

DESAIN KARAKTERISTIK KAPAL MARKAS UNTUK OPERASI PENGAMANAN PERAIRAN PERBATASAN DAN DUKUNGAN PENANGANAN PASCA BENCANA ALAM PADA MASYARAKAT PULAU TERLUAR

CHARACTERISTICS DESIGN OF HEADQUARTERS SHIP FOR BORDER PROTECTION OPERATION AND SUPPORT TO POST-NATURAL DISASTER MANAGEMENT IN THE OUTLYING ISLANDS COMMUNITY

Samudro^a dan Abdul Kadir^b

^a Pusat Teknologi Industri Pertahanan dan Keamanan BPPT

^b Pusat Teknologi Industri dan Sistem Transportasi BPPT

^asamudro@bppt.go.id, ^babdul.kadir@bppt.go.id

Abstrak

Ditinjau dari segi kedaulatan dan pertahanan-keamanan nasional, keberadaan pulau-pulau terluar di perairan perbatasan di bagian utara Sulawesi Utara mempunyai arti strategis bagi Indonesia dan layak untuk diamankan. Di sisi lain, wilayah geografis Sulawesi Utara dengan beberapa gunung berapi dan perairan terbuka menghadap ke samudra Pasifik, rawan terjadi bencana alam gempa dan Tsunami. Secara konseptual strategis perlu dikaji kebutuhan sarana dukung transportasi - kapal untuk pengamanan pulau-pulau terluar dan untuk kesiagaan penanganan bencana alam bagi masyarakat wilayah perairan perbatasan. Karenanya pada kajian ini dilakukan studi disain prototip kapal markas yang dilengkapi bulbous-bow untuk mampu beroperasi sesuai karakteristik pada perairan perbatasan bergelombang tinggi, serta berfungsi sebagai sarana dukung operasional patroli pengamanan perairan perbatasan dan penanganan pasca bencana alam. Desain kapal markas panjang 66 m dengan daya 2x155 HP, kecepatan dinas 12,5 Knot telah diuji model di laboratorium hidrodinamika untuk kemampuan ship powering, maneuvering dan sea-keeping dengan hasil memenuhi ketentuan persyaratan IMO.

Kata Kunci : Desain kapal markas, pengamanan perairan perbatasan, bantuan pasca bencana alam, bulbousbow, uji laboratorium hidrodinamika

Abstract

In terms of sovereignty and defense-security national, the existence of outer islands in the border at northern North Sulawesi has strategic significance for Indonesia and is worthed to keep. On the other hand, the geographical area of North Sulawesi with several volcanoes and open waters facing the Pacific Ocean susceptible occurs earthquakes and Tsunami. In a strategic conceptual, need to be reviewed transportation support facilities such as the ship for the security of the outer islands and for the alertness of handling natural disasters for the community of border areas. Therefore, the study of a bulbous-bow headquarters ship prototype was designed adequate to operate compatible to the characteristics of high wavy border waters, as well as to support the operational patrol of border marine security and post-disaster handling. The design of the ship's 66 m headquarters with 2x155 HP power and the official speed of 12.5 Knot has been tested in the hydrodynamics laboratory model for ship powering, maneuvering, and sea-keeping capabilities with results conform to requirements of IMO.

Keywords: Headquarters ship design, border water security, post-aid Natural disaster, Bulbousbow,hydrodynamic laboratory test

Diterima (recieved) : 15 Mei 2016, Direvisi (Revised) : 03 Oktober 2016, Disetujui (Accepted) : 27 November 2016

PENDAHULUAN

Wilayah perairan perbatasan Indonesia yang luas berseberangan dengan 10 negara tetangga (Philipina, Malaysia, Singapura, Vietnam, Thailand, India, Australia, Timor Leste, Palau, Papua Nugini) serta memiliki kurang lebih 92 pulau-pulau terluar merupakan salah satu aspek strategis nasional. Ditinjau dari sisi kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI), dari sisi pertahanan dan keamanan nasional, pemanfaatan sumberdaya alam serta sebagai referensi penentuan landas kontinen negara, kedudukan pulau terluar merupakan wilayah teritorial terdepan yang harus dipertahankan¹⁾. Khususnya di wilayah perairan perbatasan bagian utara Provinsi Sulawesi Utara berbatasan dengan negara Philipina, disana terdapat pulau Marore dan pulau Miangas yang terpencil menjadi salah satu titik dasar batas wilayah Indonesia. Kondisi wilayah perairan perbatasan di bagian utara provinsi Sulawesi Utara merupakan perairan yang terbuka berhubungan langsung dengan perairan Samudera Pasifik, menjadikan titik rawan terjadi bencana badai gelombang tinggi dan Tsunami, posisi strategis ini ditunjukkan pada Gambar 1.



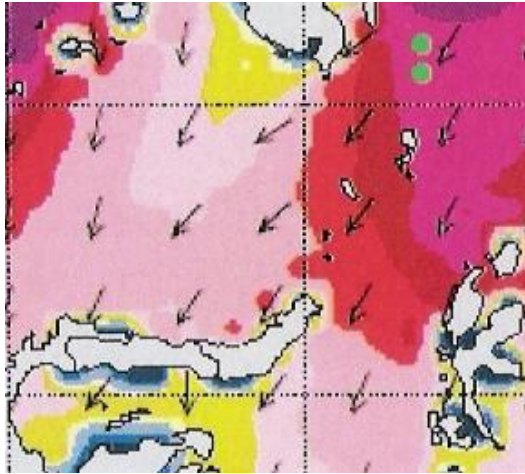
Gambar 1.

Lokasi P. Miangas dan P. Marore di Perairan Terbuka Perbatasan

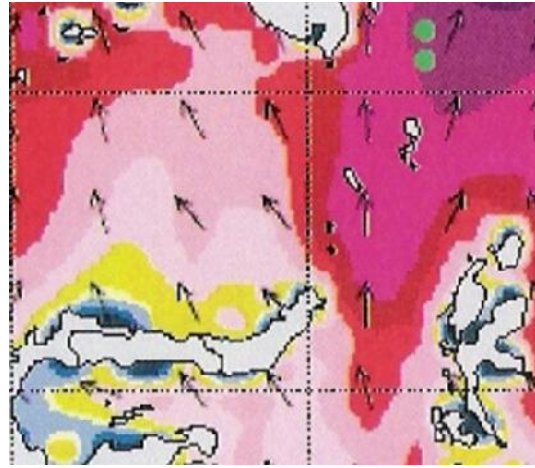
Perlu dipertimbangkan pula bahwa wilayah geografi Indonesia yang dikelilingi gunung berapi aktif, menjadi wilayah pertemuan tiga lempeng besar dunia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik berpotensi risiko rawan bencana gempa dan erupsi gunung berapi termasuk wilayah Sulawesi Utara terlingkup dalam rangkaian gunung berapi Indonesia. Dengan kondisi geografis seperti ini wilayah perairan perbatasan Sulawesi Utara memiliki potensi bencana alam yang cukup tinggi, antara lain gempa bumi, gunung meletus, badai tropis maupun tsunami, terutama dengan karakter serupa untuk kawasan pulau Miangas dan pulau Marore. Dengan kondisi seperti ini, penempatan pos satuan pengamanan perbatasan dan kehidupan masyarakat di wilayah pulau-pulau terluar ini juga sering mengalami kesulitan. Terlebih saat kondisi cuaca ekstrem dan bencana terjadi, dukungan transportasi logistik secara reguler untuk pos pengamanan perbatasan maupun untuk masyarakat menjadi salah satu kendala utama. Keterbatasan kapal laut pendukung suplai logistik yang mampu beroperasi pada cuaca ekstrem serta mahalnya biaya operasi kapal yang menyimpulkan pemikiran yaitu perlunya dilakukan perancangan kapal dengan karakteristik khusus untuk mendukung tugas operasional tersebut. Oleh karena itu, implementasi konseptual rancang bangun Kapal Markas sebagai pendukung operasional tugas patroli pengamanan juga berfungsi sebagai kapal pendukung logistik masyarakat dan penanganan pasca bencana alam untuk perairan perbatasan pulau-pulau terluar perlu dipertimbangkan. Kapal harus didisain sesuai karakteristik untuk beroperasi di perairan ekstrem perbatasan.

Analisa Kondisi Permasalahan Kondisi perairan perbatasan

Wilayah perairan perbatasan di bagian utara Sulawesi Utara yang menghadap ke arah Samudera Pasifik merupakan perairan terbuka seperti yang terlihat pada Gambar 1. Rata-rata pada paruh tahun terjadi perbedaan intensitas gelombang yang menyolok²⁾.



Gambar 2a.
Profil gelombang perairan utara Sulawesi
Utara – bulan Januari



Gambar 2b.
Profil gelombang perairan utara Sulawesi
Utara – bulan Agustus

Pada bulan Januari-Februari intensitas arah gelombang dari perairan Samudra Pasifik masuk ke wilayah perairan Indonesia mengarah ke barat daya perairan Sangir-Talaud. Umumnya kondisi perairan relatif agak tenang, meski memungkinkan terjadi rata-rata ketinggian gelombang bisa mencapai 2 – 3 meter mendekati daerah perairan Sulawesi Utara, sementara di perairan perbatasan disekitar pulau Marore dan pulau Mianggas sampai mencapai ketinggian 4 – 5 meter, sebagaimana terlihat pada Gambar 2a. Pada bulan Agustus-September kondisi perairan berubah lebih ekstrim, intensitas arah gelombang mengarah ke Samudera Pasifik kearah utara-barat laut perairan Sangir-Talaud. Pada kondisi memasuki musim hujan, di perairan sekitar pulau Marore dan Miangas tinggi gelombang mencapai 5 meter lebih. Karakteristik perairan di sini cenderung ekstrim sebagaimana terlihat pada Gambar 2b.

Bencana gunung berapi dan Tsunami di perairan perbatasan

Wilayah geografis perairan di bagian utara Sulawesi Utara terdapat beberapa bentukan gunung berapi aktif yang berpotensi menimbulkan gempa bumi dan bencana tsunami³⁾.

Tabel.1.
Kejadian Tsunami di Perairan Sulawesi
Bagian Utara

Tahun	Sumber	Wilayah	Korban
1976	M8,1 Earth quake	SW Mindanau	4000
1918	M8,2 Earth quake	SW Mindanau	102
1871	Volcano, earth quake	Sulawesi Sea	400
1856	Volcano	Sulawesi Sea	100

Beberapa data kejadian gempa bumi yang menimbulkan tsunami seperti pada Tabel 1. Dari hasil beberapa prediksi simulasi terjadinya gempa bumi akibat tubrukan ataupun interseksi antar lempeng bumi maupun pertumbuhan gunung berapi di wilayah perairan bagian Utara Sulawesi Utara tercatat bahwa potensi sumber gempa akan terjadi di daerah perairan dangkal kedalaman < 6000 m namun dapat menimbulkan besaran gempa bumi sampai M 7,8. Hal ini dapat menimbulkan ketinggian ombak sampai dengan 4 m. Demikian juga dari hasil prediksi simulasi Tsunami yang terjadi di daerah garis pantai pulau pulau di bagian utara Sulawesi Utara ketinggian permukaan perairan dapat mencapai ketinggian melebihi 10m³⁾.

Karakteristik Desain Kapal Markas untuk perairan perbatasan

Kapal Markas dirancang sesuai dengan karakteristik kondisi operasional kapal di perairan perbatasan utara Sulawesi Utara. Kapal mampu beroperasi pada kondisi tinggi gelombang ekstrem dengan kemampuan olah gerak (*ship maneuvering*) dan kehandalan (*sea-keeping quality performance*) yang memenuhi persyaratan IMO. Untuk mendukung efektifitas kemampuan daya gerak kapal diperairan bergelombang, di bagian haluan kapal dipasang *bulbous bow* untuk membantu pengurangan hambatan gelombang pada kapal.

Kapasitas kapal dirancang mampu memuat keperluan transportasi satuan pengamanan dan perlengkapan satuan serta dukungan logistik perlengkapan operasi untuk penanganan bantuan pasca bencana di wilayah pulau terluar. Kecepatan dan jarak jelajah kapal dirancang cukup mampu beroperasi dari pangkalan TNI-AL di kota Bitung untuk mencapai jangkauan jarak jelajah penanganan lokasi darurat terjauh dalam waktu tidak lebih dari 3 hari.

Dalam perancangan Kapal Markas, kapal mempunyai 3 misi dasar/ peran utama, yaitu : (1) Kapal berperan sebagai kapal pendukung patroli reguler dalam wilayah perairan perbatasan, (2) Kapal menjadi sarana transportasi satuan pengamanan dan bantuan pengiriman logistik di wilayah pulau terluar perairan perbatasan, (3) Kapal menjadi sarana transportasi bantu untuk penanganan pasca bencana alam pada masyarakat dengan peran sebagai poliklinik darurat terapung pada satu wilayah pulau terluar perbatasan⁴⁾.

BAHAN DAN METODE

Metodologi perancangan Kapal Markas untuk patroli pengamanan , transportasi rotasi pasukan penjagaan dan dukungan penanganan pasca bencana pada daerah perairan Utara Sulawesi melalui tahapan :

TAHAP (1)

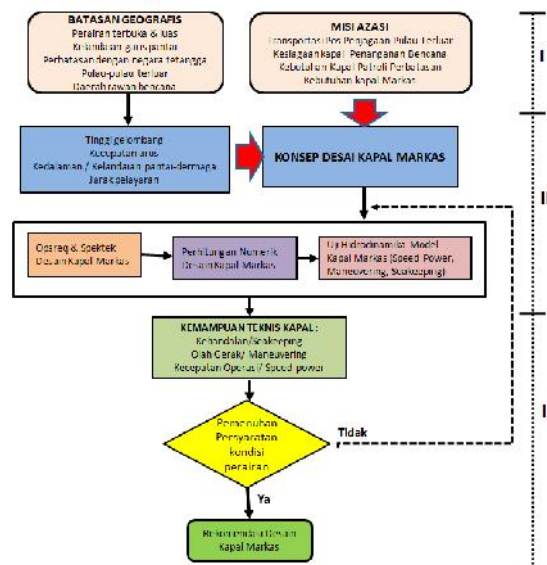
- ❑ Kajian misi azasi fungsi dan kebutuhan kapal markas multi guna
- ❑ Kajian batasan / konstrain faktor geografis daerah operasi kapal, kondisi perairan serta faktor geopolitis daerah perbatasan antar negara.
- ❑ Kajian khusus kondisi operasional perairan (Ombak, Arus laut)

TAHAP (2)

- ❑ Perancangan Konsep Kapal Markas dilanjutkan dengan kajian syarat Operational requirement (Opsreq) dan penyusunan spesifikasi teknis kapal Markas (Spektek)
- ❑ Kajian pada pradesain kapal melalui perhitungan numerik
- ❑ Kajian hasil pengujian hidrodinamika model kapal pada kolam uji (ship powering) dan pengujian numerik kemampuan olah gerak dan kehandalan kapal (ship maneuvering, sea-keeping)

TAHAP (3)

- ❑ Kajian kemampuan teknis kapal Markas serta membandingkan dengan kondisi perairan
- ❑ Hasil akhir rekomendasi karakteristik desain kapal yang memenuhi syarat



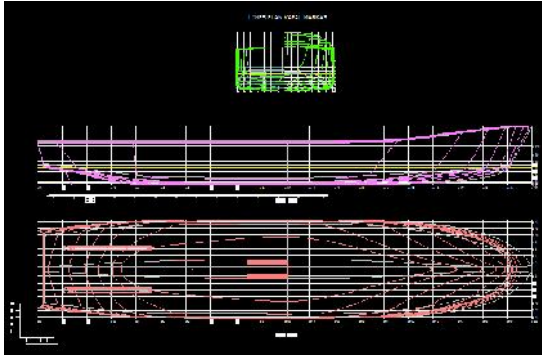
Gambar 3. Diagram Metodologi

HASIL DAN PEMBAHASAN

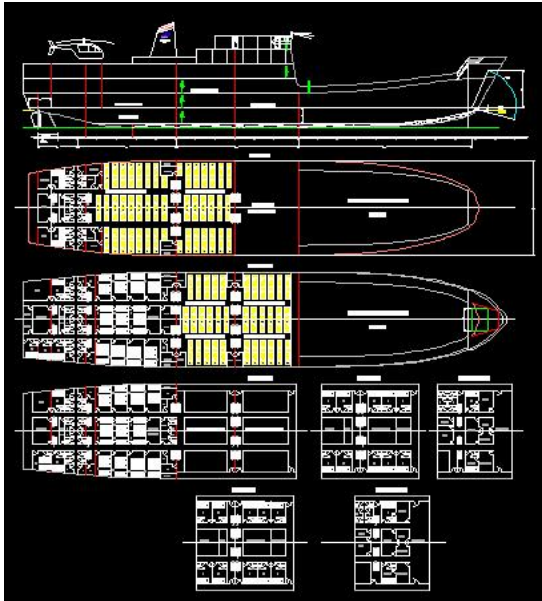
Rancangan Kapal Markas Optimasi lambung haluan dan Tenaga penggerak kapal

Rancangan dasar Kapal Markas untuk mendukung patroli pertahanan dan keamanan pulau terluar perairan perbatasan serta untuk bantuan penanganan pasca bencana alam pada masyarakat pulau terluar ditampilkan pada Gambar 4a *Lines plan* lambung kapal dan 4b *General*

arrangement Kapal Markas serta Ukuran Utama kapal ditampilkan pada Tabel 2.



Gambar 4a.
Lines Plan Kapal Markas



Gambar 4b.
General Arrangement Kapal Markas.

Dalam rancangan dasar lambung kapal diasumsikan kapal beroperasi di wilayah perairan tenang, sehingga bentuk haluan tidak dilengkapi *bulbousbow*. Selain itu, kapal dirancang dengan sarat air rendah dan lunas datar serta dilengkapi dengan pintu ram-door. Hal ini untuk memudahkan kapal beroperasi di wilayah perairan dangkal serta mudah merapat di pantai pasir (*beaching*).

Tabel 2.
Ukuran Utama Kapal Markas

Notasi	Ukuran Utama	Nilai	Satuan
LOA	Panjang total kapal	73,66	m
LWL	Panjang garis air	67,45	m
LPP	Panjang batas kapal	66,76	m
B	Lebar kapal	14,46	m
H	Tinggi geladak	8,45	m
T	Sarat air	2,50	m
Cb	Koef. Bentuk	0,699	
Cp	Koef. Prismatic	0,753	
Cm	Koef. Midship/ tengah	0,928	
Disp	Volume /bobot kapal	1648	Ton
P	Tenaga penggerak	2 x 1500	HP
Vd	Kecepatan dinas	12,5	Knot

Lambung utama kapal dibuat dari material baja serta dikombinasikan dengan aluminium untuk bangunan atas. Hal ini untuk lebih memperingan struktur badan kapal namun tetap mempertahankan posisi titik berat kapal rendah untuk meningkatkan performansi stabilitas kapal. Bangunan atas kapal dirancang berkapasitas cukup untuk akomodasi dan pengangkutan peralatan bantu satuan pengamanan maupun dukungan penanganan bantuan pasca bencana alam. Geladak bangunan atas difungsikan sebagai ruang akomodasi 15 awak kapal, 200 orang untuk rotasi satuan pengamanan, yang juga dapat difungsikan untuk ruang rawat 30 paramedis/relawan serta disediakan 100 tempat tidur darurat untuk pasien (pelayanan darurat kesehatan pasca bencana)⁵⁾. Sistem tenaga penggerak kapal dirancang mampu menggerakkan kapal beroperasi dengan kecepatan dinas 12,5 Knot. Dengan menggunakan metode perhitungan hambatan kapal secara statistik yang dikembangkan oleh Holtrop dan J.Mennem⁶⁾, dengan persamaan :

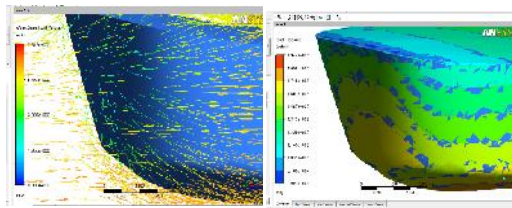
$$RT = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot CT \text{ (Kg)} \quad (1)$$

dimana : RT = tahanan total kapal (Kg); CT = koefisien tahanan total; ρ = massa jenis fluida (kg/m^3); V = kecepatan kapal (m/s) S = luas lambung basah kapal (m^2)

Dapat dihitung daya efektif total mesin penggerak kapal, diperoleh sebesar 2 x 1500 HP. Kondisi daerah operasional kapal di wilayah perairan perbatasan cukup ekstrem dengan skala *sea-state* 3 s/d 5, maka untuk ekektifitas daya dorong sistem propulsi kapal guna mempertahankan kecepatan dinas rata-rata 12,5 knot, perlu ditambahkan pada haluan kapal bentuk bulbous bow yang optimum.

Disain *Bulbous-bow* Kapal

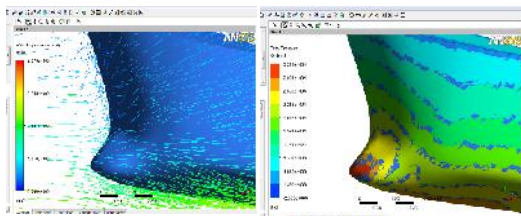
Penggunaan bentuk *bulbous-bow* yang optimum pada haluan kapal dapat mengurangi besar hambatan kapal karena efek gelombang. Sehingga secara langsung akan mengoptimalkan kinerja sistem propulsi kapal, yang pada akhirnya akan terkait erat dengan peningkatan efisiensi biaya bahan bakar pengoperasian kapal. Penggunaan CFD pada analisa rancangan bentuk *bulbous-bow* membantu evaluasi 3 tipe *bulbous-bow* yang paling optimal dalam mereduksi tahanan kapal, sebagaimana pada Gambar 5a, 5b, 5c dan 5d. Pada gambar tersebut ditampilkan degradasi warna, pola aliran dan distribusi tekanan fluida hidrodinamik pada bagian haluan kapal pada kecepatan dinas 12,5 knot⁷). Pada Gambar 5a. ditampilkan pola aliran dan distribusi tekanan fluida pada bentuk haluan kapal tanpa dilengkapi dengan *bulbous-bow*



Gambar.5a.

Pola Aliran dan Distribusi Tekanan Fluida – Kapal Non *Bulbous-Bow*

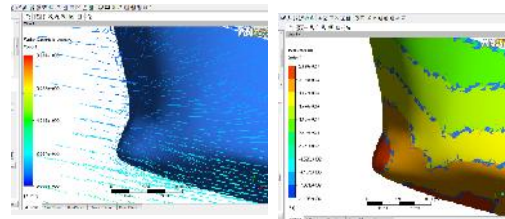
Pada Gambar 5b. ditampilkan pola aliran dan distribusi tekanan pada *Bulbous-bow* Tipe (1) pada bagian haluan model kapal.



Gambar.5b.

Pola aliran dan distribusi tekanan fluida - *Bulbous-bow* Tipe (1)

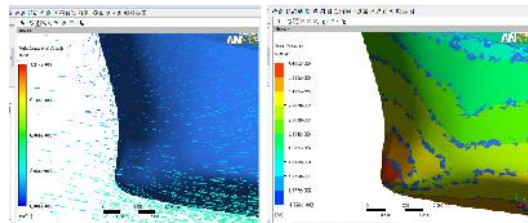
Pada Gambar 5c. ditampilkan pola aliran dan distribusi tekanan fluida pada bentuk *Bulbous-bow* Tipe (2) pada haluan kapal.



Gambar.5c.

Pola aliran dan distribusi tekanan fluida – *Bulbous-bow* Tipe (2)

Pada Gambar 5d. ditampilkan pola aliran dan distribusi tekanan pada *Bulbous-bow* Tipe (3) pada bagian haluan model kapal. Dari observasi bentuk dan pola aliran serta distribusi tekanan pada bulbous kapal dapat dianalisa perbandingan tahanan gelombang yang terjadi di kapal.



Gambar.5d.

Pola aliran dan Distribusi Tekanan Fluida – *Bulbous-Bow* Tipe (3)

Tabel 3. Perbandingan Hambatan Kapal

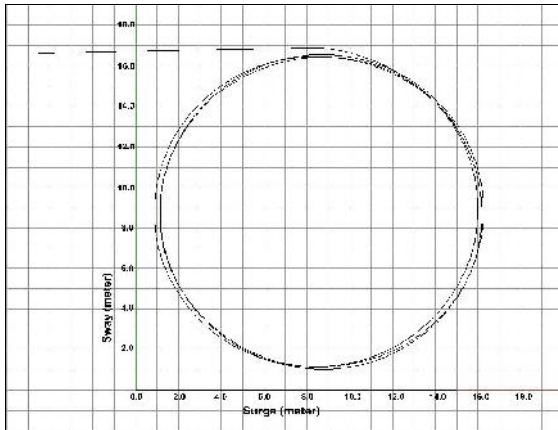
Kec. (Knot)	Hambatan Kapal Markas (kN)			
	Tanpa BB	BB Tipe 1	BB Tipe 2	BB Tipe 3
12.5	82.315	77.390	71.899	80.821
% Reduksi	0	5,98	12,65	1,81

Pada Tabel 3 ditampilkan hasil evaluasi simulasi numerik CFD pada ke 3 bentuk tipe *bulbous-bow* yang dipasang pada haluan Kapal Markas. Tampak bahwa perbedaan besaran tahanan kapal antar variasi bentuk desain *bulbous-bow* kapal dipengaruhi oleh

pola aliran dan kerapatan distribusi tekanan fluida haluan kapal. Dari ke 3 tipe bulbous-bow yang dianalisa terlihat bentuk *Bulbous-bow* Tipe (2) yang paling optimal dalam reduksi hambatan total kapal, yakni sebesar 12,65 % dibanding bentuk tipe bulbous-bow yang lain.

Kemampuan Olah Gerak Kapal

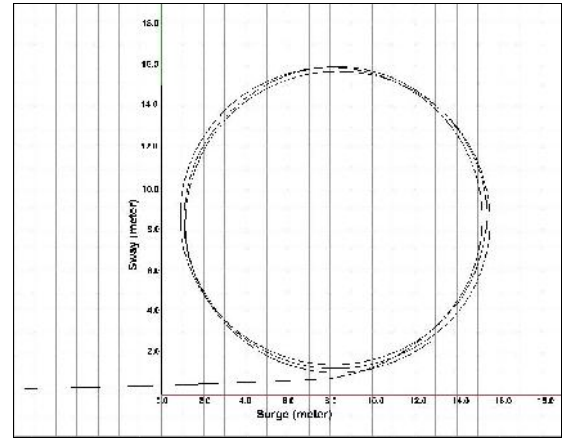
Kemampuan kapal untuk dapat berolah gerak dan sandar di dermaga terbatas pulau kecil, maka kemampuan Turning circle sangat diperlukan⁷⁾. Kemampuan kapal telah diuji pada Lab. Hidrodinamika. Kapal pada kondisi *full load* dengan kecepatan dinas 12 knot diuji membelok ke kanan (*starboard*) pada sudut kemudi 35° dan membelok ke kiri (*portside*) pada sudut kemudi yang sama⁹⁾. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa kemampuan olah gerak kapal cukup memenuhi persyaratan IMO⁹⁾. Grafik hasil uji olah gerak kapal ditampilkan pada Gambar 6a dan 6b.



Gambar 6a.

Model Lintasan Turning Circle SB, $V_d = 12$,
knot, $\delta = 35^{\circ}$

Pada kondisi pengujian gerak memutar kapal ke kanan (*starboard*), rata-rata radius putar kapal relatif sama, diameter taktis (*Tactical diameter*) mencapai 161,56 m dengan rata-rata waktu tempuh melingkar $T_{360} = 198$ detik.



Gambar 6b.

Model lintasan Turning circle PS, $V_d = 12$,
knot, $\delta = 35^{\circ}$

Pada kondisi pengujian gerak memutar kapal ke kiri (*portside*), diameter taktis (*Tactical diameter*) mencapai 160,89 m dengan rata-rata waktu tempuh melingkar $T_{360} = 197$ detik.

Tabel 4.
Hasil Pengujian Turning Circle

PARAMETER	Rudder Angle	
	35° PS	-35° SB
Advance (m)	197,61	199,61
Transverse (m)	60,08	60,75
Tactical diameter (m)	160,89	161,56
Turning diameter (m)	122,17	122,17
Advance/Lpp	2,96	2,99
Transverse/Lpp	0,90	0,91
Tactical diameter/Lpp	2,41	2,42
Turning diameter/Lpp	1,83	1,83

Keseluruhan hasil pengujian simulasi Turning circle kapal ditampilkan pada Tabel 5. Terlihat bahwa pada parameter rasio didapat $Advance/Lpp = 2,96$ & $2,99$ dan rasio $Tactical/Lpp = 2,41$ & $2,42$ kedua hasil tersebut telah memenuhi kriteria standar olah gerak (*maneuver*) yang disyaratkan oleh IMO⁹⁾.

Kemampuan Seakeeping kapal

Untuk mengetahui pola karakteristik performansi Kapal dan kinerja stabilitas dinamis kapal diatas gelombang laut pada kecepatan dinas serta untuk menganalisa kemungkinan masuknya air laut (*deck*

wetness) dari bagian bukaan (*opening*) diatas *free deck* (deck utama), maka perlu dilakukan pengujian seakeeping. Simulasi pengujian ini menggunakan perangkat lunak *Ship motion dynamic*. Dalam pengujian disini dianalisa parameter gerakan kapal yang signifikan dan paling dominan, yakni gerakan *rolling, pitching* dan *heaving* serta gerakan ekstrim kapal yang menyebabkan kondisi *deck wetness*.

Tabel 5.
Karakteristik Gelombang untuk Uji Seakeeping

Tinggi Gelombang		Period [m]	Arah [deg]	Note
Siknif [m]	Maks [m]			
1,27	2,36	5,63	90, 135, 180	Moderate Seas
2,80	5,20	8,64	90, 135, 180	Extreme Seas

Karakteristik tinggi gelombang yang digunakan dalam pengujian adalah kondisi gelombang *sea-state* 3 dan 5 sebagaimana pada Tabel 5. Sedangkan spektrum gelombang yang digunakan adalah tipe *Pierson-Moskowitz* (P-M) ⁽¹⁰⁾, yang diformulasikan sebagai berikut :

$$S_{\eta}(\check{S}) = A \cdot \check{S}^{-5} \cdot e^{-B \cdot \check{S}^{-4}} \tag{2}$$

dimana : $S_{\zeta}(\omega)$ = *spectral density of wave heights*; ω = *circular frequency (rad/sec)*; $A = 172.8 * (\zeta_{w1/3})^2 * (T)^{-4}$; $B = 691 * (T)^{-4}$; $\zeta_{w1/3}$ = *significant wave height (meter)*; T = *average wave period (second)*

Hasil analisa simulasi numerik pengujian berupa *response amplitude operators* (RAOs) yaitu rasio amplitud gelombang (*wave amplitude*) terhadap amplitud masing-masing gerakan (*motion amplitude*) kapal (*Rolling, Pitching dan Heaving*) pada setiap frekuensi gelombang untuk kondisi *sea-state* 3 dan 5. Respon tersebut dirumuskan sebagai berikut :

$$H_u = \frac{u_a(\check{S}_e)}{r_a(\check{S}_e)} = \sqrt{\frac{S_{uu}(\check{S}_e)}{S_{..}(\check{S}_e)}}$$

dimana : H_u = *response function of a signal u*; $U_a(\omega_e)$ = *amplitude of frequency (\check{S}) of signal u*; $\zeta_a(\omega_e)$ = *amplitude of frequency \check{S}_e of wave elevation* ; $S_{uu}(\omega_e)$ = *spectral density of signal u*; $S_{\zeta\zeta}(\omega_e)$ = *spectral density of wave elevation* ‘

Tampilan respon RAO berupa grafik, ditampilkan pada data terlampir. Dari hasil evaluasi pengujian simulasi sea-keeping dapat diresumekan kondisi gerakan kapal (*Rolling, Pitching dan Heaving*) sebagai berikut :

- Gerakan rotasi oleng *Roll Motion* : Gerakan oleng dapat menimbulkan sudut dinamis yang besar diakibatkan energi atau gaya gelombang bahkan akan menimbulkan eksitasi *rolling motion* yang ekstrim pada kondisi frekuensi resonansi. Tampak bahwa pengaruh arah gelombang terhadap respon kapal cukup signifikan, yakni kondisi arah gelombang 90° (*beam seas*) pada *sea-state* 5, maksimum *significant amplitude "roll motion"* yang terjadi pada kapal sebesar 10.3 derajat (atau rms 5.02 derajat). Sedangkan respon kapal pada arah gelombang 135 ° (*bow quartering seas*) dan 180° (*head seas*) adalah sangat kecil yaitu 0.00- 2.22 derajat (atau rms 0.00- 1.11 derajat) jika dibandingkan standar "*Seakeeping Performance Criteria*"¹⁾ adalah rms (*root mean square*) max.: 9.6 derajat.
- Gerakan rotasi angguk *Pitch Motion* : Gerakan tersebut sangat dominan terjadi anggukan naik dan turunnya haluan maupun buritan kapal. Gerakan tersebut sangat tergantung pada kondisi gelombang, kecepatan kapal dan arah kapal terhadap gelombang. Hasil perhitungan memperlihatkan bahwa *maximum significant amplitude "pitch motion"* terjadi pada kondisi gelombang *Sea-state* 5 untuk arah gelombang 135 ° (*bow quartering seas*) yakni sebesar 2.34 derajat (atau rms 1.17 derajat). Sedangkan respon kapal pada arah gelombang 180 ° (*head seas*) dan 90 ° (*beam seas*) adalah relative lebih kecil yaitu 1.78 dan 1.93 derajat (atau rms 0.89 dan 0.96 derajat). Adapun standar "*Seakeeping Performance*

1) Principles of Naval Architecture: "Seakeeping Performance Criteria".

DAFTAR PUSTAKA

1. Nazarudin, "Model penanganan pulau terluar berdasarkan konsep Prosperity dan Security Approach oleh TNI", *Jurnal Litbang Pertahanan Indonesia – Balitbang Kemhan*, Vol. 15, No. 2, 2012
2. *Peta data arah dan ketinggian Gelombang Perairan Indonesia*, BMKG, 2009
3. Lovholt, F., Khun, D., Bungum H., Harbitz C.B., dan Glimsdal,S., "Historical Tsunamis and Present Tsunami Hazard in Eastern Indonsia and the South Philippines", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 117, B09310, doi:10.1029/2012JB009425, 2012.
4. Samudro, Abdul Kadir, "Rancangan Konseptual Ganda Kapal Markas Untuk Pengamanan Pulau Pulau Terluar – Perairan Perbatasan NKRI (Tinjauan untuk wilayah perairan pulau Marore dan Miangas)", *Jurnal Warta Penelitian Perhubungan, Balitbang Kementerian Perhubungan*, Vol. 26, No. 1. 2014.
5. Kadir, A., Samudro, Waluyo,. Priatno, D.H, Akhirudin, M., *Laporan Riset Rancang Bangun Kapal Markas*, Pusat Teknologi Industri dan Sistem Transportasi, BPPT, 2011.
6. Harvald, Sv.Aa, *Tahanan dan Propulsi Kapal*, Airlangga University Press, Surabaya, 1992.
7. Jamaluddin A.dan Samudro, *Analisa dan Evakuasi Faktor Faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Olah Gerak (Maneuver) Kapal*, Jurnal Perhubungan Vol. No. , 2010.
8. Laboratorium Hidrodinamika Indonesia, *Laporan Hasil Pengujian Turning Cicle dan Sea-keeping Model Kapal Markas*, UPT BPPH – BPPT, 2011.
9. International Maritime Organization (IMO), "Manoeuvrability of Ships and Manoeuvring Standards", *Sub - Committee on Ship Design and Equipment 36th session, Agenda item 4*, 24 February 1993.
10. Pierson, W.J. dan Moskowitz, L. , "A proposed spectral form for fully developed wind seas based on similarity theory of S.A. Kitaigorodskii",