

ANALISIS KARAKTERISTIK GELOMBANG LAUT GUNA MENDUKUNG DATA INFORMASI OPERASI KEAMANAN LAUT DI WILAYAH LAUT NATUNA DAN LAUT NATUNA UTARA

Purri Djati Anggara¹, Dian Adrianto², Widodo Setiyo Pranowo³, Tasdik Mustika Alam⁴

¹Mahasiswa Program Studi S1 Hidrografi, STTAL

²Peneliti dari Pusat Hidro-Oseanografi TNI AL, Pushidrosal

³Peneliti dari Sumber daya laut dan Pesisir, Pusriskel KKP RI

⁴Dosen Pengajar Prodi S1 Hidrografi, STTAL

ABSTRAK

Perilaku permukaan laut dan konsekuensi angkutan laut yang representatif merupakan bagian dari parameter yang mempengaruhi operasi militer di laut. Laut Natuna dan Laut Natuna Utara memiliki letak geografis dan geopolitik yang sangat strategis, diharapkan keselamatan pelayaran dan keamanan maritim dapat dijamin dengan adanya data informasi prakiraan tinggi gelombang dan dengan menghadirkankapal keamanan laut (kamla) sepanjang tahun. Lokasi penelitian terletak di kawasan tersebut, termasuk 4 stasiun pengamatan yang diturunkan berdasarkan area pengawasan di dekat pangkalan TNI AL. Analisis statistik gelombang menggunakan dataset ECMWF per 6 jam selama 10 tahun dengan resolusi spasial 14 km². Karakteristik variabel gelombang yaitu tinggi gelombang signifikan, periode dan arah gelombang telah dianalisis dalam rata-rata bulanan dan musiman. Selanjutnya, karakteristik panjang dan cepat rambat gelombang dihitung berdasarkan variabel periode gelombang. Rata-rata tinggi gelombang signifikan maksimum terjadi di musim utara, ketika propagasi gelombang datang dari arah timur laut. Prakiraan tingkat keamanan area diperoleh dengan menganalisis dimensi kapal terhadap karakteristik tinggi dan panjang gelombang. Simulasi operasi KRI mempertimbangkan data prakiraan tingkat keamanan area dan data prakiraan tinggi gelombang berdasarkan estimasi waktu tiba. Kapal B1 memiliki tinggi lambung 5,3 m dan panjang garis air 69 m, akan berlayar pada tanggal 23 November 2017 pukul 00.00 UTC di sekitar stasiun 4. Pada Bulan November, karakteristik panjang gelombang di stasiun 4 berkisar antara 29,9-193,4 m, prakiraan tinggi gelombang signifikan mencapai 1,652 m dengan batas interval 0,486 m (interval kepercayaan 80%). Jadi kapal B1 aman terhadap prakiraan tinggi gelombang signifikan dengan mewaspada gerak *pitch* kapal karena panjang garis air kapal berada dalam kisaran panjang gelombang.

Kata kunci: karakteristik gelombang laut, data informasi operasi kamla, Laut Natuna dan Laut Natuna Utara, prakiraan tinggi gelombang signifikan, simulasi operasi kapal kamla.

ABSTRACT

The sea surface behavior and representative naval ramifications are part of parameters that can determine the success of a military operation. Natuna Sea and North Natuna Sea has a very strategic geographic and geopolitical location, it is expected that cruise safety and maritime security can be guaranteed by the wave height forecast information data and by presenting marine security ship throughout the year. The research area is located in that area, including 4 specific observation stations which are derived based on the near navy base surveillance area. The wave statistical analysis using ECMWF 6 hourly datasets for 10 years with 14 km² spatial resolution. The wave variable characteristics i.e. significant wave height, period and wave direction has been analyzed by monthly and seasonal averages. A further of wavelength and velocity characteristics has been also computed based on wave periods variable. The mean of maximum significant wave height occurs in north season, when the wave propagation comes from northeast direction. Forecasts of the security level of area is obtained by analyzing the ship dimension to the characteristic of height and wavelength. The marine security ship operation simulation considers the data of area security level forecast and the data of wave height forecast based on the estimated time of arrival. ShipB1 have height hull 5.3 m and length waterline 69 meters, will sail in November 23, 2017 at 00:00 UTC around station 4. In November, wavelength characteristics in station 4 ranged from 29.9 to 193.4 m, forecasts of height wave reached 1.652 m with interval limit of 0.486 m (80% confidence interval). So the ShipB1 is safe from significant wave height forecasts with alerting pitch motion of the ship because length waterline of the ship is within wavelength range.

Keywords: *wave characteristics, data of war information, Natuna Sea and North Natuna Sea, forecasts of significant wave height, simulation of marine security ship operation.*

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki 16.056 pulau yang bernama dan berkoordinat (Kemendagri, 2017). Konektivitas antar pulau tersebut harus ditingkatkan demi tercapainya pemerataan kesejahteraan hidup masyarakat. Pemerataannya dapat dilakukan dengan cara mendistribusikan seluruh sektor pembangunan sampai ke seluruh penjuru nusantara. Pemanfaatan alat transportasi laut akan lebih efektif dan efisien daripada alat transportasi yang lain karena alat transportasi laut memiliki kapasitas ruang penyimpanan yang lebih besar.

Hal tersebut akan menyebabkan arus lalu lintas pelayaran meningkat secara signifikan. Sehingga peran penting pemerintah sangat dibutuhkan untuk menjamin keselamatan pelayaran dan keamanan maritim. Dengan adanya jaminan tersebut, diharapkan dampak negatif yang ditimbulkan oleh kecelakaan kapal dan tindak perompakan di laut dapat ditekan demi tercapainya pertumbuhan perekonomian negara.

Misi Kebijakan Kelautan Indonesia saat ini sudah sejalan dengan karakteristik Indonesia yang memiliki ribuan pulau dengan wilayah air yang jauh lebih luas dibandingkan dengan daratan (Perpres No. 16 Tahun 2017). Menganalisis karakteristik gelombang laut dan dimanfaatkan bagi kapal keamanan laut akan mendukung empat poin dari Misi Kebijakan Kelautan Indonesia, antara lain adalah terbangunnya sumber daya manusia, ilmu kelautan dan teknologi kelautan yang andal; terbangunnya pertahanan dan keamanan kelautan yang tangguh; terlaksananya penegakan kedaulatan, hukum, dan keselamatan di laut; terwujudnya peningkatan pertumbuhan ekonomi dan industri kelautan yang berdaya saing.

Beberapa parameter yang mempengaruhi operasi militer di laut antara lain yaitu atribut air laut, perilaku permukaan laut, topografi laut dan konsekuensi angkatan laut yang representatif. Lapisan air laut paling atas selalu dinamis dalam menanggapi rotasi bumi, tarikan matahari dan bulan, angin, kepadatan

air, suhu, aktivitas seismik, dan pengaruh geomagnetik (Collins, 1998).

Gelombang laut merupakan mekanisme naik dan turun permukaan laut secara tegak lurus yang terjadi secara sekejap hingga mencapai kesetimbangan (Purba & Pranowo, 2015). Perbedaan tinggi permukaan laut dapat dipicu oleh berbagai hal seperti angin, aktivitas lempeng bumi, akibat gerakan kapal, pasang surut dan arus laut (Pranowo, 2016b). Penelitian ini menganalisis gelombang laut yang dibangkitkan oleh angin.

Energi gelombang laut akan dianggap sebagai gangguan apabila digunakan sebagai parameter dalam bidang navigasi, pelabuhan, teknik pantai dan lepas pantai (Falcão, 2010). Oleh sebab itu, sangat penting mempelajari gelombang laut untuk dapat dikelola dan dikontrol dengan baik (Mehdiabadi et al., 2015). Sehingga diharapkan kegiatan manusia di laut dapat terhindar dari gelombang laut yang berbahaya.

Karakteristik gelombang laut yang unik dan bervariasi dimiliki oleh negara Indonesia sebagai negara kepulauan yang terletak diantara 2 samudera. Sistem manajemen yang tepat diaplikasikan dalam simulasi penentuan kelas KRI berdasarkan data prakiraan tinggi gelombang signifikan dan data prakiraan tingkat keamanan area terhadap 5 kelas KRI dengan spesifikasi teknis kapal yang berbeda-beda.

2. Bahan dan Metode

Lokasi penelitian terletak di Laut Natuna dan Laut Natuna Utara (lihat gambar 1). Pada musim utara tinggi gelombang mencapai tinggi maksimum dan cuaca buruk terjadi di Laut

Natuna (Sagala et al., 2014). Angin dapat mempengaruhi panjang dan tinggi gelombang signifikan yang terjadi di laut Indonesia (Taryono et al., 2016).

Dataset yang digunakan berupa data tinggi gelombang signifikan, periode dan arah gelombang, diambil dari ECMWF (*European Centre for Medium-range Weather Forecasts*) situs web dengan resolusi spasial 14 km x 14 km (0.125° x 0.125°) per 6 jam (ECMWF, 2017). Arah gelombang didefinisikan menggunakan konvensi meteorologi bahwa nol berarti “datang dari utara” dan 90 “datang dari timur” (ECMWF, 2015). Data tersebut juga dianalisis dalam rata-rata bulanan dan musiman untuk melihat karakteristiknya (Pranowo, 2016a).

Spesifikasi teknis kapal berupa data panjang keseluruhan (LOA), dan kecepatan kapal diperoleh dari buku IHS Jane’s Fighting Ships 2015-2016 (Saunders, 2015). Panjang garis air (LWL) dan tinggi lambung (HH) kapal diperoleh dari pengukuran langsung.

Penelitian ini diawali dengan mempelajari teori gelombang laut dan perangkat lunak komputer berupa *Ocean Data View (ODV) 4* (Schlitzer, 2016) and *WRPLOT View* (Thé et al, 2016). ODV 4 digunakan untuk mengolah data gelombang tipe netcdf hingga menghasilkan data keluaran berupa animasi gelombang laut 2D dan baris data gelombang tipe text. *WRPLOT View* digunakan untuk memvisualisasikan arah datangnya gelombang laut dalam bentuk diagram mawar gelombang dengan 8 arah mata angin dan 7 kelas cepat rambat gelombang yang ditunjukkan pada tabel di bawah.

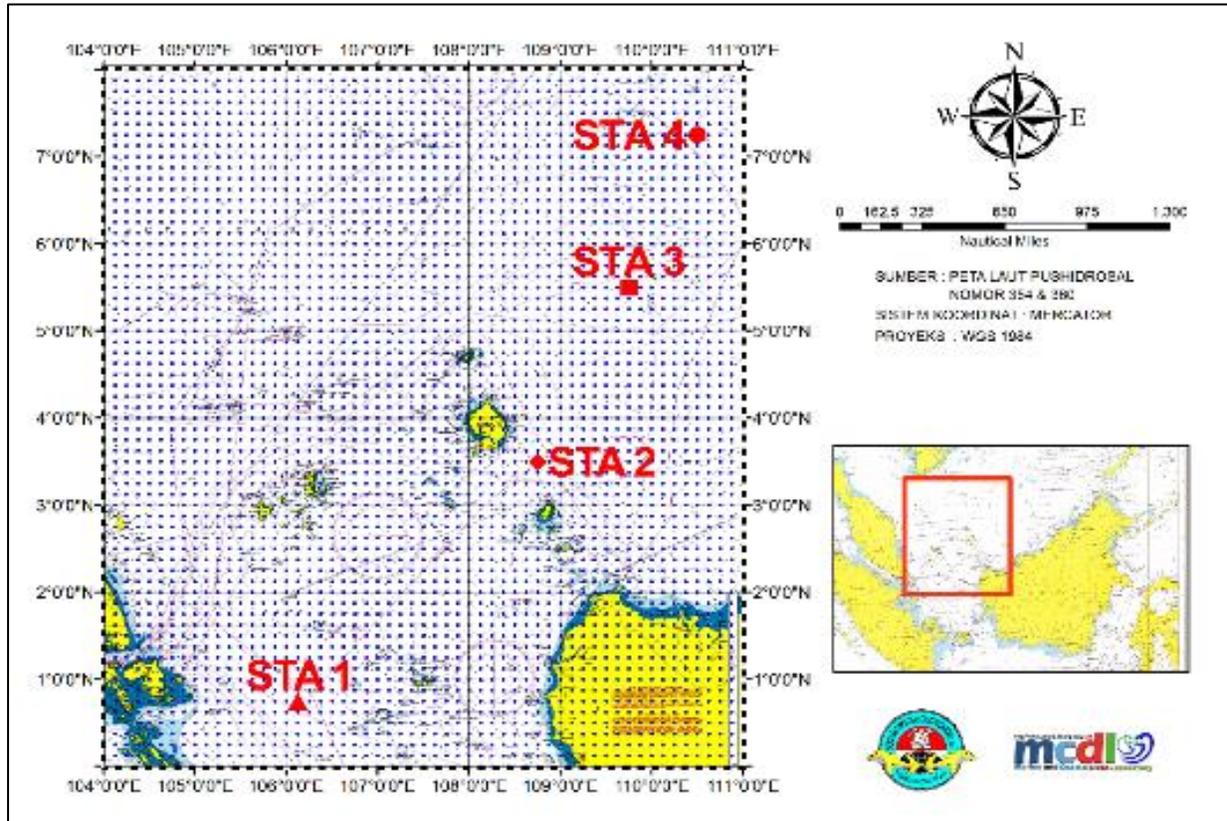
Tabel 1. Klasifikasi Arah dan Cepat Rambat Gelombang

ARAH MATA ANGIN(°)		CEPAT RAMBAT (m/s)
UTARA	(337,5 – 22,5)	>= 18,0 (merah muda)
TIMUR LAUT	(22,5 – 67,5)	15,0 – 18,0 (merah)
TIMUR	(67,5 – 112,5)	12,0 – 15,0 (oranye)
TENGGARA	(112,5 – 157,5)	9,0 – 12,0 (kuning)
SELATAN	(157,5 – 202,5)	6,0 – 9,0 (hijau muda)
BARAT DAYA	(202,5 – 247,5)	3,0 – 6,0 (hijau tua)
BARAT	(247,5 – 292,5)	0,0 – 3,0 (biru)
BARAT LAUT	(292,5 – 337,5)	

Sumber: *WRPLOT View*

Batas koordinat lokasi penelitian adalah 0°-8° LU dan 104°-111° BT yang merupakan wilayah kerja Lanal (Pangkalan TNI AL) Dabo Singkep, Lanal Batam, Lanal Tarempa, Lanal Ranai dan Lanal Sambas (Keputusan Kasal No. Kep/326/II/2016). Dari batas koordinat tersebut, kemudian ditentukan 4 stasiun pengamatan yang terletak dari timur laut hingga barat daya sehingga dapat mewakili karakteristik gelombang laut di lokasi

penelitian. Stasiun 1 di sekitar batas ZEEI (00° 45' 00" LU, 106° 7' 30" BT), Stasiun 2 di sekitar batas landas kontingen (03° 30' 00" LU, 108° 45' 00" BT), Stasiun 3 di antara Kepulauan Natuna Besar dan Kepulauan Natuna Selatan (05° 30' 00" LU, 109° 45' 00" BT) dan Stasiun 4 di sekitar cabang ALKI I (07° 15' 00" LU, 110° 30' 30" BT), lihat gambar1.

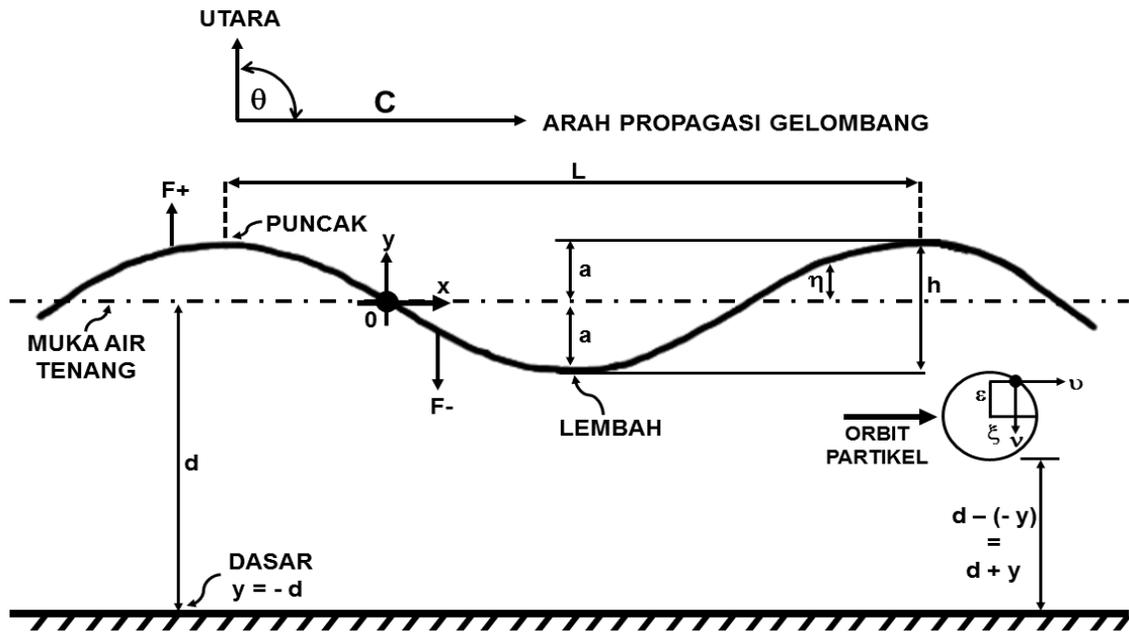


Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.

(Sumber: Peta laut Pushidrosal nomor 354 (2012) dan 360 (2014))

Berdasarkan definisi gelombang dari CERC, 1984 dan Triatmodjo, 1999, maka didapatkan definisi gelombang laut yaitu bentuk fisik air laut dimana muka air tenang mengalami gerakan naik turun menyerupai garis sinusoidal karena adanya gaya pembangkit (F+) dan gaya

pengembali (F-) sehingga gelombang laut memiliki tinggi ($h = 2a$) dan panjang (L) serta fluktuasi muka air (\square) dengan arah (\square) dan cepat rambat propagasi gelombang (C) yang mempengaruhi gerak partikel air (horisontal (\square), vertikal (\square)), lihat gambar 2.



Gambar 2. Sketsa Definisi Gelombang Laut.

Periode gelombang berkisar 1-30 detik diklasifikasikan sebagai gelombang gravitasi yang dibangkitkan oleh angin (Kinsman, 1965). Gelombang yang disebabkan oleh angin akan mengalami tiga proses fisik yang berbeda (Stewart, 2008). Dimulai dari turbulensi angin menghasilkan gelombang kecil, angin bertiup di atas gelombang kecil menyebabkan gelombang tumbuh tidak stabil secara eksponensial, dan akhirnya gelombang mulai berinteraksi di antara mereka sendiri untuk menghasilkan gelombang panjang (Phillips, 1957; Miles, 1957; Hasselmann et al., 1973).

Selama proses pembangkitan dan pertumbuhan gelombang oleh angin ditetapkan sebagai *wind sea*, seiring gelombang menyebar jauh dari zona pengaruh angin ditetapkan sebagai *swell* (Semedo et al., 2011). Gelombang *swell* dapat menjalar sampai jarak yang jauh, bahkan sampai melintasi samudera (Snodgrass et al., 1966). Sehingga gelombang laut tidak hanya dipengaruhi oleh angin lokal dan hubungan antara angin dengan gelombang selama periode pertumbuhan (*wind sea* dan *swell*) harus dipertimbangkan secara terpisah (Sverdrup dan Munk, 1947).

Tinggi gelombang signifikan (H_s) diperoleh dari rata-rata 1/3 (sepertiga) tinggi gelombang individu tertinggi yang terjadi selama periode waktu tertentu (Bidlot, 2017). Wilayah

laut di Indonesia memiliki karakteristik tinggi gelombang yang bervariasi karena perbedaan kedalaman dan luas lautan. Berdasarkan peta laut Pushidrosal, 4 stasiun pengamatan memiliki kedalaman laut lebih dari 50 meter, sehingga persamaan untuk menentukan panjang dan cepat rambat gelombang adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 1999),

$$C = LT^{-1} = gT(2\pi)^{-1} = 1.56 \times T \quad (1)$$

$$L = gT^2(2\pi)^{-1} = 1.56 \times T^2 \quad (2)$$

dengan,

L : panjang gelombang (m)

g : kecepatan gravitasi (9.8 ms^{-2})

T : periode gelombang (s)

C : cepat rambat gelombang (ms^{-1})

π : 3.14

Gerak gelombang laut memiliki efek terhadap stabilitas kapal dan mengakibatkan 2 tipe gerak pada kapal, yaitu gerak translasi dan gerak rotasi (Gates and Lynn, 1990). Gerak rotasi merupakan gerakan berbahaya bagi kapal karena mengakibatkan tubrukan yang keras dengan permukaan laut dan yang lebih parah akan merobohkan kapal apabila stabilitasnya tidak terjaga. Sehingga panjang dan tinggi lambung kapal digunakan untuk menentukan

tinggi dan panjang gelombang yang berbahaya bagi kapal (Wicaksana et al., 2015; Taryono et al., 2016). Perbandingannya ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut (Tredup, 2011 & Michell, 1893),

$$\text{Tinggi gelombang berbahaya (H}_D\text{) jika, } H \geq 30\% \times LOA \quad (3)$$

$$\text{Gelombang pecah (H}_B\text{) jika, } L \leq 7 \times H \quad (4)$$

dengan,

H : tinggi gelombang (m)

LOA : panjang keseluruhan kapal (m)

L : panjang gelombang (m)

Estimasi waktu kedatangan kapal sangatlah mutlak untuk diketahui dalam suatu perencanaan, sehingga data input perhitungan prakiraan tinggi gelombang dapat ditentukan. Persamaan sederhana menghitung estimasi waktu kedatangan kapal ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut (Hazel et al., 2007),

$$t = s \cdot v^{-1} \quad (5)$$

dengan,

t : waktu tempuh (jam)

s : jarak (mil laut)

v : kecepatan (knots)

Persamaan memprakirakan tinggi gelombang menggunakan metode *Fisher-Tippett Type I* (CERC, 1992 & Triatmodjo, 1999). Hitungan didasarkan pada analisis regresi linier dari hubungan sebagai berikut,

$$H_{sm} = \hat{A} y_m + \hat{B} \quad (6)$$

\hat{A} dan \hat{B} adalah perkiraan dari parameter skala dan lokal yang diperoleh dari analisis regresi linier dengan persamaan sebagai berikut,

$$\hat{A} = \frac{n \sum H_{sm} y_m - \sum H_{sm} \sum y_m}{n \sum y_m^2 - (\sum y_m)^2}$$

$$\hat{B} = \bar{H}_{sm} - \hat{A} \bar{y}_m$$

y_m diberikan oleh bentuk sebagai berikut,

$$y_m = -\ln\{-\ln F(H_s \leq H_{sm})\} \quad (9)$$

Fungsi distribusi probabilitas dengan persamaan,

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,44}{N_T + 0,12}$$

dengan,

$P(H_s \leq H_{sm})$: probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke m yang tidak dilampaui

H_{sm} : tinggi gelombang signifikan ke urutan ke m

m : nomor urut tinggi gelombang signifikan = 1, 2, 3, ..., N

N_T : jumlah kejadian gelombang selama pencatatan (bisa lebih besar dari gelombang representatif)

Tinggi gelombang signifikan untuk berbagai periode ulang dihitung dari fungsi distribusi probabilitas dengan rumus sebagai berikut,

$$H_{sr} = \hat{A} y_r + \hat{B}$$

di mana y_r diberikan oleh bentuk sebagai berikut,

$$y_r = -\ln\left\{-\ln\left(1 - \frac{1}{LT_r}\right)\right\}$$

dengan,

H_{sr} : tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r

T_r : periode ulang (tahun)

L : rerata jumlah kejadian pertahun = $\frac{N_T}{K}$

Batas interval keyakinan diberikan oleh tabel 2, diperoleh dari persamaan sebagai berikut,

$$\sigma_r = \sigma_{nr} \sigma_{H_s} \quad (7)$$

dengan, (8)

σ_r : kesalahan standar dari tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r

σ_{nr} : standar deviasi yang dinormalkan dari tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r

σ_{H_s} : deviasi standar dari data tinggi gelombang signifikan

di mana σ_{nr} dan σ_{H_s} diberikan oleh bentuk sebagai berikut,

$$\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} [1 + a (y_r - c + \varepsilon \ln v)^2]^{1/2} \quad (14)$$

dengan,

N : jumlah data tinggi gelombang signifikan

$$\alpha = \alpha_1 e^{\alpha_2 N^{-1.3} + k \sqrt{-\ln v}}$$

$\alpha_1, \alpha_2, c, \varepsilon, k$: koefisien empiris yang diberikan oleh tabel 3.

$$v = \frac{N}{N_T}$$

$$\sigma_{hs} = \left[\frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N (H_{sm} - \bar{H}_{sm})^2 \right]^{1/2}$$

Tabel 2. Batas Interval Keyakinan Tinggi Gelombang Signifikan Ekstrim.

Tingkat Keyakinan (%)	Batas Interval Keyakinan Terhadap H_{sr}	Probabilitas Batas Atas Terlampaui (%)
80	1,28 σ_r	10,0

Sumber: Triatmodjo, 1999

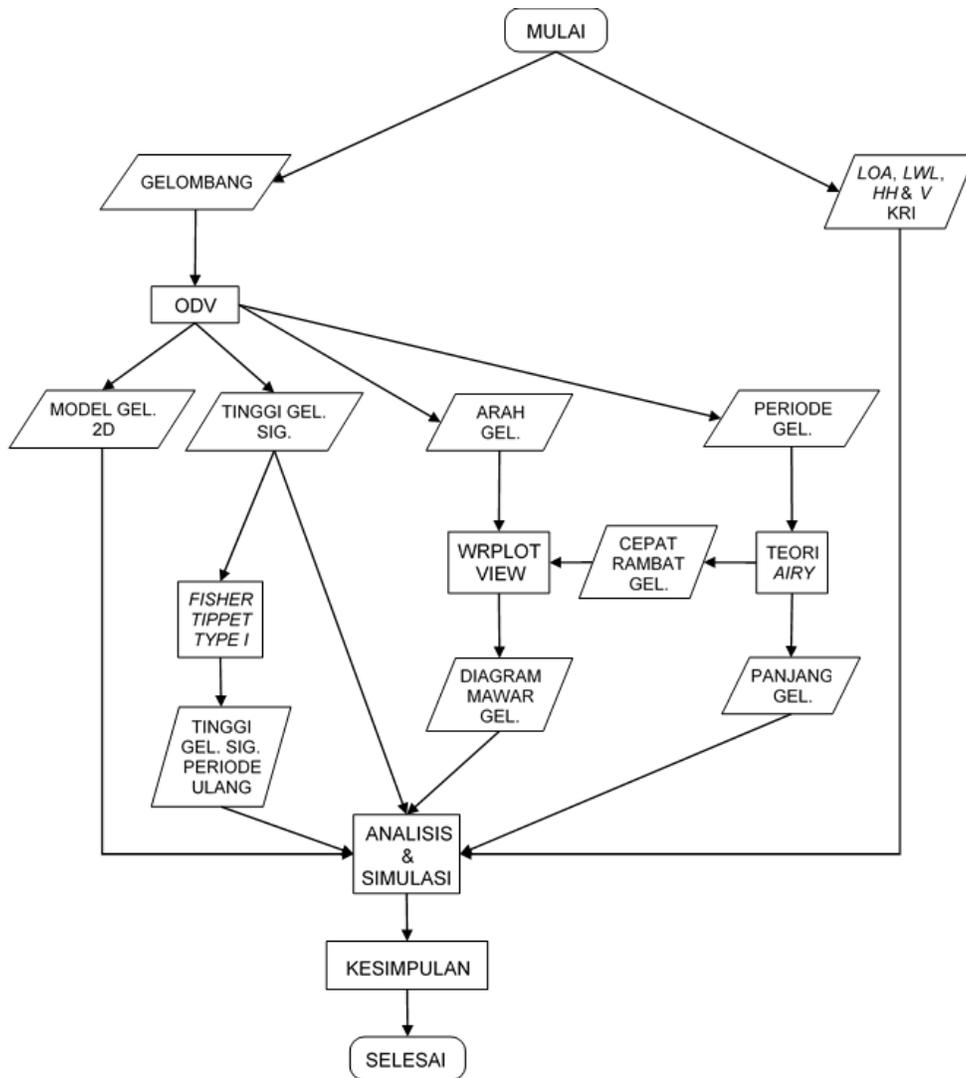
Tabel 3. Koefisien Untuk Menghitung Deviasi Standar.

Distribusi	α_1	α_2	k	c	ε
FT-1	0,64	9,0	0,93	0,0	1,33

Sumber: Triatmodjo, 1999

Berdasarkan uraian bahan dan metode penelitian di atas, maka didapatkan alur pikir menganalisis karakteristik gelombang laut dan memprakirakan tinggi gelombang hingga dapat

dimanfaatkan bagi kepentingan operasi kapal kmla yang disajikan pada gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3.Diagram Alir Penelitian Analisis Karakteristik dan Prakiraan Periode Ulang Gelombang Laut serta Simulasi Penentuan Kelas KRI.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis gelombang laut dikelompokkan menjadi 4 musim (Mustikasari et al., 2015). Berdasarkan arah angin, masyarakat Natuna mengenal 4 musim dalam setahun, antara lain musim utara (November-Februari), musim timur (Maret-Juni), musim selatan (Juli-Agustus) dan musim barat (September-Oktober) (Pemkab Natuna, 2013).

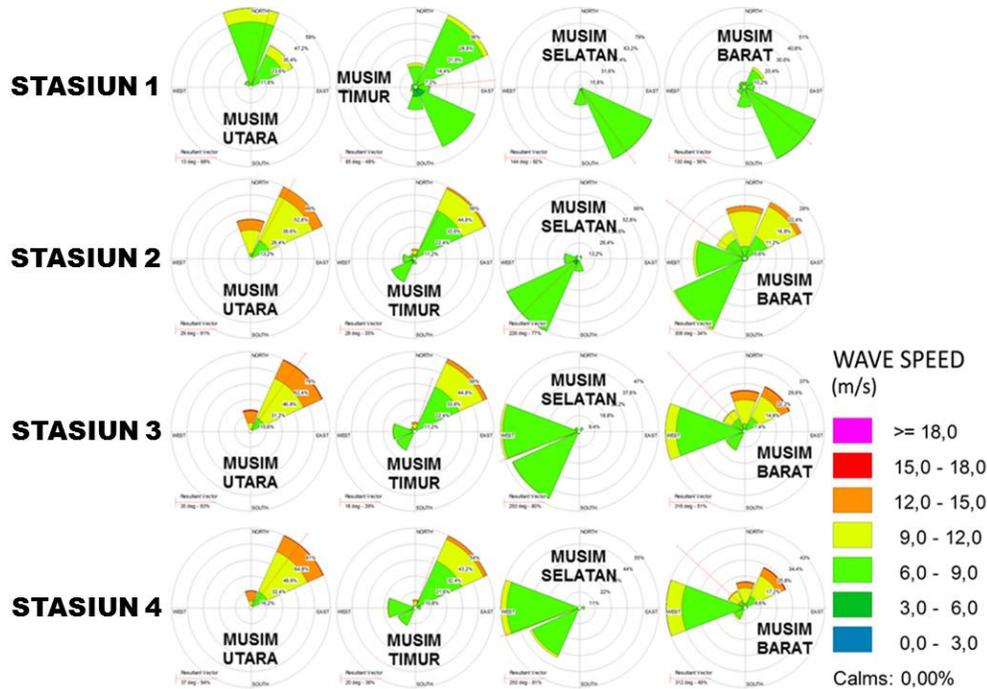
3.1 Karakteristik Arah dan Cepat Rambat Gelombang.

Pada musim utara arah gelombang di stasiun 1 dominan datang dari utara (Laut Natuna), stasiun 2, 3 dan 4 dominan datang dari timur laut (Laut Cina Selatan). Musim timur dan

musim barat merupakan musim pergantian arah gelombang dari belahan bumi utara dan selatan. Pada musim selatan arah gelombang di stasiun 1 dominan datang dari tenggara (Selat Karimata), stasiun 2 dominan datang dari barat daya (Laut Natuna), stasiun 3 datang dari barat daya-barat (Laut Natuna dan Laut Cina Selatan) dan stasiun 4 dominan datang dari barat (Laut Cina Selatan).

Stasiun 1 memiliki cepat rambat gelombang lebih rendah dikarenakan terletak di laut yang lebih tertutup daripada stasiun pengamatan yang lain. Cepat rambat gelombang lebih dari $9,0 \text{ m s}^{-1}$ dominan terjadi pada musim utara dan cepat rambat gelombang

kurang dari $9,0 \text{ m s}^{-1}$ dominan terjadi pada musim selatan (lihat gambar 4).



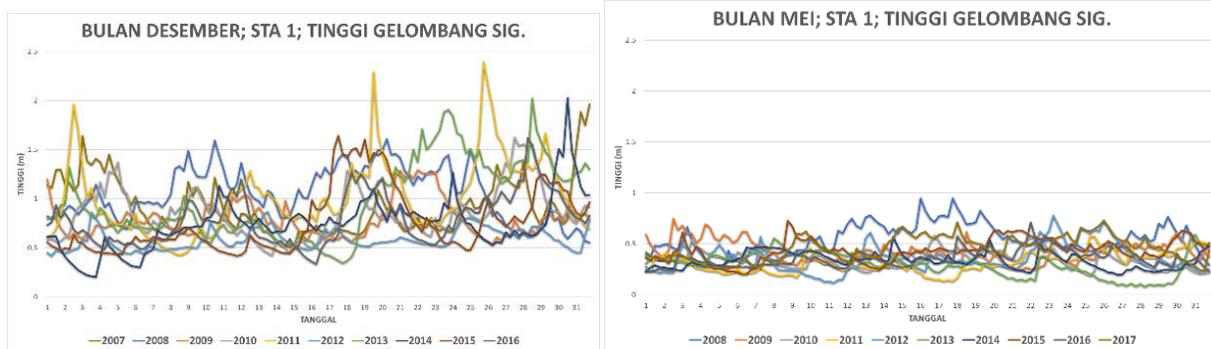
Gambar4. Diagram Mawar Gelombang Musiman Stasiun Pengamatan.

3.2 Karakteristik Tinggi Gelombang Signifikan.

a. Stasiun 1.

Berdasarkan data gelombang per 6 jam selama 10 tahun, di stasiun 1 terbentuk tinggi gelombang signifikan maksimum saat musim utara tanggal 25 Desember 2011 pukul 18.00

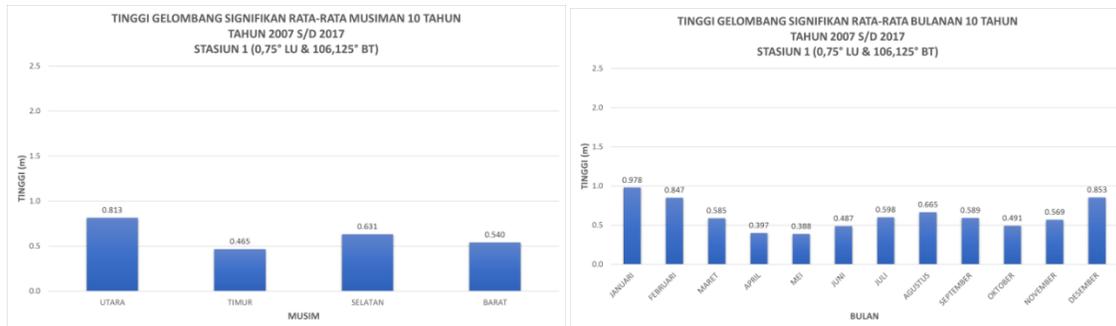
UTC dengan tinggi mencapai 2,39 meter dan terbentuk tinggi gelombang signifikan minimum saat musim timur tanggal 28 Mei 2013 pukul 06.00 UTC dengan tinggi mencapai 0,081 meter (lihat gambar 5).



Gambar5. Mareogram Tinggi Gelombang Signifikan Bulan Desember (Kiri) dan Bulan Mei (Kanan) Per 6 Jam Selama 10 Tahun (2007-2017) di Stasiun 1.

Dominasi gelombang tinggi di stasiun 1 terjadi pada musim utara dengan nilai rata-rata tertinggi mencapai 0,813 meter dan tinggi gelombang signifikan terendah terjadi pada musim timur dengan nilai rata-rata terendah mencapai 0,465 meter. Jika dalam rata-rata

bulanan, dominasi gelombang tinggi di stasiun 1 terjadi pada bulan Januari dengan nilai rata-rata tertinggi mencapai 0,978 meter dan tinggi gelombang signifikan terendah terjadi pada bulan Mei dengan nilai rata-rata terendah mencapai 0,388 meter (lihat gambar 6).

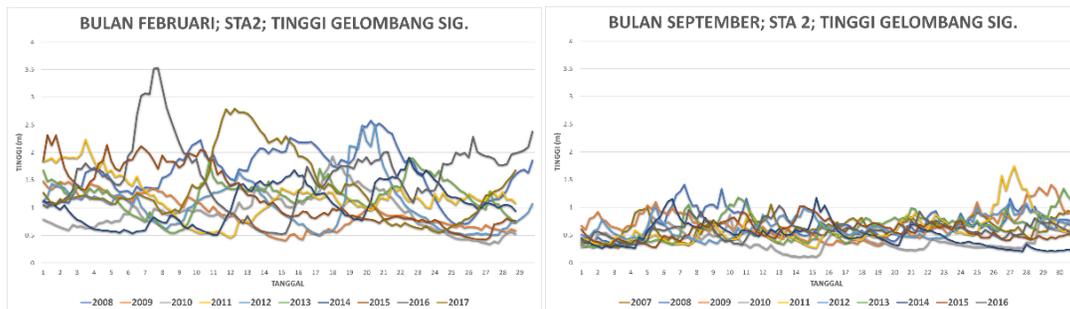


Gambar 6. Diagram Tinggi Gelombang Signifikan Rata-rata Musiman (Kiri) dan Rata-rata Bulanan (Kanan) Selama 10 Tahun (2007-2017) di Stasiun 1.

b. Stasiun 2.

Berdasarkan data gelombang per 6 jam selama 10 tahun, di stasiun 2 terbentuk tinggi gelombang signifikan maksimum saat musim utara tanggal 07 Februari 2016 pukul 18.00 UTC

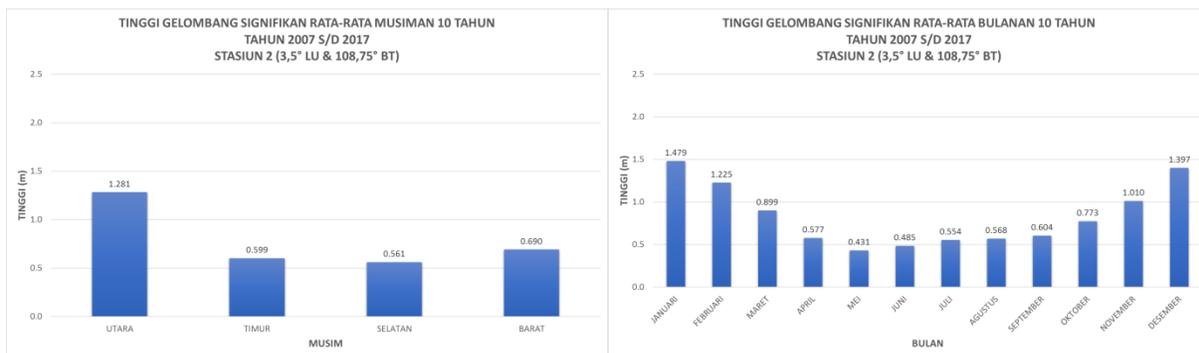
dengan tinggi mencapai 3,527 meter dan terbentuk tinggi gelombang signifikan minimum saat musim barat tanggal 14 September 2010 pukul 06.00 UTC dengan tinggi mencapai 0,108 meter (lihat gambar 7).



Gambar 7. Mareogram Tinggi Gelombang Signifikan Bulan Februari (Kiri) dan Bulan September (Kanan) Per 6 Jam Selama 10 Tahun (2007-2017) di Stasiun 2.

Dominasi gelombang tinggi di stasiun 2 terjadi pada musim utara dengan nilai rata-rata tertinggi mencapai 1,281 meter dan tinggi gelombang signifikan terendah terjadi pada musim selatan dengan nilai rata-rata terendah mencapai 0,561 meter. Jika dalam rata-rata

bulanan, dominasi gelombang tinggi di stasiun 2 terjadi pada bulan Januari dengan nilai rata-rata tertinggi mencapai 1,479 meter dan tinggi gelombang signifikan terendah terjadi pada bulan Mei dengan nilai rata-rata terendah mencapai 0,431 meter (lihat gambar 8).

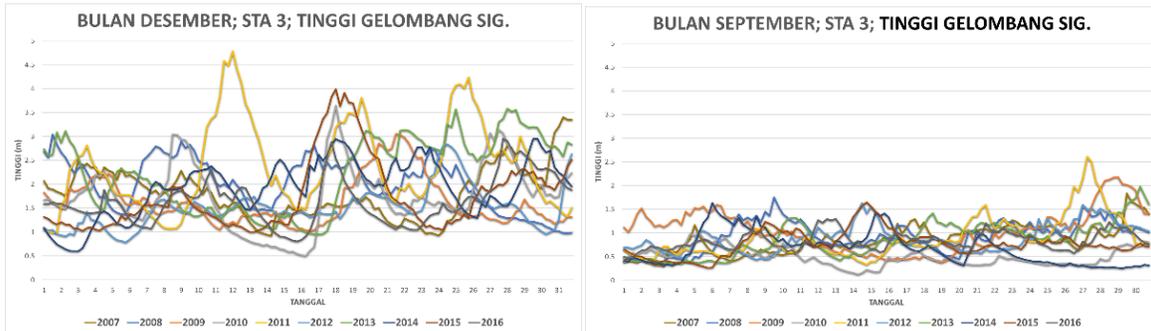


Gambar 8.Diagram Tinggi Gelombang Signifikan Rata-rata Musiman (Kiri) dan Rata-rata Bulanan (Kanan) Selama 10 Tahun (2007-2017) di Stasiun 2.

c. Stasiun 3.

Berdasarkan data gelombang per 6 jam selama 10 tahun, di stasiun 3 terbentuk tinggi gelombang signifikan maksimum saat musim utara tanggal 12 Desember 2011 pukul 00.00

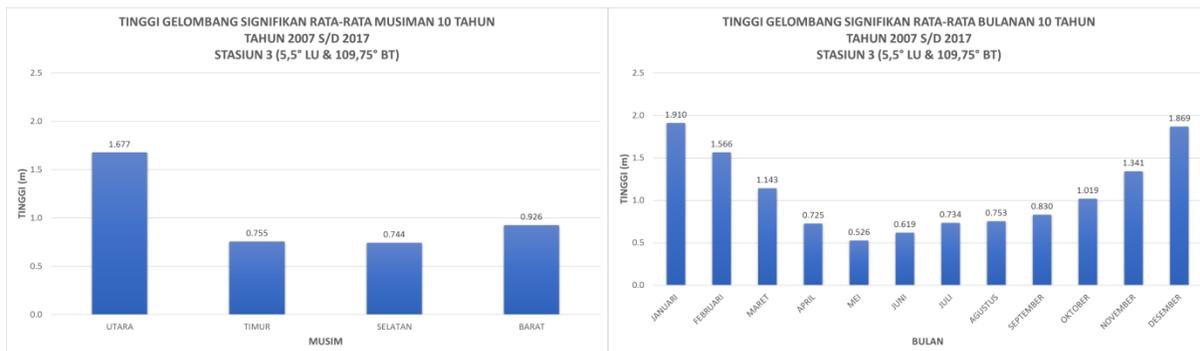
UTC dengan tinggi mencapai 4,783 meter dan terbentuk tinggi gelombang signifikan minimum saat musim barat tanggal 14 September 2010 pukul 06.00 UTC dengan tinggi mencapai 0,125 meter (lihat gambar 9).



Gambar 9.Mareogram Tinggi Gelombang Signifikan Bulan Desember (Kiri) dan Bulan September (Kanan) Per 6 Jam Selama 10 Tahun (2007-2017) di Stasiun 3.

Dominasi gelombang tinggi di stasiun 3 terjadi pada musim utara dengan nilai rata-rata tertinggi mencapai 1,677 meter dan tinggi gelombang signifikan terendah terjadi pada musim selatan dengan nilai rata-rata terendah mencapai 0,744 meter. Jika dalam rata-rata

bulanan, dominasi gelombang tinggi di stasiun 3 terjadi pada bulan Januari dengan nilai rata-rata tertinggi mencapai 1,910 meter dan tinggi gelombang signifikan terendah terjadi pada bulan Mei dengan nilai rata-rata terendah mencapai 0,526 meter (lihat gambar 10).

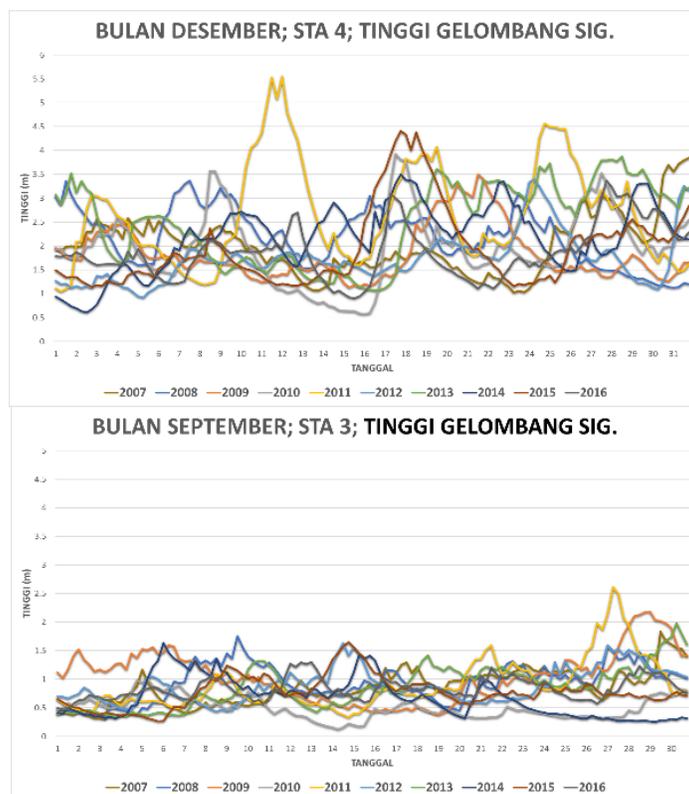


Gambar 10.Diagram Tinggi Gelombang Signifikan Rata-rata Musiman (Kiri) dan Rata-rata Bulanan (Kanan) Selama 10 Tahun (2007-2017) di Stasiun 3.

d. Stasiun 4.

Berdasarkan data gelombang per 6 jam selama 10 tahun, di stasiun 4 terbentuk tinggi gelombang signifikan maksimum saat musim utara tanggal 12 Desember 2011 pukul 00.00

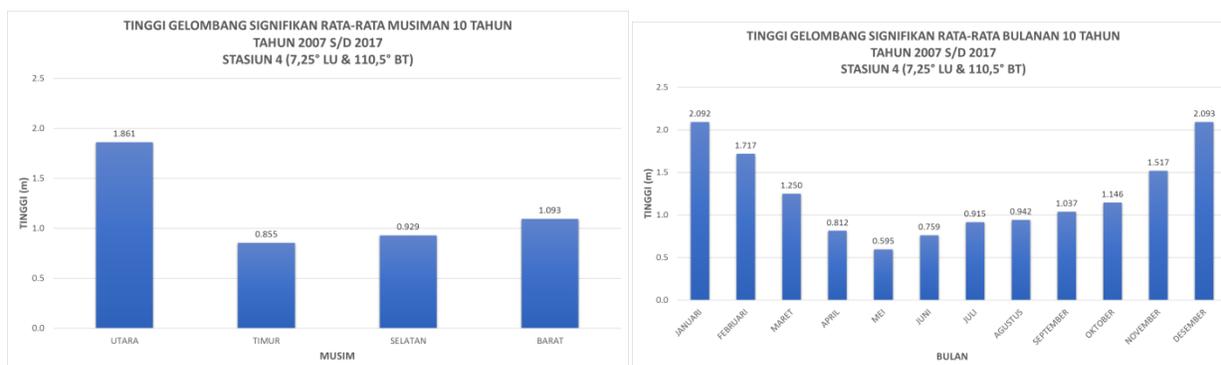
UTC dengan tinggi mencapai 5,547 meter dan terbentuk tinggi gelombang signifikan minimum saat musim barat tanggal 14 September 2010 pukul 06.00 UTC dengan tinggi mencapai 0,165 meter (lihat gambar 11).



Gambar11.Mareogram Tinggi Gelombang Signifikan Bulan Desember (Kiri) dan Bulan September (Kanan) Per 6 Jam Selama 10 Tahun (2007-2017) di Stasiun 4.

Dominasi gelombang tinggi di stasiun 4 terjadi pada musim utara dengan nilai rata-rata tertinggi mencapai 1,861 meter dan tinggi gelombang signifikan terendah terjadi pada musim timur dengan nilai rata-rata terendah mencapai 0,855 meter. Jika dalam rata-rata

bulanan, dominasi gelombang tinggi di stasiun 4 terjadi pada bulan Desember dengan nilai rata-rata tertinggi mencapai 2,093 meter dan tinggi gelombang signifikan terendah terjadi pada bulan Mei dengan nilai rata-rata terendah mencapai 0,595 meter (lihat gambar 12).



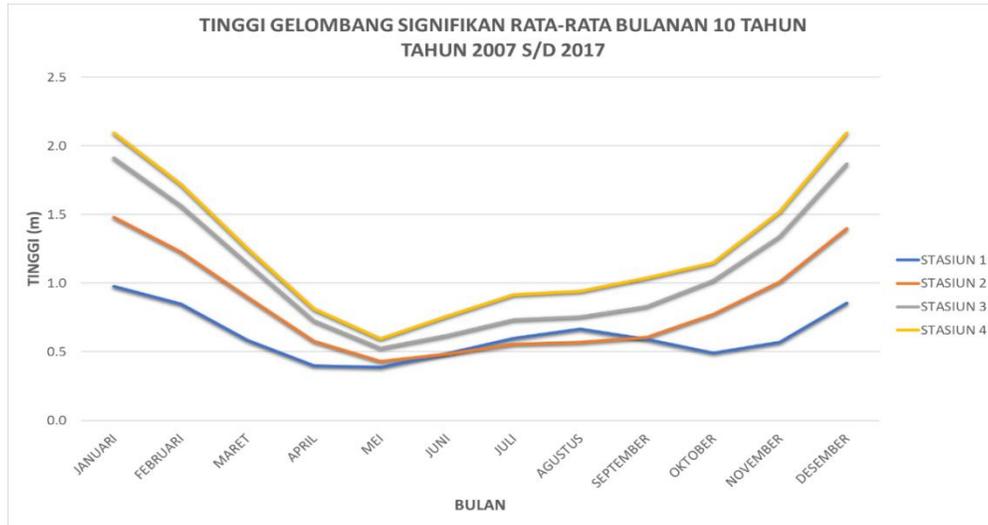
Gambar 12.Diagram Tinggi Gelombang Signifikan Rata-rata Musiman (Kiri) danRata-rata Bulanan (Kanan) Selama 10 Tahun (2007-2017) di Stasiun 4.

Gelombang tinggi sering terjadi di 4 stasiun pengamatan pada musim utara di bulan November hingga Februari. Gelombang rendah yang terjadi di stasiun 1 dan stasiun 4 sering

terjadi pada musim timur, sedangkan gelombang rendah yang terjadi di stasiun 2 dan stasiun 3 sering terjadi pada musim selatan dengan selisih nilai rata-rata yang kecil dengan

musim timur (0,038 m dan 0,011 m). Jika dalam rata-rata bulanan, gelombang rendah di 4

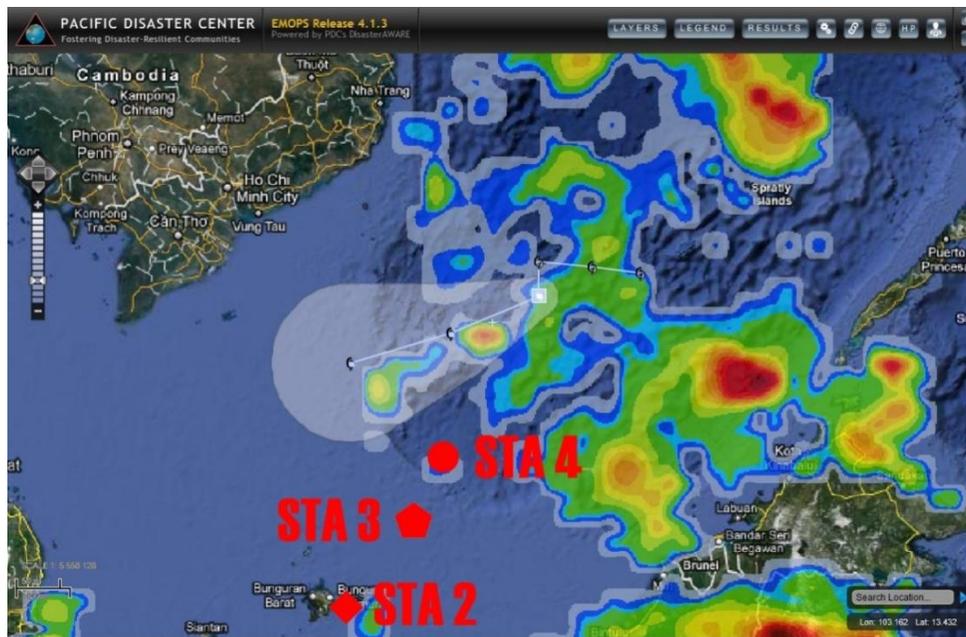
stasiun pengamatan sering terjadi pada bulan Mei.



Gambar 13. Mareogram Tinggi Gelombang Signifikan Rata-rata Bulanan Selama 10 Tahun (2007-2017) di 4 Stasiun Pengamatan.

Berdasarkan gambar 13 di atas, pola yang sama ditunjukkan oleh mareogram tinggi gelombang signifikan rata-rata bulanan selama 10 tahun di stasiun 2, stasiun 3 dan stasiun 4. Hal tersebut dikarenakan stasiun 2, stasiun 3 dan stasiun 4 terletak di laut lepas yang sama dan apabila ditarik garis lurus akan mengarah ke daerah sumber pembangkit gelombang atau masih dalam satu garis fetch yang sama.

Peningkatan tinggi gelombang yang sangat signifikan pada tanggal 12 Desember 2011 pukul 00.00 UTC dengan tinggi gelombang signifikan mencapai angka maksimum (5,547 m) di stasiun 4 dikarenakan adanya badai siklon tropis di dekat stasiun 4 yang dipublikasikan oleh Pacific Disaster Centre, 2011 (lihat gambar 14).



Gambar 14. Stasiun 2, 3, 4 Pada Penelitian Ini dan Jalur Badai Siklon Tropis “26W” di Laut Cina Selatan Tanggal 12 Desember 2011.

(Sumber: Pacific Disaster Centre, 2011)

3.3 Karakteristik Propagasi Gelombang 2D.

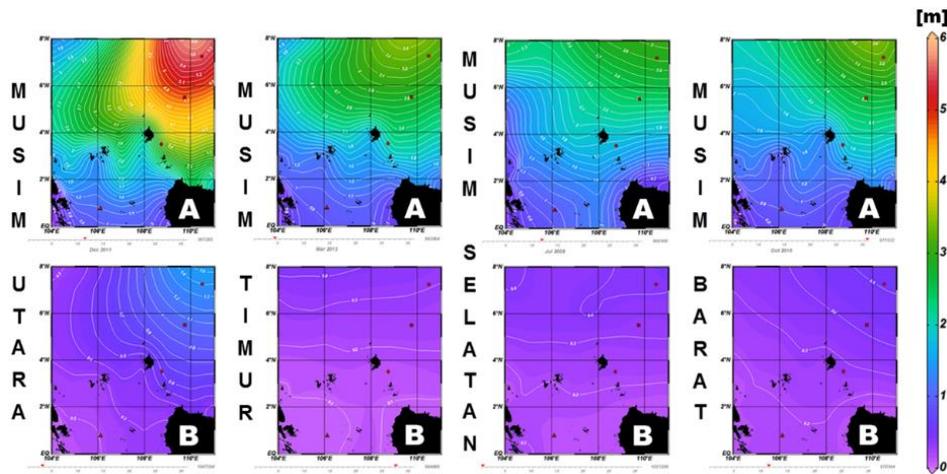
Analisis propagasi gelombang 2D digunakan untuk mengetahui karakteristik gelombang laut secara luasan spasial dalam interval waktu 6 jam. Laut Natuna di antara Kepulauan Anambas dan Kepulauan Natuna digunakan sebagai sentral poinnya untuk menjelaskan karakteristik propagasi gelombang 2D setiap musimnya.

Berdasarkan karakteristik tinggi gelombang signifikan per 6 jam (subbab 3.2), diketahui bahwa tinggi gelombang signifikan maksimum terjadi di stasiun 4 (5,547 m) dan tinggi gelombang signifikan minimum terjadi di stasiun 1 (0,081 m). Maka kedua stasiun tersebut dijadikan stasiun referensi untuk pembahasan karakteristik propagasi gelombang 2D selanjutnya.

a. Propagasi Tinggi Gelombang Signifikan 2D.

Selama 10 tahun, di stasiun 4 terbentuk tinggi gelombang signifikan maksimum saat musim utara tanggal 12 Desember 2011 pukul 00.00 UTC dengan tinggi mencapai 5,5 meter (merah) dan propagasi tinggi gelombang signifikan semakin menurun ke arah barat daya dengan tinggi mencapai 1,1 meter (biru) di stasiun 1 (lihat gambar 15 kolom 1A).

Selama 10 tahun, di stasiun 1 terbentuk tinggi gelombang signifikan minimum saat musim timur tanggal 28 Mei 2013 pukul 06.00 UTC dengan tinggi mencapai 0,08 meter (ungu muda) dan propagasi tinggi gelombang signifikan semakin meningkat ke arah utara dengan tinggi mencapai 0,3 meter (ungu tua) di stasiun 4 (lihat gambar 15 kolom 2B).

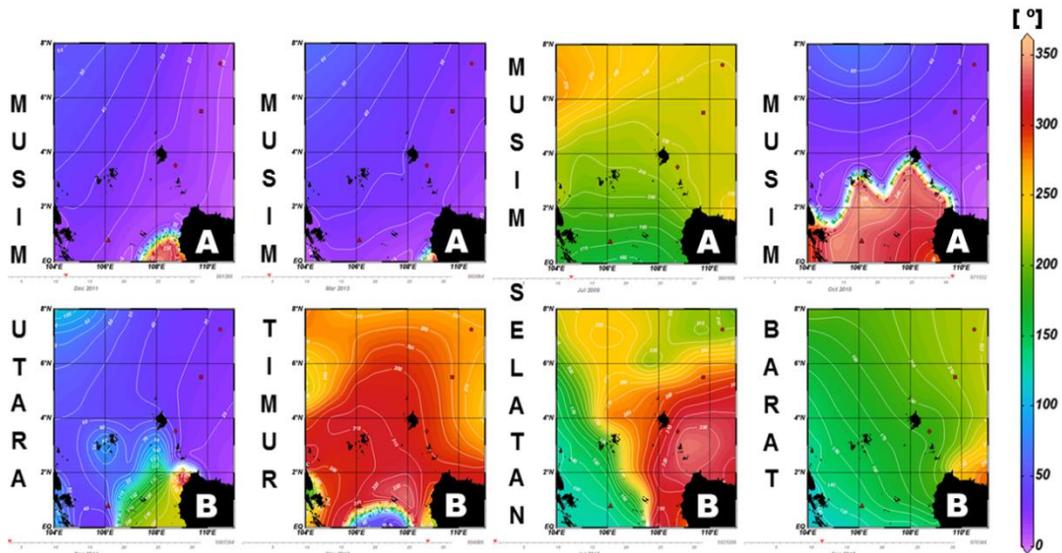


Gambar 15. Propagasi Tinggi Gelombang Signifikan 2D Per 6 Jam Saat Hs Maksimum STA 4 (Baris A) dan Hs Minimum STA 1 (Baris B).

b. Propagasi Arah Gelombang.

Saat musim utara, tinggi gelombang signifikan di stasiun 4 mencapai tinggi maksimum pada tanggal 12 Desember 2011 pukul 00.00 UTC dengan propagasi arah gelombang dominan datang dari timur laut menuju ke barat daya, kemudian berbelok ke tenggara saat memasuki Selat Karimata (lihat gambar 16 kolom 1A).

Saat musim timur, tinggi gelombang signifikan di stasiun 1 mencapai tinggi minimum pada tanggal 28 Mei 2013 pukul 06.00 UTC dengan propagasi arah gelombang datang dari barat menuju ke tenggara dan terdapat turbulensi propagasi arah gelombang di sekitar stasiun 1 (lihat gambar 16 kolom 2B).

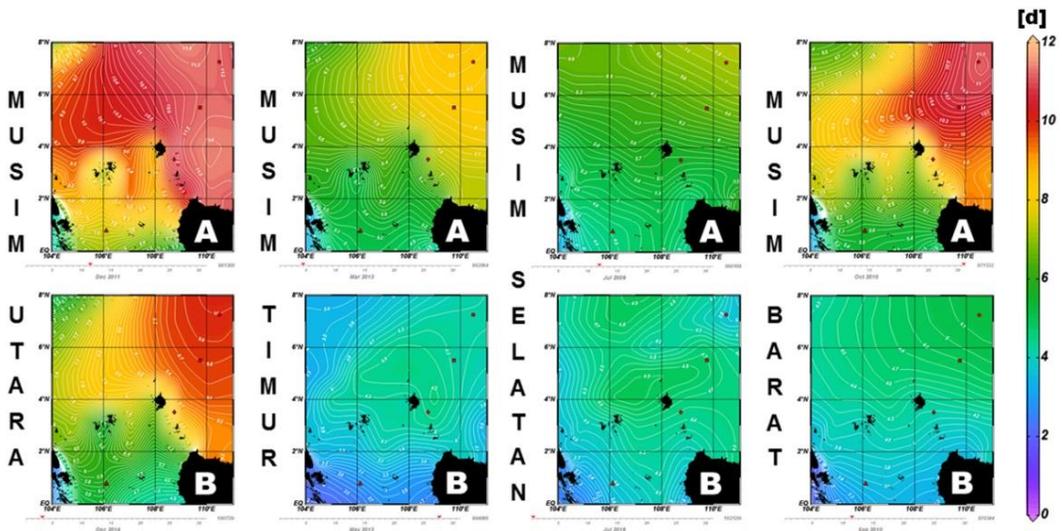


Gambar 16. Propagasi Arah Gelombang 2D Rata-rata 6 Jam Saat Hs Maksimum STA 4 (Baris A) dan Hs Minimum STA 1 (Baris B).

c. Propagasi Periode Gelombang.

Saat musim utara, tinggi gelombang signifikan di stasiun 4 mencapai tinggi maksimum pada tanggal 12 Desember 2011 pukul 00.00 UTC dengan periode gelombang mencapai 11,2 detik (merah muda). Propagasi periode gelombang semakin menurun ke arah barat daya dengan nilai mencapai 7,5 detik (kuning) di stasiun 1 (lihat gambar 17 kolom 1A).

Saat musim timur, tinggi gelombang signifikan di stasiun 1 mencapai tinggi minimum pada tanggal 28 Mei 2013 pukul 06.00 UTC dengan periode gelombang mencapai 2,8 detik (biru). Propagasi periode gelombang semakin meningkat ke arah timur laut dengan nilai mencapai 4,3 detik (hijau muda) di stasiun 4 (lihat gambar 17 kolom 2B).



Gambar 17. Propagasi Periode Gelombang 2D Rata-rata 6 Jam Saat Hs Maksimum STA 4 (Baris A) dan Hs Minimum STA 1 (Baris B).

Berdasarkan hasil model 2D di atas (gambar 15, 16 dan 17), gelombang laut semakin tinggi ke arah timur laut apabila gelombang tinggi sedang terjadi di lokasi pengamatan. Gelombang tinggi di lokasi pengamatan ditandai dengan adanya propagasi gelombang yang datang dari arah timur laut (musim utara, timur dan barat) dan dari arah barat (musim selatan). Gelombang rendah di lokasi pengamatan ditandai dengan adanya propagasi gelombang yang datang dari arah tenggara (musim selatan dan barat) dan adanya pertemuan propagasi gelombang yang berbeda arah (musim utara dan timur). Gelombang rendah dominan terjadi pada musim selatan karena di lokasi penelitian mengalami musim kemarau, dimana angin bertiup dari belahan bumi selatan menuju belahan bumi utara (Pranowo et al., 2013).

Tidak adanya kepastian yang jelas hubungan antara periode gelombang dengan tinggi gelombang maupun arah gelombang. Menurut Kinsman (1965), gelombang laut dengan periode 1-30 detik diklasifikasikan sebagai gelombang gravitasi yang dibangkitkan oleh angin. Sehingga berdasarkan periode gelombang di lokasi penelitian, gelombang laut di lokasi penelitian dibangkitkan oleh energi angin.

3.4 Analisis Gelombang Laut Bagi Operasi Kapal Kamla.

Nilai panjang gelombang diperoleh dari hasil pengolahan data periode gelombang menggunakan metode Airy (Triatmodjo, 1999), dengan formula yang dapat dilihat pada persamaan 2. Maka diperoleh kisaran panjang gelombang bulanan selama 10 tahun sebagai berikut:

Table 4. Panjang Gelombang Bulanan Selama 10 Tahun (Juli 2007-Juni 2017).

Bulan	STA 1 (m)	STA 2 (m)	STA 3 (m)	STA 4 (m)
Januari	21,1-86,3	26,9-172,4	29,4-179,6	29,4-169,9
Februari	18,4-91,7	23,1-164,5	25,5-167,2	24,8-156,9
Maret	16,9-119,4	19,8-157,5	21,4-172,9	21,5-161,5
April	10,8-75,4	16,2-139,3	17,9-139,4	16,9-138,4
Mei	7,9-72,6	11,2-127,2	15,9-139,8	17,3-127,7
Juni	10,9-56,3	10,3-98,2	10,7-88,1	10,9-81,3
Juli	12,8-59	12,1-63,4	13,2-104,9	14,6-92,4
Agustus	13,3-62,1	13,4-58,1	14,2-67	15,5-76,2
September	10,5-58,9	11,1-102,2	12,6-110,5	11,7-110,9
Oktober	13,3-84	17,5-157,2	19,9-183,2	22,2-194
November	19,4-116,5	29,3-156,7	30,8-187,4	29,9-193,4
Desember	21,8-112,9	34,8-188,5	40,8-200,9	36,8-196,6

Table 5. Tinggi Gelombang Signifikan Bulanan Selama 10 tahun (Juli 2007-Juni 2017).

Bulan	STA 1 (m)	STA 2 (m)	STA 3 (m)	STA 4 (m)
Januari	0,3-2,3	0,5-3,5	0,5-4,6	0,5-5,3
Februari	0,3-2,3	0,3-3,5	0,4-4,7	0,4-4,8
Maret	0,2-1,7	0,3-2,4	0,3-3,1	0,3-3,2
April	0,1-1,0	0,2-1,5	0,2-2,1	0,2-2,4

Mei	0,1-0,9	0,1-1,6	0,2-2,0	0,2-2,4
Juni	0,1-1,4	0,1-1,6	0,2-1,5	0,2-1,9
Juli	0,1-1,5	0,1-1,7	0,2-2,4	0,2-2,9
Agustus	0,2-1,3	0,2-1,5	0,2-1,9	0,2-2,7
September	0,2-1,4	0,1-1,7	0,1-2,6	0,2-3,2
Oktober	0,2-1,1	0,2-1,8	0,3-2,6	0,3-3,3
November	0,2-2,0	0,4-2,8	0,5-3,4	0,5-4,1
Desember	0,2-2,4	0,4-3,2	0,5-4,8	0,6-5,5

Analisis tinggi dan panjang gelombang merupakan peran penting bagi pemegang kebijakan yang berkepentingan di laut, yaitu manajemen strategi pelayaran dan untuk pembangunan infrastruktur kelautan (Risandi et al., 2015). Setelah karakteristik gelombang laut di daerah operasi diketahui selanjutnya menentukan kelas kapal keamanan laut (kamla)

berdasarkan dimensi badan kapal, antara lain adalah panjang keseluruhan (*LOA*), panjang garis air (*LWL*) dan tinggi lambung (*HH*). Dan apabila dalam suatu operasi di laut memiliki target operasi maka kecepatan kapal (*V*) juga harus diperhitungkan untuk mengetahui estimasi waktu datang. Berikut ini spesifikasi teknis kelas kapal kamlayang ditunjukkan pada tabel 6.

Table 6. Kelas Kapal Kamla.

Kelas	<i>LOA</i> (m)	<i>LWL</i> (m)	<i>HH</i> (m)	<i>V</i> (knots)	<i>H_D</i> (m)
A1	90,8	82,5	10	18	27,2
B1	75,2	69	5,3	20	22,6
C1	58,1	54,4	2,8	28	17,4
D1	56,8	53	3,2	17	17
E1	44	40	2,7	27	13,2

Klasifikasi keamanan area dibagi menjadi 4 tingkat yaitu area sangat berbahaya dengan tinggi gelombang yang dapat merobohkan kapal (merah muda), area berbahaya dengan tinggi gelombang melebihi tinggi lambung kapal (merah), area waspada dengan panjang

gelombang melebihi panjang garis air kapal, dan area aman dengan tinggi dan panjang gelombang lebih kecil dari panjang garis air dan tinggi lambung kapal. Algoritma klasifikasi tingkat keamanan area ditunjukkan pada tabel 7 sebagai berikut.

Tabel 7. Klasifikasi Tingkat Keamanan Area.

Level	Sangat Berbahaya	Berbahaya	Waspada	Aman
Algoritma	$H_s \geq 30\% LOA$	$H_s \geq HH$	$L \geq LWL$	$H_s \leq HH$ dan $L \leq LWL$
Warna	Merah muda	Merah	Kuning	Hijau

Berdasarkan tabel klasifikasi tingkat keamanan area di atas, maka data tinggi dan panjang gelombang bulanan per 6 jam

digunakan untuk memprakirakan tingkat keamanan area kelas kapal kamla yang ditunjukkan pada tabel 8 di bawah ini.

Tabel 8.Prakiraan Tingkat Keamanan Area KelasKapal Kamla.

Kelas KRI	Kapal A1				Kapal B1				Kapal C1				Kapal D1				Kapal E1			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Januari	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Bahaya	Waspada	Bahaya	Bahaya	Bahaya	Waspada	Bahaya	Bahaya	Bahaya	Waspada	Bahaya	Bahaya	Bahaya
Februari	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Bahaya	Bahaya	Bahaya	Waspada	Bahaya	Bahaya	Bahaya	Waspada	Bahaya	Bahaya	Bahaya
Maret	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Bahaya	Bahaya	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Bahaya	Bahaya	Bahaya
April	Aman	Waspada	Waspada	Waspada	Aman	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada
Mei	Aman	Waspada	Waspada	Waspada	Aman	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada
Juni	Aman	Waspada	Waspada	Aman	Aman	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada
Juli	Aman	Aman	Waspada	Waspada	Aman	Aman	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Bahaya	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Bahaya
Agustus	Aman	Aman	Aman	Aman	Aman	Aman	Aman	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Bahaya
September	Aman	Waspada	Waspada	Waspada	Aman	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Bahaya	Bahaya	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Bahaya
Oktober	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Bahaya	Bahaya	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Bahaya
November	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Bahaya	Bahaya	Bahaya	Waspada	Bahaya	Bahaya	Bahaya	Waspada	Bahaya	Bahaya	Bahaya
Desember	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Waspada	Bahaya	Waspada	Bahaya	Bahaya	Bahaya	Waspada	Bahaya	Bahaya	Bahaya	Waspada	Bahaya	Bahaya	Bahaya

Keterangan:

Sangat berbahaya
 Bahaya
 Waspada
 Aman

3.5 Simulasi Operasi Kapal Kamla.

Pesawatintai maritim dalam Operasi Gurita 17 mendeteksi kehadiran kapal coast guard asing di utara batas ZEEI Laut Natuna Utara (lihat gambar 21 no. 1). Karena manuver kapal tersebut dianggap mencurigakan, maka pesawatintai maritim melaporkan informasi tersebut ke pusat komando operasi.

Pesawatintai maritim melaporkan pada tanggal 22 November 2017 pk. 13.17 UTC telah terjadi kontak dengan kapal coast guard asingdi koordinat 7° 45' LU; 109° 37' 23" BT dengan halu 120° (mendekati stasiun 4) dan kecepatan 5 knots. Estimasi waktu tiba kapal Haijing 2350 di sekitar stasiun 4 pada tanggal 23 November 2017 pk. 01.18 UTC (jarak tempuh 60,158 mil laut, waktu tempuh 12 jam 1 menit).

Berdasarkan peta persebaran unsur kapal kamla dalam Operasi Gurita 17 sebagai berikut (lihat gambar 21 no. 2):

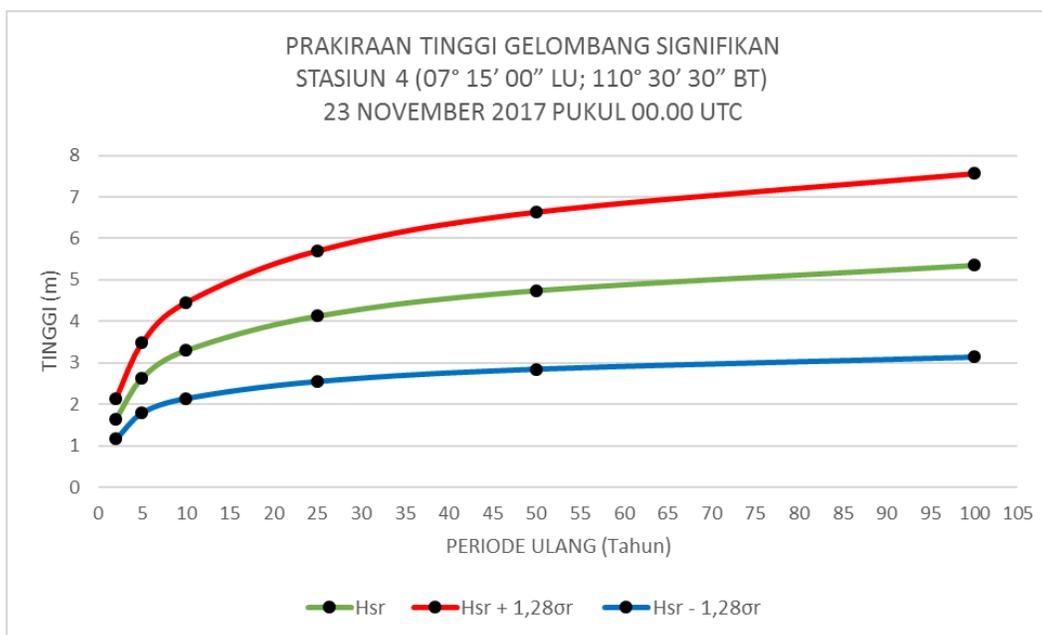
- a. Kapal E1 sedang melaksanakan pelayaran pengintaian di stasiun 1.
- b. Kapal B1 sedang melaksanakan pelayaran pengintaian di stasiun 2.

- c. Kapal D1 sandar di dermaga Selat Lampa melaksanakan bekal ulang.

Berdasarkan lokasi persebaran KRI tersebut apabila dengan kecepatan maksimal maka estimasi waktu tiba di stasiun 4 adalah sebagai berikut:

- a. Kapal E1, kecepatan maksimal 27 knots, jarak tempuh 468,03 mil laut, waktu tempuh 17 jam 20 menit.
- b. Kapal D1, kecepatan maksimal 17 knots, jarak tempuh 271,991 mil laut, waktu tempuh 16 jam.
- c. Kapal B1, kecepatan maksimal 20 knots, jarak tempuh 246,951 mil laut, waktu tempuh 12 jam 20 menit.

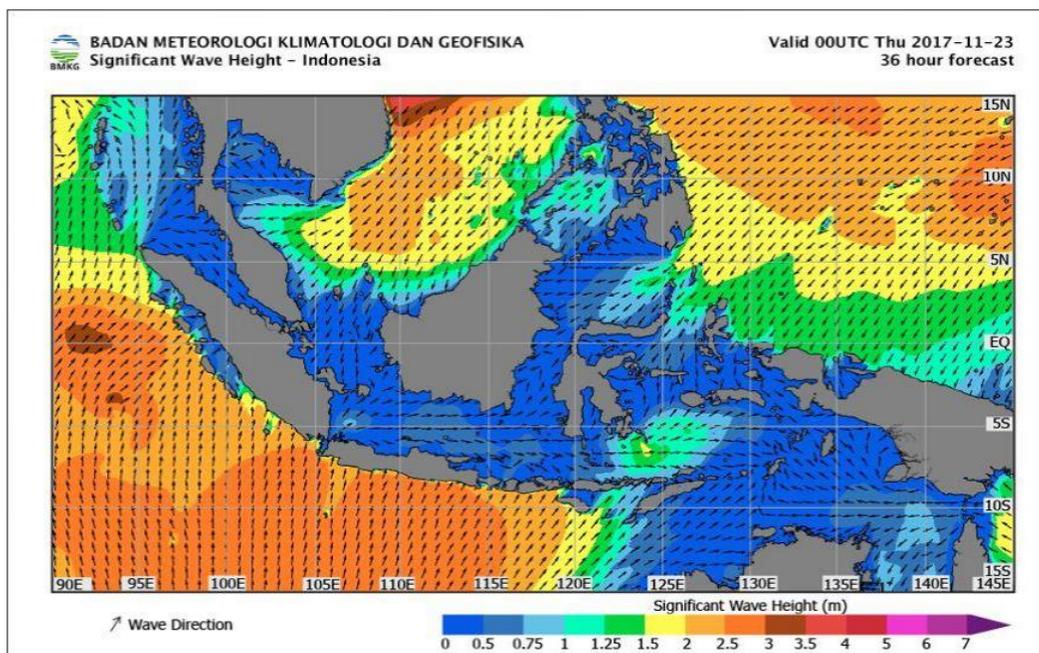
Proses pengambilan keputusan pusat komando operasi memerlukan data informasi prakiraan tinggi gelombang guna mendukung keselamatan kapal kamla di daerah operasi dari gelombang tinggi. Prakiraan tinggi gelombang tersebut dilakukan menggunakan perhitungan metode *Fisher-Tippett Type I* dengan hasil yang ditunjukkan pada gambar 18.



Gambar 18. Mareogram Prakiraan Tinggi Gelombang Signifikan Periode Ulang (H_{sr}), Batas Atas ($H_{sr} + 1,28\sigma$) dan Batas Bawah ($H_{sr} - 1,28\sigma$).

Berdasarkan gambar 18 di atas, prakiraan tinggi gelombang signifikan mencapai 1,652 meter pada tanggal 23 November 2017 pk. 00.00-06.00 UTC (per 6 jam) dengan batas atas 2,138 meter dan batas bawah 1,166 meter (tingkat kepercayaan 80%).

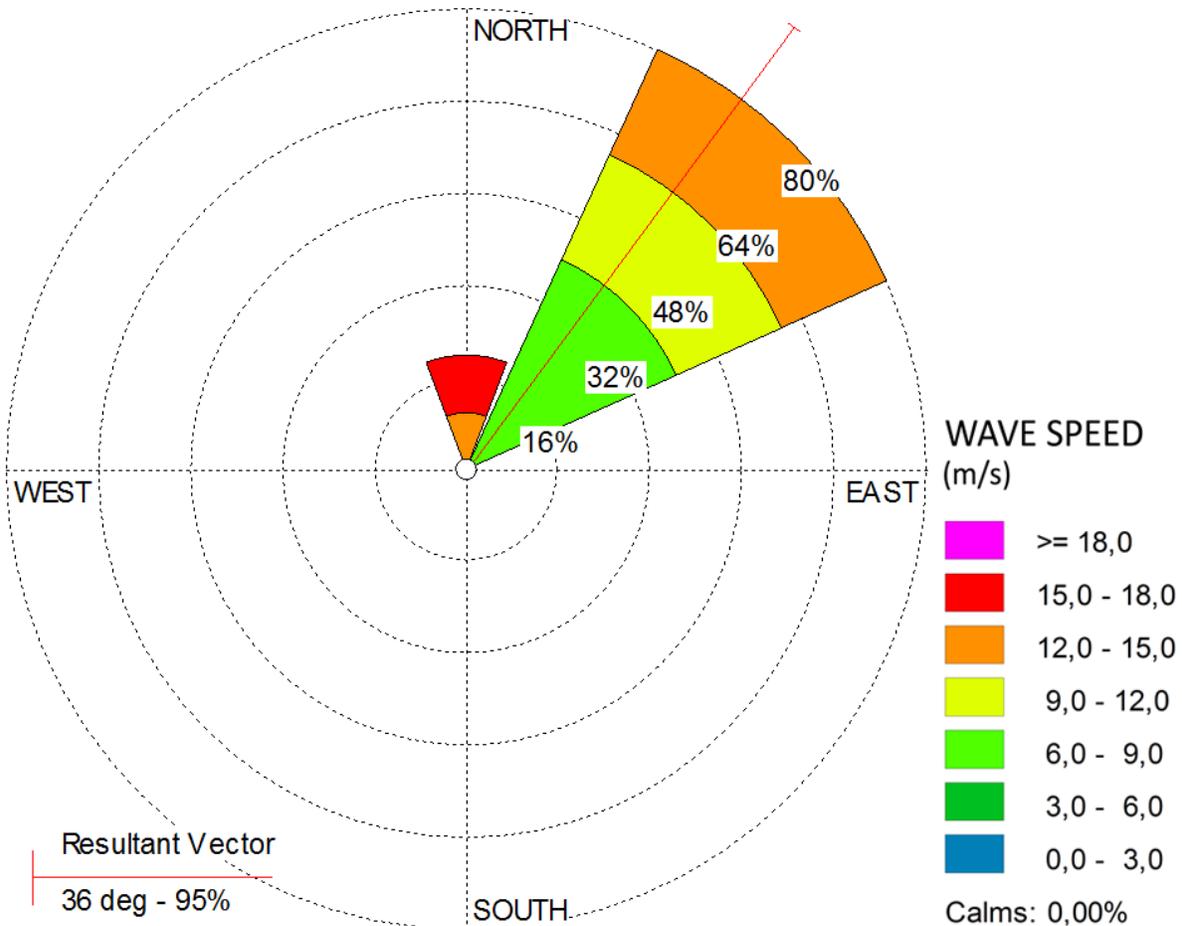
Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) mempublikasikan peta prakiraan tinggi gelombang signifikan pada tanggal 23 November 2017 pk. 07.00-19.00 WIB (per 12 jam) dengan tinggi gelombang signifikan berkisar 2-2,5 meter di stasiun 4 (lihat gambar 19).



Gambar 19. Peta Prakiraan Tinggi Gelombang Signifikan BMKG Tanggal 23 November 2017 Pk. 07.00-19.00 WIB.

Hasil perhitungan metode *Fisher-Tippett Type I* di stasiun 4 (2,138 m) sudah sesuai dengan kisaran prakiraan tinggi gelombang signifikan BMKG (2-2,5 m). Arah gelombang

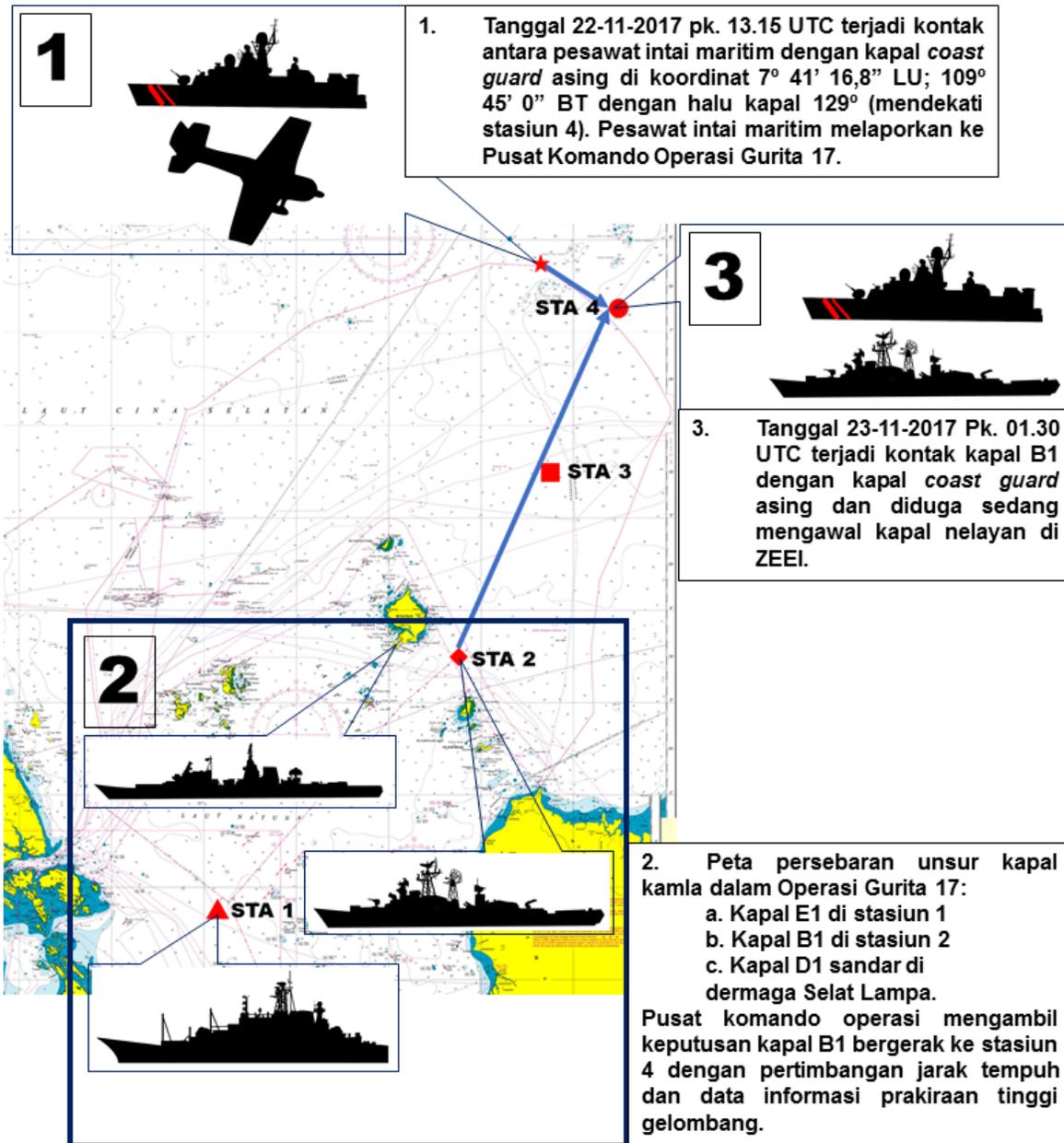
rata-rata data 10 tahun ECMWF memiliki kesamaan dengan data BMKG di sekitar 36°, dimana arah gelombang datang dari timur laut (lihat gambar 19 dan 20).



Gambar 20. Diagram Mawar Gelombang Stasiun 4 Tanggal 23 November Pk. 00.00-12.00 UTC Selama 10 Tahun

Berdasarkan dukungan data prakiraan tinggi gelombang signifikan dan data estimasi waktu tiba, maka pusat komando operasi dapat memberikan perintah berlayar kepada kapal B1 yang memiliki tinggi lambung 5,3 meter untuk mendekati target operasi di sekitar stasiun 4 dengan mewaspadaai adanya gerak *pitch* kapal

(lihat tabel 8). Berdasarkan estimasi waktu tiba, kapal B1 dan kapal coast guard asing akan bertemu di sekitar stasiun 4 pada tanggal 23 November 2017 pk. 01.30 UTC (lihat gambar 21 no. 3).



Gambar 21. Infografis Simulasi Operasi Keamanan Laut Berdasarkan Data Informasi Prakiraan Tinggi Gelombang dan Karakteristik Gelombang Laut.

4. Kesimpulan

Pada 4 stasiun pengamatan, cepat rambat gelombang lebih dari 9 m d^{-1} dominan arah gelombang datang dari utara-timur laut dan cepat rambat gelombang kurang dari 9 m d^{-1} dominan arah gelombang datang dari tenggara-barat.

Gelombang laut yang lebih tinggi terjadi di stasiun 4 dengan tinggi maksimum 5,547 meter, saat musim utara tanggal 12 Desember 2011 pukul 00.00 UTC dan gelombang laut yang lebih rendah terjadi di stasiun 1 dengan tinggi minimum 0,081 meter, saat musim timur tanggal 28 Mei 2013 pukul 06.00 UTC. Hal tersebut disebabkan karena letak stasiun 4 berada di

tengah laut lepas yang lebih luas daripada letak stasiun 1 di laut lepas yang lebih tertutup.

Rata-rata musiman tinggi gelombang maksimum di 4 stasiun pengamatan terjadi saat musim utara dan rata-rata bulanan terjadi pada bulan Januari dan Desember. Angin kencang dengan arah dan kecepatan yang konstan akan membangkitkan gelombang laut yang tinggi, sehingga apabila dalam garis *fetch* yang sama akan memiliki pola mareogram yang sama.

Berdasarkan model gelombang 2D, terdapat keterkaitan antara tinggi gelombang dengan arah datangnya gelombang, namun tidak adanya keterkaitan dengan periode gelombang. Periode gelombang maksimum di lokasi penelitian mencapai 12 detik sehingga termasuk gelombang yang dibangkitkan oleh angin.

Tinggi gelombang signifikan maksimum di lokasi penelitian terjadi saat musim utara tanggal 12 Desember 2011 pukul 00.00 UTC, tinggi gelombang signifikan di stasiun 4 mencapai 5,5 meter (merah) dan semakin menurun ke arah barat daya dengan tinggi mencapai 1,1 meter (biru) di stasiun 1. Ketika tinggi gelombang signifikan maksimum terjadi di stasiun 4, propagasi arah gelombang di lokasi penelitian dominan datang dari timur laut menuju ke barat daya, kemudian berbelok ke tenggara saat memasuki Selat Karimata.

Tinggi gelombang signifikan minimum di lokasi penelitian terjadi saat musim timur tanggal 28 Mei 2013 pukul 06.00 UTC, tinggi gelombang signifikan di stasiun 1 mencapai 0,08 meter (ungu muda) dan semakin meningkat ke arah utara dengan tinggi mencapai 0,3 meter (ungu tua) di stasiun 4. Ketika tinggi gelombang signifikan minimum terjadi di stasiun 1, propagasi arah gelombang di lokasi penelitian dominan datang dari barat-barat laut menuju ke tenggara dan terdapat turbulensi propagasi arah gelombang di sekitar stasiun 1.

Prakiraan tingkat keamanan area. Kelas kapal A1 aman melaksanakan pelayaran di stasiun 1 (April-September), stasiun 2 (Juli dan Agustus), stasiun 3 (Agustus) dan stasiun 4 (Juni dan Agustus) karena tinggi gelombang signifikan $\leq 5,5$ meter dan panjang gelombang $\leq 81,3$ meter. Kelas KRI Teluk Sibolga diharapkan waspada terhadap gerak pitch kapal di stasiun 1

(Oktober-Maret), stasiun 2 (September-Juni), stasiun 3 (September-Juli) dan stasiun 4 (September-Mei, Agustus) karena terdapat panjang gelombang ≥ 84 meter.

Kelas kapal B1 aman melaksanakan pelayaran di stasiun 1 (April-September), stasiun 2 (Juli dan Agustus) dan stasiun 3 (Agustus) karena tinggi gelombang signifikan $\leq 1,9$ meter dan panjang gelombang ≤ 67 meter. Kelas KRI Wiratno diharapkan waspada terhadap gerak pitch kapal di stasiun 1 (Oktober-Maret), stasiun 2 (September-Juni), stasiun 3 (September-Juli) dan stasiun 4 (Februari-November) karena terdapat panjang gelombang $\geq 72,6$ meter. Kelas KRI Wiratno diharapkan waspada terhadap bahaya tinggi gelombang signifikan di stasiun 4 (Desember dan Januari) karena terdapat tinggi gelombang signifikan $\geq 5,3$ meter.

Kelas kapal C1 diharapkan waspada terhadap gerak pitch kapal di stasiun 1, stasiun 2, stasiun 3 dan stasiun 4 karena terdapat panjang gelombang $\geq 56,3$ meter. Kelas KRI Barakuda diharapkan waspada terhadap bahaya tinggi gelombang signifikan di stasiun 2 (November-Februari), stasiun 3 (November-Maret) dan stasiun 4 (Juli, September-Maret) karena terdapat tinggi gelombang signifikan $\geq 2,8$ meter.

Kelas kapal D1 diharapkan waspada terhadap gerak pitch kapal di stasiun 1, stasiun 2, stasiun 3 dan stasiun 4 karena terdapat panjang gelombang $\geq 56,3$ meter. Kelas KRI Pulau Rusa diharapkan waspada terhadap bahaya tinggi gelombang signifikan di stasiun 2 (Desember-Februari), stasiun 3 (November-Februari) dan stasiun 4 (November-Februari) karena terdapat tinggi gelombang signifikan $\geq 3,2$ meter.

Kelas kapal E1 diharapkan waspada terhadap gerak pitch kapal di stasiun 1, stasiun 2, stasiun 3 dan stasiun 4 karena terdapat panjang gelombang $\geq 56,3$ meter. Kelas KRI Kujang diharapkan waspada terhadap bahaya tinggi gelombang signifikan di stasiun 2 (November-Februari), stasiun 3 (November-Maret) dan stasiun 4 (Juli-Maret) karena terdapat tinggi gelombang signifikan $\geq 2,7$ meter.

Simulasi operasi kapal kmla. Berdasarkan laporan kejadian dari pesawat intai maritim pada tanggal 22 November 2017 pk. 13.17 UTC, kapal coast guard asing dengan halu 120° diduga berlayar ke arah stasiun 4, pada tanggal 23 November 2017 pk. 01.18 UTC diperkirakan tiba di sekitar stasiun 4. Waktu tempuh tercepat dari ketiga unsur kapal kmla dimiliki oleh kapal B1 dengan waktu tempuh 12 jam 20 menit.

Berdasarkan estimasi waktu tiba kapal coast guard asing di sekitar stasiun 4, dari hasil perhitungan diperkirakan tinggi gelombang signifikan mencapai 1,652 meter dengan batas atas 2,138 meter dan batas bawah 1,166 meter (lihat lampiran C). Prakiraan tinggi gelombang signifikan dari BMKG berkisar 2-2,5 meter (lihat lampiran D). Sehingga kapal B1 aman dari prakiraan tinggi gelombang signifikan dan diharapkan waspada terhadap gerak *pitch* kapal berdasarkan tabel prakiraan tingkat keamanan area (lihat tabel 4.5).

5. Saran

Informasi karakteristik gelombang laut diharapkan dapat mendukung kebijakan dalam proses pengadaan KRI, karena dengan adanya kehadiran KRI sepanjang tahun akan mendukung pencapaian misi kebijakan kelautan Indonesia secara maksimal.

Penelitian ini masih terdapat kekurangan karena tidak adanya data pembanding dari hasil pengukuran langsung di lokasi pengamatan sehingga validasi data penelitian ini tidak dapat dilakukan. Apabila terdapat penelitian yang sejenis dengan penelitian ini, diharapkan memiliki data primer untuk dapat dilakukan validasi terhadap data sekunder.

Referensi

Bidlot, J. R. (2016). Ocean Wave. Research Department, European Centre for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF). 50 halaman.

CERC. (1984). Shore Protection Manual (Vols. 1). Washington, D.C: Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office.

CERC. (1992). Automated Coastal Engineering System, Buku I: Technical Reference; Buku II: User's Guide. Mississippi: Department of The Army Waterway Experiment Station, Corps of Engineers.

Collins, J.M. (1998). Military Geography For Professionals and The Public. Washington, DC: National Defense University Press.

ECMWF. (2015, Agustus 17). What is The Direction Convention for Wave Fields? Diambil kembali dari ECMWF: <https://www.ecmwf.int/en/faq/what-direction-convention-wave-fields>.

ECMWF. (2017, Juli 25). ERA Interim, Daily. Diambil kembali dari ECMWF: <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>.

Falcão, A.F. de O. (2010). Wave Energy Utilization: A Review of The Technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 Elsevier, 899-918.

Gates, P.J. & N.M. Lynn. (1990). Ships, Submarines and The Sea. London: Brassey's.

Hasselmann, K., T.P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D.E. Cartwright, K. Enke, J.A. Ewing, H. Gienapp, D.E. Hasselmann, P. Kruseman, A. Meerburg, P. Miller, D.J. Olbers, K. Richter, W. Sell, and H. Walden. (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). Hamburg: Deutsches Hydrographisches Institut Press.

Hazel, J., I.R. Lawler, H. Marsh, S. Robson. (2007). Vessel Speed Increases Collision Risk For The Green Turtle Chelonia Mydas. Endangered Species Research 3, 105-113.

Kemendagri. (2017, November 6). Sebanyak 16.056 Pulau Sudah Dibakukan dan Dilaporkan ke PBB. Diambil kembali dari Kemendagri: <http://www.kemendagri.go.id/news/2017/10/09/sebanyak-16056-pulau-sudah-dibakukan-dan-dilaporkan-ke-pbb>.

- Kinsman, B. (1965). *Wind Waves, Their Generation and Propagation on The Ocean Surface*. New York: Dover Publications, INC.
- Mehdiabadi, F.E., Mehdi M.M., Maryam M. (2015). Simulating Wind Driven Waves in the Strait of Hormuz using MIKE21. *Jurnal Ilmu Kelautan* 20(1), 1-8.
- Michell, J.H. (1893). The Highest Wave in Water. *Philosophical Magazine Series* 5, 430-437.
- Miles, J.W. (1957). On the generation of surface waves by shear flows. *Journal of Fluid Mechanics* 3(2), 185–204.
- Mustikasari, E., L.C. Dewi, A. Heriati, and W.S. Pranowo. (2015). Pemodelan Pola Arus Barotropik Musiman 3 Dimensi (3D) Untuk Mensimulasikan Fenomena Upwelling di Perairan Indonesia. *Jurnal Segara* 11(1), 25-35.
- Pacific Disaster Centre. (2011, November 10). Tropical Cyclone Activity Report – PM – Pacific / Indian Ocean ... Arabian Sea. Diambil kembali dari PDC.Org: <http://www.pdc.org/weather/index.php/2011/12/12/tropical-cyclone-activity-report-pm-pacific-indian-oceans-arabian-sea-3/>.
- Pemda Kab. Natuna. (2013, Januari 4). Selayang Pandang Kabupaten Natuna. Diambil kembali dari [Natunakab.go.id](http://www.natunakab.go.id/sekilas-natuna.html): <http://www.natunakab.go.id/sekilas-natuna.html>.
- Keputusan Kasal No. Kep/326/II/2016 Tentang Penataan Gelar dan Klasifikasi serta Batas Wilayah Kerja Pangkalan-pangkalan TNI Angkatan Laut.
- Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2017 tentang Kebijakan Kelautan Indonesia.
- Phillips, O.M. (1957). On The Generation of Waves by Turbulent Wind. *Journal of Fluid Mechanics* 2(5), 417–445.
- Pranowo, W.S., H. Phillips, S. Wijffels. (2005). Upwelling Event 2003 Along South Java Sea & The Sea of Lesser Sunda Islands. *Jurnal Segara* 1(3), 116-123.
- Pranowo, W.S. (2012). Dinamika Upwelling dan Downwelling di Laut Arafura dan Laut Timor. *Jurnal Widya Riset* 15(2), 415-424.
- Pranowo, W.S., T.R. Adi, S. Makarim, & N.N. Hasanah. (2012). Marine & Climate Research Contributions to the National Program on Climate Change Adaptation & Mitigation. *Procced. The International Workshop on Climate Information Services in Supporting Mitigation & Adaptation to Climate Change in Transportation & Tourism*, 15-16 May 2012. Halaman 76-79.
- Pranowo, W.S., C.D. Puspita, R.A. Adi, A.R.T.D. Kuswardani, L.C. Dewi. (2013). *Atlas Sumberdaya Laut dan Pesisir Natuna dan Sekitarnya, Edisi I*. Pusat Penelitian & Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir, KKP. 126 halaman.
- Pranowo, W.S. (2016a). *Hitung Perataan, Semester II S1/XXXVI-2016, Modul Pelajaran*. Prodi Hidrografi, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL). Jakarta.
- Pranowo, W.S. (2016b). *Geologi dan Geofisika, Semester III S1/XXXVI-2016, Modul Pelajaran*. Prodi Hidrografi, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL). Jakarta.
- Purba, N.P. dan W.S. Pranowo. (2015). *Dinamika Oseanografi, Deskripsi Karakteristik Massa Air dan Sirkulasi Air Laut*. Bandung: Unpad Press.
- Pushidrosal. (2012). *Peta Laut Nomor 354: Pulau-pulau Anambas dan Natuna hingga Tanjung Datu*.
- Pushidrosal. (2014). *Peta Laut Nomor 360: Selat Malaka, Laut Natuna hingga Laut Jawa*.
- Risandi, J., S.L. Sagala, W.S. Pranowo. (2015). Aplikasi model numerik karakteristik gelombang untuk kajian kesesuaian lahan pengembangan budidaya laut di Situbondo, Jawa Timur. *Jurnal Kelautan Nasional* 10(1), 21-31.
- Sagala, S.L., R. Bramawanto, A.R.T.D Kuswardani, L.C. Dewi. (2014). Distribution of Heavy Metals in Natuna Coastal Waters. *Jurnal Ilmu & Teknologi Kelautan Tropis* 6(2), 297-310.
- Semedo, A., K. Sušelj, A. Rutgersson, A. Sterl. (2011). A Global View on The Wind Sea and Swell Climate and Variability From

- ERA-40. *Journal of Climate* Vol. 24, 1461-1479.
- Saunders, Stephen. (2015). *IHS Jane's Fighting Ships 2015-2016*. United Kingdom: Polestar Wheatons.
- Snodgrass, F.E., G.W. Groves, K.F. Hasselmann, G.R. Miller, W.H. Munk, W.H. Powers. (1966). Propagation of Ocean Swell Across the Pacific. *Phil. Trans. Roy. Soc. London. Series A, Math. & Phy. Scie.* 259(1103), 431-497.
- Stewart, R.H. (2008). *Physical Oceanography*. Texas: A&M University Press.
- Sverdrup, H.U. dan W.H. Munk. (1947). *Wind, Sea, and Swell: Theory of Relations For Forecasting*. Hydrographic Office, U.S. Navy, Publikasi No. 601. 44 halaman.
- Taryono, I. Sofian, A.R.T.D. Kuswardani, T.M. Alam. (2016). *Analisa Panjang dan Tinggi Gelombang Untuk Operasi TNI*
- Schlitzer, R. (2016). *Ocean Data View User's Guide*. The Alfred-Wegener-Institute (AWI). 183 halaman.
- AL di Perairan Indonesia. *Jurnal Chart Datum* 1(2), 72-87.
- Thé, J.L., Cristiane L. Thé, & Michael A. Johnson. (2016). *WRPLOT View User Guide*. 110 halaman.
- Tredup, S. (2011). *Dangerous Waves and Your Boat*. United State: Lane Press.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta.
- Wicaksana, S., I. Sofian, S.W. Pranowo, A.R.T.D. Kuswardari, Saroso, N.B. Sukoco. (2015). Karakteristik Gelombang Signifikan di Selat Karimata dan Laut Jawa Berdasarkan Rerata Angin 9 Tahunan (2005-2013). *Jurnal Omniakuatika* 11(2), 33-40.