kapal. Gerakan yang terjadi adalah gerakan angular seperti pada *rolling*. *Damping* yang terjadi pada gerakan *pitching* akan mengalami kenaikan apabila:

- a. Bertambahnya ukuran *beam*
- b. Menurunnya *draft*
- c. Bertambahnya koefisien prismatic vertical (terjadinya pertambahan nilai bentuk-V).

## Studi Pengaruh Perubahan Sarat terhadap Olah Gerak Kapal Di Atas Gelombang

---

Seperti halnya pada *heaving*, ada empat momen yang terjadi pada gerakan *pitching* adalah sebagai berikut di bawah ini :

$$A_{yy}\ddot{\Theta} + B\dot{\Theta} + C\Theta = M_o \cos \omega_e t \quad (3)$$

Kenaikan dari periode *pitching* seiring dengan kenaikan radius girasi secara longitudinal ( $k_{yy}$ ). Nilai referensi yang digunakan untuk  $k_{yy}$  dari kapal-kapal konvensional hampir konstan, kira-kira 0.24L sampai dengan 0.26L, dimana L adalah panjang kapal. Bagian yang lebar pada *bow* dan pada bagian *stern* akan berpengaruh terhadap damping pada gerakan *pitching* (Bhattacharyya).

### Momen Gaya yang Ditimbulkan oleh Gelombang Reguler

Dalam pembahasan tentang gaya dan momen yang ditimbulkan oleh gelombang kita harus membuat beberapa penyederhanaan (Idealisasi). Karena tanpa adanya penyederhanaan problem momen dan gaya yang timbul pada kapal yang berada di gelombang sangat rumit. Penyederhanaan ini diperlukan terutama untuk membantu memahami gaya-gaya dan momen yang timbul pada gelombang. Adapun idealisasi yang diadakan dalam pembahasan ini adalah:

- a. Gelombang regular dan harmonis
- b. Hanya tekanan hidrostatis yang diperhitungkan
- c. Keberadaan kapal di gelombang tidak akan mempengaruhi gelombang
- d. Profil gelombang pada bidang tengah- bujur kapal berlaku untuk seluruh lebar kapal
- e. Kapal mempunyai dinding/sisi parallel
- f. Badan kapal simetris terhadap bidang-tengah-lintang.

Dengan idealisasi seperti tersebut di atas maka akan di bahas perubahan gaya apung dan momen trim yang ditimbulkan oleh gelombang pada kapal.

### Perubahan Gaya Apung

Akibat terjadinya deformasi permukaan air maka akan timbul perubahan pemindahan air (displasmen) kapal, yang menyebabkan perubahan gaya vertical, dimana perubahan ini bisa positif (arah vertical menjauhi pusat bumi) atau sebaliknya negatif. Untuk menghitung besarnya perubahan gaya apung tersebut bisa dilakukan dengan persamaan berikut:

$$F_z = 2 \rho g \int C_y s dx s \quad (4)$$

Dimana

$$\begin{aligned} C_a &= C_a \sin(x_s \cos \mu - \gamma s \sin \mu) - \omega_e t \\ &= C_a \sin(k x_s \cos \mu - \omega_e t) \end{aligned}$$

Seasuai dengan persyaratan atau idealisasi yang telah ditetapkan bahwa profil gelombang pada bidang-tengah-bujur kapal berlaku untuk seluruh lebar kapal, maka dalam menurunkan

persamaan pertama diatas kita dapat mengabaikan variable yang tergantung pada arah atau sumbu y (Baso, Suandar, 2013)

### **Respon Amplitude Operator (RAO)**

Untuk mengetahui kemampuan olah gerak (Maneuvering Ability) maka harus dipahami terlebih dahulu tentang faktor apa saja yang mempengaruhinya. Pada *Maneuvering Trials* Suatu kapal, dibuat data-data tentang karakter olah geraknya pada macam-macam situasi pemuatannya. Misalnya pada saat kapal kosong, penuh atau sebagian terisi muatan antara lain data tentang *Turning Circle, Zigzag Manoeuvoring, Crash Stop dll.* Respon Amplitude Operator (RAO) Metode spektra merupakan cara untuk mengetahui suatu respon struktur akibat beban gelombang reguler dalam tiap-tiap frekuensi. RAO atau sering disebut sebagai Transfer Function adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur offshore. RAO dapat juga didefinisikan sebagai hubungan antara amplitudo respon terhadap amplitudo gelombang. Dapat dinyatakan dengan bentuk matematis yaitu ( $\zeta_{respon} / \zeta_{gelombang}$ ). Amplitudo respon bisa berupa gerakan, tegangan, maupun getaran. RAO juga disebut sebagai Transfer Function karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur. Bentuk umum dari persamaan RAO dalam fungsi frekuensi adalah sebagai berikut :

$$Response(\omega) = (RAO) Z_a(\omega) \quad (5)$$

Dengan:

$$Z_a = \text{amplitude gelombang (m)}$$

Spektrum respons didefinisikan sebagai respons kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Spektrum respons merupakan perkalian antara spektrum gelombang dengan RAO kuadrat, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_r = [RAO\{\omega\}]^2 S\{\omega\} \quad (6)$$

Dengan:

$$S_r = \text{Spektrum respons (m}^2\text{-sec)}$$

Amplitudo *heaving* dan amplitudo *pitching* dapat diperoleh dengan menggunakan rumus RAO sebagai berikut di bawah ini:

a) Amplitudo Heaving

$$RAO\ Heaving = \frac{H_z}{H_w} \quad (7)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} H_z &= \text{Amplitudo heaving (m),} \\ H_w &= \text{Amplitudo gelombang (m)} \end{aligned}$$

## Studi Pengaruh Perubahan Sarat terhadap Olah Gerak Kapal Di Atas Gelombang

---

### b) Amplitudo Pitching

$$RAO \text{ Pitching} = \frac{\theta\alpha}{Hw.k} \quad (8)$$

Dimana :

$\theta\alpha$  = Amplitudo pitching (derajat atau radian)

$Hw$  = Amplitudo gelombang (m)

$k = 2\pi/Lw$

$Lw$  = panjang gelombang (m)

### Data Kapal

Spesifikasi dari kapal yang menjadi objek penelitian ini merupakan kapal Perintis 750 DWT. Kapal ini milik Direktorat Jenderal Perhubungan Laut yang dibangun di PT. Daya Radar Utama di Jakarta.

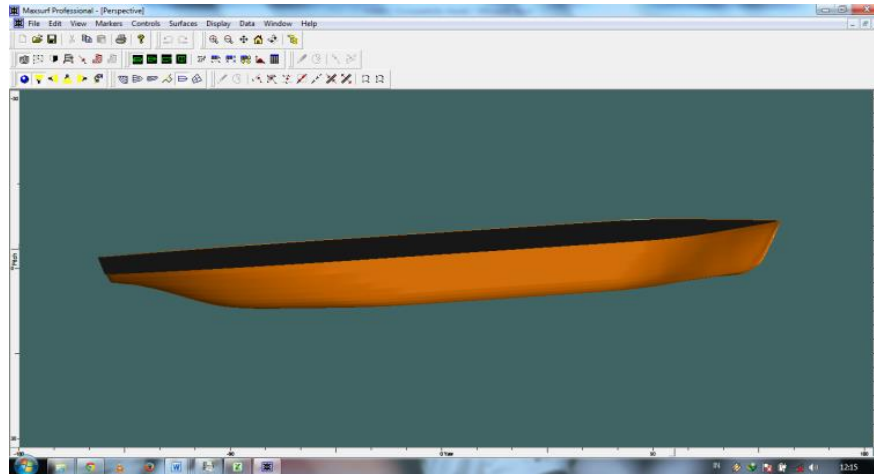
<i>Length Over All (LOA)</i>	: 58,5 m
<i>Length Between Perpendicular (LBP)</i>	: 55,2 m
<i>Breadht (B)</i>	: 12 m
<i>Depth (H)</i>	: 4,5 m
<i>Draught (T)</i>	: 2,75 m
<i>Service Speed (V)</i>	: 12,00 knot

Dari data kapal penelitian yang diketahui, kapal dibuat model desainnya pada program *Maxsurf*, hal ini dilakukan sebagai langkah awal untuk memprediksi gerak *heaving* dan *pitching* dari kapal penelitian. Karena untuk menjalankan program *seakeeper* dalam memprediksi gerak *heaving* dan *pitching*, diperlukan model desain kapal yang dibuat pada program *maxsurf*. Contoh desain yang telah dibuat pada program *Maxsurf*, terlihat pada gambar 3.

### Kondisi Gelombang

Pada saat simulasi gerak kapal Feri, kondisi gelombang yang akan digunakan pada proses simulasi yaitu terdiri dari:

- a. Tinggi gelombang 1 meter dan 4 meter
- b. Panjang gelombang mulai dari 0.5L sampai dengan 2.0L. dimana L adalah panjang kapal (LWL)
- c. Draft :  
 $T_0 = 1,75$  m,  $T_1 = 2,0$  m,  $T_2 = 2,5$  m,  
 $T_3 = 2,75$  m,  $T_4 = 3,0$  m,  $T_5 = 3,5$  m.

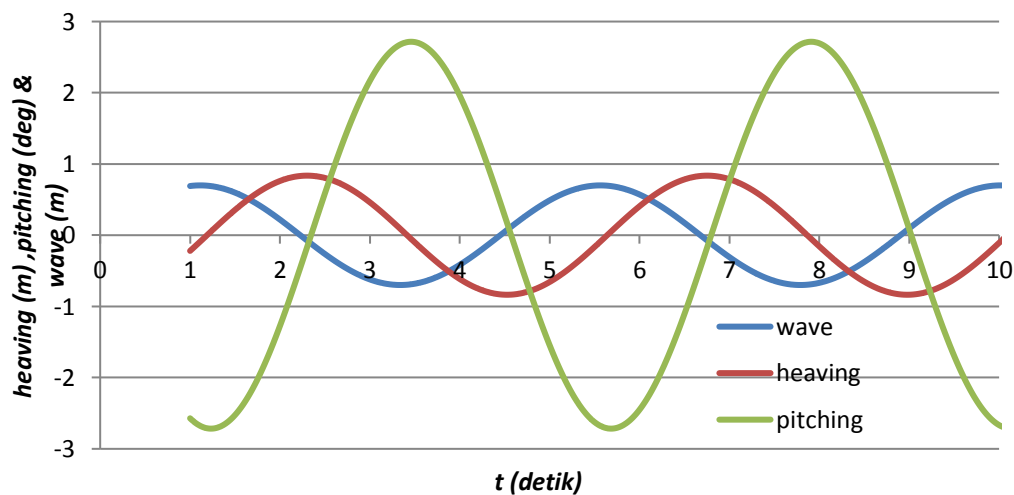


**Gambar 3.**  
Model kapal Perintis 750 DWT.  
(Sumber: Data olahan 2014)

## ANALISIS DAN BAHASAN

### Time History

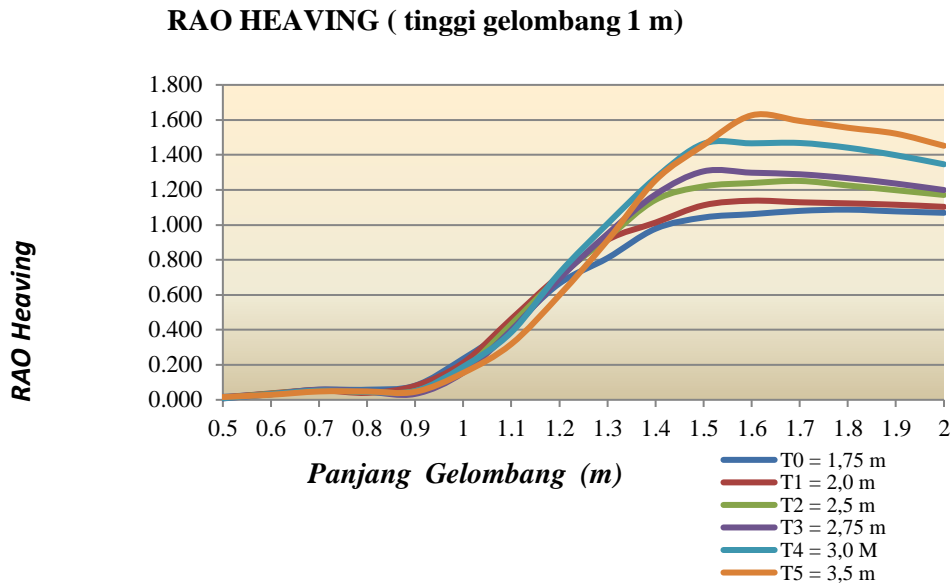
Dari hasil animasi didapatkan time history respon gerak *heaving*, *pitching* dan *wave* untuk setiap perubahan sarat dan salah satu contoh pada  $T_5 = 3,5$  m seperti terlihat pada gambar 4 menunjukkan hubungan antara respon *Heaving* dan *Pitching* kapal terhadap waktu, dimana terjadi perbedaan respon antara heaving dan pitching pada saat di gelombang yakni pada saat terjadi gerakan *pitching* kapal berada di puncak gelombang. Sedangkan pada saat terjadi gerakan *heaving* kapal sudah berada di lembah gelombang. Posisi *heaving* bernilai negatif atau berada di bawah 1 meter, sedangkan untuk *pitching* bernilai positif pada  $t = 3,5$  atau berada diatas gelombang. Perbedaan fase antara puncak heaving dan pitching adalah sekitar 1 detik.



**Gambar 4.**  
Time History Respon Gerak Heaving, Pitching dan Wave pada  $T_0 = 3,5$  m.

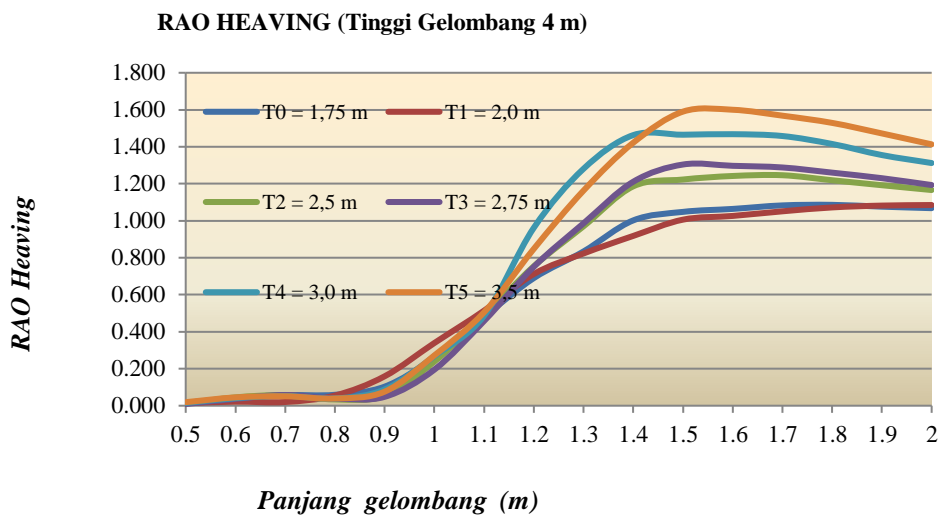
## Studi Pengaruh Perubahan Sarat terhadap Olah Gerak Kapal Di Atas Gelombang

### RAO *Heaving* dan *Pitching*



**Gambar 5a.**

Kurva Hubungan antara RAO Gerak *Heaving* (tinggi gelombang 1m) dengan panjang gelombang tiap perubahan sarat.



**Gambar 5b.**

Kurva Hubungan antara RAO Gerak *Heaving* (tinggi gelombang 4 m) dengan panjang gelombang tiap perubahan sarat.

Analisa olah gerak khususnya *heaving* dan *pitching* pada kapal perintis tipe 750 DWT di atas gelombang dengan tiap kondisi pemuatan atau sarat yang berubah-ubah dapat dilihat pada table 1 dimana memperlihatkan perbandingan RAO *Heaving* antara  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$  pada tinggi gelombang 1 m dan 4 m. pada setiap kenaikan panjang gelombang 0.5L



sampai 2L. Kondisi kritis kapal pada tinggi gelombang 1m yaitu pada kondisi T<sub>5</sub> pada panjang gelombang 1.6L seperti terlihat pada gambar 5a dan 5b, dimana menunjukkan perbandingan RAO *Heaving* pada masing-masing perubahan sarat pada tinggi gelombang 4 m dan setiap kenaikan panjang gelombang 0.5L sampai dengan 2L. Tendensi kurva RAO *Heaving* tiap-tiap perubahan sarat menunjukkan bahwa RAO *Heaving* mulai dari T<sub>0</sub> hingga T<sub>5</sub> semakin naik seiring kenaikan panjang gelombang, dan RAO *Heaving* tertinggi berada pada T<sub>5</sub> yaitu pada 1.6L yakni 1,600 dan mulai menurun di panjang gelombang 1,7L sampai 2L. kondisi kritis kapal pada tinggi gelombang 1m yakni pada kondisi T<sub>5</sub> dan pada panjang gelombang 1.6L.

**Tabel 1.**

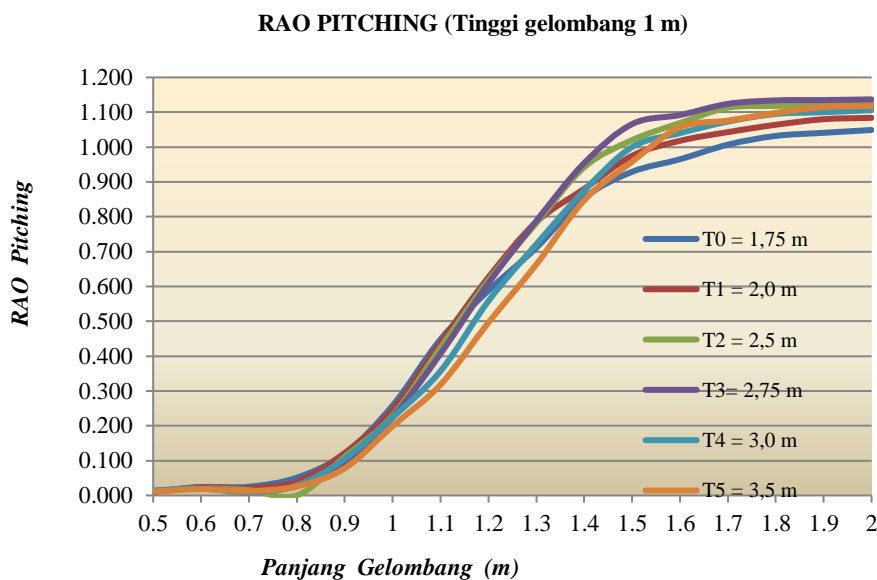
Nilai RAO *heaving* dan *pitching* setiap perubahan sarat.

No	Sarat (m)	Panjang Gelombang	Tinggi Gelombang 1 m		Tinggi Gelombang 4 m		
			Heaving (RAO)	Pitching (RAO)	Heaving (RAO)	Pitching (RAO)	
1	T <sub>0</sub>	1,8 L	1,087	1,49	1,086	1,050	
	1,75	2,0 L					
2	T <sub>1</sub>	1,6 L	1,138	1,084	1,142	1,085	
		2,0					1,5 L
		2,0 L					
3	T <sub>2</sub>	1,7 L	1,251	1,127	1,246	1,128	
		2,5					2,0 L
4	T <sub>3</sub>	1,5 L	1,36	1,137	1,304	1,137	
		2,75					2,0 L
5	T <sub>4</sub>	1,7 L	1,468	1,106	1,468	1,110	
		3,0					1,6 L
		2,0 L					
6	T <sub>5</sub>	1,6 L	1,626	1,118	1,6000	1,120	
		3,5					2,0 L

Pada gambar 6a. memperlihatkan perbandingan RAO *Pitching* antara T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> pada setiap kenaikan panjang gelombang 0.5L sampai dengan 2L di tinggi gelombang 1 m. Tendensi kurva RAO *Pitching* tiap-tiap kondisi menunjukkan bahwa RAO *Pitching* semakin naik seiring kenaikan panjang gelombang, dan RAO *Pitching* tertinggi berada pada kondisi T<sub>3</sub> di panjang gelombang 2L yaitu 1,137 pada tinggi gelombang 1 m. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi kritis gerak *Pitching* kapal terjadi pada kondisi T<sub>3</sub> dan pada panjang gelombang 2L.

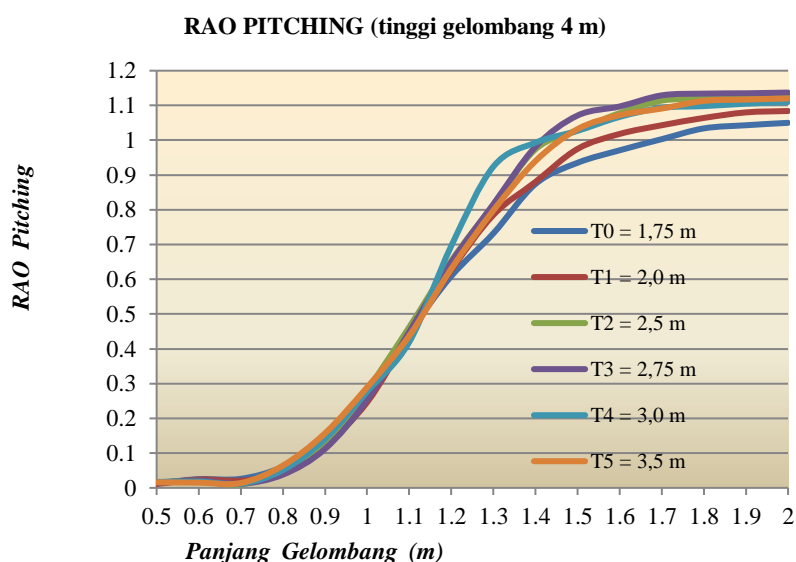
Pada gambar 6b. memperlihatkan perbandingan RAO *Pitching* antara T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> pada setiap kenaikan panjang gelombang 0.5L sampai dengan 2L di tinggi gelombang 4 m. Tendensi kurva RAO *Pitching* tiap-tiap kondisi menunjukkan bahwa RAO *Pitching* semakin naik seiring kenaikan panjang gelombang, dan RAO *Pitching* tertinggi berada pada kondisi T<sub>3</sub> di panjang gelombang 2L yaitu 1,137 pada tinggi gelombang 4 m. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi kritis gerak *Pitching* kapal terjadi pada kondisi T<sub>3</sub> dan pada panjang gelombang 2L.

## Studi Pengaruh Perubahan Sarat terhadap Olah Gerak Kapal Di Atas Gelombang



**Gambar 6a.**

Kurva Hubungan antara RAO Gerak *Pitching* (tinggi gelombang 1m) dengan panjang gelombang tiap perubahan sarat.



**Gambar 6b.**

Kurva Hubungan antara RAO Gerak *Pitching* (tinggi gelombang 1m dan 4 m) dengan panjang gelombang tiap perubahan sarat.

### Amplitudo *Heaving* dan *Pitching*

Amplitudo *Heaving* dan *Pitching* tiap perubahan sarat berdasarkan panjang gelombang dan periode gelombang dapat dilihat pada table 2 dan untuk kurva hubungan antara amplitudo *Heaving* dengan panjang gelombang dan gambar 7a dan 7b untuk kurva hubungan antara amplitudo *Pitching* dengan panjang gelombang.

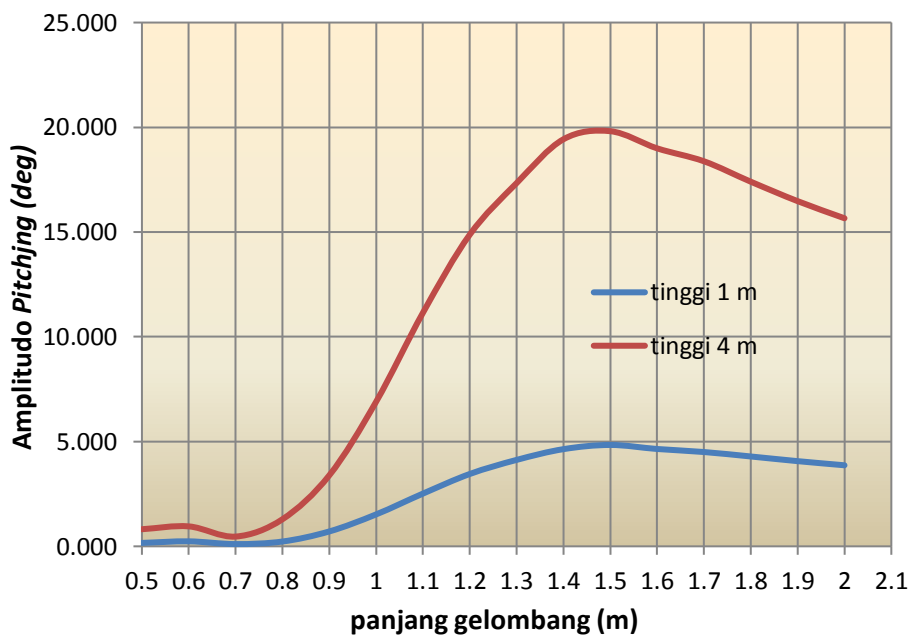
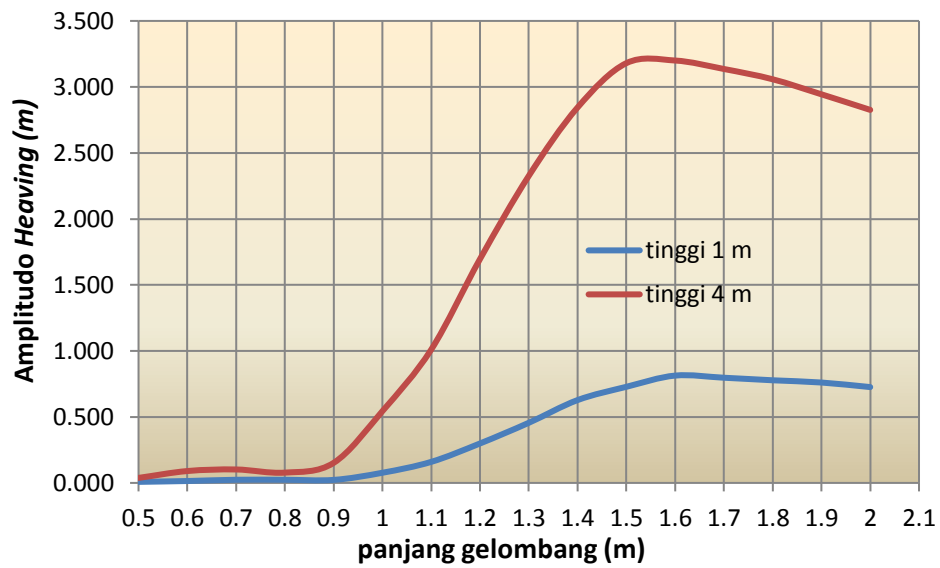
**Tabel 2.**

Amplitudo *heaving* dan *pitching* pada  $T=3,5$  m berdasarkan panjang dan periode gelombang 0.5 - 2.0L dan tinggi gelombang 1 dan 4 meter.

No.	Panjang Gelombang	LW (m)	Tinggi Gelombang 1 m			Tinggi Gelombang 4 m		
			Heaving (m)	Pitching		Heaving (m)	Pitching	
				Radian	Degree		Radian	Degree
1	0.5L	27,53	0,008	0,00251	0,144	0,038	0,01460	0,837
2	0.6L	33,03	0,015	0,00342	0,196	0,09	0,01141	0,654
3	0.7L	38,54	0,024	0,00212	0,121	0,102	0,00912	0,523
4	0.8L	44,05	0,024	0,00371	0,213	0,078	0,03650	2,093
5	0.9L	49,55	0,023	0,00989	0,567	0,152	0,07959	4,567
6	1.0L	55,06	0,077	0,02270	1,301	0,544	0,13186	7,581
7	1.1L	60,56	0,160	0,03297	1,891	1,01	0,18125	10,448
8	1.2L	66,07	0,299	0,04715	2,704	1,696	0,23953	13,866
9	1.3L	71,58	0,456	0,05817	3,337	2,326	0,28006	16,272
10	1.4L	77,08	0,628	0,06901	3,959	2,844	0,30634	17,848
11	1.5L	82,59	0,728	0,07285	4,180	3,18	0,31390	18,304
12	1.6L	88,09	0,813	0,07535	4,324	3,2	0,30568	17,808
13	1.7L	93,60	0,797	0,07219	4,142	3,136	0,29280	17,034
14	1.8L	99,10	0,778	0,06958	3,992	3,058	0,28211	16,395
15	1.9L	104,61	0,761	0,06694	3,840	2,944	0,26822	15,567
16	2.0L	110,12	0,726	0,06376	3,658	2,826	0,25550	14,811

Gambar 7a dapat disimpulkan bahwa nilai *heaving* kapal, untuk tinggi gelombang 1 meter meningkat mulai dari panjang gelombang 0.5L sampai dengan 1.6L dan menurun pada panjang gelombang 1.7L dan seterusnya serta puncak amplitudo *Heaving* kapal untuk ketinggian gelombang 1 meter yaitu pada panjang gelombang 1.6L dengan nilai 0.813 meter. Sedangkan untuk ketinggian gelombang 4 meter besarnya nilai amplitudo *Heaving* kapal meningkat mulai dari panjang gelombang 0.5L sampai dengan 1.6L dan menurun pada panjang gelombang 1.7L dan seterusnya serta puncak amplitudo *Heaving* kapal untuk ketinggian gelombang 4 meter yaitu pada panjang gelombang 1.6L dengan nilai 3.2 meter. Adapun kurva hubungan Amplitudo *pitching* dengan panjang gelombang dapat dilihat pada gambar 7b dimana besarnya nilai amplitudo *Pitching* kapal pada sarat 2,75 untuk tinggi gelombang 1 meter meningkat mulai dari panjang gelombang 0.5L sampai dengan 1.6L dan menurun pada panjang gelombang 1.7L dan seterusnya serta puncak amplitudo *Pitching* kapal untuk ketinggian gelombang 1 meter yaitu pada panjang gelombang 1.6L dengan nilai 4,324 derajat. Sedangkan untuk ketinggian gelombang 4 meter besarnya nilai amplitudo *pitching* kapal meningkat mulai dari panjang gelombang 0.5L sampai dengan 1.5L dan menurun pada panjang gelombang 1.6L dan seterusnya serta puncak amplitudo *Pitching* kapal untuk ketinggian gelombang 4 meter yaitu pada panjang gelombang 1.5L dengan nilai 18,304 derajat.

## Studi Pengaruh Perubahan Sarat terhadap Olah Gerak Kapal Di Atas Gelombang



**Gambar 7a dan 7b.**

Kurva amplitudo heaving dan Pitching kapal dengan tinggi gelombang 1 dan 4 meter pada sarat 3,5 m.

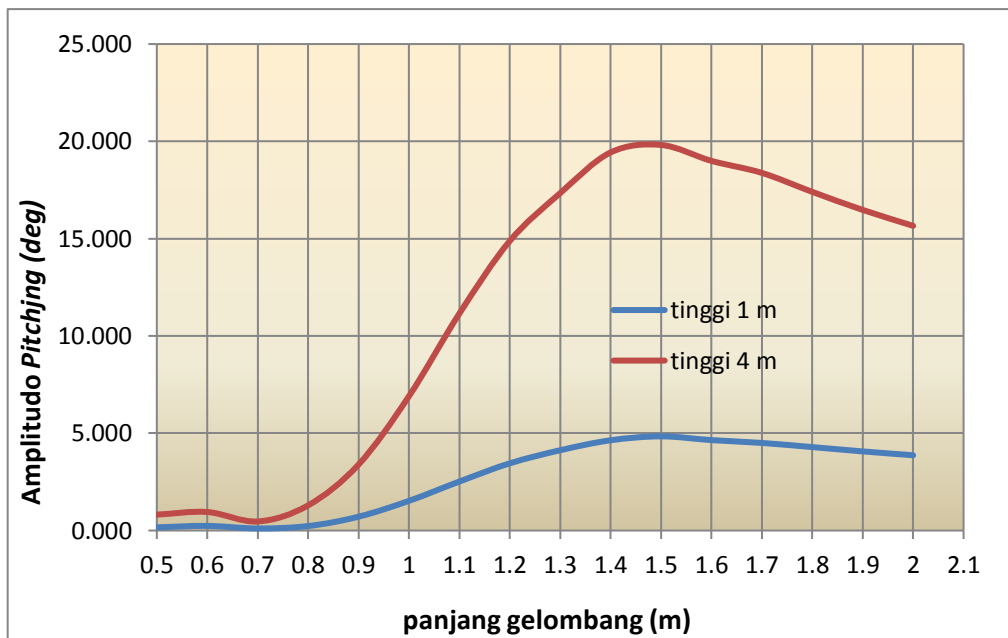
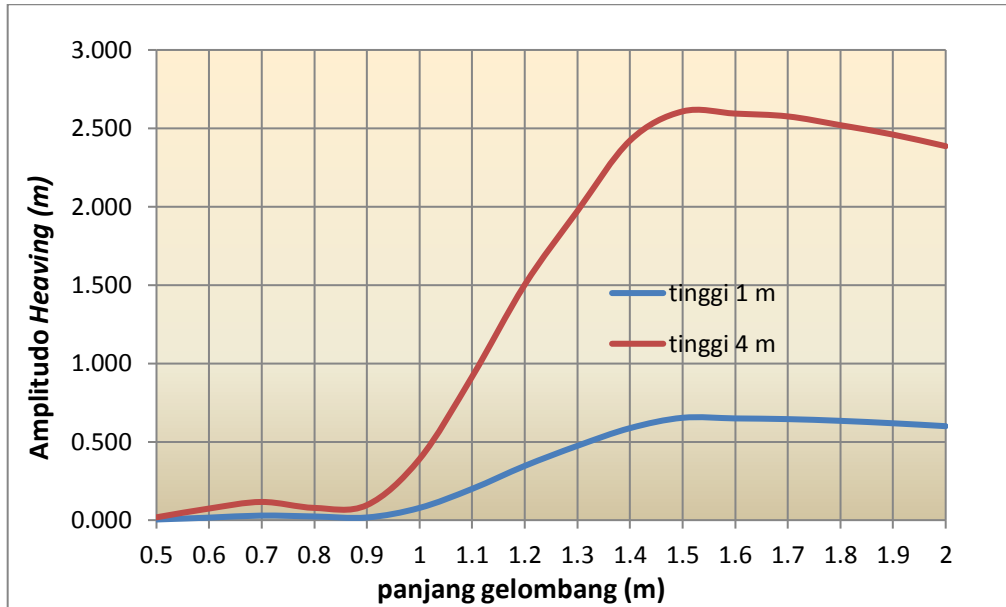
**Tabel 3.**

Hasil amplitudo *heaving* dan *pitching* pada  $T_3 = 2,75$  m berdasarkan panjang dan periode gelombang 0.5 - 2.0L dan tinggi gelombang 1 dan 4 meter.

No.	Panjang Gelombang	LW (m)	Tinggi Gelombang 1 m			Tinggi Gelombang 4 m		
			Heaving (m)	Pitching		Heaving (m)	Pitching	
				Radian	Degree		Radian	Degree
1	0.5L	26,47	0,004	0,00285	0,163	0,018	0,01424	0,816
2	0.6L	31,76	0,016	0,00415	0,238	0,074	0,01661	0,952
3	0.7L	37,06	0,029	0,00186	0,107	0,116	0,00813	0,466
4	0.8L	42,35	0,024	0,00400	0,230	0,078	0,02254	1,292
5	0.9L	47,65	0,017	0,01239	0,710	0,096	0,05905	3,387
6	1.0L	52,94	0,078	0,02657	1,523	0,39	0,12005	6,899
7	1.1L	58,23	0,200	0,04389	2,517	0,916	0,19325	11,148
8	1.2L	63,53	0,346	0,06020	3,453	1,502	0,25663	14,878
9	1.3L	68,82	0,474	0,07191	4,126	1,972	0,29785	17,337
10	1.4L	74,11	0,587	0,08084	4,639	2,422	0,33249	19,430
11	1.5L	79,41	0,653	0,08430	4,838	2,608	0,33880	19,814
12	1.6L	84,70	0,649	0,08096	4,646	2,594	0,32533	18,995
13	1.7L	90,00	0,645	0,07843	4,501	2,576	0,31513	18,378
14	1.8L	95,29	0,634	0,07474	4,288	2,52	0,29894	17,403
15	1.9L	100,58	0,618	0,07086	4,066	2,46	0,28346	16,475
16	2.0L	105,88	0,600	0,06744	3,869	2,386	0,26976	15,658

Pada table 3 menunjukkan bahwa besarnya nilai heaving kapal, untuk tinggi gelombang 1 meter meningkat mulai dari panjang gelombang 0.5L sampai dengan 1.5L dan menurun pada panjang gelombang 1.6L dan seterusnya serta puncak amplitudo *Heaving* kapal untuk ketinggian gelombang 1 meter yaitu pada panjang gelombang 1.5L dengan nilai 0.653 meter. Sedangkan untuk ketinggian gelombang 4 meter besarnya nilai amplitudo *Heaving* kapal meningkat mulai dari panjang gelombang 0.5L sampai dengan 1.5L dan menurun pada panjang gelombang 1.6L dan seterusnya serta puncak amplitudo *Heaving* kapal untuk ketinggian gelombang 4 meter yaitu pada panjang gelombang 1.5L dengan nilai 2.608 meter. Besarnya nilai amplitudo *Pitching* kapal, untuk tinggi gelombang 1 meter besarnya nilai amplitudo *Pitching* kapal meningkat mulai dari panjang gelombang 0.5L sampai dengan 1.5L dan menurun pada panjang gelombang 1.6L dan seterusnya serta puncak amplitudo *Pitching* kapal untuk ketinggian gelombang 1 meter yaitu pada panjang gelombang 1.5L dengan nilai 4,838 derajat. Sedangkan untuk ketinggian gelombang 4 meter besarnya nilai amplitudo *Pitching* kapal meningkat mulai dari panjang gelombang 0.5L sampai dengan 1.5L dan menurun pada panjang gelombang 1.6L dan seterusnya serta puncak amplitudo *Pitching* kapal untuk ketinggian gelombang 4 meter yaitu pada panjang gelombang 1.5L dengan nilai 19,814 derajat. Terlihat pada gambar 8.

## Studi Pengaruh Perubahan Sarat terhadap Olah Gerak Kapal Di Atas Gelombang



**Gambar 8a dan 8b.**

Kurva amplitudo heaving dan Pitching kapal dengan tinggi gelombang 1 dan 4 meter pada sarat 2,75 m.

## SIMPULAN

RAO heaving tertinggi berada pada sarat 3,5 meter dengan panjang gelombang 1.6L yaitu 1,626 untuk tinggi gelombang 1 meter dan 1,600 untuk tinggi gelombang 4 meter. RAO heaving mulai menurun pada panjang gelombang 1.7L sampai 2L. RAO pitching pada tinggi gelombang 1 m tendensi kurva RAO pitching tiap perubahan sarat menunjukkan pola yang hampir sama, dan RAO pitching tertinggi berada pada sarat 2,75 meter dipanjang gelombang 2L yaitu 1,137 pada tinggi gelombang 1 meter dan 4 meter. Respon gerak kapal tiap perubahan sarat akan meningkat seiringan dengan pertambahan panjang gelombang, Nilai tertinggi Amplitudo *Heaving* pada sarat 3,5 m. yakni untuk tinggi gelombang 1 meter adalah 0.813 meter pada panjang gelombang 1.6L dan untuk tinggi gelombang 4 meter adalah 3,2 meter pada panjang gelombang 1.6L. Sedangkan untuk Amplitudo *Pitching* tertinggi pada sarat 2,75 m. dimana untuk tinggi gelombang 1 meter adalah  $4.838^0$  pada panjang gelombang 1.5L dan untuk tinggi gelombang 4 meter adalah  $19,814^0$  pada panjang gelombang 1.5L.

## DAFTAR PUSTAKA

- Suandar Baso, Syamsul Asri, Rosmani, dan Wawan Sayuti, “*Prediksi Gerak Heave dan Pitch Kapal Feri di Gelombang Nonlinear menggunakan Coupled Eulerian Scheme with Lagrangian Particle*”, Jurnal Riset Teknologi Kelautan, Vol.10 No.2., 2012.
- Baso Suandar, *Pengembangan Metode Strip Theory New Strip Theory Approach To Ship Motions Prediction*, 2013.
- Bhattacharyya, Rameswar. “*Dynamic Of Marine Vehicles*”. Jhon Wiley & Sons. New York, 1978.
- Edi Husni, *Analisa Gerakan Coupled Heaving-Pitching Kapal Purse Saine Terhadap Gelombang Reguler Haed Seas*. Program PascaSarjana Institut Pertanian Bogor. Jawa Barat, 2003.
- Mulyawan, A., Wisnu W., dan Yoyok S.H. “*Analisis Olah Gerak Kapal Perang Crocodile Hydrofoil (KPC-H) Selama Proses Menyelam*” Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2008.
- Sayuti, Wawan. “*Simulasi Numerik Gerak Heaving Dan Pitching Kapal Feri Penyeberangan Di Atas Gelombang*”. Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Makassar, 2013.
- Yuniar, Maria. “*Pemerintah Pesan Kapal Perintis*”. TEMPO, 25 Oktober 2013.

**Studi Pengaruh Perubahan Sarat terhadap Olah Gerak Kapal  
Di Atas Gelombang**

---