

ANALISA NUMERIK *SEAKEEPING* KAPAL CEPAT RUDAL PADA KONDISI GELOMBANG EKSTREM

Yuniati¹, Nurman Firdaus²

¹Pusat Riset Teknologi Hidrodinamika - BRIN, Surabaya

²Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset, dan Kawasan Sains Teknologi - BRIN, Surabaya
Jl. Hidrodinamika-BRIN Komplek ITS, Surabaya-Jawa Timur
Email: yuniati@brin.go.id

Abstrak

Kemampuan olah gerak kapal (*seakeeping*) merupakan salah satu aspek penting pada sebuah kapal. Hal ini berkaitan dengan gerakan kapal yang merupakan respon dari gaya-gaya luar yang bekerja pada kapal. Untuk kapal-kapal cepat, gerakan yang ditimbulkan akan sangat mempengaruhi kenyamanan (*seasickness*) terhadap awak kapal, serta berpengaruh pula terhadap keselamatan kapal. Gerak kapal dianalisa untuk memperlihatkan gerakan heaving, rolling dan pitching kapal pada saat kecepatan = 28 knots pada kondisi full load dan half load ditinjau dari berbagai sudut masuk gelombang dan ketinggian gelombang. Dari hasil analisa numerik *seakeeping* diketahui bahwa respon gerak kapal pada kondisi gelombang ekstrem yaitu pada sea state 5 pada kondisi full load, gerakan heave tertinggi terjadi pada arah gelombang 135° dengan ketinggian gelombang 4 meter yaitu 1.06425 meter, gerakan roll tertinggi pada terjadi pada arah gelombang 90° dengan ketinggian gelombang 3.25 meter yaitu 6.883°, dan gerakan pitch tertinggi terjadi pada arah gelombang 0° dengan ketinggian gelombang 4 meter yaitu 2.27075°.

Kata Kunci: *Seakeeping*, kapal cepat, full load, gelombang ekstrim

Abstract

The ability to maneuver a ship (*seakeeping*) is one of the important aspects of a ship. This relates to the movement of the ship which is a response to external forces acting on the ship. For fast ships, the movement caused will greatly affect the comfort (*seasickness*) of the crew, and also affect the safety of the ship. The ship's motion was analyzed to show the heaving, rolling and pitching motion of the ship at speed = 28 knots at full load and half load conditions from various angles of wave entry and wave height. From the results of the *seakeeping* numerical analysis, it is known that the ship's response to extreme wave conditions is at sea state 5 in full load conditions, the highest heave movement occurs in the wave direction of 135° with a wave height of 4 meters, which is 1.06425 meters, the highest roll movement occurs in wave direction is 90° with a wave height of 3.25 meters which is 6.883°, and the highest pitch movement occurs at wave direction 0° with a wave height of 4 meters which is 2.27075°.

Keywords: *Seakeeping*, fast ship, full load, extreme waves

1. PENDAHULUAN

Dalam merencanakan suatu kapal sangat penting untuk dapat memperhitungkan besarnya gerakan kapal yang akan dihadapi oleh kapal dalam pelayarannya guna menghindari kapal terbalik, mengurangi gerakan-gerakan kapal dan mengurangi jumlah air yang membasahi geladak [1].

Seakeeping merupakan bidang studi yang meliputi perilaku dan unjuk kerja kapal di atas gelombang yang menunjukkan kemampuan kapal untuk mempertahankan fungsi dalam menjalankan misinya di laut. Analisa *seakeeping* sangat diperlukan untuk melihat kemampuan kapal dalam bertahan pada

kondisi berbahaya saat menghadapi cuaca buruk.

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi unjuk kerja *seakeeping* kapal cepat rudal secara numerik yang dilakukan pada gelombang ekstrem (*sea state 5*) dan pada kondisi 2 sarat (*full load* dan *half load*). Hasil analisa numerik dipresentasikan dalam bentuk tabel hasil analisa statistik dan grafik RAO gerakan kapal.

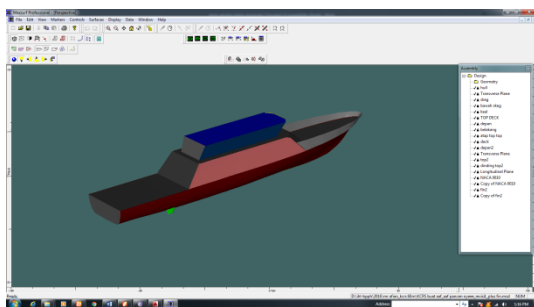
2. METODE

Pada penelitian ini, studi tentang unjuk kerja *seakeeping* kapal cepat rudal akan dikaji guna mengetahui tingkat kenyamanannya. Ukuran utama kapal disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal.

ITEM	NILAI	SATUAN
Length Over All (LOA)	59.543	m
Length on Water Line (LWL)	54.032	m
Breadth (B)	8.100	m
Draught (T)	2.570	m
Displacement volume moulded (Δ)	450.02.00	m ³

Pada penelitian ini perangkat lunak *Seakeeper*, yang terintegrasi dalam perangkat *Maxsurf* digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja *seakeeping* kapal. Kapal cepat rudal dengan ukuran yang disajikan pada (tabel.1) akan dianalisis terhadap beberapa kriteria pergerakan, yaitu: pergerakan relatif (RAO) dan analisa tabel statistiknya (RMS). Sedangkan model geometri kapal cepat rudal disajikan pada gambar 1.



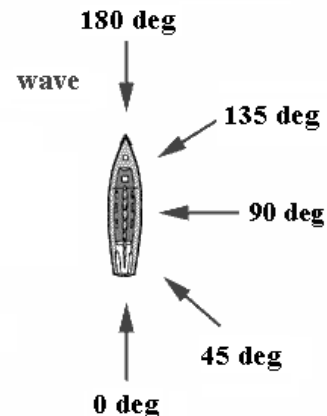
Gambar 1. Model geometri kapal cepat rudal

2.1 Simulasi *Seakeeping* kapal

Analisis dilakukan pada kecepatan kapal 28 knots. Pergerakan *heaving*, *rolling* dan *pitching* dianalisis pada *heading* 0°, 45°, 90°, 135°, 180° terhadap arah gelombang. Gelombang disimulasikan dalam 3 variasi yakni tinggi gelombang (H_s)₁ = 2.5 m dengan periode gelombang (T_p)₁ = 6 detik, tinggi gelombang (H_s)₂ = 3.25 m dengan periode gelombang (T_p)₂ = 7.5 detik dan tinggi gelombang (H_s)₃ = 4 m dengan periode gelombang (T_p)₃ = 9 detik (pada *sea state* 5), tabel *sea state* ditampilkan pada tabel 2.

Langkah awal dalam analisis *seakeeping* adalah perhitungan pergerakan relatif (RAO)

kapal, kemudian dilanjutkan dengan analisa statistik RMS.



Gambar 2. Heading gelombang terhadap arah kapal

Tabel 2. Sea State level

WMO Sea State Code	Wave Height	Characteristics
0	0 m (0 ft)	Calm (glassy)
1	0 - 0,1 m (0,00 - 0,33 ft)	Calm (rippled)
2	0,1 - 0,5 m (3,9 in - 1 ft 7,7 in)	Smooth (wavelets)
3	0,5 - 1,25 m (1 ft 8 in - 4 ft 1 in)	Slight
4	1,25 - 2,5 m (4 ft 1 in - 8 ft 2 in)	Moderate
5	2,5 - 4 m (8 ft 2 in - 13 ft 1 in)	Rough
6	4 - 6 m (13 - 20 ft)	Very rough
7	6 - 9 m (20 - 30 ft)	High
8	9 - 14 m (30 - 46 ft)	Very high
9	Over 14 m (46 ft)	Phenomenal

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan uraian pada pokok bahasan sebelumnya, bahwa kriteria *seakeeping* yang dianalisis pada penelitian ini adalah pergerakan relatif (RAO). Dimana pergerakan relatif (RAO), dibahas pada tiga jenis pergerakan, yaitu *heaving*, *rolling* dan *pitching* karena mode gerak ini yang dominan terjadi pada kapal dibandingkan mode gerak *surge*, *sway* dan *yaw*.

1. *Heaving*, adalah gerakan kapal yang sejajar sumbu Z dan saat terjadi *heaving* kapal mengalami naik turun secara *vertikal*.

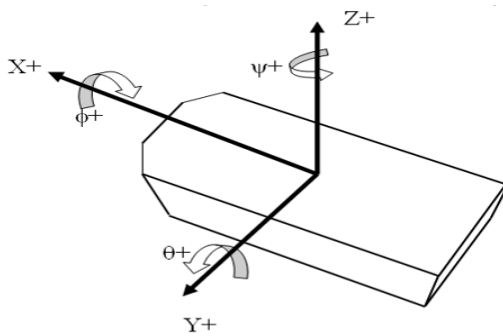
2. *Pitching*, adalah gerakan kapal yang memutar sumbu Y, ketika terjadi *pitching* kapal mengalami perubahan *trim* bagian *bow* dan stern secara bergantian.
3. *Rolling*, adalah gerakan kapal yang mengelilingi sumbu X, ketika terjadi *rolling* bagian sisi kanan kapal bergerak ke sebelah bagian sisi kiri kapal yang terulang secara bergantian.

Pengukuran dilakukan dengan mendefinisikan sesuai *right hand axis system*. Arah positif gerakan model adalah sebagai berikut:

- X : *surge*, arah depan
- Y : *sway*, arah *portside*
- Z : *heave*, arah atas

Untuk gerak *rotasi*, arah positif ditunjukkan sesuai arah jarum jam untuk masing-masing sumbu putar.

- ϕ : *roll* terhadap sumbu-x
- θ : *pitch* terhadap sumbu-y
- ψ : *yaw* terhadap sumbu-z



Gambar 3. Sumbu pada model fixed system.

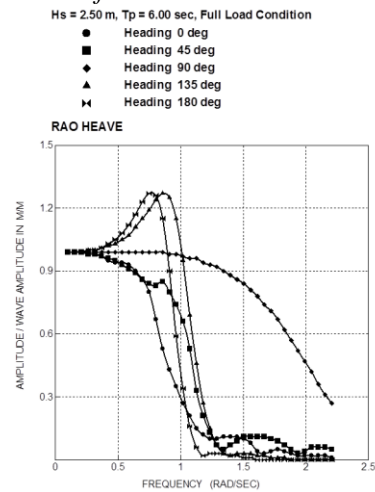
3.1 Hasil analisa *Respon Amplitudo Operator (RAO) KCR*

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

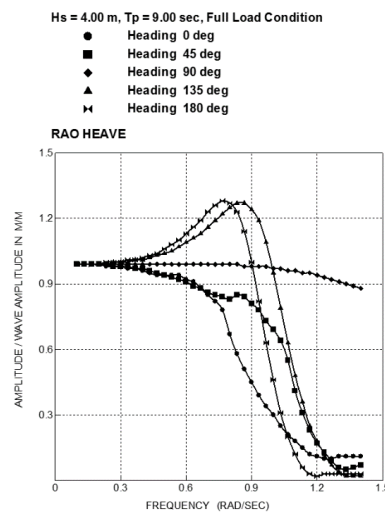
Pada kenyataannya, gelombang di laut adalah gelombang acak sehingga respon kapal terhadap gelombang reguler yang dinyatakan dalam RAO tidak dapat menggambarkan respon kapal pada keadaan sesungguhnya di laut. Untuk mendapatkan respon gerakan kapal terhadap gelombang acak dapat digambarkan dengan spektrum respon. Spektrum respon didapatkan dengan mengalikan spektrum gelombang (S_{ζ}) dengan RAO^2 . Persamaan spektrum respon adalah:

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2 \times S_{\zeta}(\omega) \tag{1}$$

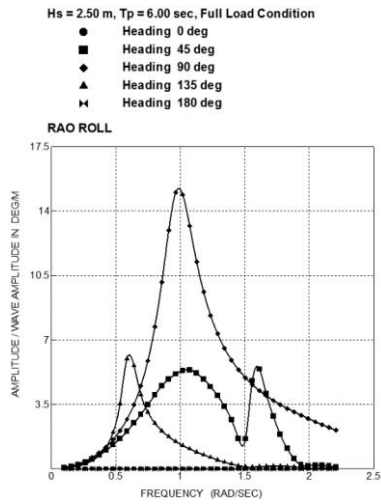
Grafik 1. sampai dengan grafik 6. menunjukkan respon gerakan kapal cepat rudal pada kondisi *full load* sedangkan grafik 7. sampai dengan 12. menunjukkan respon gerakan kapal cepat rudal pada kondisi *half load*.



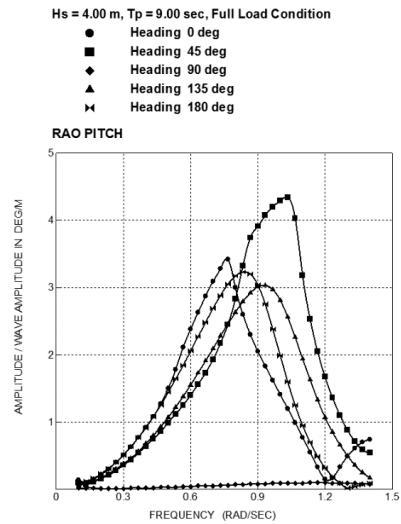
Grafik 1. RAO Heave kondisi full load, $H_s = 2.5$ m dan $T_p = 6.00$ s



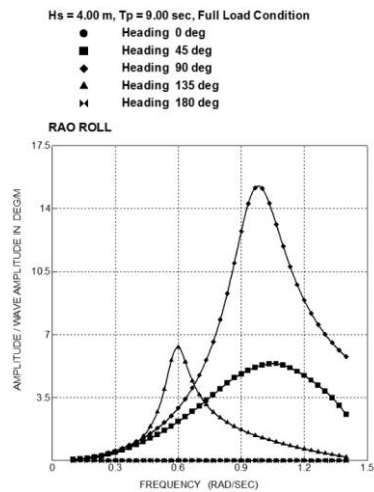
Grafik 2. RAO Heave kondisi full load, $H_s = 4.0$ m dan $T_p = 9.0$ s



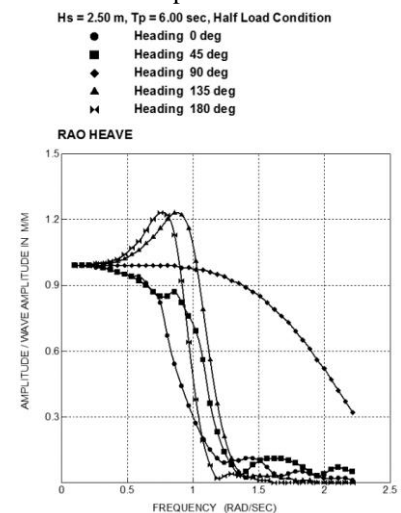
Grafik 3. RAO Roll kondisi full load, Hs = 2.5 m dan Tp = 6.00 s



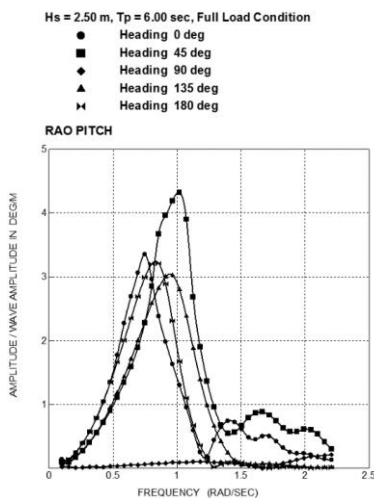
Grafik 6. RAO Pitch kondisi full load, Hs = 4.0 m dan Tp = 9.0 s



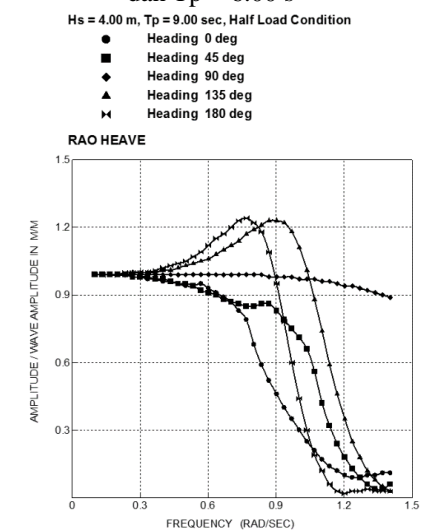
Grafik 4. RAO Roll kondisi full load, Hs = 4.0 m dan Tp = 9.0 s



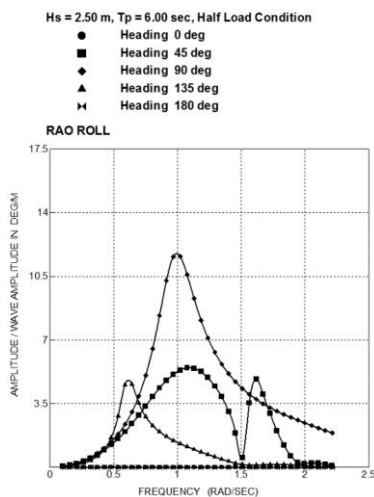
Grafik 7. RAO Heave kondisi half load, Hs = 2.5 m dan Tp = 6.00 s



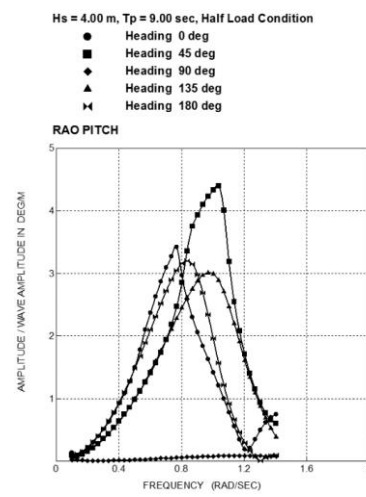
Grafik 5. RAO Pitch kondisi full load, Hs = 2.5 m dan Tp = 6.00 s



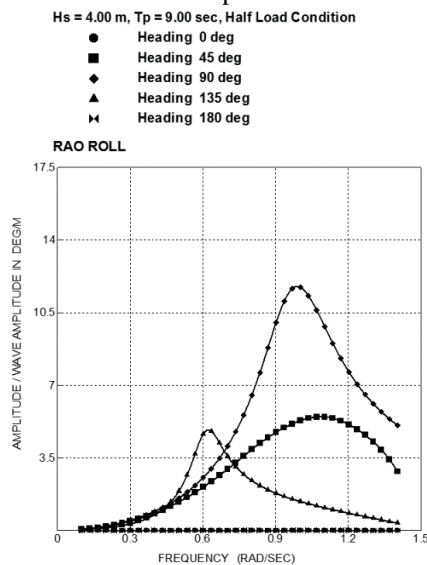
Grafik 8. RAO Heave kondisi half load, Hs = 4.0 m dan Tp = 9.0 s



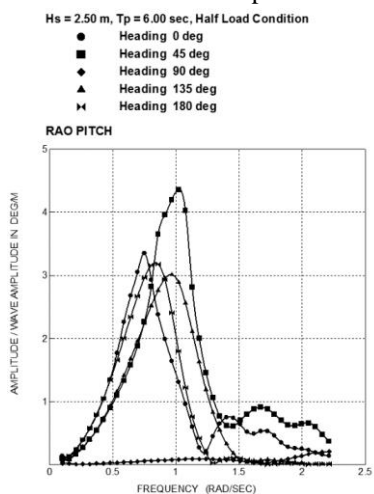
Grafik 9. RAO Roll kondisi half load, Hs = 2.5 m dan Tp = 6.00 s



Grafik 12. RAO Pitch kondisi half load, Hs = 4.0 m dan Tp = 9.0 s



Grafik 10. RAO Roll kondisi half load, Hs = 4.0 m dan Tp = 9.0 s



Grafik 11. RAO Pitch kondisi half load, Hs = 2.5 m dan Tp = 6.00 s

3.2. Hasil analisa statistik gerak KCR

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

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_{\zeta_r}(\omega) d\omega \tag{2}$$

Untuk kondisi *full* load hasil analisa statistik gerak kapal cepat rudal ditampilkan pada tabel 3. dimana gerakan *heave* tertinggi terjadi pada arah gelombang 135 derajat dengan ketinggian gelombang 4 meter yaitu 1.06425 meter, gerakan *roll* tertinggi pada terjadi pada arah gelombang 90 derajat dengan ketinggian gelombang 3.25 meter yaitu 6.883 deg, dan gerakan *pitch* tertinggi terjadi pada arah gelombang 0 derajat dengan ketinggian gelombang 4 meter yaitu 2.27075 deg.

Untuk kondisi *half* load hasil analisa statistik gerak kapal cepat rudal ditampilkan pada tabel 4. dimana gerakan *heave* tertinggi terjadi pada arah gelombang 135 derajat dengan ketinggian gelombang 4 meter yaitu 1.05025 meter, gerakan *roll* tertinggi pada terjadi pada arah gelombang 90 derajat dengan ketinggian gelombang 3.25 meter yaitu 5.58925 deg, dan gerakan *pitch* tertinggi terjadi pada arah gelombang 0 derajat dengan

ketinggian gelombang 4 meter yaitu 2.26325 deg.

Tabel 3. RMS FULL LOAD

Direction 0 Deg				
Sign Heigth	Peak-S Period	Heave	Roll	Picth
(m)	(s)	(m)	(deg)	(deg)
2,5	7	0,25775	0	1,08975
3,25	9	0,533	0	1,87875
4	11	0,79075	0	2,27075
Direction 45 Deg				
Sign Heigth	Peak-S Period	Heave	Roll	Picth
(m)	(s)	(m)	(deg)	(deg)
2,5	7	0,37075	2,6715	1,79125
3,25	9	0,61425	3,09775	2,1515
4	11	0,839	3,11175	2,1795
Direction 90 Deg				
Sign Heigth	Peak-S Period	Heave	Roll	Picth
(m)	(s)	(m)	(deg)	(deg)
2,5	7	0,573	6,22	0,0515
3,25	9	0,7785	6,883	0,0545
4	11	0,97075	6,5595	0,05575
Direction 135 Deg				
Sign Heigth	Peak-S Period	Heave	Roll	Picth
(m)	(s)	(m)	(deg)	(deg)
2,5	7	0,54425	1,11675	1,32825
3,25	9	0,843	2,65475	1,742
4	11	1,06425	3,721	1,872
Direction 180 Deg				
Sign Heigth	Peak-S Period	Heave	Roll	Picth
(m)	(s)	(m)	(deg)	(deg)
2,5	7	0,44075	0	1,23625
3,25	9	0,796	0	1,915
4	11	1,05525	0	2,22075

Tabel 4. RMS HALF LOAD

Direction 0 Deg				
Sign Heigth	Peak-S Period	Heave	Roll	Picth
(m)	(s)	(m)	(deg)	(deg)
2,5	7	0,26225	0	1,09575
3,25	9	0,5405	0	1,87725
4	11	0,79875	0	2,26325
Direction 45 Deg				
Sign Heigth	Peak-S Period	Heave	Roll	Picth
(m)	(s)	(m)	(deg)	(deg)

(m)	(s)	(m)	(deg)	(deg)
2,5	7	0,38	2,69175	1,80725
3,25	9	0,624	3,08	2,162
4	11	0,85775	3,078	2,18625
Direction 90 Deg				
Sign Heigth	Peak-S Period	Heave	Roll	Picth
(m)	(s)	(m)	(deg)	(deg)
2,5	7	0,575	5,0175	0,04875
3,25	9	0,779	5,58925	0,051
4	11	0,97075	5,36325	0,05175
Direction 135 Deg				
Sign Heigth	Peak-S Period	Heave	Roll	Picth
(m)	(s)	(m)	(deg)	(deg)
2,5	7	0,541	1,0105	1,34175
3,25	9	0,83125	2,21125	1,74175
4	11	1,05025	3,03425	1,866
Direction 180 Deg				
Sign Heigth	Peak-S Period	Heave	Roll	Picth
(m)	(s)	(m)	(deg)	(deg)
2,5	7	0,44075	0	1,256
3,25	9	0,784	0	1,91625
4	11	1,0385	0	2,2125

4. KESIMPULAN

Prediksi *seakeeping* Kapal Cepat Rudal telah dilaksanakan. Berdasarkan hasil-hasil yang telah dikemukakan diatas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa dari beberapa sudut gelombang yang disimulasikan, diketahui bahwa kondisi arah gelombang 90 derajat (*beam seas*) merupakan kondisi terburuk yang secara umum terjadi di kapal, terutama pada mode gerak *roll* yang terkait dengan stabilitas kapal. Perubahan arah kapal sangat diperlukan untuk memperbaiki tingkat kenyamanan awak kapal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami dari hati yang paling dalam mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset, dan Kawasan Sain Teknologi BRIN dan Pusat Riset Teknologi Hidrodinamika-BRIN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lloyd, A. R. J. 1909. "Seakeeping Ship Behaviour In Rough Water". Ellis Horwood Ltd. New York.
- [2] Bhattacharyya, Rameswar. 1978. "Dynamic Of Marine Vehicles". Jhon Wiley & Sons. New York.
- [7] "The International Standard ISO 2631-1," in Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole body vibration, 1997.
- [4] A. R. J. M. Lloyd, Bsc. Ph.D., 1989. SEAKEEPING: Ship Behaviour In Rough Weather. England: Ellis Horwood Limited.
- [5] M. Iqbal, R. Nugraha, "Perancangan sistem kendali kapal untuk menghindari tabrakan menggunakan pengolahan citra", Jurnal of Engineering, Universitas Telkom, vol. 4, no. 2, pp. 1426-1433, 2017.
- [6] E. Freaks, "HC-SR04 User Guide," Elec Freaks, pp. 1-6, 2011.
- [7] Studuino, "Studuino Gyroscope." Environment and Software, pp. 1-15, 2012.
- [8] Ats, "Advanced Telemetry Systems - Manual Tracking," pp. 1-5, 2009.
- [9] A. Fallis, "Qualisis pdf," J. Chem. Inf. Model., vol. 53, no. 9, pp. 1689-1699, 2013.
- [10] IMO, "COLREGS - International Regulations for Preventing Collisions at Sea," Conv. Int. Regul. Prev. Collisions Sea, 1972, pp. 1-74, 1972.