

Analisa Ketinggian Gelombang yang Sesuai untuk Pengoperasian Kapal Cepat Rudal 60M di Perairan Indonesia

Analysis of the Appropriate Wave Height for the Operation of Fast Missile Craft 60M in Indonesian Waters

Soegeng Hardjono

Pusat Teknologi Rekayasa Industri Maritim, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Gedung Teknologi 2, Lt 3, PUSPITEK, Serpong, Tangerang Selatan 15314
E-mail: soegenghardjono@yahoo.com

Diterima : 10 November 2017, revisi 1: 4 Maret 2018, revisi 2: 5 Maret 2018, disetujui: 28 Mei 2018

Abstract

Recently, Indonesian Navy has been developing warship fleet by constructing Fast Missile Craft (KCR) 60M. The performance of KCR 60M depends on the wave height of Indonesian waters. It needs to perform a research on the maximum wave height for the ship length of KCR and the minimum ship length of KCR to cope with the highest extreme waves by using statistical methods and empirical formula. The analysis result shows that KCR 60M can operate at a maximum wave height of 4,73m. Since the wave height of Indonesian water is less than 4,73m, then KCR 60M can operate throughout the year, except in December and January in the northern areas of Indonesia near the South China Sea border due to the monsoon Asia. The existence of the extreme wave height >4,73m due to the monsoon Asia cause KCR 60M unable to operate whether in the North or South Equators as well as Inter-island waters. So that the KCR 60M also unable to operate in the whole Naval Main Base (Lantamal) from Lantamal I (Medan) up to Lantamal XIV (Sorong). Based on analysis result, the average extreme wave height is about 5,1m, and the minimum length of KCR capable of operating should be about 70m.

Keywords: KCR 60M, Indonesian Waters, wave height, moonsoon, naval main base.

Abstrak

Saat ini, Angkatan Laut Indonesia sedang memperkuat armada kapal perang dengan pembangunan jenis Kapal Cepat Rudal (KCR) 60M. Kemampuan operasional KCR 60M tergantung pada ketinggian gelombang perairan Indonesia. Untuk itu perlu dilakukan kajian penentuan tinggi gelombang maksimum yang bisa dilalui oleh KCR 60M dan penentuan panjang KCR minimum untuk mengatasi gelombang ekstrim tertinggi dengan metode statistik dan formula pendekatan. Hasil analisa menunjukkan bahwa KCR 60M dapat beroperasi pada tinggi gelombang hingga maksimum 4,73m. Secara umum tinggi gelombang perairan Indonesia rata-rata dibawah 4,73 m, sehingga KCR 60M dapat beroperasi di sepanjang tahun terkecuali pada bulan Desember dan Januari di wilayah utara berbatasan dengan Laut Cina Selatan karena pengaruh angin *moonsun* Asia. Keberadaan tinggi gelombang ekstrim > 4,73m karena angin *moonsun* Asia menyebabkan KCR 60M tidak dapat beroperasi baik di wilayah Utara maupun Selatan Equator serta perairan Antar-Pulau. Sehingga KCR 60M tidak dapat juga beroperasi di seluruh wilayah Pangkalan Utama Angkatan Laut (Lantamal) mulai dari Lantamal I (Medan) hingga Lantamal XIV (Sorong). Berdasarkan hasil analisa tinggi gelombang ekstrim rata-rata mencapai 5,1m dan panjang KCR yang mampu beroperasi di ketinggian tersebut minimum sekitar 70 m.

Kata kunci: KCR 60M, Perairan Indonesia, tinggi gelombang, *moonsun*, lantamal.

Pendahuluan

Indonesia sebagai negara maritim terus mengembangkan dan memperkuat armada lautnya dengan berbagai penambahan baik jumlah maupun jenis armada tempur maupun armada pendukungnya. Hal ini dipertegas melalui Undang-undang Nomor 34 tahun 2004 tentang peran dan tugas TNI Angkatan Laut dalam Pasal 9 bahwa TNI mempunyai tugas dan tanggung jawab untuk membangun dan mengembangkan kekuatan matra laut yang bertujuan untuk menegakkan hukum dan menjaga keamanan serta kedaulatan wilayah laut sesuai dengan hukum nasional dan hukum internasional yang telah diratifikasi.

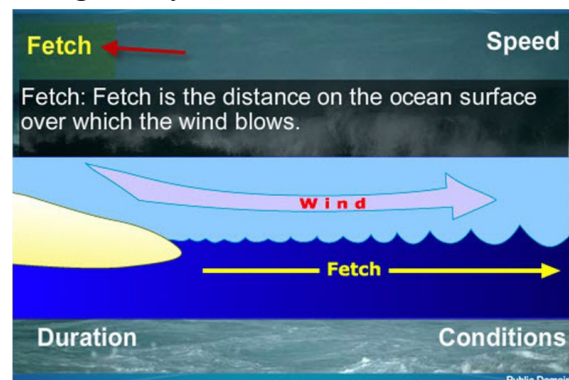
Kekuatan armada laut dalam sistem pertahanan nasional diperkuat oleh sekitar 150 armada tempur (KRI) berbagai jenis mulai dari jenis Fregat, Corvette, Kapal Patroli Cepat hingga kapal Selam. Sebaran kekuatan armada KRI tersebut terbagi dalam 2 (dua) Komando Kawasan yaitu Komando Armada Indonesia Kawasan Barat disebut dengan Koarmabar dan Komando Kawasan Armada Indonesia Timur disebut dengan Koarmatim. Saat ini Pemerintah Indonesia sedang memperkuat armada lautnya melalui pengadaan kapal jenis *Fast Missile Craft* atau *Fast Attack Craft* yang dinamakan sebagai Kapal Cepat Rudal (KCR). Kapal Cepat ini merupakan pengembangan dari kapal Patroli Cepat FPB 57 yang dibuat sebelumnya di galangan kapal dalam negeri PT. PAL Surabaya dengan lisensi dari galangan Kapal Leursen Bremen-Vegesack, Jerman. Saat ini jenis Kapal Cepat Rudal ini telah mencapai jumlah 15 buah dari berbagai ukuran mulai dari panjang 40 m (8 buah), 50 m (4 buah), dan 60 m (3 buah). Khusus untuk KCR 50M merupakan produk buatan galangan kapal Tacoma *Ship Yard*, Korea Selatan, sedangkan selebihnya jenis KCR 40M adalah produk galangan kapal dalam negeri PT.Palindo, Batam begitu pula dengan jenis KCR 60M adalah produk galangan kapal PT.PAL Surabaya.

Produk KCR dalam negeri ini telah mencapai 11 buah yang dibangun sejak tahun 2011 dan akan terus diperbanyak hingga mencapai jumlah keseluruhannya menjadi 32 buah pada tahun 2024. Jumlah tersebut merupakan target dari Kemenhan hingga tahun 2024 sesuai dengan kebijakan pembangunan kekuatan yang diarahkan pada perwujudan kekuatan TNI AL

menuju Kekuatan Pokok Minimum (*Minimum Essential Force/MEF*), yaitu struktur kekuatan yang disusun berdasarkan kemampuan yang diperlukan (*capability design*) untuk menghadapi segala bentuk ancaman dalam rangka menegakkan kedaulatan dan menjaga keutuhan NKRI. Untuk tercapainya Kekuatan Pokok Minimum (MEF) tersebut Kemenhan telah merealisasikannya melalui pemesanan 16 buah KRC 40M dan 16 buah KRC 60M di dua galangan kapal dalam negeri antara lain PT. Palindo Batam dan PT.PAL Surabaya.

KCR 60M mempunyai ukuran panjang relatif lebih besar dibandingkan KCR 40M dengan tujuan untuk memperoleh kinerja yang lebih optimal dalam menjalankan misi opsionalnya di perairan dengan karakteristik gelombang yang lebih tinggi. Kondisi tinggi gelombang merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kinerja dan keselamatan kapal. Perairan Indonesia mempunyai karakteristik gelombang dengan ketinggian yang bervariasi sepanjang tahun.

Menurut hasil penelitian Yen Yi Loo dalam makalahnya yang berjudul "*Effect of climate change on seasonal monsoon in Asia and its impact on the variability of monsoon rainfall in Southeast Asia*" menyatakan bahwa wilayah Indonesia merupakan wilayah moonsunal yang ditandai oleh sistem angin musiman yang secara periodik berbalik arah enam bulan sekali [1]. Kondisi tinggi gelombang ini sangat dipengaruhi oleh tiga faktor penyebab utama diantaranya adalah kecepatan angin, lamanya angin berhembus (*duration*), dan jarak dari tiupan angin pada perairan terbuka (*fetch*). Sedangkan panjang *Fetch* adalah jarak tempuh perjalanan gelombang dari awal tempat pembangkitannya.



Sumber : NOAA , 2015 ^[2]

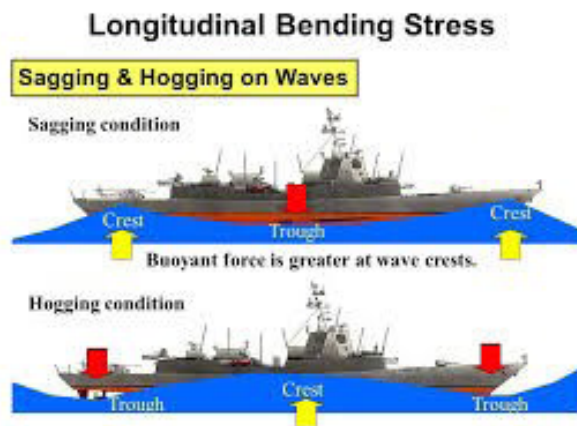
Gambar 1. Skema Fetch

Fetch ini dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Menurut skema Fetch (Gambar 1) yang ditulis oleh Tom Ainsworth, (2006) dengan judul “When Do Ocean Wave Become Significant?” dalam Jurnal Marine Weather Log, dari Lembaga National Weather Service NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) menyebutkan bahwa semakin panjang jarak fetch semakin besar gelombang yang terjadi [2]. Berdasarkan arah dan kecepatan angin, Indonesia mempunyai dua macam angin musim utama yaitu angin musim Barat (*moonsun Asia*) terjadi pada periode bulan Desember, Januari, Februari dan musim Timur (*moonsun Australia*) terjadi pada periode bulan Juni, Juli, Agustus. Dalam penelitian Bayong (2008) dari BMKG-Jakarta menjelaskan bahwa angin *moonsun* adalah sistem sirkulasi regional yang mempunyai variasi musiman [3]. *Moonsun* dimaknai sebagai sistem angin musiman yang ditandai oleh berbaliknya arah angin utama sebagai akibat perubahan tekanan angin permukaan oleh perubahan cuaca dari musim panas (*summer*) dan musim dingin (*winter*). Di wilayah Indonesia berhembus sirkulasi angin tetap untuk satu periode tertentu yaitu 3 (tiga) bulanan dengan sifat arah anginnya hampir berlawanan. Sedangkan pada musim peralihan/ transisi antar kedua *moonsun* terjadi pada periode Maret-April-Mei (MAM) dan September-Oktober-Nopember (SON), dimana arah dan kecepatan angin bertiup tidak menentu. Arah angin permukaan pada *moonsun Asia* dalam periode bulan Desember, Januari, dan Pebruari berhembus dari belahan utara Equator menuju belahan selatan Equator. Sedangkan *moonsun Australia* dalam periode bulan Juni, Juli dan Agustus angin permukaan berhembus dari arah sebaliknya yaitu dari belahan selatan Equator menuju belahan utara Equator. Periode lainnya adalah dua periode yang disebut sebagai periode peralihan yang terjadi diantara periode *moonsun Asia* dan *moonsun Australia* yaitu bulan Maret, April, Mei (MAM) dan September, Oktober, Nopember (SON). Menurut kajian yang dilakukan oleh Roni Kurniawan dalam makalah penelitiannya yang berjudul “Variasi Bulanan Gelombang Laut Indonesia” mengidentifikasi bahwa gelombang tinggi sering terjadi pada periode *moonsun Asia* sekitar bulan Januari dan *moonsun Australia* sekitar bulan Juli [4]. Walaupun

demikian, ketinggian gelombang di wilayah perairan terbuka lebih tinggi bila dibandingkan dengan perairan Antar-Pulau. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan panjang *fetch* yang terbentuk di wilayah perairan tersebut.

Didalam tahapan proses desain kapal, khususnya pada tahap awal penentuan *design requirement*, kondisi tinggi gelombang perairan di wilayah rute operasional kapal yang akan dilalui menjadi pertimbangan penting khususnya berkaitan dengan pertimbangan kekuatan struktur konstruksi kapal yang digunakan, khususnya berhubungan dengan elemen-elemen struktur kekuatan konstruksi memanjang yang tergantung dari dimensi panjang kapal. Prinsip dasar pendekatan dalam perhitungan desain kekuatan struktur konstruksi kapal adalah melalui pertimbangan bahwa badan kapal sebagai sebuah balok memanjang yang berada diatas tumpuan media fluida dalam hal ini gelombang laut yang mempunyai tekanan (*fluid pressure*) dan gaya dinamis (*dynamic forces*). Sehingga kekuatan struktur konstruksi berdasarkan hasil perhitungan dari peraturan standar yang berlaku mampu menahan beban resultant berupa beban lengkung (*bending moment*), beban geser (*shear forces*), dan beban puntir (*torsion*) yang ditimbulkan oleh distribusi tekanan fluida dari tinggi gelombang sepanjang kapal dan distribusi muatan dan berat kapal. Saat ini, *The International Association of Classification Societies (IACS)* telah mengeluarkan rekomendasi tentang data standard tinggi gelombang dalam menentukan desain kriteria kapal melalui *IACS Recommendation 34, Standard Wave Data*, p.2. tahun 2010 [5].

Data IACS tentang tinggi gelombang yang direkomendasi menunjukkan bahwa sebagian besar gelombang laut (88%) berada pada ketinggian gelombang *significant* antara 1 m sampai dengan 17 m (3,3 hingga 35,7 *feets*) dan hanya 0,2% berada pada ketinggian antara 11 m sampai dengan 17 m (36 hingga 55,7 *feets*). Claude Daley dalam bukunya yang berjudul “*Wave Bending Moments & Longitudinal Strength*” menerangkan bahwa kapal akan mengalami beban *sagging momet* terburuk apabila tengah badan kapal berada di bawah lembah gelombang (*wave trough*) sedangkan haluan dan buritan berada di atas puncak gelombang (*wave crest*) seperti terlihat pada gambar 2 [6].



Sumber : Claude Daley 2013 [6]

Gambar 2. *Sagging and Hogging Moment*

Disisi lain, bahwa kapal akan mengalami beban *hogging moment* terburuk apabila posisi tengah badan kapal berada di atas puncak gelombang (*wave crest*), sedangkan posisi haluan dan buritan berada di lembah gelombang (*wave trough*). Kedua kondisi terburuk tersebut, baik beban *sagging* maupun *hogging* akan terjadi apabila panjang gelombang/*wave length* (L_w) sama dengan panjang kapal (L_{bp}) atau $L_w = L_{bp}$. Walaupun demikian, apabila panjang gelombang lebih panjang dari panjang kapal, maka nilai bending moment akan lebih kecil bila dibandingkan panjang gelombang (L_w) sama dengan panjang kapal (L_{bp}). Lebih dari itu, sifat gelombang laut cenderung berbentuk *trochoidal* dari pada sinusoidal dimana puncak gelombang cenderung curam dengan bentuk lembah yang relatif landai.

Menurut Craig B. Smith dalam penelitiannya berjudul "*Extreme Waves and Ship Design*", menjelaskan bahwa dalam proses desain kapal sangat penting untuk mempertimbangkan kondisi perairan khususnya tinggi gelombang yang akan dilalui. Dengan mempertimbangkan pada kondisi terburuk untuk kekuatan struktur memanjang kapal bila panjang gelombang (L_w) sama dengan panjang kapal (L_{bp}) maka penentuan tinggi gelombang (H_w) berdasarkan panjang kapal (L_{bp}) pada gelombang *trochoidal* dirumuskan sebagai $H_w = 1.1(L)^{0.5}$ dimana H_w dan L_{bp} dalam satuan feet dan $H_w = 0.61(L)^{0.5}$ dimana H_w dan L_{bp} dalam satuan meter [7].

Untuk mengetahui sejauh mana armada KCR 60M dapat menjalankan misi operasionalnya dengan aman, maka perlu dilakukan analisa tinggi

gelombang maksimum yang dapat dilalui oleh armada KCR 60M mengingat tinggi gelombang perairan Indonesia bervariasi tergantung faktor lokasi apakah di wilayah bagian utara atau selatan Equator serta faktor musim apakah terjadi dimusim *moonsun Asia*, *moonsun Australia*, atau di musim peralihan yaitu suatu musim yang berada diantara *moonsun Asia* dan *moonsun Australia*. Disamping itu, kajian ini bertujuan pula untuk mengetahui ukuran panjang kapal minimum (*minimum ship's length*) yang masih mampu beroperasi di ketinggian gelombang ekstrim rata-rata di perairan Indonesia. Hasil kajian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi TNI AL sebagai operator untuk menentukan waktu dan tempat yang tepat dalam rangka penjadwalan misi operasi armada KCR.

Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi metode pengumpulan data dan metode pengolahan data. Metode pengumpulan data tentang tinggi gelombang signifikan (H_s) dan maksimum (H_{maks}) diseluruh wilayah perairan Indonesia dilakukan melalui perolehan data dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Jakarta periode bulanan antara 2010 s/d 2015, Studi literatur dilakukan pada beberapa penelitian mengenai karakteristik gelombang perairan Indonesia, serta metode dan formula matematis yang sering digunakan pada tahap *preliminary ship design* khususnya penentuan korelasi antara tinggi gelombang (H_w) dan panjang kapal (L_{bp}). Sedangkan metode pengolahan data yang digunakan adalah metode *statistical analysis* untuk menentukan kurva tinggi gelombang maksimum rata-rata dan gelombang ekstrim rata-rata perbulan dan pertahun disetiap wilayah perairan Indonesia. Hasil ketinggian gelombang ini kemudian akan dikorelasikan dengan hasil perhitungan tinggi gelombang maksimum yang diijinkan untuk armada kapal KCR 60M baik yang ditempatkan dan beroperasi di wilayah Komando Armada Indonesia Kawasan Barat (Koarmabar) seperti KRI Halasan-630 maupun wilayah Komando Armada Indonesia Kawasan Timur (Koarmatim) seperti KRI Sampari-628 dan KRI Tombak-629, dan di wilayah mana saja dalam perairan Indonesia yang aman pada waktu dan musim tertentu. Demikian pula dapat diprediksi

panjang kapal minimum yang aman untuk berlayar pada tinggi gelombang ekstrim.

Analisis dan Pembahasan

A. Data Spesifikasi Teknis Kapal KCR 60 Saat ini, berdasarkan sumber dari galangan kapal PT.PAL Surabaya pada Divisi Kapal Perang [8] telah dibangun 3 (tiga) buah kapal KCR 60M masuk dalam jajaran armada KRI dengan nama KRI Sampari 628, KRI Tombak 629, dan KRI Halasan 630 dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Ukuran Utama:

- Panjang keseluruhan (L_{OA}) : 60 M
- Panjang garis air (L_{WL}) : 55.25 M
- Lebar (B) : 8.10 M
- Tinggi pada tengah kapal (D) : 4.85 M
- Sarat muatan penuh (T_d) : 2.60 M
- Berat muatan penuh (Δ) : 460 Ton

2. Mobilitas

- Kecepatan kapal pada Skala *Beaufort* 2 dan *Sea State* 1 :
- Kecepatan Maks. (*Half Load Cond*) : 28 knot
 - Kecepatan Jelajah (*Cruising*) : 20 knot
 - Kecepatan Ekonomis : 15 knot

3. Sistem Persenjataan

- Meriam Utama 57 mm (satu unit)
- *Auxiliary Gun* 20 mm (dua unit)
- Peluncur Peluru Kendali /SSM (dua unit)
- *Decoy Launcher*.

4. Olah Gerak

KCR 60M mempunyai kemampuan olah gerak yang tinggi, lincah dalam posisi tembak dan mampu melaksanakan penghindaran dari serangan balasan 1 awan.

5. Ketahanan Berlayar

- Ketahanan dilaut : 5 hari
- Jarak jelajah : 2.400 nm pada kecepatan 20 knot
- Akomodasi : 55 orang



Sumber : PT.PAL Surabaya 2014 ^[8]

Gambar 3. Kapal Cepat Rudal (KCR) 60M

6. Kelaikan Kapal

KCR 60M dirancang dengan kriteria kelaikan laut sbb:

- Tugas patroli hingga *Sea State* 3
- Kemampuan pengoperasian senjata hingga *Sea State* 4.

B. Prediksi Tinggi Gelombang Maksimum Untuk Kcr 60M

Tinggi gelombang maksimum yang aman dilalui oleh kapal KCR 60M dapat diprediksi melalui formula dari Craig B.Smith dengan pertimbangan bahwa baik beban *sagging* maupun *hogging* akan terjadi lebih besar dan lebih berbahaya terhadap kekuatan struktur memanjang kapal apabila panjang gelombang/ *wave length* (L_w) setara dengan panjang kapal (L_{bp}) atau $L_w = L_{bp}$.

Tabel 1. Data *Sea State* dan *Wave Hight*

0	0 metres (0 ft)	<i>Calm (glassy)</i>
1	0 to 0.1 metres (0.00 to 0.33 ft)	<i>Calm (rippled)</i>
2	0.1 to 0.5 metres (3.9 in to 1 ft 7.7 in)	<i>Smooth (wavelets)</i>
3	0.5 to 1.25 metres (1 ft 8 in to 4 ft 1 in)	<i>Slight</i>
4	1.25 to 2.5 metres (4 ft 1 in to 8 ft 2 in)	<i>Moderate</i>
5	2.5 to 4 metres (8 ft 2 in to 13 ft 1 in)	<i>Rough</i>
6	4 to 6 metres (13 to 20 ft)	<i>Very rough</i>
7	6 to 9 metres (20 to 30 ft)	<i>High</i>

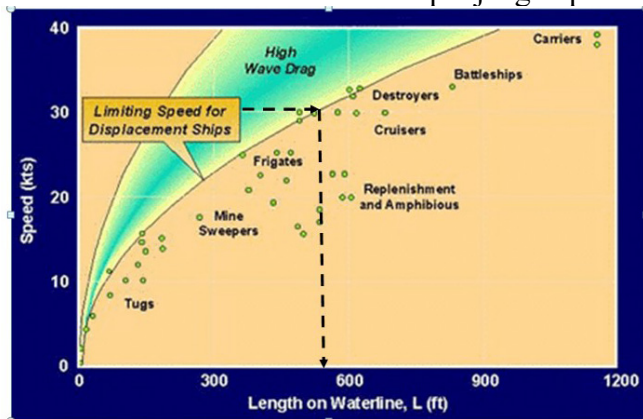
WMO Sea State Code	Wave height	Characteristics
8	9 to 14 metres (30 to 46 ft)	Very high
9	Over 14 metres (46 ft)	Phenomenal

Sumber: WMO,UK.2012 [9].

Dengan mempertimbangkan kondisi terburuk untuk kekuatan struktur memanjang kapal tersebut digunakan formula $H_w = 0.61(L)^{0.5}$ dimana H_w dan L_{bp} dalam satuan meter. Dengan panjang kapal KCR 60M adalah 60 meter, maka dapat ditentukan tinggi gelombang H_w kurang lebih 4,73 m. Menurut *standard of the Sea State and the swell of the sea* yang dikeluarkan WMO UK (*Weather Meteorological Office*) 24 Sept 2012 dapat ditabulasikan seperti dalam Tabel 1 [9].

Nampak bahwa ketinggian gelombang 4,73 m hasil prediksi berada dalam *Sea State* 6 masuk dalam karakteristik *Very rough* seperti terlihat dalam Tabel 1. Kondisi pada *Sea State* 6 ini ketinggian gelombang berada antara 4 s/d 6 m. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kapal KCR 60M masih dalam batas aman dari segi kekuatan dan operasional bila berlayar pada kondisi *Sea State* 5 atau lebih kecil dari *Sea State* 6. Kondisi *sea state* yang akan ditanggung oleh kapal KCR 60M akan berpengaruh terhadap penentuan perencanaan kekuatan struktur konstruksi badan kapal yang diperhitungkan dengan menggunakan metode *finite element* yang umum digunakan untuk analisa mengatasi beban stress yang terjadi pada badan kapal pada kondisi *sea state* tersebut. Untuk konstruksi badan kapal perang (*Naval vessel*) sudah diterapkan pemakaian kriteria standar untuk beban kondisi *sea state* hingga *sea state* 8. Pada kondisi *sea state* ini kapal dikondisikan mampu melakukan operasi pada ketinggian gelombang signifikan sekitar 14 m (45 ft). Kondisi ketinggian gelombang 14 m ini sudah termasuk kondisi dalam badai (*hurricane*) dimana di kalangan angkatan laut Amerika (*US Navy*) disebutnya sebagai badai Camile (*Hurricane Camille*). Kondisi ini digunakan untuk skenario menganalisa dan mengecek kemampuan stabilitas dinamis

dan ketahanannya (*dynamic stability* dan *survivability*). Keadaan kapal berlayar di laut bergelombang pasti mengalami penurunan performa olah gerak maupun kecepatan yang kualitasnya bergantung pada ukuran kapal. Untuk mendapatkan kualitas performa laik laut dan kecepatan kapal yang lebih baik membutuhkan ukuran kapal yang lebih besar. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh John E. Pike (2007) tentang hubungan antara kecepatan kapal dengan panjang kapal tipe *displacement* yang lazim disebut "*Hull Speed*" dapat ditampilkan melalui kurva (Gambar 4) [10]. Menurut pendapatnya bahwa kapal tipe *displacement* untuk berlayar di laut dengan gelombang tinggi harus menyesuaikan kecepatannya terhadap dimensi badan kapal itu sendiri dalam hal ini dimensi panjang kapal.



Sumber : John E.Pike, 2007 [10]

Gambar 4. Lpp Vs Speed

Sebagai contoh untuk kapal dengan kecepatan 30 knots maka ukuran dimensi panjang badan kapal minimal 500 feet. Hal ini sesuai dengan bilangan Froude Number (F_n) dalam bidang Naval Architect yang menyatakan hubungan antara kecepatan kapal (V) dan panjang kapal (L) yang diekspresikan sebagai persamaan $F_n = V/(\sqrt{L})$ dimana satuan (L) dalam feet dan (V) dalam knots. Sedangkan besarnya nilai F_n untuk kapal perang berada antara $F_n = 1,3$ s/d 1,4.

Disamping itu, hubungan antara dimensi C .

C. Wilayah Homebase Dan Operasional KCR 60M

Saat ini sistem pertahanan laut Indonesia

menurut David Raja Marpaung (2016) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Kekuatan Angkatan Laut Indonesia”, diperkuat oleh armada laut yang terdiri dari 154 armada Kapal Perang RI (KRI) dan armada 209 Kapal Angkatan Laut (KAL) yang bertugas melaksanakan patroli dan dukungan keamanan Pangkalan TNI AL (Lanal) [11]. Kekuatan KRI tersebut meliputi KRI sebagai kekuatan pemukul (*striking force*) yang memiliki persenjataan strategis termasuk KCR, KRI sebagai kekuatan patroli (*patrolling force*) dan KRI sebagai kekuatan pendukung (*supporting force*). Seluruh kekuatan armada KRI maupun KAL tersebut tersebar di beberapa Pangkalan Utama Angkatan Laut (Lantamal) yang berada di bawah dua komando utama armada yaitu: Komando Armada RI Kawasan Barat (Koarmabar) dan Komando Armada RI Kawasan Timur (Koarmatim) (Gambar 5).

1. Komando Armada Indonesia Kawasan

Barat (Koarmabar)

Koarmabar membawahi (5) lima Pangkalan Utama Angkatan Laut (Lantamal) yang meliputi:

1. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut I (Lantamal I) di Medan, Sumatera Utara.
2. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut II (Lantamal II) di Padang, Sumatera Barat.
3. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut III (Lantamal III) di Jakarta.
4. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut IV (Lantamal IV) di Tanjung Pinang.
5. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut XII (Lantamal XII) di Pontianak.

2. Komando Armada Indonesia Kawasan Timur (Koarmatim)

Koarmatim membawahi tujuh Pangkalan Utama Angkatan Laut (Lantamal) dan 2 Gugus (Guskamla dan Gupurla) yang meliputi:

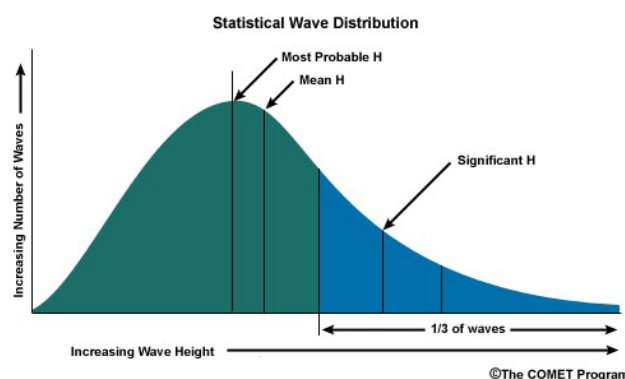
1. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut V (Lantamal V) di Surabaya
2. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut VI



- (Lantamal VI) di Makasar
3. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut VII (Lantamal VII) di Kupang
 4. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut VIII (Lantamal VIII) di Manado
 5. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut IX (Lantamal IX) di Ambon
 6. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut X (Lantamal X) di Jayapura
 7. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut XI (Lantamal XI) di Merauke
 8. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut XIII (Lantamal XIII) di Tarakan
 9. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut XIV (Lantamal XIV) di Sorong.

D. Tinggi Gelombang Perairan Indonesia.

Karakteristik gelombang di perairan Indonesia mempunyai pola yang berkaitan erat dengan siklus angin *moonsun*. Puncak gelombang tertinggi terjadi pada periode *moonsun Asia* (Desember, Januari dan Pebruari) dan *moonsun Australia* (Juni, Juli dan Agustus). Sedangkan pada *moonsun* peralihan kondisi gelombang umumnya tidak tinggi. Daerah yang rawan gelombang tinggi umumnya terjadi pada wilayah perairan terbuka seperti wilayah perairan disebelah utara dan selatan Equator yang berhadapan langsung dengan samudera Pasific, Samudera Hindia, dan Laut Cina Selatan. Hal ini telah dikaji oleh Kurniawan dalam penelitiannya yang berjudul “Daerah Rawan Gelombang Tinggi Di Perairan Indonesia” [12]. Untuk mengetahui sejauh mana tinggi gelombang yang terjadi di wilayah utara dan selatan Equator, serta daerah Antar-Pulau maka dibawah ini dilakukan pemetaan data yang berhasil diperoleh dari BMKG tentang tinggi gelombang signifikan (H_s) dan maksimum (H_{maks}).



Sumber : NOAA, 2015

Gambar 6. The statistical distribution of wave heights.

Tinggi gelombang *significant* (H_s) menurut NOAA adalah tinggi gelombang hasil prediksi NOAA berdasarkan laporan dari pencatatan di atas kapal dan *buoys*. Sedangkan tinggi gelombang *significant* (H_s) didefinisikan sebagai tinggi rata-rata dari sepertiga tinggi gelombang tertinggi dalam wave spectrum pada gambar 6. Sedangkan tinggi $H(\text{mean}) = 0,64(H_s)$, dan tinggi gelombang maksimum (H_{maks}) sekitar 1,5 s/d $2x(H_s)$ dan tinggi gelombang ekstrim (H_{eks}) didefinisikan dalam formula matematik sebagai $H_{eks} = 2,3x(H_s)$.

1. Data Gelombang Wilayah Penelitian

Data gelombang yang berhasil dikumpulkan dipetakan berdasarkan wilayah penelitian yaitu: wilayah Utara Equator (U-Eq), Selatan Equator (S-Eq) dan wilayah Antar-Pulau (AP). Jenis data gelombang adalah gelombang ekstrim dan gelombang maksimum. Gelombang ekstrim dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar gelombang tertinggi yang terjadi. Gelombang ekstrim dan gelombang maksimum rata-rata dipetakan untuk setiap wilayah penelitian perbulan dan pertahun. Wilayah-wilayah penelitian yang ditetapkan sesuai dan sedekat mungkin dengan wilayah operasional kapal KCR 60M baik di Utara Equator, Selatan Equator maupun Antar-Pulau. Wilayah penelitian Utara Equator meliputi: wilayah Laut Cina Selatan, Samudra Pasifik, Samudra Pasifik Utara, Samudra Hindia bagian Barat Sumatera, Laut Sulawesi dan Laut Maluku. Sedangkan

wilayah Selatan Equator meliputi: Laut Arafuru, Samudera Hindia-Selatan Selat Sunda, Samudera Hindia-Selatan Laut Jawa, dan Laut Timor. Wilayah Antar-Pulau meliputi: Selat Karimata, Selat Makasar, Laut Jawa, Laut Banda, Laut Flores, dan Laut Sawu.

2. Data Gelombang (H.eks) & (H.maks) rata-rata Utara Equator.

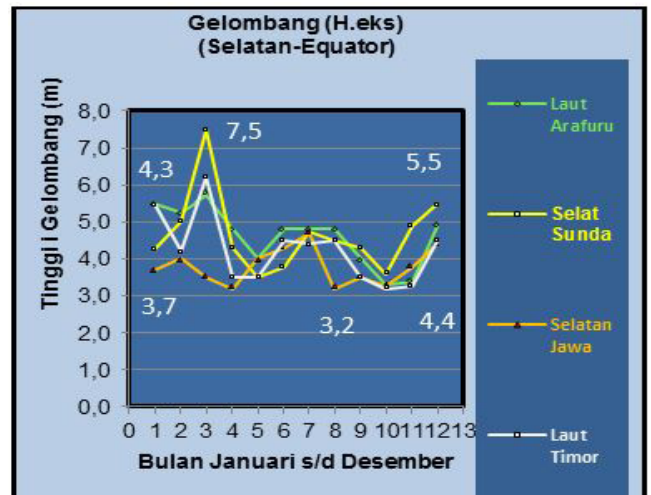
Wilayah perairan Utara Equator dalam penelitian ini meliputi 6 (enam) wilayah diantaranya adalah perairan Laut Cina Selatan, Samudera Pasific, Perairan Barat Sumatera Utara, perairan Utara Papua, Laut Sulawesi, dan Laut Maluku seperti terlihat dalam Tabel 2. Didaerah belahan Utara-Equator, ketinggian gelombang ekstrim (H.eks) di atas 4,73 m dimana merupakan batas tertinggi gelombang yang tidak bisa dilalui KCR 60M terjadi di perairan Laut Cina Selatan dengan ketinggian gelombang ekstrim mencapai 6,1 hingga 7,2 m, diperairan Samudera Pasific dengan ketinggian antara 4,8 hingga 5,2 m di musim *moonsun Asia* dan *Australia* serta perairan Barat Sumatra Utara dengan ketinggian 4,8 m di bulan Agustus. Sedangkan diwilayah Utara Papua, Laut Sulawesi dan Laut Maluku rata-rata tinggi gelombang ekstrim dibawah 4,73 m baik dimusim *moonsun Asia*, *moonsun Australia* maupun ke dua *moonsun* peralihan yaitu periode antara *moonsun Asia* dan *moonsun Australia* yaitu bulan Maret, April dan Mei serta periode antara *moonsun Australia* dan *moonsun Asia* yaitu bulan September, Oktober dan Nopember seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Gelombang (H.eks) Utara-Equator (perbulan).

Bln	Laut Cina Sel.	Smd. Pasific	Barat Sumut	Utara Papua	Laut Sulawesi	Laut Maluku
1	7,2	4,8	2,9	3,4	3,5	3,6
2	6,1	4,8	2,8	3,0	3,2	3,5
3	6,2	4,8	2,8	3,5	2,7	3,2
4	2,9	3,2	4,0	3,2	2	2,5
5	3,2	4,5	4,7	4,0	2,8	2,6

6	4,8	4,4	4,3	4,4	2,4	2,7
7	4,8	4,5	4,4	4,5	2,25	2,75
8	4,5	5,0	4,8	3,1	2,25	3,25
9	4,2	3,7	4,5	3,5	1,6	2,4
10	4	5,2	4,5	3,3	2,4	2,8
11	6	4,6	4,3	3,8	3,2	2,8
12	7	4,8	2,8	4,4	3,3	3,4

Sumber : Hasil Olahan Data



Sumber : Hasil Olahan Data

Gambar 7. Peta Wilayah Pangkalan TNI-AL Koarmabar dan Koarmatim

Hal ini berarti kapal KCR 60M tidak bisa dioperasikan pada bulan Agustus akhir *moonsun Australia* diwilayah perairan Samudera Pasific dan perairan Barat Sumatera Utara yang mempunyai ketinggian gelombang antara 4,8 hingga 5,0 m dimana wilayah tersebut merupakan wilayah perairan Lantamal I (Medan) & Lantamal II (Padang). Begitu pula dibulan Desember, Januari, Pebruari ketinggian gelombang ekstrim mencapai antara 6,1 hingga 7,2 m terjadi pada periode musim *moonsun Asia*, KCR 60M tidak bisa beroperasi di daerah perairan Lantamal IV (Tanjung Pinang) dan Lantamal XII (Pontianak) yang berhadapan dengan Laut Cina Selatan sampai dengan waktu di awal musim *moonsun* peralihan antara *moonsun Asia* dan *moonsun Australia* yaitu di bulan Maret dengan ketinggian gelombang ekstrim mencapai 6,2 m. Di kawasan Samudera Pasific pada akhir musim *moonsun Australia* tepatnya dibulan Agustus ketinggian gelombang

ekstrim mencapai 5,0 m dan pertengahan musim *moonsun* peralihan antara *moonsun Australia* dan *moonsun Asia* dibulan Oktober mencapai 5,2m dimana KCR 60M tidak bisa juga beroperasi di atas kawasan Lantamal XIV (Sorong) dan Lantamal X (Jayapura) dimana kedua lantamal tersebut berada di kawasan wilayah perairan yang berhadapan dengan Samudera Pasific. Walaupun demikian menurut data tinggi gelombang maksimum pada Tabel 3, KCR 60M secara umum aman dapat dioperasikan di wilayah Utara Equator dengan kondisi gelombang maksimum hampir sepanjang tahun terkecuali pada bulan Desember dan Januari dikarenakan ketinggian gelombang maksimum di Laut Cina Selatan masih mencapai antara 5,5 hingga 5,8 m. Sementara kawasan perairan Laut Sulawesi dan Laut Maluku hanya mencapai ketinggian maksimum antara 1,6 hingga 2,8 m dibawah atau <4,73 m aman untuk bisa dilalui KCR 60M sepanjang Tahun. Tinggi gelombang maksimum di wilayah perairan Utara Equator secara umum berada di bawah ketinggian 4,73 m. Wilayah perairan yang berada dalam kawasan Utara-Equator meliputi 6 (enam) wilayah di antaranya adalah Laut Cina Selatan, Samudera Pasific, Barat Sumatera Utara, Utara Papua, Laut Sulawesi dan Laut Maluku. Nampak bahwa wilayah perairan yang mempunyai ketinggian gelombang maksimum di atas 4,73 m hanya berada di kawasan perairan Laut Cina Selatan yaitu hanya dimusim *moonsun Asia* dimana ketinggian gelombang hanya terjadi pada bulan Desember dan Januari yaitu dengan ketinggian maksimum mencapai 5,5 hingga 5,8 m seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Gelombang (H.maks) rata-rata Utara-Equator (perbulan)

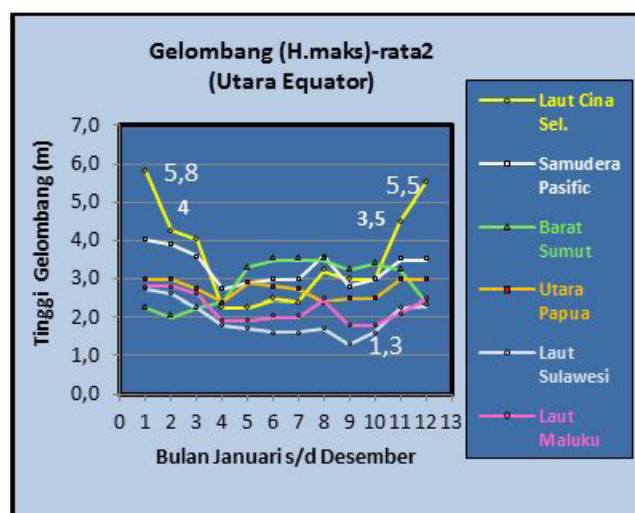
Bl	Laut Cina Sel.	Smd Pasific	Barat Sumatra	Utara Papua	Laut Sulawesi	Laut Maluku
1	5,8	4	2,3	3	2,75	2,8
2	4,3	3,9	2,0	3	2,6	2,8
3	4,0	3,6	2,3	2,75	2,25	2,6
4	2,3	2,75	2,4	2,4	1,8	1,9

5	2,3	2,9	3,3	2,9	1,7	1,9
6	2,5	3	3,5	2,8	1,6	2
7	2,4	3	3,5	2,75	1,6	2
8	3,2	3,6	3,5	2,4	1,7	2,5
9	3,0	2,8	3,3	2,5	1,3	1,8
10	3,0	3	3,4	2,5	1,6	1,8
11	4,5	3,5	3,3	3	2,25	2,1
12	5,5	3,5	2,4	3	2,3	2,5

Sumber : Hasil Olahan Data

3. Data Gelombang (H.eks) & (Hmaks) rata-rata Selatan-Equator.

Wilayah perairan didalam kawasan Selatan-Equator meliputi 4 (empat) wilayah diantaranya adalah wilayah Laut Arafuru, Selat Sunda, Selatan Jawa dan Laut Timor seperti terlihat pada Tabel 4. Nampak dalam Tabel 4 bahwa tinggi gelombang ekstrim Selatan-Equator mencapai ketinggian antara 3,2 hingga 7,5 m. Dimana tinggi gelombang ekstrim di kawasan perairan Laut Arafuru bisa mencapai ketinggian ekstrim antara 3,3 hingga 5,8m yaitu terjadi pada musim *moonsun Asia* yaitu pada bulan Desember, Januari, dan Pebruari.



Sumber : Hasil Olahan Data

Gambar 8. Kurva Tinggi Gelombang (H.maks) rata2 Utara Equator

Pada musim peralihan antara moonsun Asia dan Australia yaitu pada Maret, April dan Mei tinggi gelombang ekstrim mencapai ketinggian antara 4,8 hingga 5,8m. Sedangkan pada musim moonsun Australia yaitu pada bulan Juni, Juli, dan Agustus mencapai ketinggian disekitar 4,8 m. Sedangkan di kawasan perairan selat Sunda ketinggian gelombang ekstrim di atas 4,73 m

terjadi di musim moonsun Asia khususnya dibulan Desember dan Pebruari yaitu sekitar 5,5 dan 5,0 m.

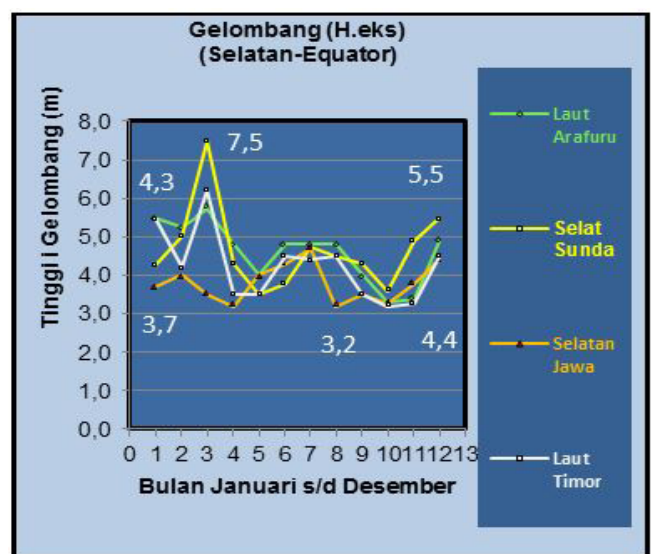
Tabel 4. Gelombang (H.eks) Selatan-Equator (perbulan).

Bln	L a u t A r a - f u r u	Selat Sunda	Selatan Jawa	L a u t T i m o r
1	5,5	4,3	3,7	5,5
2	5,3	5,0	4	4,2
3	5,8	7,5	3,5	6,2
4	4,8	4,3	3,2	3,5
5	4,0	3,5	4	3,5
6	4,8	3,8	4,3	4,5
7	4,8	4,8	4,7	4,4
8	4,8	4,5	3,2	4,5
9	4,0	4,3	3,5	3,5
10	3,3	3,6	3,25	3,2
11	3,4	4,9	3,8	3,3
12	4,9	5,5	4,4	4,5

Sumber : Hasil Olahan Data

Begitu pula terjadi ketinggian gelombang ekstrim 7,5 m dimusim peralihan antara *moonsun* Asia dan Australia khususnya di bulan Maret. Sedangkan di musim *monsoon Australia* terjadi tinggi gelombang ekstrim > 4,73 m pada bulan Juli yaitu sekitar 4,8 m. Begitu pula pada musim peralihan antara *moonsun Australia* dan *moonsun Asia* terjadi tinggi gelombang ekstrim > 4,73m pada bulan Nopember yaitu mencapai ketinggian sekitar 4,9 m. Di kawasan perairan Laut Jawa tinggi gelombang ekstrim relatif lebih rendah yaitu dibawah 4,73 m dengan variasi ketinggian antara 3,5 hingga 4,3m. Begitu pula dikawasan perairan Selatan Jawa ketinggian gelombang ekstrim sepanjang tahun berada di bawah 4,73m yaitu bervariasi antara 3,2 hingga 4,7m. Dikawasan perairan Laut Timor, ketinggian gelombang ekstrim secara umum berada di bawah ketinggian 4,73m kecuali hanya pada bulan Desember dalam periode musim *moonsun Asia* mencapai ketinggian 5,5m serta pada bulan Maret dalam periode awal musim *moonsun* peralihan mencapai ketinggian sekitar 6,2m. Hal ini dapat disimpulkan bahwa

Kapal KCR 60M tidak dapat dioperasikan pada bulan Desember, Januari, Pebruari dalam musim *moonsun Asia* serta bulan Juni, Juli, Agustus didaerah sekitar Laut Arafuru dengan ketinggian gelombang ekstrim 4,8m. Begitu pula di daerah Selat Sunda pada bulan Nopember dengan ketinggian 4,9m di akhir musim peralihan. Tapi hanya dapat dioperasikan pada musim moonsun Peralihan antara musim moonsun Australia dan moonsun Asia yaitu pada bulan September, Oktober dan Nopember. Begitu pula KCR 60M dapat beroperasi disepanjang tahun dikawasan perairan Selatan Jawa. Berdasarkan uraian diatas dan kurva tinggi gelombang ekstrim rata2 bervariasi antara 3,2 hingga 7,5 m dan gelombang maksimum rata2 bervariasi antara 1,9 hingga 4,5 m, maka kapal KCR 60M tidak dapat dioperasikan dibeberapa daerah Lantamal yang berada disekitar Laut Arafuru (4,8 s/d 5,8 m) seperti misal daerah Lantamal IX (Ambon), Lantamal VII (Kupang), dan Lantamal XI (Merauke). Disisi lain berdasarkan berdasarkan data tinggi gelombang maksimum di Selatan Equator dalam Tabel 5 yang telah dikurvakan (Gambar 10), terlihat bahwa KCR 60M dapat dioperasikan sepanjang tahun diwilayah selatan equator dikarenakan kondisi tinggi gelombang maksimum mencapai ketinggian dibawah 4,73m yaitu antara 1,9 hingga 4,5m.



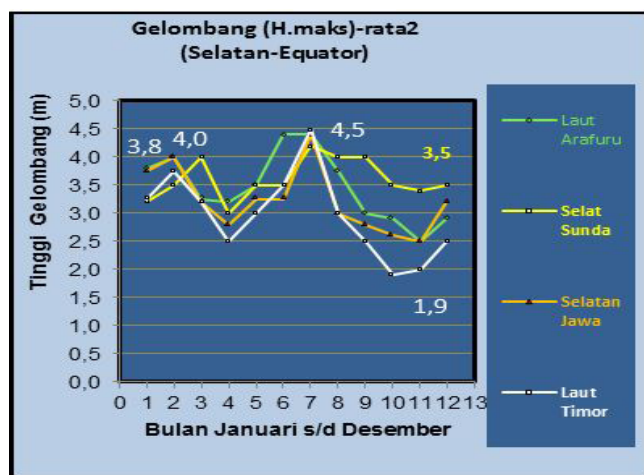
Sumber : Hasil Olahan Data

Gambar 9. Kurva Tinggi Gelombang (H.eks) rata2 Selatan Equator (perbulan)

Tabel 5. Gelombang (H.maks)-rata2 Selatan-Equator (perbulan).

Bln	Laut Arafuru	Selat Sunda	Selatan Jawa	Laut Timor
1	3,8	3,2	3,8	3,3
2	4,0	3,5	4,0	3,8
3	3,3	4,0	3,2	3,2
4	3,2	3,0	2,8	2,5
5	3,5	3,5	3,3	3,0
6	4,4	3,5	3,3	3,5
7	4,4	4,2	4,4	4,5
8	3,8	4,0	3,0	3,0
9	3,0	4,0	2,8	2,5
10	2,9	3,5	2,6	1,9
11	2,5	3,4	2,5	2,0
12	2,9	3,5	3,2	2,5

Sumber : Hasil Olahan Data.



Sumber : Hasil Olahan Data

Gambar 10. Kurva Tinggi Gelombang Maks.rata2 Selatan-Equator (perbulan)

4. Data Gelombang (H.eks)& (Hmaks) rata2 Antar-Pulau (perbulan).

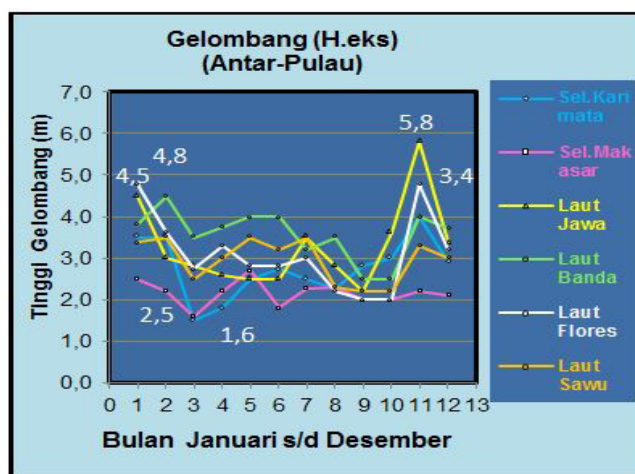
Wilayah perairan dikawasan Antar-Pulau meliputi 6 (enam) wilayah seperti terlihat pada Tabel 6. diantaranya adalah wilayah Selat Karimata, Selat Makasar, Laut Jawa, Laut Banda, Laut Flores, dan Laut Sawu. Berdasarkan data tinggi gelombang ekstrim yang telah dikurvakan (Gambar 11) terlihat bahwa ketinggian gelombang ekstrim mencapai 1,5 hingga 5,8m. Secara umum ketinggian gelombang ekstrim

dibawah 4,73m kecuali di beberapa wilayah perairan tertentu yaitu diantaranya Laut Jawa, Laut Banda dan Laut Flores dimana terjadi ketinggian gelombang 5,8m di Laut Jawa pada bulan Desember dalam periode musim moonsun Asia, 4,8m di Laut Banda pada bulan Desember dalam periode musim moonsun Asia, dan ketinggian gelombang 4,75 hingga 4,8m pada bulan Desember, Januari, dan Pebruari dalam periode musim moonsun Asia. Sedangkan data ketinggian gelombang maksimum rata2 perbulan di wilayah Antar-Pulau seperti terlihat dalam Tabel 7 yang telah dikurvakan (Gambar 12) mencapai ketinggian bervariasi antara 1,3 hingga 3,7m.

Tabel 6. Gelombang (H.eks) Antar-Pulau (perbulan).

Bln	Sel. Kari-mata	Sel. Maka-sar	Laut Jawa	Laut Banda	Laut Flo-res	Laut Sawu
1	4,3	2	4,5	4,8	4,75	3,75
2	3,5	2,5	4,5	3,8	4,8	3,4
3	3,5	2,2	3,0	4,5	3,6	3,5
4	1,5	1,6	2,8	3,5	2,75	2,5
5	1,8	2,2	2,6	3,8	3,3	3
6	2,5	2,7	2,5	4,0	2,8	3,5
7	2,8	1,8	2,5	4,0	2,8	3,2
8	2,5	2,25	3,5	3,2	3	3,5
9	2,3	2,3	2,8	3,5	2,2	2,3
10	2,8	2	2,2	2,5	2	2,2
11	3,0	2	3,6	2,5	2	2,2
12	4,0	2,2	5,8	4,0	4,8	3,3

Sumber : Hasil Olahan Data



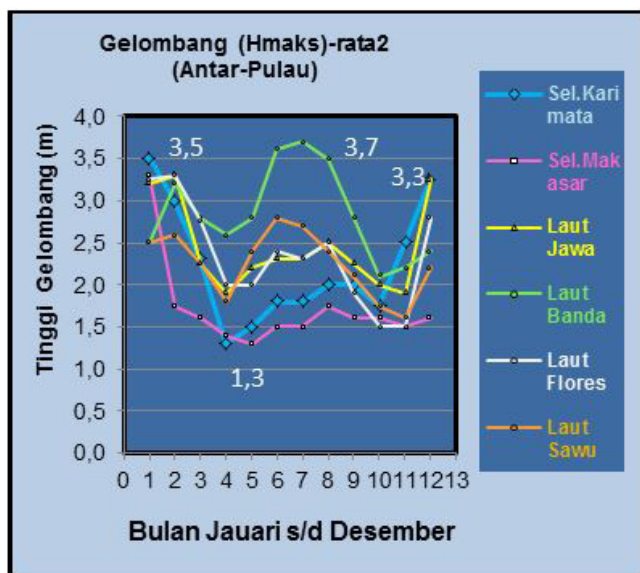
Sumber : Hasil Olahan Data

Gambar 11. Kurva Tinggi Gelombang (H.eks) Antar-Pulau (perbulan)

Tabel 7. Gelombang (H.maks) rata-rata Antar-Pulau (perbulan).

Bln	Sel. Kari-mata	Sel. Maka-sar	Laut Jawa	Laut Banda	Laut Flores	Laut Sawu
1	3,5	3,3	3,2	2,5	3,3	2,5
2	3,0	1,8	3,3	3,2	3,3	2,6
3	2,3	1,6	2,3	2,8	2,8	2,3
4	1,3	1,4	1,9	2,6	2,0	1,8
5	1,5	1,3	2,2	2,8	2,0	2,4
6	1,8	1,5	2,3	3,6	2,4	2,8
7	1,8	1,5	2,3	3,7	2,3	2,7
8	2,0	1,8	2,5	3,5	2,5	2,4
9	2,0	1,6	2,3	2,8	1,9	2,1
10	1,8	1,6	2,0	2,1	1,5	1,8
11	2,5	1,5	1,9	2,2	1,5	1,6
12	3,3	1,6	3,3	2,4	2,8	2,2

Sumber : Hasil Olahan Data.



Sumber : Hasil Olahan Data

Gambar 12. Kurva Tinggi Gelombang H maks rata2 Antar-Pulau (perbulan)

Sehingga dapat disimpulkan bahwa kapal KCR60M dapat beroperasi di 4 (empat) wilayah dari 6 (enam) wilayah yaitu Selat Karimata, Selat Makasar, Laut Banda dan Laut Sawu. Namun KCR 60M tidak dapat beroperasi di Laut Flores karena mempunyai ketinggian gelombang ekstrim antara 4,75 hingga 4,8m pada bulan Desember, Januari, dan Pebruari diperiode musim moonsun Asia dan di wilayah Laut Jawa karena mempunyai ketinggian gelombang ekstrim 5,8 m pada bulan Desember dalam periode musim moonsun Asia.

Namun secara umum berdasarkan ketinggian gelombang maksimum Antar-Pulau antara 1,3 hingga 3,7m, maka kapal KCR 60M dapat beroperasi sepanjang tahun di 6 (enam) wilayah tersebut. Berdasarkan analisa tinggi gelombang ekstrim dan gelombang maksimum di wilayah perairan Antar-Pulau, dapat disimpulkan bahwa kapal KCR 60M tidak dapat beroperasi di beberapa wilayah Lantamal diantaranya yang berada di sekitar Laut Jawa karena ketinggian gelombang ekstrim 5,8m pada bulan Desember, Laut Banda karena ketinggian gelombang ekstrim 4,8m pada bulan Januari, dan sekitar Laut Flores karena ketinggian gelombang antara 4,75 hingga 4,8m pada bulan Desember, Januari dan Pebruari pada periode musim moonsun Asia diantaranya adalah Lantamal III (Jakarta), Lantamal V (Surabaya), Lantamal VI (Makasar) dan Lantamal IX (Ambon).

5. Data Gelombang (H.eks) rata-rata Utara-Equator, Selatan-Equator serta Antar-Pulau pertahun.

Tinggi gelombang ekstrim rata-rata pertahun untuk wilayah-wilayah perairan yang ada di ke 3(tiga) wilayah penelitian antara lain di Utara-Equator, Selatan-Equator dan Antar-Pulau dilakukan untuk mengetahui seberapa besar rata-rata ketinggian gelombang ekstrim sebagai dasar nilai yang aman dan tidak menyebabkan *over design* bagi kelas *Fast Patrol Boat*, karena bila lebih panjang dari kelas *Fast Patrol Boat* (50-500Ton) dengan panjang (30-70m) maka sudah tergolong kelas kapal *Corvette* (500-3000Ton) dengan panjang (60–128m). Sebagai pembandingan kapal KCR 60M yang masuk dalam kategori kapal patroli cepat (*Fast Patrol Boat*) berdasarkan data dari Saunders, dalam journal “*IHS Jane’s Fighting Ships 2012–2013*”, adalah kapal HMAS *Armidale* milik angkatan laut Australia (*Royal Australian Navy/RAN*) yang ditugaskan terutama untuk menjaga dan melindungi garis perbatasan wilayah perairan Australia. Menurut Saunders, dalam journal “*IHS Jane’s Fighting Ships 2012–2013*, p. 33” kapal ini dioperasikan oleh *Australian Patrol Boat Group*, dan berbasis di pelabuhan Cairns and Darwin. Kapal HMAS *Armidale* dibuat oleh galangan kapal Austal,

Henderson, Western Australia dan diserahkan ke *Royal Australian Navy/ RAN* Juni 2005 sebanyak 2 (dua) buah, 2006 sebanyak 6 (enam) buah, dan 2007 sebanyak 5 (lima) buah. Kapal HMAS Armidale kelas *Fast Patrol Boat* ini mempunyai spesifikasi hampir sama dengan KCR 60M dengan panjang kapal sekitar 56,8 m seperti terlihat dalam Tabel 8.

Tabel 8. Dimensi Utama HMAS Armidale dan KCR 60M

Spesifikasi Teknis	HMAS Armidale	KCR 60M
Panjang (m)	56,80	59,80
Lebar (m)	9,50	8,10
Sarat max.(m)	2,70	2,60
Displacement (Ton)	305	460
Kecepatan (Knots)	25	28
Kemampuan kinerja senjata	Sea State 4	4
Kemampuan Navigasi & patroli	Sea State 5	Sea State 6

Sumber : *IHS Jane’s Fighting Ships 2012–2013*.



Sumber : *IHS Jane’s Fighting Ships 2012–2013*

Gambar 13. Kapal HMAS Armidale *Royal Australian Navy*

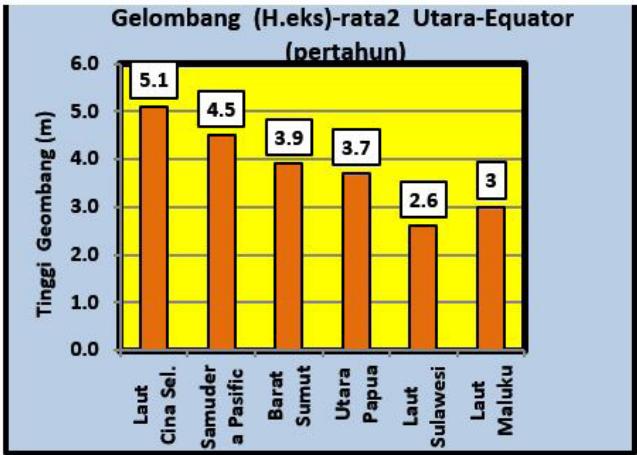
Menurut Heron, Wesley and Powell, dalam papernya yang berjudul “*Welcome to the Armidale Class*”, menjelaskan bahwa kapal HMAS Armidale dirancang untuk memenuhi *specific requirements* dari *Royal Australian Navy* dimana kapal harus mampu melakukan boarding operations sampai sea state 4, dan mampu melakukan operasi navigasi dan patroli hingga *Sea State 5*.

Tabel 9. Gelombang (H.eks) rata-rataUtara Equator, Selatan-Equator dan Antar-Pulau (pertahun).

Utara-Eq (H.eks)	Rata-rata	Antar Pulau (H.eks)	Rata-rata	Sel-Eq (H.eks)	Rata-rata
Laut Cina Sel.	5,1	Sel.Karimata	2,9	Laut Arafuru	4,6
Samud. Pasific	4,5	Sel. Makassar	2,1	Selat Sunda	4,7
Barat Sumut	3,9	Laut Jawa	3,4	Selatan Jawa	3,8
Utara Papua	3,7	Laut Banda	3,7	Laut Timor	4,2
Laut Sulawesi	2,6	Laut Flores	3,2		—
Laut Maluku	3,0	Laut Sawu	3,0		—

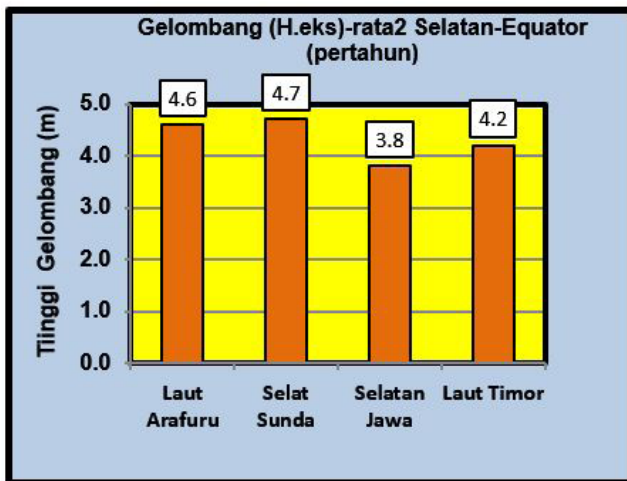
Sumber : Hasil Olahan Data

Berdasarkan informasi tersebut di atas, dapat disimpulkan bahwa kapal KCR 60M seperti halnya kapal HMAS Armidale dengan panjang sekitar 56,8m juga mampu melakukan penggunaan senjata pada *Sea State 4* dan melakukan operasi Navigasi serta patroli hingga *Sea State 6* yang nampak sedikit lebih baik dari kapal HMAS Armidale.



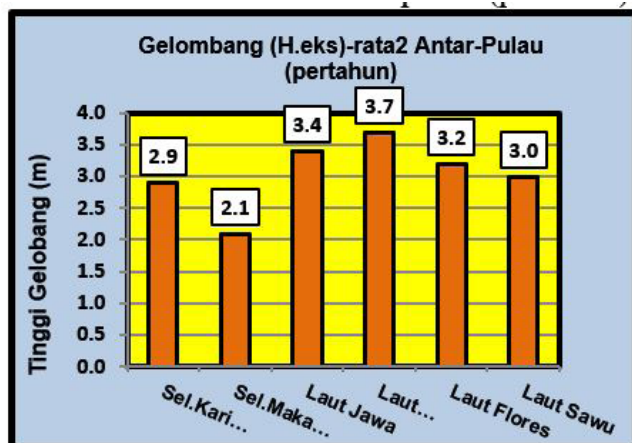
Sumber : Hasil Olahan Data

Gambar 14. Tinggi Gelombang (H.eks) rata-rata Utara-Equator (pertahun).



Sumber : Hasil Olahan Data

Gambar 15. Tinggi Gelombang (H.eks) rata-rata Selatan-Equator (pertahun).



Sumber : Hasil Olahan Data

Gambar 16. Tinggi Gelombang (H.eks) rata-rata Antar-Pulau (pertahun).

.E. Prediksi Panjang Kapal KCR Minimal

Untuk memprediksi seberapa besar panjang kapal KCR ideal yang aman dan mempunyai kemampuan beroperasi di gelombang ekstrim tertinggi, maka terlebih dahulu dilakukan asumsi melalui pengambilan data gelombang ekstrim tertinggi di ke 3 (tiga) wilayah (Utara-Equator, Selatan-Equator, dan Antara-Pulau). Penentuan gelombang ekstrim tertinggi dilakukan dengan melakukan penentuan tinggi gelombang ekstrim rata-rata pertahun disetiap perairan yang berada di ke 3 (tiga) wilayah yaitu Utara-Equator, Selatan-Equator, dan Antara-Pulau. Seperti yang terlihat pada Gb.12, Gb.13 dan Gb.14. Berdasarkan ke 3 (tiga) kurva tersebut gelombang ekstrim tertinggi

rata-rata adalah 5.1 m. Dengan menggunakan formula $H_w = 0.61(L)^{0.5}$, dimana $H_w = 5,1$ m, maka panjang kapal KCR yang sesuai untuk melewati tinggi gelombang 5,1 m harus mempunyai panjang minimal $69,90\text{m} \approx 70\text{m}$ atau $\geq 70\text{m}$.

Kesimpulan

Dari hasil analisa dapat disimpulkan bahwa kapal KCR 60M dapat beroperasi dan berlayar di ketinggian gelombang hingga maksimum 4,73 m yaitu dalam Sea state 5 (2,5 s/d 4,0m) dengan kata lain dapat beroperasi disetiap saat sepanjang tahun di wilayah Selatan-Equator dan Antar-Pulau yang hanya berketinggian gelombang maksimum 1,3 hingga 4,5m. Namun demikian, kapal KCR 60M tidak dapat dioperasikan pada ketinggian gelombang ekstrim yang mencapai rata 5,1m yaitu dalam Sea state 6 (4,0 s/d 6,0m) yang terjadi pada bulan Desember dan Januari pada periode *moonsun Asia* diseluruh wilayah Koarmatim dan Koarmabar yaitu mulai dari Pangkalan Utama Angkatan Laut (Lantamal) I (Medan) hingga XIV (Sorong). Dengan ketinggian gelombang ekstrim rata-rata 5,1m maka telah dapat diprediksi panjang kapal KCR yang aman untuk melampaui ketinggian gelombang 5,1m adalah minimal 70m.

Rekomendasi

Agar kapal KCR 60M aman dioperasikan di perairan Indonesia maka harus dipastikan kapal hanya beroperasi pada ketinggian gelombang $\leq 4,73\text{m}$ dan menghindari gelombang ekstrim $>4,73\text{m}$ yang terjadi pada bulan Desember dan Januari dalam periode *moonsun Asia* diseluruh wilayah Lantamal I (Medan) s/d Lantamal XIV (Sorong). Walaupun demikian, untuk dapat melampaui tinggi gelombang ekstrim 5.1m (rata2) maka direkomendasikan untuk melakukan perubahan ukuran dimensi utama kapal khususnya dimensi panjang kapal minimal 70m dengan disertai perhitungan terhadap kekuatan struktur memanjang (*longitudinal strength*) dengan metode finite element analysis akibat kondisi beban terburuk yaitu beban *Hogging* maupun *Sagging*, serta melakukan uji hidrodinamik yaitu uji kemampuan stabilitas dinamis dan ketahanannya (*dynamic stability and survivability*).

Ucapan Terima Kasih

Dengan puji syukur kepada yang Maha Esa pada akhirnya telah terselesaikan Karya Tulis Ilmiah ini dengan baik. Tak lupa rasa terima kasih kepada teman-teman dari Direktorat Pusat Teknologi Industri Pertahanan dan Keamanan-BPPT satu timm program kapal KCR atas info dan kerjasamanya serta terimakasih pula atas bantuan informasi dari BMKG yang sangat berguna dalam penelitian ini. Semoga informasi penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Daftar Pustaka

- [1]. Yen Yi Loo, *Effect of climate change on seasonal monsoon in Asia and its impact on the variability of monsoon rainfall in Southeast Asia*, China University of Geosciences, Beijing, 2016.
- [2]. Tom Ainsworth, *Significant Wave Height*, National Weather Service (NWS) of NOAA, Juneau, Alaska, January 6, 2015.
- [3]. Bayong, Tj.H.K., *Sains atmosfer*, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta, 2008.
- [4]. Roni Kurniawan, M. Najib Habibie, Suratno, *Variasi Bulanan Gelombang Laut Indonesia*, Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG, Jakarta, 2011.
- [5]. The International Association of Classification Societies (IACS), 2010, *Recommendation No. 34, Standard Wave Data*, IACS, www.iacs.org.uk.
- [6]. Claude Daley, *Longitudinal Strength & Wave Bending Moments*, Ship Structures, Faculty of Engineering and Applied Science, Memorial University, Canada, 2013, p.60-65.
- [7]. Craig B. Smith, *Extreme Waves and Ship Design*, 10th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, Texas, USA, 2009.
- [8]. PT.PAL, *Kapal Cepat Rudal 60m*, Divisi Kapal Perang, Surabaya, 2014.
- [9]. WMO., *The Sea State and The Swell of The Sea*, Weather Meteorological Office Fact Sheet 6, accessed 24 Sept 2012.
- [10]. John E.Pike, *Study on Military Boats For Beginners*, Washington USA, 2017. [http:// www.globalsecurity.org/military/systems /ship/beginner.htm](http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/beginner.htm).
- [11]. David Raja Marpaung, *Analisis Kekuatan Angkatan Laut Indonesia*, 2016, [https:// indonesiadefenseanalysis.blogspot.co.id/2016/05analisis-kekuatan- angkatan-laut.html](https://indonesiadefenseanalysis.blogspot.co.id/2016/05analisis-kekuatan-angkatan-laut.html)
- [12]. Roni Kurniawan, M. Najib Habibie dan Donald S.Permanaat. *Kajian Daerah Rawan Gelombang Tinggi Di Perairan Indonesia*, Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG, Jakarta, 2012.