

Analisis Dinamika Kapal Ikan Berlambung Katamaran terhadap Fenomena Bottom Slamming dan Deck Wetness

Chris Jeremy Verian Sitorus¹, Alamsyah¹, Wira Setiawan¹, Muhammad Anjas Syam¹ Cindy Lionita Agusty¹, Jusma Wahidah¹, Hariyono¹, Harlian Kustiawansa¹ Husein Syahab¹, Fernanda Wahyu Pratama¹, Irham Bahri¹

¹ Program Studi Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Kalimantan Timur, 76127, Indonesia
E-mail: chris.sitorus@lecturer.itk.ac.id, alamsyah@lecturer.itk.ac.id, wira@lecturer.itk.ac.id, hariyono@lecturer.itk.ac.id, harlian.kustiawansa@lecturer.itk.ac.id, 09171038@student.itk.ac.id

Abstrak

Kurangnya perhatian terhadap aspek keselamatan dalam desain kapal ikan, di mana pembuat kapal lebih berfokus pada hasil tangkapan. Analisis bottom slamming dan deck wetness diperlukan untuk menghindari kondisi berbahaya saat menghadapi cuaca buruk. Nilai RAO(Response Amplitude Operator) kapal ikan katamaran perlu untuk diketahui dengan variasi sudut gelombang 0°, 90°, 135°, dan 180° serta menghitung probabilitas deck wetness dan bottom slamming. Perhitungan RAO dilakukan menggunakan metode optimasi dengan perangkat lunak Maxsurf pada variasi muatan 25% DWT, 50% DWT, dan 100% DWT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa amplitudo heave tertinggi terjadi pada kondisi 100% DWT, kecepatan 6,45 knot, dan sudut gelombang 0°, sebesar 0,131 meter. Amplitudo pitch tertinggi adalah 2,02 derajat pada kondisi yang sama, sedangkan amplitudo roll tertinggi terjadi pada 50% DWT, kecepatan 6,45 knot, dan sudut gelombang 90°, sebesar 3,43 derajat. Probabilitas deck wetness sebesar 0,24% dan bottom slamming sebesar 0.0000000014996%, keduanya telah memenuhi standar NORDFORSK 1987.

Kata Kunci: Bottom Slamming ; Deck Wetness; DWT ; Probabilitas; RAO

Abstract

The lack of consideration for safety in fishing boat design, as builders primarily focused on maximizing catch. It was necessary to calculate deck wetness and bottom slamming to prevent dangerous conditions in rough weather. This study aimed to determine the RAO values of a catamaran fishing boat at wave angles of 0°, 90°, 135°, and 180°, and to calculate the probability of bottom slamming and deck wetness. The RAO calculation used an optimization method with Maxsurf software for load variations of 25% DWT, 50% DWT, and 100% DWT. The results showed that the highest heave amplitude occurred at 100% DWT, 6.45 knots, and a 0° wave angle, measuring 0.131 meters. The highest pitch amplitude was 2.02 degrees under the same conditions, while the highest roll amplitude occurred at 50% DWT, 6.45 knots, and a 90° wave angle, reaching 3.43 degrees. The probability of deck wetness was 0.24%, and bottom slamming was 0.0000000014996%, both meeting NORDFORSK 1987 standards.

Keywords: Bottom Slamming; Deck Wetness; DWT; Probability; RAO

I. PENDAHULUAN

Kapal sebagai struktur kaku dirancang untuk menghadapi berbagai kondisi ekstrem, termasuk perubahan cuaca yang tidak terduga saat beroperasi di laut. Desain ini memastikan bahwa kapal dapat bertahan terhadap beban dinamis dan statis yang muncul akibat lingkungan laut yang sering kali tidak stabil. Dengan demikian, struktur kapal harus memiliki ketahanan yang cukup untuk menjaga keselamatan dan kinerja selama operasi [1]. Ada berbagai gaya dalam (*internal force*) dan gaya luar (*eksternal force*) yang dialami oleh kapal setiap kali beroperasi[2]Hal ini menyebabkan badan kapal mengalami gaya yang mengakibatkan tegangan dan regangan secara terus-menerus dan berulang. Oleh karena itu, sebuah kapal baru harus mampu bertahan menghadapi kondisi

tersebut agar memiliki umur operasi yang lebih panjang [3]Gaya eksternal yang dialami oleh kapal perikanan saat beroperasi di laut meliputi gelombang, angin, tambahan gaya akibat proses penangkapan ikan, tekanan saat kandas, perpindahan muatan di atas kapal, serta benturan dengan dermaga atau kapal perikanan lainnya[4]. Sementara itu, gaya internal mencakup berat kapal itu sendiri, perpindahan muatan di dalam kapal, dan akumulasi air yang terjebak di dalam kapal. Naiknya air laut ke atas dek dapat menyebabkan beban tumbukan pada sekat depan, mengakibatkan orang dan barang terlempar ke laut, serta menghambat aktivitas kerja awak kapal. Selain itu, kondisi ini juga dapat menyebabkan gangguan atau bahkan kerusakan pada peralatan. Oleh karena itu, perhitungan deck wetness pada pergerakan kapal diperlukan untuk menghindari kondisi berbahaya saat menghadapi cuaca buruk[5]. Selain itu, bottom slamming,

yaitu benturan haluan kapal dengan permukaan air, juga akan dianalisis[6] Bottom slamming merupakan peristiwa yang membuat bagian haluan mengalami gaya tumbukan (impact) yang signifikan. Gaya tumbukan ini dapat membahayakan struktur badan kapal akibat beban dinamis yang besar dan berulang, yang berpotensi menimbulkan *fatigue* pada material.[7] Ketika frekuensi beban eksternal mencapai nilai yang sebanding dengan frekuensi alami kapal, fenomena resonansi mekanis akan terjadi. Kondisi ini menyebabkan amplifikasi gaya dinamik pada struktur yang berpotensi melampaui batas kekuatan material. Secara umum, respons dinamis ini dipicu oleh eksitasi dinamik utama dalam lingkungan maritim, dimana gelombang laut menghasilkan beban siklik pada lambung kapal. Interaksi fluida-struktur ini memaksa kapal mengalami gerakan osilasi kompleks (seperti *heaving*, *pitching*, dan *rolling*) sebagai respons terhadap gangguan hidrodinamika.[8] Penelitian ini bertujuan melakukan analisis numerik respons dinamis kapal terhadap variasi sudut datang gelombang menggunakan platform *Maxsurf Motion*. Simulasi dilakukan melalui rekonstruksi model hidrodinamika berbasis data sebelumnya, dengan fokus pada evaluasi *RAO (Response Amplitude Operator)* untuk gerakan vertikal (*heave*) dan angular (*pitch*). Urgensi penelitian ini menekankan pada hubungan antara *RAO* dengan probabilitas deck wetness dan bottom slamming dalam berbagai kondisi muatan. Dengan pendekatan ini, hasil penelitian dapat dijadikan acuan dalam mendesain kapal ikan yang lebih aman dan tahan terhadap gangguan gelombang, serta berkontribusi pada pengembangan standar keselamatan kapal perikanan..

II. METODOLOGI

Pada penelitian ini digunakan data Kapal Ikan Katamaran. Data kapal digunakan untuk membuat permodelan kapal[9] dengan menggunakan software *Maxsurf Modeler Advanced* untuk mempermudah dalam melakukan analisis data kapal. Kemudian untuk mendesain peletakan tanki dan stabilitas digunakan *Maxsurf stability Enterprise*. Dan menghitung Olah Gerak Kapal menggunakan *Maxsurf Motion*. [10] .Proses permodelan kapal menggunakan ukuran dan dimensi konstruksi yang sebenarnya sesuai dengan data yang diperoleh.

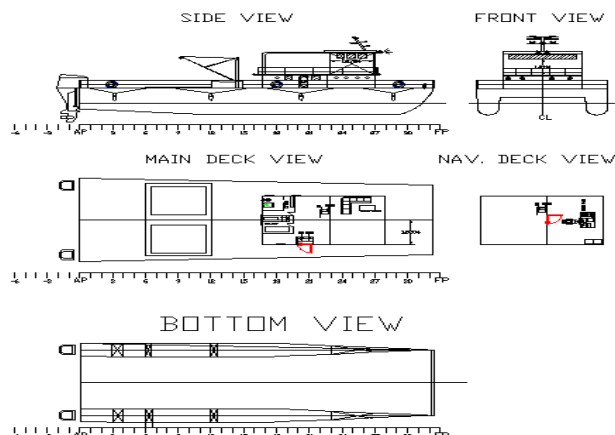
A. Data Kapal

Untuk dapat menganalisis gerakan kapal dari kapal ikan katamaran[11] ini dibutuhkan desain 3D dari kapal ikan katamaran tersebut. Desain dari kapal ikan katamaran didapatkan dari penelitian sebelumnya berupa *softcopy* sehingga dapat digunakan langsung sebagai input permodelan desain kapal pada *software maxsurf modeler*. Berikut merupakan data ukuran utama kapal ikan katamaran yang dapat diamati pada Tabel 1, Gambar 1. adalah rancangan umum pada kapal ini.

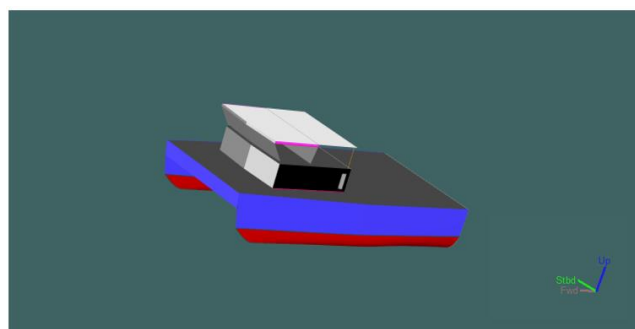
Tabel 1. Data Kapal

Data	Ukuran	Satuan
<i>Length Overall (LOA)</i>	16,2	m
<i>Breadth(B)</i>	6	m
<i>Height (H)</i>	2	m
<i>Draft(T)</i>	1	m

Radius Pelayaran (<i>a</i>)	54	<i>Sea miles</i>
Kecepatan (<i>V/s</i>)	6,5	Knot
<i>G</i>	9,81	<i>m/s</i>



Gambar 1. Desain CAD kapal ikan katamaran



Gambar 2. Model 3D Kapal pada Maxsurf

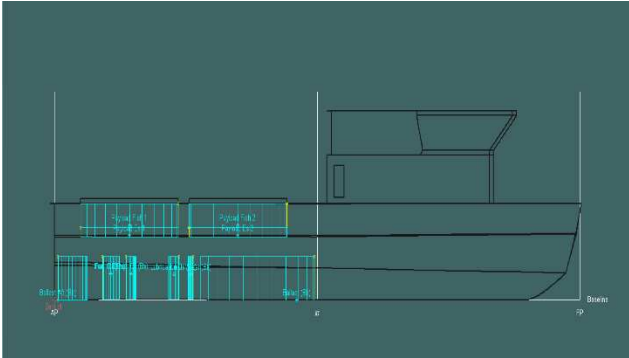
Model 3D kapal ikan berlambung katamaran yang dibuat menggunakan perangkat lunak Maxsurf. Model ditampilkan dalam pandangan isometrik yang dapat dilihat pada Gambar 2.

B.Desain Tanki

Setelah membuat gambar desain tanki pada CAD kemudian selanjutnya adalah membuat tangki tersebut pada maxsurf stability. Dalam mendesain tanki perlu diketahui ukuran lebar tanki dan panjang tanki. Perlunya tata letak dan volume tanki yang sesuai akan mempengaruhi trim pada kapal tersebut. Pada Gambar 3. Perencanaan peletakan tanki dan Gambar 4. adalah ukuran dan tampilan tanki tampak samping sebagai berikut:

Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid symbol	Boundary Surface	Alt	F.Entrf	F.SSdL	F.Jmp	F.ExL	A.Plst	A.PSdL	A.SSdL	A.Tmp	A.RSdL	Formed
Fuel Oil (PS)	Tank	100	100	0.994	Fuel Oil	Fuel Oil	4.41	1.294	1.294	1.294	0.9	0.9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
Diesel Oil (PS)	Tank	100	100	0.944	Diesel Oil	none	4.41	1.294	1.294	1.294	0.9	0.9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
Diesel Oil (PS)	Tank	100	100	0.944	Diesel Oil	none	4.41	1.294	1.294	1.294	0.9	0.9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
Lubricant Oil	Tank	100	100	0.915	Lubricant	none	4.41	1.294	1.294	1.294	0.9	0.9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
Fresh Water (PS)	Tank	100	100	1.025	Fresh Water	none	4.41	1.294	1.294	1.294	0.9	0.9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
Fresh Water (PS)	Tank	100	100	1.025	Fresh Water	none	4.41	1.294	1.294	1.294	0.9	0.9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
Payload E-1	Tank	100	100	1.025	Payload E-1	none	4.41	1.294	1.294	1.294	0.9	0.9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
Payload E-2	Tank	100	100	1.025	Payload E-2	none	4.41	1.294	1.294	1.294	0.9	0.9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
Payload E-3	Tank	100	100	1.025	Payload E-3	none	4.41	1.294	1.294	1.294	0.9	0.9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
Payload E-4	Tank	100	100	1.025	Payload E-4	none	4.41	1.294	1.294	1.294	0.9	0.9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
Ballast Air (PS)	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	Water Ballast	8.1	1.294	1.294	1.294	0.9	0.9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
Ballast Air (PS)	Tank	100	100	1.025	Water Ballast	Water Ballast	8.1	1.294	1.294	1.294	0.9	0.9	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes

Gambar 3. Tabel Perencanaan Peletakan Tanki



Gambar 4. Bentuk tanki tampak samping

Pada Gambar. 3 dapat dilihat terdapat tanki Fuel oil, Diesel Oil, Lubrication Oil, Fresh Water, Ballast. Tanki – tanki tersebut di input sesuai Spesific Gravity masing – masing tanki. Pada Gambar 4. dapat dilihat peletakan tanki – tanki tersebut dimana sesuai dengan letak mesin utama dan mesin bantu pada kapal, Serta ballast sebagai penyeimbang kapal dan bersifat kondisional.

C.Pembuatan Loadcase

Data-data yang perlu dimasukkan antara lain adalah berat LWT kapal, berapa persenan fluida yang ada pada tanki-tanki, dan payload (dalam penelitian ini adalah variasi dari jumlah ikan dan es yang berada di dalam kapal, pada loadcase 1 payload 50% dengan isi hanya es dengan kondisi semua tanki consumable 100%, loadcase 2 payload 75% dengan isi es dan ikan dengan kondisi semua tanki consumable 50% dengan penambahan air ballast 75%, dan loadcase 3 payload 100% dengan isi es dan ikan dengan kondisi semua tanki consumable 25% dengan penambahan air ballast 100%). Berikut adalah skema loadcase dapat dilihat pada Gambar 5.

Item Name	Quantity	Unit Mass (tonnes)	Total Mass (tonnes)	Unit Volume (m³)	Total Volume (m³)	Long. Arm	Trans. Arm	Vert. Arm	Total FGM (tonnes.m)	FGM Type
Steel	1	5.409	5.409	0.549	0.549	8.950	0.000	1.786	0.000	User Spec
Machinery	1	0.634	0.634	0.080	0.080	8.521	0.000	1.000	0.000	User Spec
Nav Room	1	0.058	0.058	0.012	0.012	9.000	0.000	1.800	0.000	User Spec
Outfitting	1	0.432	0.432	0.048	0.048	8.500	0.000	1.500	0.000	User Spec
Payload	1	2.673	2.673	0.334	0.334	11.000	0.000	2.000	0.000	User Spec
Tablet	1	0.320	0.320	0.034	0.034	11.550	0.000	2.000	0.000	User Spec
Fuel Oil (Sb)	100%	0.342	0.342	0.343	0.343	3.134	2.479	0.543	0.000	Maximum
Diesel Oil (Sb)	100%	0.168	0.168	0.180	0.180	3.134	2.479	0.543	0.000	Maximum
Diesel Oil (Ps)	100%	0.168	0.168	0.180	0.180	3.134	-2.479	0.543	0.000	Maximum
Lubrication Oil (Sb)	100%	0.210	0.210	0.229	0.229	3.466	2.480	0.547	0.000	Maximum
Lubrication Oil (Ps)	100%	0.210	0.210	0.229	0.229	3.466	-2.480	0.547	0.000	Maximum
Fresh Water (Sb)	100%	0.210	0.210	0.205	0.205	3.466	2.480	0.547	0.000	Maximum
Fresh Water (Ps)	100%	0.210	0.210	0.205	0.205	3.466	-2.480	0.547	0.000	Maximum
Ballast (Sb)	0%	0.000	0.000	0.000	0.000	2.554	2.480	0.547	0.000	Maximum
Ballast (Ps)	0%	0.000	0.000	0.000	0.000	2.554	-2.480	0.547	0.000	Maximum
Payload Fab 1	0%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.864	2.000	0.000	0.000	Maximum
Payload Fab 2	0%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.864	-2.000	0.000	0.000	Maximum
Payload Fab 1	0%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.864	2.000	0.000	0.000	Maximum
Payload Fab 2	0%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.864	-2.000	0.000	0.000	Maximum
Total Loadcase		14.025	23.236	2.176		6.151			0.000	
T&S correction										
VCG fluid									1.428	

Gambar 5. Loadcase 1

Pada Gambar 5. menunjukkan loadcase satu ketika keadaan kapal masih dengan tanki – tanki consumable dengan keadaan penuh.

D. Menghitung Olah Gerak Kapal (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) yang juga dikenal sebagai Fungsi Transfer, merupakan suatu fungsi yang menggambarkan respons struktur terhadap beban gelombang yang mengenai struktur offshore pada frekuensi tertentu. RAO digunakan untuk menganalisis seberapa besar amplitudo gerakan yang dihasilkan oleh struktur ketika terdampak oleh gelombang laut dengan karakteristik frekuensi spesifik [12]. Hubungan antara amplitudo respons dan amplitudo gelombang dapat dinyatakan dalam bentuk matematis sebagai rasio (ζ respon / ζ gelombang). Respons ini dapat berupa berbagai bentuk, termasuk gerakan, tegangan, atau getaran. Dengan demikian, RAO berperan penting dalam menganalisis bagaimana struktur merespons terhadap pengaruh gelombang laut. Menganalisis olah gerak kapal ikan menggunakan software maxsurf motion[13] pada tiap kondisi yaitu 100% DWT, 50% DWT, dan 25% DWT dengan variasi sudut masuk gelombang 180° (head sea), 90° (beam sea), 135° (quatering sea) dan 0° (following sea) serta dengan kecepatan kapal maksimal.

E. Probabilitas Deck Wetness dan Bottom Slamming

Dalam kondisi cuaca ekstrem, seperti badai, gelombang dan gerakan kapal dapat menjadi sangat besar, sehingga berpotensi menyebabkan air masuk ke dek. Fenomena ini dikenal sebagai "deck wetness". Deck wetness dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan yang terletak di forecandle, dan dalam situasi yang lebih serius, dapat berisiko menyebabkan kapal terbalik. Beberapa strategi untuk mengurangi dampak deck wetness meliputi peningkatan freeboard, pengurangan kecepatan kapal, serta penyesuaian arah kapal relatif terhadap gelombang utama[14].

Probabilitas deck wetness dihitung dengan persamaan (Bhattacharya, 1978) :

P{S ≥ f^1(l)} = e^{-[f'(l)]^2/2mos} (1)

Dimana,

$f^1(l) = \text{Effective Freeboard}$

$Mos = \text{Area under the response spectrum}$

Selama bertahun-tahun, dampak dari *bottom slamming* telah menjadi salah satu penyebab utama kerusakan pada kapal. Fenomena ini terjadi saat bagian bawah haluan kapal terangkat ke permukaan air dan kemudian kembali tenggelam. Peristiwa ini menghasilkan gaya yang sangat besar dalam waktu singkat. Impuls yang dihasilkan dapat menyebabkan seluruh struktur kapal bergetar, yang sering kali memaksa kapal untuk mengurangi kecepatan atau mengubah arah. Akibatnya, kapal tidak dapat beroperasi sesuai rencana, yang dapat mengakibatkan kerugian signifikan.

Dengan demikian peluang terjadinya *slamming* dituliskan dengan persamaan (Bhattacharya, 1978) :

$$Prob\{Slam\} = e^{-T^2/2mos + v_0^2/2m2s} \quad (2)$$

Dimana,

$T = \text{Draft at the ship's bow velocity}$

$mos = \text{Area of the spectrum of relative motion}$

$m2s = \text{Area of the spectrum of relative velocity}$

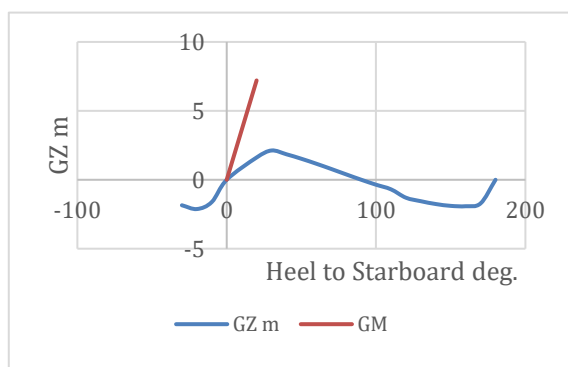
$Vo = \text{Critical value of the relative velocity}$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

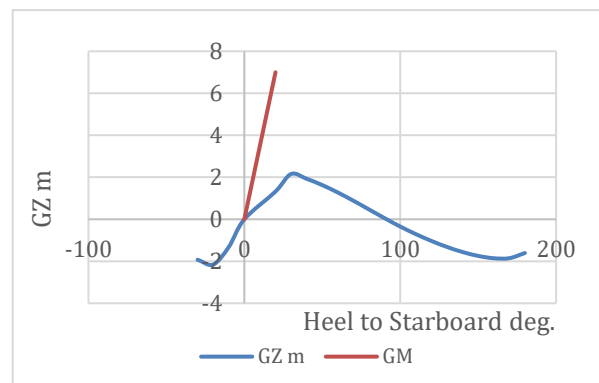
Setelah dilakukan desain menggunakan data kapal dan dilanjutkan dengan pembuatan tanki dan pembuatan loadcase 1,2 dan 3, setelah itu didapatkan hasil dari analisa stabilitas dengan merunning *Maxsurf Stability* dan melihat apakah sesuai dengan standar *HSC 2000*. Untuk *RAO* menggunakan *Maxsurf Motion* dan untuk Probabilitas *Deck Wetness* dan *Slamming Bottom* menggunakan rumus pendekatan.

A. Hasil Analisa Stabilitas

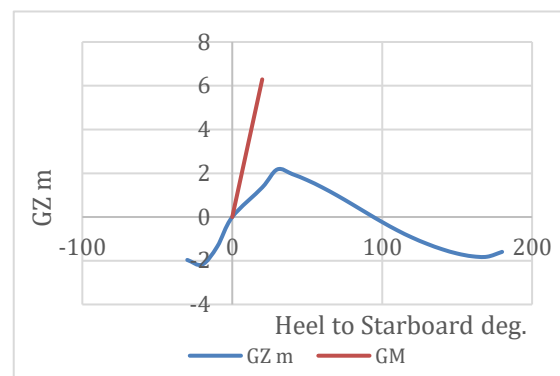
Setelah memasukkan *criteria HSC 2000* dan melakukan running pada large angle stability akan didapatkan grafik pada Gambar 6,7 dan 8 berikut ini :



Gambar 6. Grafik Stabilitas Kapal Loadcase 1



Gambar 7. Grafik Stabilitas Kapal Loadcase 2

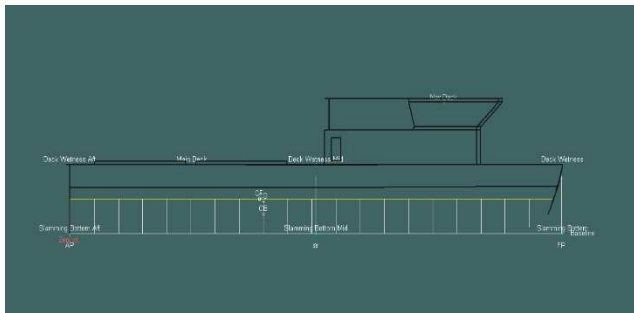


Gambar 8. Grafik Stabilitas Kapal Loadcase 3

Pada Grafik 6,7 dan 8 didapatkannya nilai GZ maksimum dan GM maksimum. Untuk kondisi *loadcase 1* nilai GZ maksimum sebesar 2,124 m dan nilai GM maksimum sebesar 7,206 m. Pada *Loadcase 2* nilai GZ maksimum sebesar 2,243 m dan nilai GM maksimum sebesar 7 m. Lalu *Loadcase 3* nilai GZ maksimum sebesar 2,209 m dan nilai GM maksimum sebesar 6,292 m

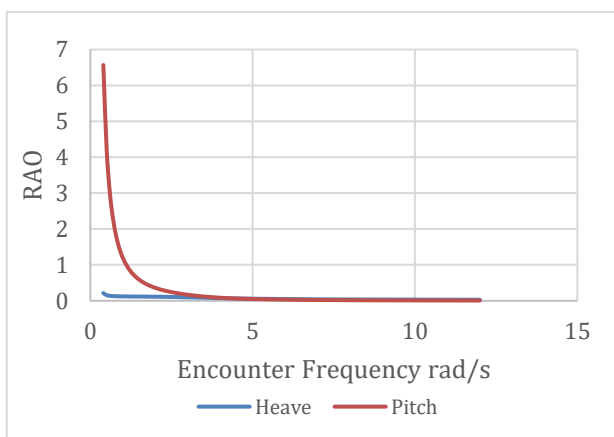
B. Hasil Olah Gerak Kapal (RAO)

Sebelum mendapatkan hasil *RAO* ada beberapa hal yang harus di *input* ke dalam *Maxsurf Motion*, Mulai dari desain yang didapat setelah menghitung stabilitas menggunakan *Maxsurf Stability*, memasukkan ukuran badan kapal, lalu memilih jenis kapal, melakukan distribusi massa, *Speeds*, *Heading*, *Spektra*, dan *Remote Location*[15]. Kapal ini menggunakan kecepatan sebesar 6,482 Knot dengan variasi gelombang yaitu *Head Seas*, *Quartering Seas*, *Beam Seas*, dan *Following Seas*. *Jonswap* sebagai spektrum gelombang digunakan kapal ini. Dan *Remote Location* sebagai titik gravitasi dari tiap titik berat yang berada dikapal dapat dilihat pada Gambar 9 berikut ini :



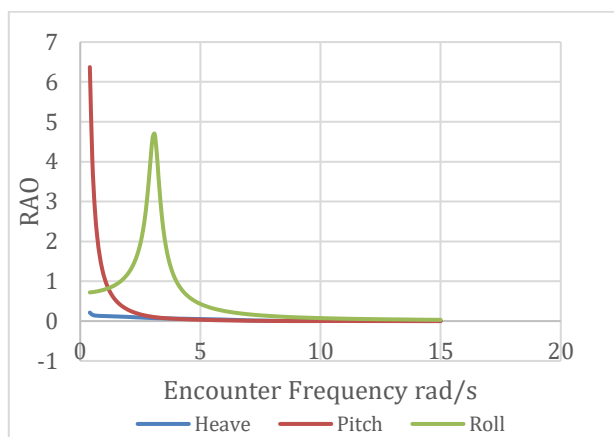
Gambar 9. Titik Remote Location pada kapal

Setelah semua itu di *input* dan *merunning* hasil *RAO* akan keluar dengan bentuk grafik dan angka yang dapat dilihat pada gambar 10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21 sebagai berikut :



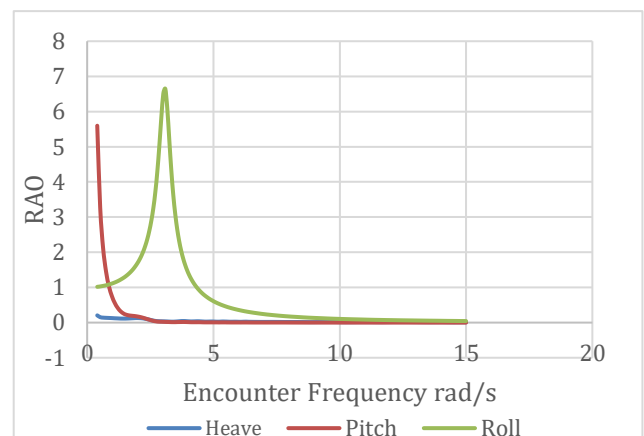
Gambar 10. Grafik *RAO* pada kapal 100% *DWT* pada gelombang 180 derajat (*head seas*)

Dari Gambar 10. pada saat kapal melawan gelombang yaitu 180° (*head sea*) pada kecepatan 6,45 knot kapal mengalami gerakan *heave* terbesar pada frekuensi 0,386 *rad/s*, gerakan *pitch* terbesar pada frekuensi 0,4 *rad/s*, dan tidak terjadi gerakan *roll*. Kemudian didapatkan nilai *heave* sebesar 0,047 m, *pitch* sebesar 1,66 deg, *RMS* pada *Vertical Acceleration at Fore Peak(FP)* sebesar 0,033 g, *RMS* untuk *Bridge pada Vertical Acceleration* sebesar 0,0351 g, *RMS* untuk *Bridge pada Lateral Acceleration* sebesar 0 g, dan *RMS roll* sebesar 0 deg. Dimana nilai – nilai tersebut telah memenuhi kriteria *Nordforsk*[16].



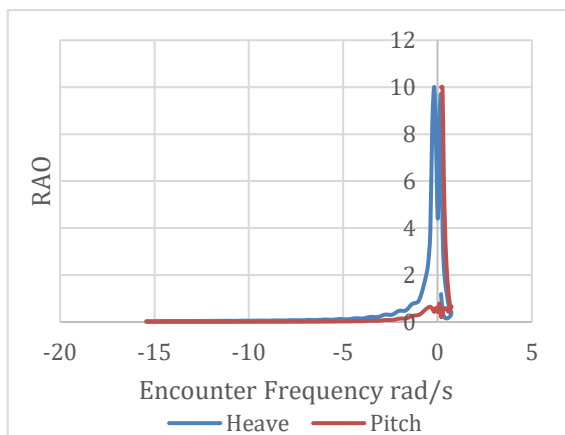
Gambar 11. Grafik *RAO* pada kapal 100% *DWT* pada gelombang 135 derajat (*bow quartering seas*)

Pada kondisi kapal menerima gelombang dari arah 135° (*bow quartering sea*) dengan kecepatan 6,45 knot, gerakan *heave* terbesar terjadi pada frekuensi 0,4 *rad/s*, gerakan *pitch* terbesar juga pada frekuensi 0,4 *rad/s*, sedangkan gerakan *roll* terbesar tercatat pada frekuensi 3,094 *rad/s*. Nilai signifikan yang diperoleh meliputi *heave* sebesar 0,049 meter, *pitch* sebesar 1,71 derajat, dan *roll* sebesar 3,21 RMS. Selain itu, percepatan vertikal di haluan mencapai nilai RMS sebesar 0,078 g, percepatan vertikal di jembatan kapal sebesar 0,075 g, dan percepatan lateral di jembatan kapal sebesar 0,015 g. Seluruh nilai tersebut telah memenuhi kriteria yang ditetapkan oleh *Nordforsk*.



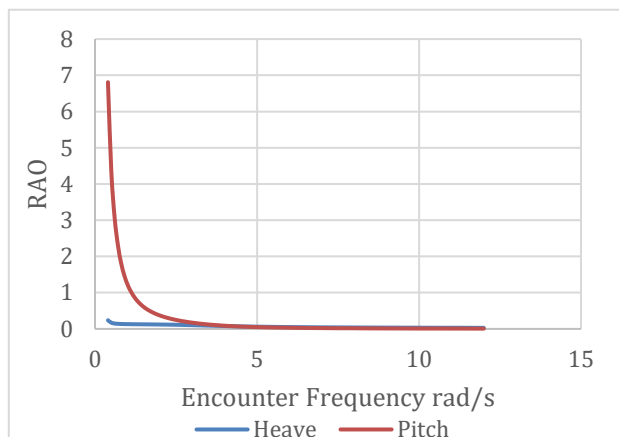
Gambar 12. Grafik *RAO* pada kapal 100% *DWT* pada gelombang 90 derajat (*beam seas*)

Berdasarkan analisis pada Gambar 12, kapal yang bergerak dengan kecepatan 6,45 knot (≈ 12.68 m/s) pada kondisi gelombang 90° (*beam sea*) menunjukkan respons gerakan maksimum. Respons Dinamis Kapal : *Heave* maksimum: 0,052 m pada frekuensi 0,4 *rad/s*, *Pitch* maksimum: 1,81° pada frekuensi 0,4 *rad/s* dan *Roll* maksimum: 3,16° RMS pada frekuensi 3,093 *rad/s*. Sedangkan Percepatan Struktural : Nilai RMS percepatan vertikal di bagian haluan (FP): 0,036 g, Percepatan vertikal di anjungan (Bridge): 0,036 g, Percepatan lateral di anjungan: 0,02 g Hasil evaluasi menunjukkan seluruh parameter tersebut memenuhi standar kenyamanan dan keselamatan berdasarkan kriteria *Nordforsk* 1987. Data ini mengindikasikan performa stabilitas kapal yang optimal meskipun dalam kondisi gelombang samping (*beam sea*), dengan karakteristik respons frekuensi yang sesuai dengan studi *seakeeping* pada kapal sejenis.



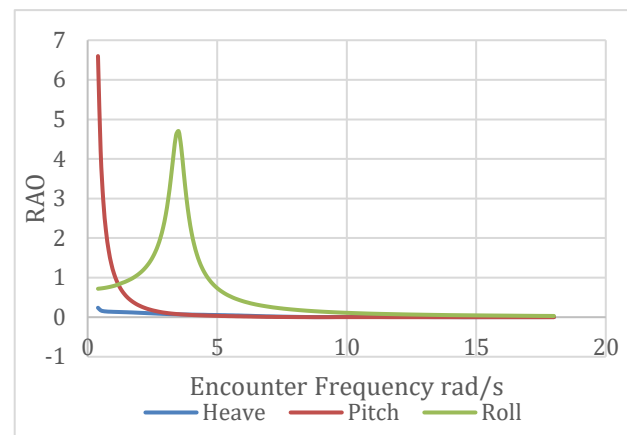
Gambar 13. Grafik RAO pada kapal 100% DWT pada gelombang 0 derajat (*following seas*)

Dari Gambar 13 pada saat kapal searah gelombang yaitu 0° (*following sea*) pada kecepatan 6,45 knot kapal mengalami gerakan *heave* terbesar pada frekuensi $-0,171 \text{ rad/s}$, gerakan *pitch* terbesar pada frekuensi $0,186 \text{ rad/s}$, dan tidak terjadi gerakan *roll*. Kemudian didapatkan nilai *heave* sebesar 0,131 m, *pitch* sebesar 2,02 deg, RMS pada *Vertical Acceleration at Fore Peak (FP)* sebesar 0,012 g, RMS untuk *Bridge pada Vertical Acceleration* sebesar 0,012 g, RMS untuk *Bridge pada Lateral Acceleration* sebesar 0 g, dan RMS *roll* sebesar 0 deg. Dimana nilai – nilai tersebut telah memenuhi kriteria Nordforsk.



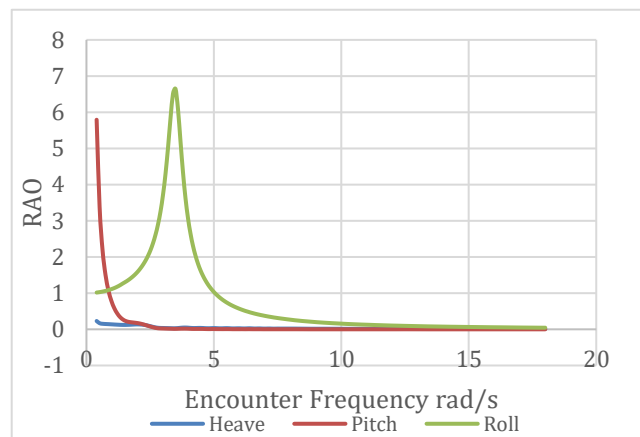
Gambar 14. Grafik RAO pada kapal 50% DWT pada gelombang 180 derajat (*heading seas*)

Dari Gambar 14 pada saat kapal melawan gelombang yaitu 180° (*head sea*) pada kecepatan 6,45 knot kapal mengalami gerakan *heave* terbesar pada frekuensi $0,4 \text{ rad/s}$, gerakan *pitch* terbesar pada frekuensi $0,4 \text{ rad/s}$, dan tidak terjadi gerakan *roll*. Kemudian didapatkan nilai *heave* sebesar 0,034 m, *pitch* sebesar 1,14 deg, RMS untuk *Fore Peak (PF) pada Vertical Acceleration* sebesar 0,035 g, RMS untuk *Bridge pada Vertical Acceleration* sebesar 0,0203 g, RMS untuk *Bridge pada Lateral Acceleration* sebesar 0 g, dan RMS *roll* sebesar 0 deg. Dimana nilai – nilai tersebut telah memenuhi kriteria Nordforsk.



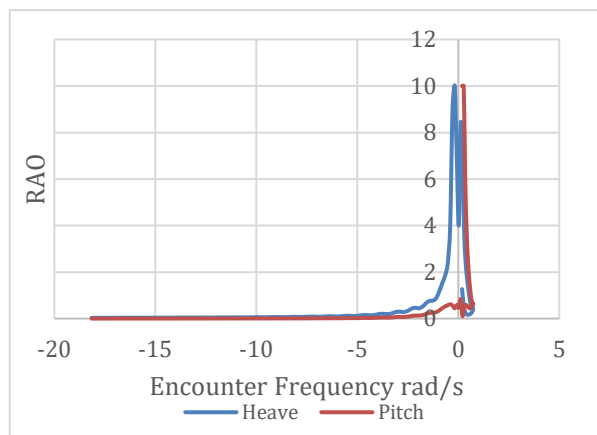
Gambar 15. Grafik RAO pada kapal 50% DWT pada gelombang 135 derajat (*bow quartering seas*)

Dari Gambar 15 pada saat kapal mendapat gelombang dari 135° (*bow quartering sea*) pada kecepatan 6,45 knot kapal mengalami gerakan *heave* terbesar pada frekuensi $0,4 \text{ rad/s}$, gerakan *pitch* terbesar pada frekuensi $0,4 \text{ rad/s}$, dan gerakan *roll* terbesar pada frekuensi $3,175 \text{ rad/s}$. Kemudian didapatkan nilai *heave* sebesar 0,035 m, *pitch* sebesar 1,18 deg, *roll* sebesar 2,14. RMS untuk *Fore Peak (PF) pada Vertical Acceleration* sebesar 0,05 g, RMS untuk *Bridge pada Vertical Acceleration* sebesar 0,05 g, RMS untuk *Bridge pada Lateral Acceleration* sebesar 0 g. Dimana nilai – nilai tersebut telah memenuhi kriteria Nordforsk.



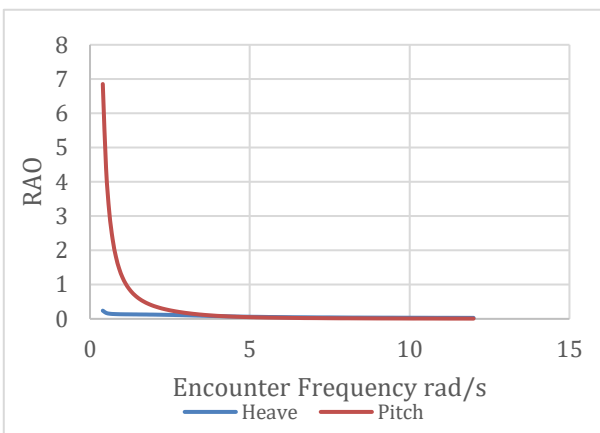
Gambar 16. Grafik RAO pada kapal 50% DWT pada gelombang 90 derajat (*beam seas*)

Dari Gambar 16 pada saat kapal mendapat gelombang dari 90° (*beam sea*) pada kecepatan 6,45 knot kapal mengalami gerakan *heave* terbesar pada frekuensi $0,4 \text{ rad/s}$, gerakan *pitch* terbesar pada frekuensi $0,4 \text{ rad/s}$, dan gerakan *roll* terbesar pada frekuensi $3,172 \text{ rad/s}$. Kemudian didapatkan nilai *heave* sebesar 0,037 m, *pitch* sebesar 1,24 deg, *roll* sebesar 3,43. RMS untuk *Fore Peak (PF) pada Vertical Acceleration* sebesar 0,015 g, RMS untuk *Bridge pada Vertical Acceleration* sebesar 0,011 g, RMS untuk *Bridge pada Lateral Acceleration* sebesar 0,02 g. Dimana nilai – nilai tersebut telah memenuhi kriteria Nordforsk.



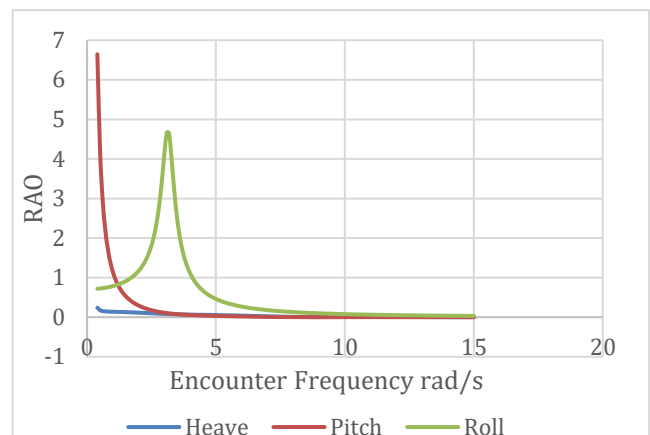
Gambar 17. Grafik RAO pada kapal 50% DWT pada gelombang 0 derajat (*following seas*)

Dari Gambar 17 pada saat kapal searah gelombang yaitu 0° (*following sea*) pada kecepatan 6,45 knot kapal mengalami gerakan *heave* terbesar pada frekuensi $-0,11 \text{ rad/s}$, gerakan *pitch* terbesar pada frekuensi $0,186 \text{ rad/s}$, dan tidak terjadi gerakan *roll*. Kemudian didapatkan nilai *heave* sebesar 0,088 m, *pitch* sebesar 1,38 deg, RMS untuk Fore Peak(PF) pada *Vertical Acceleration* sebesar 0,008 g, RMS untuk Bridge pada *Vertical Acceleration* sebesar 0.061 g, RMS untuk Bridge pada *Lateral Acceleration* sebesar 0 g, dan RMS *roll* sebesar 0 deg. Dimana nilai – nilai tersebut telah memenuhi kriteria Nordforsk.



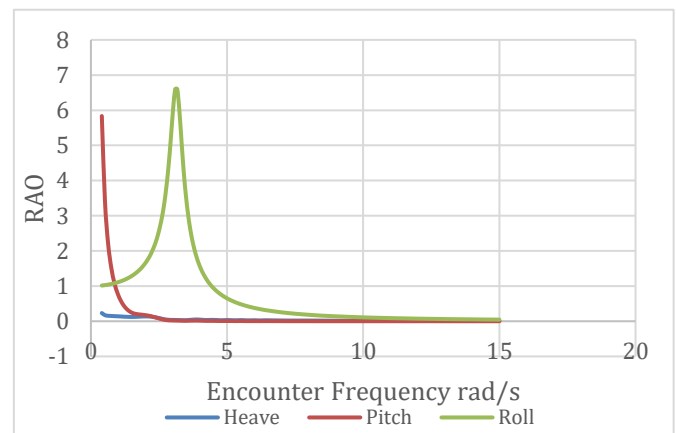
Gambar 18. Grafik RAO pada kapal 25% DWT pada gelombang 180 derajat (*heading seas*)

Dari Gambar 18 pada saat kapal melawan gelombang yaitu 180° (*head sea*) pada kecepatan 6,45 knot kapal mengalami gerakan *heave* terbesar pada frekuensi $0,4 \text{ rad/s}$, gerakan *pitch* terbesar pada frekuensi $0,4 \text{ rad/s}$, dan tidak terjadi gerakan *roll*. Kemudian didapatkan nilai *heave* sebesar 0,035 m, *pitch* sebesar 1,15 deg, RMS untuk Fore Peak(PF) pada *Vertical Acceleration* sebesar 0,038 g, RMS untuk Bridge pada *Vertical Acceleration* sebesar 0.229 g, RMS untuk Bridge pada *Lateral Acceleration* sebesar 0 g, dan RMS *roll* sebesar 0 deg. Dimana nilai – nilai tersebut telah memenuhi kriteria Nordforsk.



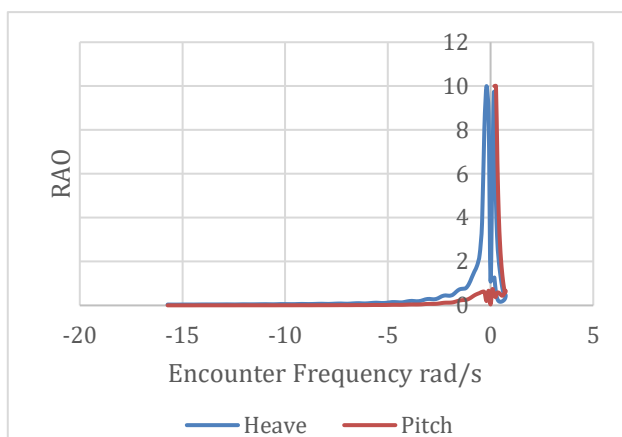
Gambar 19. Grafik RAO pada kapal 25% DWT pada gelombang 135 derajat (*bow quartering seas*)

Dari Gambar 19 pada saat kapal mendapat gelombang dari 135° (*bow quartering sea*) pada kecepatan 6,45 knot kapal mengalami gerakan *heave* terbesar pada frekuensi $0,4 \text{ rad/s}$, gerakan *pitch* terbesar pada frekuensi $0,4 \text{ rad/s}$, dan gerakan *roll* terbesar pada frekuensi $3,172 \text{ rad/s}$. Kemudian didapatkan nilai *heave* sebesar 0,036 m, *pitch* sebesar 1,19 deg, *roll* sebesar 2,14 RMS untuk Fore Peak(PF) pada *Vertical Acceleration* sebesar 0,07 g, RMS untuk Bridge pada *Vertical Acceleration* sebesar 0,06 g, RMS untuk Bridge pada *Lateral Acceleration* sebesar 0 g. Dimana nilai – nilai tersebut telah memenuhi kriteria Nordforsk.



Gambar 20. Grafik RAO pada kapal 25% DWT pada gelombang 90 derajat (*beam seas*)

Dari Gambar 20 pada saat kapal mendapat gelombang dari 90° (*beam sea*) pada kecepatan 6,45 knot kapal mengalami gerakan *heave* terbesar pada frekuensi $0,4 \text{ rad/s}$, gerakan *pitch* terbesar pada frekuensi $0,4 \text{ rad/s}$, dan gerakan *roll* terbesar pada frekuensi $3,172 \text{ rad/s}$. Kemudian didapatkan nilai *heave* sebesar 0,038 m, *pitch* sebesar 1,25 deg, *roll* sebesar 3,43 RMS untuk Fore Peak(PF) pada *Vertical Acceleration* sebesar 0,017 g, RMS untuk Bridge pada *Vertical Acceleration* sebesar 0,109 g, RMS untuk Bridge pada *Lateral Acceleration* sebesar 0,0145 g. Dimana nilai – nilai tersebut telah memenuhi kriteria Nordforsk.



Gambar 21. Grafik RAO pada kapal 25% DWT pada gelombang 0 derajat (following seas)

Dari Gambar 21 pada saat kapal searah gelombang yaitu 0° (following sea) pada kecepatan 6,45 knot kapal mengalami gerakan *heave* terbesar pada frekuensi $-0,916 \text{ rad/s}$, gerakan *pitch* terbesar pada frekuensi $0,186 \text{ rad/s}$, dan tidak terjadi gerakan *roll*. Kemudian didapatkan nilai *heave* sebesar 0,087 m, *pitch* sebesar 1,39 deg, RMS untuk Fore Peak(PF) pada *Vertical Acceleration* sebesar 0,008 g, RMS untuk Bridge pada *Vertical Acceleration* sebesar 0,0077 g, RMS untuk Bridge pada *Lateral Acceleration* sebesar 0 g, dan RMS *roll* sebesar 0 deg. Dimana nilai – nilai tersebut telah memenuhi kriteria Nordforsk.

C. Probabilitas Deck Wetness

Setelah didapatkan hasil dari *relative vertikal motion*, maka nilai tersebut dibandingkan dengan nilai *freeboard* kapal untuk mengetahui apakah kapal terkena *deck wetness*, nilai dari *relative vertikal motion* dapat dilihat pada *Maxsurf Motion* yang ditunjukkan pada Tabel 2 sebagai berikut:

No	Item	m0	Units	RMS	Units	Significant Amplitude	Units
28	Deck Wetness relative vertical motion	0.021	m ²	0.146	m	0.292	m

Tabel 2. Nilai Relative Vertikal Motion

Pada Gambar 22 menunjukkan nilai *Relative vertikal motion* dari *deck wetness* sebesar 2,292 m. Jika nilai *relative vertikal motion* lebih besar dari *freeboard* maka kapal tersebut terkena *deck wetness*, untuk mengetahui nilai probabilitas *deck wetness* dilakukan analisis probabilitas *deck wetness* adapun nilai Probabilitas *Deck Wetness* arah gelombang depan adalah 0.0024 sedangkan Probabilitas *Deck Wetness* arah gelombang samping adalah 0.0103. Sehingga jika dibuat dalam bentuk persen%, diketahui nilai probabilitas *deck wetness* yaitu 0,24 % dengan arah sudut gelombang dari depan dan 1% dengan arah sudut gelombang dari belakang dengan ketinggian gelombang 1 m dan kecepatan 6.45 knot. Berdasarkan kriteria dari NORDFORSK 1987 nilai

Probabilitas *Deck Wetness* maksimal adalah $\leq 5\%$ yang berarti memenuhi kriteria.

D. Probabilitas Bottom Slamming

Setelah didapatkan hasil dari *relative vertikal motion*, maka nilai tersebut dibandingkan dengan nilai *freeboard* kapal untuk mengetahui apakah kapal terkena *bottom slamming*, nilai dari *relative vertikal motion* dapat dilihat pada *Maxsurf Motion* yang ditunjukkan pada Tabel 3. sebagai berikut:

No	Item	m0	Units	RMS	Units	Significant Amplitude	Units
29	Slamming Bottom relative vertical motion	0.021	m ²	0.146	m	0.292	m

Tabel 3. Nilai Relative Vertikal Motion

Pada Tabel 3. Menunjukkan nilai *relative vertikal Motion* sebesar 0,292 m. Jika nilai *relative vertikal motion* lebih besar dari *freeboard* maka kapal tersebut terkena *bottom slamming*, untuk mengetahui nilai probabilitas *bottom slamming* dilakukan analisis probabilitas *bottom slamming* berdasarkan formula Probabilitas *Bottom Slamming* diperoleh $n = 1.4996\text{E-}11$

Nilai Probabilitas *bottom slamming* yaitu 0.0000000014996% dengan ketinggian gelombang 1 m dan kecepatan 6.45 knot. nilai Probabilitas *bottom slamming* Maksimal $\leq 3\%$ berdasarkan kriteria dari NORDFORSK 1987 memenuhi kriteria.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil perhitungan dan pengujian yang telah dilakukan sebelumnya maka dapat dihasilkan kesimpulan bahwa :

1. Sesuai Analisa teknis *ship motion* nilai RAO pada kapal ikan lambung katamaran dengan kecepatan 6,45 Knot. Amplitudo *heave* signifikan tertinggi tercatat pada kapal dalam kondisi 100% *Deadweight Tonnage (DWT)* dengan arah gelombang datang 0° , yaitu sebesar 0,131 meter. Sementara itu, amplitudo *pitch* signifikan maksimum juga terjadi pada kapal yang sama, dengan nilai 2,02 derajat pada arah gelombang yang sama. Di sisi lain, amplitudo *roll* signifikan tertinggi dicatat pada kapal dalam kondisi 50% DWT dengan arah gelombang datang 90° , mencapai 3,43 derajat.
2. Probabilitas *Deck Wetness* kapal ikan katamaran dengan tinggi gelombang 1 m adalah 0,24 %, Probabilitas *Bottom Slamming* kapal ikan katamaran dengan tinggi gelombang 1 m adalah 0.0000000014996%, di mana kedua nilai ini adalah nilai yang diijinkan menurut NORDFORSK 1987

REFERENSI

- [1] D. Bidyanti, J. Iskandar, and R. Partasasmita, "Pengetahuan lokal nelayan tradisional Pangandaran Jawa Barat Indonesia tentang cara penangkapan ikan dengan jaring arad jenis- jenis ikan yang ditangkap dan penentuan musim penangkapan ikan," *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia (Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon)*, vol. 4, no. 2, pp. 115–121, Jul. 2018, doi: DOI:10.13057/psnmbi/m040204.
- [2] R. Mangasi Hutaeruk, dan Pareng Rengi, S. pengajar Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, and U. Riau, "RESPONS GERAKAN KAPAL PERIKANAN HASIL OPTIMISASI TERHADAP GELOMBANG," *JURNAL PERIKANAN DAN KELAUTAN*, vol. 19, no. 1, pp. 13–22, Jun. 2014, Accessed: Mar. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.neliti.com/publications/295931/respons-gerakan-kapal-perikanan-hasil-optimisasi-terhadap-gelombang>
- [3] A. Fadillah, S. Manullang, and R. Irvana, "STABILITAS, HAMBATAN DAN OLAH GERAK KAPAL IKAN MULTI PURPOSE NET/LINE HAULER 20 GT BERDASARKAN KAJIAN UKURAN DAN BENTUK KASKO KAPAL," *Marine Fisheries*, vol. 10, no. 2, pp. 117–128, Oct. 2019.
- [4] M. H. sidiq, D. Chrismianto, and P. Mulyatno, "Analisa Olah Gerak Dan Kekuatan Kapal Ikan PVC 15 GT di Laut Jawa," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 7, no. 1, pp. 66–73, Jan. 2019, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [5] S. Deanissa, "ANALISIS GERAKAN KAPAL TERHADAP DECK WETNESS DAN BOTTOM SLAMMING: STUDI KASUS KAPAL FERRY RO-RO 500 GT," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017. Accessed: Mar. 25, 2025. [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/3894/2/4113100083-Undergraduate-Theses.pdf>
- [6] A. Hayatul Fajar, D. Chrismianto, and S. Hadi, "Studi Analisa Slamming & Deck Wetness Akibat Gerakan Heaving – Pitching Coupling & Gerakan Non-Linier Rolling (Studi Kasus Kapal MT. Pandan)," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 5, no. 4, pp. 677–687, Oct. 2017, [Online]. Available: <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [7] W. Setiawan, A. I. Wulandari, and M. C. Nugroho, "Pengaruh Variasi Sudut Bow Flare terhadap Olah Gerak Kapal Bulk Carrier 44000 DWT," *Jurnal Riset & Teknologi Terapan Kemaritiman*, vol. 1, no. 1, pp. 6–9, Aug. 2022, doi: 10.25042/jrt2k.062022.02.
- [8] S. Leksono and dan M. Guruh G S, "Seakeeping Characteristics of 60 GT Fishing Ships on the Distribution of Indonesian Aquatic Fisheries Areas," 2018.
- [9] P. I. Santosa, "STUDI KAPAL IKAN KATAMARAN BERBASIS ENERGI FOSIL," *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, vol. 13, no. 1, pp. 45–55, May 2020, doi: 10.21107/jk.v13i1.6141.
- [10] P. B. Suwasono, A. Munazid, R. Awwalin, and G. A. P. Poundra Sutiyo, *TEORI DAN PANDUAN PRAKTIS HIDRODINAMIKA KAPAL HUKUM ARCHIMEDES*, 1st ed., vol. 5. Hang Tuah University Press, 2019. Accessed: Mar. 25, 2025. [Online]. Available: <https://dspace.hangtuah.ac.id/xmlui/handle/dx/920>
- [11] P. I. Santosa, "STUDI KAPAL IKAN KATAMARAN BERBASIS ENERGI FOSIL," *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, vol. 13, no. 1, pp. 45–55, May 2020, doi: 10.21107/jk.v13i1.6141.
- [12] R. Bhattacharya, *Dynamics of Marine Vehicles*, vol. I. Canada: John Wiley & Sons, Inc, 1978.
- [13] Alamsyah, A. Hidayatullah, W. Setiawan, and S. Dlukha Nurcholik, "Motion Response on The Water Ambulance Ship," *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, vol. 8, no. 1, pp. 2548–1479, Jul. 2023, Accessed: Mar. 25, 2025. [Online]. Available: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/1709090>
- [14] W. Suryotanjung, W. Amiruddin, and R. Good, "Analisa Teknis Kapal Ikan 33 GT Tipe Slerek," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 8, no. 1, Jan. 2020, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [15] M. A. Luhur, W. Amiruddin, and S. Hadi, "Analisis Perbedaan Performa Pada Kapal Ikan Dengan Mengubah Bentuk Monohull Menjadi Katamaran," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 5, no. 1, p. 113, Jan. 2017, [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/naval>
- [16] NORDFOSK, The Nordic Cooperative Project, Seakeeping Performance in a Seaway. Trondheim, Norway: MARINTEK, 1987.