



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK GELOMBANG LAUT DAN
DAERAH RAWAN GELOMBANG TINGGI DI PERAIRAN
INDONESIA**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains**

**RONI KURNIAWAN
1006734350**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM PASCA SARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU KELAUTAN**

**DEPOK
APRIL 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

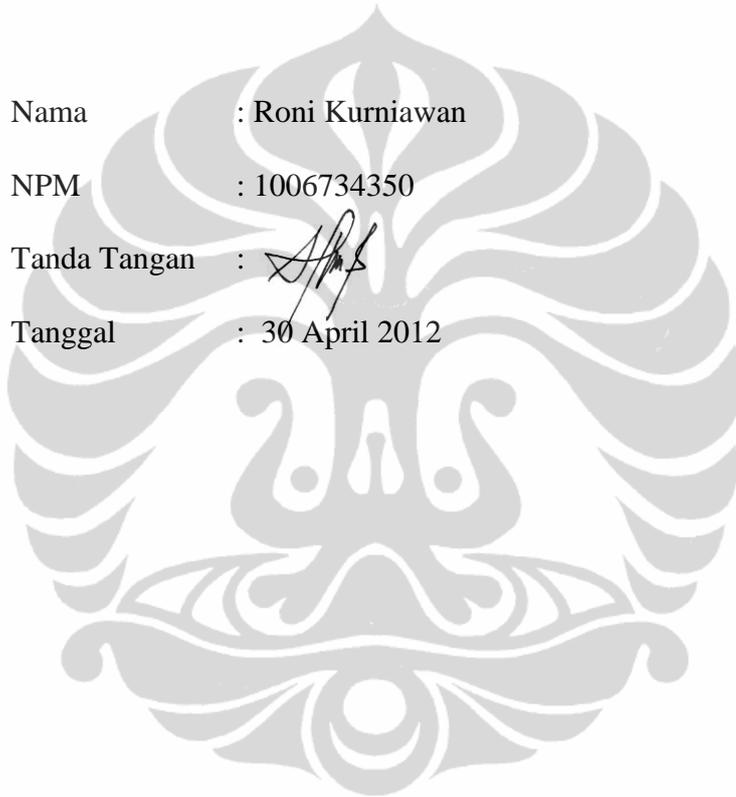
Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Roni Kurniawan

NPM : 1006734350

Tanda Tangan : 

Tanggal : 30 April 2012



HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Roni Kurniawan
NPM : 1006734350
Program Studi : Ilmu Kelautan
Judul Tesis : Karakteristik Gelombang Laut dan Daerah Rawan
Gelombang Tinggi di Perairan Indonesia

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains (M.Si) pada Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. A. Harsono Soeparjo, M.Eng

(.....)

Pembimbing II : Drs. Suratno, M.Si

(.....)

Penguji : Dr. Abdul Haris

(.....)

Penguji : Dr. Widada Sulistya, DEA

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 April 2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat ALLAH SWT atas limpahan rahmat, karunia-Nya, sehingga penulisan tesis ini dapat terselesaikan dengan baik guna memenuhi persyaratan mendapatkan gelar Magister Sains pada Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa masih banyak kekurangan di dalam penulisan tesis ini, sehingga kritikan serta saran sehubungan dengan penulisan tesis ini akan sangat membantu saya dalam melakukan penyempurnaan tesis. Penulisan tesis ini dapat terlaksana dan terselesaikan berkat kepedulian, bimbingan, dorongan, dan bantuan dari semua pihak. Untuk itu pada kesempatan ini saya sampaikan ucapan terima kasih kepada :

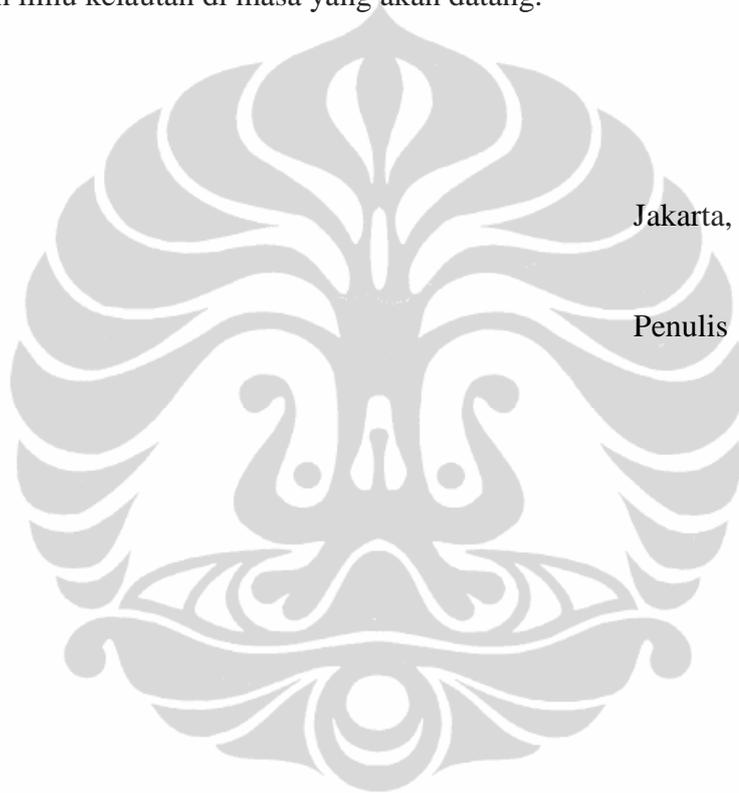
1. Dr. A. Harsono Soeparjo, M.Eng dan Drs. Suratno, M.Si, selaku dosen pembimbing I dan II yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya untuk mengarahkan dalam penyusunan tesis ini;
2. Tim penguji, Dr. Abdul Haris dan Dr. Widada Sulistya, DEA, atas masukan dan saran-sarannya dalam mengarahkan penulis;
3. Bapak dan Ibu dosen Program Pasca Sarjana Ilmu Kelautan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia atas ilmunya yang sangat berharga;
4. Staf administrasi sekretariat Program Pasca Sarjana Ilmu Kelautan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia yang telah memberikan bantuan dalam penyelesaian kuliah;
5. Rekan-rekan di Program Pasca Sarjana Ilmu Kelautan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia Universitas Indonesia, atas kebersamaannya;
6. Rekan-rekan Puslitbang, Aldi, Najib, Iman, Siswanto atas bantuan dan diskusinya;
7. Semua pihak yang telah banyak membantu selama ini, baik secara langsung dan tidak langsung yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Terakhir, rasa terimakasih tiada terhingga kepada kedua orang tuaku dan keluargaku di Surabaya, kepada istriku Arrafia Amaliz, dan bidadari kecilku, Salsabila Chelsea Arafia, serta mertua dan keluarga di Jakarta, atas do'a, dukungan, kesabaran, cinta dan kasih sayangnya selama ini.

Semoga amal baiknya senantiasa mendapat imbalan yang berlipat dari Allah SWT. Akhir kata, saya berharap tesis ini dapat membawa manfaat baik untuk pribadi maupun bagi semua pihak serta dapat memberikan sumbangan bagi perkembangan ilmu kelautan di masa yang akan datang.

Jakarta, April 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Roni Kurniawan
NPM : 1006734350
Program Studi : Ilmu Kelautan
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-eksklusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul : **Karakteristik Gelombang Laut dan Daerah Rawan Gelombang Tinggi di Perairan Indonesia.**

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 30 April 2012
Yang menyatakan,



(Roni Kurniawan)

ABSTRAK

Nama : Roni Kurniawan
Program Studi : Ilmu Kelautan
Judul : Karakteristik Gelombang Laut dan Daerah Rawan
Gelombang Tinggi di Perairan Indonesia

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia yang terdiri dari lima pulau besar dan ribuan pulau kecil, dan secara keseluruhan 70% wilayah teritorial Indonesia adalah lautan dan karena itu kehidupan sehari-hari penduduk Indonesia sangat berhubungan dengan laut. Berkaitan dengan pentingnya informasi tentang gelombang laut, terutama bagi keselamatan beragam kegiatan di laut, berdasarkan data dalam periode tahun 2000 - 2010, dilakukan studi tentang karakteristik gelombang di perairan Indonesia.

Hasil studi menunjukkan bahwa variasi spasial dan temporal tinggi gelombang dan frekuensi terjadinya gelombang tinggi mempunyai pola yang berasosiasi dengan siklus angin musonal. Pola tinggi gelombang dan frekuensi terjadinya gelombang tinggi di sebagian besar wilayah perairan Indonesia mempunyai dua puncak yang terjadi dalam periode monsun Australia (Desember, Januari, Februari) dan dalam periode monsun Asia (Juni, Juli, Agustus). Daerah rawan gelombang tinggi pada periode monsun Asia umumnya lebih luas daripada pada periode monsun Australia. Pada periode peralihan antar monsun, sebagian besar wilayah perairan Indonesia tidak rawan gelombang tinggi. Daerah rawan gelombang tinggi pada periode peralihan antar monsun umumnya lebih sempit dan terdapat di perairan yang Indonesia yang menjadi bagian dari Laut Cina Selatan, Samudera Pasifik dan Samudera Hindia, terutama selatan Jawa sampai Bengkulu. Meskipun korelasinya tidak signifikan, berlangsungnya El Nino menyebabkan meningkatnya tinggi gelombang di wilayah perairan Indonesia bagian timur, terutama utara ekuator dan berlangsungnya La Nina menyebabkan meningkatnya tinggi gelombang di perairan Indonesia yang berada di Samudera Hindia terutama di selatan Jawa. Sedangkan terjadinya IODM negatif menyebabkan meningkatnya tinggi gelombang di perairan barat Sumatera sebelah utara ekuator.

Kata kunci: Gelombang Tinggi, Monsun, El Nino, La Nina, IODM

ABSTRACT

Name : Roni Kurniawan
Study Program : Marine Science
Judul : Ocean Waves Characteristics and High Wave Prone Areas
over Indonesian Waters

Indonesia is the world's largest archipelagic nation made up of five large islands and thousands of small islands, and overall 70% of the territory of Indonesia is the ocean and therefore the daily life of the population of Indonesia is closely connected with the sea. Related to the importance of information about ocean waves, especially for the safety of a variety of activities at sea, based on data in the period 2000 – 2010 obtained by numerical wave model, conducted a study of the characteristics of waves in the waters of Indonesia.

The study shows that the spatial and temporal variations in wave height and frequency of occurrence of high waves have a pattern associated with monsoonal wind cycle. The pattern of wave height and frequency of occurrence of wave heights in most of the territorial waters of Indonesia possessed two peaks that occur in Australia monsoon period (December, January, February) and the Australian monsoon period (June, July, August). Areas prone to high waves in the period of monsoon Asia are generally wider than the Australia monsoon period. In the transitional period between monsoons, most of the territorial waters of Indonesia is not prone to high waves. Areas prone to high waves in the transitional period between monsoons are generally narrower and there in the waters of Indonesia, which became part of the South China Sea, Pacific Ocean and Indian Ocean, particularly south of Java to Bengkulu. Although the correlation is not significant, ongoing El Nino led to an increasing wave height in the eastern waters of Indonesia, especially north of the equator and the ongoing La Nina led to an increasing wave height in the waters of Indonesia in the Indian Ocean, especially in the south of Java. While the occurrence of negative IODM cause increased wave height in the waters west of Sumatra north of the equator.

Key words: High Waves, Monsoon, El Nino, La Nina, IODM

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.6 Alur Pikir Penelitian.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Gelombang Laut.....	5
2.1.1 Pertumbuhan Gelombang Laut.....	6
2.1.2 Tinggi Gelombang Signifikan.....	8
2.2 Sirkulasi Atmosfer di Indonesia.....	9
2.2.1 Sirkulasi Angin Monsun.....	10
2.2.2 <i>El Nino South Oscillation (ENSO)</i>	11
2.2.3 <i>Indian Ocean Dipole Mode (IODM)</i>	13
2.3 Model Gelombang Windwaves 05.....	15
BAB III. METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Wilayah Penelitian.....	19
3.2 Data.....	19
3.3 Pengolahan dan Analisis Data.....	20
3.3.1 Tinggi Gelombang.....	20
3.3.2 Perhitungan Rata-rata Tinggi gelombang.....	21
3.3.3 Identifikasi Gelombang Tinggi.....	21
3.3.4 Penentuan Daerah Rawan Gelombang Tinggi.....	21
3.3.5 Korelasi Antara Gelombang terhadap ENSO dan IODM.....	22
3.3.5 Pembuatan Peta Hasil Pengolahan.....	23
3.3.6 Analisa Hasil Pengolahan.....	23
3.4 Alur Proses Pengolahan Data dan Analisa.....	24
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Hasil Pengolahan Data.....	25
4.1.1 Variasi Bulanan Angin dan Gelombang.....	25
4.1.1.1 Bulan Desember.....	25
4.1.1.2 Bulan Januari.....	27
4.1.1.3 Bulan Februari.....	29

4.1.1.4	Bulan Maret.....	30
4.1.1.5	Bulan April.....	32
4.1.1.6	Bulan Mei.....	33
4.1.1.7	Bulan Juni.....	35
4.1.1.8	Bulan Juli.....	36
4.1.1.9	Bulan Agustus.....	38
4.1.1.10	Bulan September.....	40
4.1.1.11	Bulan Oktober.....	42
4.1.1.12	Bulan Nopember.....	43
4.1.2	Klasifikasi Daerah Rawan Gelombang Tinggi.....	45
4.1.2.1	Bulan Desember.....	45
4.1.2.2	Bulan Januari.....	46
4.1.2.3	Bulan Februari.....	47
4.1.2.4	Bulan Maret.....	48
4.1.2.5	Bulan April.....	49
4.1.2.6	Bulan Mei.....	50
4.1.2.7	Bulan Juni.....	51
4.1.2.8	Bulan Juli.....	52
4.1.2.9	Bulan Agustus.....	53
4.1.2.10	Bulan September.....	54
4.1.2.11	Bulan Oktober.....	55
4.1.2.12	Bulan Nopember.....	56
4.1.3	Korelasi ENSO dan IODM terhadap tinggi gelombang.....	57
4.1.3.1	Korelasi ENSO.....	57
4.1.3.2	Korelasi IODM.....	58
4.2	Analisa dan Pembahasan	59
4.2.1	Karakteristik gelombang dan daerah rawan gelombang tinggi.....	59
4.2.2	Hubungan ENSO dan IODM dengan tinggi gelombang.....	67
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....		70
5.1	Kesimpulan.....	70
5.2	Saran.....	72
DAFTAR ACUAN.....		73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Analisis korelasi model gelombang windwaves terhadap data observasi.....	16
Tabel 3.1. Pedoman interpretasi koefisien korelasi.....	23



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Diagram alur pikir penelitian.....	4
Gambar 2.1.	Distribusi energi dari gelombang permukaan laut.....	5
Gambar 2.2.	Variasi jenis dan ukuran gelombang sepanjang <i>fetch</i> dilihat dari atas.....	6
Gambar 2.3.	Spektra gelombang untuk kecepatan angin yang berbeda beda.....	7
Gambar 2.4.	Tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang sebagai fungsi kecepatan angin	7
Gambar 2.5.	Pertumbuhan spektrum frekuensi sepanjang <i>fetch</i> . Spektra 1-5 diukur pada jarak 9.5, 20, 37, 52 dan 80 km dari lepas pantai. Kecepatan angin yang bertiup adalah 7 m/s.....	8
Gambar 2.6.	Definisi Tinggi dan Panjang gelombang	8
Gambar 2.7.	Contoh hasil rekaman gelombang.....	9
Gambar 2.8.	Pola Angin Monsun Asia (kiri) dan Angin Monsun Australia (kanan).....	11
Gambar 2.9.	Mekanisme kejadian El Nino (atas) dan La Nina (bawah) di Samudera Pasifik	11
Gambar 2.10.	Pola kejadian El Nino dan La Nina periode 1950-2010.....	12
Gambar 2.11.	Zona indikator El Niño di Pasifik Ekuator.....	13
Gambar 2.12.	Mekanisme kejadian Dipole Mode positif dan negatif di Samudera.....	14
Gambar 2.13.	Lokasi Indian Ocean Dipole Mode (IODM) di Samudera Hindia	15
Gambar 2.14.	Tinggi gelombang signifikan (H_s) dari satelit altimetri (kiri) dan luaran model Windwaves-05 (kanan).....	16
Gambar 2.15.	Deviasi tinggi gelombang signifikan (H_s) luaran model Windwaves-05 dengan satelit altimetri	17
Gambar 3.1.	Wilayah penelitan.....	19
Gambar 3.2.	Alur proses pengolahan data dan analisa.....	24
Gambar 4.1.	Kondisi Angin dan gelombang bulan Desember di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (H_s), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (H_s max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter.....	26
Gambar 4.2.	Kondisi angin dan gelombang bulan Januari di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (H_s), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (H_s max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter.....	28
Gambar 4.3.	Kondisi angin dan gelombang bulan Februari di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (H_s), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (H_s max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter.....	30

Gambar 4.4.	Kondisi angin dan gelombang bulan Maret di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (Hs), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (Hs max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter.....	31
Gambar 4.5.	Kondisi angin dan gelombang bulan April di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (Hs), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (Hs max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter.....	33
Gambar 4.6.	Kondisi angin dan gelombang bulan Mei di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (Hs), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (Hs max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter.....	34
Gambar 4.7.	Kondisi angin dan gelombang bulan Juni di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (Hs), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (Hs max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter.....	36
Gambar 4.8.	Kondisi angin dan gelombang bulan Juli di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (Hs), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (Hs max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter.....	38
Gambar 4.9.	Kondisi angin dan gelombang bulan Agustus di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (Hs), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (Hs max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter.....	40
Gambar 4.10.	Kondisi angin dan gelombang bulan September di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (Hs), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (Hs max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter.....	41
Gambar 4.11.	Kondisi angin dan gelombang bulan Oktober di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (Hs), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (Hs max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter.....	43
Gambar 4.12.	Kondisi angin dan gelombang bulan Nopember di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (Hs), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (Hs max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter.....	45

Gambar 4.13. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Desember.....	46
Gambar 4.14. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Januari.....	47
Gambar 4.15. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Februari.....	48
Gambar 4.16. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Maret.....	49
Gambar 4.17. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan April.....	50
Gambar 4.18. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Mei.....	51
Gambar 4.19. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Juni.....	52
Gambar 4.20. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Juli.....	53
Gambar 4.21. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Agustus.....	54
Gambar 4.22. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan September.....	55
Gambar 4.23. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Oktober.....	56
Gambar 4.24. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Nopember.....	57
Gambar 4.25. Nilai koefisien korelasi anomali bulanan tinggi gelombang (model Windwaves-05) dengan indeks Nino 3.4, periode tahun 2000-2010.....	58
Gambar 4.26. Nilai koefisien korelasi bulanan anomali tinggi gelombang (model Windwaves-05) dengan indeks IODM periode tahun 2000 -2010.....	58
Gambar 4.27. Posisi pengambilan titik lokasi sampling.....	61
Gambar 4.28. Gelombang tertinggi yang pernah terjadi (Hs Abs), rata-rata tinggi gelombang maksimum (Hs Max), rata-rata tinggi gelombang (Hs), Frekuensi tinggi gelombang ≥ 2 m (Frekuensi) tahun 2000-2010 di perairan terbuka Utara Ekuator.....	62
Gambar 4.29. Frekuensi Badai Tropis di BBU, 1951 – 2006, area: 0 - 30 ⁰ LU, Laut Cina Selatan - 150 ⁰ BT.....	63
Gambar 4.30. Gelombang tertinggi yang pernah terjadi (Hs Abs), rata-rata tinggi gelombang maksimum (Hs Max), rata-rata tinggi gelombang (Hs), Frekuensi tinggi gelombang ≥ 2 m (Frekuensi) tahun 2000-2010 di perairan antar pulau.....	64
Gambar 4.31. Gelombang tertinggi yang pernah terjadi (Hs Abs), rata-rata tinggi gelombang maksimum (Hs Max), rata-rata tinggi gelombang (Hs), Frekuensi tinggi gelombang ≥ 2 m (Frekuensi) tahun 2000-2010 di perairan terbuka Selatan Ekuator.....	65

Gambar 4.32. Frekuensi Badai Tropis di BBS, 1964 – 2005, area: 0 - 30 ⁰ LS, 90 - 150 ⁰ BT.....	66
Gambar 4.33. Perbandingan anomali tinggi gelombang (H_s) dengan indeks Nino 3.4 pada titik korelasi tertinggi (posisi 111.33 BT dan 10.50 LS).....	68
Gambar 4.34. Perbandingan anomali tinggi gelombang (H_s) dengan indeks IODM pada titik korelasi tertinggi (posisi 95.00 BT dan 2.50 LU).....	69



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang terdiri dari lima pulau besar dan ribuan pulau kecil yang beragam bentuk dan ukuran, dan secara keseluruhan 70% wilayah teritorial Indonesia adalah lautan, sehingga kehidupan sehari-hari penduduk Indonesia sangat berhubungan dengan laut. Wilayah Indonesia juga terletak diantara benua Asia dan Australia serta diapit oleh Samudera Hindia dan Pasifik, kondisi ini membuat wilayah laut Indonesia mempunyai posisi yang sangat strategis dalam rute pelayaran internasional untuk kepentingan perekonomian dunia.

Berbagai kegiatan di laut, baik untuk kegiatan penelitian, operasi pelayaran untuk transportasi laut, penangkapan ikan, eksplorasi sumber daya laut serta pembangunan di sektor kelautan tentunya sangat sensitif terhadap dinamika perubahan cuaca dan keadaan permukaan laut. Berdasarkan data dari Departemen Perhubungan tahun 2009, selama kurun waktu 2003-2008 terdapat berbagai kecelakaan kapal dengan berbagai ragam faktor penyebab, diantaranya 260 kasus kecelakaan kapal adalah akibat faktor alam dan kasus kecelakaan kapal akibat faktor alam ini terjadi peningkatan setiap tahunnya.

Diantara berbagai faktor alam, salah satu yang sangat mempengaruhi kegiatan di laut adalah gelombang, dan karena itu didalam pelayanan informasi meteorologi kelautan (*marine meteorological services*), selain informasi tentang angin, informasi tentang gelombang merupakan bagian terpenting yang harus ada dalam setiap jenis informasi kelautan (WMO-No. 471, 2001). Adanya gelombang tinggi yang ekstrim dapat mengancam keselamatan dan dapat menimbulkan kerugian materi yang tidak sedikit, seperti tenggelamnya KM Senopati di perairan pulau Mandalika pada akhir Desember 2006 terjadi akibat gelombang tinggi. Sering terjadinya gelombang tinggi ini dapat menyebabkan terganggunya aktifitas nelayan, transportasi laut antar pulau yang dapat berdampak pada kehidupan masyarakat di darat, seperti kelangkaan bahan pangan di beberapa pulau kecil dan

terganggunya berbagai aktifitas pembangunan karena terhambatnya suplai bahan-bahan konstruksi.

Permasalahan akibat adanya gelombang tinggi seperti yang telah diuraikan sebelumnya dapat dikurangi atau dapat dicegah apabila informasi karakteristik gelombang di setiap wilayah perairan Indonesia dipahami dengan baik, sehingga kegiatan-kegiatan kelautan baik untuk kegiatan transportasi maupun eksplorasi sumber daya laut dapat direncanakan dengan lebih baik dan efisien. Oleh karena itu kajian tentang informasi karakteristik gelombang, daerah-daerah rawan gelombang tinggi di Indonesia perlu dilakukan guna memperoleh informasi yang diperlukan dalam menunjang perencanaan berbagai kegiatan kelautan.

1.2 Perumusan Masalah

Wilayah Indonesia merupakan wilayah monsun (Ramage, 1971), yang ditandai oleh sistem angin musim yang secara periodik berbalik arah enam bulan sekali. Sistem angin ini mempunyai variasi antar musim yang juga dipengaruhi oleh fenomena global seperti El Nino/La Nina dan *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM). Variabilitas monsun dan kompleksitas wilayah Indonesia yang terdiri dari banyak pulau dengan beragam ukuran dan bentuk menyebabkan adanya variasi spasial dan temporal arah dan kecepatan angin yang berpengaruh terhadap dinamika laut di wilayah Indonesia. Dinamika atmosfer di wilayah Indonesia yang kompleks tersebut menimbulkan berbagai pertanyaan tentang karakteristik gelombang laut di wilayah Indonesia. Dari latar belakang yang telah diuraikan, pertanyaan-pertanyaan yang dipandang penting dan perlu di jawab dalam studi ini diantaranya adalah pertanyaan tentang karakteristik gelombang seperti; kapan, dimana sering terjadi gelombang tinggi, berapa tingginya, daerah-daerah rawan gelombang tinggi dan bagaimana pengaruh fenomena El Nino/La Nina dan IODM terhadap tinggi gelombang di perairan Indonesia.

1.3 Tujuan Penelitian

Berkaitan dengan perumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik gelombang laut di perairan Indonesia.
2. Mengidentifikasi daerah-daerah rawan gelombang tinggi di perairan Indonesia.
3. Mengetahui hubungan fenomena El Nino/La Nina di Samudera Pasifik, dan *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) di Samudera Hindia dengan tinggi gelombang di perairan Indonesia.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Informasi karakteristik gelombang dan daerah-daerah rawan gelombang tinggi dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk menunjang berbagai kegiatan kelautan, seperti perencanaan kegiatan operasi pelayaran untuk penelitian kelautan, transportasi laut, penangkapan ikan, eksplorasi sumber daya laut, pembangunan di sektor kelautan, serta acuan dalam memberikan informasi peringatan dini gelombang tinggi di wilayah perairan Indonesia.
2. Menambah wawasan dan pengetahuan di bidang ilmu kelautan tentang informasi klimatologis gelombang laut dan daerah-daerah yang rawan terhadap gelombang tinggi di perairan Indonesia.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

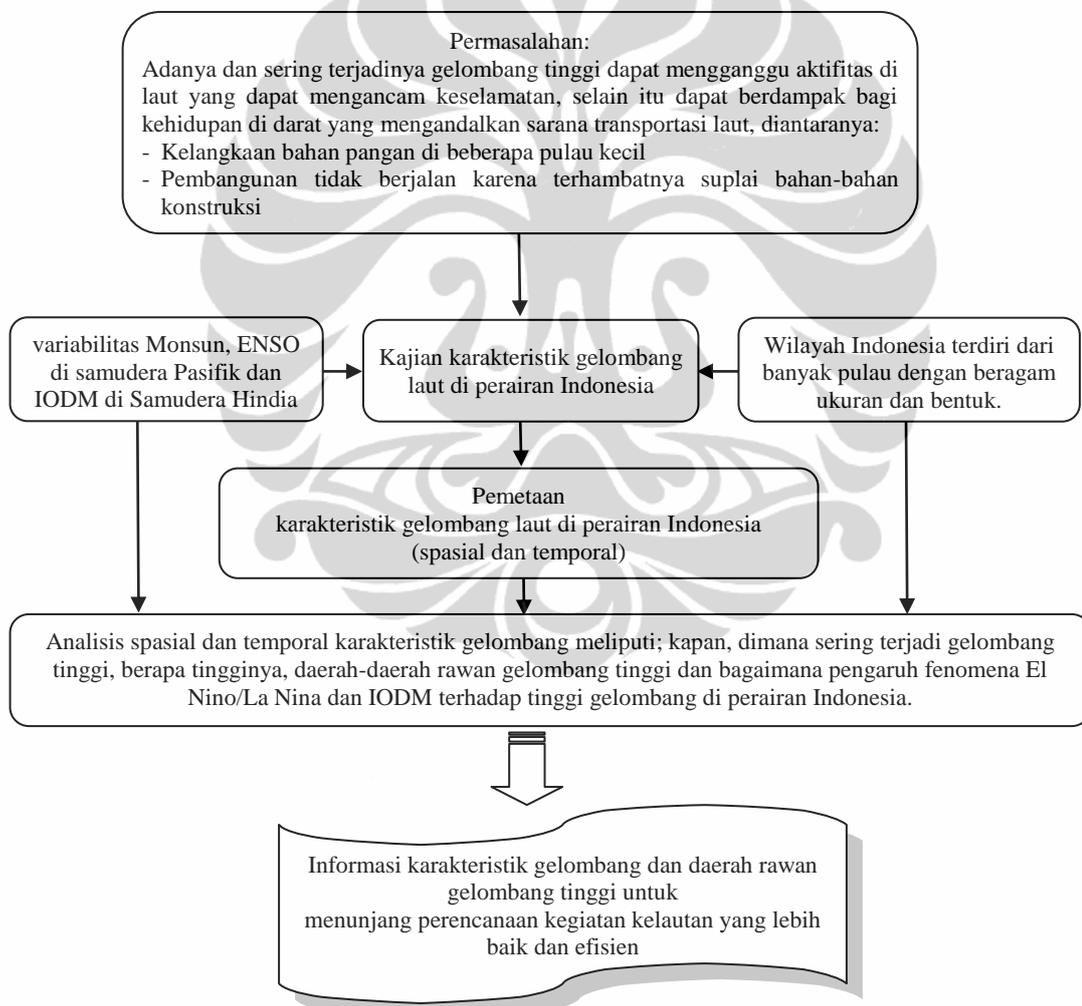
Studi ini dilakukan berdasarkan data gelombang periode tahun 2000-2011 yang diperoleh dengan menggunakan model gelombang Windwaves-05, dengan fokus penelitian meliputi:

1. Variasi bulanan tinggi gelombang, tinggi gelombang maksimum dan frekuensi terjadinya gelombang tinggi.

2. Identifikasi daerah rawan gelombang tinggi ditentukan berdasarkan frekuensi terjadinya gelombang tinggi ≥ 2 meter.
3. Hubungan fenomena iklim global El Nino / La Nina di Samudera Pasifik, dan *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) di Samudera Hindia dengan tinggi gelombang di perairan Indonesia.

1.6 Alur Pikir Penelitian

Dalam penelitian ini disajikan alur pikir secara sederhana sebagaimana pada gambar 1.1 berikut:

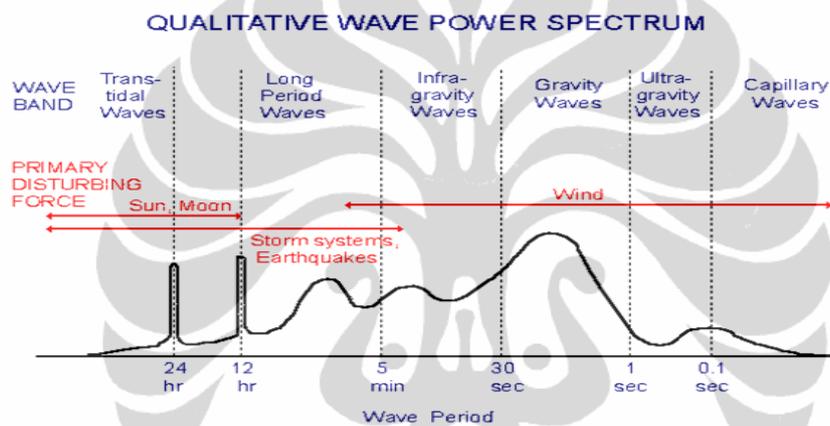


Gambar 1.1. Diagram alur pikir penelitian

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Laut

Di lautan terdapat banyak jenis gelombang, baik ditinjau dari faktor penyebab maupun gaya pengembalnya (*restoring force*). Diantara sekian banyak gelombang yang menjadi perhatian dalam pelayanan informasi meteorologi kelautan adalah tiga jenis gelombang yaitu gelombang akibat angin, gempa bumi (tsunami) dan akibat gaya tarik menarik bumi-bulan-matahari atau disebut dengan gelombang tidal atau pasang surut (WMO- No. 741, 2001).

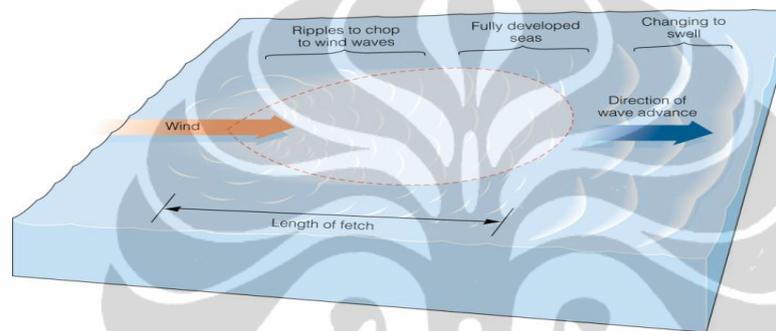


Gambar 2.1. Distribusi energi dari gelombang permukaan laut
[Klinsman & Blair, 1965]

Di banding jenis gelombang lainnya, gelombang akibat angin merupakan gelombang yang paling dominan terjadi di permukaan laut, baik ditinjau dari frekuensi kejadiannya maupun energinya seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Pada gambar tersebut juga dapat dilihat, bahwa angin yang bertiup dapat menimbulkan banyak gelombang yang beragam periode dan tingginya (energinya). Berdasarkan periodenya dan gaya pengembali yang bekerja, ragam gelombang akibat angin bervariasi mulai gelombang kapiler hingga gelombang gravitas panjang (*long wave period*). Gelombang gravitas panjang biasanya di hasilkan oleh sistem badai. Keberadaan gelombang akibat angin di permukaan laut mempengaruhi hampir semua kegiatan di laut, dan karena itu, selain informasi tentang angin, informasi tentang gelombang akibat angin merupakan bagian terpenting dalam pelayanan informasi meteorologi kelautan.

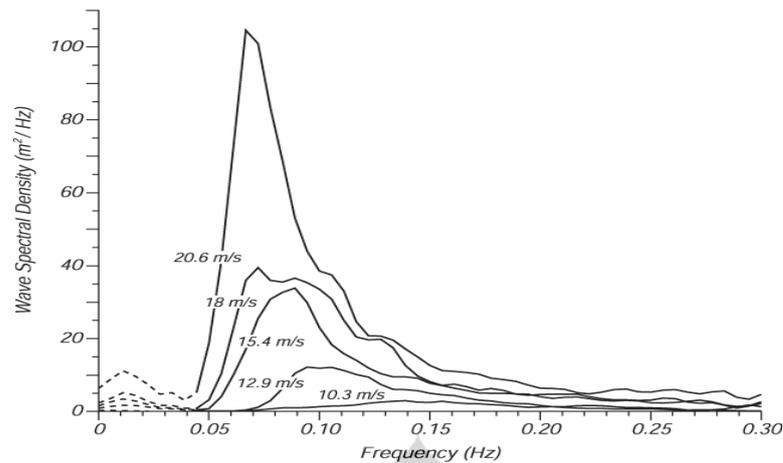
2.1.1 Pertumbuhan Gelombang Laut

Gelombang dapat tumbuh di lautan jika angin bertiup mempunyai arah dan kecepatan yang persisten. Ukuran gelombang di daerah pertumbuhannya, tergantung pada kecepatan angin, durasi atau lamanya angin bertiup dan jarak tempuh gelombang dari awal pertumbuhannya (*fetch*). *Fetch* dapat dibatasi pantai, perubahan arah dan atau kecepatan angin. Semakin panjang *fetch*, semakin besar ukuran gelombang. Ilustrasi jenis dan atau ukuran gelombang di daerah pertumbuhannya ditunjukkan pada gambar 2.2.

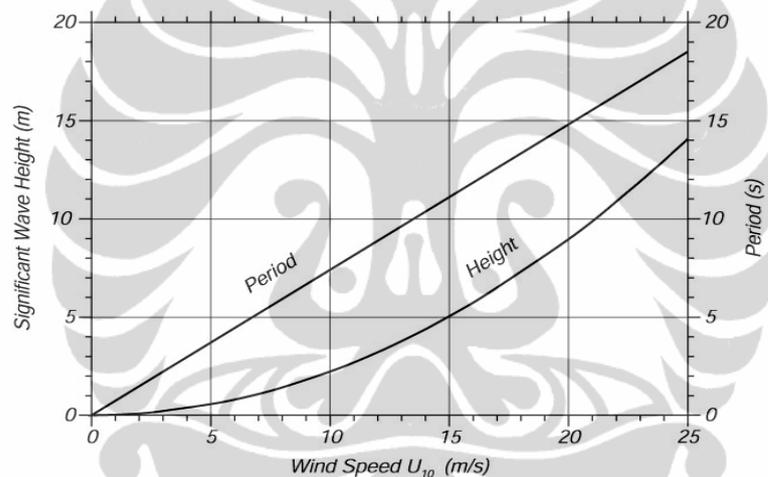


Gambar 2.2. Variasi jenis dan ukuran gelombang sepanjang *fetch* dilihat dari atas

Pierson dan Moskowitz (1964), berdasarkan data rekaman data gelombang dari buoy di Atlantik Utara dan dengan asumsi bahwa jika angin bertiup secara konstan sehari-hari di lautan yang luas, spektrum gelombang akan tumbuh penuh (*fully developed*) sebagai fungsi kecepatan angin seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Pada gambar ini dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan angin semakin lebar kisaran frekuensi dan dan semakin besar energi gelombang yang terbentuk. Luas masing-masing kurva spektrum sebanding dengan tinggi gelombang dan karena itu, gambar ini menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin semakin besar gelombang yang terbentuk. Grafik relasi antara tinggi, periode gelombang dan kecepatan angin berdasarkan spektrum gelombang tumbuh penuh ditunjukkan pada gambar 2.4.



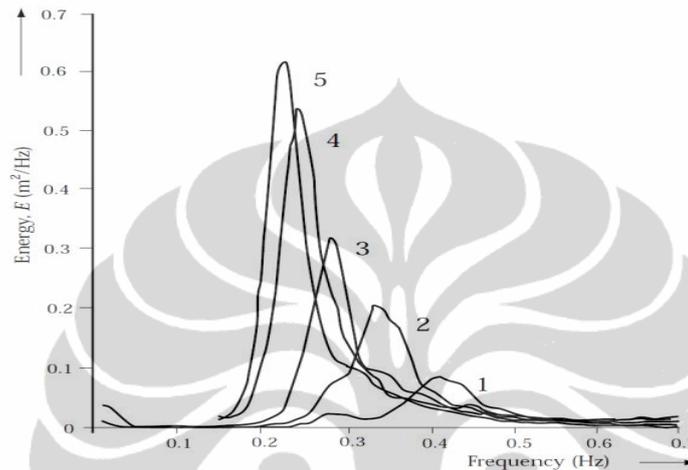
Gambar 2.3. Spektra gelombang untuk kecepatan angin yang berbeda beda [Pierson dan Moskowitz, 1964]



Gambar 2.4. Tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang sebagai fungsi kecepatan angin [Pierson dan Moskowitz, 1964]

Hasselmann et. al (1973), berdasarkan data gelombang selama kegiatan *Joint North Sea Wave Observation Project* (JONSWAP) mendapati bahwa spektrum gelombang tidak bisa tumbuh penuh tetapi terus berubah terhadap waktu atau jarak yang ditempuh (*fetch*), seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5. Pada gambar tersebut dapat dilihat adanya perubahan bentuk puncak spektrum tumpul ke puncak spektrum yang lebih lancip sesuai dengan jarak *fetch* yang berarti juga waktu. Perubahan yang demikian akibat adanya transfer energi dari gelombang dengan frekuensi lebih tinggi ke frekuensi yang lebih rendah sesuai dengan teori interaksi non-linier antar gelombang dari Hasselmann (1963). Pertumbuhan spektrum ini menjelaskan bahwa gelombang-gelombang frekuensi rendah energi

yang lebih banyak dan mempunyai kecepatan yang melebihi kecepatan angin sehingga dapat meninggalkan daerah pertumbuhannya. Gelombang yang telah meninggalkan daerah pertumbuhannya disebut *swell* dan gelombang yang masih tetap berada di daerah perumbuhannya disebut *sea* (gambar 2.2). *Swell* yang dihasilkan oleh sistem badai dapat merambat ribuan kilometer sebelum pecah di pantai tujuannya.



Gambar 2.5. Pertumbuhan spektrum frekuensi sepanjang *fetch*. Spektra 1-5 diukur pada jarak 9.5, 20, 37, 52 dan 80 km dari lepas pantai. Kecepatan angin yang bertiup adalah 7 m/s [Hasselmann et. al. 1973]

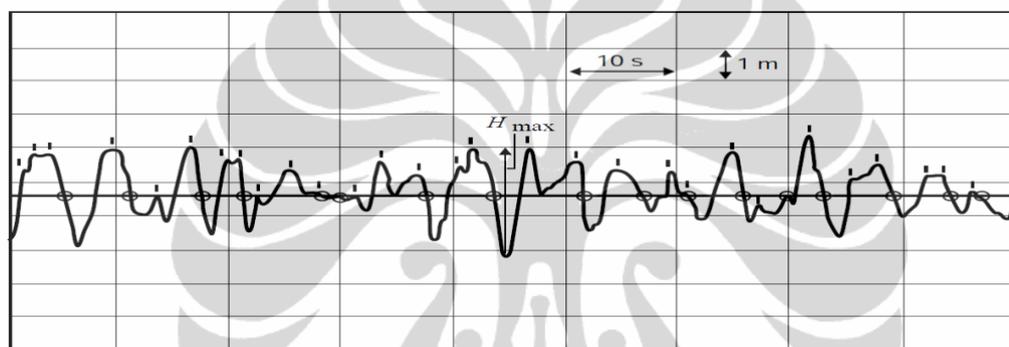
2.1.2 Tinggi Gelombang Signifikan

Ukuran gelombang direprestasikan oleh tiga komponen yaitu tinggi, periode dan panjang gelombang. Tinggi gelombang adalah jarak yang diukur dari lembah ke puncak gelombang. Panjang gelombang adalah jarak antara dua puncak (atau lembah) gelombang yang berurutan. Periode adalah selang waktu antara dua puncak (atau lembah) melewati satu titik tetap (gambar 2.6).



Gambar 2.6. Definisi Tinggi dan Panjang gelombang

Gelombang laut merupakan hasil superposisi dari banyak gelombang sehingga profilnya tidak sesederhana seperti yang terlihat pada gambar 2.6. gelombang laut yang melewati suatu titik mempunyai profil yang kompleks (gambar 2.7), sehingga ukuran gelombang tidak dapat ditentukan dengan mudah seperti yang ilustasikan pada gambar 2.6. Istilah yang biasa dipergunakan untuk tinggi gelombang laut adalah tinggi gelombang signifikan (*significant wave height*). Berdasarkan rekaman data, tinggi gelombang signifikan didefinisikan sebagai tinggi rata-rata 1/3 dari gelombang-gelombang tertinggi, yang nilainya setara dengan tinggi gelombang hasil obsevasi visual (WMO-702, 1998). Tinggi gelombang signifikan biasa di simbolkan dengan $H_{1/3}$ atau H_s .



Gambar 2.7. Contoh hasil rekaman gelombang [WMO-No. 702, 1998]

Contoh perhitungan tinggi gelombang signifikan (H_s) dari rekaman data gelombang tersebut adalah sebagai berikut; misalnya diperoleh data 120 puncak gelombang dalam selang observasi (sekitar 15-35 menit), kemudian ukur tingginya, maka tinggi gelombang signifikan (H_s) dapat diperoleh dengan mengambil 40 gelombang teritinggi kemudian dihitung tinggi rata-ratanya.

2.2 Sirkulasi Atmosfer di Indonesia

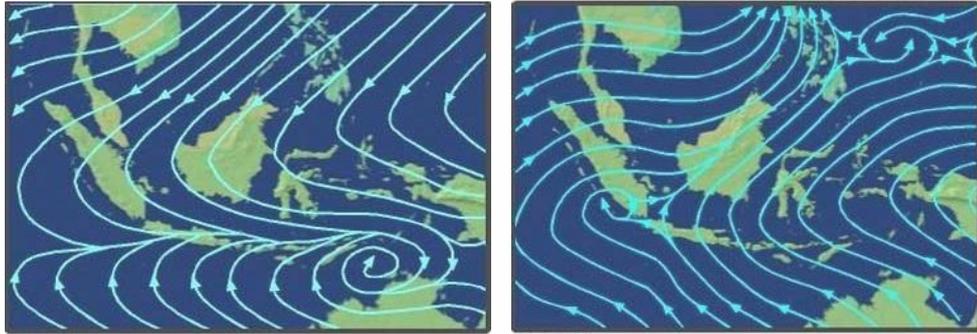
Wilayah Indonesia yang terbentang di antara lintang 10° N dan 10° S serta bujur 95° dan 140° E, termasuk ke dalam wilayah tropis. Wilayah ini juga sering disebut sebagai wilayah benua maritim (*maritime continent*) karena terdiri atas lebih dari 7.000 pulau, baik besar maupun kecil, dengan topografi yang umumnya bergunung-gunung (Ramage, 1971). Wilayah benua maritim Indonesia dipengaruhi oleh 3 (tiga) sirkulasi atmosfer yaitu sirkulasi atmosfer meridional (sirkulasi Hadley), sirkulasi atmosfer zonal (Sirkulasi Walker), dan sirkulasi

atmosfer lokal (konveksi). Sirkulasi meridional (Hadley) yang menjadi Monsun, sirkulasi zonal (Walker) yang mengindikasikan kejadian *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM), serta sirkulasi lokal akibat konveksi.

2.2.1 Sirkulasi Angin Monsun

Monsun adalah sistem sirkulasi regional yang mempunyai variasi musiman, monsun ditandai oleh pembalikan musiman sistem angin utama, yang diartikan sebagai perubahan arah gaya gradient tekanan permukaan dan cuaca utama ketika musim panas (*summer*) dan ketika musim dingin (*winter*) (Bayong, 2008). Menurut Aldrian (2008) Penyebab utama dari fenomena ini adalah pergerakan titik kulminasi matahari terhadap bumi yang bergerak Utara Selatan dan terciptanya kontras tekanan dan suhu antara benua dan samudera. Di wilayah Indonesia terjadi pergerakan masuk dan keluarnya monsun dari barat laut menuju tenggara, hal ini dikarenakan mengikuti posisi benua dan samudera yang mengapit wilayah Indonesia.

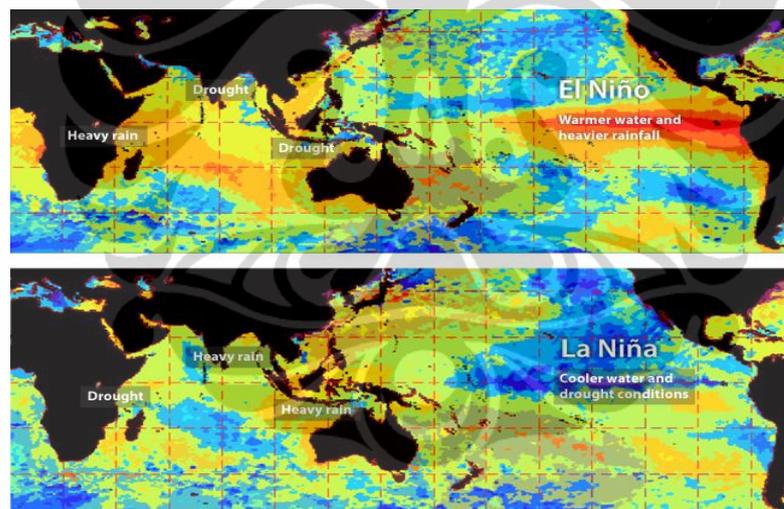
Ditinjau dari kemantapan arah dan kecepatan angin monsun, maka di Indonesia dikenal dua musim yang meliputi bulan Desember, Januari, Februari dan Juni, Juli, Agustus (Bayong, 2008). Keadaan monsun di wilayah Indonesia ditandai dengan berhembusnya secara tetap sirkulasi angin untuk satu periode tertentu (minimal 3 bulan) dan pada periode yang lain arah anginnya hampir berlawanan. Pada kondisi normal, wilayah Indonesia dipengaruhi oleh dua jenis monsun yaitu Monsun Asia dan monsun Australia (gambar 2.8). Monsun Asia mencapai puncaknya pada bulan Desember-Januari-Februari (DJF), di mana angin bergerak dari benua Asia dengan membawa uap air yang menyebabkan hujan sehingga disebut musim penghujan. Sedangkan monsun Australia ditandai oleh angin tenggara yang bersifat kering bertiup dari Australia menuju garis khatulistiwa dan dikenal dengan musim kemarau yang mencapai puncaknya pada bulan Juni-Juli-Agustus (JJA). Pada musim transisi antar kedua monsun yang terjadi pada Maret-April-Mei (MAM) dan September-Oktober-Nopember (SON), arah dan kecepatan angin bertiup tidak menentu. Pada setiap awal periode musim ini, pengaruh angin musim sebelumnya masih kuat (Nontji, 2005).



Gambar 2.8. Pola Angin Monsun Asia (kiri) dan Angin Monsun Australia (kanan)

2.2.1. *El Nino Southern Oscillation (ENSO)*

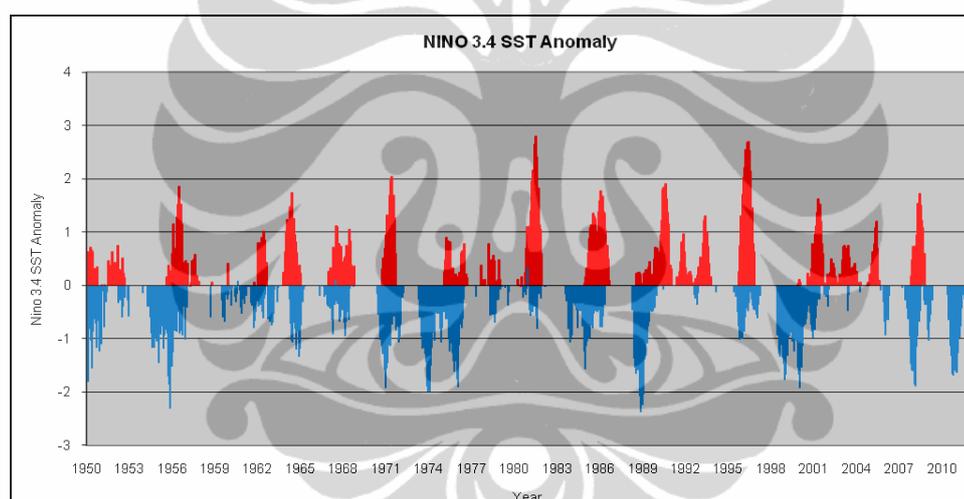
Secara umum para ahli membagi ENSO menjadi ENSO hangat (El Nino) dan ENSO dingin (La Nina). El Nino dan La Nina adalah fenomena alam yang terkait dengan peristiwa anomali iklim ekstrem dalam variabilitas iklim. Kondisi tanpa kejadian ENSO biasanya disebut sebagai kondisi normal.



Gambar 2.9. Mekanisme kejadian El Nino (atas) dan La Nina (bawah) di Samudera Pasifik [<http://www.cyclonextreme.com/meteorologieelnino.htm>]

Referensi penggunaan kata hangat dan dingin adalah berdasarkan pada nilai anomali suhu permukaan laut (SPL) di daerah NINO di Samudera Pasifik dekat ekuator bagian tengah dan timur. El Nino adalah gejala penyimpangan (anomali) pada suhu permukaan Samudra Pasifik di pantai Barat Ekuador dan Peru yang lebih tinggi daripada rata-rata normalnya (gambar 2.9). Fenomena yang teramati adalah meningkatnya SPL yang biasanya dingin. Akibat adanya perubahan suhu permukaan laut di Pasifik ekuator, maka terjadi pula perubahan

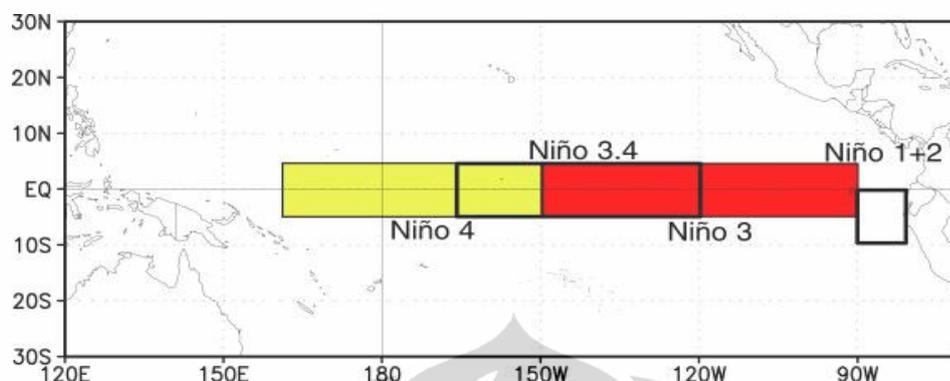
arah angin dan pergeseran kolom penaikan dan penurunan udara dari sirkulasi Walker dan ada saat yang bersamaan terjadi perubahan pola tekanan udara yang mempunyai dampak sangat luas dengan gejala yang berbeda-beda, baik bentuk dan intensitasnya. Kejadian ini kemudian semakin sering muncul yaitu setiap tiga hingga tujuh tahun serta dapat mempengaruhi iklim dunia selama lebih dari satu tahun (gambar 2.10). La Nina merupakan kebalikan dari El Nino ditandai dengan anomali suhu muka laut di daerah tersebut negatif / lebih dingin dari rata-ratanya (gejala penyimpangan/ anomali pada suhu permukaan Samudra Pasifik di pantai Barat Ekuador dan Peru berupa penurunan suhu). Tekanan udara di kawasan equator Pasifik barat menurun, lebih ke barat dari keadaan normal, menyebabkan pembentukan awan lebih dan hujan lebat di daerah sekitarnya. La Nina secara umum akan menyebabkan curah hujan di Indonesia meningkat (gambar 2.9).



Gambar 2.10. Pola kejadian El Nino dan La Nina periode 1950-2010
[NCEP- NOAA, <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>]

Terjadinya El Nino dianggap sebagai faktor pengganggu dari sirkulasi monsun yang berlangsung di Indonesia, dan pengaruhnya sangat terasa yaitu timbulnya bencana kekeringan yang meluas. Pada saat berlangsung El Nino, terjadi penguatan angin baratan di Pasifik barat daerah equator mulai dari sebelah utara Papua hingga Pasifik Tengah. Karena adanya perbedaan kenampakan anomali suhu permukaan laut dan osilasi selatan (Southern Oscillation) di Pasifik antara satu titik dengan titik lainnya, maka kawasan Pasifik ekuator kemudian dibagi menjadi empat zona yang dikenal dengan zona NINO-1, NINO-2, NINO-3,

dan NINO-4. Adapun zona yang paling berkaitan erat dengan kondisi iklim di Indonesia adalah NINO-3,4 (gambar 2.11).



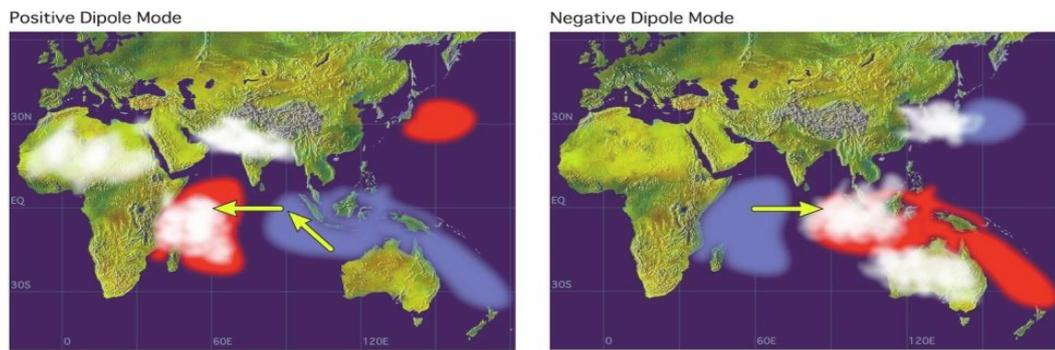
Gambar 2.11. Zona indikator El Nino di Pasifik Ekuator
[NCEP- NOAA, <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>]

Berdasar intensitasnya El Nino dikategorikan sebagai berikut:

- (1) El Nino Lemah (*Weak El Nino*), yang ditetapkan jika anomali suhu muka laut di Pasifik equator positif antara $+0.5^{\circ}\text{C}$ s/d $+1,0^{\circ}\text{C}$ dan berlangsung minimal selama 3 bulan berturut-turut.
- (2) El Nino sedang (*Moderate El Nino*), yang ditetapkan jika anomali suhu muka laut di Pasifik equator positif antara $+1,1^{\circ}\text{C}$ s/d $1,5^{\circ}\text{C}$ dan berlangsung minimal selama 3 bulan berturut-turut.
- (3) El Nino kuat (*Strong El Nino*), yang ditetapkan jika anomali suhu muka laut di Pasifik ekuator positif $> 1,5^{\circ}\text{C}$ dan berlangsung minimal selama 3 bulan berturut-turut.

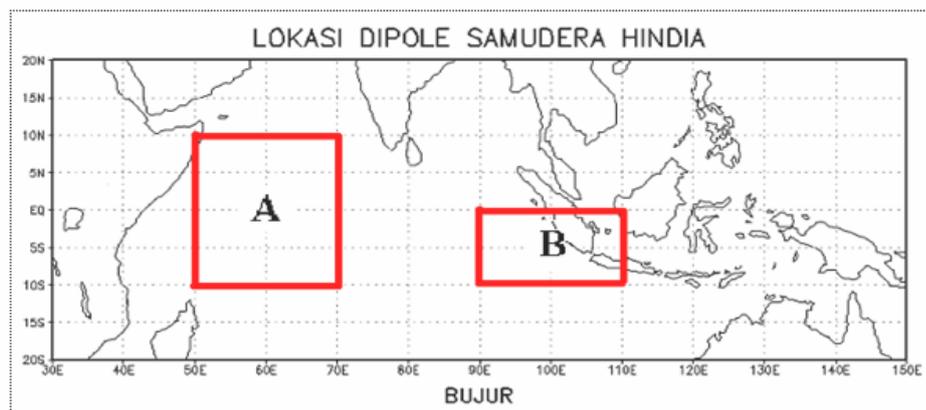
2.2.3 Indian Ocean Dipole Mode (IODM)

Indian Ocean Dipole mode yang disingkat IODM atau sering dilafalkan sebagai DM saja, merupakan fenomena yang mirip dengan ENSO tetapi terjadi di Samudera Hindia. Peristiwa dipole mode ditandai adanya perbedaan anomali suhu permukaan laut / *sea surface temperature* (SST) antara Samudera Hindia tropis bagian barat dengan Samudera Hindia tropis bagian timur. Anomali SST ini memiliki kondisi yang lebih dingin dari normal dan muncul dipantai barat Sumatera (Samudera Hindia bagian timur), sementara di Samudera Hindia bagian barat menjadi lebih panas dari biasanya (gambar 2.12).



Gambar 2.12. Mekanisme kejadian Dipole Mode positif dan negatif di Samudera India [Saji *et. al.*, 1999]

Variasi dampak IODM dan interaksinya dengan monsun sangat beragam dan merupakan fungsi waktu dan tempat. Untuk mengetahui kekuatan IODM maka dapat dihitung dengan indeks yang disebut dengan Indeks Dipole Mode yang digunakan oleh Saji *et.al.*, (1999). Indeks ini berupa dipole anomali SST yang didefinisikan sebagai perbedaan anomali SST Samudera Hindia bagian barat ($50^{\circ} - 70^{\circ}$ BT, 10° LS – 10° LU) dan Samudera Hindia bagian timur ($90^{\circ} - 110^{\circ}$ BT, 10° LS – ekuator) (Gambar 2.13). Mekanisme IODM bermula dari munculnya anomali SST negatif di sekitar selat Lombok hingga selatan Jawa pada bulan Mei – Juni, bersamaan terjadi anomali angin tenggara yang lemah di sekitar Jawa dan Sumatera. Anomali terus menguat (Juli – Agustus) dan meluas sampai ke ekuator di sepanjang pantai selatan Jawa hingga pantai barat Sumatera. Kondisi diatas dibarengi munculnya anomali positif SST di Samudera Hindia bagian barat. Adanya dua kutub di Samudera Hindia ekuator ini, semakin memperkuat anomali angin tenggara di sepanjang ekuator dan pantai barat Sumatera. Siklus puncaknya pada bulan Oktober, dan selanjutnya menghilang dengan cepat pada bulan November – Desember. Dampak IODM untuk wilayah Indonesia baru dikaji kepada dampak terhadap curah hujan, dan masih sedikit yang mengungkap dampaknya terhadap vektor kecepatan angin dan tinggi gelombang.



Gambar 2.13. Lokasi *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) di Samudera Hindia [Saji *et.al.*, 1999]

2.3 Model Gelombang Windwaves-05

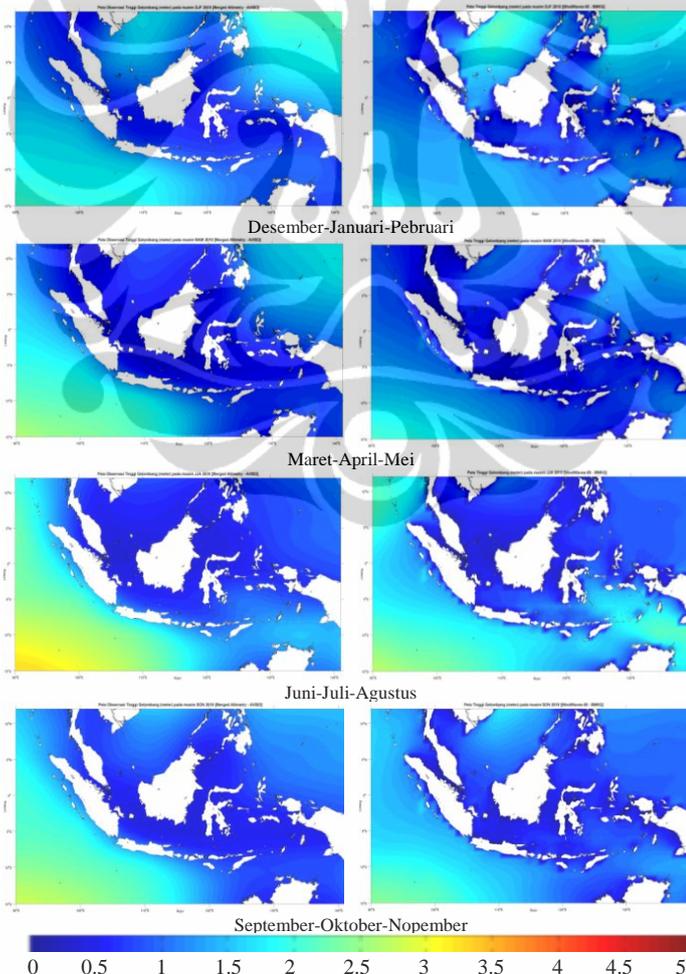
Berdasarkan WMO-No.702 (1998), data untuk keperluan analisa klimatologi gelombang dapat diperoleh dari dua sumber utama yaitu: (a) hasil pengukuran dan observasi, dan (b) hasil estimasi berdasarkan data angin (*wave hindcast*). Data hasil pengukuran dan observasi di lautan umumnya sangat terbatas dan tidak kontinyu. Saat ini tersedia data gelombang dari satelit, namun demikian resolusi yang ada sangat rendah yakni $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ($\pm 111 \text{ km} \times 111 \text{ km}$) yang tidak representatif untuk wilayah Indonesia yang terdiri dari banyak pulau besar dan kecil. Maka dalam studi ini untuk memperoleh data tinggi gelombang digunakan adalah data gelombang hasil estimasi berdasarkan data angin dengan menggunakan model gelombang Windwaves-05.

Model Windwaves-05 merupakan model yang dikembangkan oleh Suratno (1997) berdasarkan model MRI-II (*Marine Research Institute*) dari Jepang. Dalam studi yang dilakukan oleh Suratno, model diverifikasi dengan data kapal dengan hasil yang relatif baik seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1. Model Windwaves-05 sejak tahun 2004 dioperasikan secara rutin untuk keperluan pelayanan informasi meteorologi kelautan di BMKG termasuk untuk peringatan dini gelombang tinggi. Untuk melihat akurasi model Windwaves-05, dilakukan perbandingan luaran model dengan data satelit altimetri gabungan (*merged*) (*Jason-1*, *Envisat*, *Jason-2* dan *Cryosat-2*) yang diperoleh melalui website: www.aviso.oceanobs.com. Data yang dibandingkan adalah data rata-rata musiman

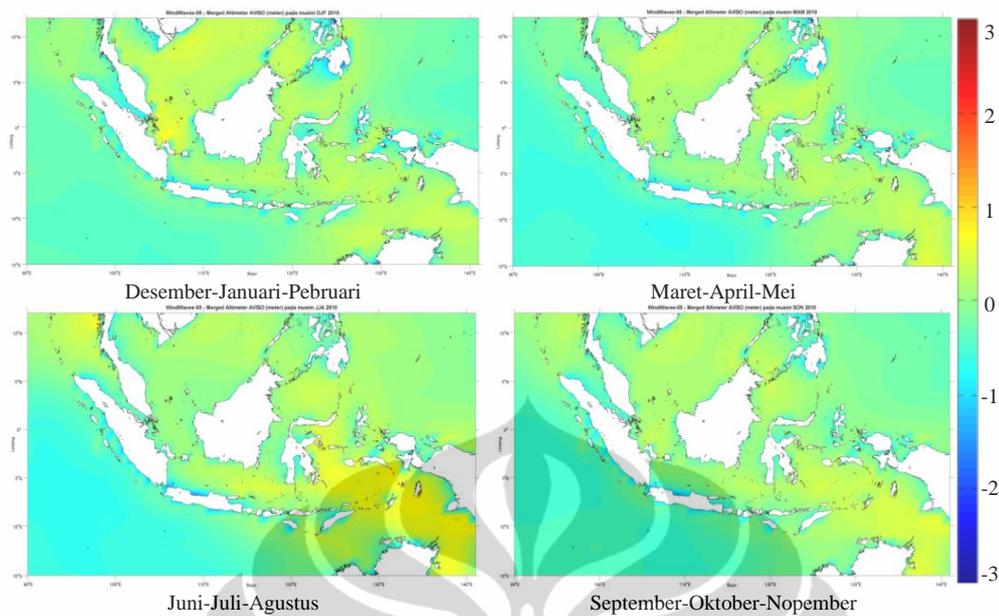
periode tahun 2010, hasil perbandingan model menunjukkan pola spasial yang serupa (gambar 2.14) dan dengan nilai bias umumnya relatif kecil (bervariasi kurang dari 0,8 m), seperti yang ditunjukkan pada gambar gambar 2.14 dan gambar 2.15.

Tabel 2.1. Analisis korelasi model gelombang windwaves terhadap data observasi

Tanggal 11-30 Januari 1996						
Jangka prakiraan	Periode signifikan			Tinggi signifikan		
	Bias rata-rata	RMSE	Korelasi	Bias rata-rata	RMSE	Korelasi
Hindcast	0.74	1.62	0.645	-0.6	0.89	0.735
Prakiraan 24 jam	0.67	1.63	0.621	-0.6	0.95	0.667
Prakiraan 48 jam	0.64	1.64	0.601	-0.7	1.00	0.614
Tanggal 21-30 Agustus 1996						
Jangka prakiraan	Periode signifikan			Tinggi signifikan		
	Bias rata-rata	RMSE	Korelasi	Bias rata-rata	RMSE	Korelasi
Hindcast	0.74	1.63	0.656	-0.3	0.695	0.736
Prakiraan 24 jam	0.79	1.67	0.628	-0.3	0.711	0.714
Prakiraan 48 jam	0.79	1.69	0.612	-0.3	0.803	0.615



Gambar 2.14. Tinggi gelombang signifikan (H_s) dari satelit altimetri (kiri) dan luaran model Windwaves-05 (kanan)



Gambar 2.15. Deviasi tinggi gelombang signifikan (H_s) luaran model Windwaves-05 dengan satelit altimetri

Persamaan yang digunakan dalam model gelombang ini berdasarkan persamaan transfer energi gelombang sebagai berikut (Suratno, 1997):

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -\nabla \cdot (C_g S) + S_{in} + S_{nl} + S_{ds} \quad 2.1$$

dengan $S = S(f, \theta)$ adalah spectral energi sebagai fungsi frekuensi dan arah rambat, t menyatakan waktu, C_g adalah vector kecepatan kelompok gelombang (*group velocity*). Suku $-\nabla \cdot (C_g S)$ menyatakan perubahan energi karena perambatan gelombang (adveksi), S_{in} menyatakan perubahan energi karena masukan dari angin, S_{nl} menyatakan perubahan energi karena tranfer energi non linier antar gelombang, dan S_{ds} menyatakan energi yang hilang.

Transfer energi dari angin ditentukan berdasarkan persamaan:

$$S_{in} = f \times B \times S \times \cos^2(\theta - \theta_w) \quad 2.2$$

$$B = \left\{ 5e^{-7000\left(\frac{c}{u_*}\right)^2} + 21612\left(\frac{u_*}{c}\right)^{-0004}\left(\frac{c}{u_*}\right)^2 \right\} \quad 2.3$$

Dengan c adalah kecepatan fase gelombang, $u_* = \tau / \rho_a$ adalah kecepatan gesek (*frictional velocity*) dan ρ_a adalah densitas udara dan $\tau = \rho c_d U_{10}^2$ adalah tegangan angin terhadap permukaan laut dengan c_d adalah koefisien drag dan U_{10} adalah kecepatan angin pada ketinggian 10 m, Θ adalah arah gelombang dan θ_a adalah arah angin. Faktor $\cos^2(\theta - \theta_w)$ adalah faktor penyebaran angular yang banyak digunakan dalam model-model numerik prakiraan gelombang.

Transfer energi non linier antar gelombang diparameterisasi sebanding f^4 dengan konstanta pembandingan ditentukan melalui eksperimen. Faktor gesekan yang diperhitungkan adalah gesekan angin yang arahnya berlawanan dengan arah gelombang dan pecahnya gelombang (*wave breaking*). Energi yang hilang karena angin yang berlawanan dengan arah gelombang dianggap sebanding dengan transfer energi oleh angin : $S_{ds} = -S_{in}$

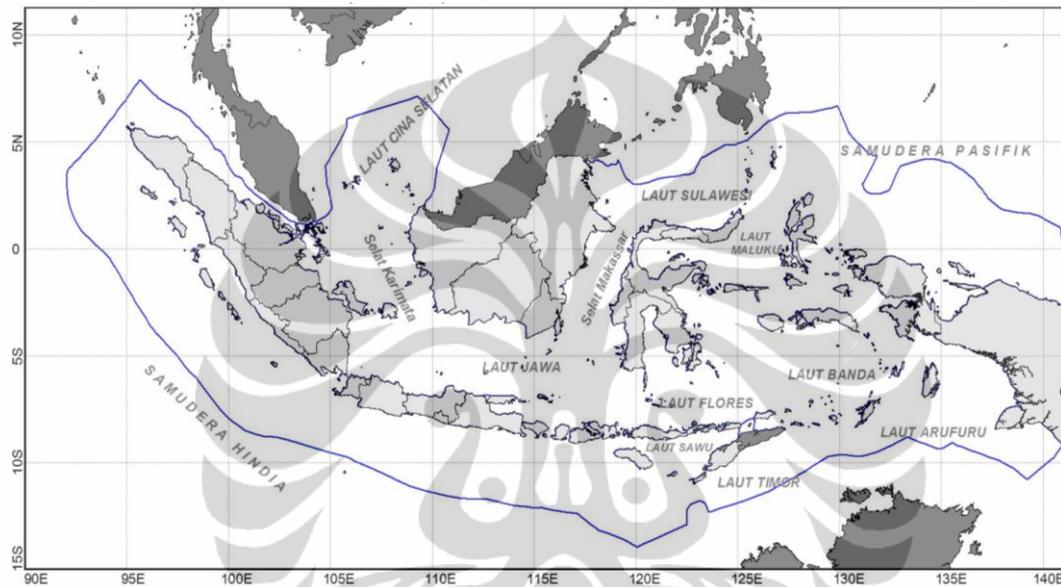
Perhitungan tinggi gelombang signifikan ditentukan berdasarkan hasil integrasi persamaan 2.1 terhadap waktu secara numerik dengan persamaan 2.4 berikut:

$$H_s = 2.83 \sqrt{\iint_{f \theta} S(f, \theta) df d\theta} \quad 2.4$$

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Wilayah Penelitian

Batas wilayah yang menjadi kajian dalam penelitian ini berada pada posisi 12° LU – 15° LS, 90° BT- 141° BT dengan fokus utama kajian adalah wilayah Indonesia dengan batas terluar Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE). (Gambar 3.1).



Gambar 3.1. Wilayah penelitian

3.2 Data

- **Input data model**
 - Data Arah dan kecepatan angin 10 meter periode tahun 2000 – 2010, resolusi spasial $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ($\pm 111 \times 111$ km) dan resolusi temporal 6 jam.
Sumber data : *Global Forecasting System (GFS)*, *National Center for Environmental Prediction (NCEP)*, NOAA, melalui website: <http://dss.ucar.edu/>
 - Data Bathimetri, Resolusi $5' \times 5'$ ($\pm 9 \times 9$ km).
Sumber data: *National Geographic Data Center (NGDC)*, melalui website: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/>

- **Index ENSO**

- Periode bulanan, tahun 2000 – 2010
- Indeks ENSO diukur dari anomali suhu permukaan laut (SPL) bulanan pada wilayah Nino 3.4. Posisi daerah Niño 3.4 mencakup sebagian daerah Niño 3 dan sebagian daerah Niño 4, terletak pada $120^{\circ}\text{BB} - 170^{\circ}\text{BB}$ dan $5^{\circ}\text{LS} - 5^{\circ}\text{LU}$.

Sumber data : NOAA, *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), melalui website: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst3b.nino.mth.ascii>

- **Index IODM**

- Periode bulanan, tahun 2000 – 2010
- Indeks IODM ditentukan dari nilai perbedaan anomali suhu permukaan laut (SPL) Samudera Hindia ekuator bagian barat di perairan pantai timur Afrika pada koordinat $10^{\circ}\text{LU} - 10^{\circ}\text{LS}$; $50^{\circ}\text{BT} - 70^{\circ}\text{BT}$ dengan anomali SPL Samudera Hindia di lepas pantai perairan sebelah barat Sumatera pada koordinat $10^{\circ}\text{LS} - 0^{\circ}$; $90^{\circ}\text{BT} - 110^{\circ}\text{BT}$.

Sumber data: *Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology* (JAMSTEC), melalui website: http://www.jamstec.go.jp/frcg/research/d1/iod/reynolds_monthly_dmi.txt

- **Data pendukung**

- Data peta dasar Rupa Bumi Indonesia (RBI) digital Tahun 2010.

Sumber data: Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal).

3.3 Pengolahan dan Analisis Data

3.3.1 Tinggi Gelombang

Tinggi gelombang dihitung dengan menggunakan model Windwaves-05, dengan setting data sebagai berikut:

- Periode tahun : 2000 – 2010
- Domain *running* model : $30^{\circ}\text{LU} - 30^{\circ}\text{LS}$, $75^{\circ}\text{BT} - 155^{\circ}\text{BT}$
(Model Windwaves-05 merupakan model *Limited Area*, dimana dalam prosesnya, wilayah yang berada diluar batas posisi yang telah diatur

sebelumnya tidak diperhitungkan, sehingga untuk memperoleh data yang baik diperlukan domain yang lebih luas dari fokus penelitian dalam proses *runningnya*, hal ini untuk memperhitungkan kemungkinan adanya perambatan energi gelombang dari wilayah diluar objek penelitian).

- Domain penelitian : 12^0 LU – 15^0 LS, 90^0 BT- 141^0 BT
- Resolusi Spasial : $10' \times 10'$ ($\pm 18.5 \times 18.5$ km),
(Resolusi ini dianggap cukup mewakili informasi tinggi gelombang di perairan Indonesia).
- Resolusi Temporal : tiap 6 jam

3.3.7 Perhitungan Rata-rata Tinggi Gelombang

Data tinggi gelombang signifikan (H_s) yang digunakan adalah data grid hasil running Windwaves-05 per enam jam (00, 06, 18 UTC) selama 11 tahun dalam periode 2000-2010. Dengan demikian dalam satu hari ada 4 data untuk setiap titik grid. Jumlah data per titik grid perbulan dalam satu tahun tergantung pada jumlah hari pada setiap bulannya. Sebagai contoh; jumlah hari dalam bulan Januari adalah 31, jadi jumlah data spasial dengan resolusi 10×10 menit untuk bulan Januari pertahun adalah $31 \times 4 = 124$ pertahun. Jumlah data untuk bulan Januari keseluruhan dalam periode 2000-2011 adalah $124 \times 11 = 1364$ data.

3.3.8 Identifikasi Gelombang Tinggi

Sesuai dengan *Guide the marine Meteorological Services, Third edition*, WMO-No.471 (2001), yang menyebutkan bahwa hampir semua jenis kapal yang sedang berlayar akan terpengaruh oleh gelombang dengan tinggi ≥ 2 meter. Gelombang tinggi didefinisikan sebagai gelombang dengan tinggi signifikan (H_s) dua meter atau lebih.

3.3.9 Penentuan Daerah Rawan Gelombang Tinggi

Daerah rawan gelombang tinggi ditentukan berdasarkan frekuensi atau tingkat keseringan terjadinya gelombang dengan tinggi signifikan ≥ 2 meter.

Jika frekuensi kejadian tinggi gelombang signifikan (H_s) ≥ 2 meter kurang dari 20 % (kurang lebih terjadi selama 6 hari dalam satu bulan) maka daerah tersebut dianggap tidak rawan, jika frekuensi kejadiannya lebih dari 20 % maka perairan tersebut dianggap rawan gelombang tinggi.

Adapun tingkat potensi kerawanan daerah rawan gelombang tinggi dibedakan menjadi empat, dengan klasifikasi sebagai berikut:

- (a) Rawan rendah, jika frekuensi gelombang tinggi = 20 % - 40 %,
- (b) Rawan sedang, jika frekuensi gelombang tinggi = 40 % - 60 %,
- (c) Rawan tinggi, jika frekuensi gelombang tinggi = 60 % - 80 %,
- (d) Rawan sangat tinggi, jika frekuensi gelombang tinggi > 80 %.

Frekuensi gelombang tinggi ditentukan dari data per enam jam dan dihitung sebagai berikut:

$$\text{Frekuensi} = \frac{\text{Jumlah gelombang dengan } H_s \geq 2 \text{ meter}}{\text{Jumlah gelombang dalam pengamatan}} \times 100\%$$

3.3.10 Korelasi Antara Gelombang terhadap ENSO dan IODM

Untuk menghitung tingkat korelasi antara data anomali bulanan tinggi gelombang dengan indeks bulanan ENSO dan IODM selama 11 tahun, dengan demikian jumlah data yang digunakan adalah 12 data x 11 tahun = 132 data, untuk data spasial anomali rata-rata tinggi gelombang bulanan dikorelasikan setiap titik gridnya sesuai batas wilayah penelitian (50041 grid) terhadap indeks bulanan ENSO dan IODM. Adapun rumus korelasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad 3.1$$

Dimana:

- r = koefisien korelasi antara x dan y;
- x = nilai indeks bulanan ENSO atau IODM;
- y = nilai anomali rata-rata bulanan tinggi gelombang signifikan.

Angka korelasi berkisar antara -1 s/d +1. Semakin mendekati 1 maka korelasi semakin mendekati sempurna. Sementara nilai negative dan

positif mengindikasikan arah hubungan. Arah hubungan yang positif menandakan bahwa pola hubungan searah atau semakin tinggi A menyebabkan kenaikan pula B (A dan B ditempatkan sebagai variabel), adapun interpretasi angka korelasi menurut Sugiyono (2007) adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1. Pedoman interpretasi koefisien korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0.00 – 0.199	Sangat lemah
0.20 – 0.399	Lemah
0.40 – 0.599	Sedang
0.60 – 0.799	Kuat
0.80 – 1.000	Sangat kuat

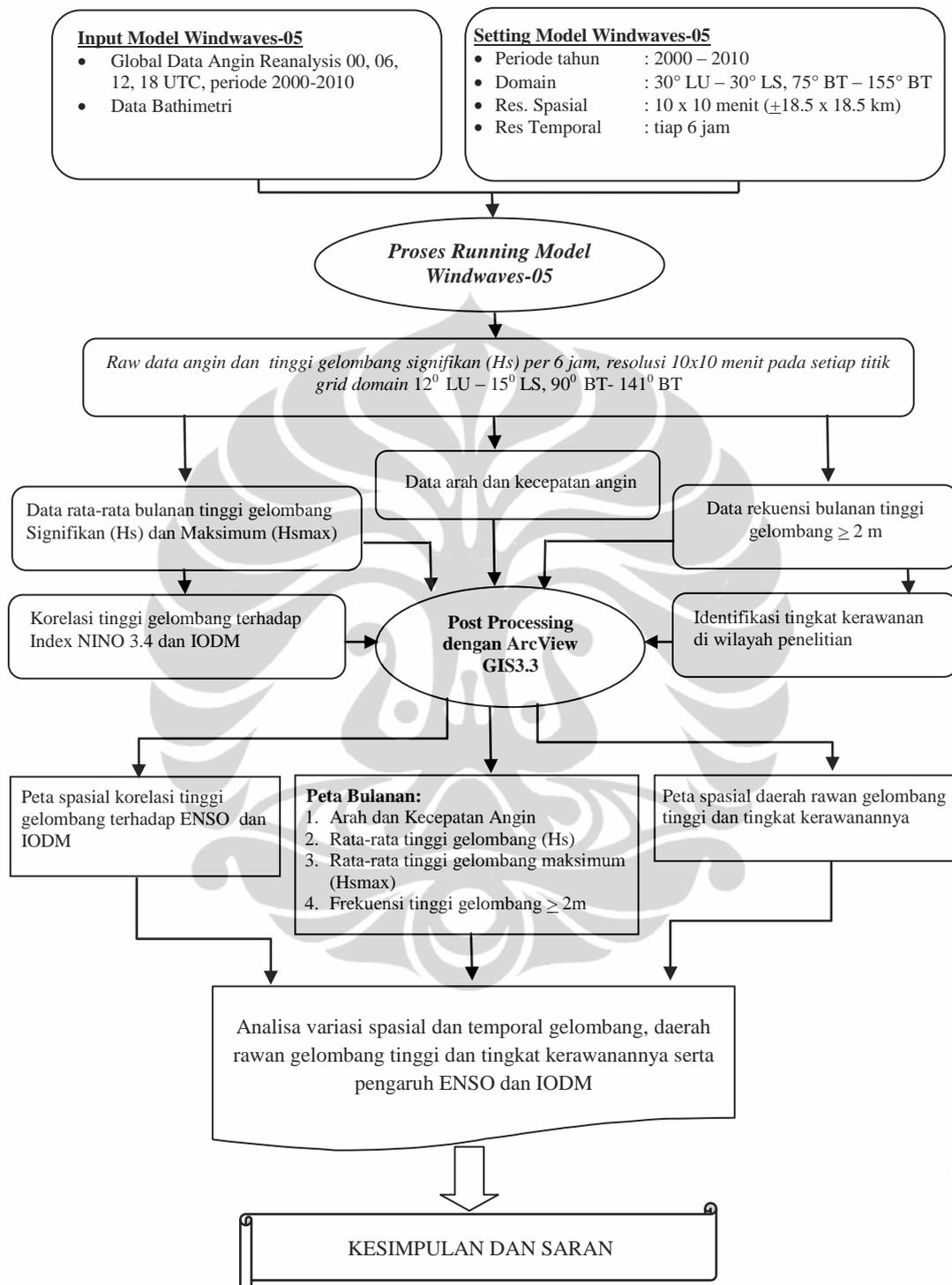
3.3.11 Pembuatan Peta Hasil Pengolahan

Peta hasil pengolahan data meliputi; arah dan kecepatan angin rata-rata, rata-rata tinggi gelombang signifikan (H_s), rata-rata tinggi gelombang maksimum ($H_s \max$), frekuensi tinggi gelombang $\geq 2m$, klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi dalam periode bulanan (*monthly*) serta hasil perhitungan korelasi spasial Nino 3.4 dan IODM dengan tinggi gelombang signifikan dibuat dengan menggunakan software GIS, Arcview 3.3. Metode interpolasi yang digunakan adalah metode Spline, dimana metoda interpolasi ini digunakan untuk mendapatkan nilai melalui kurva minimum antara nilai-nilai input data.

3.3.12 Analisa Hasil Pengolahan

Peta arah dan kecepatan angin rata-rata, rata-rata tinggi gelombang signifikan (H_s), rata-rata tinggi gelombang maksimum ($H_s \max$), frekuensi tinggi gelombang $\geq 2m$, klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi di interpretasi secara deskriptif dalam periode bulanan, kemudian dilakukan analisis spasial dan temporal karakteristik gelombang meliputi; kapan, dimana sering terjadi gelombang tinggi, berapa tingginya, daerah-daerah rawan gelombang tinggi dan bagaimana pengaruh fenomena El Nino/La Nina dan IODM terhadap tinggi gelombang di perairan Indonesia.

3.4 Alur Proses Pengolahan Data dan Analisa



Gambar 3.2. Alur proses pengolahan data dan kajian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengolahan Data

4.1.1 Variasi Bulanan Angin dan Gelombang

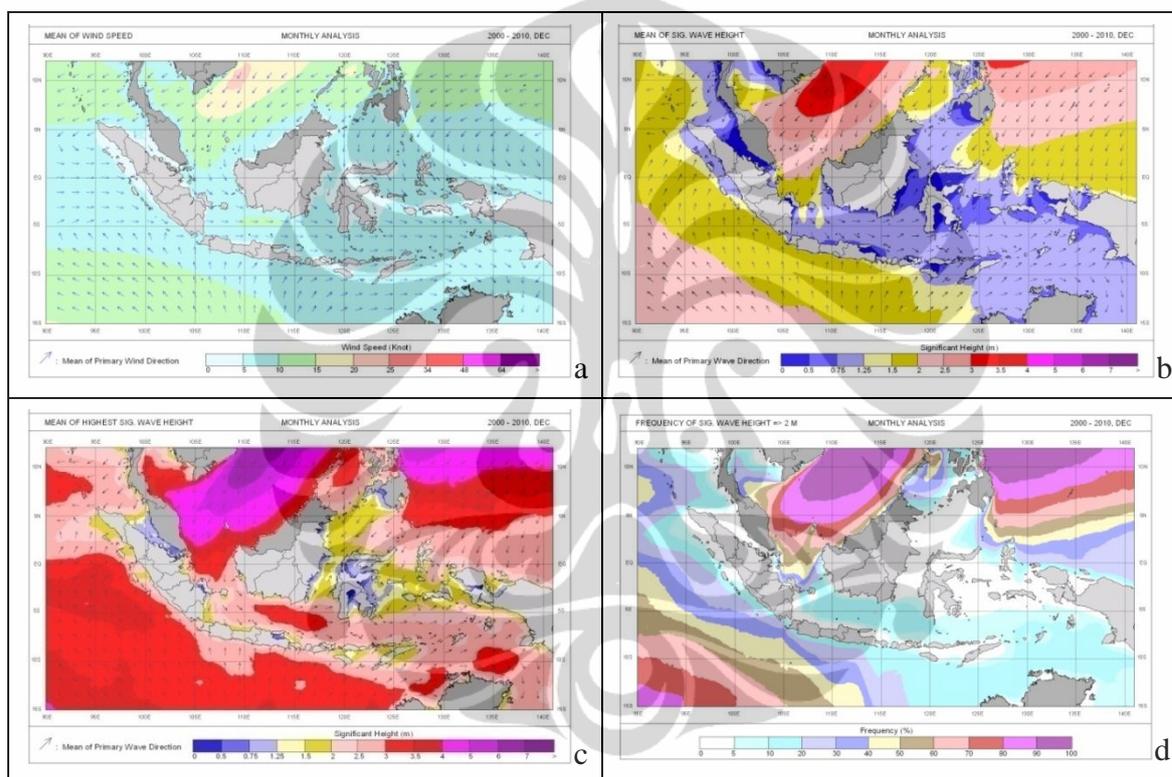
Hasil pengolahan data angin dan gelombang laut di perairan Indonesia dipetakan dalam periode bulanan, meliputi arah dan kecepatan angin, rata-rata tinggi gelombang (H_s), rata-rata gelombang maksimum ($H_s \text{ max}$) dan frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter. disajikan pada gambar 4.1 sampai 4.12.

4.1.1.1 Bulan Desember

Kondisi Angin dan gelombang di perairan Indonesia pada bulan Desember periode tahun 2000 - 2010 ditunjukkan pada gambar 4.1, kondisi rata-rata kecepatan dan arah angin yang bertiup di atas permukaan laut wilayah Indonesia selama bulan Desember (gambar 4.1.a) lebih dominan bertiup dari utara ke selatan dengan kecepatan antara 5-10 knot. Di wilayah ekuator angin berbelok ke kiri akibat adanya gaya coriolis, sehingga arah angin menyusur sepanjang Laut Jawa ke arah timur sampai Laut Arafuru dan berbelok ke Selatan menuju Benua Australia. Kecepatan angin di laut lepas seperti di Samudera Hindia, Laut Cina Selatan dan Samudera Pasifik sebelah barat umumnya mempunyai kecepatan angin yang lebih besar yaitu antara 10-15 knot.

Kondisi variasi gelombang pada bulan Desember untuk wilayah yang berbatasan dengan laut lepas baik Samudera Hindia, Samudera Pasifik dan Laut Cina Selatan, mempunyai rata-rata tinggi gelombang yang relatif lebih tinggi dibanding dengan daerah lain. Wilayah ini meliputi perairan sebelah barat Sumatera sampai perairan sebelah selatan Jawa, Selat Karimata, Laut Sulawesi bagian Utara, Laut Maluku, dan perairan sekitar Papua yang berbatasan dengan Samudera Pasifik bagian Barat dimana pada daerah tersebut mempunyai tinggi gelombang signifikan antara 1,5-2 meter. Untuk daerah Laut Jawa, Laut Timor, Banda, Arafuru, Seram dan wilayah perairan antar pulau lainnya mempunyai rata-rata tinggi gelombang signifikan antara 0,5-1,25 meter. Sedangkan untuk daerah antar pulau yang memiliki tinggi gelombang relatif besar yaitu perairan sekitar

Bangka dan Belitung di perairan Selat Karimata dengan rata-rata tinggi gelombang signifikan antara 1-2 meter (gambar 4.1.b). Sedangkan rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan Indonesia pada bulan Desember bervariasi antara 1.25 sampai 7 meter, di perairan Laut Cina Selatan ketinggian rata-rata gelombang maksimum mencapai 7 meter, di Samudera Pasifik (Utara Halmahera) dan di perairan Barat Sumatera rata-rata gelombang maksimum mencapai 4 meter, di Selat Karimata, Laut Jawa, Laut Arafuru dan di Samudera Hindia, rata-rata gelombang maksimum mencapai 3,5 meter (gambar 4.1.c).



Gambar 4.1. Kondisi angin dan gelombang bulan Desember di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (H_s), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (H_s max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter

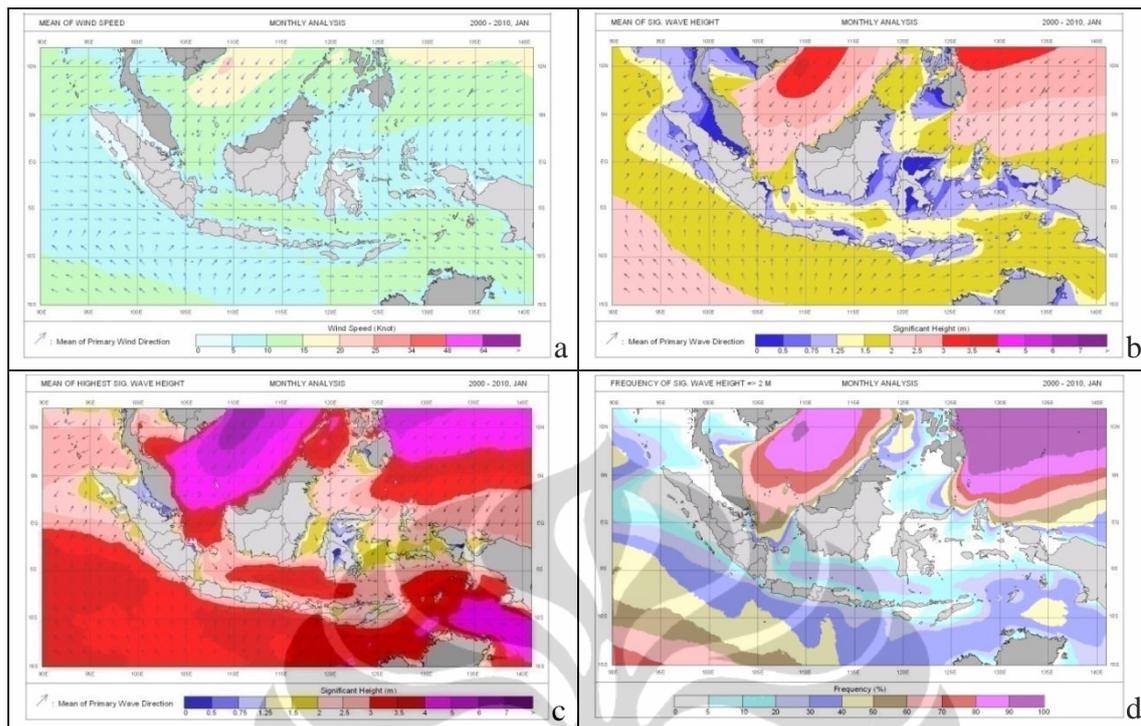
Tingkat keseringan gelombang tinggi ≥ 2 meter selama bulan Desember hampir seluruh perairan di Indonesia mengalami kejadian gelombang laut ≥ 2.0 meter (gambar 4.1.d) dengan tingkat frekuensi kejadian yang bervariasi. Frekuensi kejadian tertinggi ada di Laut Cina Selatan dan Samudera Pasifik bagian barat yaitu mencapai 60 – 90%. Untuk wilayah perairan Natuna frekuensi kejadiannya mencapai 70%, di sebagian wilayah Samudera Hindia selatan Jawa frekuensi

kejadiannya mencapai 50%, sedangkan sebagian besar wilayah perairan Indonesia lainnya, khususnya perairan antar pulau, frekuensi kejadian gelombang ≥ 2 meter relatif rendah yakni dibawah 20%.

4.1.1.2 Bulan Januari

Kondisi angin dan gelombang laut di perairan Indonesia selama bulan Januari ditunjukkan pada gambar 4.2. Arah dan kecepatan angin pada bulan Januari (gambar 4.2.a) pada umumnya dari utara menuju ke selatan, tetapi di sepanjang ekuator angin berbelok ke kiri sehingga menyusuri Laut Jawa sampai Laut Banda dan Laut Arafuru. Rata-rata kecepatan angin di sepanjang Selat Karimata, Laut Jawa, Laut Banda dan Laut Arafuru antara 5-15 knot. Perairan sebelah selatan Pulau Timor juga mempunyai kecepatan angin yang tinggi antara 10-15 knot. Angin dari Laut Cina Selatan, Samudera Pasifik bagian barat dan Samudera Hindia semua menuju ke arah Laut Banda dan Laut Arafuru sehingga di daerah tersebut merupakan daerah pertemuan angin yang mempunyai kecepatan tinggi dan arah yang seragam.

Rata-rata tinggi gelombang pada bulan Januari (gambar 4.2.b) mengalami kenaikan dibandingkan dengan bulan Desember, untuk daerah yang berbatasan dengan Samudera Hindia, Samudera Pasifik sebelah barat, Laut Cina Selatan menjalar ke timur sampai Laut Arafuru dan Laut banda mempunyai rata-rata tinggi gelombang antara 1,5-2,5 meter. Sedangkan di sepanjang Laut Jawa sampai ke Laut Timor memiliki rata-rata tinggi gelombang antara 1,25-2 meter. Daerah yang memiliki tinggi gelombang paling besar meliputi perairan sekitar Selat Karimata dan Maluku bagian utara yaitu antara 2-2,5 meter. Untuk rata-rata gelombang maksimum di perairan Indonesia pada bulan Januari bervariasi antara 1.25 sampai 7 meter, rentang variasi ini sama dengan bulan sebelumnya, akan tetapi pada bulan Januari, wilayah cakupannya lebih luas, dimana untuk perairan Laut Cina Selatan ketinggian rata-rata gelombang maksimum mencapai 7 meter, di Samudera Pasifik bagian Barat (Utara Halmahera), Selat Karimata, Laut Jawa, Laut Banda, di perairan Barat Sumatera dan Samudera Hindia bagian Selatan Jawa rata-rata gelombang maksimum mencapai 4 meter, sedangkan di Laut Arafuru rata-rata gelombang maksimum mencapai 5 meter (gambar 4.2.c).



Gambar 4.2. Kondisi Angin dan gelombang bulan Januari di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (H_s), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum ($H_s \max$), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter

Tingkat keseringan gelombang tinggi ≥ 2 meter selama bulan Januari hampir seluruh perairan di Indonesia mengalami kejadian gelombang laut ≥ 2.0 meter (gambar 4.2.d). Frekuensi kejadian tertinggi ada di Laut Cina Selatan dan Samudera Pasifik bagian barat yaitu mencapai 100%, dengan kata lain hampir setiap hari di daerah tersebut gelombang tidak pernah kurang dari 2.0 meter. Sebagian wilayah Samudera Hindia selatan Jawa, Laut Arafuru frekuensi kejadiannya mencapai 40%, sedangkan sebagian besar wilayah perairan antar pulau Indonesia frekuensi kejadian gelombang ≥ 2 meter lebih banyak dibandingkan bulan sebelumnya, diantaranya di Selat Karimata, frekuensinya mencapai 60%, perairan Laut Banda mencapai 40% dan di Laut Jawa dan Laut Flores mencapai 30%, sedangkan di wilayah perairan lainnya frekuensinya relatif rendah yakni dibawah 20%.

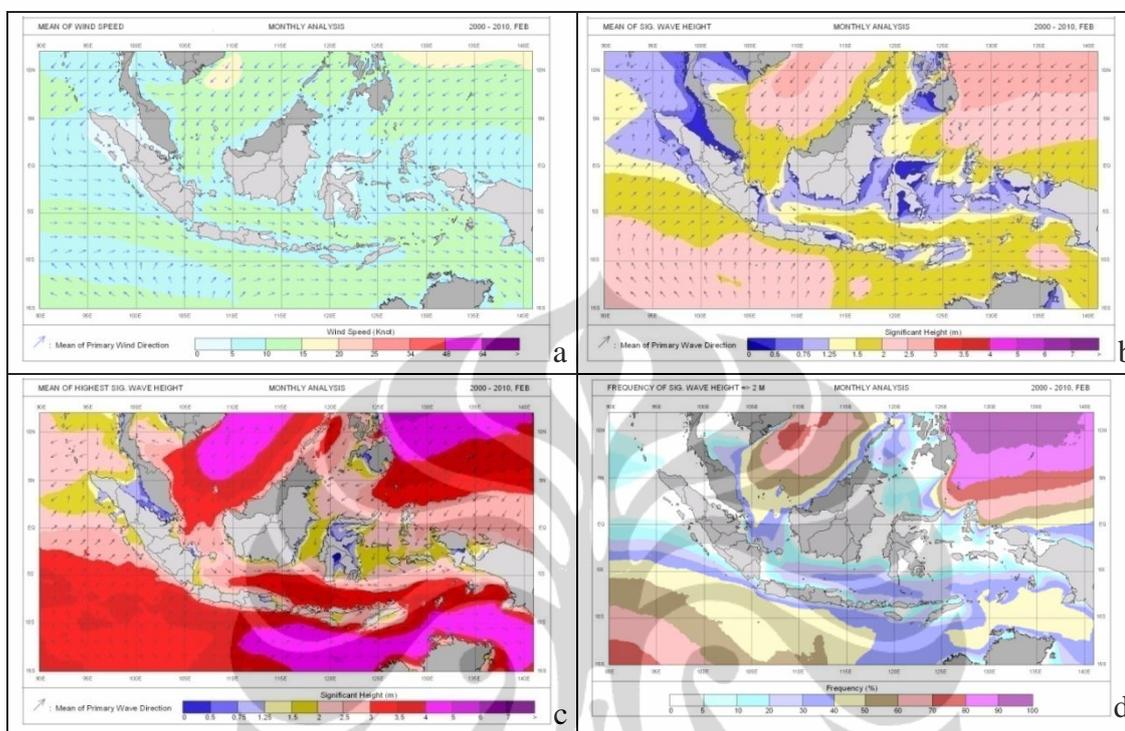
4.1.1.3 Bulan Februari

Kondisi angin dan gelombang pada bulan Februari di perairan Indonesia (gambar 4.3) menunjukkan bahwa arah dan kecepatan angin selama bulan ini pada umumnya tinggi dengan arah angin yang seragam, disepanjang ekuator Samudera Indonesia dan sepanjang selatan Pulau Jawa, Laut Sawu, Laut Timor sampai dengan Laut Arafuru serta Laut Jawa, Laut Flores dan Laut Banda mempunyai arah angin menuju ke timur dengan kecepatan yang hampir seragam antara 10-15 knot, sedangkan di Selat Karimata, Laut Sulawesi dan Laut Maluku kecepatannya hampir sama hanya saja arahnya berbeda yaitu menuju ke selatan (gambar 4.3.a).

Sebagian besar wilayah perairan Indonesia selama bulan Februari memiliki rata-rata tinggi gelombang antara 1,5-2,5 meter. Daerah Selat Karimata, Laut Jawa, Laut Flores, Laut Banda, sampai dengan Laut Arafuru memiliki gelombang yang tinggi sebesar 2 meter. Samudera Indonesia yang berbatasan dengan Sumatera dan Jawa mengalami gelombang yang lebih besar dari pada perairan antar pulau yaitu berkisar antara 2-2,5 meter. Begitu juga dengan perairan sebelah utara yang meliputi Laut Sulawesi, Laut Maluku dan perairan sekitar utara Papua juga mengalami gelombang tinggi sebesar 1,5-2,5 meter (gambar 4.3.b). Rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan Indonesia pada bulan Februari menurun dari bulan sebelumnya, yakni pada umumnya bervariasi antara 1.25 sampai 5 meter, untuk perairan Laut Cina Selatan rata-rata tinggi gelombang maksimum mencapai 5 meter, di Samudera Pasifik bagian Barat (Utara Maluku), Laut Jawa, Laut Flores, dan di Laut Banda rata-rata tinggi gelombang maksimum mencapai 4 meter, sedangkan di Samudera Hindia bagian Selatan Jawa, dan Laut Arafuru rata-rata gelombang maksimum mencapai 5 meter (gambar 4.3.c).

Pada bulan Februari tingkat keseringan gelombang tinggi ≥ 2 meter pada umumnya lebih rendah dari bulan sebelumnya, dimana frekuensi kejadian gelombang tinggi ≥ 2 meter di Laut Cina Selatan mencapai 70% dan Samudera Pasifik bagian barat yaitu mencapai 80%. Di sebagian wilayah perairan Natuna, Samudera Hindia selatan Jawa dan Laut Arafuru frekuensi kejadiannya mencapai 50%, di perairan Laut Banda mencapai dan di Laut Jawa mencapai 40%,

sedangkan untuk wilayah perairan antar pulau Indonesia frekuensi kejadian gelombang ≥ 2 meter kurang dari 20% (gambar 4.3.d).



Gambar 4.3 Kondisi Angin dan gelombang bulan Februari di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (H_s), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (H_s max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter

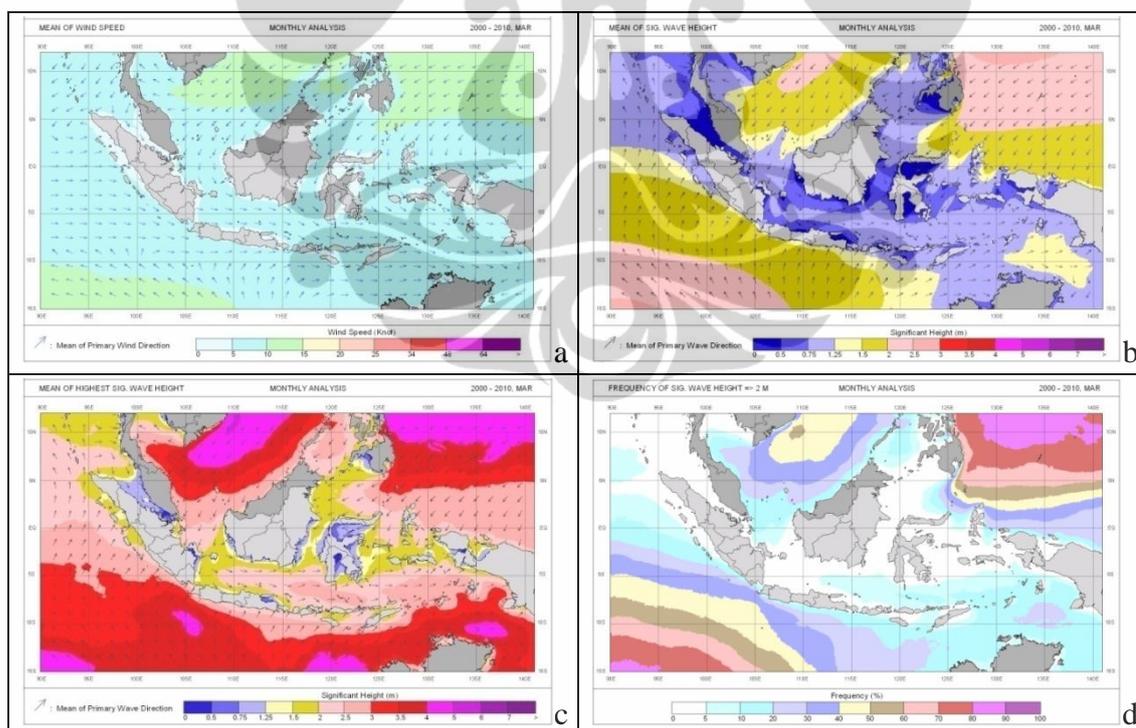
4.1.1.4 Bulan Maret

Kondisi angin dan gelombang di perairan Indonesia selama bulan Maret ditunjukkan pada gambar 4.4. Kondisi angin pada bulan ini berbeda dengan bulan sebelumnya, dimana kecepatan angin rata-rata selama bulan Maret ini lebih rendah dibanding bulan sebelumnya yaitu sebesar 5 knot sedangkan arahnya sudah tidak seragam lagi, dan pada bulan ini wilayah Indonesia memasuki musim pancaroba (gambar 4.4.a).

Kondisi rata-rata gelombangnya lebih rendah dibanding dengan bulan sebelumnya, di Samudera Indonesia yang berbatasan dengan Sumatera dan Jawa bagian selatan hanya mempunyai ketinggian antara 1,25-2 meter, sedangkan untuk perairan sebelah utara daerah yang memiliki tinggi gelombang relatif tinggi meliputi perairan sekitar Natuna, sebagian Laut Sulawesi, Laut Maluku dan

perairan sekitar Papua dengan tinggi gelombang 1,25-2 meter. Untuk perairan antar pulau seperti Laut Jawa, Laut Flores, Laut Banda dan Laut Arafuru mempunyai tinggi gelombang 0-1,25 meter (gambar 4.4.b). Rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan Indonesia pada bulan Maret, pada umumnya bervariasi antara 1.25 sampai 5 meter, rata-rata tinggi gelombang maksimum yang tertinggi terdapat di wilayah perairan Laut Cina Selatan, Samudera Pasifik bagian Barat, Samudera Hindia dan Laut Arafuru rata-rata gelombang maksimum mencapai 5 meter, sedangkan rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan dalam (antar pulau) bervariasi antara 1.25 sampai 3 meter (gambar 4.4.c).

Pada bulan Maret tingkat keseringan gelombang tinggi ≥ 2 meter yang mencapai 60% hanya terdapat di wilayah perairan Samudera Pasifik bagian Barat dan Samudera Hindia Selatan Jawa bagian Barat. Di perairan Laut Arafuru frekuensinya mencapai 30%, selain itu hampir seluruh perairan Indonesia frekuensi kejadian gelombang tinggi ≥ 2 meter kurang dari 20% (gambar 4.4.d).



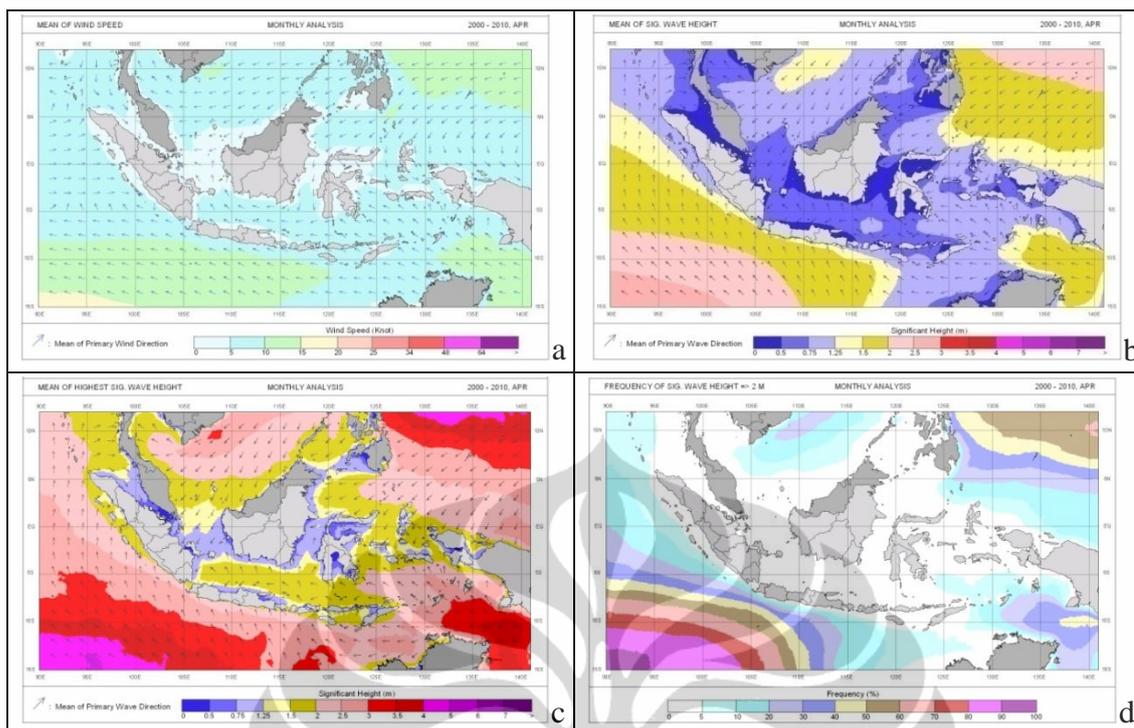
Gambar 4.4. Kondisi angin dan gelombang bulan Maret di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (H_s), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (H_s max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter

4.1.1.5 Bulan April

Dari kondisi angin dan gelombang di wilayah perairan Indonesia selama bulan April (gambar 4.5) menunjukkan bahwa kecepatan angin yang melintas di perairan Indonesia relatif rendah, arah angin dari selatan ekuator menuju barat laut dengan kecepatannya berkisar antara 5-15 knot. Untuk perairan di sebelah selatan Jawa dan Laut Arafuru kecepatannya antara 10-15 knot (gambar 4.5.a).

Tinggi gelombang rata-rata selama bulan ini bervariasi antara 0-1,25 meter. Hanya sebagian kecil wilayah perairan Indonesia yang memiliki tinggi gelombang antara 1,5-2 meter yaitu Samudera Indonesia yang berbatasan dengan Sumatera bagian Selatan dan Jawa, sebagian Laut Maluku bagian Utara serta Laut Arafuru (gambar 4.5.b). Rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan Indonesia pada bulan April pada umumnya bervariasi antara 0.75 sampai 4 meter, rata-rata tinggi gelombang maksimum yang mencapai 4 meter hanya terdapat di perairan Laut Arafuru. Di perairan Barat Sumatera, Laut Cina Selatan dan Samudera Pasifik bagian Barat rata-rata tinggi gelombang maksimum hanya mencapai 2.5 meter, di Samudera Hindia dan Laut Banda rata-rata tinggi gelombang maksimumnya mencapai 3 meter, sedangkan rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan dalam (antar pulau) kurang dari 2 meter (gambar 4.5.c).

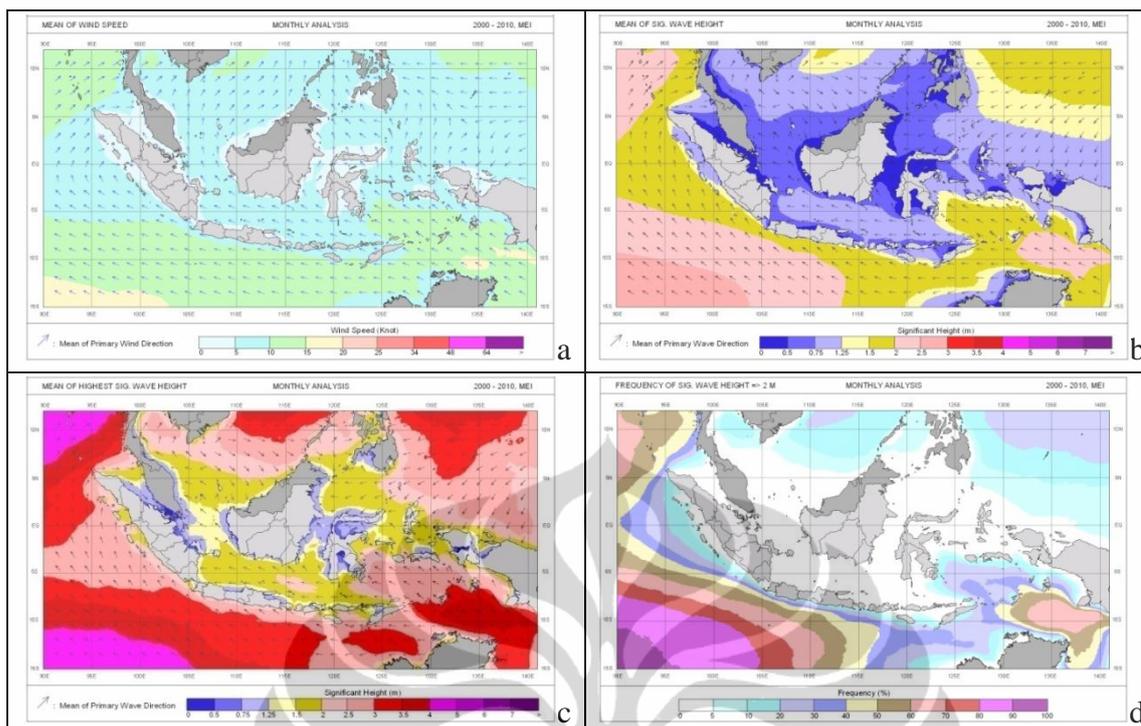
Pada bulan April tingkat keseringan gelombang tinggi ≥ 2 meter yang mencapai 60% hanya terdapat di wilayah perairan Samudera Hindia Selatan Jawa bagian Barat. Di perairan Laut Arafuru frekuensinya mencapai 50%, selain itu hampir seluruh perairan Indonesia frekuensi kejadian gelombang tinggi ≥ 2 meter kurang dari 20% (gambar 4.5.d).



Gambar 4.5. Kondisi angin dan gelombang bulan April di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (H_s), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (H_s max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter

4.1.1.6 Bulan Mei

Pada bulan Mei Kondisi angin dan gelombang di perairan Indonesia ditunjukkan pada gambar 4.6. Arah angin di perairan Indonesia sebelah selatan pada umumnya menuju barat laut dengan kecepatan antara 10-15 knot bahkan di sebagian kecil Laut Arafuru kecepatannya mencapai 15-20 knot. Di atas perairan antar pulau, angin bertiup lebih lemah dan arahnya sedikit mengalami pembelokan ke arah kanan, sehingga gelombang yang terjadi pun juga lebih rendah dibanding disebelah selatan (gambar 4.6.a).



Gambar 4.6. Kondisi angin dan gelombang bulan Mei di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (H_s), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (H_s max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter

Kondisi tinggi gelombang di perairan Indonesia di sepanjang Sumatera dan Jawa, Laut Sawu, Laut Timor dan Laut Arafuru pada bulan Mei ini mempunyai tinggi gelombang dengan rata-rata antara 1,5-2,5 meter. Begitu juga dengan Laut Banda dan Laut Seram yang juga mempunyai tinggi gelombang antara 1,5-2 meter, sedangkan perairan antar pulau seperti Selat Karimata, laut Jawa, Selat Makassar, Laut Flores, Laut Sulawesi dan Laut Maluku mempunyai tinggi gelombang antara 0-1,25 meter (gambar 4.6.b). Rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan Indonesia pada bulan Mei pada umumnya sama dengan bulan April, dimana rata-rata tinggi gelombang maksimum yang mencapai 4 meter hanya terdapat di perairan Laut Arafuru. Di perairan Laut Cina Selatan rata-rata tinggi gelombang maksimum hanya mencapai 2.5 meter, di Samudera Pasifik bagian Barat dan Laut Banda tinggi gelombang maksimum mencapai 3 meter, di perairan Barat Sumatera, Samudera Hindia dan Laut Timor rata-rata tinggi gelombang maksimumnya mencapai 3.5 meter, sedangkan rata-rata tinggi

gelombang maksimum di perairan dalam (antar pulau) pada umumnya kurang dari 2 meter (gambar 4.6.c).

Selama bulan Mei tingkat keseringan gelombang tinggi ≥ 2 meter yang mencapai 70% hanya terdapat di wilayah perairan Samudera Hindia Selatan Jawa dan di perairan Laut Arafuru, di Laut Banda frekuensinya mencapai 40%, selain itu hampir seluruh perairan Indonesia frekuensi kejadian gelombang tinggi ≥ 2 meter kurang dari 20% (gambar 4.6.d).

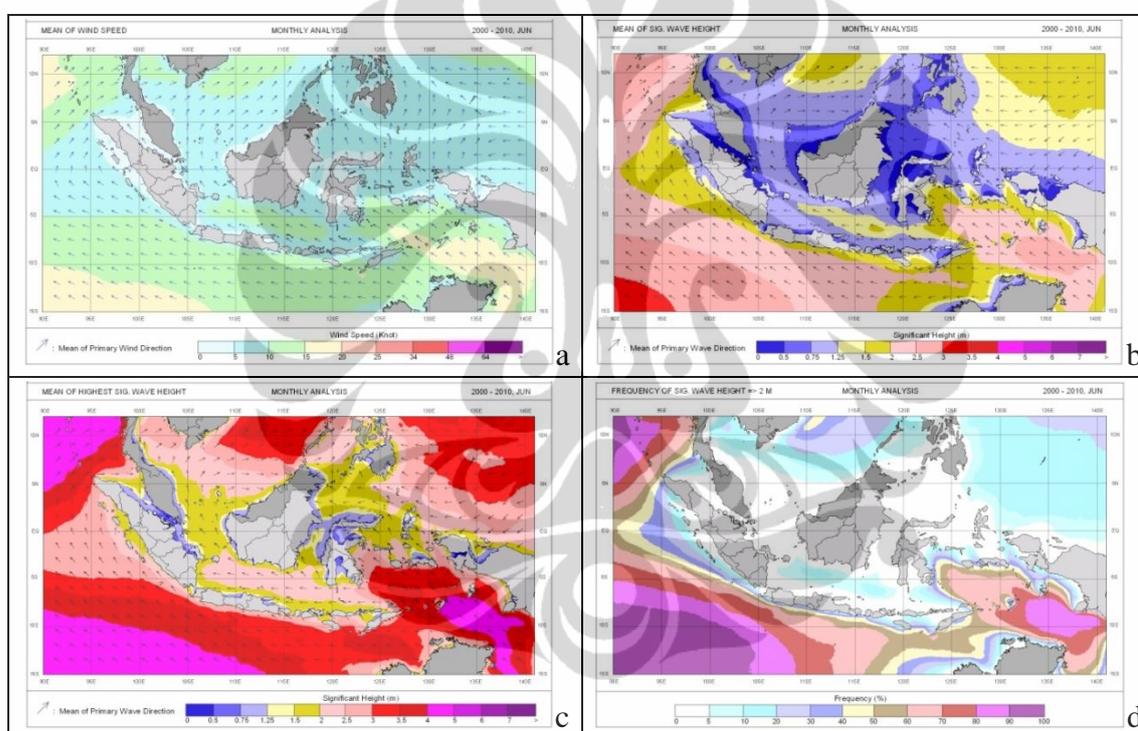
4.1.1.7 Bulan Juni

Kondisi angin dan gelombang selama bulan Juni di perairan Indonesia di tunjukkan pada gambar gambar 4.7. Selama bulan Juni di wilayah Indonesia memasuki musim Timuran, dimana pada bulan ini angin Monsun Australia bertiup dari Tenggara melintasi wilayah Indonesia menuju ke Barat, hal ini nampak pada gambar 4.7.a yang menunjukkan arah angin dominan bertiup dari Tenggara. Kecepatan rata-rata di atas Laut Arafuru mencapai 15-20 knot, dan melemah di atas perairan Laut Banda, Laut Flores dan Laut Jawa dengan rata-rata kecepatan 10-15 knot. Di selat Makassar, Laut Maluku, Laut Sulawesi dan di Selat Karimata, arah angin bertiup melintasi ekuator menuju ke Utara dengan kecepatan rata-rata 5-10 knot.

Rata-rata tinggi gelombang di Selat Karimata, Selat Makassar, Laut Maluku, dan Laut Sulawesi berkisar antara 0,5-1,25 meter, sedangkan di Laut Jawa dan Laut Flores rata-rata tinggi gelombang lebih tinggi dari bulan Mei antara 0,75-2 meter, demikian juga di perairan Laut Banda dan Arafuru, rata-rata tinggi gelombang antara 2-3 meter. Di sepanjang perairan Barat Sumatera dan Jawa tinggi gelombang rata-rata berkisar antara 1,5-3 meter, sedangkan di Laut Sawu dan Laut Timor rata-rata tinggi gelombangnya adalah 1,5-2 meter (gambar 4.7.b). Rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan Indonesia pada bulan Juni pada umumnya bervariasi antara 1.25 sampai 5 meter, rata-rata tinggi gelombang maksimum yang mencapai 5 meter hanya terdapat di perairan Laut Arafuru. Di Samudera Hindia Selatan Jawa dan Laut Banda rata-rata tinggi gelombang maksimum pada bulan Juni mencapai 4 meter, Di perairan Laut Cina Selatan dan Laut Jawa rata-rata tinggi gelombang maksimum hanya mencapai 2.5 meter, di

Samudera Pasifik bagian Barat tinggi maksimumnya mencapai 3 meter, di perairan Barat Sumatera mencapai 3.5 meter, adapun selain wilayah tersebut rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan Indonesia pada umumnya kurang dari 2 meter (gambar 4.7.c).

Selama bulan Juni tingkat keseringan gelombang tinggi ≥ 2 meter yang mencapai 90% terdapat di wilayah perairan Samudera Hindia Selatan Jawa dan di perairan Laut Arafuru, di Laut Banda frekuensinya mencapai 70%, selain itu hampir seluruh perairan Indonesia frekuensi kejadian gelombang tinggi ≥ 2 meter kurang dari 20% (gambar 4.7.d).



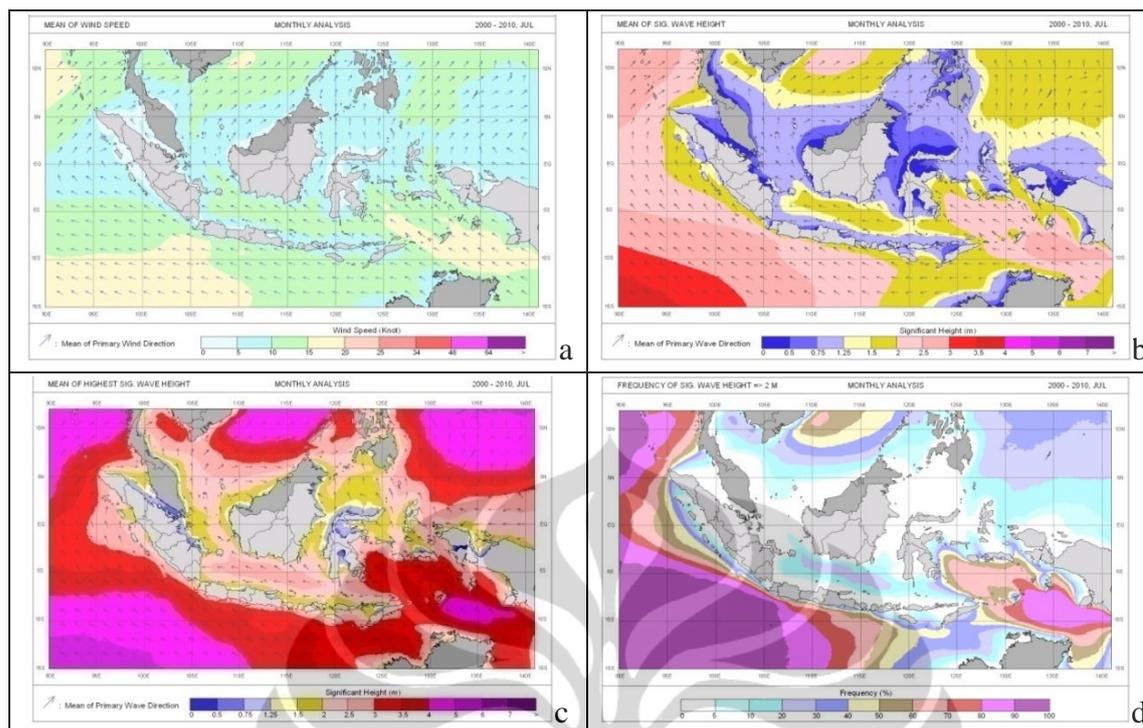
Gambar 4.7. Kondisi angin dan gelombang bulan Juni di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (H_s), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (H_s max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter

4.1.1.8 Bulan Juli

Dari Kondisi angin dan gelombang di perairan Indonesia selama bulan Juli ditunjukkan pada gambar 4.8, secara umum arah dan kecepatan angin rata-rata selama bulan Juli mempunyai pola yang sama dengan bulan Juni, dimana arah angin bertiup dari Tenggara melintasi Laut Arafuru dengan kecepatan rata-rata

15-20 knot, kemudian melintasi Laut Flores dan Laut Jawa menuju ke Barat dengan kecepatan rata-rata 10-15 knot, di Samudera Indonesia di bagian Barat Sumatera angin bertiup menuju ke Barat Laut dengan kecepatan rata-rata 5-15 knot, sedangkan di bagian barat Jawa kecepatan angin rata-rata sebesar 10-20 knot. Di perairan Laut Sawu, Laut Maluku, Laut Sulawesi, Selat Makassar dan di Selat Karimata, angin bertiup menuju ke Utara dengan rata-rata kecepatan angin sebesar 5-10 knot (gambar 4.8.a).

Rata-rata tinggi gelombang selama bulan Juli yang ditunjukkan pada gambar 4.8.b pada umumnya hampir sama dengan bulan Juni, dimana rata-rata tinggi gelombang di Selat Karimata, Selat Makassar, Laut Maluku, dan Laut Sulawesi berkisar antara 0,5-1,25 meter. Di sebagian besar Laut Jawa dan Flores rata-rata tinggi gelombang lebih tinggi dari bulan Juni yakni antara 1,5-2 meter, sedangkan di perairan Laut Banda dan Arafuru, rata-rata tinggi gelombang antara 2-3 meter, di Samudera Indonesia sepanjang Barat Sumatera dan Jawa tinggi gelombang rata-rata berkisar antara 1,5-3 meter, dan di perairan Laut Sawu dan Laut Timor rata-rata tinggi gelombangnya adalah 1,5-2 meter. Rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan Indonesia pada bulan Juli pada umumnya bervariasi antara 1,25 sampai 5 meter, rata-rata tinggi gelombang maksimum yang mencapai 5 meter hanya terdapat di perairan Laut Arafuru. Di Samudera Pasifik bagian Barat, perairan Barat Sumatera, Samudera Hindia Selatan Jawa, Laut Timor dan Laut Banda rata-rata tinggi gelombang maksimumnya mencapai 4 meter, Di perairan Laut Cina Selatan, Laut Jawa dan Laut Flores rata-rata tinggi gelombang maksimumnya mencapai 3 meter, selain wilayah tersebut rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan Indonesia pada umumnya kurang dari 2,5 meter (gambar 4.8.c).



Gambar 4.8. Kondisi angin dan gelombang bulan Juli di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (H_s), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum ($H_s \text{ max}$), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter

Selama bulan Juli frekuensi atau tingkat keseringan gelombang tinggi ≥ 2 meter di wilayah perairan Samudera Hindia Selatan Jawa bagian Barat mencapai 100%, di perairan Laut Arafuru frekuensinya mencapai 90%, di perairan Barat Sumatera frekuensinya mencapai 80%, di Laut Banda frekuensinya mencapai 70%, di Laut Jawa frekuensinya mencapai 30%, selain wilayah tersebut hampir seluruh perairan Indonesia frekuensi kejadian gelombang tinggi ≥ 2 meter kurang dari 20% (gambar 4.8.d).

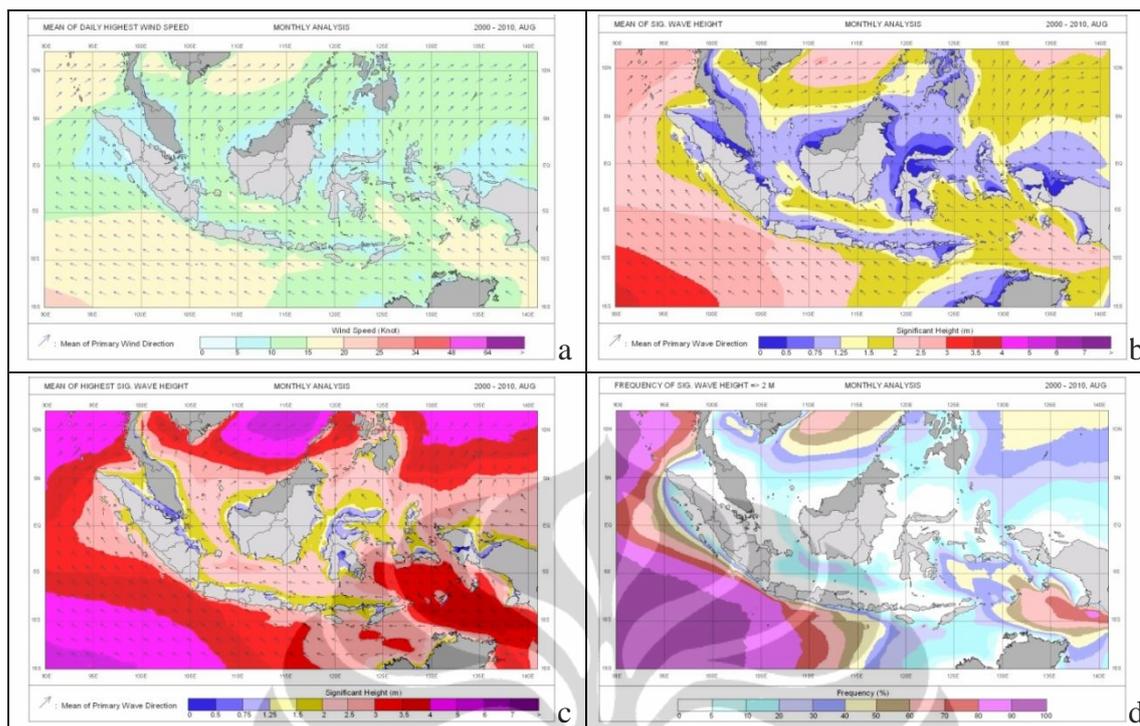
4.1.1.9 Bulan Agustus

Dari Kondisi angin dan gelombang pada bulan Agustus (gambar 4.9), arah angin pada bulan ini masih memiliki pola yang sama dengan bulan Juni dan Juli, dimana angin bertiup dari Tenggara melintasi Laut Arafuru, Laut Banda, Laut Jawa dan Samudera Indonesia menuju ke Barat, kemudian angin berbelok ke Utara setelah melintasi Ekuator. Kecepatan angin rata-rata pada bulan Agustus di perairan Laut Sawu, Laut Maluku, Selat Makassar dan di Selat Karimata lebih

tinggi dari bulan sebelumnya, dimana angin bertiup menuju ke Utara dengan rata-rata kecepatan angin sebesar 10-15 knot, namun untuk perairan Laut Sulawesi kecepatan angin rata-rata sebesar 5-10 knot. Di atas perairan Laut Arafuru Laut Flores, Laut Jawa dan Samudera Indonesia arah dan kecepatan angin rata-ratanya sama dengan bulan Juli (gambar 4.9.a)

Rata-rata tinggi gelombang di Laut Jawa dan Laut Flores masih sama dengan bulan Juni dan Juli, yakni berkisar antara 1,25-2 meter, demikian juga di perairan Selat Karimata, Selat Makassar, Laut Maluku, dan Laut Sulawesi dan Laut Seram berkisar antara 0,5-1,25 meter, sedangkan di perairan Laut Banda dan Arafuru, rata-rata tinggi gelombang lebih rendah dari bulan Juli, di Laut Banda rata-rata tinggi gelombang berkisar antara 1,5-2 meter, sedangkan di Laut Arafuru mencapai 1,5-2,5 meter. Di Samudera Indonesia sepanjang Barat Sumatera dan Jawa tinggi gelombang rata-rata berkisar antara 1,5-3 meter, dan di perairan Laut Sawu rata-rata tinggi gelombang lebih rendah dari bulan Juli yakni 0,75-1,5 meter dan di Laut Timor rata-rata tinggi gelombangnya adalah 1,25-2 meter (gambar 4.9.b). Sedangkan rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan Indonesia pada bulan Agustus pada umumnya bervariasi antara 1.25 sampai 4 meter, rata-rata tinggi gelombang maksimum yang mencapai 4 meter terdapat di perairan Laut Arafuru, Samudera Hindia bagian Barat, di Samudera Pasifik bagian Barat, perairan Barat Sumatera, dan Laut Banda. Di perairan Laut Cina Selatan, Laut Jawa dan Laut Flores rata-rata tinggi gelombang maksimumnya mencapai 3 meter, selain wilayah tersebut rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan Indonesia pada umumnya kurang dari 2.5 meter (gambar 4.9.c).

Frekuensi atau tingkat keseringan gelombang tinggi ≥ 2 meter selama bulan Agustus (gambar 4.9.d) untuk wilayah perairan Samudera Hindia Selatan Jawa bagian Barat, perairan Barat Sumatera dan di Laut Arafuru mencapai 90%, di Laut Banda frekuensinya mencapai 50%, di sekitar perairan Laut Cina Selatan dan di Samudera Pasifik (Utara Maluku) frekuensinya mencapai 40%, sedangkan di Laut Jawa frekuensinya mencapai 30%, selain wilayah tersebut hampir seluruh perairan Indonesia frekuensi kejadian gelombang tinggi ≥ 2 meter kurang dari 20%.



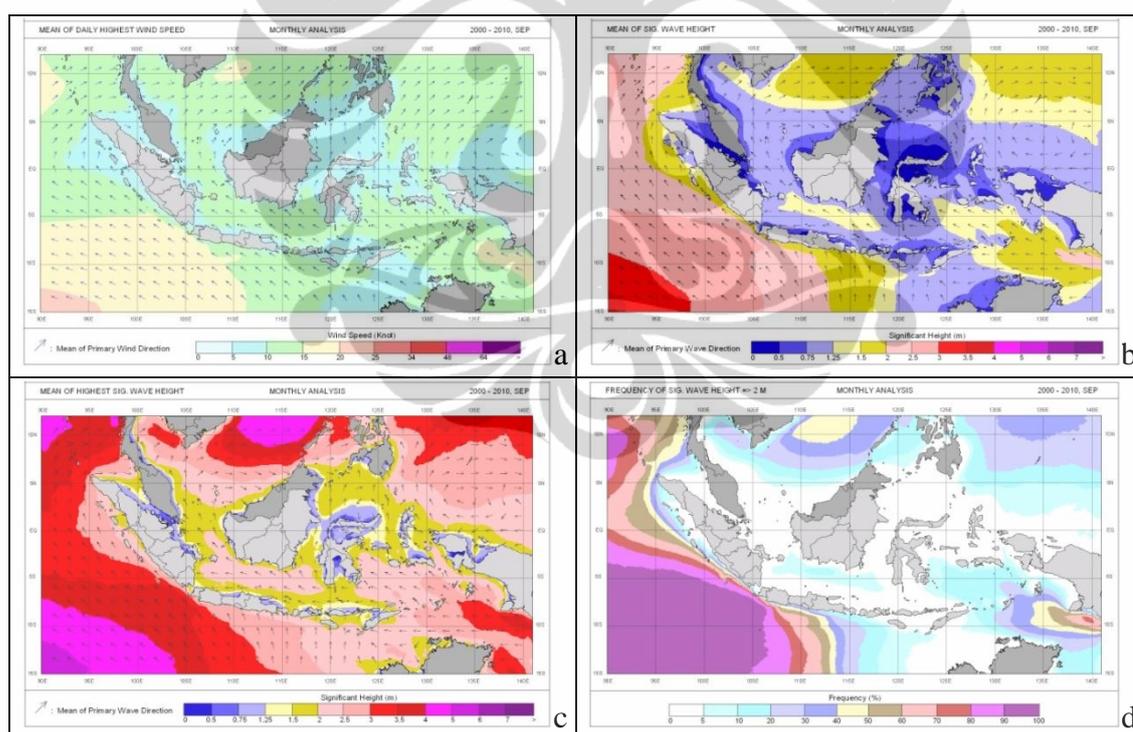
Gambar 4.9. Kondisi angin dan gelombang bulan Agustus di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (H_s), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (H_s max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter

4.1.1.10 Bulan September

Pada bulan September, Kondisi angin dan gelombang di perairan Indonesia ditunjukkan pada gambar 4.10. Arah angin masih dominan bertiup dari Tenggara melintasi Laut Arafuru, Laut Banda, Laut Jawa dan Samudera Indonesia menuju ke Barat, kemudian akan berbelok ke Utara setelah melintasi Ekuator. Akan tetapi rata-rata kecepatan angin melemah dari bulan sebelumnya, di perairan Laut Seram, Laut Maluku, Laut Seram dan Selat Makassar kecepatan angin rata-ratanya antara 5-10 knot, di atas perairan Laut Arafuru Laut Flores dan Laut Jawa kecepatan angin rata-ratanya antara 10-15 knot. Kecepatan angin rata-rata di perairan Samudera Indonesia bervariasi dari 10-20 knot, dan di Perairan Laut Sawu dan Laut Timor kecepatan angin rata-rata melemah dari bulan sebelumnya yakni 5-10 knot, hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh angin Monsun Australia di wilayah Indonesia mulai melemah (gambar 4.10.a).

Secara umum pada bulan September ini seluruh perairan rata-rata tinggi gelombang di perairan Indonesia (gambar 4.10.b) lebih rendah dari bulan Agustus,

kecuali di perairan Samudera Indonesia, rata-rata tinggi gelombangnya masih sama dengan bulan sebelumnya. Di Laut Jawa rata-rata tinggi gelombang antara 1,25-2 meter, di perairan Laut Flores, Selat Karimata, Selat Makassar, Laut Maluku, Laut Sulawesi dan Laut Seram berkisar antara 0,5-1,25 meter, sedangkan di perairan Laut Banda dan Arafuru, rata-rata tinggi gelombang berkisar antara 1,25-2 meter. Di perairan Laut Sawu dan Laut Timor rata-rata tinggi gelombang yakni 0,5-1,25 meter. Rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan Indonesia pada bulan September ini pada umumnya bervariasi antara 1.25 sampai 4 meter, rata-rata tinggi gelombang maksimum yang tertinggi terdapat di wilayah perairan Laut Cina Selatan, Samudera Hindia Selatan Jawa bagian Barat dan Laut Arafuru yang mencapai 4 meter, sedangkan rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan dalam (antar pulau) bervariasi antara 1.25 sampai 3 meter (gambar 4.10.c).



Gambar 4.10. Kondisi angin dan gelombang bulan September di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (H_s), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (H_s max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter

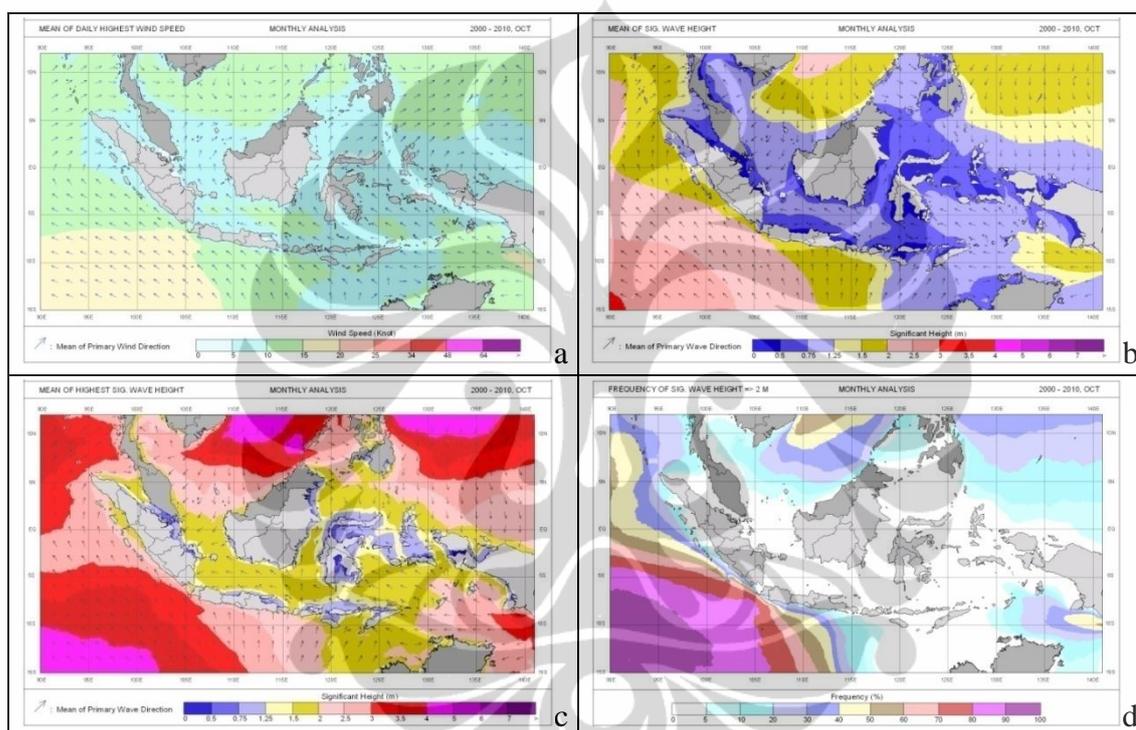
Pada bulan September tingkat keseringan gelombang tinggi ≥ 2 meter yang mencapai 100% terdapat di wilayah perairan Samudera Hindia di bagian Selatan Selat Sunda. Di perairan Laut Arafuru frekuensinya mencapai 80%, selain itu hampir seluruh perairan Indonesia frekuensi kejadian gelombang tinggi ≥ 2 meter kurang dari 20% (gambar 4.10.d).

4.1.1.11 Bulan Oktober

Pada bulan Oktober, Kondisi angin dan gelombang di perairan Indonesia ditunjukkan pada gambar 4.11. Arah angin pada bulan Oktober masih dominan bertiup dari Tenggara. Kecepatan angin rata-rata pada bulan Oktober ini hampir diseluruh wilayah Indonesia semakin melemah dari bulan sebelumnya, di perairan Selat Karimata, Selat Makassar, Laut Sawu, Laut Maluku, Laut Seram, Laut Flores, Laut Banda, Laut Sawu dan Laut Timor kecepatan angin rata-ratanya antara 5-10 knot, di wilayah perairan Laut Arafuru kecepatan angin rata-ratanya antara 10-15 knot, di Laut Jawa 5-15 knot. Kecepatan angin rata-rata di perairan Samudera Indonesia bervariasi dari 5-20 knot (4.11.a).

Secara umum rata-rata tinggi gelombang di seluruh perairan Indonesia (gambar 4.11.b) semakin lebih rendah dari bulan sebelumnya (September). Di perairan Selat Karimata, Laut Jawa, Laut Banda, laut Sawu dan Laut Timor rata-rata tinggi gelombang antara 0,75-1,25 meter, di perairan Laut Flores, Selat Makassar, Laut Maluku, Laut Sulawesi dan Laut Seram berkisar antara 0,5-0,75 meter, sedangkan di perairan Arafuru, rata-rata tinggi gelombang berkisar antara 0,75-2 meter. Di perairan Samudera Indonesia, rata-rata tinggi gelombangnya berkisar antara 1,25-2,5 meter. Rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan Indonesia pada bulan Oktober pada umumnya bervariasi antara 1.25 sampai 4 meter, rata-rata tinggi gelombang maksimum yang tertinggi terdapat di wilayah perairan Samudera Hindia bagian Barat dan Laut Arafuru rata-rata gelombang maksimum mencapai 4 meter, sedangkan di perairan Barat Sumatera, dan di Samudera Pasifik bagian Barat rata-rata tinggi maksimumnya mencapai 3.5 meter, di sekitar perairan Natuna berkisar antara 2 sampai 3 meter, untuk perairan dalam (antar pulau) hampir pada umumnya rata-rata tinggi maksimumnya kurang 2 meter (gambar 4.11.c).

Tingkat keseringan gelombang tinggi ≥ 2 meter selama bulan Oktober yang mencapai 90% hanya terdapat di wilayah perairan Samudera Hindia Selatan Jawa bagian Barat (Selatan Selat Sunda). Di perairan Barat Sumatera frekuensinya mencapai 60%, di Laut Arafuru frekuensinya mencapai 50%, dan di sekitar perairan Laut Cina Selatan frekuensinya mencapai 40%, adapun selain itu hampir seluruh perairan Indonesia frekuensi kejadian gelombang tinggi ≥ 2 meter kurang dari 20% (gambar 4.11.d).



Gambar 4.11. Kondisi angin dan gelombang bulan Oktober di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (H_s), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum (H_s max), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter

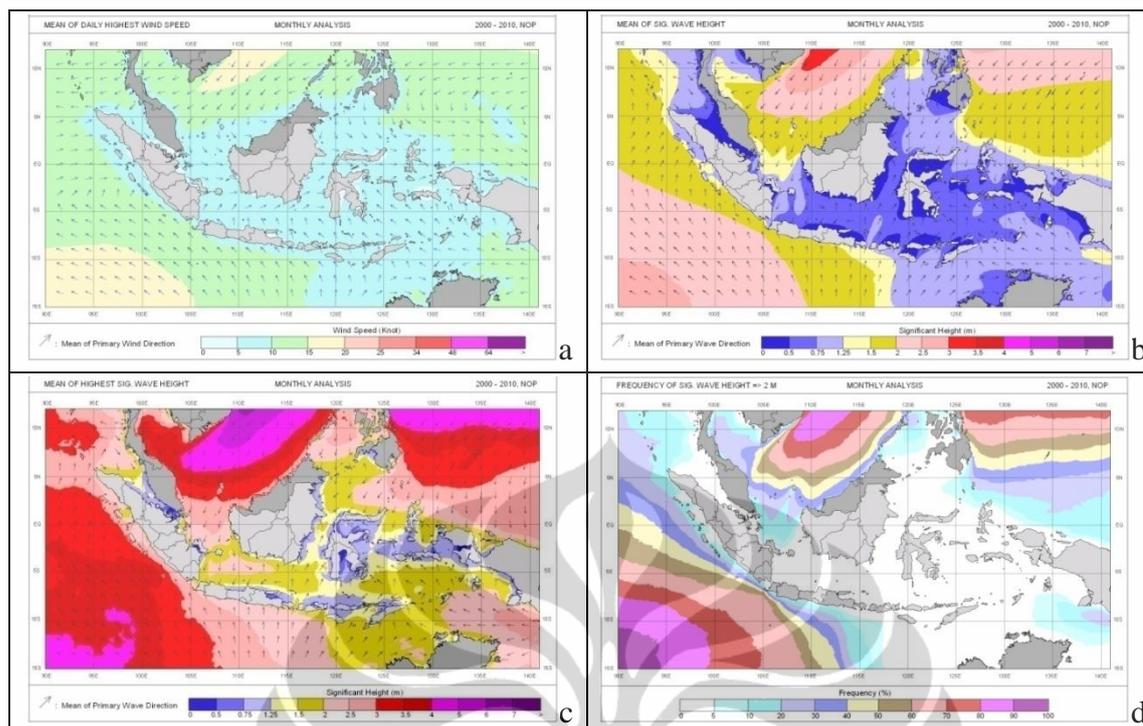
4.1.1.12 Bulan Nopember

Dari Kondisi angin dan gelombang pada bulan Nopember di wilayah perairan Indonesia (gambar 4.12) menunjukkan bahwa arah angin selama bulan November terjadi perubahan di bagian Utara Ekuator, dimana angin bertiup dari Barat Laut melintasi Selat Karimata menuju ke Laut Jawa, kemudian arah angin dibelokkan tidak menentu, hal ini disebabkan masih adanya pengaruh dari angin Monsun Australia yang bertiup menuju ke Barat. Kondisi ini juga terjadi di atas

perairan Laut Sulawesi, Selat Makassar dan Laut Seram. Rata-rata kecepatan angin di seluruh wilayah Indonesia semakin melemah jika dibandingkan dengan bulan sebelumnya yakni 5-10 knot, hal ini akibat semakin menguatnya pengaruh dari angin Monsun Asia. Untuk kecepatan angin rata-rata di perairan Samudera Indonesia masih sama dengan bulan sebelumnya yakni antar 5-20 knot.

Pada bulan November, rata-rata tinggi gelombang perairan Indonesia (gambar 4.12.b) di perairan bagian Utara Ekuator lebih tinggi dari bulan sebelumnya, dimana di Selat Karimata rata-rata tinggi gelombang antara 0,75-2 meter, di Laut Sulawesi 0,75-1,25 meter, kondisi ini disebabkan oleh semakin menguatnya pengaruh angin Monsun Asia di wilayah Indonesia. Untuk wilayah di Selatan Ekuator, rata-rata tinggi gelombang semakin rendah dari bulan Oktober, seperti di Laut Jawa, Laut Flores, Laut Banda, dan Selat Makassar bagian selatan rata-rata tinggi gelombang antara 0,5-0,75 meter, sedangkan di wilayah perairan Laut Arafuru, Laut Sawu dan Laut Timor rata-rata tinggi gelombang antara 0,75-1,25 meter. Untuk wilayah perairan Samudera Indonesia masih tetap sama seperti pada bulan sebelumnya, yakni berkisar antara 1,25-2,5 meter. Rata-rata tinggi gelombang maksimum pada bulan Nopember di perairan Indonesia, bervariasi antara 1.25 sampai 5 meter, rata-rata tinggi gelombang maksimum yang tertinggi terdapat di wilayah perairan Laut Cina Selatan, sedangkan di Samudera Pasifik bagian Barat, perairan Barat Sumatera rata-rata tinggi gelombang maksimum mencapai 4 meter, di Selatan Jawa, Laut Arafuru, dan di Selat Karimata rata-rata tinggi gelombang maksimum mencapai 3 meter, adapun selain itu, rata-rata tinggi gelombang maksimum di perairan Indonesia kurang dari 2 meter (gambar 4.12.c).

Pada bulan Nopember tingkat keseringan gelombang tinggi ≥ 2 meter yang mencapai 80% terdapat di wilayah perairan Laut Cina Selatan, sedangkan di Samudera Hindia Selatan Jawa bagian Barat frekuensinya mencapai 70%. Di Samudera Pasifik bagian Barat (Utara Maluku) frekuensinya mencapai 30%, adapun selain itu hampir seluruh perairan Indonesia frekuensi kejadian gelombang tinggi ≥ 2 meter kurang dari 20% (gambar 4.12.d).



Gambar 4.12. Kondisi angin dan gelombang bulan Nopember di perairan Indonesia tahun 2000-2010, (a) Arah dan kecepatan angin, (b) Rata-rata tinggi gelombang (H_s), (c) Rata-rata tinggi gelombang maksimum ($H_s \text{ max}$), (d) Frekuensi kejadian tinggi gelombang ≥ 2.0 meter

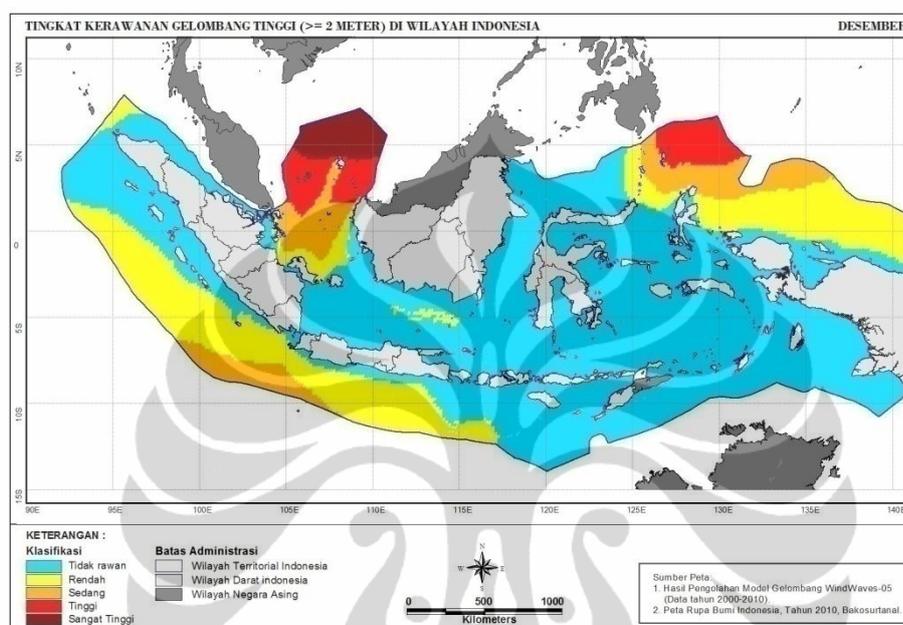
4.1.2 Klasifikasi Daerah Rawan Gelombang Tinggi

Hasil klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi dan tingkat kerawanannya dibuat menjadi informasi dalam bentuk peta periode bulanan yang disajikan pada gambar 4.13 sampai 4.24.

4.1.2.1 Bulan Desember

Hasil klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi selama bulan Desember diperlihatkan pada gambar 4.13. Pada bulan Desember daerah rawan gelombang tinggi dengan klasifikasi sangat tinggi berada di wilayah Laut Cina Selatan, klasifikasi rawan tinggi ada di wilayah Laut Cina Selatan, di sekitar Laut Natuna serta bagian Utara Laut Sulawesi, untuk daerah dengan tingkat klasifikasi sedang berada di wilayah sekitar Laut Natuna, sebagian Selat Karimata serta sebagian wilayah Samudera Hindia, sedangkan untuk daerah dengan klasifikasi rawan rendah terdapat di wilayah Selat Karimata, di wilayah bagian timur Laut Sulawesi

sampai Samudera Pasifik dan di sebagian besar wilayah Samudera Hindia. Untuk daerah daerah yang termasuk kategori tidak rawan selama bulan Desember terdapat di sebagian besar wilayah perairan Indonesia, diantaranya wilayah perairan pesisir Barat Sumatera, Jawa, Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Flores, Laut Banda, Laut Arafuru, Laut Maluku, Laut Sawu dan laut Timor.

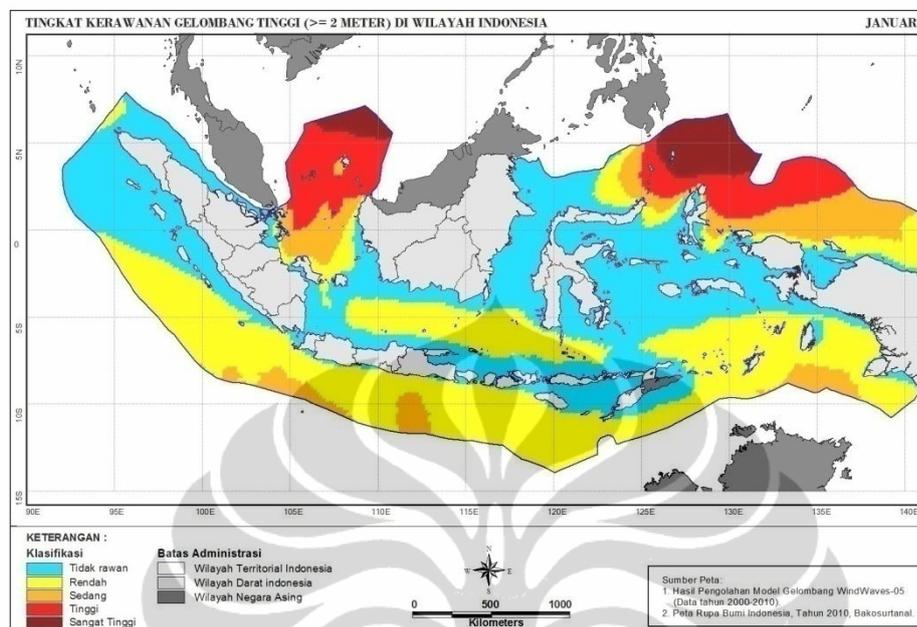


Gambar 4.13. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Desember

4.1.2.2 Bulan Januari

Hasil klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Januari (gambar 4.14) dengan klasifikasi sangat tinggi berada di wilayah Laut Cina Selatan dan di perairan Utara Maluku, klasifikasi rawan tinggi ada di wilayah Laut Cina Selatan, di sekitar Laut Natuna serta bagian Utara Laut Sulawesi sampai di bagian Barat Samudera Pasifik, untuk daerah dengan tingkat klasifikasi sedang berada di wilayah sebagian Selat Karimata, sebagian Laut Sulawesi, di Samudera Pasifik (Utara wilayah perairan Papua) serta sebagian wilayah Samudera Hindia, sedangkan untuk daerah dengan klasifikasi rawan rendah terdapat di sebagian wilayah Selat Karimata, Laut Jawa, di sebagian wilayah Timur Laut Sulawesi, Laut Flores, Laut Banda, Laut Arafuru serta di sebagian besar wilayah Samudera Hindia. Untuk daerah daerah yang termasuk kategori tidak rawan, selama bulan

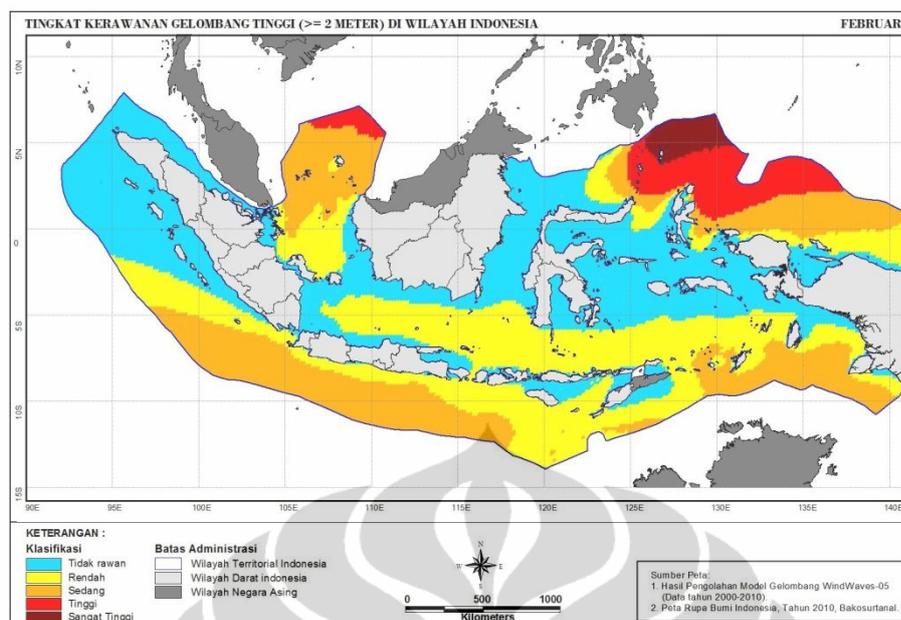
Januari terdapat di sebagian wilayah perairan pesisir Barat Sumatera, Pesisir Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Maluku, Laut Sawu dan laut Timor.



Gambar 4.14. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Januari

4.1.2.3 Bulan Februari

Hasil klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi selama bulan Februari (gambar 4.15) mempunyai pola yang hampir sama dengan bulan Januari, dimana klasifikasi sangat tinggi berada di wilayah perairan Utara Maluku, klasifikasi rawan tinggi ada di wilayah sekitar Laut Natuna serta bagian Utara Laut Sulawesi sampai di bagian Barat Samudera Pasifik, untuk daerah dengan tingkat klasifikasi sedang terdapat wilayah Perairan Laut Natuna, bagian Utara Maluku, di perairan Utara wilayah Papua, sebagian besar wilayah Samudera Hindia, dan di Laut Arafuru, sedangkan untuk daerah dengan klasifikasi rawan rendah terdapat di sebagian wilayah Selat Karimata, Laut Jawa, di sebagian wilayah Timur Laut Sulawesi, Laut Flores, Laut Banda, Laut Timor, Laut Sawu serta di bagian pesisir wilayah Selatan Jawa. Untuk daerah daerah yang termasuk kategori tidak rawan selama bulan Februari terdapat di sebagian wilayah perairan pesisir Barat Sumatera, Selat Makassar dan Laut Maluku.



Gambar 4.15. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Februari

4.1.2.4 Bulan Maret

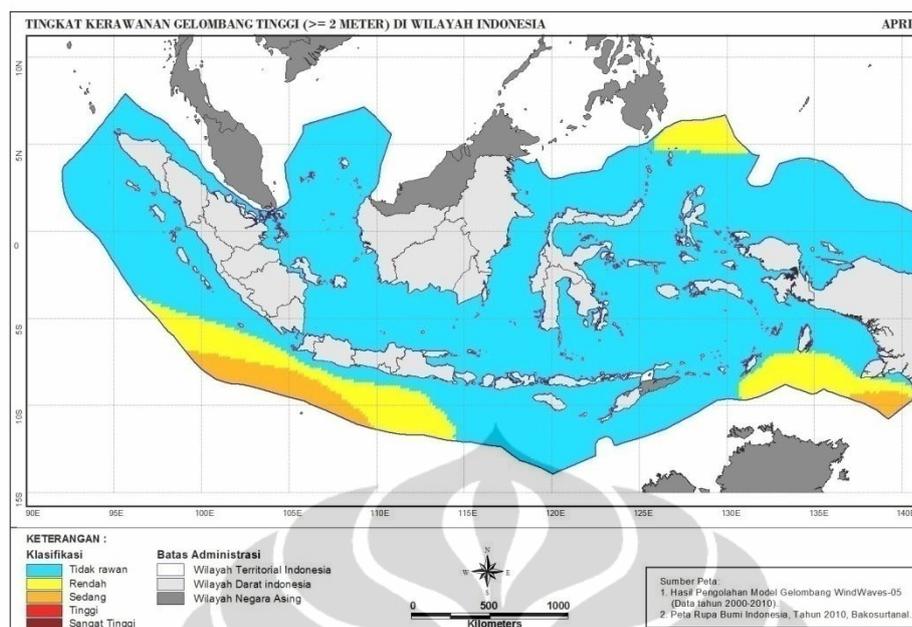
Pada bulan Maret hasil klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi yang ditunjukkan pada gambar 4.16 tidak terdapat daerah rawan dengan tingkat klasifikasi sangat tinggi, adapun daerah dengan klasifikasi rawan tinggi ada di wilayah Utara perairan Maluku, demikian juga dengan daerah rawan dengan klasifikasi sedang berada di wilayah perairan Utara Maluku sampai ke Samudera Pasifik serta sebagian kecil di Samudera Hindia, sedangkan untuk daerah dengan klasifikasi rawan rendah terdapat di sebagian wilayah Laut Cina Selatan, Perairan Utara Maluku sampai ke Samudera Pasifik, sebagian besar perairan Selatan Jawa (Samudera Hindia). Adapun daerah yang tidak rawan terhadap gelombang tinggi pada bulan Maret ini terdapat di sebagian besar wilayah Indonesia yang berada di perairan antar Pulau, diantaranya Selat Karimata, Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Sulawesi, Laut Flores, Laut Banda, Laut Sawu, Laut Timor dan sebagian wilayah Barat Sumatera.



Gambar 4.16. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Maret

4.1.2.5 Bulan April

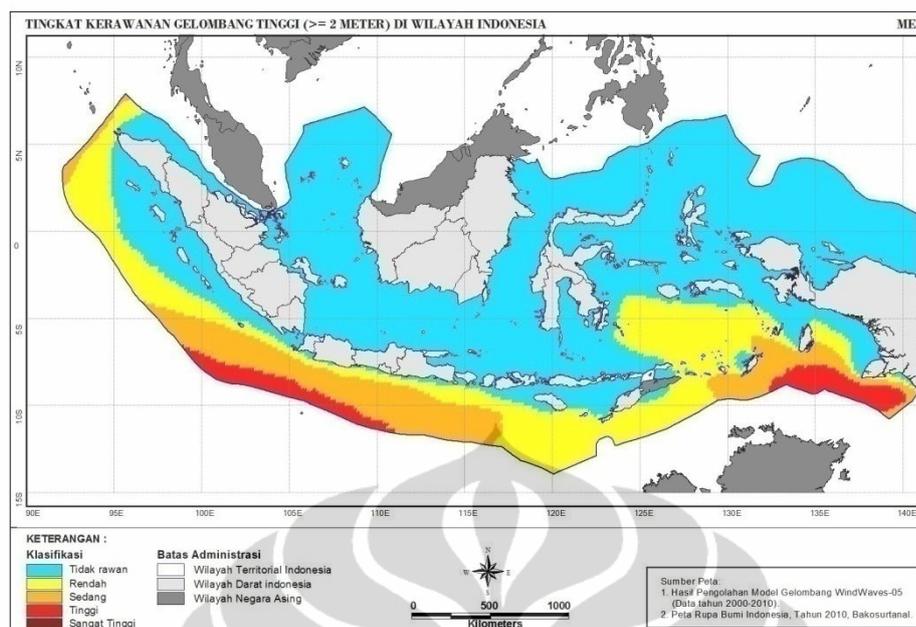
Selama bulan April hasil klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi dan tingkat kerawanannya (gambar 4.17) menunjukkan bahwa hampir di seluruh wilayah perairan Indonesia termasuk dalam klasifikasi tidak rawan terhadap gelombang tinggi, daerah dengan klasifikasi sedang hanya berada di wilayah Samudera Hindia serta di Laut Arafuru, sedangkan daerah dengan klasifikasi rendah terdapat di wilayah perairan Samudera Hindia, Laut Arafuru dan Utara Maluku.



Gambar 4.17. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan April

4.1.2.6 Bulan Mei

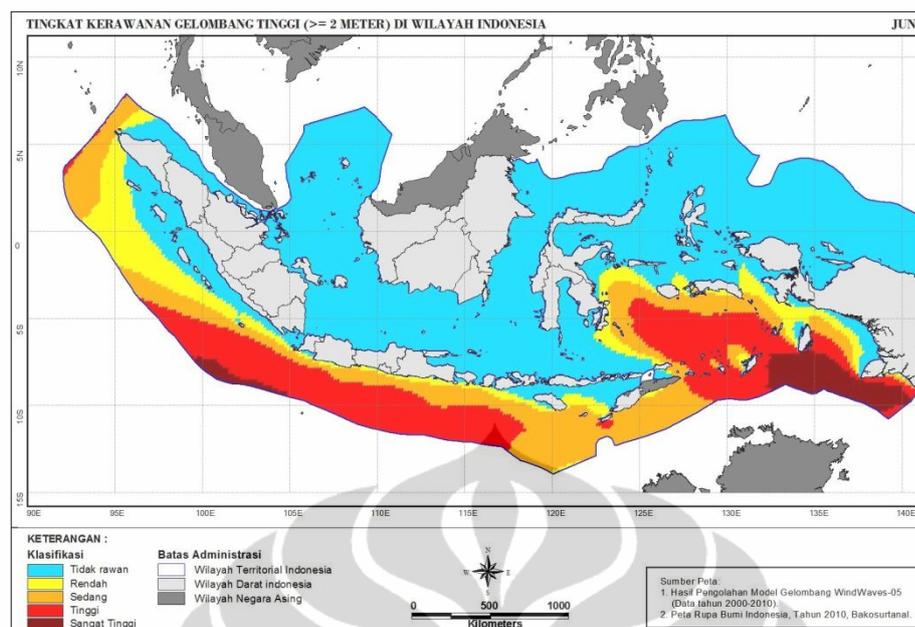
Pada bulan Mei hasil klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi yang ditunjukkan pada gambar 4.18 tidak terdapat daerah rawan dengan tingkat klasifikasi sangat tinggi, adapun daerah dengan klasifikasi rawan tinggi pada bulan Mei terdapat di Samudera Hindia dan Laut Arafuru, sedangkan daerah rawan dengan klasifikasi sedang berada di wilayah Samudera Hindia dan Laut Arafuru. Untuk daerah dengan klasifikasi rawan rendah terdapat di perairan bagian Barat Sumatra, Selatan Jawa, di Laut Banda, serta di Laut Timor, adapun daerah yang tidak rawan terhadap gelombang tinggi pada bulan Mei terdapat di sebagian besar wilayah Indonesia, diantaranya, di perairan Selat Karimata, Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Sulawesi, Laut Maluku, Laut Flores, Laut Sawu, dan sebagian pesisir Barat Sumatera.



Gambar 4.18. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Mei

4.1.2.7 Bulan Juni

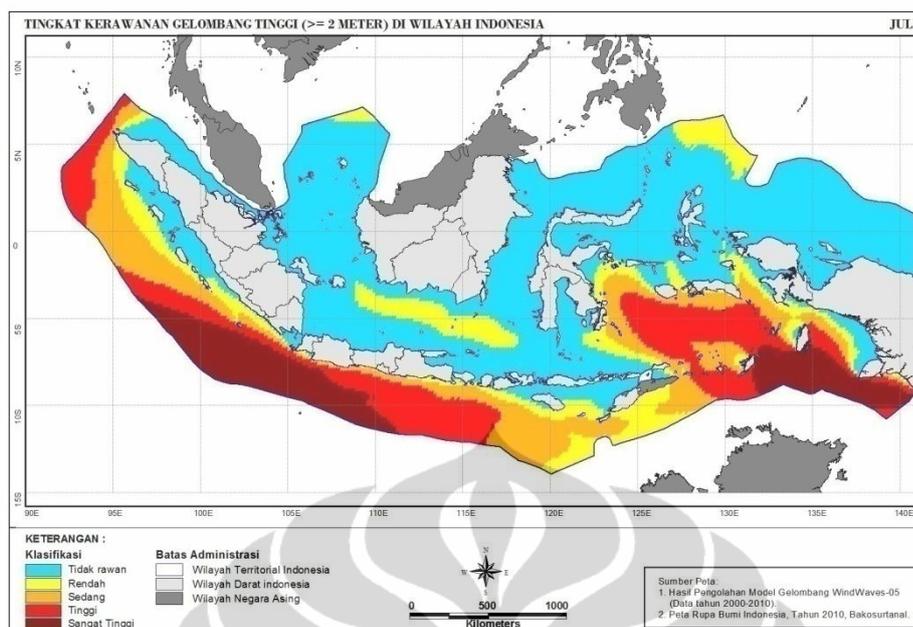
Pada bulan Juni hasil klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi (gambar 4.19) menunjukkan daerah rawan dengan tingkat klasifikasi sangat tinggi berada di Samudera Hindia dan di Laut Arafuru, daerah dengan klasifikasi rawan tinggi terdapat di sebagian besar perairan Samudera Hindia, Laut Arafuru dan Laut Banda, adapun daerah rawan dengan klasifikasi sedang berada di wilayah pesisir Selatan Jawa, Laut Timor dan Laut Banda. Untuk daerah dengan klasifikasi rawan rendah terdapat di perairan bagian Barat Sumatra dan sebagian wilayah di Laut Banda. Untuk daerah dengan klasifikasi tidak rawan terhadap gelombang tinggi pada bulan Juni terdapat di perairan Selat Karimata, Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Sulawesi, Laut Maluku, Laut Flores, Laut Sawu, dan sebagian pesisir Barat Sumatera.



Gambar 4.19. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Juni

4.1.2.8 Bulan Juli

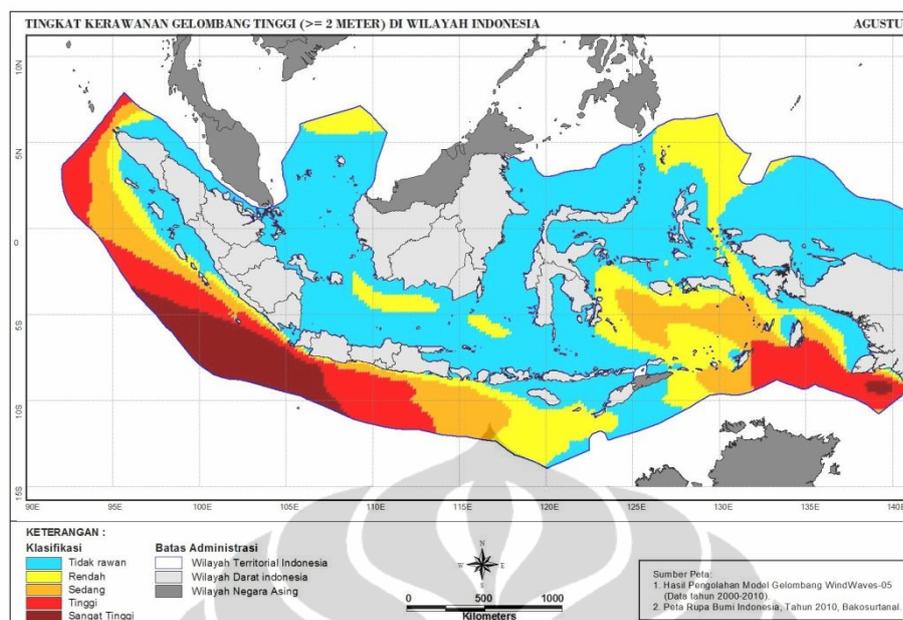
Pada bulan Juli hasil klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi (gambar 4.20) menunjukkan kondisi yang hampir sama dengan bulan Juni, dimana daerah rawan dengan tingkat klasifikasi sangat tinggi berada di Samudera Hindia dan di Laut Arafuru. Untuk daerah dengan klasifikasi rawan tinggi terdapat di sebagian perairan Samudera Hindia, perairan Barat Sumatera, Laut Arafuru dan Laut Banda, adapun daerah rawan dengan klasifikasi sedang berada di perairan Barat Sumatera, di wilayah pesisir Selatan Jawa Timur, Laut Timor dan Laut Banda. Untuk daerah dengan klasifikasi rawan rendah terdapat di perairan bagian Barat Sumatera, sebagian wilayah Laut Jawa, Laut Timor, sebagian wilayah di Laut Banda dan di perairan Utara Maluku (Samudera Hindia). Untuk daerah dengan klasifikasi tidak rawan terhadap gelombang tinggi selama bulan Juli terdapat di perairan Selat Karimata, sebagian Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Sulawesi, Laut Maluku, Laut Flores, Laut Sawu, di wilayah perairan Utara Papua, serta sebagian pesisir Barat Sumatera.



Gambar 4.20. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Juli

4.1.2.9 Bulan Agustus

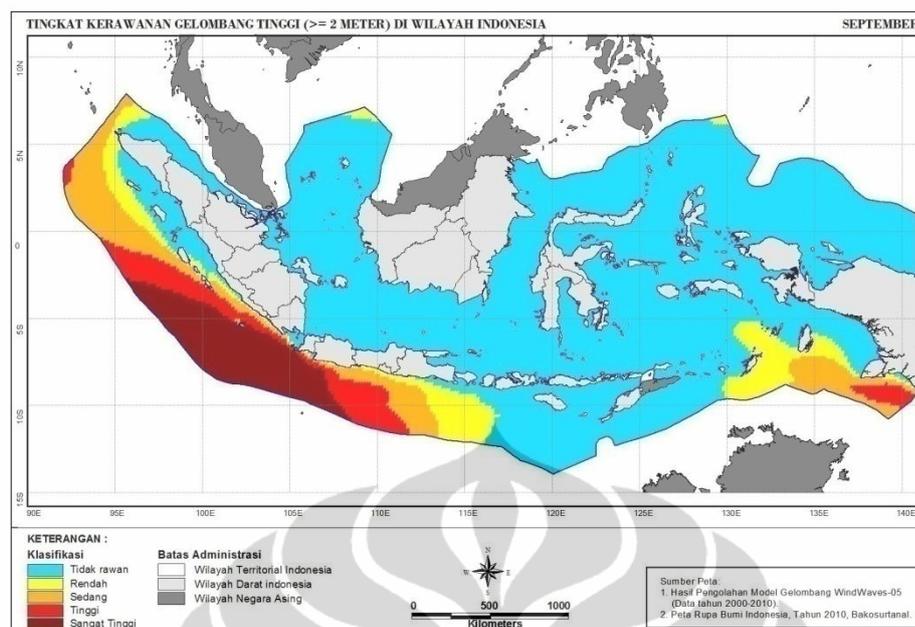
Pada bulan Agustus hasil klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi (gambar 4.21) menunjukkan bahwa daerah rawan dengan tingkat klasifikasi sangat tinggi berada di sebagian wilayah Samudera Hindia dan di Laut Arafuru, daerah dengan klasifikasi rawan tinggi juga terdapat di sebagian perairan Samudera Hindia, perairan Barat Sumatera, dan di Laut Arafuru, adapun daerah rawan dengan klasifikasi sedang berada di perairan Barat Sumatera, di wilayah pesisir Selatan Jawa Timur, dan di sebagian wilayah Laut Banda. Untuk daerah dengan klasifikasi rawan rendah terdapat di perairan bagian Barat Sumatera, sebagian wilayah Laut Jawa, Laut Timor, sebagian wilayah di Laut Banda dan di perairan Utara Maluku (Samudera Hindia). Untuk daerah dengan klasifikasi tidak rawan terhadap gelombang tinggi pada bulan Agustus ini terdapat di perairan Selat Karimata, sebagian besar Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Sulawesi, Laut Maluku, Laut Flores, Laut Sawu, sebagian pesisir Barat Sumatera serta di perairan Utara Papua.



Gambar 4.21. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Agustus

4.1.2.10 Bulan September

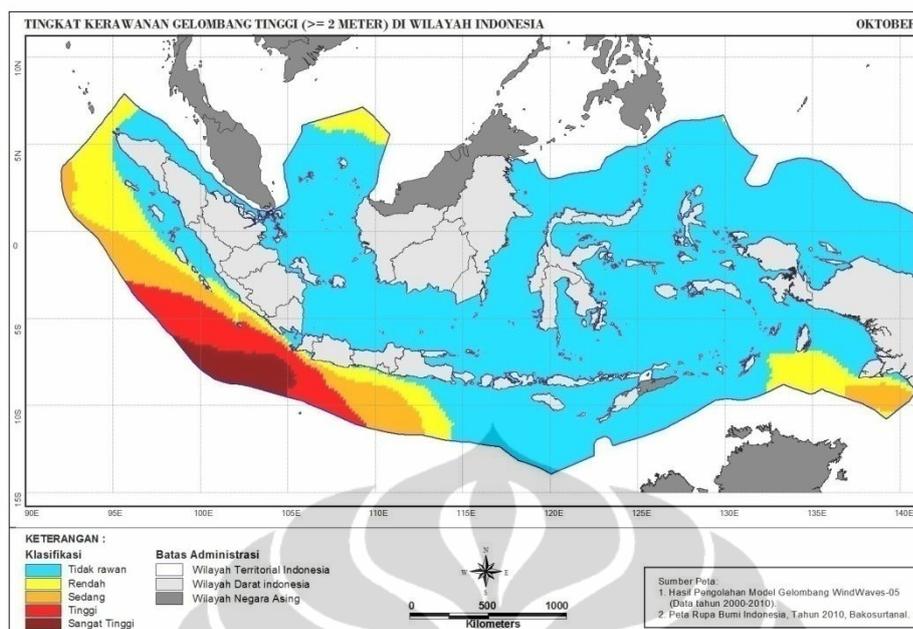
Pada bulan September hasil klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi yang ditunjukkan pada gambar 4.22, daerah-daerah rawan gelombang tinggi dengan tingkat klasifikasi sangat tinggi berada di wilayah Samudera Hindia, sedangkan daerah dengan klasifikasi rawan tinggi juga terdapat di sebagian perairan Samudera Hindia, dan di sebagian Laut Arafuru, adapun daerah rawan dengan klasifikasi sedang berada di perairan Barat Sumatera, di wilayah pesisir Selatan Jawa Timur, dan di sebagian wilayah Laut Arafuru. Untuk daerah dengan klasifikasi rawan rendah terdapat di perairan bagian Barat Sumatera, di bagian Selatan Jawa Timur serta di sebagian perairan Laut Arafuru. Untuk daerah dengan klasifikasi tidak rawan terhadap gelombang tinggi pada bulan September terdapat di wilayah Laut Cina Selatan, perairan Selat Karimata, di Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Sulawesi, Laut Maluku, Laut Flores, Laut Banda, Laut Sawu, Laut Timor, sebagian pesisir Barat Sumatera serta di perairan Utara Papua.



Gambar 4.22. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan September

4.1.2.11 Bulan Oktober

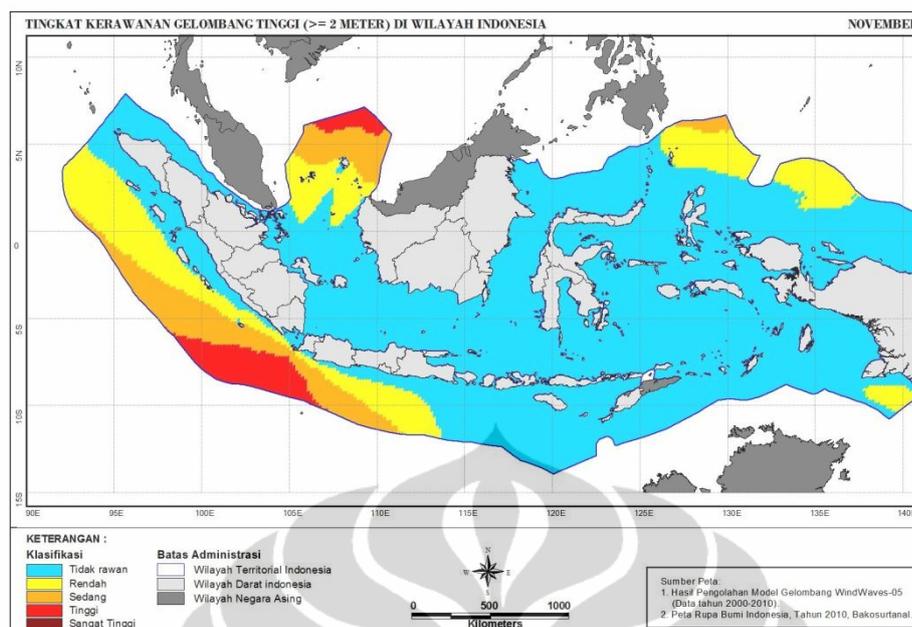
Pada bulan Oktober hasil klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi pada gambar 4.23, menunjukkan bahwa daerah-daerah rawan gelombang tinggi dengan tingkat klasifikasi sangat tinggi berada di sebagian wilayah Samudera Hindia, sedangkan daerah dengan klasifikasi rawan tinggi juga terdapat di sebagian perairan Samudera Hindia, adapun daerah rawan dengan klasifikasi sedang berada di perairan Barat Sumatera, di wilayah pesisir Selatan Jawa, dan di sebagian wilayah Laut Arafuru. Untuk daerah dengan klasifikasi rawan rendah terdapat di perairan bagian Barat Sumatera, di bagian Selatan Jawa, serta di sebagian perairan Laut Arafuru. Untuk daerah dengan klasifikasi tidak rawan terhadap gelombang tinggi terdapat di perairan Laut Natuna, di Selat Karimata, di Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Sulawesi, Laut Maluku, Laut Flores, Laut Banda, Laut Sawu, Laut Timor, sebagian pesisir Barat Sumatera serta di perairan Utara Papua.



Gambar 4.23. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Oktober

4.1.2.12 Bulan Nopember

Pada bulan Nopember hasil klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi yang ditunjukkan pada gambar 4.24, tidak terdapat daerah rawan dengan tingkat klasifikasi sangat tinggi, sedangkan daerah dengan klasifikasi rawan tinggi terdapat di sebagian perairan Samudera Hindia dan di Laut Cina Selatan, adapun daerah rawan dengan klasifikasi sedang berada di perairan Barat Sumatera, di wilayah Samudera Hindia serta di sebagian Laut Cina Selatan. Untuk daerah dengan klasifikasi rawan rendah terdapat di perairan bagian Barat Sumatera, di bagian Selatan Jawa, di perairan Laut Natuna, di Samudera Pasifik serta di sebagian perairan Laut Arafuru. Untuk daerah dengan klasifikasi tidak rawan terhadap gelombang tinggi terdapat di perairan Selat Karimata, di Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Sulawesi, Laut Maluku, Laut Flores, Laut Banda, Laut Sawu, Laut Timor, sebagian pesisir Barat Sumatera serta di perairan Utara Papua.

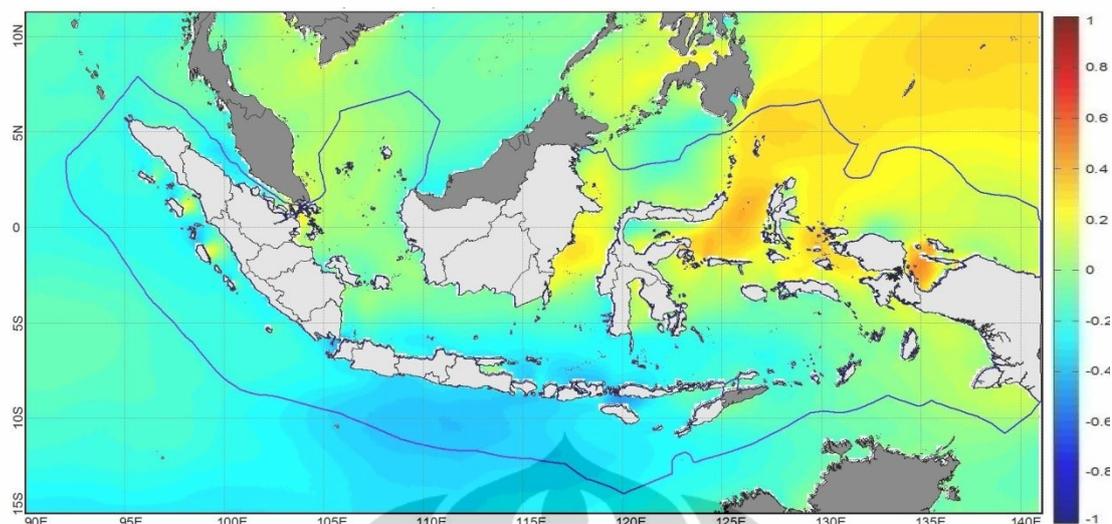


Gambar 4.24. Klasifikasi daerah rawan gelombang tinggi bulan Nopember

4.1.3 Korelasi ENSO dan IODM terhadap tinggi gelombang

4.1.3.1 Korelasi ENSO

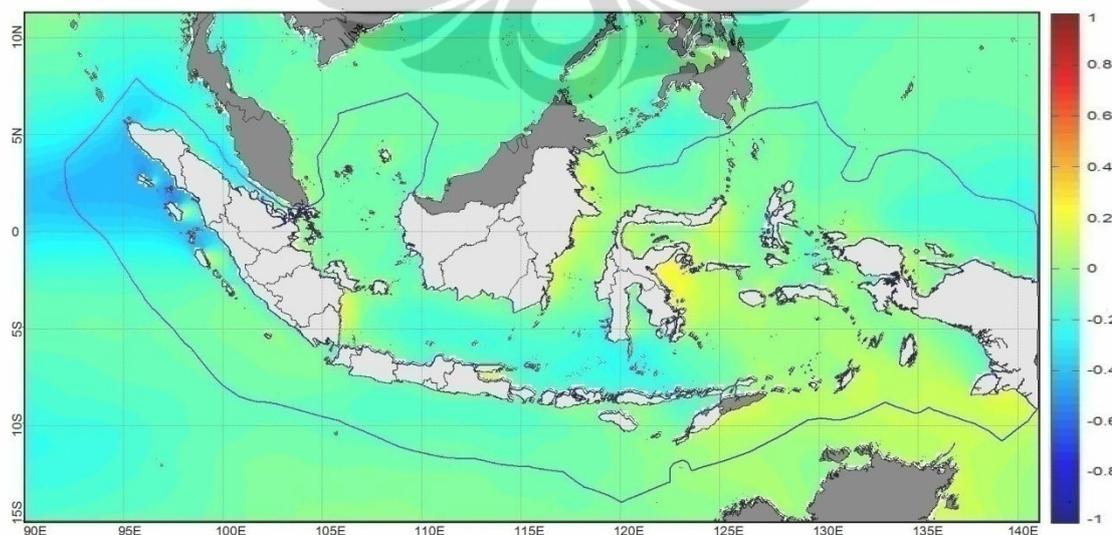
Hasil korelasi spasial antara indeks Nino 3.4 dengan tinggi gelombang di wilayah perairan Indonesia selama 11 tahun ditunjukkan pada gambar 4.25. Untuk wilayah perairan Indonesia yang mempunyai korelasi tertinggi terhadap fenomena ENSO di Samudera Pasifik terdapat di perairan Utara Maluku sampai ke Samudera Pasifik, yakni berkorelasi positif sebesar 0.4, dan di perairan Selatan Jawa dengan nilai korelasi sekitar -0.4. Sedangkan untuk perairan laut Indonesia yang lain, pengaruh ENSO sangat lemah terhadap variasi tinggi gelombang, yakni nilai korelasinya berkisar antara -0.2 sampai 0.2.



Gambar 4.25. Nilai koefisien korelasi anomali bulanan tinggi gelombang (model Windwaves-05) dengan indeks Nino 3.4, periode tahun 2000-2010

4.1.3.1 Korelasi IODM

Hasil korelasi spasial antara indeks IODM dengan tinggi gelombang di wilayah perairan Indonesia selama 11 tahun ditunjukkan pada gambar 4.26, nilai koefisien korelasi spasial antara indeks IODM terhadap anomali gelombang di perairan Indonesia secara umum nilai rata-rata korelasinya sangat lemah, yakni hanya berkisar antara -0.2 sampai 0.2 . Terjadinya anomali IODM di Samudera Hindia dengan nilai korelasi paling besar berada di wilayah perairan barat Sumatera Utara dengan nilai korelasi $-0,4$ sampai $-0,5$.



Gambar 4.26. Nilai koefisien korelasi bulanan anomali tinggi gelombang (model Windwaves-05) dengan indeks IODM periode tahun 2000 – 2010

4.2 Analisa dan Pembahasan

4.2.1 Karakteristik gelombang dan daerah rawan gelombang tinggi

Berdasarkan hasil pengolahan data, gelombang tinggi di perairan Indonesia mempunyai variasi dari bulan ke bulan, pada bulan Desember-Januari-Februari (DJF) gelombang pada umumnya tinggi untuk perairan di sebelah utara yang meliputi perairan Natuna, Selat Karimata, Laut Sulawesi, Laut Maluku serta perairan sekitar utara Papua. Selama bulan DJF posisi matahari berada di selatan ekuator sehingga gradien suhu di Asia lebih tinggi dari pada di Australia, hal inilah yang memicu aktifnya monsun Asia. Arah angin pada saat monsun Asia, bertiup dari benua Asia menuju Australia melintasi Indonesia. Kondisi ini yang mempengaruhi variasi dan karakteristik gelombang yang ada di perairan Indonesia. Tinggi gelombang angin sangat dipengaruhi oleh kondisi angin yang bertiup, semakin cepat angin bertiup maka akan semakin tinggi gelombangnya.

Selain dari pengaruh kecepatan angin, persistensi arah tiupannya juga berpengaruh terhadap kondisi gelombang laut. Semakin seragam arah tiupan angin di suatu wilayah, maka gelombang yang terjadi akan semakin besar. Hal ini terjadi karena arah tiupan yang sama akan menyebabkan terbentuknya gelombang konstruktif yang saling menguatkan, sehingga energi yang dibangkitkan oleh tiupan angin akan besar, kondisi ini terjadi pada saat berlangsungnya angin monsun baik monsun Asia maupun monsun Australia. Pada musim peralihan, arah tiupan angin tidak konsisten menuju arah tertentu dan kadang saling berlawanan, kondisi ini menyebabkan gelombang yang terbentuk bersifat destruktif dan saling melemahkan sehingga rerata gelombangnya lebih rendah dibanding dengan saat aktifnya Monsun. Durasi tiupan angin juga berpengaruh terhadap tinggi rendahnya gelombang yang dihasilkan, semakin lama durasi tiupan angin, semakin tinggi gelombang yang terbentuk. Durasi tiupan angin berkaitan dengan gradien perbedaan suhu antar dua tempat, semakin besar perbedaannya maka angin yang bertiup juga akan semakin lama. Pada saat Monsun Asia dan Australia berlangsung secara periodik maka durasi bertiupnya angin semakin lama dengan kecepatan yang tinggi jika dibandingkan pada saat musim peralihan.

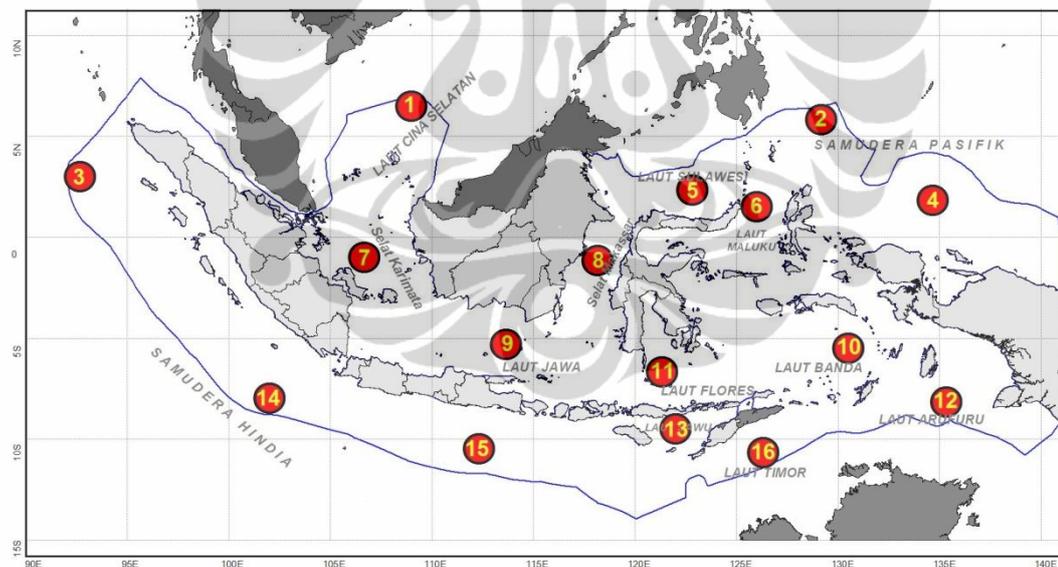
Pada bulan DJF dimana Monsun Asia berlangsung daerah yang mempunyai rata-rata gelombang tinggi umumnya di sebelah utara, atau di daerah yang

berbatasan dengan laut lepas, sebaliknya pada bulan Juni-Juli-Agustus (JJA) dimana Monsun Australia aktif gelombang tinggi terjadi di laut sebelah selatan. Hal ini berkaitan dengan panjang *fetch*, kecepatan angin dan durasi tiupan angin yang ada. Pada bulan DJF angin bertiup dari Asia menuju Australia, di utara ekuator angin bertiup kencang dengan durasi yang lama sehingga *fetch* yang terbentuk lebih panjang, dengan demikian gelombang yang terbentuk juga tinggi. Di sebelah selatan ekuator angin yang bertiup lebih lemah karena mengalami hambatan (pembelokan) ketika melintasi daerah akibat adanya gaya yang ditimbulkan oleh rotasi bumi. Sehingga ketika memasuki perairan sebelah selatan ekuator, *fetch* yang terbentuk lebih pendek dibanding dengan di sebelah utara, sebaliknya pada bulan JJA Monsun Australia bertiup menuju Asia, maka daerah selatan ekuator mempunyai *fetch* yang lebih panjang sehingga gelombang-gelombang tinggi terjadi di perairan sebelah selatan. Sedangkan pada masa peralihan (MAM dan SON) *fetch* yang terbentuk lebih pendek sehingga rerata tinggi gelombangnya lebih rendah. Pada masa peralihan ini posisi matahari berada di sekitar wilayah ekuator, dengan demikian gradien suhu antara Asia dan Australia tidak besar sehingga kecepatan aliran angin dari kedua benua yang melintasi Indonesia rendah. Hasil penelitian Hadikusumah (2009), juga mengatakan bahwa rata-rata tinggi gelombang di Laut Jawa pada bulan Februari dan Agustus lebih tinggi dari pada bulan Mei (musim peralihan).

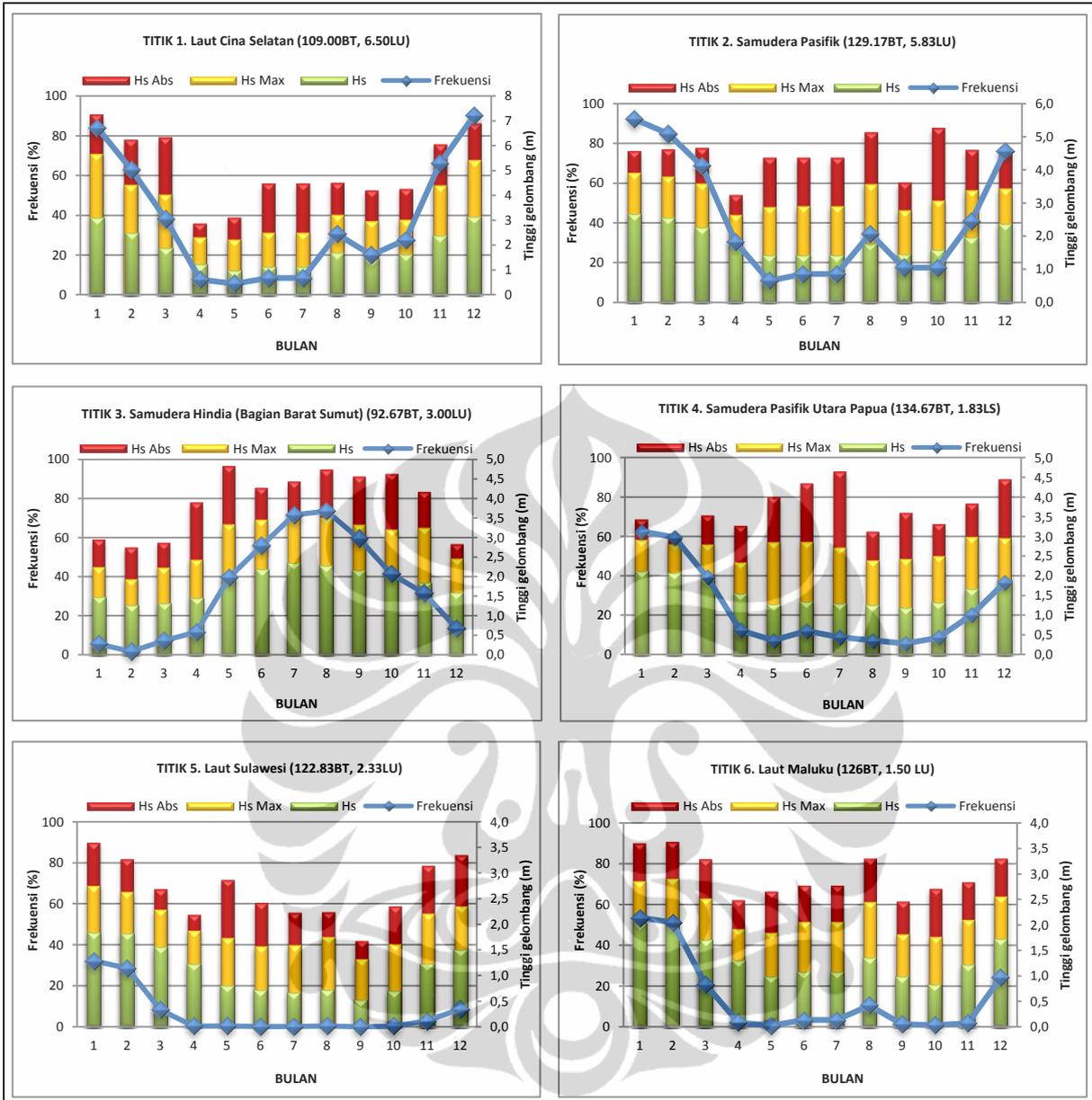
Letak Indonesia yang dilintasi ekuator memberikan pengaruh terhadap panjang *fetch*, dimana daerah ekuatorial merupakan daerah *wind shear* yang bersifat melemahkan kecepatan angin sehingga *fetch* yang terbentuk semakin pendek. Selain itu, keberadaan gugusan pulau sepanjang perairan Indonesia juga mempengaruhi *fetch* yang terbentuk, dimana ketika angin terhambat oleh daratan, *fetch* tidak terbentuk lagi sehingga gelombang yang terbentuk juga tidak tinggi. Perbedaan panjang *fetch* di setiap tempat mempengaruhi tinggi gelombangnya, untuk perairan yang sempit seperti perairan antar pulau, *fetch* yang terbentuk lebih pendek dibandingkan dengan perairan yang menghadap laut terbuka, hal ini dapat menjelaskan bahwa umumnya perairan yang luas seperti Laut Indonesia, Laut Arafuru, Selat Karimata dan perairan yang berbatasan dengan Samudera Pasifik sebelah barat umumnya memiliki gelombang yang tinggi. Khusus untuk perairan

antar pulau seperti Laut Jawa, gelombang tinggi terjadi pada bulan Februari, Juli dan Agustus, hal ini terjadi karena pada bulan Februari angin bertiup dari barat sepanjang Laut Jawa dan Samudera Indonesia dengan kecepatan yang tinggi pula sehingga terbentuk *fetch* yang panjang, sedangkan pada bulan Juli dan Agustus, angin bertiup dari arah timur sepanjang Laut Arafuru, Laut Banda sampai Laut Jawa sehingga *fetch* yang terbentuk juga panjang, dengan demikian gelombang yang terbentuk juga relatif tinggi dibanding bulan yang lain.

Dari grafik pada gambar 4.28, untuk wilayah perairan Indonesia yang berdekatan dengan lautan besar di Utara ekuator, seperti Laut Cina Selatan dan Samudera Pasifik, tingkat rawan gelombang tinggi puncaknya terjadi pada saat monsun Asia berlangsung yaitu bulan Desember-Januari-Februari. Sedangkan untuk wilayah perairan Indonesia yang berdekatan dengan Samudera Hindia, baik di Utara atau di Selatan Ekuator, puncak rawan gelombang tingginya terjadi bersesuaian dengan pola monsun Australia yakni pada bulan Juni-Juli-Agustus.



Gambar 4.27. Posisi pengambilan titik lokasi sampling

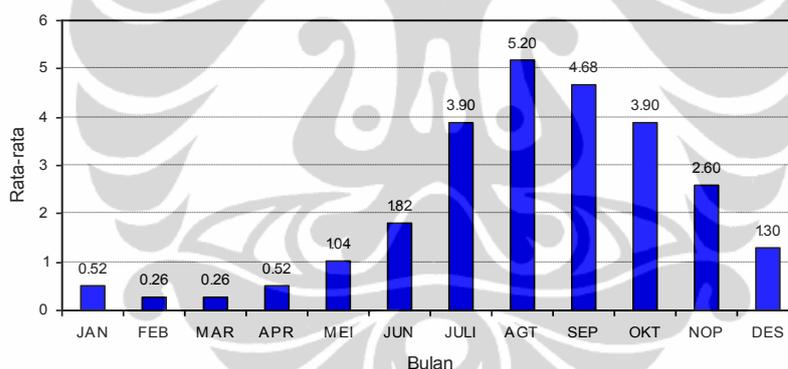


Gambar 4.28. Gelombang tertinggi yang pernah terjadi (Hs Abs), rata-rata tinggi gelombang maksimum (Hs Max), rata-rata tinggi gelombang (Hs), Frekuensi tinggi gelombang ≥ 2 m (Frekuensi) tahun 2000-2010 di perairan terbuka Utara Ekuator

Gelombang tertinggi (gelombang absolut) di perairan Laut Cina Selatan dapat mencapai ketinggian 7 meter pada bulan Desember dan Januari. Perairan Indonesia yang berada atau menjadi bagian dari Laut Cina Selatan, seperti Selat Karimata termasuk daerah rawan gelombang sangat tinggi pada bulan tersebut. Di wilayah perairan yang berdekatan dengan Samudera Pasifik, ketinggian gelombang absolut dapat mencapai 5 meter lebih yang terjadi pada bulan Agustus.

Di perairan Laut Sulawesi dan Laut Maluku, gelombang ekstrim (absolut) bisa mencapai 3,5 meter. Sedangkan di Samudera Hindia bagian barat Sumatera (Utara Ekuator) ketinggian gelombang ekstrim dapat mencapai 5 meter.

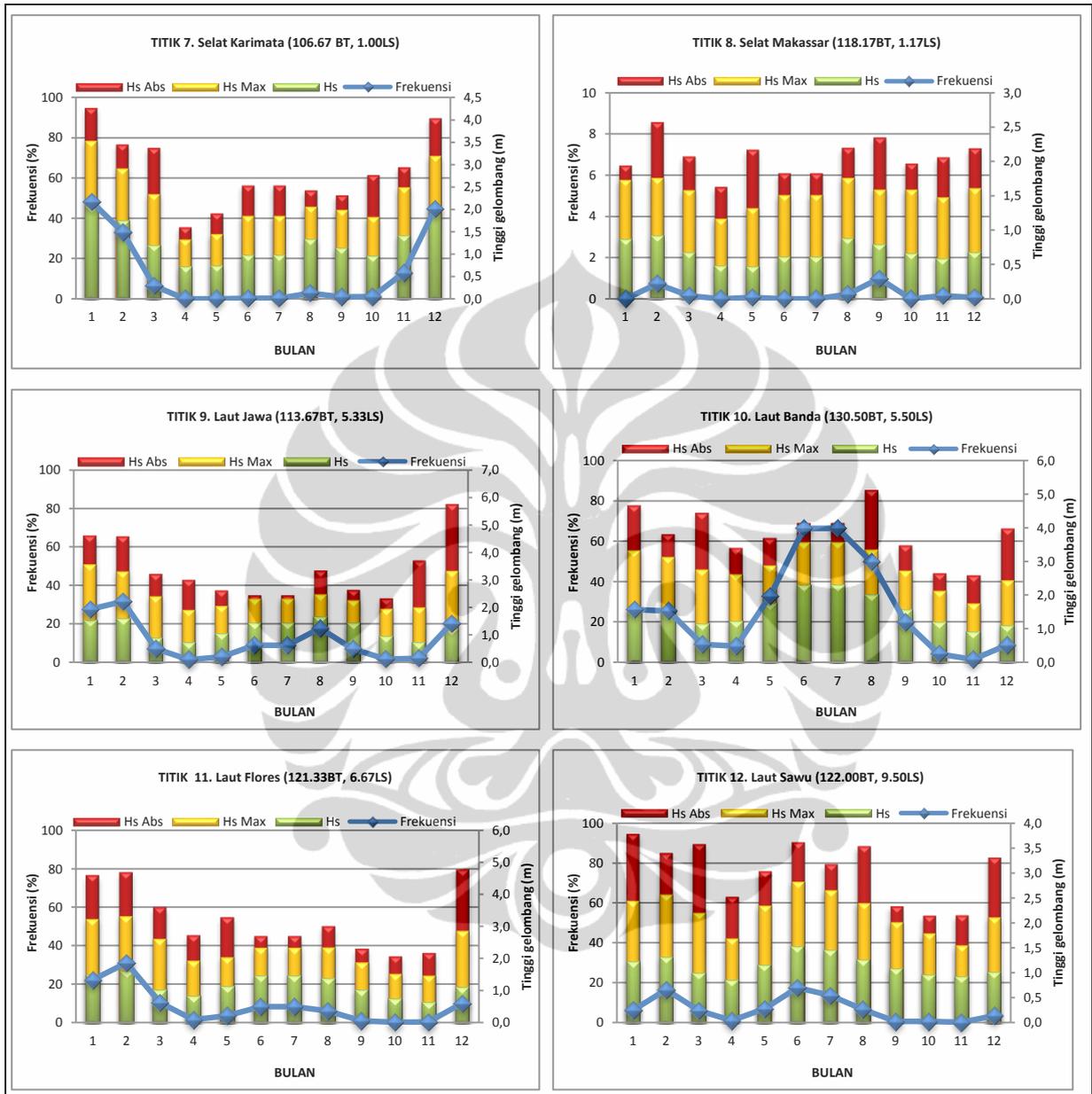
Jika diperhatikan, variasi bulannya, pola gelombang ekstrim di Laut Cina Selatan mulai bulan Desember sampai Februari terlihat serupa dengan pola tinggi gelombang rata-ratanya. Sedangkan di Samudera Pasifik, Laut Sulawesi dan Maluku intensitas gelombang ekstrim yang terjadi bervariasi pada bulan Mei sampai Desember, tingginya intensitas gelombang ekstrim di banding rata-ratanya kemungkinan adanya peran badai tropis yang terjadi di wilayah Pasifik Barat Laut. Berdasarkan data BMKG (2012) yang ditunjukkan pada gambar 4.29, dengan data histori 1951-2006 (56 tahun), diketahui bahwa wilayah dekat Indonesia sebelah Utara siklon tropis terbanyak terjadi pada bulan Agustus dimana rata-rata kejadiannya 5.2 kali siklon tropis terjadi pada bulan ini. Disusul kemudian dengan bulan September (4.68), Juli dan Oktober (3.90).



Gambar 4.29. Frekuensi Badai Tropis di BBU, 1951 – 2006, area : 0 - 30⁰ LU, Laut Cina Selatan - 150⁰ BT [BMKG, 2012]

Untuk daerah-daerah rawan gelombang tinggi di perairan antar pulau berdasarkan klasifikasinya (gambar 4.30), hanya di perairan tertentu saja yang mempunyai potensi rawan gelombang tinggi, diantaranya, Laut Jawa, Laut Flores pada bulan Januari dan Februari dengan klasifikasi rendah, Laut Banda pada bulan Januari, Februari, Juni, Juli dan Agustus. Kondisi ini juga menunjukkan bahwa perairan Laut Jawa dan Laut Banda di pengaruhi oleh terjadinya angin monsun yang secara periodik melintasi perairan tersebut. Adapun untuk perairan dengan frekuensi kejadian gelombang tinggi ≥ 2 meter dibawah 20 % hampir sepanjang tahun, diantaranya adalah di perairan Selat Makassar. Jika dilihat dari pola angin

monsun, hal ini dapat dapat disebabkan karena *fetch* yang terbentuk di perairan tersebut tidak panjang.

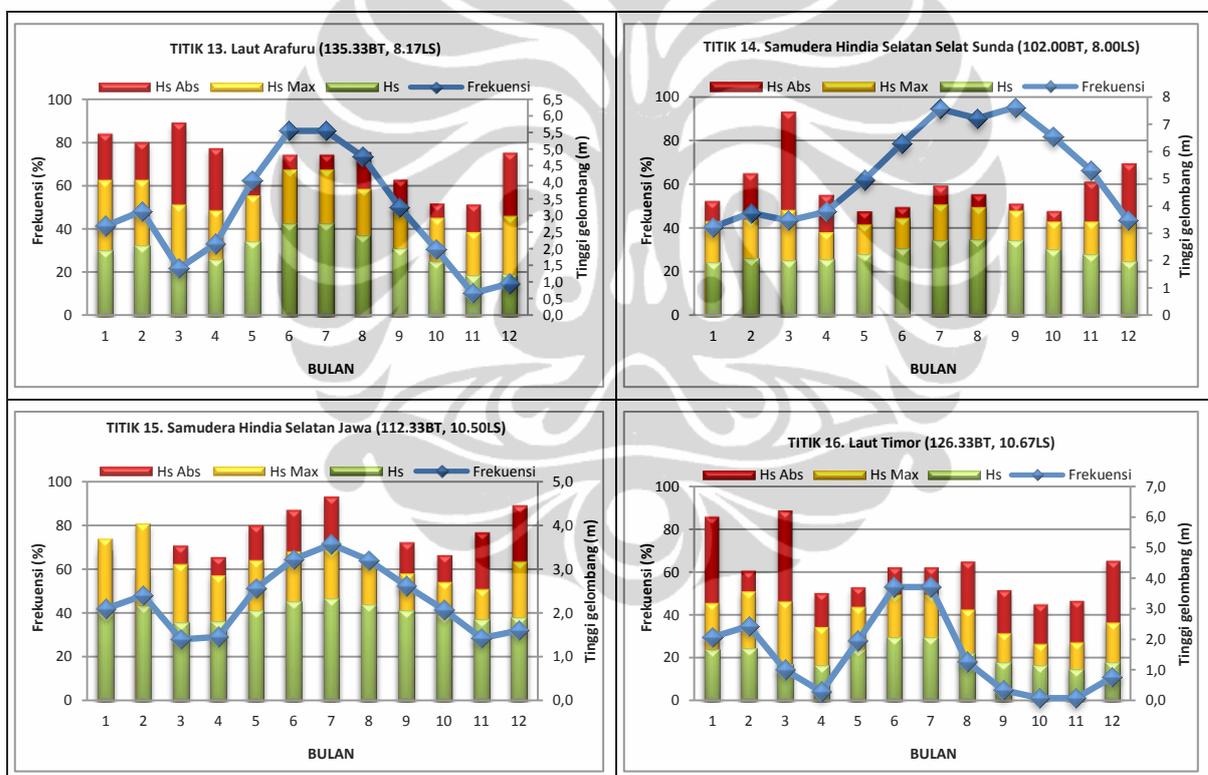


Gambar 4.30. Gelombang tertinggi yang pernah terjadi (Hs Abs), rata-rata tinggi gelombang maksimum (Hs Max), rata-rata tinggi gelombang (Hs), Frekuensi tinggi gelombang ≥ 2 m (Frekuensi) tahun 2000-2010 di perairan antar pulau

Tinggi gelombang ekstrim (gambar 4.30) yang terjadi di perairan antar pulau seperti Selat Karimata dapat mencapai 4 meter lebih pada bulan Desember dan Januari, di Selat Makassar meskipun frekuensi gelombang diatas 2 meter sangat kecil, akan tetapi gelombang ekstrim yang terjadi dapat mencapai 2.6

meter. Di Laut Jawa gelombang ekstrim dapat mencapai 6 meter yang terjadi pada bulan Desember, sedangkan di Laut Banda tinggi gelombang ekstrim dapat mencapai 5 meter lebih pada bulan Agustus, di Laut Flores gelombang tertinggi mencapai 5 meter dan di Laut Sawu ketinggian gelombang ekstrim mencapai 3.7 meter. Fluktuasi gelombang absolut yang terjadi di wilayah perairan antar pulau Indonesia juga dimungkinkan dapat di sebabkan oleh terjadinya siklon tropis baik di Samudera Pasifik maupun di Samudera Hindia.

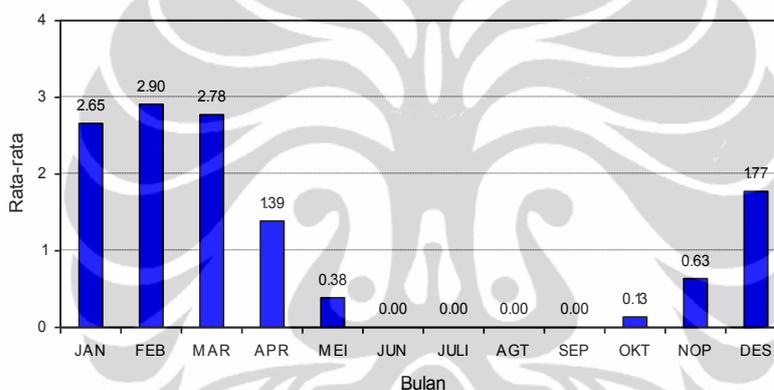
Berdasarkan grafik frekuensi tinggi gelombang ≥ 2 m, rata-rata tinggi gelombang dan maksimum (tahun 2000-2010) di perairan terbuka Selatan Ekuator Samudera Hindia (gambar 4.31), tingkatan rawan gelombang tinggi puncaknya terjadi pada saat monsun Australia berlangsung yaitu bulan Juni-Juli-Agustus.



Gambar 4.31. Gelombang tertinggi yang pernah terjadi (Hs Abs), rata-rata tinggi gelombang maksimum (Hs Max), rata-rata tinggi gelombang (Hs), Frekuensi tinggi gelombang ≥ 2 m (Frekuensi) tahun 2000-2010 di perairan terbuka Selatan Ekuator

Dilihat dari variasi bulanan sepanjang periode, perairan selatan Samudera Hindia selatan Selat Sunda sampai Jawa merupakan daerah paling rawan sepanjang periode monsun Asia, dengan tingkat kerawanannya tinggi dan sangat

tinggi selama bulan Juni Juli Agustus. Gelombang ekstrim yang terjadi di perairan yang berdekatan dengan Samudera Hindia banyak terjadi pada bulan Desember sampai Maret, pola gelombang ekstrim yang terjadi di wilayah ini kemungkinan terjadi akibat adanya badai tropis yang terjadi di Samudera Hindia. Berdasarkan data dari BMKG (2012), secara klimatologis, periode siklon tropis di wilayah Samudera Hindia yang paling sering terjadi pada bulan Februari yaitu 122 kejadian selama 42 tahun, dengan rata-rata kejadian mencapai 2,9 kejadian per tahun. Bulan Desember yang merupakan bulan teraktif kedua, selama 42 tahun terdapat 76 kejadian siklon tropis dengan nilai rata-rata sebesar 1,8 kejadian per tahun. Pada bulan Juni dan Agustus terjadi frekuensi terkecil dimana selama 42 tahun tidak pernah sekalipun terjadi siklon tropis (gambar 4.32).



Gambar 4.32 Frekuensi Badai Tropis di BBS, 1964 – 2005, area : 0 - 30⁰ LS, 90 - 150⁰ BT [BMKG, 2012]

Berdasarkan pola rata-rata tinggi gelombang (H_s) dan frekuensi kejadian gelombang ≥ 2 meter, menunjukkan bahwa karakteristik gelombang dan daerah rawan gelombang tinggi di wilayah perairan Indonesia berasosiasi dengan siklus angin monsun Asia dan Australia baik secara temporal dan spasial atau luasannya. Bayong (2008), juga menjelaskan bahwa fenomena monsun sangat mempengaruhi kondisi perairan Indonesia dalam segala aspek, terutama kondisi oseanografis lapisan atas.

Daerah-daerah rawan gelombang tinggi diatas 2 meter lebih banyak berada di perairan Indonesia yang berbatasan dengan lautan terbuka, diantaranya perairan yang berdekatan dengan Samudera Pasifik, Samudera Hindia dan Laut Cina Selatan, oleh karena itu dalam kegiatan kelautan di perairan yang memiliki

potensi gelombang tinggi, peta potensi daerah rawan gelombang tinggi dapat di implementasikan sebagai acuan dalam menunjang perencanaan kegiatan di laut yang lebih baik, sehingga faktor efisiensi dan keselamatan dapat terjaga.

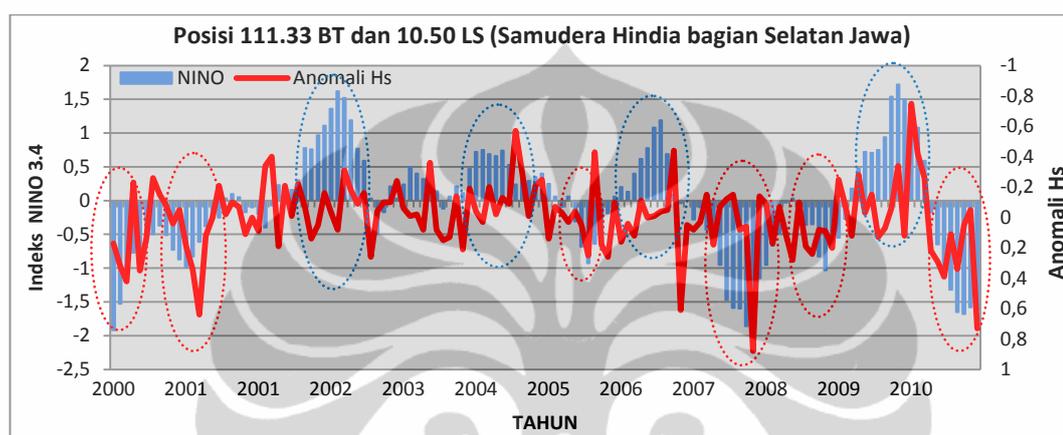
Kejadian gelombang ekstrim (absolut) mempunyai pola dan fluktuasi yang bervariasi setiap bulannya dan tidak selalu bersesuaian dengan siklus monsun, dugaan sementara hal ini dapat disebabkan oleh adanya peran siklon tropis yang terjadi di Samudera Pasifik maupun di Samudera Hindia, akan tetapi diperlukan penelitian lebih lanjut, untuk mengetahui bagaimana peranan dan pengaruh siklon tropis terhadap intensitas gelombang ekstrim di perairan Indonesia

4.2.2 Hubungan ENSO dan IODM dengan tinggi gelombang

Pengaruh fenomena ENSO terhadap wilayah perairan Indonesia berdasarkan nilai koefisien korelasi spasial antara indeks Nino 3.4 dengan anomali gelombang di wilayah perairan Indonesia selama 11 tahun (gambar 4.25) menunjukkan korelasi paling tinggi terdapat di wilayah tertentu perairan Indonesia diantaranya untuk wilayah perairan Utara Maluku sampai ke Samudera Pasifik berkorelasi positif sebesar 0.4, dan di perairan Selatan Jawa dengan nilai korelasi sekitar -0.4. Sedangkan untuk perairan laut Indonesia yang lain, pengaruh ENSO tidak terlalu kuat terhadap variasi tinggi gelombang.

Nilai korelasi ini mengartikan bahwa variasi tinggi gelombang untuk wilayah perairan Utara Laut Maluku sampai ke Samudera Pasifik bagian Barat bersesuaian dengan terjadinya fenomena ENSO dengan tingkatan korelasi lemah, dimana ketika terjadi anomali suhu permukaan laut (SPL) Nino 3.4 positif (+) atau disebut dengan El Nino, tinggi gelombang di wilayah perairan tersebut lebih tinggi dari rata-ratanya, sebaliknya ketika anomali SPL Nino 3.4 bernilai negatif (-) atau disebut dengan La Nina tinggi gelombang di wilayah perairan tersebut lebih rendah. Sedangkan untuk wilayah di perairan Selatan Jawa, variasi tinggi gelombangnya berkorelasi negatif atau berlawanan dengan terjadinya anomali ENSO dengan tingkatan korelasi lemah, dimana ketika anomali SPL Nino 3.4 negatif, tinggi gelombang di wilayah perairan tersebut akan lebih tinggi dari rata-ratanya, sebaliknya ketika anomali SPL positif maka tinggi gelombang di wilayah perairan tersebut lebih rendah dari rata-ratanya.

Grafik perbandingan SPL Nino 3.4 dan tinggi gelombang pada lokasi dengan nilai korelasi tertinggi (gambar 4.33) dapat dilihat bahwa di wilayah Samudera Hindia bagian Selatan Jawa mempunyai pola yang berkebalikan, dimana pada saat terjadinya La Nina maka anomali tinggi gelombang di perairan tersebut positif (gambar 4.33 ditandai dengan lingkaran merah), dan sebaliknya ketika terjadi El Nino, anomali tinggi gelombang di perairan tersebut negatif (gambar 4.33 ditandai dengan lingkaran biru).



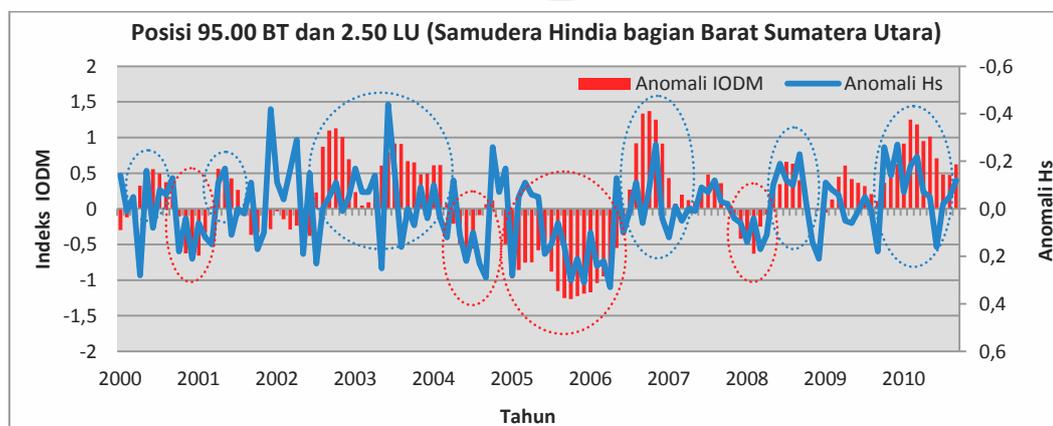
Gambar 4.33. Perbandingan anomali tinggi gelombang (H_s) dengan indeks Nino 3.4 pada titik korelasi tertinggi (posisi 111.33 BT dan 10.50 LS)

Kondisi ini merupakan akibat adanya perubahan atau anomali suhu permukaan laut yang terjadi di Pasifik ekuator, sehingga terjadi perubahan arah dan kecepatan angin dan pergeseran kolom penaikan dan penurunan udara dari sirkulasi angin zonal (Walker), menurut Edvin Aldrian (2008), episode El Nino dimulai pada bulan April dan mencapai puncaknya pada bulan Agustus dan September, pada bulan Juni, Juli, Agustus (JJA) pengaruh angin monsun Australia lebih dominan dari Tenggara menuju Barat Laut melintasi di wilayah perairan Indonesia, hal ini menjelaskan bahwa ketika terjadi El Nino, maka angin monsun Australia akan melemah, sehingga tinggi gelombang di perairan Samudera Hindia bagian Selatan Jawa lebih rendah dari rata-ratanya, sedangkan perairan Indonesia yang berdekatan dengan Samudera Pasifik tinggi gelombangnya akan lebih tinggi. Sebaliknya, ketika terjadi La Nina, maka angin zonal dari Pasifik akan semakin meningkatkan persistensi arah dan kecepatan angin monsun Australia, sehingga tinggi gelombang di perairan Selatan Jawa lebih tinggi dari rata-ratanya,

sedangkan di wilayah perairan yang berdekatan dengan perairan Samudera Pasifik tinggi gelombangnya lebih rendah.

Sedangkan pengaruh terjadinya *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) terhadap wilayah perairan Indonesia berdasarkan nilai koefisien korelasi spasial (gambar 4.26) secara umum, menunjukkan bahwa terjadinya fenomena IODM tidak berpengaruh besar terhadap kondisi gelombang laut di wilayah perairan Indonesia, dimana nilai rata-rata korelasinya sangat lemah, hanya berkisar antara -0.2 sampai 0.2. Terjadinya anomali IODM di Samudera Hindia dengan nilai korelasi paling tinggi berada di wilayah perairan barat Sumatera Utara dengan nilai korelasi -0,4 sampai -0,5 dengan tingkatan sedang. Hal ini menjelaskan bahwa ketika terjadi anomali IODM negatif (-), maka tinggi gelombang yang terjadi di wilayah perairan barat Sumatera Utara juga akan lebih tinggi dari rata-ratanya, sedangkan pada saat nilai anomali IODM positif (+) tinggi gelombang di perairan tersebut akan lebih rendah.

Dari grafik perbandingan anomali IODM dan anomali tinggi gelombang pada nilai korelasi tertinggi (gambar 4.34) dapat dilihat bahwa untuk wilayah Samudera Hindia bagian barat Sumatera Utara pada posisi sekitar 95.00 BT dan 2.50 LU mempunyai pola yang berkebalikan, dimana pada saat terjadinya IODM negatif maka anomali tinggi gelombang di perairan tersebut positif (gambar 4.34 ditandai dengan lingkaran merah), dan sebaliknya ketika terjadi IODM positif, anomali tinggi gelombang di perairan tersebut negatif (gambar 4.34 ditandai dengan lingkaran biru).



Gambar 4.34. Perbandingan anomali tinggi gelombang (H_s) dengan indeks IODM pada titik korelasi tertinggi (posisi 95.00 BT dan 2.50 LU)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa dan pembahasan disimpulkan bahwa :

1. Karakteristik gelombang di perairan Indonesia mempunyai pola yang berasosiasi dengan siklus angin musonal baik secara spasial dan temporal. Pola variasi bulanan tinggi gelombang dan frekuensi gelombang tinggi di sebagian besar wilayah perairan Indonesia mempunyai dua puncak yang terjadi pada periode monsun Asia yaitu pada bulan Desember, Januari dan Februari (DJF) dan pada periode monsun dingin Australia Juni-Juli-Agustus (JJA). Untuk wilayah perairan yang berhubungan dengan Laut Cina Selatan (Selat Karimata, Laut Natuna) dan Samudera Pasifik (Laut Sulawesi, Laut Maluku dan perairan utara Papua), Laut Jawa, Laut Flores dan selat Makassar puncak tertinggi terjadi pada periode monsun Australia. Untuk wilayah Laut Banda, Laut Arafuru dan perairan yang berada di Samudera Hindia (Laut Timor, Laut Sawu) puncak tertinggi terjadi pada periode monsun Australia.
2. Daerah rawan gelombang tinggi pada periode monsun Asia (Desember, Januari, Februari) lebih luas daripada daerah rawan gelombang tinggi pada periode monsun Australia (Juni, Juli, Agustus). Sedangkan pada musim peralihan antar kedua monsun sebagian besar perairan Indonesia tidak rawan gelombang. Pada periode monsun Asia, daerah rawan gelombang tinggi di perairan Indonesia terdapat di Selat Karimata, Laut Natuna, Laut Sulawesi bagian timur, perairan kepulauan Sangihe Talaud, perairan utara Halmahera dan perairan utara Papua), Laut Jawa, Laut Flores, Laut Banda, Laut Arafuru dan wilayah perairan selatan Bengkulu ke Timur hingga perairan selatan Nusatenggara Timur. Sedangkan Pada periode monsun Australia, daerah rawan gelombang tinggi di perairan Indonesia terdapat sebagian besar wilayah perairan yang berada di Samudera Hindia meliputi perairan Aceh, perairan Barat Sumatera ke timur hingga perairan Nusatenggara Timur bagian selatan, Laut Banda, Laut Arafuru dan

sebagian Laut Jawa serta perairan kepulauan Sangihe Talaud dan perairan Halmahera utara pada bulan Juli dan Agustus.

3. Pada periode peralihan antar monsun sebagian besar perairan Indonesia umumnya tidak rawan gelombang tinggi. Daerah rawan gelombang tinggi pada periode peralihan dari monsun Asia ke monsun Australia (Maret, April, Mei), hanya terdapat di perairan lepas pantai selatan Bengkulu, lepas pantai selatan Jawa ke timur hingga selatan Nusa Tenggara Barat, Laut Banda dan laut Arafuru terutama Mei, Laut Natuna dan perairan kepulauan Sangihe Talaud, perairan Halmahera bagian utara, perairan lepas pantai Papua pada bulan Maret. Sedangkan pada periode transisi dari monsun Australia ke Monsun Asia, daerah rawan gelombang tinggi terdapat di perairan Aceh, perairan Barat Sumatera, perairan selatan Jawa pada bulan September dan Oktober serta Laut Natuna dan perairan Sangihe Talaud, perairan laut lepas utara Halmahera ke timur hingga perairan laut lepas utara Teluk Cendrawasih pada bulan Nopember.
4. Korelasi El Nino/La Nina dengan tinggi gelombang di wilayah perairan Indonesia umumnya lemah. Daerah yang berkorelasi positif paling tinggi (0.4) terdapat di wilayah perairan Indonesia Timur terutama yang berada di Samudera Pasifik, dimanatinggi gelombang di wilayah perairan tersebut lebih tinggi dari rata-ratanya pada saat El Nino. Daerah yang berkorelasi negatif (-0.4) terdapat di wilayah perairan Samudera Hindia selatan Jawa, dimanatinggi gelombang di wilayah perairan tersebut lebih tinggi dari rata-ratanya pada saat La Nina.
5. Korelasi IODM dengan tinggi gelombang di perairan Indonesia umumnya sangat lemah. Daerah dengan korelasi negatif yang paling tinggi (-0.5) terdapat di wilayah perairan barat Sumatera bagian Utara, dimanatinggi gelombang di wilayah perairan tersebut lebih tinggi dari rata-ratanya pada saat IODM negatif.

5.2 Saran

1. Studi ini hanya didasarkan data dalam periode 11 tahun, sehingga belum dapat merepresentasikan seluruh kejadian ENSO dan IODM dengan berbagai intensitasnya, oleh karena itu perlu dilakukan studi dengan data yang lebih panjang.
2. Dalam studi ini adanya gelombang ekstrim yang terkait dengan badai tropis belum dikaji, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian secara khusus tentang dampak badai tropis terhadap tinggi gelombang di perairan Indonesia.

DAFTAR ACUAN

- Aldrian, E. (2008). *Meteorologi Laut Indonesia*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).
- Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data (AVISO). July, 2011. *Gridded Wind/Wave products*. <http://www.aviso.oceanobs.com/en/data/products/wind-waves-products/mswhmwind/index.html>.
- Ashok, K., Guan, Z., and T. Yamagata. (2001). Impact of the Indian Ocean Dipole on the relationship between the Indian monsoon rainfall and ENSO. *Geophysical Research Letters*, 28, 4499-4502.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). April, 2012. *Learn About TC, Musim Siklon di Sekitar Indonesia*. <http://meteo.bmkg.go.id/siklon/learn/06/id>.
- Bayong, Tj.H.K. (2008). *Sains Atmosfer*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Bayong, Tj.H.K. (1999). *Klimatologi Umum*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- CycloneXtreme. July, 2011. *Changements climatiques lors des phénomènes El Nino et La Nina*. <http://www.cyclonextreme.com/meteorologieelnino.htm>.
- Dephub. (2009). *Laporan Akhir Kajian Analisis Trend kecelakaan transportasi Laut 2003-2008*. June, 2011. http://www.dephub.go.id/knkt/ntsc_maritime/Laut/Publications/Laporan%20Analisis%20Trend%20Kecelakaan%20Laut%202003-2008.pdf.
- Hadikusumah. (2009). Karakteristik Gelombang dan Arus di Eretan Indramayu. *Jurnal Makara Seri Sains*, 13(2), 163-172. Universitas Indonesia. Jakarta.
- 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. Mller, 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)*. *Ergänzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift Reihe A(8) (Nr. 12): 95*.

- Hasselmann K. (1963), On the non-linear energy transfer in a gravity wave spectrum, Part 2. Conservation theorems; wave-particle analogy; irreversibility. *Journal of Fluid Mechanics*, 15 (2): 273–281.
- Hasselmann K. (1963), On the non-linear energy transfer in a gravity waves pectrum, Part 3. Evaluation of the energy flux and swell-sea interaction for a Neumann spectrum. *Journal of Fluid Mechanics*, 15 (3): 385–398.
- Holthuijsen L.H. (2007). *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. New York: Cambridge University Press.
- Japan Agency for Marine-Earth Science & Technology (JAMSTEC). June, 2011. http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/reynolds_monthly_dmi.txt.
- National Center for Environmental Prediction (NCEP), NOAA. *NCEP Operational Data (WRF inputs): 1-degree FNLs*. January, 2010. <http://dss.ucar.edu>.
- National Center for Environmental Prediction (NCEP), NOAA. *Monthly Atmospheric & SST Indices*. June, 2011. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst3b.nino.mth.ascii>.
- National Geophysical Data Center (NGDC), NOAA. *Combined Bathymetry and Topografi*. December 2010. <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/>
- Nontji, A. (2005). *Laut Nusantara*. 4th ed. Jakarta: Jambatan.
- Pierson, W. J., and L. I. Moskowitz. (1964). Proposed spectral form for fully developed seas based on the similarity theory of S. A. Kitaigorodskii. *Journal Geophys. Res.* 69, 5181-5190.
- Ramage, C. S. (1971). *Monsoon Meteorology*. San Diego: Academic Press
- Saji N.H, B.N. Goswami, P.N. Vinayachandran, and T. Yamaghata. (1999). A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, Vol 401.
- Sugiyono. (2007). *Metode Penelitian Administrasi*. Bandung: Alfabeta.
- Suratno. (1997). *Model Numerik Prakiraan Gelombang Permukaan laut untuk Perairan Indonesia dan Sekitarnya*. Tesis, Program studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Indonesia. Jakarta.
- World Meteorolgal Organization (WMO). (2001). *Guide the marine Meteorological Services, Third edition*, WMO no.471. Secretariat of the World Meteorological Organisation, Geneva-Switzerland: Author.

World Meteorological Organization (WMO). (1998). *Guide to Wave Forecasting and Analysis*, WMO-No. 702, Secretariat of the World Meteorological Organisation, Geneva-Switzerland: Author.

World Meteorological Organization (WMO). (1994). *Guide to the Application of Marine Climatology*, WMO-No.781, Secretariat of the World Meteorological Organisation. Geneva-Switzerland: Author.