

KAJIAN SEAKEEPING KAPAL FERRY RO-RO 750 GT BERBASIS PENGUJIAN HIDRODINAMIKA

Ahmad Syafiul M¹

¹ Balai Teknologi Hidrodinamika - BPPT, Surabaya

Email: ahmadsmujahid@gmail.com

ABSTRACT

The Ferry Ro-Ro is a ship that functions to crossing inter island and to transport vehicles, passengers and goods. Building a ship requires a very large investment value so that the design of the ship is a very important consideration by conduct the intens study to determine the performance of a ship, one of them is the performance of the ship motion, endurance, and reliability while sailing which can be seen by conducting a hydrodynamic test in the form of a seakeeping test on the Ferry Ro-Ro Ship Model. This study conduct the seakeeping testing due to Ferry Ro-Ro 750 GT Ship Model which aims to predict the pattern of ship behavior by using the seakeeping test methods at Manoeuvring and Ocean Basin at Laboratorium Hidrodinamika Indonesia at Balai Teknologi Hirdoinamika - BPPT with th parameter Wave Height $H_s = 2.50$ m, Wave Period $T_p = 9.00$ s by heading 180 deg and 135 deg, and model scale is 1 : 21.19. The seakeeping test procedure for the Ferry Ro-Ro 750 GT Ship Model is based on ITTC No 7.5-02-07-02 standards. Testing of the ship model is conducted by using the method of free running where ship moving at a speed of 12 knots (actual scale). Analysis of measurement results is displayed in the form of Response Amplitude Operator (RAO) and statical analysis. The hydrodynamic test results in the form of a seakeeping test of Ferry Ro-Ro 750 GT Ship Model shows the value of Root Mean Square (RMS) of each direction of the ship relative to the direction of arrival of the wave (heading) 180 deg with roll value = 0.825 deg and pitch value = 2.231 deg. And heading 135 deg with roll value = 2.410 deg and pitch value = 1.797 deg, where NORDFORSK 1987 criteria standard for RMS roll value is 6 deg, and RMS pitch value is 1.5 deg.

Keywords: Seakeeping, Ferry Ro-Ro, Hydrodynamics

PENDAHULUAN

Kapal Ferry Ro-Ro seperti pada Gambar 1 di bawah merupakan suatu kapal penyeberangan yang berfungsi mengangkut kendaraan, penumpang, dan barang. Kapal Ferry Ro-Ro merupakan armada kapal yang sangat vital di Negara Indonesia ini. Sebagai negara kepulauan dimana lebih dari 70% lalu lintas barang orang dan kendaraan dilakukan melalui jalur laut, sehingga dengan Kapal Ferry Ro-Ro dapat menjadi jembatan yang menghubungkan berbagai pulau-pulau di Indonesia. Sejalan dengan kebijakan Pemerintah Indonesia yang menggalakkan dibidang maritim berupa program tol laut yang berorientasi pada kemandirian dan kedaulatan di sektor maritim maka diperlukan adanya armada kapal yang memadai sehingga nantinya mampu mendorong pemerataan pembangunan, meningkatkan konektivitas antar pulau dan kelancaran mobilitas kendaraan, orang, dan barang secara efisien.

Tentunya dalam membangun sebuah kapal memerlukan nilai investasi yang sangat besar sehingga dalam perancangan kapal menjadi pertimbangan yang amat penting untuk perlu dilakukan kajian yang lengkap dan mendalam guna menjadi rujukan bagi perancang untuk mengetahui performa Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT yang akan dibangun seperti apa. Salah satu yang dilakukan adalah dengan melakukan pengujian

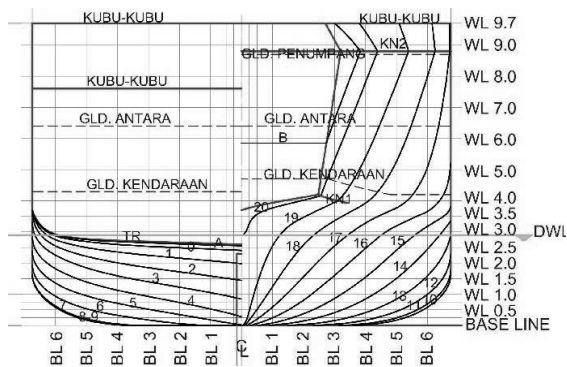
hidrodinamika berupa uji kehandalan kapal (*seakeeping*) pada Model Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT untuk mengetahui gambaran akan kemampuan kehandalan kapal yang akan berlayar di perairan dengan besar gelombang tertentu, serta menjadi salah satu rujukan untuk melihat perilaku gerak kapal guna menunjang aspek keselamatan kapal yang akan dibangun, sehingga kapal memiliki performa yang baik.



Gambar 1. Jenis Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT
Sumber: website di [3]

Beberapa penelitian terdahulu terhadap Kapal Ferry Ro-Ro maupun tentang kajian kehandalan kapal antara lain: (Ali, 2017) dalam penelitiannya pada kapal Self Propelled Container Barge sarat

rendah terhadap aspek hidrodinamika pada kapal tersebut dengan menggunakan metode pengujian. (Herbowo, 2017) menganalisa sudut kemiringan fin stabilizer yang paling optimum terhadap pengaruh gerak rolling pada Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT. (Muzdalifah, 2016) meneliti Kapal Ferry Ro-Ro pada aspek stabilitas kebocoran dan peluang kapal tenggelam dengan analisa perhitungan damage stability menggunakan metode pendekatan probabilistik dengan parameter aturan mengenai konsep probabilitas sesuai ketentuan SOLAS (Safety of Life at Sea) 2009 Chapter II-1. (Santoso, 2016) telah menganalisa terhadap pemilihan parameter utama dari kapal ferry catamaran kelas 1000 GT untuk mendapatkan desain kapal ferry yang optimal. Parameter utama kapal ditentukan dari optimasi data utama kapal yang mirip yang dijadikan acuan desain. (Utina, 2009) meneiti tentang uji manuver kapal ferry penumpang melalui metode simulasi Numerik dengan menggunakan software manuver SURSIM yang dapat digunakan untuk memprediksi kemampuan manuver kapal pada tahap disain, sehingga dapat ditentukan kemampuan kapal untuk berbelok dari lintasan lurus melalui manuver putar (course changing ability) pada kondisi muatan penuh pada sudut kemudi 35 derajat.



Gambar 2. Rencana garis Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT

Tabel.1. Data dimensi Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT

Item	Symbol Units	Dimension	
		Prototype	Model
Length over all	Loa (m)	52.5	2.47
Breadth	B (m)	13.4	0.63
Depth	D (m)	9.6	0.45
Draught	T (m)	2.8	0.13
Displacement	Δ (kg)	1150000	120
Length of centre gravity (from AP)	LCG (m)	22.25	1.05
Centre of gravity above base	VCG (m)	5.3	0.25

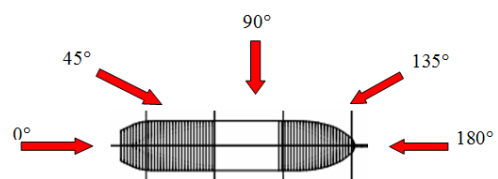
Kapal Ferry Ro-Ro dalam objek penelitian ini merupakan tipe Roll On - Roll Off yang memiliki pintu Ramp Door sebagai jembatan untuk menaikkan kendaraan ke dalam kapal seperti bis, truk, mobil, maupun motor, dengan katagori kapasitas sebesar 750 GT (Gross Tonnage) yang merupakan tipe kapal penyeberangan yang umumnya digunakan di pulau-pulau di Indonesia. Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT ini dituntut untuk dapat berlayar pada gelombang perairan pada umumnya di Indonesia. Gambar rencana garis body plan Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT ditampilkan pada

Gambar 2 di atas, sedangkan data Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT ditampilkan pada Tabel 1 di atas.

METODOLOGI PENELITIAN

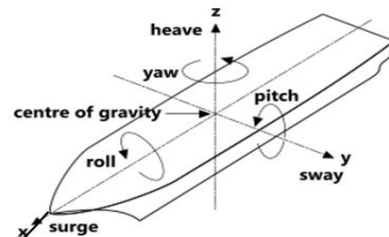
Penelitian ini meliputi kegiatan pengujian hidrodinamika yang dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia yang bertempat di Balai Teknologi Hidrodinamika – BPPT Surabaya. Jenis pengujian yang dilakukan adalah pengujian *seakeeping*. Pengujian Model Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT dilakukan di fasilitas kolam uji Manoeuvring and Ocean Basin (MOB) yang berdimensi 60.0 x 35.0 x 2.50 meter untuk masing-masing panjang, lebar dan kedalaman. Kolam uji dilengkapi dengan peralatan pembangkit gelombang untuk membangkitkan gelombang beraturan (regular wave) maupun tak beraturan (irregular wave) dan wave absorber untuk meredam gelombang pantul.

Pengujian *seakeeping* dilakukan pada kondisi gelombang irreguler menggunakan tipe spektrum Pierson - Moskowitz dengan tinggi gelombang signifikan $H_s = 2.50$ m dan periode peak gelombang $T_p = 9.00$ sec pada arah kapal relatif terhadap arah datangnya gelombang (*heading*): 180 degree dan 135 degree seperti ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah. Analisa hasil pengukuran disajikan dalam bentuk *Response Amplitude Operator (RAO)* dan *statical analysis* untuk mengetahui kualitas gerakan dari Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT.



Gambar 3. Sudut arah datangnya gelombang terhadap kapal

Prosedur pengujian kehandalan model kapal / *seakeeping* didasarkan pada standar ITTC No 7.5-02-07-02. Pengujian yang dilakukan adalah dengan menggunakan metode free running. Metode ini menggunakan sistem penggerak yang dapat dikendalikan sehingga dapat bergerak pada kecepatan 12 knot (skala sebenarnya) dan dapat diukur dalam 6 (enam) derajat kebebasan meliputi 6 (enam) DoF (Degree of Freedom) gerakan yaitu surge, sway, heave, roll, pitch, dan yaw, seperti skema yang ditunjukkan pada Gambar 4. Data gerak model kapal direkam dengan menggunakan sistem wireless optical tracking, sehingga menggambarkan fenomena gerakan kapal tersebut saat beroperasi.



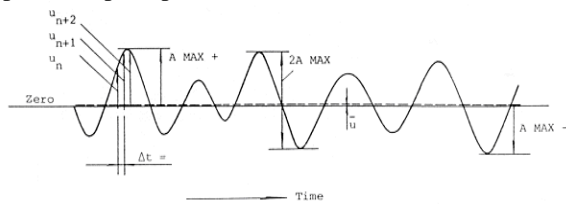
Gambar 4. Enam derajat kebebasan model kapal

Formula Spektrum Pierson-Moskowitz untuk gelombang pengujian *seakeeping* pada Model Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT adalah sebagai berikut [7]:

$$S_{\zeta}(\omega) = 172.8 \cdot T_1 \cdot (\zeta_{w1/3})^2 (T_1 \cdot \omega)^{-5} \cdot \exp[-691(T_1 \cdot \omega)^4] \quad (1)$$

dimana :

- ω = circular frequency
- $\zeta_{w1/3}$ = significant wave height
- T_1 = average wave period
- $T_p / T_1 = 1.296$
- T_p = peak period



Gambar 5. Sinyal gelombang *irregular*

Hasil pengujian gelombang *irregular* dengan *sampling* frekuensi data sebesar 50Hz disajikan dalam bentuk *statistical analysis* dengan beberapa parameter sinyal yang telah diukur. Definisi parameter sinyal tersebut adalah sebagai berikut:

1. Mean value :

$$u = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{n=N} u_n \quad (2)$$

dimana N adalah jumlah sampel data

2. Standard deviation :

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^{n=N} (u_n - u)^2} \quad (3)$$

3. Maximum Value :

- A Max + adalah nilai puncak tertinggi
- A Max - adalah nilai lembah terendah

4. Maximum double amplitude :

2AMAX adalah nilai maksimum tertinggi dari seluruh sinyal dari lembah ke puncak gelombang

5. Significant peak value :

- A 1/3 + adalah nilai rata-rata dari sepertiga tertinggi seluruh sinyal puncak gelombang
- A 1/3 - adalah nilai rata-rata dari sepertiga tertinggi seluruh sinyal lembah gelombang

6. Significant double amplitude :

2A 1/3 adalah nilai rata - rata dari sepertiga tertinggi seluruh sinyal lembah ke puncak gelombang

7. Response function :

Response Amplitude Operator (RAO) adalah nilai rasio antara *input wave amplitude* dan *output signal* untuk setiap frekuensi gelombang. RAO dihitung dengan menggunakan *spectral densities* dari gelombang dan *output signal* :

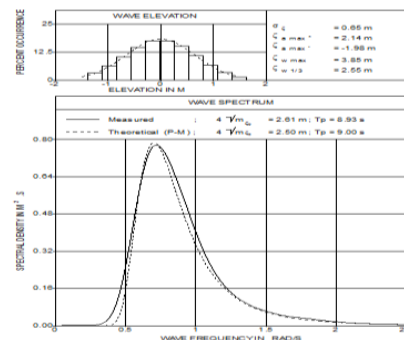
$$H_u(\omega) = \sqrt{\frac{S_u(\omega)}{S_{\zeta}(\omega)}} = \frac{u_a(\omega)}{\zeta_a} \quad (4)$$

dimana :

- u_a = measured signal
- ζ_a = measured wave
- S = spectral density function

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil *generate* gelombang yang dibangkitkan dalam pengujian *seakeeping* Model Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT diukur dengan alat ukur *wave probe*. Hasil spektrum dari gelombang yang di-*generate* dengan teori gelombang yang ditampilkan pada Gambar 6 memiliki tingkat validitas yang baik dan sesuai dengan requirement dari prosedur pengujian *seakeeping* Model Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT.



Gambar 6. Spektrum gelombang hasil pengukuran $H_s = 2.5 \text{ m}$; $T_p = 9 \text{ s}$.

Pada Gambar 7 menampilkan pelaksanaan proses pengujian *seakeeping* Model Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT yang bergerak secara *free running* pada kecepatan 12 knot (skala sebenarnya) yang melewati gelombang *irregular* pada spektrum gelombang yang ditampilkan pada Gambar 6 dengan arah datangnya gelombang sebesar 135 derajat terhadap model kapal, sedangkan pada Gambar 8 menunjukkan proses yang sama dengan arah datangnya gelombang sebesar 180 derajat terhadap model kapal,

Hasil pengujian *seakeeping* yang telah dilakukan pada Model Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT ditampilkan dalam bentuk Grafik RAO (*Response Amplitude Operator*) dan *statistical analysis*. Nilai RMS (*Root Mean Square*) merupakan nilai standar deviasi yang digunakan untuk mengevaluasi gerak kapal apakah masih dalam batas aman atau tidak.

Nilai RMS merujuk kepada aturan *Standard Criteria NORDFORSK 1987*.



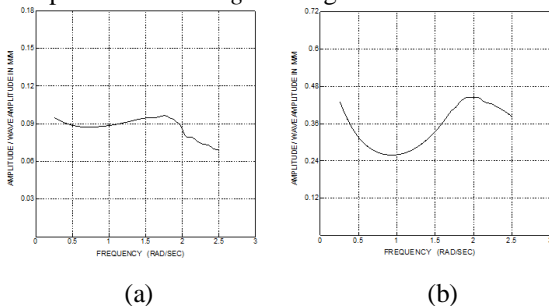
Gambar 7. Proses pengujian *seakeeping* Model Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT heading 135 deg



Gambar 8. Proses pengujian *seakeeping* Model Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT heading 180 deg

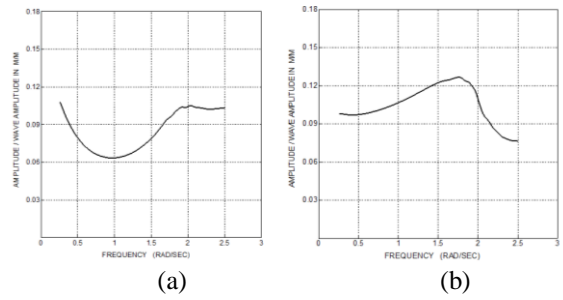
Gerak Surge, Sway, dan Yaw

Gerakan *surge*, *sway*, dan *yaw* dalam prediksi gerakan kapal biasanya menjadi pertimbangan bukan yang utama dalam kenyamanan penumpang dan keselamatan kapal. Dari pengujian didapat pola grafik RAO *surge* untuk heading 135 deg dan 180 deg seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9, dimana RMS *surge* atau standar deviasi *surge* pada 135 deg sebesar 0.059 m dan pada arah heading 180 deg sebesar 0. 211 m.



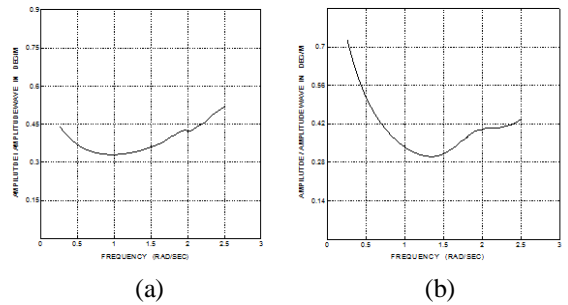
Gambar 9. RAO gerak *surge*, $H_s = 2.5$ m; $T_p = 9$ s
(a). Heading 135 deg. (b). Heading 180 deg

Dari pengujian juga didapat pola grafik RAO *sway* untuk heading 135 deg dan 180 deg seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10, dimana RMS *sway* atau standar deviasi *sway* pada 135 deg sebesar 0.069 m dan pada arah heading 180 deg sebesar 0.052 m.



Gambar 10. RAO gerak *sway*, $H_s = 2.5$ m; $T_p = 9$ s
(a). Heading 135 deg. (b). Heading 180 deg

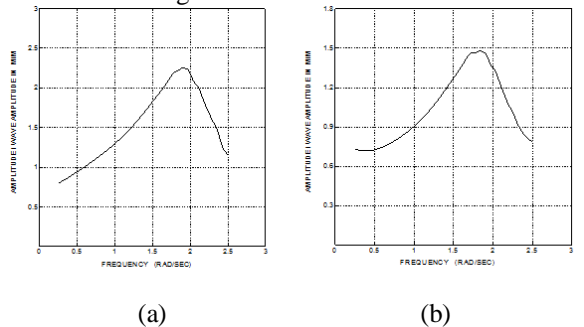
Sedangkan pada pola grafik RAO *yaw* untuk heading 135 deg dan 180 deg ditunjukkan pada Gambar 11, dimana RMS *yaw* atau standar deviasi *yaw* pada 135 deg sebesar 0.243 m dan pada arah heading 180 deg sebesar 0.308 m. Untuk gerak *sway*, *surge*, dan *yaw* tidak ada limit yang ditentukan dalam *standard criteria* NORDFORSK 1987.



Gambar 11. RAO gerak *yaw*, $H_s = 2.5$ m; $T_p = 9$ s
(a). Heading 135 deg. (b). Heading 180 deg

Gerak Heaving

Gerak *heaving* merupakan gerakan vertikal ke atas maupun ke bawah dari kapal terhadap titik pusat gravitasinya. Dari pengujian didapat pola grafik RAO *heave* untuk heading 135 deg dan 180 deg seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12, dimana nilai RMS *heave* atau standar deviasi *heave* adalah 0.607 m untuk heading 180 deg dan 0.841 m untuk 135 deg. *Heaving maximum* 2.113 m pada heading 180 deg dan 2.775 m pada 135 deg. tidak ada limit yang ditentukan dalam *standard criteria* NORDFORSK 1987. Gerak *heaving* pada kapal sering berhubungan pula dengan *couple pitching*. Gerakan *porpoising* yang besar (*couple heaving* dan *pitching*) akan mengakibatkan gerak *roll* berlebihan dalam arah 180 derajat dari datangnya gelombang atau disebut dengan istilah *head sea*.

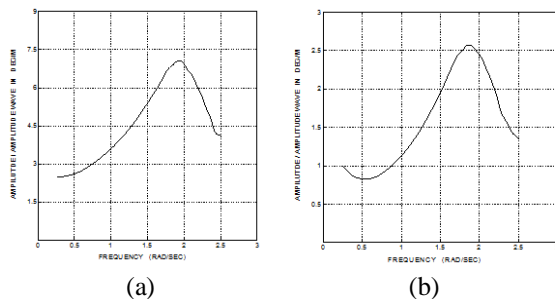


Gambar 12. RAO gerak *heave*, $H_s = 2.5$ m; $T_p = 9$ s

(a). Heading 135 deg. (b). Heading 180 deg

Gerak Rolling

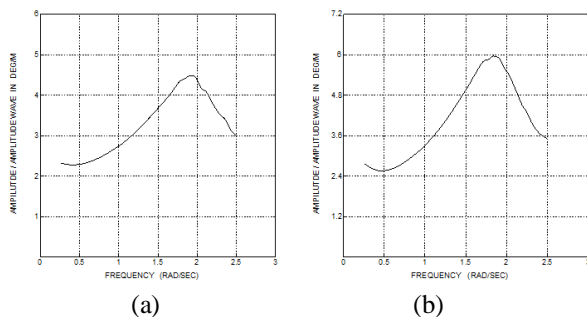
Gerak *rolling* merupakan mode gerak penting yang berhubungan dengan stabilitas kapal. Dari pengujian didapat pola grafik RAO *roll* untuk heading 135 deg dan 180 deg seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13, dimana RMS atau *standard deviasi roll* untuk heading 180 deg adalah 0.825 deg, sedangkan pada heading 135 deg adalah 2.410 deg, lihat Tabel 1.3. dan 1.4. pada Lampiran-1. Dalam *standard criteria* NORDFORSK 1987 untuk golongan *merchant ship*, RMS gerak *roll* diberikan limit 6 deg. Perlu diketahui bahwa nilai *maximum roll* juga penting, meskipun terjadi dalam satu *cycle* namun besaran *roll* yang tinggi sangat berpengaruh pada kondisi stabilitas kapal. Hasil pengukuran *maximum roll* pada 180 deg didapat 2.600 deg dan pada 135 deg didapat 13.084 deg. Besaran *roll* yang besar ini perlu diwaspadai dikarenakan kapal yang akan dioperasikan pada kondisi *sea state* 4.



Gambar 13. RAO gerak *roll*, $H_s = 2.5$ m; $T_p = 9$ s
(a). Heading 135 deg. (b). Heading 180 deg

Gerak Pitching

Gerak *Pitching* merupakan gerak rotasi kapal mengangguk. Dari pengujian didapat pola grafik RAO *pitch* untuk heading 135 deg dan 180 deg seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14, dimana RMS *pitch* dari pengujian diperoleh sebesar 2.231 deg untuk heading 180 deg dan 1.797 deg untuk 135 deg, dan nilai ini harus diperhatikan karena melebihi limit RMS gerak *pitch*. Data nilai *maximum pitch* terlihat melebihi nilai yang terdapat pada standar kriteria NORDFORSK 1987. Pada heading 180 deg diketahui sebesar 8.498 deg dan pada 135 deg adalah 5.544 deg. Dalam *standard criteria* NORDFORSK 1987 untuk golongan *merchant ship*, RMS gerak *pitch* diberikan limit 1.5 deg.



Gambar 14. RAO gerak *pitch*, $H_s = 2.5$ m; $T_p = 9$ s
(a). Heading 135 deg. (b). Heading 180 deg

Sea state merupakan skala kondisi gelombang perairan yang merepresentasikan tinggi gelombang dan periode gelombang. Perencanaan jalur pelayaran pada sea state yang tinggi sangat mempengaruhi gerakan *pitching* suatu kapal. Gerak *pitching* ini juga akan mempengaruhi gerak *slamming*, *deck wetness*, dan *vertical acceleration* dari suatu kapal.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian terhadap *seakeeping* Model Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT dengan menggunakan kolam uji hidrodinamika maka dapat diambil kesimpulan bahwa perilaku gerak kapal dapat dilihat dari hasil uji hidrodinamika: uji *seakeeping* (uji kehandalan kapal) model dimana Root Mean Square (RMS) masing-masing arah kapal relatif terhadap arah datangnya gelombang (heading) 180 deg dengan nilai roll = 0.825 deg dan nilai pitch = 2.231 deg; serta heading 135 deg dengan nilai roll = 2.410 deg dan nilai pitch = 1.797 deg. Dimana *standard criteria* NORDFORSK 1987 untuk nilai RMS roll = 6 deg dan nilai RMS pitch = 1.5 deg. Dari pengujian dapat diketahui bahwa amplitudo gerakan maximum yang besar terjadi mungkin dikarenakan kondisi sea state yang terlalu besar dalam operasional, serta arah gerak kapal relatif terhadap gelombang berpengaruh sangat signifikan dalam hal tersebut. Sehingga perlu diwaspadai gerakan *pitching* yang melebihi batas standar kriteria NORDFORSK 1987

SARAN

Saran untuk penelitian lebih lanjut adalah dilakukan kajian untuk meredam atau mengurangi gerak *pitching* (angguk) kapal Ferry Ro-Ro 750 GT yang terlalu besar dan melebihi ketentuan peraturan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ali, Baharuddin, et al. (2017) *Analisa Hidrodinamika Kapal Container Sarat Rendah*. KAPAL, Vol. 14, No. 3 Oktober
- [2] Herbowo, Airlangga et al. (2017). "Analisa Fin Stabilizer terhadap Rolling pada Kapal Ferry Ro-Ro 500 GT dengan metode CFD". *Jurnal Teknik Perkapalan* Vol. 5, No. 1
- [3] <https://www.drushipyard.com/our-work/ferry-roro-750-gt/> diakses pada 22 November 2018 pukul 09.19 GMT + 7.
- [4] Muzdalifah, Lily, Deddy Chrismianto, Eko Sasmito Hadi. (2016). *Analisa Keselamatan Kapal Ferry Ro-Ro Ditinjau dari Damage Stability Probabilistik*. *Jurnal Teknik Perkapalan*, universitas Diponegoro.
- [5] Santoso, Mardi. (2016). *Studi Perancangan Kapal Ferry Tipe Catamaran 1000 GT*. Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [6] Utina. M. Ridwan, Cahyadi Sugeng Jati Mintarso. (2009). *Simulasi Manuver Turning*

- Kapal Ferry Penumpang*. Jurnal WAVE : Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim. Vol 3 No 2.
- [7] W.J. Pierson and L. Moskowitz: *A proposed spectral form for fully developed wind seas based on similarity theory of S.A Kitaigorodskii* Journal of Geophysical Research, Vol.69 No. 2, December 1964.
- [8] (1987). *NORDFORSK Standard Criteria*