



UNIVERSITAS INDONESIA

**VALIDASI TINGGI GELOMBANG SIGNIFIKAN MODEL
GELOMBANG WINDWAVE-5 DENGAN MENGGUNAKAN
HASIL PENGAMATAN SATELIT ALTIMETRI MULTIMISI**

TESIS

**MIA KHUSNUL KHOTIMAH
0906577103**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM PASCA SARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU KELAUTAN
DEPOK
MEI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**VALIDASI TINGGI GELOMBANG SIGNIFIKAN MODEL
GELOMBANG WINDWAVE-5 DENGAN MENGGUNAKAN
HASIL PENGAMATAN SATELIT ALTIMETRI MULTIMISI**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister
sains**

**MIA KHUSNUL KHOTIMAH
0906577103**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM PASCA SARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU KELAUTAN
DEPOK
MEI 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 : MIA KHUSNUL KHOTIMAH

NPM : 0906577103

Tanda tangan : 

Tanggal : 23 Mei 2012

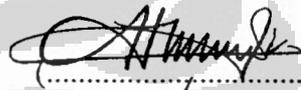
HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Mia Khusnul Khotimah
NPM : 0906577103
Program Studi : Magister Ilmu Kelautan
Judul Tesis : Validasi tinggi gelombang signifikan model gelombang Windwave-5 dengan menggunakan hasil pengamatan satelit altimetri multimisi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Magister Ilmu Kelautan Fakultas MIPA, Universitas Indonesia.

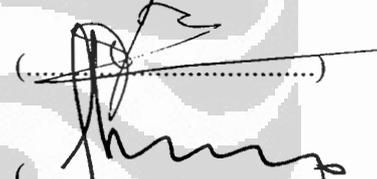
DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Edvin Aldrian



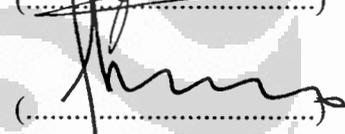
(.....)

Pembimbing : Dr. Rohmatullah, S.Si, M.Eng



(.....)

Penguji : Dr. Eko Kusratmoko, M.Sc



(.....)

Penguji : Dr. Djoko Triyono



(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 23 Mei 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah, saya panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini dengan judul "Validasi model gelombang Windwave-5 dengan menggunakan hasil pengamatan satelit altimetri multimisi". Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Megister Sains Program Studi Magister Ilmu Kelautan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Saya sadar bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Dr. Edvin Aldrian dan Dr. Rahmatullah, S.Si, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Tim Penguji yang terdiri atas Dr. Eko Kusratmoko, M.Sc dan Dr. Djoko Triyono dengan masukan dan saran yang sangat membantu dalam memperbaiki tesis ini;
3. Ibu Dr. Ir. Sriworo B. Harijono, M.Sc., selaku Kepala BMKG dan segenap pimpinan BMKG yang telah memberikan ijin dan dukungan yang begitu besar selama saya mengikuti pendidikan di Magister Ilmu Kelautan Universitas Indonesia, termasuk Dr. Widada Sulistya, Bpk. Drs. Tuwamin Mulyono, dan Bpk. A. Fachri Radjab, M.Si, yang selalu memberi kemudahan dan keleluasaan waktu selama masa pendidikan dan juga pengerjaan tugas akhir ini;
4. Sdr. Iman dari Sub Bidang Informasi Meteorologi Maritim BMKG, Sdr. Ramlan, M.Si., Sdr. Wido Hanggoro, S.Si, Sdr. Andersen Panjaitan, Sdr. Zainal Abidin, dan Sdr. Eko Listiaji yang telah banyak membantu baik dalam perolehan maupun pengolahan data yang saya perlukan;
5. Bpk. Drs. A. Harsono, M.Eng., Ibu Dra. Tuty Handayani, M.S., Bpk. Ir. Titis Busono, dan segenap staf pengajar Magister Ilmu Kelautan

Universitas Indonesia yang memberi bekal pengetahuan bagi saya selama masa perkuliahan hingga selesai;

6. Rekan kerja, sahabat dan semua pihak yang tidak dapat saya sebut satu persatu, dukungan dan bantuannya dalam segala hal yang sangat berarti bagi saya; serta tentu saja
7. Suami tercinta yang selalu mendukung penuh, mendoakan, dan tak putus-putus menyemangati, orang tua dan keluarga tersayang yang selalu memberikan dukungan material dan moral bagi saya.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Mei 2012

Penulis,

Mia Khusnul Khotimah

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

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

Nama : Mia Khusnul Khotimah
NPM : 0906577103
Program Studi : Magister Ilmu Kelautan
Departemen : Biologi
Fakultas : MIPA
Jenis Karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Reight*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**VALIDASI TINGGI GELOMBANG SIGNIFIKAN MODEL
GELOMBANG WINDWAVE-5 DENGAN MENGGUNAKAN HASIL
PENGAMATAN SATELIT ALTIMETRI MULTIMISI**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan 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 : 23 Mei 2012

Yang menyatakan



Mia Khusnul Khotimah

ABSTRAK

Nama : Mia Khusnul Khotimah
Program Studi : Magister Ilmu Kelautan
Judul : Validasi Tinggi Gelombang Signifikan Model Gelombang
Windwave-5 dengan Menggunakan Hasil Pengamatan Satelit
Altimetri Multimisi

Tesis ini dilakukan untuk mengidentifikasi performa model gelombang *WindWaves-5* dalam mensimulasikan tinggi gelombang signifikan di wilayah perairan Indonesia dan sekitarnya. Data yang digunakan adalah data angin ketinggian 10 meter dari NCEP (*National Center for Environmental Prediction*) selama tahun 2010. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa secara umum model gelombang *WindWaves-5* menghasilkan data tinggi gelombang signifikan yang sesuai dengan data hasil pengamatan satelit altimetri multimisi. Hasil validasi model gelombang ini sangat baik pada kondisi-kondisi gelombang tinggi daripada gelombang yang rendah, dan di periode Monsoon Asia dan Australia juga terlihat lebih baik daripada periode transisi. Hasil validasi model ini di wilayah Laut Cina Selatan, Samudra Pasifik sebelah utara Papua dan Laut Timor hingga Laut Arafuru mendapatkan hasil yang sangat baik di sepanjang tahun, namun sebaliknya, pada wilayah Laut Mindanau, Teluk Tomini dan Teluk Berau validasi model *WindWaves-5* kurang baik.

Kata kunci:

Model gelombang, satelit, altimetri, validasi, gelombang laut, tinggi gelombang signifikan.

ABSTRACT

Name : Mia Khusnul Khotimah
Study Program : Magister Ilmu Kelautan
Title : Validation of significant wave height of Windwave-5 wave model using multimission satellite altimeter data

This study is aimed to identify *WindWave-5* wave model performance in simulating significant wave height in Indonesia waters. Surface wind data from NCEP (*National Center for Environmental Prediction*) during 2010 was used as input data. Based on the study, it is known that generally *WindWave-5* model is able to provide significant wave height which comply with significant wave height provided by multimission altimeter satellite. Validation of the model showed a better result at higher than lower wave height, and also better in Asian and Australian Monsoon period than in transition period. Validation result in South China Sea, Pasific Ocean in the northern Papua, Timor Sea and Arafuru Sea is always good, though in the contrary, in Mindanau Sea, Tomini Bay and Berau Bay the validation result is always worst.

Key words:

Wave model, NCEP, satellite, altimeter, significant wave height.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan dan Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	6
1.5. Manfaat Penelitian.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Pentingnya Informasi Tinggi Gelombang.....	7
2.2. Model Gelombang <i>WindWaves-5</i>	8
2.2.1. Spesifikasi Model Gelombang <i>WindWaves-5</i>	9
2.2.2. Persamaan yang Digunakan dalam Model Gelombang <i>WindWaves-5</i>	10
2.2.3. Evaluasi Model Gelombang <i>WindWaves-5</i>	14
2.3. Satelit Altimetri Multimisi	16
2.3.1. Pengukuran Tinggi Gelombang Signifikan dengan Satelit Altimetri.....	18

2.4. Iklim di Indonesia.....	20
2.4.1. Komponen Iklim di Indonesia	21
2.4.1.1. Monsoon.....	21
2.4.1.2. El Nino dan La Nina	24
2.4.1.3. Siklon Tropis.....	25
 BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	 29
3.1. Data dan Perangkat yang Digunakan	29
3.2. Pengolahan Data dan Analisis	30
3.2.1. Pemodelan.....	31
3.2.1.1. <i>Initial Setting</i>	33
3.2.1.2. Inisiasi Model.....	33
3.2.1.3. <i>Warm Start Analysis</i>	33
3.2.1.4. Setting Ekstraksi dan Ekstraksi Data	34
3.2.2. Pengolahan Data Satelit.....	35
3.2.3. Validasi dan Uji Akurasi	36
3.2.4. Analisis Statistik dan Spasial.....	39
3.2.4.1. Analisis Statistik.....	39
3.2.4.2. Analisis Spasial	42
3.2.5. Analisis Kualitatif.....	46
3.2.5.1. Analisis Implikasi Hasil Validasi.....	46
3.2.5.2. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya	47
 BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	 49
4.1. Hasil.....	49
4.1.1. Perbandingan SWH_{a1} dengan SWH_{w1}	49
4.1.1.1. Metode Agregasi	49
4.1.1.2. Metode <i>Point to Point</i>	65
4.1.2. Perbandingan SWH_{a2} dengan SWH_{w2}	80
4.1.2.1. Hasil Perbandingan Pada Tiap Kategori Periode Musim.....	80
4.1.2.2. Hasil Perbandingan Pada Tiap Kategori Tipe Iklim	88
4.1.2.3. Hasil Perbandingan Pada Tiap Kategori Kedalaman Laut.....	89

4.1.2.4. Hasil Perbandingan Pada Tiap Kategori Lokasi Laut Terhadap Pulau-Pulau di Sekitarnya.....	91
4.2. Pembahasan	92
4.2.1. Hasil Validasi Model Gelombang <i>WindWaves-5</i>	92
4.2.1.1. Korelasi dan Signifikansi Data.....	92
4.2.1.2. RMSE dan MAE	93
4.2.1.3. Tingkat Keyakinan.....	94
4.2.2. Perbandingan Metode Agregasi dengan Metode <i>Point to Point</i>	97
4.2.3. Pengaruh Perbaikan Resolusi terhadap Hasil Validasi.....	100
4.2.3.1. Karakteristik Khusus <i>Limited Area Model</i>	100
4.2.3.2. Pengaruh <i>Lateral Boundary Condition</i> pada Penelitian.....	102
4.2.4. Hubungan Antara Hasil Validasi dan Implikasinya Berkaitan dengan Karakteristik Laut Tertentu.....	105
4.2.4.1. Siklon Tropis.....	105
4.2.4.2. El Nino dan La Nina	105
4.2.4.3. Monsoon.....	105
4.2.5. Perbandingan Antara Hasil Validasi yang Didapat dengan Penelitian Sebelumnya	106
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	108
5.1. Kesimpulan.....	108
5.2. Saran	109
DAFTAR ACUAN	110
LAMPIRAN	115

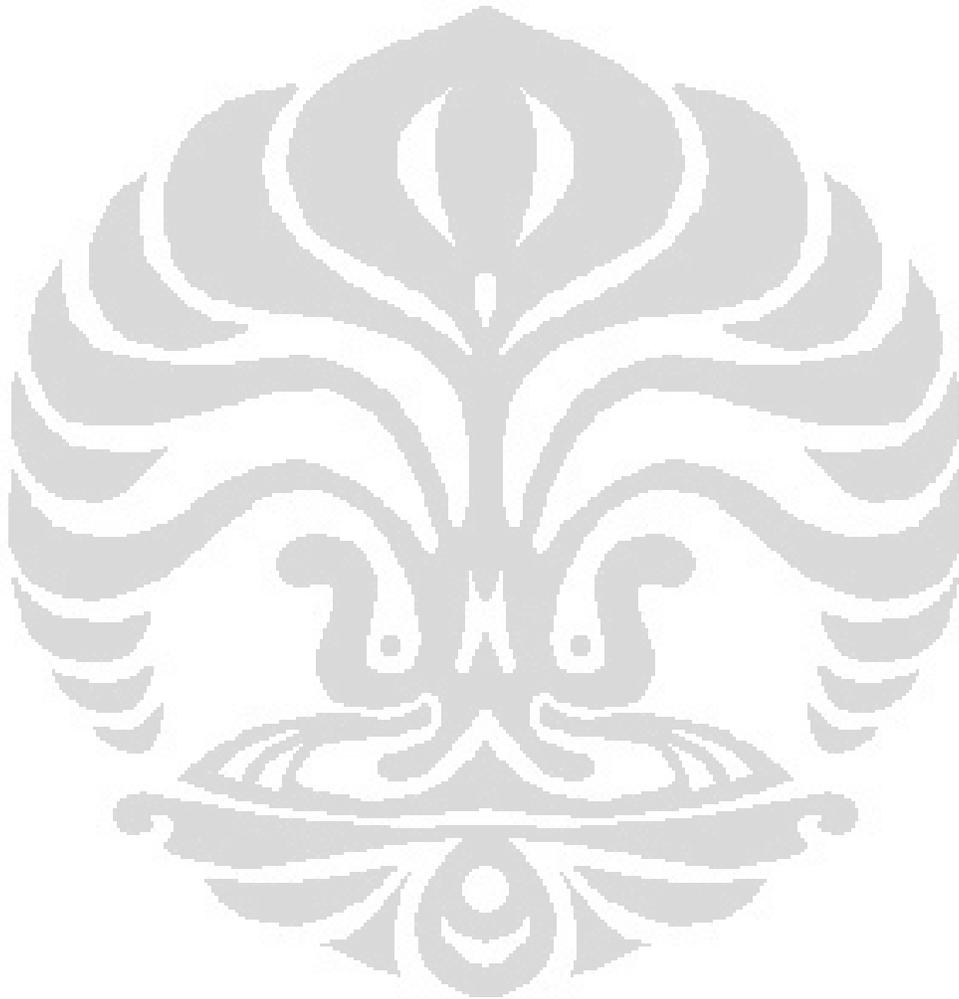
DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Rekapitulasi Data Kecelakaan Kapal Tahun 2009.....	7
Tabel 2.1. Produk Keluaran Model Gelombang <i>WindWaves-5</i>	9
Tabel 2.2. Satelit yang Datanya Digunakan dalam Penelitian	17
Tabel 3.1. Perbedaan Pemodelan Tahap I dan II	31
Tabel 3.2. Pedoman interpretasi koefisien korelasi	39
Tabel 3.3. Pedoman interpretasi RMSE dan MAE	41
Tabel 3.4. Pedoman penafsiran nilai Gabungan RMSE-Korelasi.....	41
Tabel 3.5. Jumlah titik data yang digunakan dalam pengelompokan	46
Tabel 4.1. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_w dan SWH_a pada tiap periode musim.....	52
Tabel 4.2. Nilai RMSE dan MAE pada tiap periode musim.....	52
Tabel 4.3. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} pada tiap kategori tipe iklim	59
Tabel 4.4. Nilai RMSE dan MAE antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} pada tiap kategori tipe iklim.....	60
Tabel 4.5. Gabungan RMSE-Korelasi antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} pada tiap kategori tipe iklim	60
Tabel 4.6. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} pada tiap kategori kedalaman laut.....	61
Tabel 4.7. Nilai RMSE dan MAE antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} pada tiap kategori kedalaman laut	62

Tabel 4.8. Gabungan RMSE-Korelasi antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} pada tiap kategori kedalaman laut	62
Tabel 4.9. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_w dan SWH_a pada tiap lokasi laut terhadap pulau di sekitarnya.....	63
Tabel 4.10. Nilai RMSE dan MAE pada tiap lokasi laut relatif terhadap pulau di sekitarnya	64
Tabel 4.11. Gabungan RMSE-Korelasi pada tiap lokasi laut relatif terhadap pulau di sekitarnya	65
Tabel 4.12. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} dengan metode <i>point to point</i> pada tiap periode musim	68
Tabel 4.13. Nilai RMSE dan MAE antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} dengan metode <i>point to point</i> pada tiap periode musim.....	68
Tabel 4.14. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} dengan metode <i>point to point</i> pada tiap kategori tipe iklim.....	75
Tabel 4.15. Nilai RMSE dan MAE antara SWH_w dan SWH_a dengan metode <i>point to point</i> pada tiap kategori tipe iklim	76
Tabel 4.16. Gabungan RMSE-Korelasi antara SWH_w dan SWH_a dengan metode <i>point to point</i> pada tiap kategori tipe iklim	76
Tabel 4.17. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara dengan metode <i>point to point</i> pada tiap kategori kedalaman laut	77
Tabel 4.18. Nilai RMSE dan MAE antara SWH_w dan SWH_a dengan metode <i>point to point</i> pada tiap kategori kedalaman laut	77
Tabel 4.19. Gabungan RMSE-Korelasi antara SWH_w dan SWH_a dengan metode <i>point to point</i> pada tiap kategori kedalaman laut	78

Tabel 4.20. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_w dan SWH_a pada tiap lokasi laut terhadap pulau di sekitarnya	78
Tabel 4.21. Nilai RMSE dan MAE pada tiap lokasi laut relatif terhadap pulau di sekitarnya	79
Tabel 4.22. Gabungan RMSE-Korelasi pada tiap lokasi laut relatif terhadap pulau di sekitarnya	79
Tabel 4.23. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_a dan SWH_w beresolusi 5 menit pada tiap periode musim.....	82
Tabel 4.24. Nilai RMSE dan MAE pada tiap periode musim pada wilayah kajian 2 dengan data SWH_w beresolusi 5 menit.....	83
Tabel 4.25. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_w dan SWH_a pada tiap kategori tipe iklim	89
Tabel 4.26. Nilai RMSE, MAE dan Gabungan RMSE-Korelasi pada tiap kategori tipe iklim.....	89
Tabel 4.27. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_w dan SWH_a pada tiap kategori kedalaman laut.....	90
Tabel 4.28. Nilai RMSE, MAE dan Gabungan RMSE-Korelasi pada tiap kategori kedalaman laut	91
Tabel 4.29. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_w dan SWH_a pada tiap kategori lokasi laut terhadap pulau-pulau di sekitarnya.....	91
Tabel 4.30. Nilai RMSE, MAE dan Gabungan RMSE-Korelasi pada tiap kategori lokasi laut terhadap pulau-pulau di sekitarnya	92
Tabel 4.31. Nilai RMSE dan MAE pada tiap periode musim pada tiap kisaran tinggi gelombang.....	93

Tabel 4.32. Wilayah perairan berkaitan dengan performa model gelombang <i>WindWaves-5</i> pada tiap periode musim	95
Tabel 4.33. Perbandingan analisa statistik antara SWH_a dan SWH_w .dengan metode <i>point to point</i> dan agregasi.....	97



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Buoy di wilayah perairan Indonesia [Sumber: WMO, 2008]	3
Gambar 1.2. Wilayah kajian.....	5
Gambar 2.1. Orbit satelit <i>polar orbital</i>	17
Gambar 2.2. Nilai bias dan standar deviasi tinggi gelombang signifikan hasil pengamatan satelit Jason-1 (a), Jason-2 (b) dan Envisat (c)	19
Gambar 2.3. Pembagian tipe iklim di Indonesia berdasarkan pola curah hujan tahunan terdiri dari tipe iklim monsunal (A), ekuatorial (B) dan lokal (C)	21
Gambar 2.4. Klimatologi bulanan OLR dan arah angin 850 mb	23
Gambar 2.5. Koefisien korelasi antara anomali suhu muka laut di periode El Nino / La Nina dengan tinggi gelombang signifikan	25
Gambar 2.6. Rata-rata kejadian siklon tropis wilayah sebelah Utara Indonesia.....	26
Gambar 2.7. Rata-rata kejadian siklon tropis wilayah sebelah Utara Indonesia.....	27
Gambar 2.8. Wilayah penjejukan siklon tropis periode 1985 - 2005.....	28
Gambar 3.1. Alur pikir penelitian	29
Gambar 3.2. Wilayah Masukan I dan Wilayah Kajian I.....	32
Gambar 3.3. Wilayah Masukan II dan Wilayah Kajian II	32
Gambar 3.4. Diagram alur pemodelan tahap I	35
Gambar 3.5. Diagram alur pengolahan data satelit.....	36

Gambar 3.6. Diagram metode agregasi yang diterapkan pada model beresolusi 30 menit.	37
Gambar 3.7. Sebaran titik data yang digunakan dalam penelitian.....	38
Gambar 3.8. Diagram alur proses validasi dan uji akurasi	38
Gambar 3.9. Pembagian wilayah Indonesia menjadi 3 (tiga) wilayah tipe musim yaitu tipe musonal (A), tipe ekuatorial (B), serta tipe lokal (C).	43
Gambar 3.10. Pembagian wilayah perairan di sekitar Indonesia berdasarkan kedalamannya menjadi 3 (tiga) yaitu wilayah dengan kedalaman 0 – 200 meter, kedalaman 200 – 1000 meter dan kedalaman lebih dari 1000 meter.	44
Gambar 3.11. Pembagian wilayah perairan di sekitar Indonesia berdasarkan wilayah interest menjadi menjadi 3 (tiga) yaitu laut lepas, perairan dekat pantai dan perairan antar pulau.	45
Gambar 4.1. Peta koefisien korelasi selama periode satu tahun (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).....	50
Gambar 4.2. Peta RMSE selama periode satu tahun (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).	54
Gambar 4.3. Peta MAE selama periode satu tahun (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).	56
Gambar 4.4. Peta Gabungan RMSE-Korelasi selama periode satu tahun (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).....	58

Gambar 4.5. Pembagian wilayah perairan di sekitar Indonesia menjadi menjadi 3 (tiga) wilayah tipe musim yaitu tipe monsun, tipe ekuatorial, serta tipe lokal.....	59
Gambar 4.6. Peta koefisien korelasi antara SWH_{w1} dengan SWH_{a1} dengan metode <i>point to point</i> selama periode satu tahun (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).....	67
Gambar 4.7. Peta RMSE antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} dengan metode <i>point to point</i> selama periode satu tahun (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).....	70
Gambar 4.8. Peta MAE antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} dengan metode <i>point to point</i> selama periode satu tahun (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).....	72
Gambar 4.9. Peta Gabungan RMSE - Korelasi antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} dengan metode <i>point to point</i> selama periode satu tahun (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).....	74
Gambar 4.10. Peta koefisien korelasi antara SWH_a dan SWH_w beresolusi 5 menit pada periode tahun 2010 (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).....	81
Gambar 4.11. Peta RMSE antara SWH_a dan SWH_w beresolusi 5 menit pada periode tahun 2010 (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).....	84

Gambar 4.12. Peta MAE antara SWH_a dan SWH_w beresolusi 5 menit pada periode tahun 2010 (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).....	85
Gambar 4.13. Peta Gabungan RMSE - Korelasi antara SWH_a dan SWH_w beresolusi 5 menit pada periode tahun 2010 (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).....	87
Gambar 4.14. Pembagian wilayah perairan di sekitar Indonesia menjadi menjadi 3 (tiga) wilayah tipe musim yaitu tipe monsunial, tipe ekuatorial, serta tipe lokal pada wilayah Kajian 2	88
Gambar 4.15. Diagram scatterplot perbandingan SWH_{a1} dengan SWH_{w1} dengan metode <i>point to point</i> dan metode agregasi.....	99
Gambar 4.16. 5 (lima) macam wilayah masukan yang digunakan dalam studi Treadon dan Petersen (1993)	101
Gambar 4.17. Perbandingan antara domain interior dan domain masukan pada kajian ini maupun rekomendasi Warner pada Pemodelan Tahap I	102
Gambar 4.18. Perbandingan antara domain interior dan domain masukan pada kajian ini maupun rekomendasi Warner pada Pemodelan Tahap II.....	103
Gambar 4.19. Perbandingan peta koefisien korelasi (kiri atas), RMSE (kanan atas), MAE (kiri bawah) dan peta Gabungan RMSE-Korelasi (kanan bawah) data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit	104

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 DIAGRAM SCATTEROMETER VALIDASI SWH_{w1} TERHADAP SWH_{a1}	115
LAMPIRAN 2 DIAGRAM SCATTEROMETER PERBANDINGAN SWH_{a1} DENGAN SWH_{w1} DENGAN METODE POINT TO POINT DAN METODE AGREGASI	120
LAMPIRAN 3 DIAGRAM SCATTEROMETER VALIDASI SWH_{w2} TERHADAP SWH_{a2}	125
LAMPIRAN 4 PERBANDINGAN PETA KOEFISIEN KORELASI DATA BERESOLUSI 5 MENIT DENGAN DAN 30 MENIT	130
LAMPIRAN 5 PERBANDINGAN PETA RMSE DATA BERESOLUSI 5 MENIT DENGAN DAN 30 MENIT	133
LAMPIRAN 6 PERBANDINGAN PETA MAE DATA BERESOLUSI 5 MENIT DENGAN DAN 30 MENIT	136
LAMPIRAN 7 PERBANDINGAN PETA GABUNGAN RMSE- KORELASI DATA BERESOLUSI 5 MENIT DENGAN DAN 30 MENIT	139

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

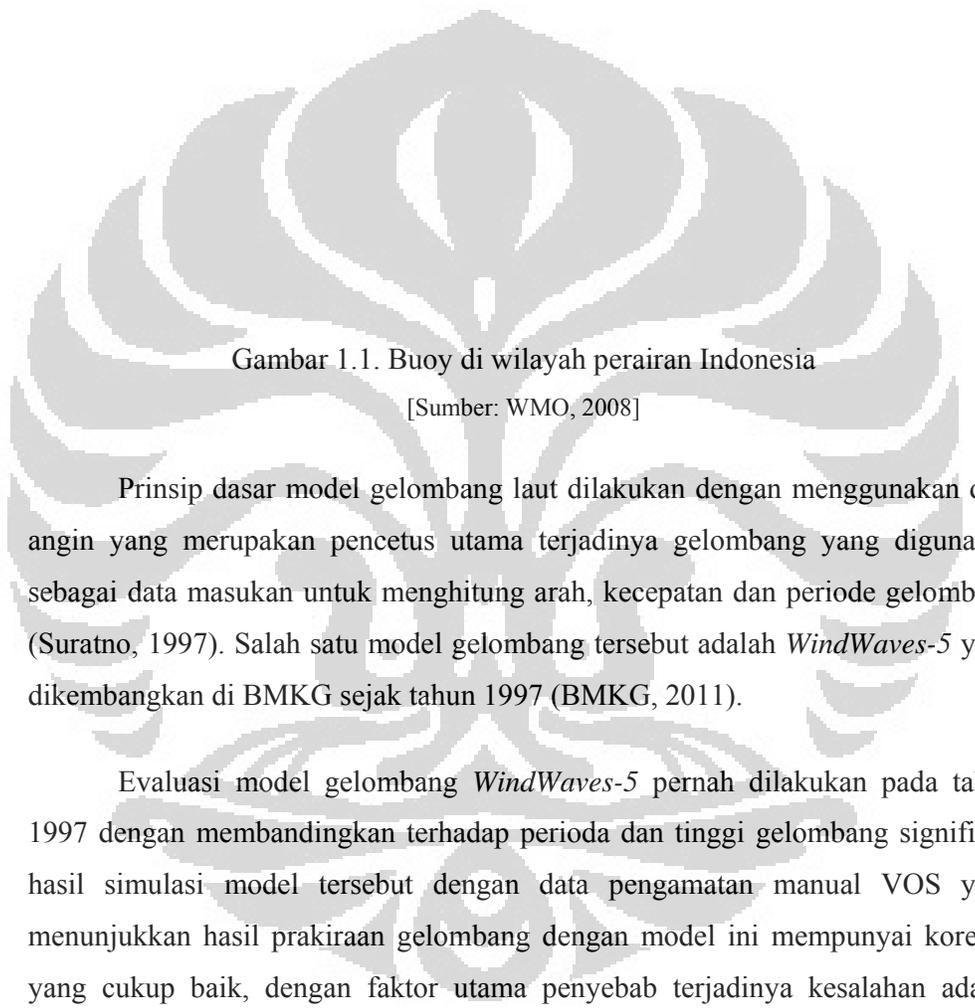
Wilayah Indonesia yang terbentang di antara bujur 85°E - 141°E dan lintang 11°S - 6°N (Bakosurtanal, 2007) dengan luas wilayah yang sebagian besar berupa laut (70%) dikenal sebagai '*maritime continent*' (Ramage, 1971). Berbagai kegiatan yang dilakukan di atas lautan, transportasi, berbagai eksploitasi sumber daya laut hingga keperluan pertahanan dan keamanan menyebabkan pengamatan cuaca kelautan menjadi kebutuhan yang cukup mendasar.

Berbagai pihak telah melakukan pengamatan terhadap kondisi parameter-parameter kelautan, baik pengamatan secara langsung maupun melalui pengamatan jarak jauh (inderaja). Pengamatan langsung diantaranya adalah pemasangan *tide gauge*, *buoy*, *wave buoy*, *weather bouy*, stasiun pengamatan cuaca otomatis, serta pengamatan cuaca kelautan manual. *Tide gauge* berfungsi khusus untuk pengamatan pasang surut air laut. *Buoy* digunakan untuk pengamatan suhu dan tinggi muka laut. *Wave buoy* mengukur tinggi gelombang. *Weather buoy* dan stasiun-stasiun cuaca otomatis (Automatic Weather System – AWS) yang dipasang di atas kapal-kapal mengukur kondisi cuaca di atas laut. Parameter-parameter yang diamati antara lain adalah arah dan kecepatan angin di atas permukaan laut, tekanan udara, radiasi matahari, suhu dan kelembaban di atas permukaan laut.

Pengamatan cuaca kelautan manual dilakukan oleh petugas ABK di kapal secara sukarela melalui program *Voluntary Observing Ship* (VOS) untuk mengukur arah dan kecepatan angin di atas permukaan laut, tekanan udara, radiasi matahari, suhu dan kelembaban di atas permukaan laut, suhu muka laut, tinggi gelombang. Sedangkan pengamatan inderaja dilakukan dengan menggunakan radar gelombang dan satelit altimetri (Wirjohamidjojo dan Sugarin, 2008; Zakir et al, 2010).

Dari berbagai parameter kelautan yang diamati dan diukur, tinggi gelombang laut merupakan parameter yang paling umum dan universal (Stowe, 1996) serta mudah, karena tidak seperti pengamatan arus laut yang memerlukan peralatan khusus, pengamatan gelombang dapat dilakukan secara manual dengan pandangan mata (Thurman, 1975). Gelombang laut juga merupakan parameter yang sangat penting terutama karena mempengaruhi keamanan dan keselamatan berbagai kegiatan di atas laut, mulai dari kegiatan pelayaran, perikanan, eksplorasi (minyak dan gas bumi, jalur komunikasi dasar laut), kegiatan SAR hingga kegiatan wisata (Gross, 1972, Wirjohamidjojo dan Sugarin, 2008).

Meski begitu pentingnya parameter gelombang laut ini, pengamatan gelombang laut secara langsung di wilayah perairan Indonesia dirasa masih belum memadai, dimana laporan dari pertemuan dari forum Data Buoy Cooperation Panel (DCPC) tahun 2008 menunjukkan bahwa hanya terdapat beberapa *weather buoy* di perairan sebelah barat Aceh, selatan Jawa dan sebelah utara Papua (WMO, 2008), sedangkan kapal yang berpartisipasi dalam program VOS hanya terdapat 5 kapal (BMKG, 2012). Dalam hal ini pengamatan kondisi lautan lebih terbantu dengan adanya pengamatan inderaja melalui pencitraan satelit altimetri seperti Jason-1, Jason-2, Topex/Poseidon, Envisat, GEOSAT, ERS-1, ERS-2 dan Geosat. Satelit-satelit tersebut dapat memberikan gambaran kondisi gelombang laut harian di berbagai lokasi lautan di muka bumi. Selain pengamatan data satelit altimetry tadi, alternatif berikutnya adalah penggunaan model gelombang laut.



Gambar 1.1. Buoy di wilayah perairan Indonesia

[Sumber: WMO, 2008]

Prinsip dasar model gelombang laut dilakukan dengan menggunakan data angin yang merupakan pencetus utama terjadinya gelombang yang digunakan sebagai data masukan untuk menghitung arah, kecepatan dan periode gelombang (Suratno, 1997). Salah satu model gelombang tersebut adalah *WindWaves-5* yang dikembangkan di BMKG sejak tahun 1997 (BMKG, 2011).

Evaluasi model gelombang *WindWaves-5* pernah dilakukan pada tahun 1997 dengan membandingkan terhadap perioda dan tinggi gelombang signifikan hasil simulasi model tersebut dengan data pengamatan manual VOS yang menunjukkan hasil prakiraan gelombang dengan model ini mempunyai korelasi yang cukup baik, dengan faktor utama penyebab terjadinya kesalahan adalah produk data angin masukan yang rendah (Suratno, 1997). Sedangkan perbandingan model dengan hasil pengamatan satelit Jason menunjukkan bahwa di wilayah Samudra Hindia dan Samudra Pasifik Barat model cenderung *under estimate* dibanding dengan pengamatan satelit, sedangkan di wilayah Laut Natuna, laut Jawa Laut Flores dan Laut Banda, hasil model cenderung *over estimate* (BMKG, 2011).

Diantara berbagai faktor yang menjadi penyebab nilai bias tersebut, sifat subyektifitas dari pengamat pelaksana pengamatan manual gelombang diperkirakan sebagai salah satu faktor utama (BMKG, 2011). Menjembatani permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan validasi model gelombang *WindWaves-5* dengan data hasil pengamatan dari satelit altimetri sebagai pembandingnya. Ini dilakukan untuk meningkatkan nilai obyektifitas data pembanding, mengingat data tinggi gelombang dari satelit altimetri terbukti mempunyai nilai bias cukup kecil, yaitu sebesar 6 cm (satelit Jason-1 dan 2) dan 2 hingga 13 cm (satelit Envisat) (Queffeulou, 2012).

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

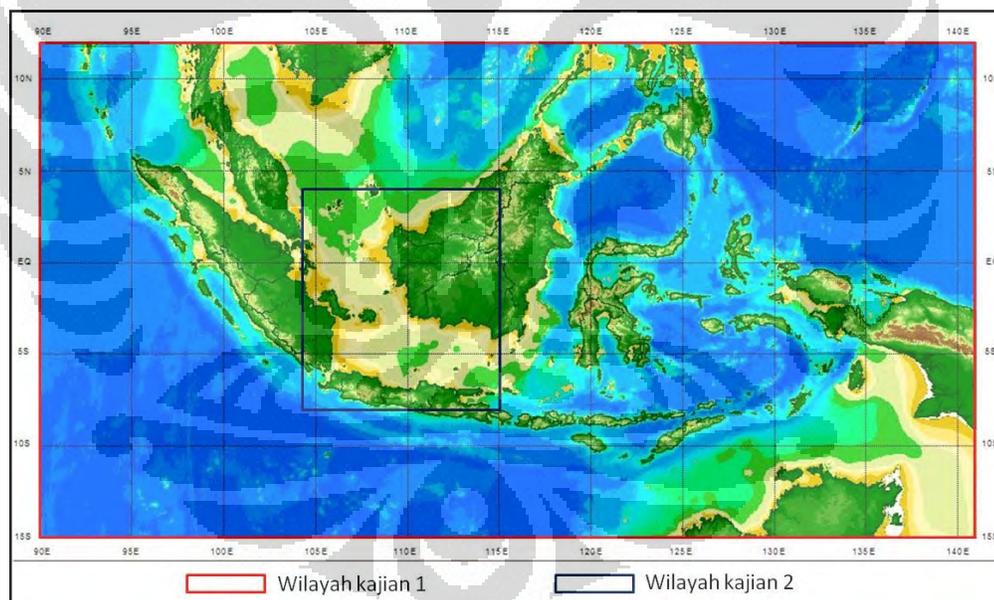
- a. Bagaimanakah tingkat keakuratan *WindWaves-5* dalam mensimulasikan tinggi gelombang signifikan jika dibandingkan dengan hasil pencitraan satelit altimetri baik secara spasial maupun temporal, pada tiap periode musim, pada tiap wilayah tipe musim (monsunal, ekuatorial, lokal), serta pada tiap lokasi laut?
- b. Adakah pengaruh perbaikan resolusi spasial gelombang hasil simulasi *WindWaves-5* terhadap nilai biasnya?

1.3. Batasan dan Ruang Lingkup Penelitian

Variabel yang diteliti pada studi ini adalah variabel tinggi gelombang signifikan (*significant wave height*). Wilayah kajian mencakup wilayah perairan Indonesia dan sekitarnya, yaitu wilayah antara 90°BT hingga 141°BT dan 12°LU hingga 15°LS. Data penelitian dibatasi selama kurun waktu satu tahun, mulai dari 1 Januari hingga 31 Desember 2010. Penelitian ini akan membandingkan nilai tinggi gelombang signifikan hasil pemodelan *WindWaves-5* (SWH_w) dengan hasil

pengamatan satelit altimetri multimisi yang diperoleh secara *near real time* yang merupakan produk dari SSALTO¹/DUACS² (SWH_a).

Validasi akan dilakukan pada wilayah kajian perairan Indonesia dan sekitarnya, yaitu wilayah yang dibatasi oleh koordinat 90°BT hingga 141°BT dan 12°LU hingga 15°LS. Pada validasi ini akan digunakan SWH_w dengan resolusi spasial 30 menit (grid 55 x 55 km). Kemudian untuk melihat apakah peningkatan resolusi spasial pada SWH_w ada pengaruhnya terhadap hasil validasi atau tidak, SWH_w akan ditingkatkan resolusinya menjadi 5 menit (grid 9,25 x 9,25 km). Pada kondisi ini wilayah kajian yang digunakan lebih spesifik, yaitu Wilayah Kajian 2 yang hanya mencakup perairan Laut Jawa dan Selat Karimata (antara 104°BT hingga 115°BT dan 4°LU hingga 8°LS).



Gambar 1.2. Wilayah kajian

Sumber: Pengolahan data

¹ SSALTO multimission ground segment (Segment Sol multimissions d'Altimétrie, d'Orbitographie et de localisation précise)

² DUACS adalah sistem pemrosesan data altimeter multimisi dari SSALTO

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Mengidentifikasi tingkat keakuratan tinggi gelombang signifikan hasil simulasi *WindWaves-5* melalui analisis statistik korelasi, RMSE dan MAE baik secara spasial maupun temporal, pada tiap periode musim, tiap wilayah tipe musim, menurut kelompok kedalaman laut serta lokasi lautnya relative terhadap daratan di sekitarnya.
- b. Mengidentifikasi performa tinggi gelombang signifikan hasil simulasi *WindWaves-5* pada tiap kategori tinggi gelombang.
- c. Mengidentifikasi pengaruh perbaikan resolusi spasial tinggi gelombang hasil simulasi *WindWaves-5* terhadap hasil validasi.
- d. Mengidentifikasi implikasi perhitungan validasi tinggi gelombang hasil simulasi *WindWaves-5* terhadap karakteristik laut tertentu, yaitu siklon tropis, El Nino / La Nina dan monsoon.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- a. Dapat memberikan gambaran tingkat ketepatan informasi yang didapatkan dari hasil simulasi model *WindWaves-5*.
- b. Dapat dijadikan referensi untuk pengembangan lebih lanjut model *WindWaves-5*.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pentingnya Informasi Tinggi Gelombang

Gelombang laut telah menjadi perhatian utama dalam catatan sejarah, bahkan Aristoteles (384-322 SM) telah mengamati hubungan antara angin dan gelombang (Supangat dan Susanna, n.d.). Hal ini disebabkan karena berbagai kegiatan di laut, baik untuk kegiatan operasi pelayaran untuk transportasi laut, penangkapan ikan, eksplorasi sumberdaya laut serta pembangunan di sektor kelautan tentunya sangat sensitif terhadap dinamika gelombang laut.

Tabel 1.1. Rekapitulasi Data Kecelakaan Kapal Tahun 2009

NO	DATA KECELAKAAN KAPAL	BULAN												JML
		JAN	FEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOV	DES	
JENIS KECELAKAAN														
1	Kapal tenggelam	7	5	1	3	5	3	5	4	2	2	3	1	41
2	Kapal terbakar	2	1	0	2	5	7	1	1	1	4	1	1	26
3	Kapal tubrukan	1	1	0	0	2	2	4	0	1	3	2	0	16
4	Kapal kandas	2	4	0	1	1	0	1	1	1	1	7	0	19
5	Kapal yang menyebabkan terancamnya jiwa manusia dan kerugian harta benda	5	2	1	2	2	1	3	2	2	2	0	0	22
	JUMLAH KECELAKAAN	17	13	2	8	15	13	14	8	7	12	13	2	124
FAKTOR PENYEBAB														
1	Manusia	8	5	0	1	9	5	8	1	2	7	5	1	52
2	Alam	6	7	1	5	2	2	4	4	3	1	6	0	41
3	Teknis	3	1	1	2	4	6	2	3	2	4	2	1	31
	JUMLAH KECELAKAAN	17	13	2	8	15	13	14	8	7	12	13	2	124

Sumber: Dit. KPLP Ditjen Hubla (2009)

Pentingnya variabel tinggi gelombang laut juga dapat dilihat dari data kecelakaan kapal yang terjadi karena faktor alam, Data kecelakaan kapal tahun 2009 telah didapat dari Direktorat Kesatuan Penjagaan Laut dan Pantai Direktorat Jenderal Perhubungan Laut. Data ini menyatakan bahwa dari 124 kejadian kecelakaan kapal di wilayah perairan Indonesia, 33% diantaranya disebabkan karena kondisi alam, yang dalam hal ini adalah gelombang tinggi (Tabel 1.1).

Bahkan dalam *Guide to the Marine Meteorological Services* yang dikeluarkan oleh WMO (2011) dinyatakan bahwa informasi tentang gelombang merupakan bagian terpenting yang harus ada dalam setiap jenis informasi kelautan.

Permasalahan akibat adanya gelombang tinggi 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.

2.2. Model Gelombang *WindWaves-5*

Dari BMKG (2011) diketahui bahwa *WindWaves-5* adalah model spectral untuk membuat analisis dan prakiraan gelombang yang didesain untuk keperluan operasional dalam menyediakan informasi meteorologi kelautan BMKG. Model ini merupakan perbaikan dan pengembangan *RJM-Wave* yang pernah diuji coba untuk keperluan operasional Badan Meteorologi dan Geofisika dari Maret 1999 hingga Oktober 2000. Kedua model dikembangkan berdasarkan model MRI-II yang dibuat oleh *Marine Research Institute, Japan Meteorological Agency* dan diperkenalkan pertama kali untuk operasional prakiraan gelombang tahun 1986 dan diperoleh tahun 1994 dari *Asean Specialized Meteorological Center (ASMC)*, Singapura. Studi tentang penerapan model ini untuk analisis dan prakiraan gelombang di perairan Indonesia dilakukan oleh Suratno (1997) yang didalam studinya model diverifikasi dengan data kapal. Setelah melalui uji coba selama 3 tahun (tahun 2000 – 2003), awal tahun 2004 model gelombang ini dioperasikan secara rutin untuk pelayanan informasi meteorologi kelautan.

2.2.1. Spesifikasi Model Gelombang *WindWaves-5*

Tabel 2.1. Produk Keluaran Model Gelombang *WindWaves-5*

No	Variable	Satuan
1	<i>Wind stress curl</i>	10^{-8} dyne / cm ²
2	Arah arus	<i>true north</i>
3	Kecepatan arus	cm/detik
4	Ekman Pumping	cm/hari
5	Arah gelombang total (dominan)	<i>true north</i>
6	Periode rata-rata gelombang total	detik
7	Tinggi signifikan gelombang total	meter
8	H1/10 gelombang total	meter
9	H1/100 gelombang total	meter
10	Arah <i>sea</i> (dominan)	<i>true north</i>
11	Periode <i>sea</i> rata-rata	detik
12	Tinggi <i>sea</i> (signifikan)	meter
13	Arah <i>swell</i> (dominan)	<i>true north</i>
14	Periode <i>swell</i> rata-rata	detik
15	Tinggi <i>swell</i> (signifikan)	meter
16	Frekuensi kecepatan angin ≥ 15 knot	%
17	Frekuensi kecepatan angin ≥ 20 knot	%
18	Frekuensi kecepatan angin ≥ 25 knot	%
19	Frekuensi kecepatan angin ≥ 30 knot	%
20	Frekuensi tinggi gelombang signifikan ≥ 1.25 m	%
21	Frekuensi tinggi gelombang signifikan ≥ 2.00 m	%
22	Frekuensi tinggi gelombang signifikan ≥ 2.50 m	%
23	Frekuensi tinggi gelombang signifikan ≥ 3.0 m	%

Sumber: BMKG (2011)

Model gelombang laut *WindWaves-5* mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

- Resolusi spasial : maksimal 5' x 5' ($\approx 9.25 \text{ km} \times 9.25 \text{ km}$)
- Resolusi temporal : 6 jam
- Jangkauan prakiraan : hingga 168 jam ke depan
- Data input : data angin (grided) paras permukaan (ketinggian 10 meter)

Sedangkan produk-produk yang dihasilkan oleh model ini secara lengkap dapat dilihat pada tabel 2.1 (BMG, 2003).

2.2.2. Persamaan yang Digunakan dalam Model Gelombang *WindWaves-5*

Menurut Isozaki dan Uji (1973), Uji (1984), Suratno (1997) dan BMKG (2011) dalam model *WindWaves-5*, gelombang laut dianggap sebagai energi spektral yang berlaku sebagai fungsi frekuensi dan arah, $E(f, \theta)$. Persamaan kesetimbangan energi spektral yang digunakan menyatakan bahwa perubahan energi spektral gelombang terhadap waktu adalah sama dengan jumlah energi yang diperoleh dari sumber pembangkit gelombang dikurangi dengan energi yang hilang karena proses adveksi dan *shoaling* dan refraksi gelombang oleh kondisi batrimetri. Persamaan ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial E(f, \theta)}{\partial t} = -C_g(f, \theta) \cdot \nabla E(f, \theta) - \frac{\partial [\vec{v}_H \cdot \vec{C}_g E(f, \theta)]}{\partial \theta} + S \quad (2.1)$$

Dengan $E(f, \theta)$ adalah kerapatan energi spektral gelombang dan $C_g(f, \theta)$ adalah kecepatan kelompok gelombang yang mempunyai frekuensi f dan merambat pada arah θ . $C_g(f, \theta) \cdot \nabla E(f, \theta)$ merupakan energi yang hilang oleh proses adveksi dan *shoaling* adalah sedangkan $\frac{\partial [\vec{v}_H \cdot \vec{C}_g E(f, \theta)]}{\partial \theta}$ adalah hilangnya energi oleh refraksi. Dalam persamaan ini S merupakan fungsi sumber, yang terdiri 3 (tiga) macam proses, yaitu proses pertumbuhan gelombang karena adanya

masuk energi dari angin, disipasi energi gelombang dan interaksi non linier antar gelombang.

Pada laut dalam, hilangnya energi oleh proses refraksi diabaikan. Sehingga persamaan (2.1) menjadi:

$$\frac{\partial E(f, \theta)}{\partial t} = -C_g(f, \theta) \cdot \nabla E(f, \theta) + S \quad (2.2)$$

Dengan

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{gk} \text{ dan } C_g = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{k}} \quad (2.3)$$

Proses pertumbuhan gelombang (S_{in}) sendiri terdiri dari 2 (dua) yaitu:

- a. Pertumbuhan gelombang secara linier (resonansi Philips), terjadi ketika turbulensi angin menyebabkan gangguan kecil pada permukaan laut yang menimbulkan *wavelets*
- b. Pertumbuhan gelombang secara eksponensial (ketidakstabilan Miles), terjadi ketika ukuran *wavelets* yang terbentuk mulai mengganggu aliran udara di atasnya sehingga angin mulai menekan gelombang dengan kekuatan yang sebanding dengan besar gelombang. Tambahan energi ini kemudian menyebabkan gelombang tumbuh membesar secara eksponensial.

Resonansi Philips meskipun penting pada tahap awal pertumbuhan gelombang, tetapi tidak diperhitungkan dalam model gelombang *WindWaves-5* karena pengaruhnya terhadap pertumbuhan gelombang secara keseluruhan relatif kecil (Suratno, 1997).

Singkatnya, persamaan yang menggambarkan proses pertumbuhan gelombang oleh adanya masukan energi angin adalah sebagai berikut:

$$S_{in} = fBE(f, \theta) \cos^2(\theta - \theta_a) \quad (2.4)$$

Dengan θ_a adalah arah angin, dan B adalah koefisien pertumbuhan eksponensial, yang besarnya adalah

$$B = \left[5e^{-7000\left(\frac{U_*}{C} - 0.031\right)^2} + 2612\left(\frac{U_*}{C}\right)^2 e^{-0.0004\left(\frac{U_*}{C}\right)^2} \right] \quad (2.5)$$

Dimana U_* adalah kecepatan fase gelombang yang didapat dari perhitungan $U_* = \tau_*/\rho_u$, dimana τ_* adalah tegangan angin 10 meter dan ρ_u adalah densitas udara.

Proses berikutnya adalah proses interaksi antar komponen gelombang (S_{nl}) dan proses disipasi energi (S_{ds}). Dalam model gelombang ini, S_{nl} diparameterisasi dengan anggapan bahwa transfer energi dari komponen gelombang berfrekuensi tinggi ke komponen gelombang berfrekuensi rendah sebanding dengan f^4 , dengan konstanta pembanding yang ditentukan oleh eksperimen.

Di batas-batas domain dianggap tidak ada transfer energi masuk maupun keluar. Perubahan energi spectral $E(f, \theta)$ pada tiap Δt dihitung hanya berdasarkan persamaan (2.2).

Ketika gelombang tumbuh semakin besar karena terus mendapatkan energi, suatu ketika tegangan permukaan air tidak akan mampu menahan pertumbuhan tersebut sehingga dikatakan bahwa gelombang tersebut jenuh, dan akhirnya pecah. Peristiwa pecahnya gelombang ini diperhitungkan dengan persamaan:

$$E_{\infty}(f, \theta) = 0,83 \times 10^{-2} \frac{g^2}{\omega^5} e^{-0,74\left(\frac{g}{u\omega}\right)^4} \times \cos^2(\theta - \theta_a) \quad (2.6)$$

Dengan g adalah percepatan gravitas, u adalah kecepatan angin dan $\omega = 2\pi f$.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tersebut, maka persamaan dasar yang digunakan dalam model gelombang *WindWaves-5* adalah sebagai berikut:

a) Untuk gelombang *sea*, berlaku:

$$E_{\text{sea}}(f, \theta) = E(f, \theta) \quad \text{untuk } E(f, \theta) \leq E_{\infty}(f, \theta) \quad (2.7)$$

b) Untuk gelombang *swell*, berlaku:

$$E_{\text{swell}}(f, \theta) = 0 \quad \text{untuk } E(f, \theta) \leq E_{\infty}(f, \theta) \quad (2.8)$$

$$E_{\text{swell}}(f, \theta) = E(f, \theta) - E_{\infty}(f, \theta) \quad \text{untuk } E(f, \theta) > E_{\infty}(f, \theta) \quad (2.9)$$

Khusus untuk tinggi gelombang yang digunakan dalam studi ini, variable yang digunakan adalah tinggi gelombang signifikan yang merupakan tinggi rata-rata 1/3 dari semua gelombang tertinggi yang tercatat pada rekaman gelombang. Tinggi gelombang signifikan secara kasar harganya hampir sama dengan tinggi gelombang yang teramati secara visual (WMO, 1988).

Dalam model *WindWaves-5*, tinggi gelombang signifikan didefinisikan sebagai berikut:

$$H_s = 2,83 \sqrt{E_t} \quad (2.10)$$

dengan E_t adalah energi total gelombang, yang didefinisikan sebagai $E_t = \int_{\theta} \int_f E(f, \theta) df d\theta$, sehingga persamaan (2.10) menjadi:

$$H_s = 2,83 \sqrt{\int_{\theta} \int_f E(f, \theta) df d\theta} \quad (2.11)$$

2.2.3. Evaluasi Model Gelombang *WindWaves-5*

Sebelum ini telah dilakukan evaluasi terhadap model gelombang *WindWaves-5*, yaitu yang dilakukan oleh Suratno (1997) dan BMKG (2011). Pada kajiannya, Suratno (1997) melakukan evaluasi terhadap model gelombang *WindWaves* pengembangan pertama dengan membandingkan hasil pemodelan dengan hasil pengamatan manual dari kapal. Batasan wilayah kajian ditetapkan antara 20°LU hingga 20°LS dan 90°BT hingga 145°BT dan batasan waktu kajian adalah bulan Januari dan Agustus tahun 1996, dengan perincian sebagai berikut, yaitu:

- Data untuk inisiasi : tanggal 1 – 9 Januari 1996 dan 11 – 19 Agustus 1996
- Data untuk dievaluasi : tanggal 10 – 31 Januari 1996 dan 20 – 31 Agustus 1996

Sebagai data masukan model digunakan data angin ECMWF dengan resolusi spasial 2,5 derajat. Data ini diolah dengan *WindWaves* untuk menghasilkan data gelombang dengan resolusi 1 derajat. Data yang dievaluasi adalah data tinggi dan periode gelombang.

Data pembading yang didapat dari pengamatan dari kapal adalah sejumlah 106 data di bulan Januari, dan 117 data di bulan Agustus, Data pengamatan dari kapal yang posisinya terlalu dekat dengan pantai tidak diikuti dalam evaluasi. Evaluasi dilakukan dengan penghitungan bias, RMSE dan korelasi serta analisis kualitatif terhadap prakiraan distribusi dan spektrum gelombang yang dilakukan pada sample acak, yaitu 16 Januari dan 22 Agustus 1996.

Hasil penelitian ini mengungkapkan bahwa:

- a. Pola distribusi gelombang umumnya mengikuti pola distribusi angin, dengan arah gelombang utama mengikuti arah angin dominan.
- b. Medan gelombang aktif terdapat di perairan dengan kecepatan angin tinggi dan *fetch* yang panjang, atau adanya *swell* dari tempat lain.
- c. Pertumbuhan gelombang sangat bergantung terhadap panjang *fetch* dan durasi angin, daripada terhadap tinggi rendah kecepatan angin.
- d. Pola distribusi gelombang bersesuaian dengan pola cuaca. Pada kondisi cuaca yang lebih aktif (banyak hujan), maka kondisi gelombang secara umum lebih tinggi.
- e. Fluktuasi hasil prakiraan seirama dengan hasil observasi, sehingga dapat dikatakan bahwa keduanya mempunyai korelasi yang baik.
- f. Tinggi gelombang prakiraan umumnya lebih rendah dibandingkan korelasi, sedangkan periode prakiraan umumnya lebih tinggi dibanding periode gelombang observasi.
- g. Tinggi gelombang *hindcast* mempunyai simpangan paling kecil dibanding prakiraan 24 dan 48 jam, pada bulan Januari dengan bias rata-rata -60 cm, RMSE 89 cm dan korelasi 0,735; sedangkan pada bulan Agustus bias rata-rata -30 cm, RMSE 69 cm dan korelasi 0,736.

Kajian selanjutnya yang dilakukan oleh BMKG (2011) telah menggunakan model gelombang *WindWaves-5*. Validasi dilakukan dengan menghitung nilai RMSE dan koefisien korelasi antara tinggi gelombang hasil *running* model (tinggi gelombang signifikan dan tinggi gelombang maksimum) dengan hasil pengamatan manual dari kapal. Batasan waktu kajian adalah 42 hari, yang tersebar selama bulan Juli – September 2010 menurut jadwal keberangkatan kapal. Batasan lokasi kajian adalah di sepanjang rute kapal yang berlayar pada rute Semarang-Batucincin, Jakarta-Batam, Denpasar-Makassar, Ambon-Merauke, Palu-Tarakan, Jakarta-Padang, Jakarta-Pontianak, Makassar-Kupang, Makassar-Ambon, Ambon-Jayapura, Bitung-Sorong, Batam-Medan, Jakarta-Makassar dan Surabaya-Bitung.

Dari kajian ini diketahui bahwa secara umum hasil korelasi SWH lebih baik daripada MWH terhadap observasi. Nilai korelasi untuk prakiraan adalah

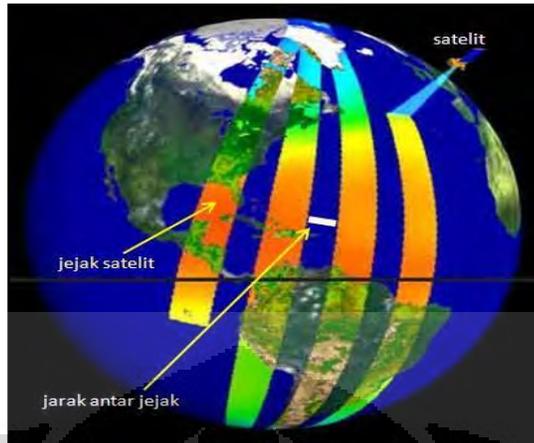
sebesar 0,43 (MWH) dan 0,44 (SWH) dengan RMSE 115 cm (MWH) dan 85 cm (SWH). Sedangkan nilai korelasi untuk *hindcast* adalah sebesar 0.35 (MWH) dan 0.47 (SWH) dengan RMSE 136 cm (MWH) dan 94 cm (SWH).

Kajian ini juga membandingkan antara hasil keluaran model dengan hasil pengamatan satelit Jason. Hasil perbandingannya menunjukkan bahwa sebaran spasial untuk wilayah Samudra Hindia dan Samudra Pasifik Barat menunjukkan bahwa hasil model cenderung *under estimate* dibanding dengan pengamatan satelit. Sedangkan pada wilayah Laut Natuna, laut Jawa Laut Flores dan Laut Banda, hasil model cenderung *over estimate* dibanding dengan hasil satelit. Dari kesimpulan yang didapat, kajian ini memberikan rekomendasi penggunaan hasil *WindWaves* parameter MWH untuk perairan laut lepas dan SWH di perairan antar pulau.

2.3. Satelit Altimetri Multimisi

Yang disebut dengan satelit *altimetry* multimisi adalah lebih dari satu satelit *altimetry* yang beroperasi bersama untuk menghasilkan data dengan resolusi spasial dan temporal yang memadai untuk memetakan wilayah lautan dan memonitor dinamika pergerakannya secara tepat (Aviso, 2012).

Masing-masing satelit *altimetry* berorbit polar, ini berarti tiap satelit melalui (dan mengukur parameter pada) suatu titik tertentu di muka bumi setiap beberapa hari sekali. Selain itu masing-masingnya mempunyai orbit tersendiri yang seringkali tiap jejaknya berjarak cukup jauh satu sama lain (Gambar 2.1). Oleh karena itu data dari beberapa satelit dapat digabungkan dan diolah untuk mendapatkan data dengan resolusi spasial dan temporal yang memadai.



Gambar 2.1. Orbit satelit *polar orbital*

Sumber: www.aviso.com

Tabel 2.2. Satelit yang Datanya Digunakan dalam Penelitian

No	Satelit	Variable	Penjelasan
1	Jason-1	Diluncurkan pada	Desember 2001
		Ketinggian altitude	1336 km
		Resolusi temporal	Siklus perulangan 10 harian
		Produk utama	Tinggi muka laut, kecepatan angin and ketinggian gelombang signifikan
		Global data coverage	Antara 66°LU - 66°LS
2	Jason-2	Diluncurkan pada	Juni 2008
		Ketinggian altitude	1336 km
		Resolusi temporal	Siklus perulangan 10 harian
		Produk utama	Tinggi muka laut, kecepatan angin and ketinggian gelombang signifikan
		Global data coverage	Antara 66°LU - 66°LS
3	Envisat	Diluncurkan pada	Maret 2002
		Ketinggian altitude	790 km

No	Satelit	Variable	Penjelasan
		Resolusi temporal	Siklus perulangan 30 – 35 harian
		Parameter yang diukur (permukaan laut)	Suhu muka laut, topografi permukaan laut, turbiditas, karakteristik gelombang, angin permukaan, arus, sirkulasi global, tumpahan minyak hingga lalu lintas kapal

Sumber: www.aviso.com

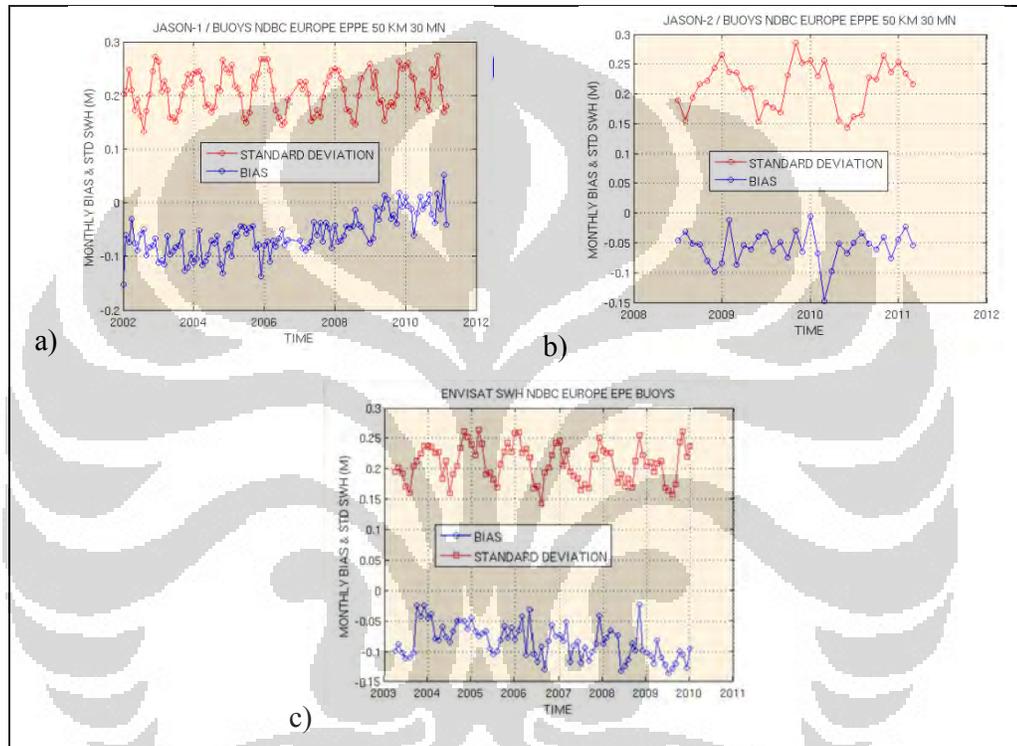
Dalam penelitian ini, satelit-satelit altimetri yang digunakan untuk mendapatkan data tinggi gelombang signifikan adalah satelit Jason-1, Jason-2, dan Envisat. Jason-1 dan 2 mempunyai siklus ulang sepuluh hari untuk memonitor variasi kondisi lautan di suatu lokasi. Meski demikian jejak-jejak satelit tersebut masing-masing berjarak cukup jauh (315 km di wilayah ekuator). Di lain pihak, Envisat melalui suatu titik yang sama di muka bumi setiap 35 hari namun mempunyai jarak antar jejak relative dekat (80 km di wilayah ekuator). Spesifikasi dan misi dan dari masing-masing satelit tersebut disajikan pada tabel 2.2.

2.3.1. Pengukuran Tinggi Gelombang Signifikan dengan Satelit Altimetri

Penggunaan satelit altimetri untuk mengukur tinggi gelombang signifikan telah dilakukan selama 20 tahun terakhir dengan menggunakan berbagai satelit, diantaranya yaitu ERS-1 dan 2, Topex/Poseidon, Jason-1 dan 2 serta Envisat. Data tinggi gelombang signifikan hasil pengamatan satelit-satelit tersebut divalidasi dan dikalibrasi secara rutin untuk mendapatkan hasil pengamatan yang mendekati kondisi sesungguhnya di lapangan (Queffeuilou et al, 2012).

Validasi terhadap masing-masing satelit Jason-1 dan 2, ERS-2 dan Envisat telah dilakukan dengan data yang didapat dari jaringan *buoy* gelombang NDBC (National Data Buoy Centre) sebagai pembandingnya, dengan rentang waktu sejak tahun 1995 hingga 2011 (Queffeuilou et al, 2012). Dari perbandingan keduanya didapatkan nilai bias dan standar deviasi bulanan untuk masing-masing

satelit (gambar 2.2.). Dari perhitungan ini didapatkan nilai rata-rata bias untuk hasil pengamatan satelit Jason-1 dan 2 adalah sebesar 6 cm dengan 21 cm standar deviasi. Sedangkan untuk Envisat didapatkan kisaran bias antara 2 hingga 13 cm dan kisaran standar deviasi bulanan antara 14 hingga 27 cm.



Gambar 2.2. Nilai bias dan standar deviasi tinggi gelombang signifikan hasil pengamatan satelit Jason-1 (a), Jason-2 (b) dan Envisat (c)

[Sumber: Queffeuou et al, 2012]

Sedangkan untuk penggunaan satelit-satelit altimetri tersebut secara gabungan multimisi, diketahui bahwa mengkombinasi dua satelit altimetri meningkatkan kualitas estimasi penginderaan sirkulasi permukaan laut dibandingkan dengan hasil yang didapat dari hanya satu satelit altimetri (Chelton dan Schax, 2003; Le Traon dan Dibarboure, 2004; Le Traon et al., 2003). Lebih lagi, akurasi penginderaan kondisi muka laut dengan satelit altimetri ini dapat lebih ditingkatkan lagi dengan penggunaan lebih dari dua satelit (Le Traon dan

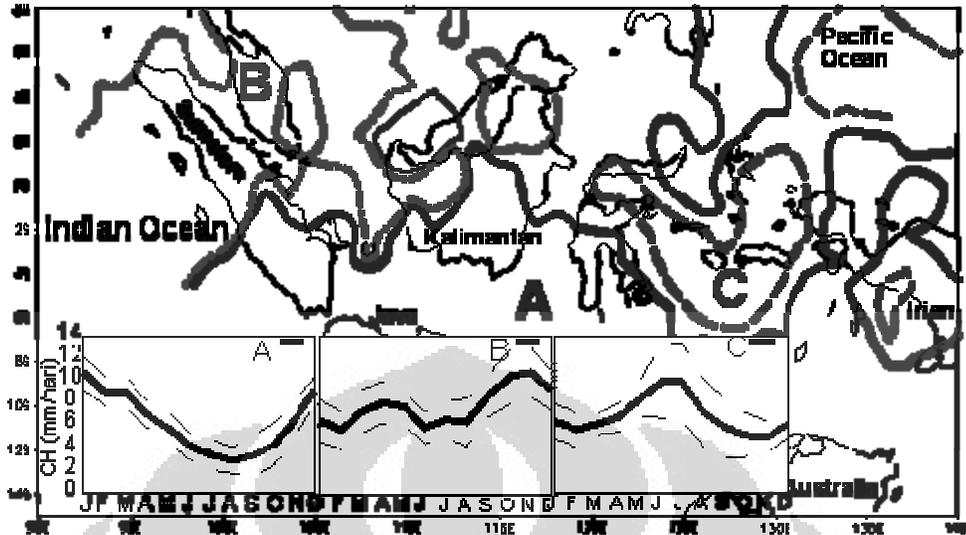
Dibarboure, 1999; Le Traon dan Dibarboure, 2002; Leeuwenburgh dan Stammer, 2002; Chelton dan Schlax, 2003; dari Pascual et al, 2006).

Temuan tersebut didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Fu et al (2003) yang menemukan bahwa mengkombinasikan empat satelit altimetri akan menghasilkan pengukuran topografi permukaan laut dengan akurasi yang sangat tinggi. Selain itu Pascual et al (2006) lebih lanjut mengungkapkan bahwa meskipun di wilayah lintang rendah (antara 20°LU hingga 20°LS) perbedaan RMSE antara penggunaan dua satelit altimetri dan empat satelit hampir tidak kentara (berkebalikan dengan wilayah lintang menengah dan tinggi yang perbedaan RMSE antara dua dan empat satelit altimetri antara 5 hingga 10 cm), kondisi ini tidak berlaku pada wilayah perairan antar pulau, seperti yang terjadi di sebagian besar wilayah perairan di Indonesia.

Dari berbagai kajian tersebut, dapat disimpulkan bahwa hasil validasi tinggi gelombang signifikan melalui pengamatan satelit altimetry multimisi sudah cukup baik, dengan hasil pengamatan yang mendekati kondisi sesungguhnya di lapangan. Oleh karena itulah maka dalam penelitian ini data tersebut akan digunakan sebagai pembandingan dalam melakukan validasi hasil model untuk mewakili kondisi gelombang yang sebenarnya.

2.4. Iklim di Indonesia

Aldrian dan Susanto (2003) dan Aldrian (2010) pada kajian mengidentifikasi tiga wilayah di Indonesia dan perairan di sekitarnya menjadi 3 (tiga) wilayah tipe musim, yaitu tipe monsunial, ekuatorial dan lokal. Pembagian dilakukan berdasarkan pola curah hujan tahunan dan hubungannya dengan suhu muka laut. Dari kajian tersebut diketahui bahwa wilayah tipe monsunial mengalami satu puncak musim hujan dan satu puncak musim kemarau dalam satu tahun, ekuatorial tidak nampak jelas perbedaan antara puncak musim kemarau dan hujan pada pola tahunannya, sedangkan tipe lokal mempunyai pola yang berkebalikan dengan tipe monsunial.



Gambar 2.3. Pembagian tipe iklim di Indonesia berdasarkan pola curah hujan tahunan terdiri dari tipe iklim monsunal (A), ekuatorial (B) dan lokal (C)

Sumber: Aldrian, 2010

2.4.1. Komponen Iklim di Indonesia

Dari berbagai komponen iklim yang membentuk variabilitas iklim di Indonesia, tiga diantaranya yaitu monsoon, aktifitas El Nino dan La Nina, serta aktivitas siklon tropis (Aldrian, 2010):

2.4.1.1. Monsoon

Monsoon merupakan sistem sirkulasi regional yang mempunyai variasi musiman. Wilayah monsoon ditandai oleh pembalikan musiman sistem angin utama (Bayong, 2008) dengan wilayah dimana sirkulasi permukaan di bulan Januari dan Juli pada kondisi sebagai berikut (Zakir et al, 2010):

- Arah angin kebanyakan (*prevailing wind*) berubah setidaknya 120° antara Januari dan Juli;
- Rata-rata frekuensi arah angin kebanyakan pada bulan Januari dan Juli mencapai 40%;

- Angin resultan rata-rata yang terjadi minimum pada satu bulan mencapai 3 m/s; dan
- Setiap dua tahun terjadi kurang dari satu kali perubahan siklon-antisiklon di bulan manapun dalam wilayah selebar 5° lintang-bujur.

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 monsoon dari barat laut menuju tenggara, hal ini dikarenakan mengikuti posisi benua dan samudera yang mengapit wilayah Indonesia.

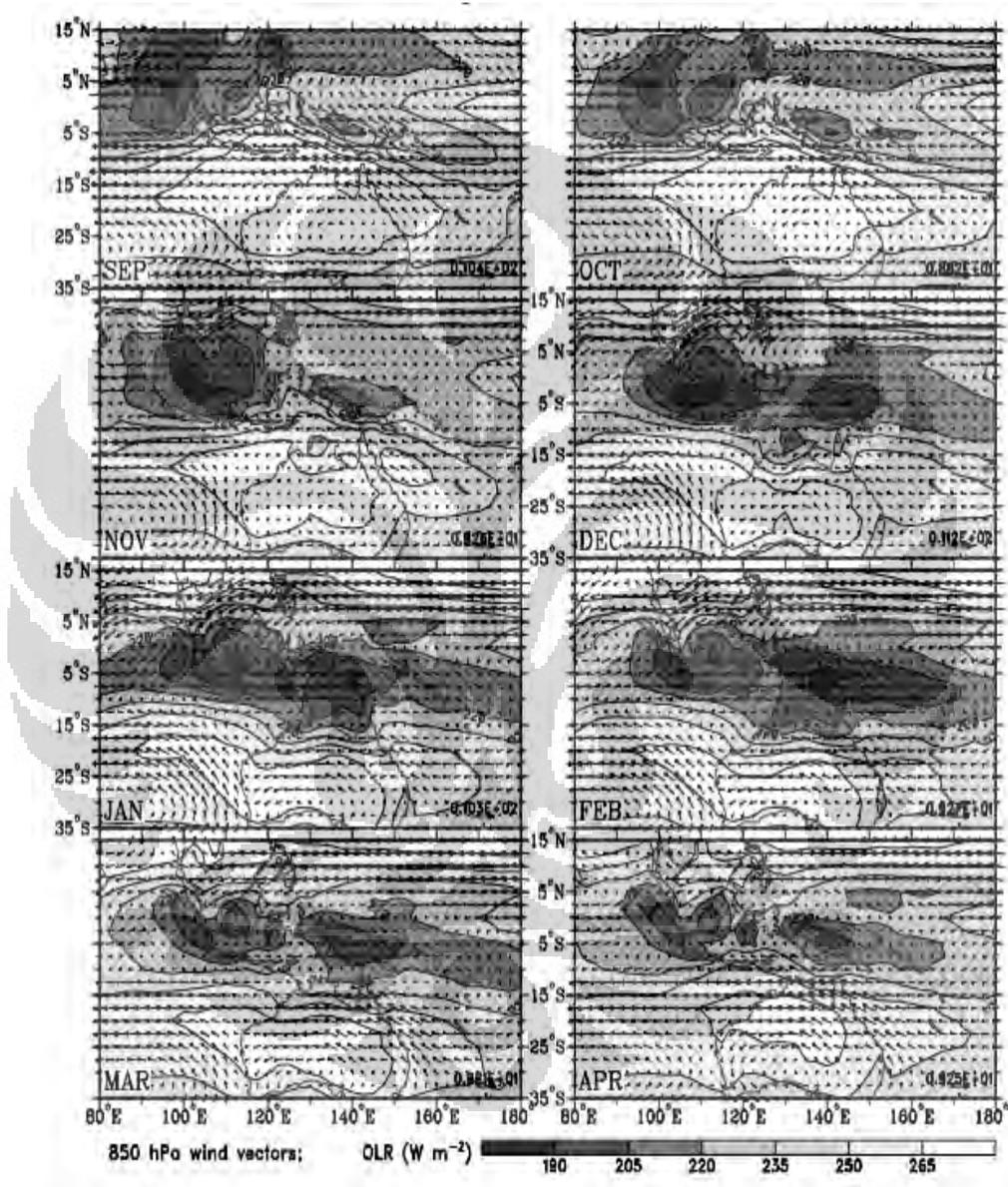
Periode monsoon yang terjadi di Indonesia terbagi menjadi 4 (empat) periode, yaitu periode Monsoon Asia (Desember – Januari – Februari), Transisi Monsoon Australia (Maret – April – Mei), Monsoon Australia (Juni – Juli – Agustus) dan Transisi Monsoon Asia (September – Oktober – November). Pada periode Transisi Monsoon Australia inilah periode terjadinya pusat tekanan rendah dan sirkulasi angin eddy di atmosfer di atas perairan Natuna hingga Laut Cina Selatan (Zakir, 2010). Pusat tekanan rendah dan sirkulasi ini menyebabkan wilayah tersebut mendapatkan banyak curah hujan pada periode tersebut.

Gambar 2.4. menunjukkan klimatologi bulanan *Outgoing Longwave Radiation* (OLR) dan arah angin paras 850 mb. Sebagaimana diketahui bahwa nilai OLR yang kecil menunjukkan kondisi cuaca aktif dengan banyak perawanan dan potensi hujan dan sebaliknya, nilai OLR besar menunjukkan kondisi cuaca kurang aktif dengan sedikit perawanan dan hujan (Wheeler dan McBride, 2005).

Khusus untuk wilayah perairan, dari gambar tersebut diketahui bahwa terutama pada periode Monsoon Australia (JJA) dan periode transisi Monsoon Asia (SON) wilayah Laut Cina Selatan termasuk dalam wilayah dengan cuaca aktif.

Sedangkan diketahui bahwa di lokasi perairan dengan kondisi cuaca yang banyak berfluktuasi (banyak terjadi hujan), cenderung mengakibatkan kondisi

gelombang yang lebih tinggi dari wilayah perairan dengan kondisi cuaca yang tidak banyak berfluktuasi (Aldrian, 2008).



Gambar 2.4. Klimatologi bulanan OLR dan arah angin 850 mb

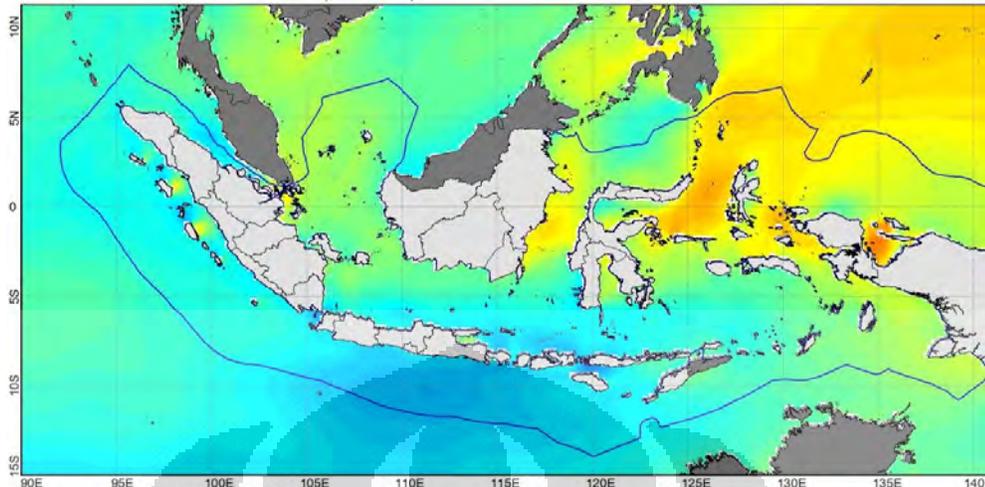
Sumber: Wheeler dan McBride, 2005

2.4.1.2. El Nino dan La Nina

El Nino adalah gejala penyimpangan (anomali) pada suhu permukaan Samudra Pasifik di pantai Barat Ekuador dan Peru yang lebih tinggi daripada rata-rata normalnya. Fenomena yang teramati adalah meningkatnya suhu muka laut di wilayah tersebut yang biasanya relatif 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 pada saat yang bersamaan terjadi perubahan pola tekanan udara yang kemudian berdampak luas dengan gejala yang berbeda-beda, baik bentuk dan intensitasnya.

Sedangkan La Nina merupakan kebalikan dari El Nino yang ditandai dengan anomali negatif suhu muka laut di daerah tersebut, sehingga suhu muka laut di wilayah tersebut menjadi lebih dingin dari rata-ratanya. Kondisi ini menyebabkan tekanan udara di kawasan equator Pasifik barat menurun dan menyebabkan lebih banyak pembentukan awan dan hujan lebat di daerah sekitarnya.

Kurniawan (2012) dalam kajiannya yang membandingkan antara fenomena El Nino / La Nina terhadap wilayah perairan Indonesia berdasarkan nilai koefisien korelasi spasial antara indeks Nino 3.4 terhadap anomali gelombang di wilayah perairan Indonesia selama 11 tahun (periode tahun 2000 – 2010). Dari penelitian tersebut diketahui bahwa untuk perairan sebelah utara Maluku sampai ke Samudera Pasifik berkorelasi positif sebesar 0.4.



Gambar 2.5. Koefisien korelasi antara anomali suhu muka laut di periode El Nino / La Nina dengan tinggi gelombang signifikan

Sumber: Kurniawan. 2012

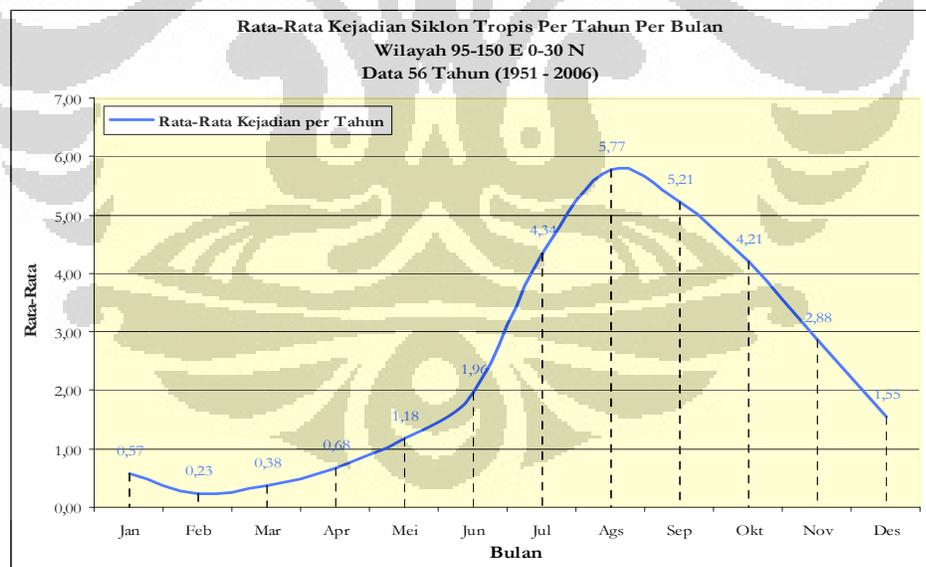
2.4.1.3. Siklon Tropis

Siklon tropis merupakan suatu sistem tekanan rendah yang terbentuk di atas perairan tropis yang hangat, memiliki pola angin siklonik dengan kecepatan angin maksimum rata-rata di dekat pusatnya mencapai sekurang-kurangnya 34 knot (63 km/jam) (Zakir, Sulistya dan Khotimah, 2010). Lebih lanjut Zakir, et al menyatakan bahwa siklon tropis merupakan gejala cuaca yang paling berbahaya di muka bumi. Dikatakan berbahaya karena siklon tropis menimbulkan hujan lebat, angin kencang, penurunan tekanan udara, kenaikan pasang dan tentunya kenaikan tinggi gelombang laut.

Di seluruh dunia, siklon tropis terjadi di hampir seluruh wilayah samudra, termasuk di dalamnya Samudra Atlantik Utara, Samudra Pasifik Timur Laut, Barat Laut dan Barat Daya, serta Samudra Hindia (Holland, 1992). Khusus untuk wilayah perairan di dekat Indonesia, siklon tropis banyak terjadi di Samudra

Pasifik Barat Daya (sebelah utara Papua), Laut Cina Selatan, Samudra Hindia Tenggara dan Utara.

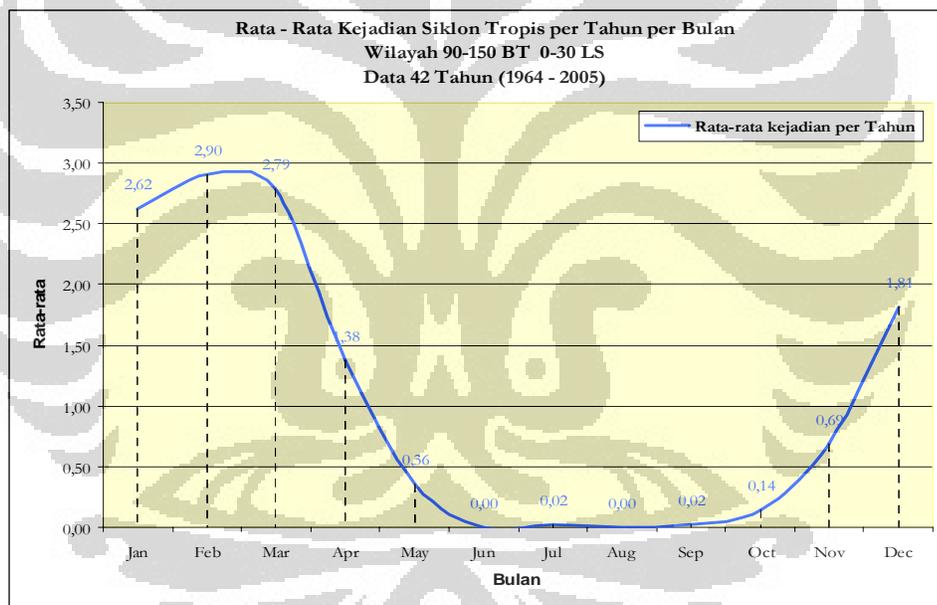
Di wilayah perairan sebelah utara Indonesia, bibit siklon tropis biasa tumbuh di perairan sebelah utara Papua, kemudian bergerak ke timur melintasi Filipina dan Laut Cina Selatan, kemudian melemah dan punah di daratan Cina (Holland, 1992). Bibit yang tumbuh di Pasifik Barat Daya juga kadangkala bergerak ke barat laut, berbelok ke utara, kemudian melemah dan punah ketika memasuki wilayah sub tropis di sekitar Jepang. Siklon-siklon di sebelah utara Indonesia ini dapat terjadi di sepanjang tahun (Khotimah, 2008). Dengan data historis siklon tropis sepanjang 56 tahun, Khotimah juga menemukan bahwa frekuensi terbanyak siklon di wilayah ini terjadi pada bulan Agustus, dengan rata-rata sebesar 5,8 kejadian siklon, disusul oleh bulan September, Juli dan Oktober, dengan rata-rata masing-masing adalah 5,2 siklon, 4,3 siklon, dan 4,2 siklon (gambar 2.6).



Gambar 2.6. Rata-rata kejadian siklon tropis wilayah sebelah Utara Indonesia

Sumber: Khotimah, 2008

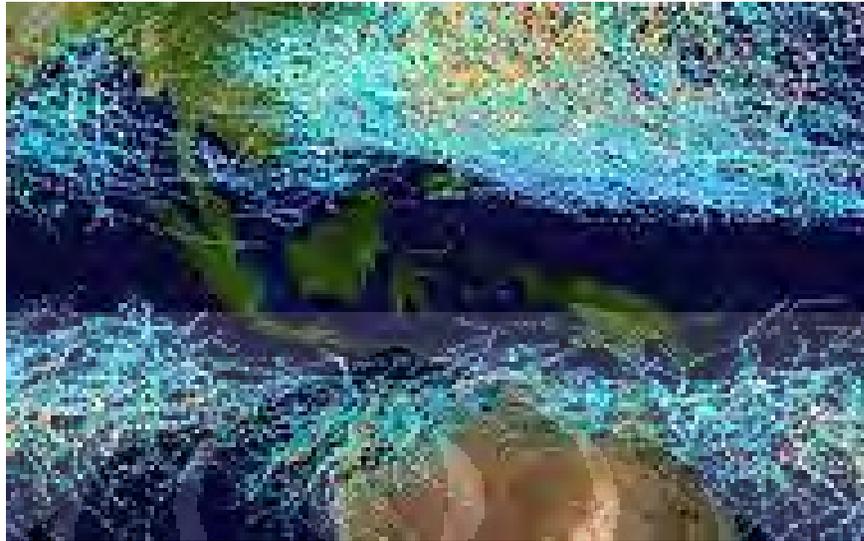
Di wilayah perairan sebelah selatan Indonesia, siklon tropis umumnya terjadi di perairan Samudra Hindia sebelah selatan Jawa dan Nusa Tenggara. Siklon tropis di wilayah tersebut bibitnya biasa tumbuh di Laut Banda, Laut Timor dan Laut Arafuru (Khotimah, 2009). Dalam kajian yang sama, berdasarkan data historis siklon tropis sepanjang 42 tahun, Khotimah (2008) selanjutnya mengemukakan bahwa di perairan sebelah selatan Indonesia, musim siklon tropis dimulai pada bulan Oktober dan berlangsung hingga bulan Maret tahun berikutnya. Frekuensi terbanyak kejadian siklon tropis di wilayah ini adalah pada bulan Februari (rata-rata 2,9 kejadian), Maret (rata-rata 2,8 kejadian), Januari (rata-rata 2,6 kejadian) dan Desember (rata-rata 1,8 kejadian) (gambar 2.7).



Gambar 2.7. Rata-rata kejadian siklon tropis wilayah sebelah Utara Indonesia

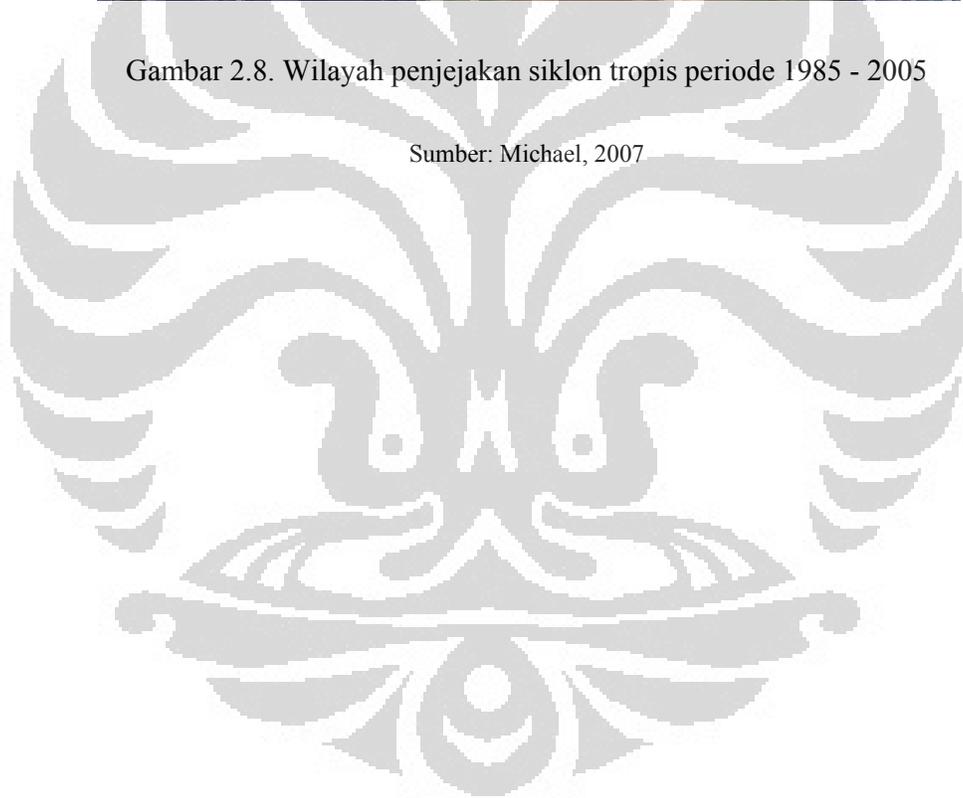
Sumber: Khotimah, 2008

Apabila dilihat dari wilayah penjejakannya, siklon tropis di sekitar wilayah Indonesia terutama banyak terjadi di wilayah perairan sebelah utara Aceh, Laut Cina Selatan, Samudra Pasifik sebelah utara Papua, Samudra Hindia sebelah selatan Sumatra, Jawa, hingga Nusa Tenggara, Laut Arafuru dan Samudra Pasifik sebelah selatan Papua hingga Papua Nugini (Gambar 2.8.).



Gambar 2.8. Wilayah penjejakan siklon tropis periode 1985 - 2005

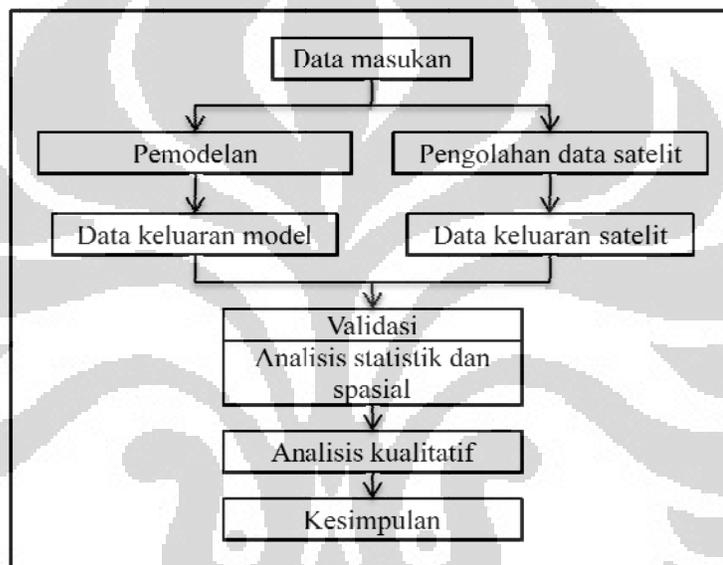
Sumber: Michael, 2007



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, alur pikir yang digunakan dapat dilihat pada diagram berikut.



Gambar 3.1. Alur pikir penelitian

Sumber: Pengolahan data

3.1. Data dan Perangkat yang Digunakan

Untuk melakukan studi validasi model *WindWaves-5*, digunakan data masukan sebagai berikut:

- a. Data arah dan kecepatan angin ketinggian 10 meter yang bersumber dari US NOAA/NCEP (*National Center for Environmental Prediction*). Data ini mempunyai format biner, berisikan data komponen angin u dan v dengan wilayah yang meliputi 60°BT hingga

150°BT dan 25°LU hingga 25°LS. Data mempunyai resolusi spasial 1 derajat (111 x 111 km) dengan resolusi temporal 6 jam. Data yang digunakan adalah dalam rentang waktu 1 Januari 2009 hingga 31 Desember 2010. Data tersebut diunduh dari melalui website NCEP (<http://dss.ucar.edu/>).

- b. Data batimetri digital, dengan resolusi 5 x 5 menit tahun 2010 dari NGDC (*National Geographic Data Centre*) yang diunduh melalui website NGDC (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/>).
- c. Data tinggi gelombang signifikan hasil pengamatan satelit *altimetry* multimisi. Data ini berformat netCDF dengan resolusi spasial 1 x 1 derajat dan resolusi temporal harian. Data yang digunakan adalah dalam rentang waktu 1 Januari hingga 31 Desember 2010. Data ini diunduh dari melalui website Aviso (<http://www.aviso.oceanobs.com/>).

Untuk perangkat yang digunakan, pada penelitian ini diperlukan perangkat lunak sebagai berikut:

- a. model gelombang *WindWave-5* yang merupakan versi baru pengembangan *Windwaves-4*. Pengembangan yang penting adalah ditambahkan model prakiraan arus (angin), peningkatan pilihan resolusi hingga 5 menit x 5 menit, dan fasilitas *point* untuk mengambil data di suatu titik sembarang dalam wilayah prakiraan.
- b. Arcview GIS yang digunakan untuk melakukan pengolahan dan analisis spasial gelombang hasil pengolahan dengan *WindWave-5*.
- c. MatLab, yang digunakan untuk analisis statistik.

3.2. Pengolahan Data dan Analisis

Keseluruhan proses pengolahan data dan analisis pada penelitian ini dibagi menjadi 5 (lima) tahapan, yaitu:

- a. Pemodelan
- b. Pengolahan data satelit
- c. Validasi dan uji akurasi

- d. Analisis statistik dan spasial
- e. Analisis kualitatif

Masing-masing tahapan tersebut akan dijelaskan satu per satu sebagai berikut.

3.2.1. Pemodelan

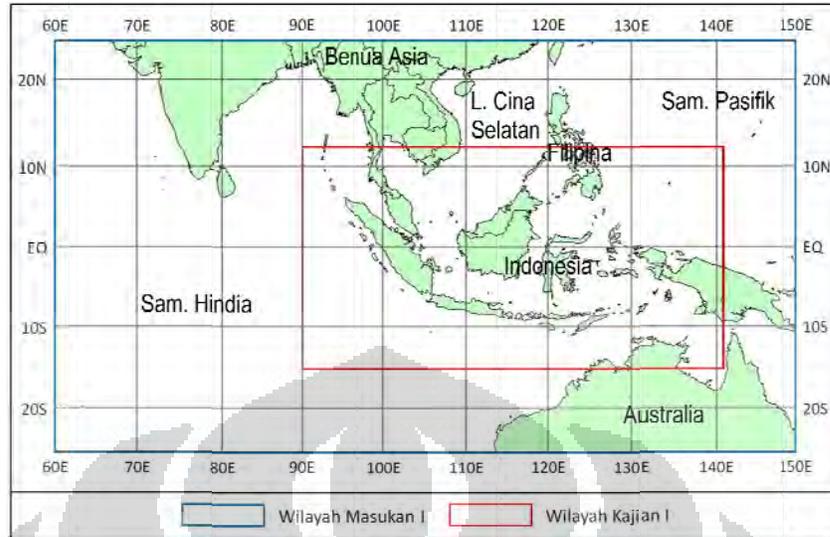
Tahap pemodelan ini akan dilakukan 2 (dua) kali, yaitu Pemodelan Tahap I dan II dimana perbedaan keduanya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.1. Perbedaan Pemodelan Tahap I dan II

NO	PARAMETER	PEMODELAN TAHAP I	PEMODELAN TAHAP II
1	Domain masukan	Wilayah Masukan I Antara 60°BT - 150°BT dan 25°LU - 25°LS	Wilayah Masukan II antara 102°BT - 117°BT dan 6°LU - 10°LS
2	Domain kajian	Wilayah Kajian I Antara 90°BT - 141°BT dan 12°LU - 15°LS	Wilayah Kajian II Antara 104°BT - 115°BT dan 4°LU - 8°LS
3	Resolusi spasial	30 x 30 menit	5 x 5 menit

Sumber: Pengolahan data

Pemodelan Tahap I menggunakan wilayah kajian yang meliputi wilayah perairan Indonesia dan sekitarnya (gambar 3.2). Domain masukan menggunakan domain yang sama dengan ketersediaan domain data masukan model yaitu data angin dari US NOAA/NCEP. Pada kondisi ini, model akan dioperasikan sehingga menghasilkan keluaran dengan resolusi spasial 30 menit atau 55,5 x 55,5 km.



Gambar 3.2. Wilayah Masukan I dan Wilayah Kajian I

Sumber: Pengolahan data



Gambar 3.3. Wilayah Masukan II dan Wilayah Kajian II

Sumber: Pengolahan data

Pemodelan Tahap II dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi pengaruh perbaikan resolusi spasial tinggi gelombang hasil simulasi *WindWaves-5* terhadap hasil validasi. Oleh karena itu resolusi spasialnya ditingkatkan menjadi 5 menit atau $9,25 \times 9,25$ km. Peningkatan resolusi spasial ini dilakukan pada

Wilayah Kajian II yang meliputi Laut Jawa dan Selat Karimata, sedangkan domain masukan adalah sebesar Wilayah Kajian II ditambah masing-masing 2 (dua) derajat ke arah timur, barat, utara dan selatan (gambar 3.3).

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pemodelan tersebut adalah sebagai berikut.

3.2.1.1. Initial Setting

Initial setting dilakukan untuk mengatur luasan domain masukan model dan resolusi data yang dikehendaki. Domain masukan dan resolusi tersebut mengikuti apa yang tercantum dalam tabel 3.1.

3.2.1.2. Inisiasi Model

Sebelum dapat mengolah data, terlebih dahulu harus dilakukan prosedur inisiasi data. Hal ini diperlukan karena model gelombang *WindWaves-5* menganggap kondisi laut pada $t=0$ adalah laut tenang (tidak ada gelombang). Inisiasi data harus dilakukan selama beberapa hari untuk mendapatkan nilai energi gelombang yang akan digunakan sebagai harga awal energi gelombang. Energi gelombang ini disimpan dalam bentuk biner dengan nama *RF_WAVE_ENERGY.BIN* dan *RF_COPY_ENERGY.BIN* sebagai salinannya. Jika pada suatu ketika proses ini gagal, maka pengecekan akan dilakukan pada tiap data masukan untuk mencari data yang rusak atau tidak sesuai. Data tersebut kemudian diganti dan proses inisiasi pun dapat dilanjutkan kembali.

Proses inisiasi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan data arah dan kecepatan angin ketinggian 10 meter yang bersumber dari US NOAA/NCEP pada rentang waktu 1 Januari hingga 31 Desember 2009.

3.2.1.3. Warm Start Analysis

Proses inisiasi menghasilkan keluaran berupa data *RF_WAVE_ENERGY.BIN* yang bersama-sama dengan data angin permukaan

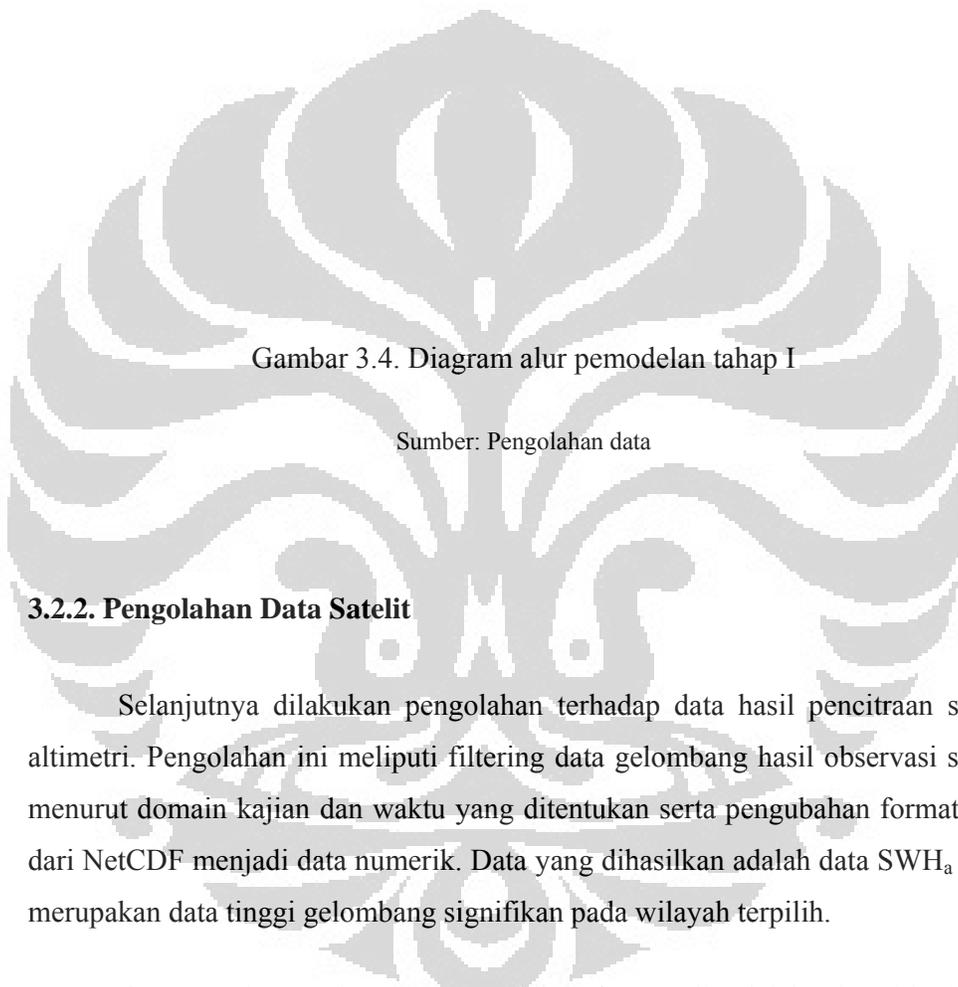
pada rentang waktu 1 Januari hingga 31 Desember akan menjadi data masukan bagi proses analisis yang disebut sebagai *warm start analysis*.

3.2.1.4. Setting Ekstraksi dan Ekstraksi Data

Yang dimaksud dengan setting ekstraksi adalah mengatur wilayah ekstraksi (dalam hal ini adalah wilayah kajian). Pada Pemodelan Tahap I wilayah ekstraksi dibuat antara 90°BT hingga 141°BT dan 12°LU hingga 15°LS, sedangkan pada Pemodelan Tahap II wilayah ekstraksi dibuat antara 104°BT hingga 115°BT dan 4°LU hingga 8°LS.

Setelah setting dilakukan, maka proses ekstraksi dapat dimulai. Proses ini bertujuan untuk memilih data yang akan dianalisa baik secara spasial maupun statistik. Hasil ekstraksi data ini adalah data tinggi gelombang signifikan SWH_{w1} (untuk hasil Pemodelan Tahap I) dan SWH_{w2} ((untuk hasil Pemodelan Tahap II) yang merupakan hasil akhir dijalanannya model gelombang *WindWave-5*.

Diagram alur lengkap untuk proses pemodelan tahap I dapat dilihat pada gambar 3.4., sedangkan pemodelan tahap II hanya mengganti wilayah masukannya menjadi koordinat 102BT-117BT dan 6LU-10LS dengan resolusi spasial 5 menit.



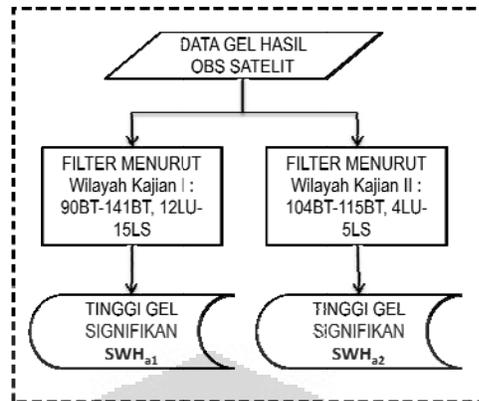
Gambar 3.4. Diagram alur pemodelan tahap I

Sumber: Pengolahan data

3.2.2. Pengolahan Data Satelit

Selanjutnya dilakukan pengolahan terhadap data hasil pencitraan satelit altimetri. Pengolahan ini meliputi filtering data gelombang hasil observasi satelit menurut domain kajian dan waktu yang ditentukan serta pengubahan format data dari NetCDF menjadi data numerik. Data yang dihasilkan adalah data SWH_a yang merupakan data tinggi gelombang signifikan pada wilayah terpilih.

Diagram alur untuk proses pengolahan data satelit adalah sebagai berikut.



Gambar 3.5. Diagram alur pengolahan data satelit

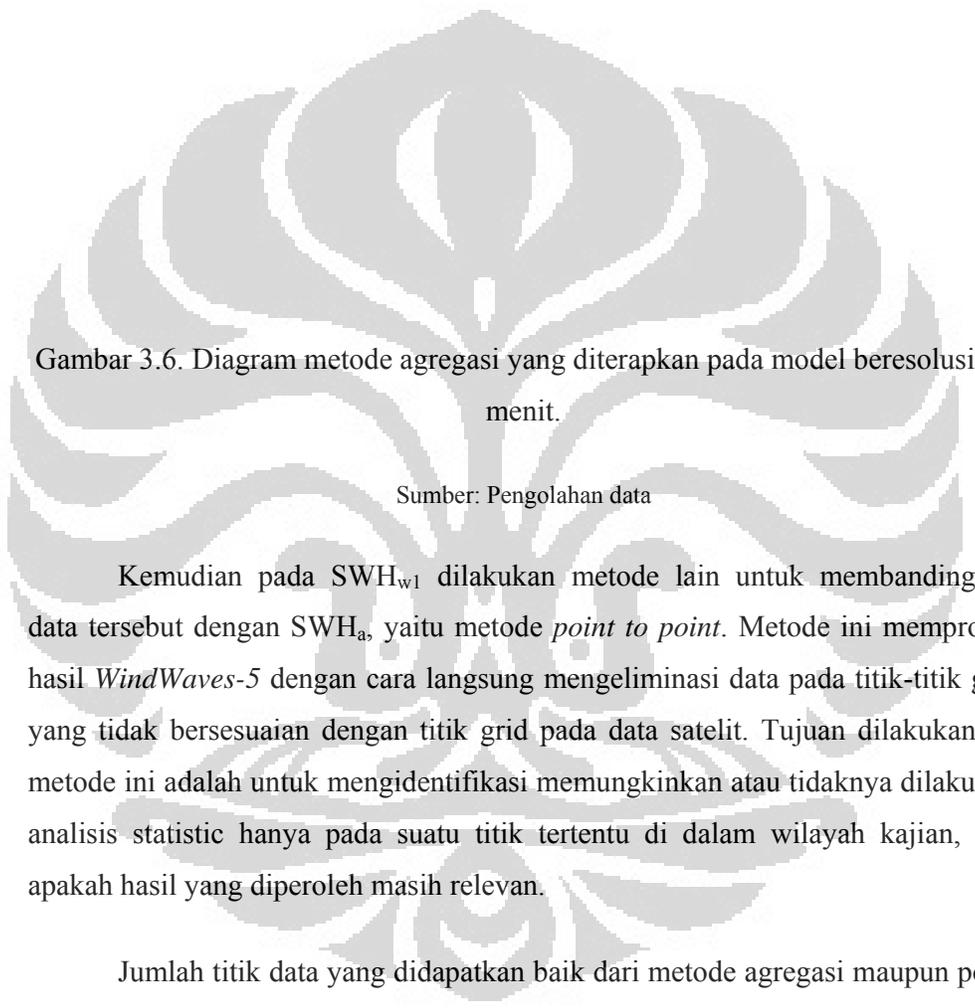
Sumber: Pengolahan data

3.2.3. Validasi dan Uji Akurasi

Data satelit altimetri multimisi yang tersedia secara gratis di media online adalah data dengan resolusi spasial 1 derajat. Karena hasil pemodelan menggunakan *WindWaves-5* yang akan dibandingkan mempunyai resolusi lebih detail, maka harus dibuat agar data tersebut dapat dibandingkan dengan data satelit yang resolusinya lebih lebar.

Metode khusus untuk menjembatani permasalahan tersebut adalah metode resampling. Metode resampling merupakan suatu proses mengubah (menambah atau mengurangi) tingkat resolusi dengan 2 (dua) metode yaitu interpolasi (*interpolation*) dan agregasi (*agregation*). Metode interpolasi dilakukan untuk mengubah resolusi suatu data spasial menjadi lebih detail dengan menambahkan data diantara piksel /grid data yang telah ada. Sedangkan agregasi mengubah resolusi suatu data spasial menjadi kurang detail dibanding sebelumnya dengan merata-ratakan nilai data tiap titik grid yang tidak bersesuaian dengan data yang bersesuaian (Puntodewo, 2003). Metode inilah yang kemudian diterapkan baik pada SWH_{w1} maupun SWH_{w2} .

Metode agregasi yang dimaksud tersebut digambarkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Diagram metode agregasi yang diterapkan pada model beresolusi 30 menit.

Sumber: Pengolahan data

Kemudian pada SWH_{w1} dilakukan metode lain untuk membandingkan data tersebut dengan SWH_a , yaitu metode *point to point*. Metode ini memproses hasil *WindWaves-5* dengan cara langsung mengeliminasi data pada titik-titik grid yang tidak bersesuaian dengan titik grid pada data satelit. Tujuan dilakukannya metode ini adalah untuk mengidentifikasi memungkinkan atau tidaknya dilakukan analisis statistic hanya pada suatu titik tertentu di dalam wilayah kajian, dan apakah hasil yang diperoleh masih relevan.

Jumlah titik data yang didapatkan baik dari metode agregasi maupun point to point adalah sejumlah 1204 titik data yang tersebar pada wilayah kajian sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Sebaran titik data yang digunakan dalam penelitian

Sumber: Pengolahan data

Diagram alur proses validasi dan uji akurasi dapat dilihat pada gambar berikut.

Gambar 3.8. Diagram alur proses validasi dan uji akurasi

Sumber: Pengolahan data

3.2.4. Analisis Statistik dan Spasial

3.2.4.1. Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan dengan perhitungan koefisien korelasi dan uji t, penghitungan RMSE dan MAE serta perhitungan yang menggabungkan antara nilai korelasi dengan RMSE.

a. Koefisien korelasi dan uji t

Penghitungan koefisien korelasi dan uji t bertujuan untuk mengetahui tingkat hubungan dan signifikansi antara variabel SWH_a dan SWH_w .

Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)(n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}} \quad (3.1)$$

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (3.2)$$

Untuk memberikan penafsiran terhadap nilai koefisien korelasi yang didapatkan, maka digunakan tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2. Pedoman interpretasi koefisien korelasi

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

Sumber: Sugiyono, 2000

Sedangkan untuk mengetahui tingkat signifikansi antar variabel, dilakukan perbandingan antara t hitung dengan t tabel (Lampiran 8). Apabila harga t hitung lebih besar daripada t tabel maka data dan

koefisien yang dihasilkan dalam perhitungan korelasi ini dapat digeneralisasikan pada populasi dimana sample diambil, atau data tersebut mencerminkan keadaan populasi.

b. RMSE dan MAE

Untuk menentukan tingkat kesalahan (*error*) dari SWH_w dibandingkan dengan SWH_a dilakukan perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE). Nilai RMSE merupakan rata-rata besar kesalahan pada suatu sampel data, sedangkan MAE adalah rata-rata besar kesalahan tanpa memperhitungkan arah kesalahannya. Bersama-sama, nilai RMSE dan MAE menunjukkan variasi kesalahan yang terjadi pada sampel data tersebut. RMSE selalu lebih besar atau sama dengan MAE. Semakin besar beda antara RMSE dan MAE, maka semakin besar pula variasi / perbedaan masing-masing kesalahan pada sampel yang dihitung.

Rumusan RMSE dan MAE yang dipergunakan adalah:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (3.3)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (3.4)$$

dimana \hat{y}_i adalah nilai dugaan ke-i (yang dalam hal ini adalah nilai SWH_w ke-i), y_i adalah nilai observasi ke-i (nilai SWH_a ke-i) dan n adalah banyaknya observasi.

Untuk memberikan penafsiran terhadap nilai RMSE dan MAE yang didapatkan, maka digunakan tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3. Pedoman interpretasi RMSE dan MAE

RMSE atau MAE (meter)	Tingkat Kesalahan
0.00 – 0.299	Kecil
0.30 – 0.599	Sedang
0.60 – 0.899	Besar
> 0.9	Sangat besar

Sumber: Pengolahan data

c. Gabungan RMSE – korelasi

Analisis lanjut yang dilakukan kemudian adalah analisa *level of confidence* dengan membuat peta khusus yang menggabungkan nilai RMSE dan nilai korelasi dengan formulasi:

$$\frac{1}{2} \times (RMSE + (1 - kor)) \quad (3.5)$$

Dari hasil formulasi tersebut, akan didapatkan suatu nilai yang menunjukkan tingkat kepercayaan (*level of confidence*) terhadap data hasil *WindWaves-5*. Semakin kecil nilai yang diperoleh maka akan semakin tinggi tingkat kepercayaannya.

Untuk memberikan penafsiran terhadap nilai Gabungan RMSE-Korelasi yang didapatkan, maka digunakan tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4. Pedoman penafsiran nilai Gabungan RMSE-Korelasi

Gabungan RMSE-Korelasi	Tingkat Keyakinan (<i>Level of Confidence</i>)
0.00 – 0.299	Tinggi
0.30 – 0.599	Sedang
0.60 – 0.899	Rendah
> 0.9	Sangat rendah

Sumber: Pengolahan data

3.2.4.2. Analisis Spasial

Pembuatan peta hasil pengolahan data dibuat menjadi informasi dalam bentuk peta dalam periode tahunan dan musiman dengan menggunakan software GIS, Arcview 3.3. Pembuatan peta ini dilakukan terhadap nilai koefisien korelasi, RMSE, MAE dan Gabungan RMSE-Korelasi.

Analisis data baik secara statistik maupun spasial dikelompokkan menurut hal berikut:

- a. Pengelompokan berdasarkan periode musim
- b. Pengelompokan berdasarkan wilayah tipe iklim
- c. Pengelompokan berdasarkan kedalaman laut
- d. Pengelompokan berdasarkan lokasi laut relatif terhadap daratan di sekitarnya

3.2.4.3.1. Pengelompokan Berdasarkan Musim

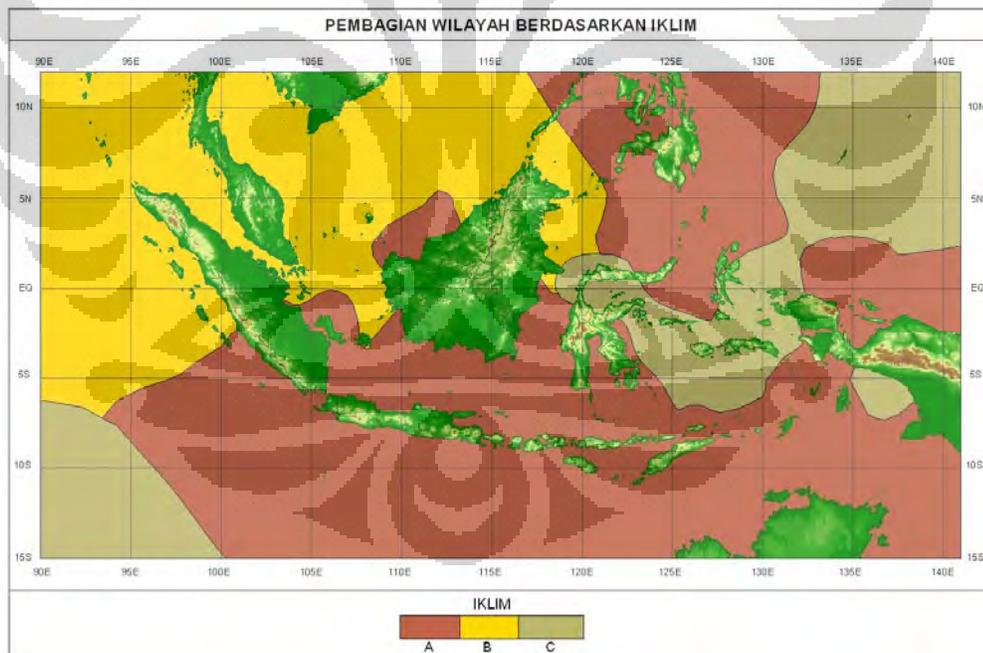
Yang dimaksud dengan pengelompokan berdasarkan periode musim, yaitu pengelompokan data keluaran *WindWaves-5* (SWH_w) dan data hasil pengamatan satelit (SWH_a) berdasarkan periode Monsoon Asia, yaitu bulan Desember – Januari – Februari (DJF); periode Transisi Monsoon Australia, yaitu bulan Maret – April – Mei (MAM); periode Monsoon Australia yang meliputi bulan Juni – Juli – Agustus (JJA); dan periode Transisi Monsoon Asia yang meliputi bulan September – Oktober – November (SON).

3.2.4.3.2. Pengelompokan Berdasarkan Tipe Iklim

Pengelompokan berdasarkan wilayah iklim merupakan pengelompokan data SWH_w dan SWH_a menurut lokasi spasialnya apakah terdapat pada wilayah tipe iklim monsun, ekuatorial atau lokal. Pembagian wilayah ini menurut studi yang dilakukan oleh Aldrian dan Susanto (2003) yang membagi wilayah Indonesia berdasarkan curah hujan dan hubungannya dengan suhu muka laut di wilayah perairan sekitarnya.

Pada gambar 3.9. dapat dilihat bahwa perairan Indonesia yang termasuk dalam wilayah tipe monsunial merupakan wilayah terluas yang meliputi perairan sebelah barat Bengkulu hingga Lampung, perairan sebelah selatan Jawa hingga Nusa Tenggara Timur, Selat Karimata bagian selatan, Laut Jawa, Selat Makassar bagian Selatan, Laut Flores, Laut Timor, Laut Banda bagian Selatan, Laut Arafuru, Laut Sulawesi, Laut Maluku, Laut Halmahera, perairan Tanimbar hingga Kai, dan perairan Biak dan sekitarnya.

Tipe ekuatorial meliputi wilayah perairan sebelah barat Sumatera Barat hingga Aceh, Selat Malaka, Selat Karimata bagian utara, perairan sebelah barat dan utara Kalimantan Barat, sebagian Selat Makassar bagian utara, dan Laut Sulawesi bagian Barat. Sedangkan tipe lokal meliputi wilayah sebagian Selat Makassar bagian utara, Laut Banda bagian Utara, Laut Seram dan Laut Aru.

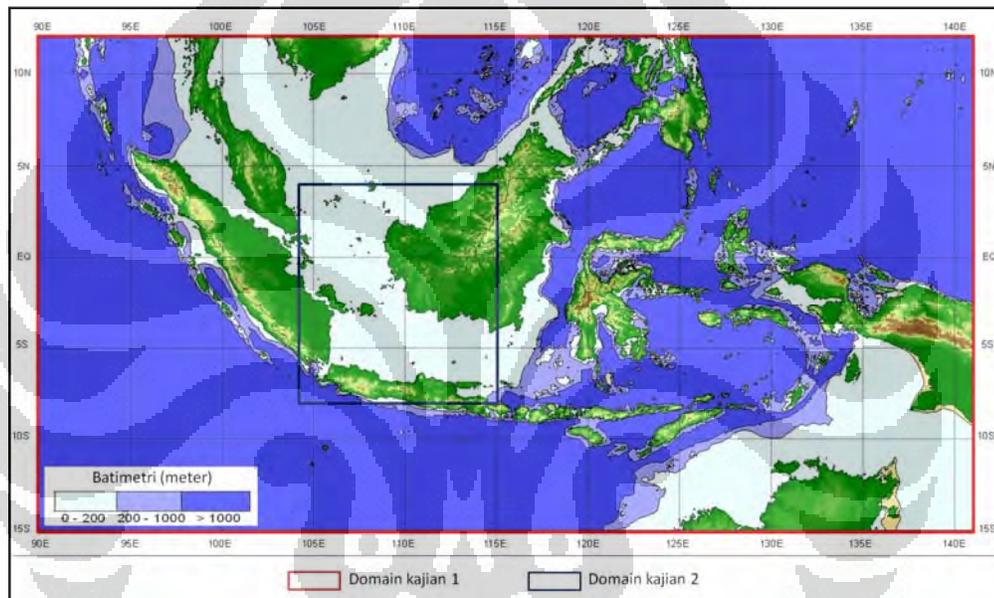


Gambar 3.9. Pembagian wilayah Indonesia menjadi 3 (tiga) wilayah tipe musim yaitu tipe monsunial (A), tipe ekuatorial (B), serta tipe lokal (C).

[Sumber: Aldrian dan Susanto, 2003]

3.2.4.3.3. Pengelompokan Berdasarkan Kedalaman Laut

Pengelompokan berdasarkan kedalaman lautnya merupakan pengelompokan data SWH_w dan SWH_a menjadi 3 (tiga) kelompok yaitu zona neuritik (kedalaman 0 – 200 meter), zona bathial (kedalaman 200 – 1000 meter) dan zona abisal (kedalaman lebih dari 1000 meter). Pembagian wilayah ini dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10. Pembagian wilayah perairan di sekitar Indonesia berdasarkan kedalamannya menjadi 3 (tiga) yaitu wilayah dengan kedalaman 0 – 200 meter, kedalaman 200 – 1000 meter dan kedalaman lebih dari 1000 meter.

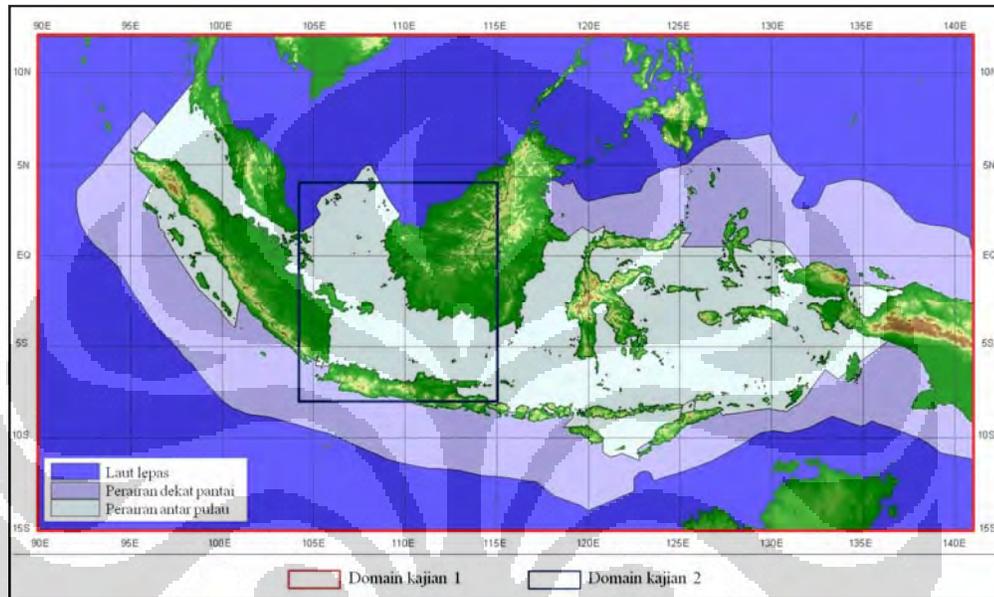
Sumber: Pengolahan data

3.2.4.3.4. Pengelompokan Berdasarkan Letak Laut

Pengelompokan berdasarkan lokasi laut relatif terhadap daratan di sekitarnya membagi data SWH_w dan SWH_a menjadi 3 (tiga) kelompok yaitu perairan dekat pantai, perairan antar pulau dan laut lepas. Yang dimaksud dengan perairan antar pulau adalah perairan antar pulau-pulau di Indonesia. Yang dimaksud dengan perairan dekat pantai adalah perairan pada Zona Ekonomi

Eksklusif (ZEE) Indonesia, sedangkan laut lepas adalah wilayah perairan di luar kedua kategori tersebut.

Pengelompokan ini dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. Pembagian wilayah perairan di sekitar Indonesia berdasarkan wilayah interest menjadi menjadi 3 (tiga) yaitu laut lepas, perairan dekat pantai dan perairan antar pulau.

Sumber: Pengolahan data

Berdasar atas sebaran titik data pada gambar 3.8., jumlah titik data yang digunakan pada masing-masing pengelompokan tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 3.5. Jumlah titik data yang digunakan dalam pengelompokan

No	Pengelompokan	Jumlah titik data
1	Menurut periode musim	1204
	- Monsoon Asia	1204
	- Transisi Monsoon Australia	1204
	- Monsoon Australia	1204
	- Transisi Monsoon Asia	1204
2	Menurut tipe iklim	627
	- Monsunal	342
	- Ekuatorial	235
	- Lokal	
3	Menurut kedalaman laut	314
	- < 200 meter	102
	- 200 hingga 1000 meter	788
	- > 1000 meter	
4	Menurut lokasi laut	696
	- Laut lepas	265
	- Perairan antar pulau	243
	- Perairan dekat pantai	

Sumber: Pengolahan data

3.2.5. Analisis Kualitatif

3.2.5.1. Analisis Implikasi Hasil Validasi

Hasil validasi model gelombang *WindWaves-5* kemudian akan dilihat apakah ada implikasinya terhadap karakteristik laut tertentu yaitu El Nino, La Nina, Monsoon dan siklon tropis.

3.2.5.1.1. El Nino / La Nina

Meskipun kajian Kurniawan (2012) tingkat korelasinya hanya mencapai taraf sedang, namun pada penelitian ini akan dilihat juga seperti apakah hasil validasi di lokasi-lokasi perairan yang mempunyai korelasi maksimal antara anomaly tinggi gelombang dengan El Nino / La Nina. Hasilnya akan diketahui apakah model gelombang *WindWaves-5* sensitif atau tidak terhadap perubahan

(anomaly) tinggi gelombang yang disebabkan oleh fenomena El Nino / La Nina ini.

3.2.5.1.2. Monsoon

Dari hasil validasi model, akan dilihat pada daerah-daerah mana yang mempunyai curah hujan tinggi pada tiap periode musim dan apakah hasil validasi model dapat menunjukkan performa model dalam menggambarkan tinggi gelombang di wilayah-wilayah bercurah hujan tinggi tersebut.

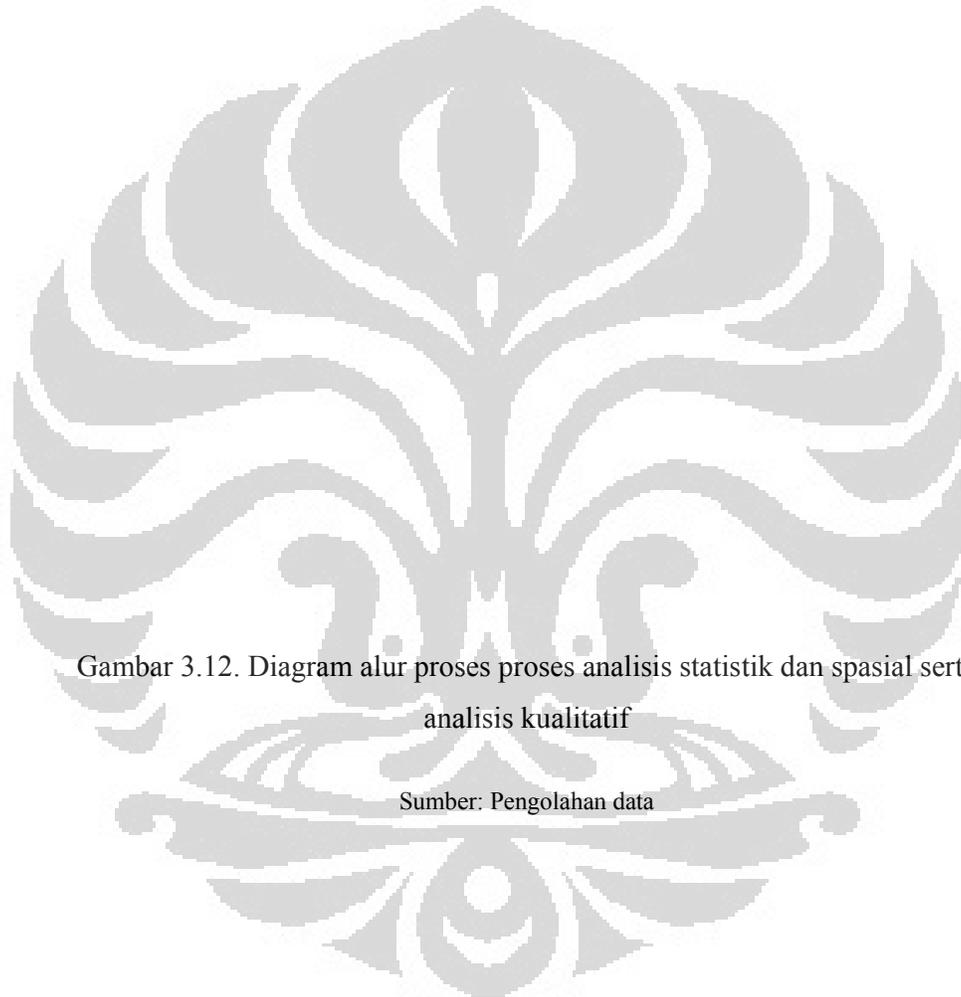
3.2.5.1.3. Siklon Tropis

Dari hasil validasi model gelombang *WindWaves-5*, akan dibandingkan dengan lokasi-lokasi pertumbuhan siklon tropis, untuk dilihat apakah pada wilayah-wilayah tersebut model gelombang *WindWaves-5* dapat mengidentifikasi peningkatan tinggi gelombang yang disebabkan oleh kejadian siklon tropis.

3.2.5.2. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil validasi model gelombang *WindWaves-5* juga kemudian akan dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, yaitu yang dilakukan oleh Suratno (1997) dan BMKG (2011). Perbandingan ini untuk melihat apakah penelitian ini mendukung penelitian-penelitian sebelumnya, ataukah justru membantah penelitian tersebut.

Gambaran proses analisis statistik dan spasial serta analisis kualitatif adalah sebagai berikut.



Gambar 3.12. Diagram alur proses proses analisis statistik dan spasial serta analisis kualitatif

Sumber: Pengolahan data

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

4.1.1. Perbandingan SWH_{a1} dengan SWH_{w1}

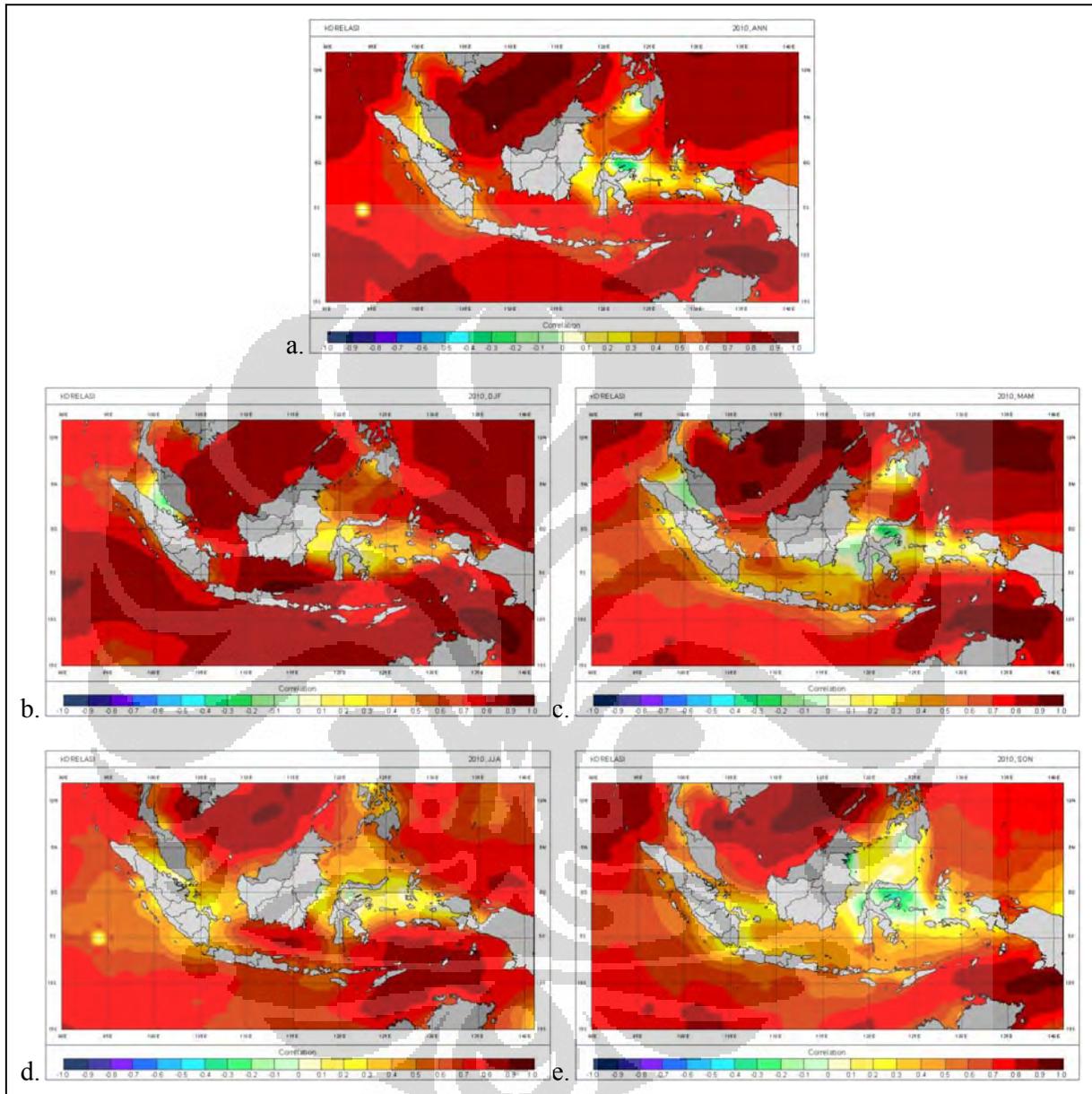
Yang dimaksud dengan perbandingan SWH_{a1} dengan SWH_{w1} adalah perbandingan dari data tinggi gelombang signifikan hasil pengamatan satelit dengan hasil *running* model *WindWaves-5* pada wilayah kajian perairan Indonesia dan sekitarnya dengan resolusi spasial 30 menit (55,5 x 55,5 km).

4.1.1.1. Metode Agregasi

4.1.1.1.1. Hasil Perbandingan Pada Tiap Kategori Periode Musim

Secara umum, selama periode satu tahun, hasil perhitungan koefisien korelasi pada kategori ini mendapatkan nilai bervariasi dengan rentang nilai antara -0,4 hingga 1 (Gambar 4.1.a).

Khusus pada periode Monsoon Asia (Gambar 4.1.b), yang terjadi pada bulan Desember – Januari – Februari, wilayah yang mempunyai korelasi sangat kuat (koefisien korelasi 0,8 hingga 1) terdapat di wilayah Selat Karimata bagian utara, perairan Natuna hingga Laut Cina Selatan, Laut Jawa, perairan sebelah Barat Bengkulu hingga Lampung, perairan sebelah selatan Jawa Tengah hingga Bali dan NTB, sebelah selatan Laut Sawu, Laut Timor, Laut Arafuru, Laut Banda, Laut Halmahera, dan Samudra Pasifik sebelah utara Papua. Sedangkan wilayah perairan yang mempunyai koefisien korelasi rendah hingga sangat rendah (korelasi -0,4 hingga 0,4) pada periode ini adalah Selat Malaka, Selat Makassar, Teluk Tomini, Teluk Tolo, Laut Seram bagian timur dan Teluk Bone serta perairan pesisir barat daya Mentawai.



Gambar 4.1. Peta koefisien korelasi selama periode satu tahun (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).

Sumber: Pengolahan data

Pada periode Transisi Monsoon Australia (Gambar 4.1.c.) yang terjadi pada bulan Maret – April – Mei, wilayah dengan korelasi sangat kuat terdapat di wilayah perairan Natuna hingga Laut Cina Selatan, Laut Halmahera, Samudra Pasifik sebelah utara Papua, Laut Timor, Laut Arafuru dan Laut Banda bagian selatan. Sedangkan wilayah dengan korelasi rendah hingga sangat rendah adalah Selat Malaka, perairan Nias, Pesisir barat Bengkulu, Selat Sunda, Laut Jawa bagian timur, Selat Makassar, Teluk Tomini, Teluk Tolo, Teluk Bone, Laut Maluku, Laut Seram hingga Teluk Berau dan Laut Mindanau.

Pada periode Monsoon Australia (gambar 4.1.d.), wilayah dengan korelasi sangat kuat terdapat di perairan Laut Cina Selatan, Laut Banda, Laut Timor dan Laut Arafuru. Sedangkan wilayah dengan korelasi rendah hingga sangat rendah terdapat di perairan sebelah barat Sumatra, Selat Malaka, Selat Karimata, Selat Sunda dan sekitarnya, Selat Makassar, Teluk Tolo, Teluk Bone, Teluk Tomini, laut Maluku, Laut Seram hingga Teluk Berau.

Dan pada periode Transisi Monsoon Asia (Gambar 4.1.e) yang terjadi pada bulan September – Oktober – November, wilayah yang mempunyai korelasi sangat kuat yaitu Laut Cina Selatan dan Laut Arafura. Sedangkan wilayah dengan korelasi rendah hingga sangat rendah terdapat di perairan Lampung, Selat Sunda, Selat Karimata bagian Selatan, perairan Tarakan, Selat Makassar, Teluk Bone, Teluk Tomini, Teluk Tolo, Laut Maluku, Laut Seram hingga Selat Berau, Laut Sulawesi hingga perairan Mindanao (Filipina) bagian selatan.

Keseluruhan data harian SWH_{w1} dan SWH_{a1} kemudian dihitung kembali untuk mendapatkan tingkat korelasi keseluruhan dari SWH_{w1} dan SWH_{a1} pada masing-masing periode musim dan tingkat signifikansi datanya. Hasil perhitungan korelasi dan uji t (Tabel 4.1.) menunjukkan bahwa secara keseluruhan, nilai koefisien korelasi pada masing-masing periode musim berkisar antara 0,75 hingga 0,83 dengan t hitung yang selalu lebih besar daripada t tabel. Ini menunjukkan adanya hubungan positif yang kuat antara SWH_w dan SWH_a dan data serta koefisien yang diperoleh sudah dapat mencerminkan keadaan populasi (signifikan).

Tabel 4.1. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_w dan SWH_a pada tiap periode musim

NO	PERIODE	JUMLAH DATA	KOEF. KORELASI	t HITUNG	t TABEL	SIGNIFIKANSI
1	Monsoon Asia	107867	0.8127	458.0064	1.9600	Signifikan
2	Transisi M. Australia	110626	0.8240	483.6276	1.9600	Signifikan
3	Monsoon Australia	110503	0.7493	376.0743	1.9600	Signifikan
4	Transisi M. Asia	109452	0.8304	493.1238	1.9600	Signifikan

Sumber: Pengolahan data

Besar RMSE dan MAE secara umum pada masing-masing periode musim dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.2. Nilai RMSE dan MAE pada tiap periode musim

NO	PERIODE	RMSE (meter)	MAE (meter)
1	Monsoon Asia	0.3906	0.3073
2	Transisi Monsoon Australia	0.4277	0.3365
3	Monsoon Australia	0.4336	0.3407
4	Transisi Monsoon Asia	0.6422	0.3704

Sumber: Pengolahan data

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa secara umum RMSE dan MAE pada periode Monsoon Asia berturut-turut adalah 39 dan 31 cm, Transisi Monsoon Australia adalah 43 dan 34 cm, Monsoon Australia adalah 43 dan 34 cm serta Transisi Monsoon Australia adalah 64 dan 37 cm.

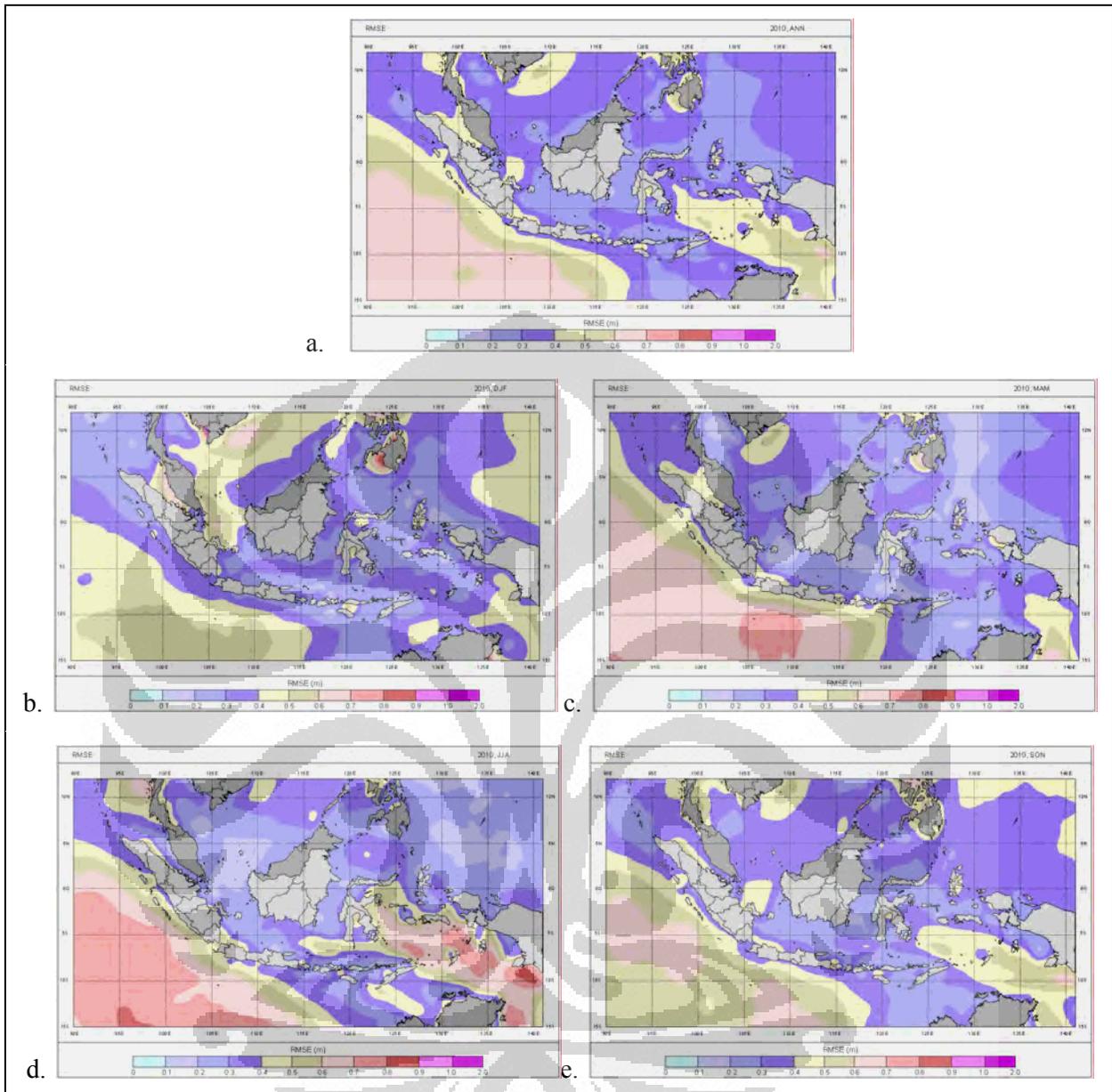
Untuk mengetahui besar RMSE dan MAE pada tiap titik lokasi di wilayah kajian pada tiap-tiap periode musim, telah dihitung dan dibuat peta RMSE dan MAE sebagaimana dapat dilihat pada gambar 4.2. dan 4.3.

Secara umum selama tahun 2010 (Gambar 4.2.a), perairan di Indonesia mempunyai nilai RMSE kurang dari 0.70 meter. Dimana wilayah yang secara umum mempunyai nilai RMSE kecil ($< 0,3$ meter) adalah Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Flores, Laut Halmahera dan Samudra Pasifik sebelah utara Halmahera. Sedangkan wilayah yang secara umum mempunyai nilai RMSE besar ($>0,6$ meter) adalah Samudra Hindia sebelah barat Sumatra dan sebelah selatan Jawa.

Pada periode Monsoon Asia (Gambar 4.2.b), perairan yang mempunyai RMSE kecil adalah perairan sebelah barat dan utara Aceh, pesisir Laut Jawa, perairan sebelah selatan Bali hingga Nusa Tenggara, Laut Sulawesi, Selat Makassar bagian selatan, Laut Flores, Laut Maluku, Laut Halmahera hingga perairan kepala burung Papua. Sedangkan perairan yang mempunyai RMSE lebih dari 0,6 meter hanya terdapat pada Selat Malaka dan pesisir barat daya Mindanau.

Pada periode Transisi Monsoon Australia (Gambar 4.2.c), wilayah dengan RMSE kurang dari 0,3 meter diantaranya yaitu perairan Bangka Belitung, Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Flores, Laut Banda, Laut Maluku dan Laut Halmahera hingga Samudra Pasifik sebelah utara Halmahera. Sedangkan wilayah dengan RMSE lebih dari 0,6 meter terdapat di Samudra Hindia sebelah barat Sumatra dan selatan Jawa.

Pada periode Monsoon Australia (Gambar 4.2.d), wilayah dengan RMSE kurang dari 0,3 meter mencakup perairan sebelah utara Aceh, Selat Karimata, Laut Cina Selatan, Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Halmahera dan Samudra Pasifik sebelah utara Papua. Sedangkan wilayah dengan RMSE lebih dari 0,6 meter adalah perairan sebelah barat Sumatra, Laut Banda, Laut Aru hingga Laut Arafuru.



Gambar 4.2. Peta RMSE selama periode satu tahun (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).

Sumber: Pengolahan data

Pada periode Transisi Monsoon Asia (Gambar 4.2.e), wilayah dengan RMSE kurang dari 30 cm hampir sama dengan wilayah pada periode Monsoon

Asia ditambah dengan Laut Cina Selatan. Sedangkan perairan yang mempunyai RMSE lebih dari 0,6 meter hanya terdapat pada Samudra Hindia sebelah barat Sumatra dan sebelah Selatan Banten dan Jawa Tengah.

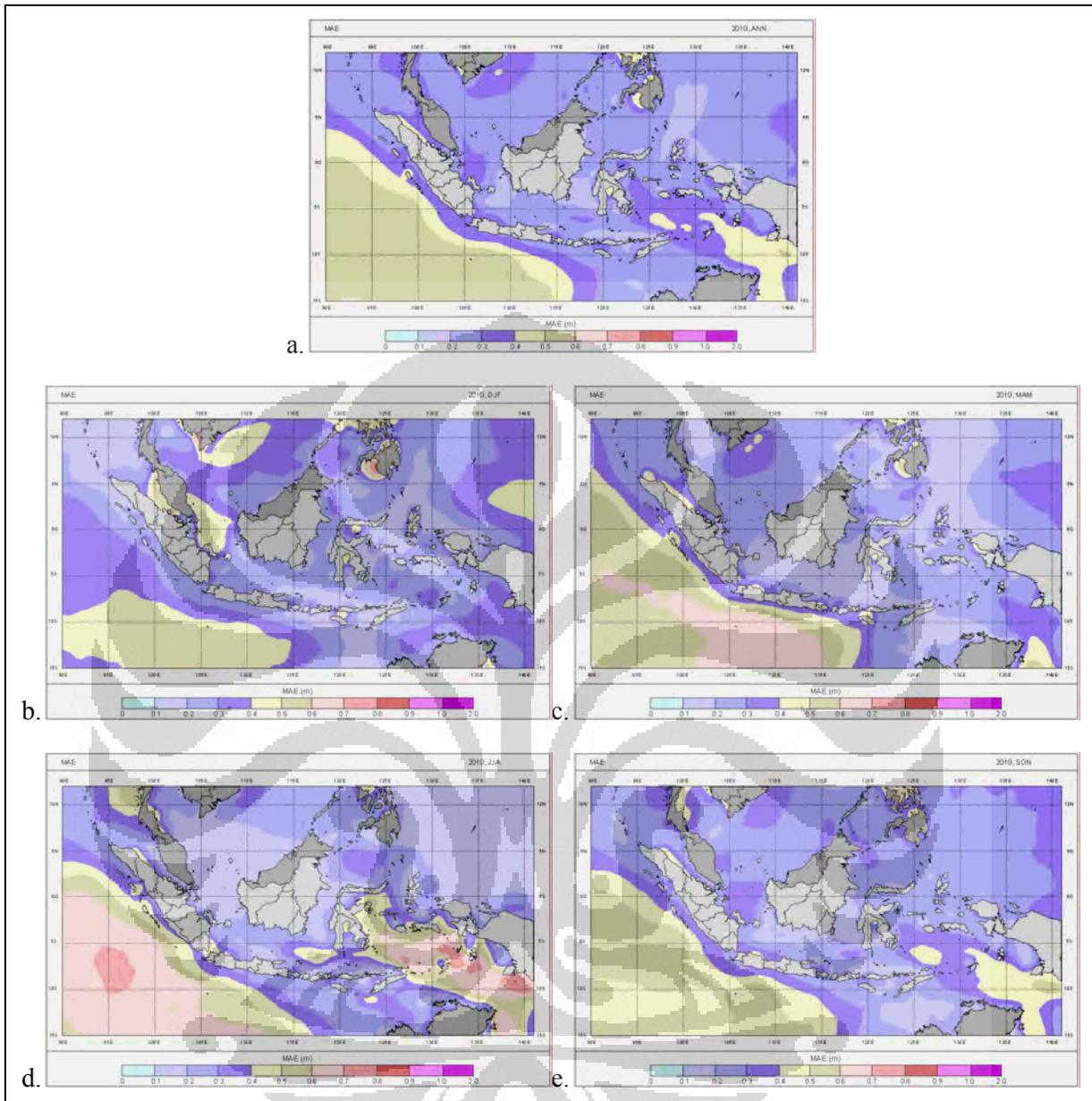
Untuk hasil perhitungan MAE, secara umum selama tahun 2010 (Gambar 4.3.a), perairan di Indonesia mempunyai nilai MAE kurang dari 0.60 meter. Dimana wilayah yang secara umum mempunyai nilai MAE kecil ($< 0,3$ meter) terdapat di sebagian besar perairan Indonesia kecuali perairan sebelah barat Sumatra dan sebelah Selatan Jawa, Laut Banda, Laut Aru dan Laut Arafuru.

Di periode Monsoon Asia (Gambar 4.3.b), sebagian besar perairan Indonesia juga mempunyai MAE kecil kurang dari 0,3 meter, kecuali Samudra Hindia sebelah selatan Sumatra dan Jawa, serta perairan sebelah tenggara Cina. Pada periode ini tidak ada perairan yang mempunyai MAE lebih dari 0,6 meter.

Periode Transisi Monsoon Australia (Gambar 4.3.c) masih sama dengan periode Monsoon Asia, kecuali bahwa perairan sebelah selatan Jawa mempunyai MAE lebih dari 0,6 meter.

Pada periode Monsoon Australia (Gambar 4.3.d), wilayah dengan MAE lebih dari 0,6 meter bertambah pada wilayah Laut Banda, Laut Aru dan Laut Arafuru.

Dan pada periode Transisi Monsoon Asia (Gambar 4.3.e), kondisi MAE di perairan Indonesia hampir sama dengan kondisi MAE selama periode tahun 2010, yaitu nilai MAE kecil ($< 0,3$ meter) terdapat di sebagian besar perairan Indonesia kecuali perairan sebelah barat Sumatra dan sebelah Selatan Jawa, Laut Banda, Laut Aru dan Laut Arafuru. Tidak ada perairan dengan MAE $> 0,6$ meter pada periode ini.



Gambar 4.3. Peta MAE selama periode satu tahun (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).

Sumber: Pengolahan data

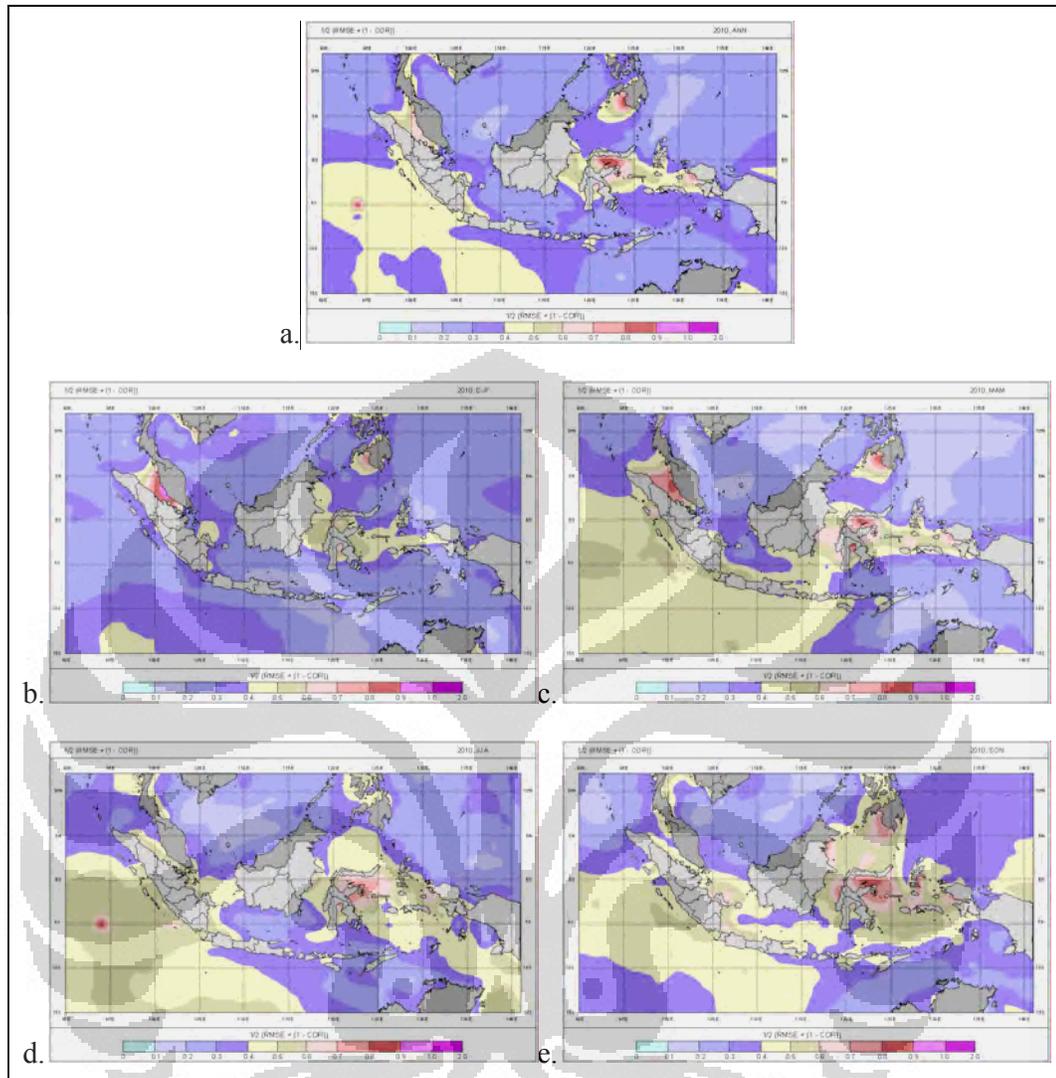
Untuk wilayah dengan dengan *Level of Confidence* tinggi (nilai Gabungan RMSE-Korelasi kurang dari 0,3) maupun rendah (nilai Gabungan RMSE-Korelasi lebih dari 0.6) pada tiap-tiap periode musim dapat dirinci sebagai berikut.

Pada periode Monsoon Asia (Gambar 4.4.a), wilayah dengan dengan *Level of Confidence* tinggi meliputi perairan Samudra Hindia sebelah utara dan barat Sumatra, Laut Cina Selatan, Laut Jawa, Perairan pesisir selatan Jawa, Perairan sebelah selatan Bali hingga Nusa Tenggara, Laut Flores, Laut Timor, Laut Banda, Laut Arafuru, Laut Sulawesi, Laut Halmahera dan Perairan sebelah utara Papua. Untuk wilayah dengan dengan *Level of Confidence* rendah adalah Selat Malaka dan Pesisir barat daya Mindanao Filipina.

Pada periode Transisi Monsoon Australia (Gambar 4.4.b), wilayah dengan dengan *Level of Confidence* tinggi meliputi Laut Andaman, Selat Karimata, Laut Cina Selatan, Laut Banda, Laut Timor, Laut Arafuru, Laut Sulawesi, Laut Halmahera dan Perairan sebelah utara Papua. Wilayah dengan dengan *Level of Confidence* rendah adalah Selat Malaka, Selat Makassar, Pesisir barat daya Mindanao Filipina, Teluk Tomini, Teluk Bone dan Teluk Berau.

Pada periode Monsoon Australia (Gambar 4.4.c), wilayah dengan dengan *Level of Confidence* tinggi meliputi Laut Cina Selatan, Laut Jawa, Laut Timor, Laut Halmahera dan Perairan sebelah utara Papua. Wilayah dengan dengan *Level of Confidence* rendah adalah Teluk Tolo dan Trluk Bone.

Pada periode Transisi Monsoon Asia (Gambar 4.4.e), wilayah dengan dengan *Level of Confidence* tinggi meliputi Perairan sebelah utara Aceh, Laut Cina Selatan dan Laut Timor, sedangkan wilayah dengan dengan *Level of Confidence* rendah meliputi perairan pesisir barat Palu, Teluk Tomini, Teluk Tolo, Teluk Bone, Teluk Weda (Halmahera) dan Teluk Berau (Papua Barat) serta perairan barat daya Mindanao.

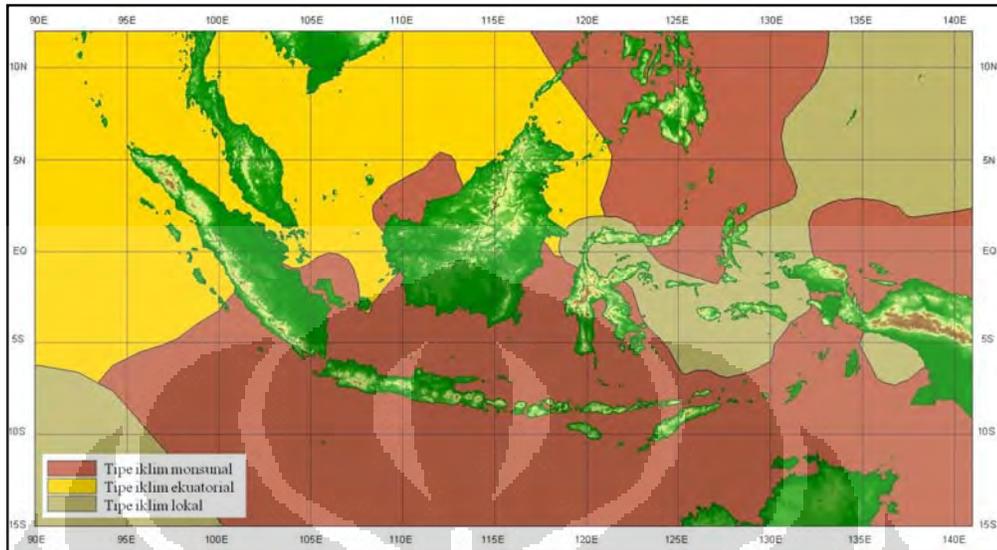


Gambar 4.4. Peta Gabungan RMSE-Korelasi selama periode satu tahun (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).

Sumber: Pengolahan data

4.1.1.1.2. Hasil Perbandingan Pada Tiap Kategori Tipe Iklim

Pengelompokan data tinggi gelombang signifikan menjadi 3 (tiga) kategori tipe iklim, yaitu wilayah dengan tipe iklim monsunal, ekuatorial dan lokal dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.5. Pembagian wilayah perairan di sekitar Indonesia menjadi menjadi 3 (tiga) wilayah tipe musim yaitu tipe monsonal, tipe ekuatorial, serta tipe lokal.

Sumber: Pengolahan data

Setelah dilakukan pengelompokan, maka dilakukan analisa statistik untuk menghitung koefisien korelasi dan uji t. Hasil perhitungan tersebut disajikan dalam tabel 4.3.

Tabel 4.3. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} pada tiap kategori tipe iklim

NO	TIPE IKLIM	JUMLAH DATA	KOEF. KORELASI	t HITUNG	t TABEL	SIGNIFIKANSI
1	Monsonal	228217	0.7696	575.8716	1.9600	Signifikan
2	Ekuatorial	124621	0.7433	392.2997	1.9600	Signifikan
3	Lokal	85610	0.8859	558.8952	1.9600	Signifikan

Sumber: Pengolahan data

Dari tabel tersebut diketahui bahwa ada hubungan positif kuat hingga sangat kuat antara SWH_w dan SWH_a dengan nilai koefisien korelasi antara 0.74 hingga 0.89. Data dan koefisien yang didapat tersebut terbukti signifikan sehingga sudah mencerminkan keadaan populasi dimana sampel data diperoleh.

Kemudian untuk menentukan tingkat kesalahan (*error*) SWH_{w1} dibandingkan SWH_{a1} dilakukan pula perhitungan RMSE dan MAE sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.4 yang selanjutnya nilai RMSE dan koefisien korelasi digabungkan untuk mendapatkan nilai Gabungan RMSE-Korelasi (table 4.5).

Tabel 4.4. Nilai RMSE dan MAE antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} pada tiap kategori tipe iklim

NO	TIPE IKLIM	RMSE (meter)	MAE (meter)
1	Monsunal	0.4486	0.3505
2	Ekuatorial	0.4846	0.3406
3	Lokal	0.5069	0.3279

Sumber: Pengolahan data

Tabel 4.5. Gabungan RMSE-Korelasi antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} pada tiap kategori tipe iklim

NO	TIPE IKLIM	$\frac{1}{2} \times (RMSE + (1 - kor))$
1	Monsunal	0.3575
2	Ekuatorial	0.3818
3	Lokal	0.2814

Sumber: Pengolahan data

Dari kedua tabel tersebut diketahui bahwa RMSE dan MAE pada tiap kategori iklim baik monsunal, ekuatorial maupun lokal termasuk dalam kategori sedang dengan nilai masing-masing yang tidak jauh berbeda. Ini dapat berarti bahwa tingkat kesalahan (*error*) tinggi gelombang signifikan hasil model gelombang *WindWaves-5* tidak tergantung (*independen*) terhadap pola iklim di wilayah tersebut.

4.1.1.1.3. Hasil Perbandingan Pada Tiap Kategori Kedalaman Laut

Data tinggi gelombang signifikan kemudian juga dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kategori berdasarkan kedalaman lautnya, yaitu kedalaman kurang dari 200 meter, 200 hingga 1000 meter dan kedalaman lebih dari 1000 meter. Hasil analisis statistik koefisien korelasi dan uji t disajikan pada tabel berikut ini.

Tabel 4.6. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} pada tiap kategori kedalaman laut

NO	KEDALAMAN LAUT	JUMLAH DATA	KOEF. KORELASI	t HITUNG	t TABEL	SIGNIFIKANSI
1	< 200 m	110716	0.8067	454.2215	1.9600	Signifikan
2	200 – 1000 m	37172	0.7458	215.8527	1.9600	Signifikan
3	> 1000 m	287278	0.7882	686.3564	1.9600	Signifikan

Sumber: Pengolahan data

Dari tabel 4.6. diketahui bahwa ada hubungan positif kuat hingga sangat kuat antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} pada masing-masing kategori kedalaman laut dengan nilai koefisien korelasi tertinggi didapat pada gelombang di perairan dengan kedalaman kurang dari 200 meter, yaitu sebesar 0.81, dan nilai koefisien terendah terdapat pada perairan dengan kedalaman 200 – 1000 meter dimana koefisien korelasinya sebesar 0.75. Uji t yang dilakukan menunjukkan korelasi yang signifikan, yang berarti data dan koefisien yang didapat sudah dapat mewakili kondisi populasi secara keseluruhan.

Perhitungan RMSE dan MAE yang dilakukan berikutnya mendapatkan hasil sebagaimana ditunjukkan pada table 4.7. berikut ini.

Tabel 4.7. Nilai RMSE dan MAE antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} pada tiap kategori kedalaman laut

NO	KEDALAMAN LAUT	RMSE (meter)	MAE (meter)
1	< 200 m	0.3861	0.2951
2	200 – 1000 m	0.3607	0.2789
3	> 1000 m	0.5309	0.3640

Sumber: Pengolahan data

Meskipun perhitungan koefisien korelasi pada tiap kategori kedalaman laut mendapatkan hasil yang tidak jauh berbeda, lain halnya dengan nilai RMSE dan MAE dimana nilai RMSE dan MAE terkecil berturut-turut yaitu 36 cm dan 28 cm diperoleh di wilayah perairan dengan kedalaman 200 hingga 1000 meter, sedangkan RMSE dan MAE terbesar berturut-turut yaitu 53 cm dan 36 cm diperoleh di wilayah perairan dalam (> 1000 meter).

Tabel 4.8. Gabungan RMSE-Korelasi antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} pada tiap kategori kedalaman laut

NO	KEDALAMAN LAUT	$\frac{1}{2} \times (RMSE + (1 - kor))$
1	< 200 m	0.2897
2	200 – 1000 m	0.3074
3	> 1000 m	0.3714

Sumber: Pengolahan data

Dari nilai gabungan RMSE dan korelasi diketahui bahwa pada data tinggi gelombang signifikan di wilayah kedalaman kurang dari 200 meter mempunyai tingkat keyakinan tinggi sedangkan pada kedalaman lebih dari 200 meter mempunyai tingkat keyakinan sedang.

4.1.1.1.4. Hasil Perbandingan Pada Tiap Kategori Lokasi Laut Terhadap Pulau di Sekitarnya

Berdasarkan lokasinya relatif terhadap pulau-pulau di sekitarnya, yaitu laut lepas, perairan dekat pantai dan perairan antar pulau, hasil korelasi dan uji t tinggi gelombang signifikan hasil model dibandingkan dengan hasil pencitraan satelit disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4.9. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_w dan SWH_a pada tiap lokasi laut terhadap pulau di sekitarnya

NO	LOKASI LAUT	JUMLAH DATA	KOEF. KORELASI	t HITUNG	t TABEL	SIGNIFIKANSI
1	Perairan dekat pantai	96518	0.7294	331.2089	1.9600	Signifikan
2	Perairan antar pulau	88506	0.4685	157.7484	1.9600	Signifikan
3	Laut lepas	253424	0.8114	698.8227	1.9600	Signifikan

Sumber: Pengolahan data

Koefisien korelasi tinggi gelombang signifikan pada tiap kategori lokasi laut berbeda cukup besar. Di laut lepas terdapat hubungan positif yang sangat kuat dengan koefisien korelasi 0.81, sedangkan hubungan positif di perairan antar pulau hanya mencapai kategori sedang yaitu dengan koefisien korelasi sebesar 0.47.

Meskipun demikian baik pada tiap kategori kedalaman maupun lokasi laut didapatkan korelasi yang signifikan, yang berarti data dan koefisien yang didapat sudah dapat mewakili kondisi populasi secara keseluruhan.

Perhitungan RMSE dan MAE yang dilakukan berikutnya mendapatkan hasil sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.10. Nilai RMSE dan MAE pada tiap lokasi laut relatif terhadap pulau di sekitarnya

NO	LOKASI LAUT	RMSE (meter)	MAE (meter)
1	Perairan dekat pantai	0.4172	0.3276
2	Perairan antar pulau	0.4883	0.2777
3	Laut lepas	0.5062	0.3646

Sumber: Pengolahan data

Pada kategori lokasi laut, nilai RMSE yang didapat tidak bersesuaian dengan nilai MAEnya. Nilai RMSE berturut-turut dari yang terkecil didapatkan di wilayah perairan dekat pantai (42 cm), perairan antar pulau (49 cm) dan di laut lepas (51 cm), ketiganya termasuk dalam kategori sedang, sedangkan nilai MAE berturut-turut dari yang terkecil didapatkan di perairan antar pulau (28 cm) yang termasuk dalam kategori kecil, perairan dekat pantai (33 cm) dan laut lepas (36 cm) termasuk dalam kategori sedang.

Tabel 4.11. Gabungan RMSE-Korelasi pada tiap lokasi laut relatif terhadap pulau di sekitarnya

NO	LOKASI LAUT	$\frac{1}{2} \times (RMSE + (1 - kor))$
1	Perairan dekat pantai	0.3439
2	Perairan antar pulau	0.5099
3	Laut lepas	0.3474

Sumber: Pengolahan data

Dari nilai gabungan RMSE dan korelasi diketahui bahwa pada data tinggi gelombang signifikan baik di wilayah perairan dekat pantai, perairan antar pulau maupun laut lepas mempunyai tingkat keyakinan sedang.

4.1.1.2. Metode *Point to Point*

Kadangkala melakukan kajian pada suatu wilayah yang luas membutuhkan waktu yang tidak sedikit. Untuk itu kadangkala perlu dilakukan kajian yang datanya hanya menggunakan beberapa titik sampel saja. Metode *point to point* ini dilakukan untuk mengidentifikasi mungkin atau tidaknya kajian titik tersebut dilakukan. Karena metode ini mengeliminasi data SWH_w yang terletak pada titik-titik grid yang tidak bersesuaian dengan lokasi titik-titik data SWH_a .

4.1.1.2.1. Hasil Perbandingan Pada Tiap Kategori Periode Musim

Secara umum, selama periode satu tahun, hasil perhitungan koefisien korelasi pada kategori ini mendapatkan nilai bervariasi dengan rentang nilai antara -0,4 hingga 1 (Gambar 4.6.a).

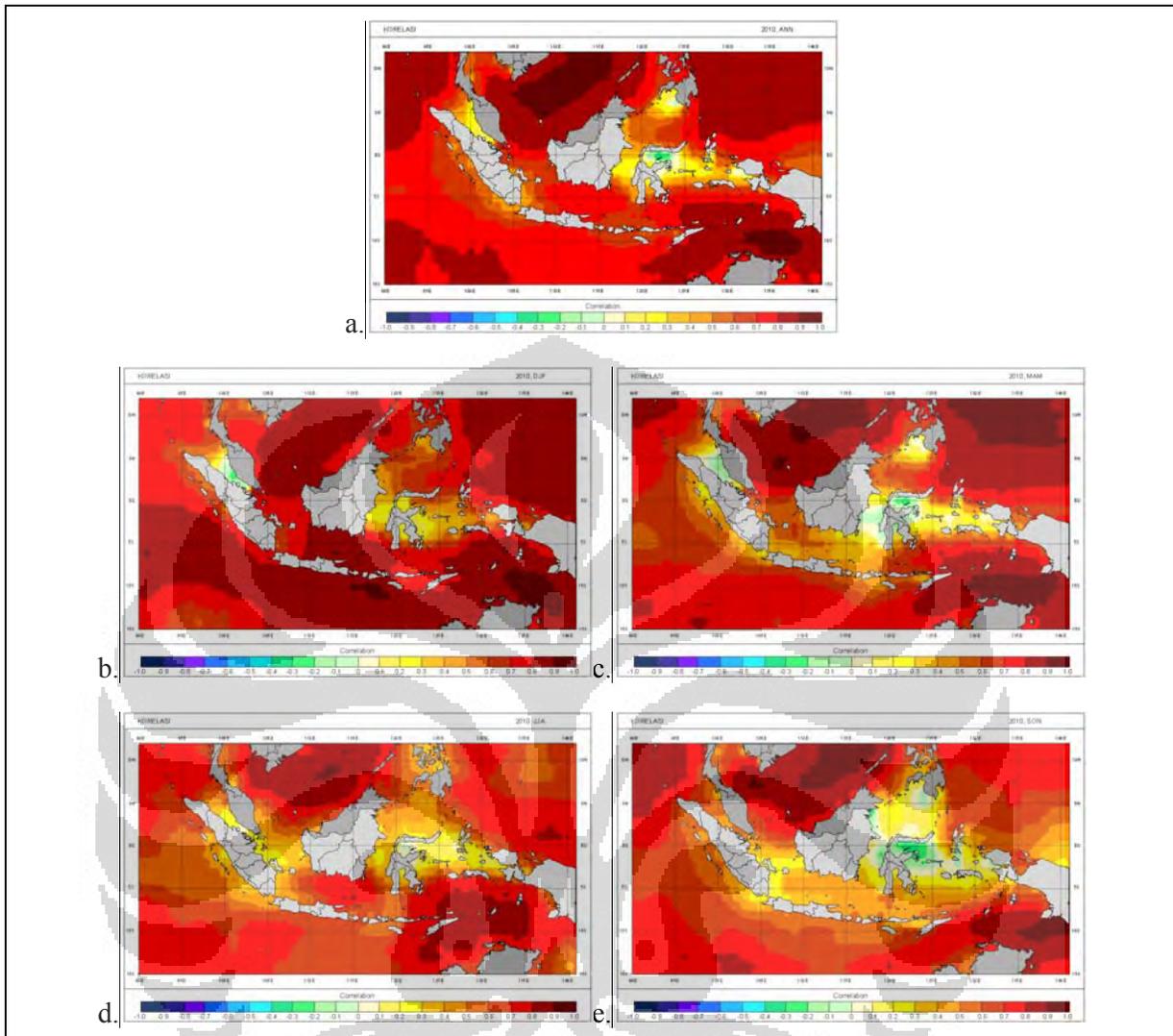
Khusus pada periode Monsoon Asia (Gambar 4.6.b), wilayah yang mempunyai korelasi sangat kuat terdapat di perairan Laut Cina Selatan, perairan sebelah barat Bengkulu hingga Lampung, perairan selatan Jawa, Laut Jawa, perairan sebelah utara Papua, Laut Banda, Laut Arafuru, Laut Timor dan Laut Aru. Sedangkan perairan dengan korelasi rendah hingga sangat rendah meliputi

perairan Selat Malaka, Selat Makassar, Teluk Tomini, Teluk Tolo, Laut Maluku, Laut Seram, Teluk Bone, Laut Mindanau dan perairan sebelah utara Teluk Berau.

Pada periode Transisi Monsoon Australia (Gambar 4.6.c), wilayah yang mempunyai korelasi sangat kuat terdapat di Laut Cina Selatan, perairan sebelah utara Papua, Laut Arafuru, Laut Aru dan Laut Timor. Sedangkan perairan dengan korelasi rendah hingga sangat rendah meliputi perairan pesisir barat Sumatra, Selat Malaka, Selat Karimata bagian Selatan, Laut Jawa, Selat Makassar, Laut Flores, Teluk Tomini, Teluk Tolo, Teluk Bone, Laut Maluku, Laut Seram hingga Teluk Berau dan Laut Mindanau.

Pada periode Monsoon Australia (Gambar 4.6.d), wilayah yang mempunyai korelasi sangat kuat terdapat di perairan Laut Cina Selatan, Laut Banda, Laut Timor dan Laut Arafuru. Sedangkan perairan dengan korelasi rendah hingga sangat rendah meliputi perairan sebelah barat Sumatra, Selat Malaka, Selat Karimata, Selat Sunda dan sekitarnya, Selat Makassar, Teluk Tolo, Teluk Bone, Teluk Tomini, laut Maluku, Laut Seram hingga Teluk Berau.

Pada periode Transisi Monsoon Asia (Gambar 4.6.e), wilayah yang mempunyai korelasi sangat kuat terdapat di perairan Laut Cina Selatan dan Laut Arafura. Sedangkan perairan dengan korelasi rendah hingga sangat rendah meliputi perairan Lampung, Selat Sunda, Selat Karimata bagian Selatan, perairan Tarakan, Selat Makassar, Teluk Bone, Teluk Tomini, Teluk Tolo, Laut Maluku, Laut Seram hingga Selat Berau, Laut Sulawesi hingga perairan Mindanao (Filipina) bagian selatan.



Gambar 4.6. Peta koefisien korelasi antara SWH_{w1} dengan SWH_{a1} dengan metode *point to point* selama periode satu tahun (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).

Sumber: Pengolahan data

Tingkat korelasi keseluruhan dari SWH_{w1} dan SWH_{a1} yang dihitung dengan metode *point to point* pada masing-masing periode musim dan tingkat signifikansi datanya disajikan pada tabel 4.12.

Tabel 4.12. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} dengan metode *point to point* pada tiap periode musim

NO	PERIODE	JUMLAH DATA	KOEF. KORELASI	t HITUNG	t TABEL	SIGNIFIKANSI
1	Monsoon Asia	107,867	0.81	451.3235	1.9600	Signifikan
2	Transisi M. Australia	110,626	0.82	215.255	1.96	Signifikan
3	Monsoon Australia	110,503	0.84	819.509	1.96	Signifikan
4	Transisi M. Asia	109,452	0.83	640.963	1.96	Signifikan

Sumber: Pengolahan data

Dari tabel tersebut diketahui bahwa antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} pada masing-masing periode musim mempunyai hubungan positif sangat kuat lebih dari 0,8 dan dengan data yang signifikan.

Sedangkan nilai kesalahan yang didapat dari perhitungan RMSE dan MAE berturut-turut dari yang terkecil adalah periode monsoon Asia (RMSE 39 cm, MAE 31 cm), Transisi baik ke Monsoon Asia maupun Australia (RMSE 43 cm, MAE 34 cm) dan Monsoon Australia (RMSE 48 cm, MAE 34 cm).

Tabel 4.13. Nilai RMSE dan MAE antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} dengan metode *point to point* pada tiap periode musim

NO	PERIODE	RMSE (meter)	MAE (meter)
1	Monsoon Asia	0.39	0.31
2	Transisi Monsoon Australia	0.43	0.34
3	Monsoon Australia	0.48	0.37
4	Transisi Monsoon Asia	0.43	0.34

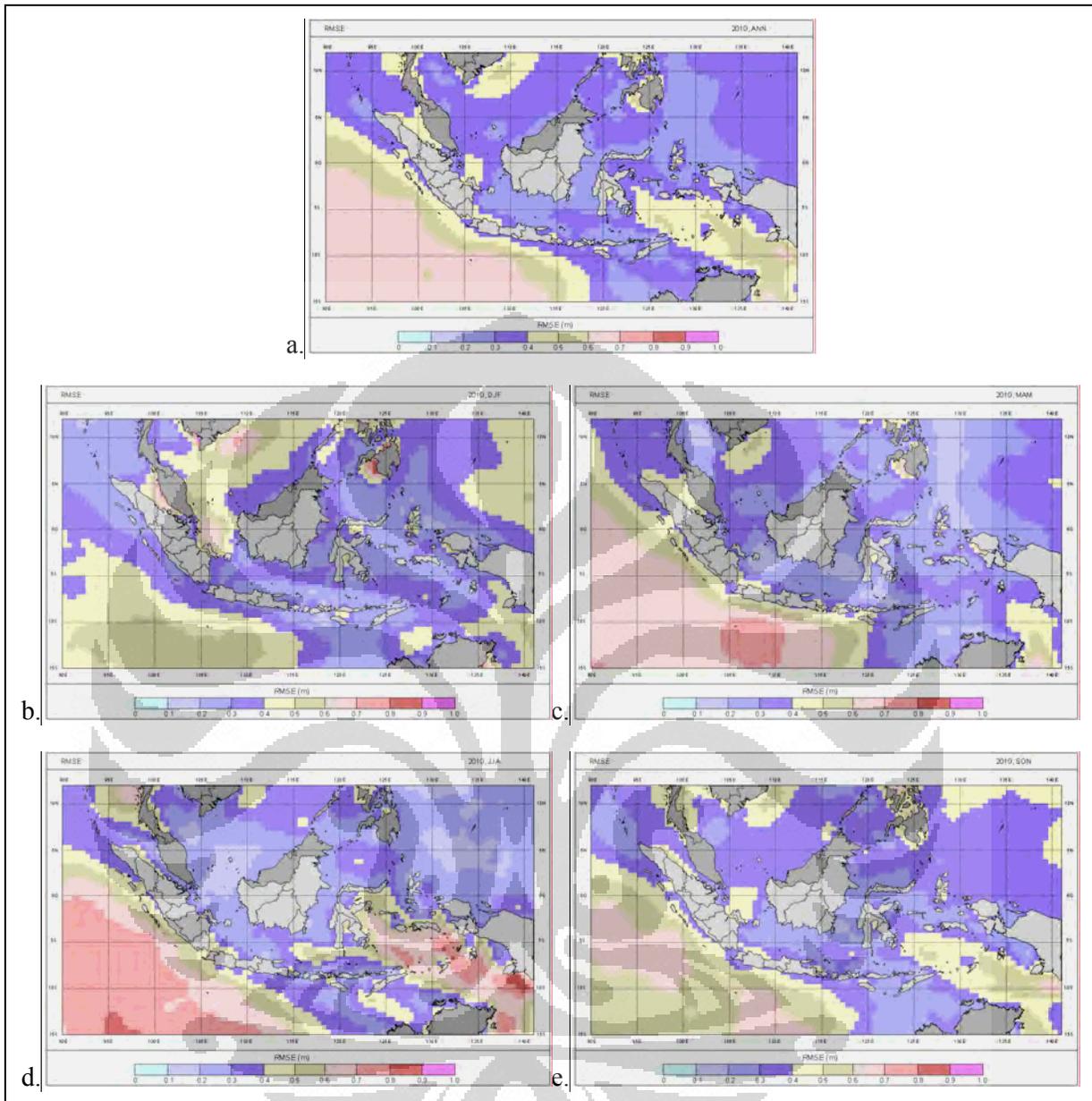
Sumber: Pengolahan data

Peta hasil perhitungan RMSE dapat dilihat pada gambar 4.7. di bawah ini. Secara umum, pada periode tahun 2010, wilayah dengan RMSE besar (lebih dari 0,6 meter hanya terdapat di wilayah perairan sebelah barat Sumatera dan selatan Jawa. Sedangkan wilayah dengan RMSE kecil terdapat di Laut Jawa, perairan Halmahera, Samudra Pasifik sebelah utara Halmahera, Laut Flores dan Laut Banda.

Khusus untuk periode Monsoon Asia, wilayah dengan RMSE kecil kurang dari 0,3 meter terdapat di perairan sebelah barat dan utara Aceh, pesisir Laut Jawa, Laut Flores, Laut Banda, Laut Maluku, Selat Makassar, Laut Sulawesi, Laut Halmahera, hingga Laut Kai. Pada periode selanjutnya (Transisi Monsoon Australia), perairan sebelah barat Sumatra dan selatan Jawa RMSEnya meningkat menjadi lebih dari 0,6 meter, bahkan khusus untuk selatan Banten dan Jawa Tengah RMSE nya meningkat hingga lebih dari 0,7 meter.

Periode selanjutnya (Monsoon Australia) mempunyai RMSE yang lebih besar lagi dimana perairan sebelah barat Sumatra dan selatan Jawa, serta perairan Indonesia bagian Timur (termasuk di dalamnya Laut Arafuru, Laut Aru, Laut Banda) mempunyai nilai RMSE lebih dari 0,7 meter.

Kemudian pada periode Transisi Monsoon Asia kondisi RMSE di perairan Indonesia kembali menurun dimana RMSE maksimum (lebih dari 0,6 meter) hanya terdapat di wilayah perairan sebelah barat Sumatra dan selatan Jawa serta perairan Merauke. Perairan Laut Jawa, perairan sebelah utara Aceh, Selat Karimata, Laut Flores, Laut Timor dan Laut Seram.



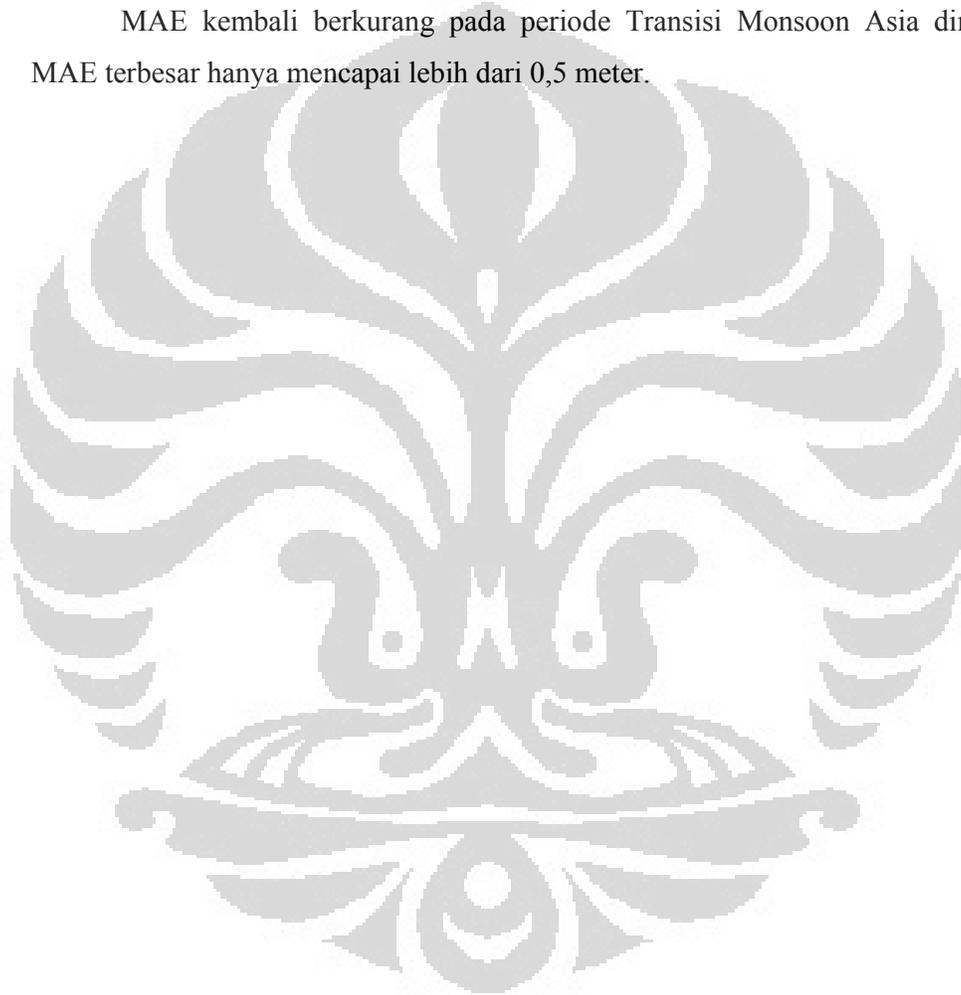
Gambar 4.7. Peta RMSE antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} dengan metode *point to point* selama periode satu tahun (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).

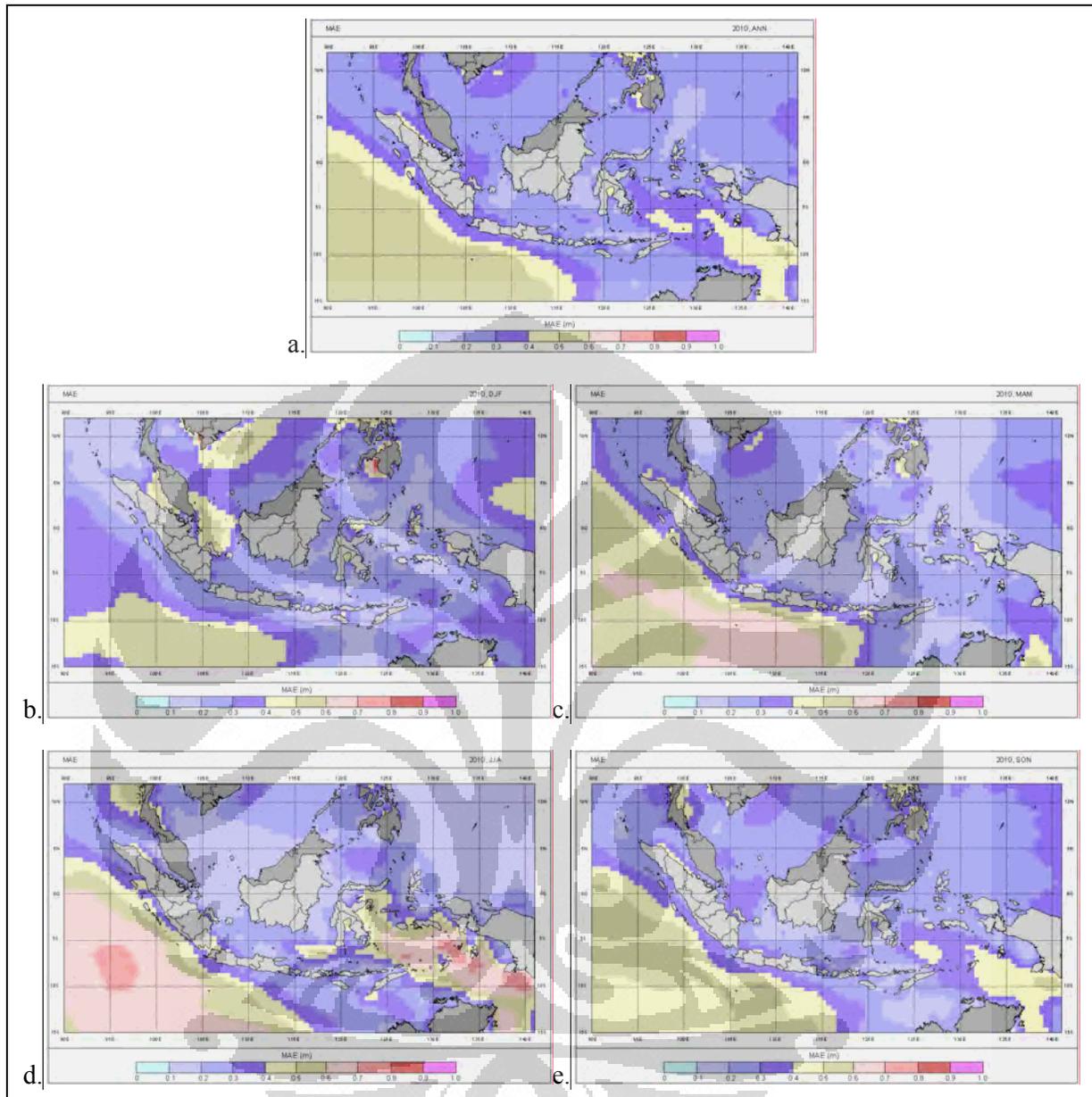
Sumber: Pengolahan data

Kondisi MAE pada periode tahun 2010 mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan RMSEnya. Secara umum tidak ada wilayah yang MAEnya lebih

dari 0,7 meter. Pada periode Monsoon Asia hampir seluruh wilayah mempunyai MAE kurang dari 0,5 meter. Sebagaimana RMSE, kondisi MAE juga meningkat pada periode berikutnya dimana MAE besar lebih dari 0,6 meter mulai tampak di perairan sebelah selatan Jawa, dan meluas pada periode selanjutnya (Monsoon Australia) dimana MAE besar terdapat di perairan sebelah barat Sumatra, selatan Jawa, Laut Aru, Laut Arafuru dan Laut Banda.

MAE kembali berkurang pada periode Transisi Monsoon Asia dimana MAE terbesar hanya mencapai lebih dari 0,5 meter.



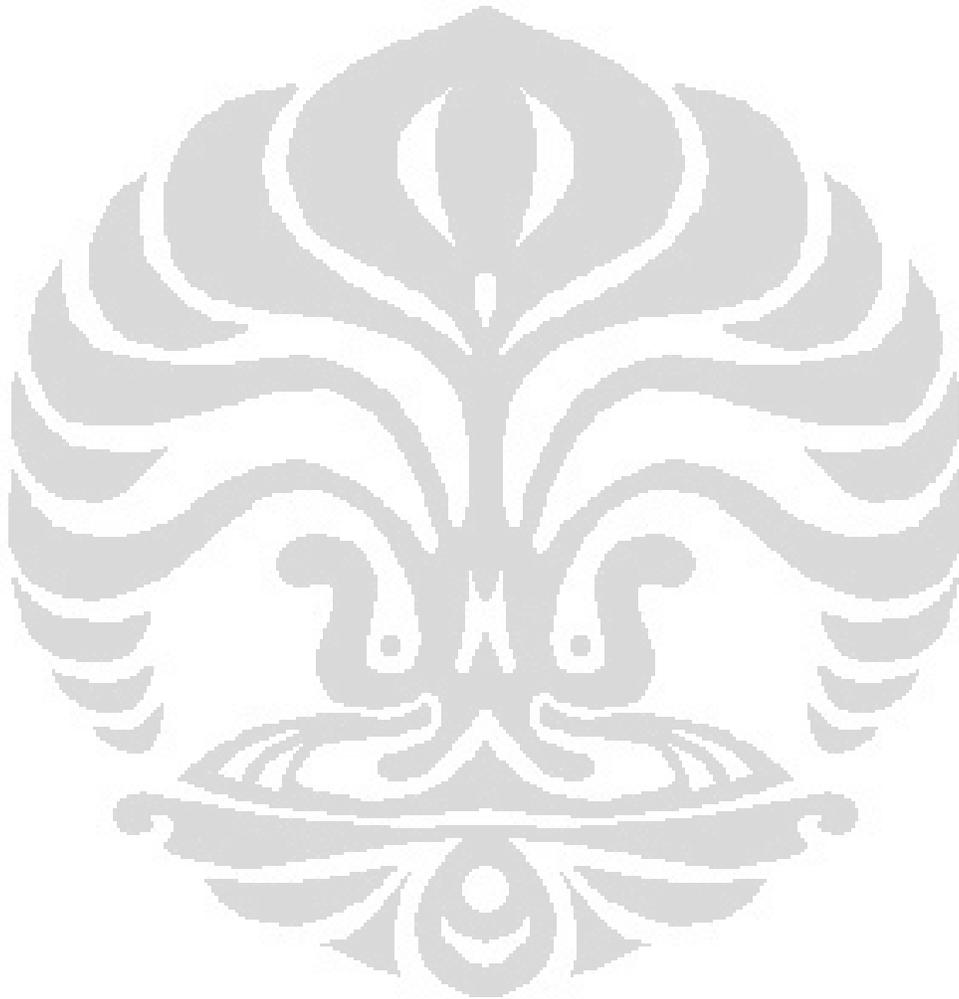


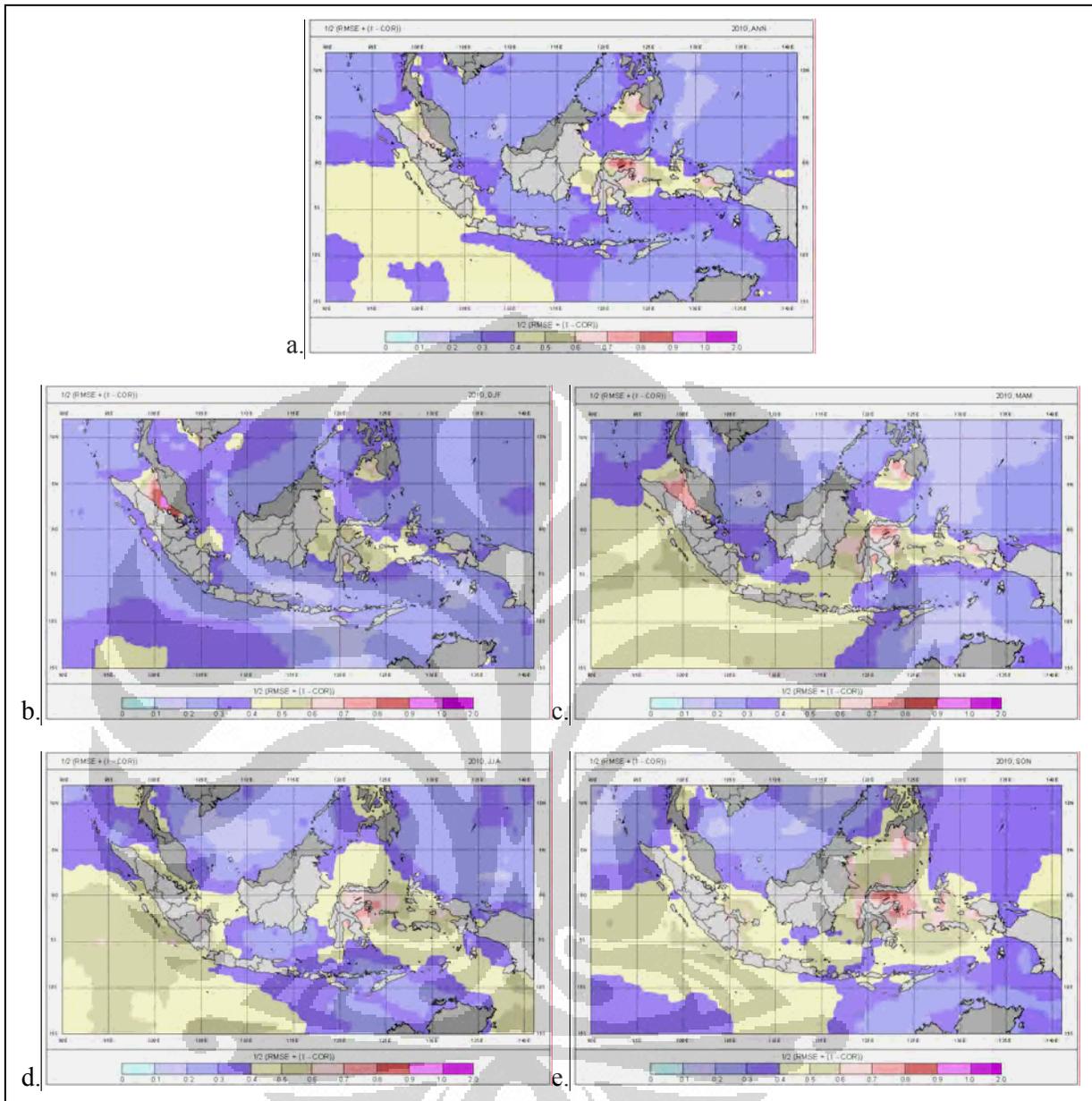
Gambar 4.8. Peta MAE antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} dengan metode *point to point* selama periode satu tahun (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).

Sumber: Pengolahan data

Peta gabungan RMSE – Korelasi pada metode *point to point* dapat dilihat pada gambar 4.9. Dimana pada tiap periode terlihat bahwa secara umum yang

mempunyai Tingkat Keyakinan tinggi adalah perairan Samudra Hindia sebelah utara Aceh, Laut Cina Selatan, Laut Arafuru, Laut Timor, Laut Banda, Laut Halmahera dan Perairan sebelah utara Papua, sedangkan yang mempunyai Tingkat Keyakinan rendah hingga sangat rendah adalah perairan Selat Malaka, Teluk Tomini, Teluk Tolo, Teluk Bone dan Pesisir barat daya Mindanao Filipina.





Gambar 4.9. Peta Gabungan RMSE - Korelasi antara SWH_{w1} dan SWH_{al} dengan metode *point to point* selama periode satu tahun (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).

Sumber: Pengolahan data

4.1.1.2.2. Hasil Perbandingan Pada Tiap Kategori Tipe Iklim

Pada tiap kondisi tipe iklim, nilai koefisien korelasi dan uji t dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.14. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} dengan metode *point to point* pada tiap kategori tipe iklim

NO	TIPE IKLIM	JUMLAH DATA	KOEF. KORELASI	t HITUNG	t TABEL	SIGNIFIKANSI
1	Monsonal	228217	0.80	640.963	1.96	Signifikan
2	Ekuatorial	124621	0.81	481.887	1.96	Signifikan
3	Lokal	85610	0.89	559.954	1.96	Signifikan

Sumber: Pengolahan data

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa pada tiap kategori tipe iklim, masing-masing mempunyai korelasi positif yang sangat kuat (lebih dari 0,8) dengan data yang signifikan.

Nilai kesalahan yang ditunjukkan oleh perolehan RMSE dan MAE pada tiap kategori ini termasuk dalam kategori sedang, dimana baik RMSE maupun MAE pada tiap-tiap tipe iklim mempunyai nilai yang tidak jauh berbeda dalam range antara 34 hingga 35 cm (MAE) dan 42 hingga 45 cm.

Tabel 4.15. Nilai RMSE dan MAE antara SWH_w dan SWH_a dengan metode *point to point* pada tiap kategori tipe iklim

NO	TIPE IKLIM	RMSE (meter)	MAE (meter)
1	Monsunal	0.44	0.34
2	Ekuatorial	0.42	0.33
3	Lokal	0.45	0.35

Sumber: Pengolahan data

Nilai Gabungan RMSE dan Korelasi juga tampak tidak jauh berbeda antara tipe iklim satu dengan yang lain. Dari kondisi ini dapat disimpulkan bahwa validasi model *WindWaves-5* tidak tergantung (independen) terhadap tipe iklimnya.

Tabel 4.16. Gabungan RMSE-Korelasi antara SWH_w dan SWH_a dengan metode *point to point* pada tiap kategori tipe iklim

NO	TIPE IKLIM	$\frac{1}{2} \times (RMSE + (1 - kor))$
1	Monsunal	0.3184
2	Ekuatorial	0.3078
3	Lokal	0.2819

Sumber: Pengolahan data

4.1.1.2.3. Hasil Perbandingan Pada Tiap Kategori Kedalaman Laut

Dengan hasil perhitungan koefisien korelasi dan uji t sebagai mana ditunjukkan pada tabel berikut, diketahui bahwa pada kedalaman kurang dari 200 meter dan lebih dari 1000 meter, SWH_{w1} dan SWH_{a1} mempunyai hubungan positif sangat kuat, sedangkan pada kedalaman antara 200 hingga 1000 meter mempunyai hubungan positif kuat.

Tabel 4.17. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara dengan metode *point to point* pada tiap kategori kedalaman laut

NO	KEDALAMAN LAUT	JUMLAH DATA	KOEF. KORELASI	t HITUNG	t TABEL	SIGNIFIKANSI
1	< 200 m	110716	0.80	451.3235	1.9600	Signifikan
2	200 – 1000 m	37172	0.74	215.255	1.9600	Signifikan
3	> 1000 m	287278	0.84	819.509	1.9600	Signifikan

Sumber: Pengolahan data

Pada penggolongan berdasarkan kedalaman lautnya ini, kemudian diketahui bahwa nilai *error* terendah terdapat di wilayah perairan dengan kedalaman 200 – 1000 meter dengan RMSE 36 cm dan MAE 28 cm.

Tabel 4.18. Nilai RMSE dan MAE antara SWH_w dan SWH_a dengan metode *point to point* pada tiap kategori kedalaman laut

NO	KEDALAMAN LAUT	RMSE (meter)	MAE (meter)
1	< 200 m	0.39	0.30
2	200 – 1000 m	0.36	0.28
3	> 1000 m	0.46	0.36

Sumber: Pengolahan data

Dan dari tabel Gabungan RMSE-Korelasi berikut diketahui bahwa masing-masing kedalaman laut tidak berbeda jauh dengan nilai gabungan antara 0,29 hingga 0,31 (tingkat keyakinan tinggi).

Tabel 4.19. Gabungan RMSE-Korelasi antara SWH_w dan SWH_a dengan metode *point to point* pada tiap kategori kedalaman laut

NO	KEDALAMAN LAUT	$\frac{1}{2} \times (RMSE + (1 - kor))$
1	< 200 m	0.2916
2	200 – 1000 m	0.3085
3	> 1000 m	0.3126

Sumber: Pengolahan data

4.1.1.2.4. Hasil Perbandingan Pada Tiap Kategori Lokasi Laut Terhadap Pulau di Sekitarnya

Jika digolongkan berdasarkan lokasi perairan terhadap pulau-pulau di sekitarnya, wilayah laut lepas mempunyai koefisien korelasi yang paling besar dengan nilai 0,84. Hal ini sesuai dengan yang dinyatakan dalam kajian Suratno (1997) dan BMG (2003) yang menyatakan bahwa model *WindWaves-5* merupakan model laut dalam.

Tabel 4.20. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_w dan SWH_a pada tiap lokasi laut terhadap pulau di sekitarnya

NO	LOKASI LAUT	JUMLAH DATA	KOEF. KORELASI	t HITUNG	t TABEL	SIGNIFIKANSI
1	Perairan dekat pantai	96518	0.73	331.637	1.96	Signifikan
2	Perairan antar pulau	88506	0.64	245.057	1.96	Signifikan
3	Laut lepas	253424	0.84	771.246	1.96	Signifikan

Sumber: Pengolahan data

Meski demikian, dari nilai RMSE dan MAE, ternyata yang memiliki nilai kesalahan lebih kecil adalah tinggi gelombang signifikan di wilayah perairan antar

pulau, dimana nilai RMSE nya sebesar 36 cm dan MAE nya sebesar 28 cm. Berkebalikan dengan wilayah laut lepas yang mempunyai tingkat kesalahan paling besar dengan RMSE 47 cm dan MAE 37 cm.

Tabel 4.21. Nilai RMSE dan MAE pada tiap lokasi laut relatif terhadap pulau di sekitarnya

NO	LOKASI LAUT	RMSE (meter)	MAE (meter)
1	Perairan dekat pantai	0.42	0.33
2	Perairan antar pulau	0.36	0.28
3	Laut lepas	0.47	0.37

Sumber: Pengolahan data

Hasil perhitungan Gabungan RMSE-Korelasi cenderung bersesuaian dengan hasil perhitungan korelasi dimana wilayah laut lepas mempunyai nilai terkecil 0.31 dan perairan antar pulau mempunyai nilai terbesar 0.36.

Tabel 4.22. Gabungan RMSE-Korelasi pada tiap lokasi laut relatif terhadap pulau di sekitarnya

NO	LOKASI LAUT	$\frac{1}{2} \times (RMSE + (1 - kor))$
1	Perairan dekat pantai	0.3441
2	Perairan antar pulau	0.3601
3	Laut lepas	0.3150

Sumber: Pengolahan data

4.1.2. Perbandingan SWH_{a2} dengan SWH_{w2}

Yang dimaksud dengan perbandingan SWH_{a2} dengan SWH_{w2} adalah perbandingan dari data tinggi gelombang signifikan hasil pengamatan satelit dengan hasil *running* model *WindWaves-5* pada wilayah kajian Laut Jawa dan Selat Karimata dengan resolusi spasial 5 menit (9,25 x 9,25 km).

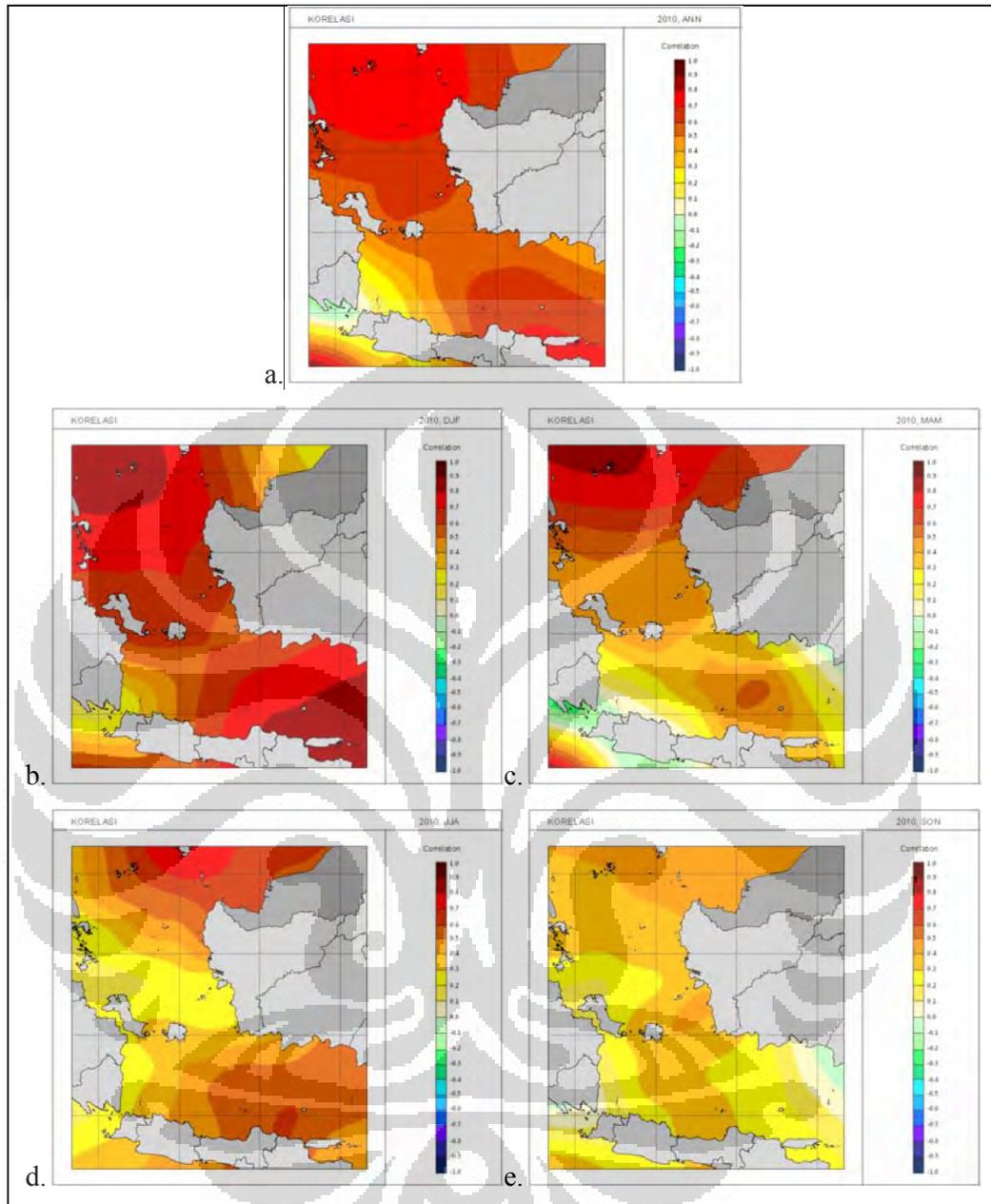
4.1.2.1. Hasil Perbandingan Pada Tiap Kategori Periode Musim

Analisis yang pertama dilakukan adalah perhitungan koefisien korelasi. Hasilnya kemudian dipetakan untuk mendapatkan peta sebaran nilai koefisien korelasi pada tiap titik di wilayah kajian (gambar 4.10.).

Pada periode Monsoon Asia (gambar 4.10.b) wilayah dengan nilai koefisien korelasi sangat kuat (lebih dari 0.8) adalah perairan Kepulauan Riau dan Laut Jawa bagian Timur. Sedangkan wilayah yang mempunyai koefisien korelasi rendah hingga sangat rendah (-0.4 hingga 0.4) adalah Selat Sunda dan perairan sebelah utara Pulau Kalimantan.

Pada periode Transisi Monsoon Australia (gambar 4.10.c), wilayah dengan nilai koefisien korelasi sangat kuat adalah perairan Kepulauan Riau, sedangkan wilayah yang mempunyai koefisien korelasi rendah hingga sangat rendah adalah Selat Sunda dan perairan sekitarnya dan Laut Jawa.

Periode Monsoon Australia (gambar 4.10.d) menunjukkan tidak adanya wilayah dengan nilai koefisien korelasi sangat kuat. Wilayah yang mempunyai koefisien korelasi rendah hingga sangat rendah bergeser ke utara menjadi perairan Bangka Belitung hingga Selat Karimata bagian Selatan.



Gambar 4.10. Peta koefisien korelasi antara SWH_a dan SWH_w beresolusi 5 menit pada periode tahun 2010 (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).

Sumber: Pengolahan data

Nilai koefisien korelasi terendah diperlihatkan pada periode Transisi Monsoon Asia (gambar 4.10.e) dimana koefisien tertinggi hanya mencapai kurang

dari 0.5 di perairan Natuna, sedangkan wilayah lain mempunyai korelasi kurang dari 0.4.

Dari kesemuanya diketahui bahwa secara umum wilayah dengan nilai koefisien korelasi paling baik adalah perairan Natuna, sedangkan wilayah dengan nilai koefisien korelasi terburuk adalah Selat Sunda dan sekitarnya.

Secara keseluruhan, nilai koefisien korelasi pada masing-masing periode musim memperlihatkan tingkat korelasi pada periode Monsoon Asia lebih baik daripada pada periode lainnya, sedangkan periode Monsoon Australia mempunyai tingkat korelasi yang paling buruk dengan koefisien hanya bernilai -0.0058, dengan uji t yang menunjukkan tidak signifikannya data (tabel 4.23.).

Tabel 4.23. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_a dan SWH_w beresolusi 5 menit pada tiap periode musim

NO	PERIODE	JUMLAH DATA	KOEF. KORELASI	t HITUNG	t TABEL	SIGNIFIKANSI
1	Monsoon Asia	9994	0.3562	38.1082	1.9602	Signifikan
2	Transisi M. Australia	7724	0.1597	14.2192	1.9603	Signifikan
3	Monsoon Australia	7694	-0.0058	-0.5061	1.9603	Tidak signifikan
4	Transisi M. Asia	7643	0.0775	6.7962	1.9603	Signifikan

Sumber: Pengolahan data

Analisis yang dilakukan selanjutnya adalah perhitungan dan pemetaan RMSE dan MAE pada tiap periode musim.

Table 4.24. menunjukkan nilai RMSE dan MAE secara umum pada tiap periode musim. Nilai RMSE dan MAE terendah terdapat pada periode Transisi Monsoon Australia (RMSE 63 cm, MAE 44 cm), RMSE tertinggi terjadi pada

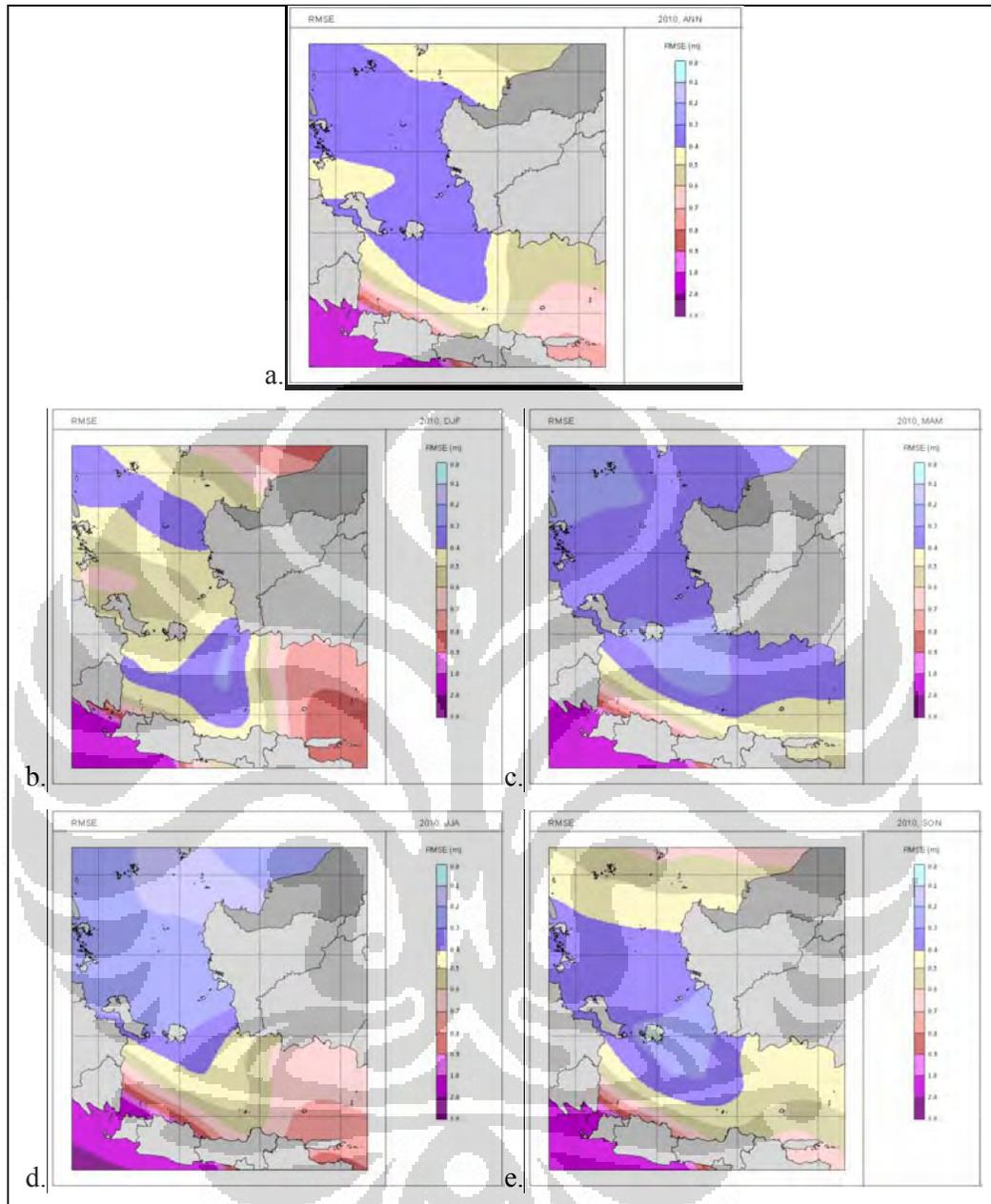
periode Monsoon Australia (75 cm) dan MAE tertinggi pada periode Monsoon Asia (54 cm).

Tabel 4.24. Nilai RMSE dan MAE pada tiap periode musim pada wilayah kajian 2 dengan data SWH_w beresolusi 5 menit

NO	PERIODE	RMSE (meter)	MAE (meter)
1	Monsoon Asia	0.7103	0.5366
2	Transisi Monsoon Australia	0.6333	0.4386
3	Monsoon Australia	0.7464	0.5015
4	Transisi Monsoon Asia	0.7090	0.5347

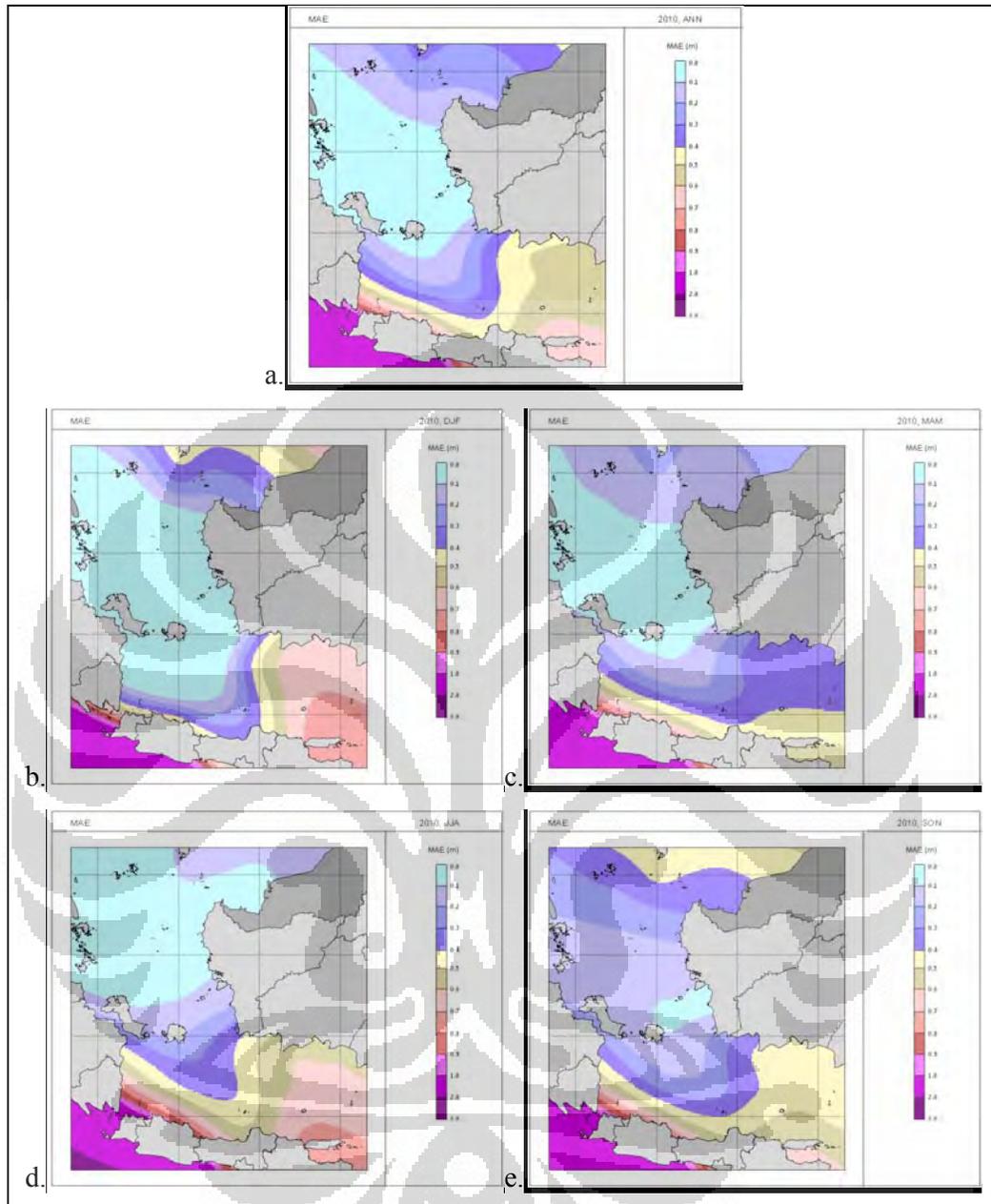
Sumber: Pengolahan data

Peta pada gambar 4.11. menunjukkan nilai RMSE pada tiap lokasi di wilayah kajian. Peta tersebut menunjukkan bahwa pada tidak ada wilayah dengan RMSE kurang dari 30 cm pada periode Monsoon Asia. Pada periode ini RMSE yang cukup tinggi lebih dari 70 cm terdapat di perairan sebelah utara Pulau Kalimantan, Laut Jawa bagian Timur dan Selat Sunda dan perairan di sebelah selatannya. Perairan Selat Sunda dan perairan di sebelah selatannya ini bahkan mempunyai nilai RMSE tertinggi (lebih dari 1 meter) di sepanjang tahun.



Gambar 4.11. Peta RMSE antara SWH_a dan SWH_w beresolusi 5 menit pada periode tahun 2010 (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).

Sumber: Pengolahan data



Gambar 4.12. Peta MAE antara SWH_a dan SWH_w beresolusi 5 menit pada periode tahun 2010 (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).

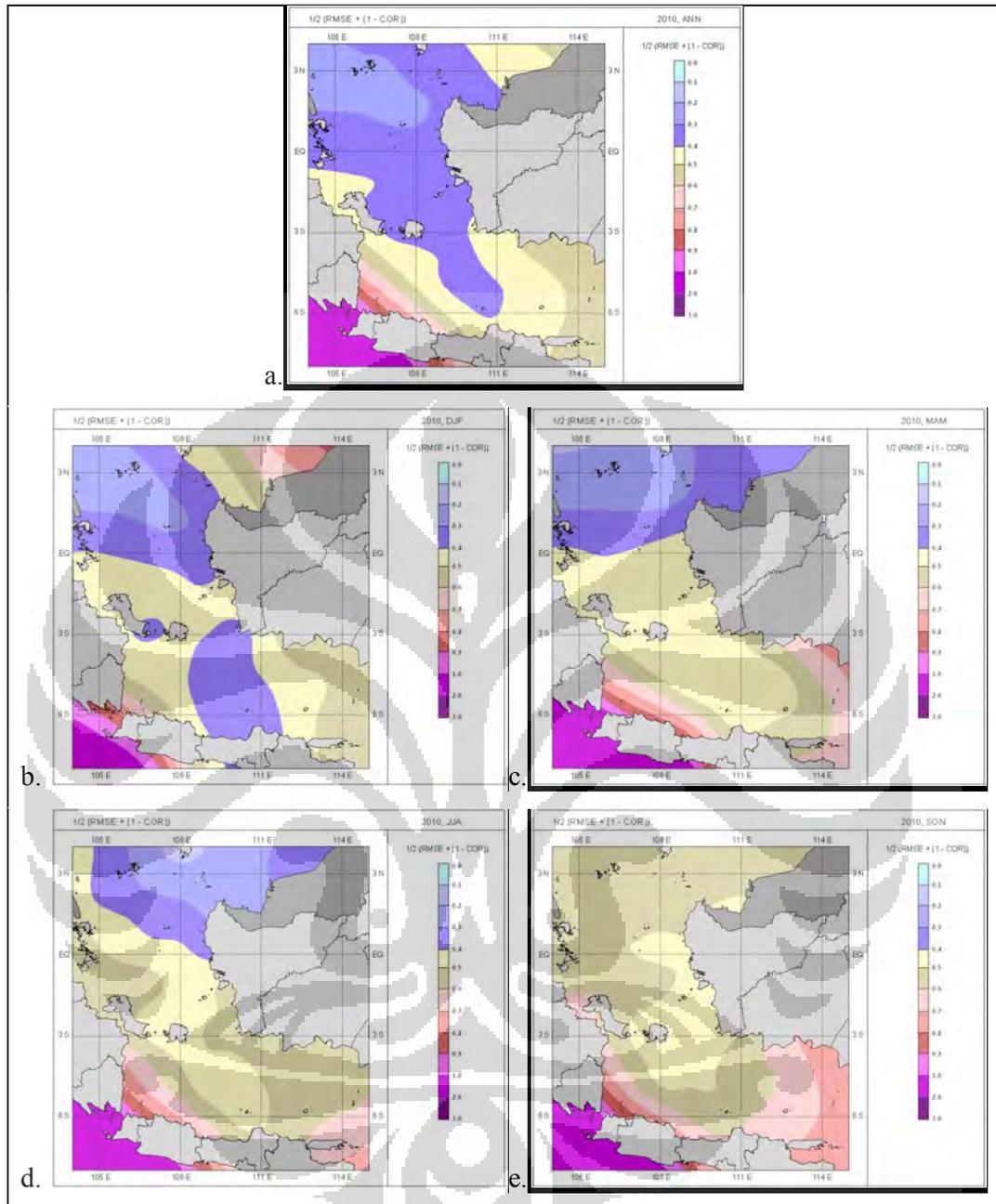
Sumber: Pengolahan data

Nilai MAE yang dipetakan di gambar 4.12 menunjukkan nilai MAE lebih dari 1 meter juga dialami di sepanjang tahun di wilayah Selat Sunda dan perairan

di sebelah selatannya. MAE yang cukup rendah kurang dari 30 cm diperlihatkan terjadi di sepanjang tahun di Selat Karimata dan Laut Jawa bagian Barat.

Kemudian dari peta hasil penggabungan RMSE dan koefisien korelasi (Gambar 4.13.) diketahui bahwa wilayah Selat Sunda dan perairan di sebelah selatannya masih merupakan wilayah dengan hasil validasi yang paling rendah. Ini ditunjukkan dengan nilai lebih dari 0.7 di sepanjang tahun. Sedangkan wilayah yang hampir sepanjang tahun mempunyai *level of confidence* yang cukup baik (gabungan RMSE-korelasi bernilai kurang dari 0.3) terdapat di wilayah perairan Natuna dan Kepulauan Riau tepatnya pada periode Monsoon Asia, Transisi Monsoon Australia dan Monsoon Australia.



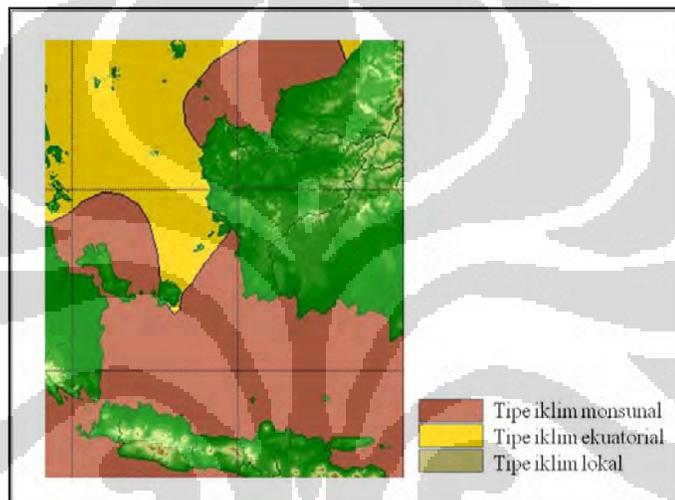


Gambar 4.13. Peta Gabungan RMSE - Korelasi antara SWH_a dan SWH_w beresolusi 5 menit pada periode tahun 2010 (a), periode Monsoon Asia (b), Transisi Monsoon Australia (c), Monsoon Australia (d) dan Transisi Monsoon Asia (e).

Sumber: Pengolahan data

4.1.2.2. Hasil Perbandingan Pada Tiap Kategori Tipe Iklim

Pengelompokan data tinggi gelombang signifikan menjadi 3 (tiga) kategori tipe iklim, yaitu wilayah dengan tipe iklim monsunal, ekuatorial dan lokal pada wilayah Kajian 2 dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.14. Pembagian wilayah perairan di sekitar Indonesia menjadi menjadi 3 (tiga) wilayah tipe musim yaitu tipe monsunal, tipe ekuatorial, serta tipe lokal pada wilayah Kajian 2

Sumber: Pengolahan data

Dari perhitungan koefisien korelasi (tabel 4.22) diketahui bahwa koefisien korelasi pada wilayah dengan tipe iklim monsunal sangat rendah (hanya 0.16), sedangkan pada tipe iklim ekuatorial cukup kuat (0.73). Keduanya mempunyai hubungan positif dan sampel data yang mewakili populasinya (signifikan).

Tabel 4.25. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_w dan SWH_a pada tiap kategori tipe iklim

NO	TIPE IKLIM	JUMLAH DATA	KOEF. KORELASI	t HITUNG	t TABEL	SIGNIFIKANSI
1	Monsunal	21262	0.1566	23.1202	1.9601	Signifikan
2	Ekuatorial	11793	0.7291	115.6931	1.9602	Signifikan
3	Lokal	-	-	-	-	-

Sumber: Pengolahan data

Nilai RMSE, MAE dan Gabungan RMSE-Korelasi pada tiap tipe musim ini (tabel 4.23) bersesuaian dengan koefisien korelasinya, dimana pada wilayah tipe iklim Monsunal RMSE, MAE dan Gabungan RMSE-Korelasi cukup besar, yang menunjukkan tingkat kesalahan yang besar dan tingkat keyakinan yang relative kecil. Jauh berbeda di wilayah tipe iklim ekuatorial dimana nilai kesalahannya hanya 38 cm (RMSE) dan 28 cm (MAE), dengan tingkat keyakinan cukup besar (gabungan RMSE-korelasi bernilai 0.33).

Tabel 4.26. Nilai RMSE, MAE dan Gabungan RMSE-Korelasi pada tiap kategori tipe iklim

NO	TIPE IKLIM	RMSE (meter)	MAE (meter)	$1/2 (RMSE + (1-kor))$
1	Monsunal	0.8153	0.6157	0.8293
2	Ekuatorial	0.3837	0.2837	0.3273
3	Lokal	-	-	-

Sumber: Pengolahan data

4.1.2.3. Hasil Perbandingan Pada Tiap Kategori Kedalaman Laut

Hasil perhitungan koefisien korelasi dan uji t pada masing-masing kategori kedalaman laut menunjukkan hubungan yang sangat rendah di perairan dengan

kedalaman lebih dari 200 meter. Sedangkan untuk perairan dengan kedalaman kurang dari 200 meter diketahui mempunyai hubungan positif sedang dengan nilai 0,58.

Tabel 4.27. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_w dan SWH_a pada tiap kategori kedalaman laut

NO	KEDALAMAN LAUT	JUMLAH DATA	KOEF. KORELASI	t HITUNG	t TABEL	SIGNIFIKANSI
1	< 200 m	28327	0.5863	121.8008	1.9600	Signifikan
2	200 – 1000 m	1576	0.1592	6.3983	1.9615	Signifikan
3	> 1000 m	2758	0.1214	6.4185	1.9608	Signifikan

Sumber: Pengolahan data

Kondisi *error* yang terjadi di masing-masing kategori kedalaman laut menunjukkan tingkat kesalahan sedang pada wilayah dengan kedalaman kurang dari 1000 meter dengan nilai RMSE berkisar antara 0,43 hingga 0,49 meter dan MAE 0,34 hingga 0,38 meter, dan sangat besar pada kedalaman lebih dari 1000 meter dimana RMSE mencapai 1,68 dan MAE 1,62 meter.

Gabungan RMSE dan korelasi juga tidak menunjukkan tingkat keyakinan yang baik dimana pada wilayah dengan kedalaman <200 meter tingkat keyakinannya sedang, 200 – 1000 meter tingkat keyakinannya rendah dan sangat rendah pada wilayah dengan kedalaman lebih dari 1000 meter.

Tabel 4.28. Nilai RMSE, MAE dan Gabungan RMSE-Korelasi pada tiap kategori kedalaman laut

NO	KEDALAMAN LAUT	RMSE (meter)	MAE (meter)	1/2 (RMSE + (1-kor))
1	< 200 m	0.4889	0.3770	0.4513
2	200 – 1000 m	0.4336	0.3407	0.6372
3	> 1000 m	1.6762	1.6165	1.2774

Sumber: Pengolahan data

4.1.2.4. Hasil Perbandingan Pada Tiap Kategori Lokasi Laut Terhadap Pulau-Pulau di Sekitarnya

Nilai koefisien korelasi yang didapatkan pada tiap kategori lokasi laut sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 4.29 berkisar antara 0,06 hingga 0,71. Wilayah perairan dekat pantai mempunyai korelasi terendah, hanya 0,06. Perairan laut lepas mempunyai korelasi terbesar dengan nilai 0,71.

Tabel 4.29. Koefisien korelasi dan nilai uji t antara SWH_w dan SWH_a pada tiap kategori lokasi laut terhadap pulau-pulau di sekitarnya

NO	LOKASI LAUT	JUMLAH DATA	KOEF. KORELASI	t HITUNG	t TABEL	SIGNIFIKANSI
1	Perairan dekat pantai	4728	0.0639	4.4044	1.9605	Signifikan
2	Perairan antar pulau	22044	0.5581	99.8443	1.9601	Signifikan
3	Laut lepas	6283	0.7149	81.0358	1.9603	Signifikan

Sumber: Pengolahan data

Kondisi korelasi tersebut sangat berkaitan dengan kondisi kesalahan yang dihitung dari RMSE dan MAE. Pada perhitungan ini diketahui di wilayah perairan dekat pantai RMSE dan MAE mempunyai nilai sangat besar lebih dari 1,4 meter,

sedangkan di wilayah laut lepas RMSE dan MAEnya paling kecil dengan nilai 0,45 meter (RMSE) dan 0,33 meter (MAE).

Hal ini menyebabkan nilai Gabungan RMSE – Korelasi yang didapat juga bersesuaian dimana tingkat keyakinan sangat rendah terdapat di perairan dekat pantai dan tingkat keyakinan tertinggi (dalam hal ini termasuk dalam kategori tingkat keyakinan sedang) terdapat di wilayah laut lepas dengan nilai 0,37.

Tabel 4.30. Nilai RMSE, MAE dan Gabungan RMSE-Korelasi pada tiap kategori lokasi laut terhadap pulau-pulau di sekitarnya

NO	LOKASI LAUT	RMSE (meter)	MAE (meter)	1/2 (RMSE + (1-kor))
1	Perairan dekat pantai	1.5042	1.4231	1.2201
2	Perairan antar pulau	0.4725	0.3726	0.4572
3	Laut lepas	0.4546	0.3300	0.3699

Sumber: Pengolahan data

4.2. Pembahasan

4.2.1. Hasil Validasi Model Gelombang *WindWaves-5*

4.2.1.1. Korelasi dan Signifikansi Data

Dari perhitungan koefisien korelasi dan uji t antara SWH_{w1} dan SWH_{a1} pada masing-masing kategori, baik dibedakan berdasarkan periode musim, tipe iklim, kedalaman laut maupun lokasi laut relatif terhadap pulau di sekitarnya, nilai korelasi yang didapatkan semuanya mendapatkan nilai yang signifikan. Dalam penelitian ini dapat diartikan bahwa data dan koefisien yang didapatkan dalam perhitungan dianggap sudah mewakili kondisi validasi gelombang *WindWaves-5* pada resolusi spasial 30 menit.

4.2.1.2. RMSE dan MAE

Jika dibandingkan dengan daerah rawan gelombang tinggi yang dikaji oleh Kurniawan (2012), pada masing-masing periode musim, terlihat jelas bahwa wilayah-wilayah rawan gelombang tinggi dengan tingkat kerawanan lebih dari 60% tidak selalu bersesuaian dengan perairan yang tinggi gelombang signifikannya mempunyai nilai RMSE dan MAE lebih dari 70 cm. Demikian juga untuk wilayah rawan gelombang yang tingkat kerawanannya hanya kurang dari 20% tidak selalu bersesuaian dengan perairan yang RMSE dan MAEnya kurang dari 30 cm.

Meskipun demikian untuk prosentase RMSE dan MAE terhadap masing-masing kisaran tinggi gelombang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.31. Nilai RMSE dan MAE pada tiap periode musim pada tiap kisaran tinggi gelombang

PERIODE MUSIM	TINGGI GEL	RMSE		MAE	
		(meter)	(persen)	(meter)	(persen)
Monsoon Asia	$0.5 < \text{gel} \leq 1.5 \text{ m}$	0.3241	32.41%	0.2569	25.69%
Monsoon Asia	$1.5 < \text{gel} \leq 2.5 \text{ m}$	0.4808	24.04%	0.3989	19.94%
Monsoon Asia	$2.5 < \text{gel} \leq 3.5 \text{ m}$	0.6043	20.14%	0.4931	16.44%
Monsoon Asia	$3.5 < \text{gel} \leq 4.5 \text{ m}$	0.6567	16.42%	0.5611	14.03%
Monsoon Asia	$4.5 < \text{gel} \leq 5.5 \text{ m}$	-	-	-	-
Monsoon Asia	$5.5 < \text{gel} \leq 6.5 \text{ m}$	-	-	-	-
Transisi M. Australia	$0.5 < \text{gel} \leq 1.5 \text{ m}$	0.3825	38.25%	0.2913	29.13%
Transisi M. Australia	$1.5 < \text{gel} \leq 2.5 \text{ m}$	0.5392	26.96%	0.4553	22.77%
Transisi M. Australia	$2.5 < \text{gel} \leq 3.5 \text{ m}$	0.8146	27.15%	0.7357	24.52%
Transisi M. Australia	$3.5 < \text{gel} \leq 4.5 \text{ m}$	0.9488	23.72%	0.8519	21.30%
Transisi M. Australia	$4.5 < \text{gel} \leq 5.5 \text{ m}$	1.3801	27.60%	1.2970	25.94%
Transisi M. Australia	$5.5 < \text{gel} \leq 6.5 \text{ m}$	1.0121	16.87%	0.9795	16.33%
Monsoon Australia	$0.5 < \text{gel} \leq 1.5 \text{ m}$	0.3527	35.27%	0.2787	27.87%
Monsoon Australia	$1.5 < \text{gel} \leq 2.5 \text{ m}$	0.5298	26.49%	0.4550	22.75%
Monsoon Australia	$2.5 < \text{gel} \leq 3.5 \text{ m}$	0.7268	24.23%	0.6350	21.17%
Monsoon Australia	$3.5 < \text{gel} \leq 4.5 \text{ m}$	0.7646	19.12%	0.6797	16.99%
Monsoon Australia	$4.5 < \text{gel} \leq 5.5 \text{ m}$	-	-	-	-

PERIODE MUSIM	TINGGI GEL	RMSE		MAE	
		(meter)	(persen)	(meter)	(persen)
Monsoon Australia	$5.5 < \text{gel} \leq 6.5 \text{ m}$	-	-	-	-
Transisi M. Asia	$0.5 < \text{gel} \leq 1.5 \text{ m}$	0.3439	34.39%	0.2744	27.44%
Transisi M. Asia	$1.5 < \text{gel} \leq 2.5 \text{ m}$	0.6029	30.14%	0.5227	26.14%
Transisi M. Asia	$2.5 < \text{gel} \leq 3.5 \text{ m}$	0.6778	22.59%	0.5934	19.78%
Transisi M. Asia	$3.5 < \text{gel} \leq 4.5 \text{ m}$	0.9612	24.03%	0.7472	18.68%
Transisi M. Asia	$4.5 < \text{gel} \leq 5.5 \text{ m}$	-	-	-	-
Transisi M. Asia	$5.5 < \text{gel} \leq 6.5 \text{ m}$	-	-	-	-

Sumber: Pengolahan data

Dari tabel 4.27. dapat dilihat bahwa justru gelombang-gelombang yang cukup rendah kurang dari 2 meter cenderung mempunyai persentase RMSE dan MAE yang lebih besar, dan sebaliknya, pada gelombang gelombang yang cukup tinggi lebih dari 3 meter, cenderung mempunyai persentase RMSE dan MAE yang kecil. Hal ini menunjukkan bahwa nilai RMSE dan MAE tersebut sangat bergantung (dependen) terhadap tinggi gelombang. Semakin besar tinggi gelombangnya, maka persentase kesalahan model gelombang *WindWaves-5* lebih kecil. Dan dengan demikian menggambarkan kinerja model gelombang tersebut yang lebih baik pada gelombang-gelombang yang lebih tinggi.

Di lain pihak, perbedaan RMSE dan MAE pada tiap periode musim pada masing-masing tinggi gelombang yang bersesuaian tidak menunjukkan perbedaan yang terlalu besar. Meskipun secara umum dapat dikatakan bahwa nilai kesalahan tersebut lebih kecil pada periode Monsoon Asia dan Monsoon Australia dibandingkan dengan periode periode Transisi Monsoon Asia maupun Transisi Monsoon Australia.

4.2.1.3. Tingkat Keyakinan

Berdasarkan perhitungan statistik yang telah dilakukan, data gabungan RMSE dan koefisien korelasi dapat digunakan untuk mengidentifikasi tingkat keyakinan SWH_w pada tiap lokasi di wilayah kajian. Apabila nilai gabungan semakin kecil, maka tingkat keyakinan (*level of confidence*) semakin besar, dan sebaliknya. Apabila kesimpulan ini kemudian digabungkan dengan wilayah

perairan yang (berdasarkan koefisien korelasi, RMSE dan MAE) hasil validasinya baik, maka akan diketahui pada musim-musim apa saja informasi hasil *running* model gelombang *WindWaves-5* sangat dipercaya (performa *WindWaves-5* bagus), dan pada musim-musim apa informasi tersebut perlu dipertimbangkan lebih lanjut karena tingkat kepercayaannya yang rendah.

Berdasarkan uraian tersebut dan perhitungan statistik yang telah dilakukan, maka diketahui bahwa performa *WindWaves-5* di sepanjang tahun selalu bagus di perairan Samudra Hindia sebelah utara Aceh, Laut Cina Selatan, Laut Jawa, Laut Flores, Laut Timor, Laut Arafuru dan Samudra Pasifik sebelah utara Halmahera hingga Papua. Namun demikian, di Selat Malaka, Teluk Tomini, Teluk Tolo, Teluk Bone, Selat Berau dan Laut Mindanau, performa *WindWaves-5* terbukti selalu kurang baik dalam memberikan informasi tinggi gelombang.

Untuk performa model ini pada tiap musimnya, dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.32. Wilayah perairan berkaitan dengan performa model gelombang *WindWaves-5* pada tiap periode musim

Periode Musim	Performa Model Baik	Performa Model Kurang Baik
Monsoon Asia	<ul style="list-style-type: none"> - Samudra Hindia sebelah utara dan barat Sumatera - Laut Cina Selatan - Laut Jawa - Perairan sebelah selatan Bali dan Nusa Tenggara - Laut Flores - Laut Timor - Laut Banda - Laut Arafuru - Samudra Pasifik sebelah utara Halmahera dan Papua 	<ul style="list-style-type: none"> - Selat Malaka - Laut Mindanau
Transisi M. Australia	<ul style="list-style-type: none"> - Laut Cina Selatan - Laut Timor - Laut Flores - Laut Banda 	<ul style="list-style-type: none"> - Selat Malaka - Selat Makassar - Teluk Tomini - Teluk Tolo

Periode Musim	Performa Model Baik	Performa Model Kurang Baik
	<ul style="list-style-type: none"> - Laut Arafuru - Samudra Pasifik sebelah utara Halmahera dan Papua 	<ul style="list-style-type: none"> - Teluk Bone - Teluk Berau - Laut Mindanau
Monsoon Australia	<ul style="list-style-type: none"> - Laut Cina Selatan - Laut Jawa - Laut Timor - Laut Flores - Laut Banda - Laut Arafuru - Samudra Pasifik sebelah utara Halmahera dan Papua 	<ul style="list-style-type: none"> - Teluk Tomini - Teluk Tolo - Teluk Bone
Transisi M. Asia	<ul style="list-style-type: none"> - Samudra Hindia sebelah utara Aceh - Laut Cina Selatan - Laut Timor - Laut Arafuru 	<ul style="list-style-type: none"> - Perairan Tarakan - Selat Makassar - Teluk Tomini - Teluk Tolo - Laut Maluku - Teluk Bone - Teluk Berau - Laut Mindanau

Sumber: Pengolahan data

Di lain pihak, apabila dilihat dari masing-masing tipe iklimnya, perhitungan statistik baik perhitungan koefisien korelasi, RMSE maupun MAE pada tiap-tiap kategori tipe iklim tidak menunjukkan pola tertentu. Sehingga dapat dikatakan bahwa hasil validasi model gelombang *WindWaves-5* tidak bergantung (independen) terhadap pola iklim di wilayah tersebut apakah termasuk dalam tipe monsunial, lokal maupun ekuatorial.

Suratno (2007) dalam kajiannya yang membangun model gelombang *WindWaves* ini menyatakan bahwa model gelombang ini adalah model gelombang laut dalam. Namun dari hasil perhitungan koefisien korelasi, RMSE dan MAE dan penggabungan RMSE dengan koefisien korelasi, secara umum dapat dilihat bahwa berdasarkan kedalamannya, hasil validasi model gelombang *WindWaves-5* cenderung lebih baik pada wilayah dengan kedalaman laut kurang dari 1000 meter, sedangkan berdasarkan lokasinya, validasi model ini mendapatkan hasil yang lebih baik pada wilayah perairan dekat pantai. Ini berarti bahwa meski merupakan model gelombang laut dalam, *WindWaves* ternyata mempunyai

performa yang baik dalam analisa gelombang di wilayah perairan dangkal dan di wilayah perairan di dekat pantai.

4.2.2. Perbandingan Metode Agregasi dengan Metode *Point to Point*

Perhitungan statistik telah dilakukan untuk metode *point to point* untuk kemudian dibandingkan dengan metode agregasi yang telah dibuat sebelumnya (tabel 4.29). Perbandingan antara kedua metode tersebut membuktikan bahwa secara umum, tidak ada perbedaan yang cukup signifikan pada analisis statistik dari kedua metode tersebut. Untuk masing-masing kategori kedalaman laut dan kategori tipe iklim, baik nilai RMSE, MAE maupun koefisien korelasi kedua metode tersebut hanya sedikit berbeda (perbedaan RMSE kurang dari 0,1 meter dan perbedaan koefisien korelasi kurang dari 0.1). Perbedaan yang sedikit lebih menyolok hanya terlihat pada RMSE di perairan antar pulau (36 cm untuk metode *point to point* dan 49 cm untuk metode agregasi), koefisien korelasi di perairan antar pulau (0.64 untuk metode *point to point* dan 0.47 untuk metode agregasi), serta RMSE pada periode Monsoon Australia (48 cm untuk metode *point to point* dan 64 cm untuk metode agregasi).

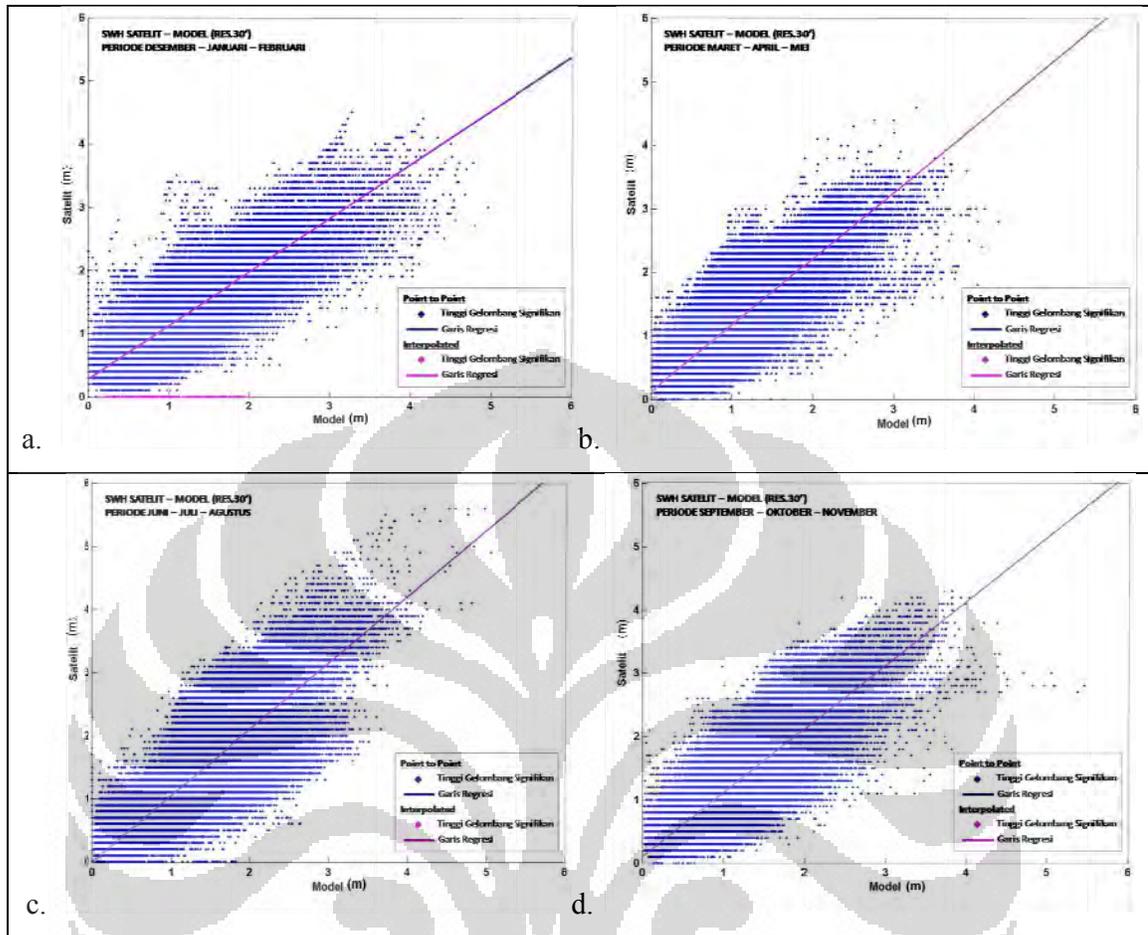
Tabel 4.33. Perbandingan analisa statistik antara SWH_a dan SWH_w dengan metode *point to point* dan agregasi

NO	KATEGORI	POINT TO POINT				AGREGASI			
		RMSE (m)	MAE (m)	r	1/2 (RMSE + (1-r))	RMSE (m)	MAE (m)	r	1/2 (RMSE + (1-r))
1	< 200 m	0.39	0.30	0.80	0.2916	0.39	0.30	0.81	0.2897
2	200 - 1000 m	0.36	0.28	0.74	0.3085	0.36	0.28	0.75	0.3075
3	> 1000 m	0.46	0.36	0.84	0.3126	0.53	0.36	0.79	0.3714
4	Monsonal	0.44	0.34	0.80	0.3184	0.48	0.34	0.77	0.3575
5	Ekuatorial	0.42	0.33	0.81	0.3078	0.51	0.33	0.74	0.3818
6	Lokal	0.45	0.35	0.89	0.2819	0.45	0.35	0.89	0.2814
7	Dekat pantai	0.42	0.33	0.73	0.3441	0.42	0.33	0.73	0.3439
8	Antar pulau	0.36	0.28	0.64	0.3601	0.49	0.28	0.47	0.5099

NO	KATEGORI	POINT TO POINT				AGREGASI			
		RMSE (m)	MAE (m)	r	1/2 (RMSE + (1-r))	RMSE (m)	MAE (m)	r	1/2 (RMSE + (1-r))
9	Laut lepas	0.47	0.37	0.84	0.3150	0.51	0.36	0.81	0.3474
10	Monsoon asia	0.39	0.31	0.81	0.2883	0.39	0.31	0.81	0.2890
11	Transisi M. Australia	0.43	0.34	0.82	0.3050	0.43	0.34	0.82	0.3048
12	Monsoon Australia	0.48	0.37	0.84	0.3236	0.64	0.37	0.75	0.4465
13	Transisi M. Asia	0.43	0.34	0.83	0.2987	0.43	0.34	0.83	0.2987

Sumber: Pengolahan data

Selain itu, telah digambarkan juga diagram scatter plot untuk menggambarkan distribusi tiap data dengan metode *point to point* dan metode agregasi. Pada gambar 4.15 dapat dilihat bahwa distribusi data SWH untuk metode *point to point* (diplot dengan warna biru) hampir bersesuaian dengan data SHW metode agregasi (diplot dengan warna magenta). Hanya sedikit sekali yang tidak bersesuaian. Demikian juga untuk garis regresi, baik pada diagram periode Monsoon Asia, Transisi Monsoon Australia, Monsoon Australia maupun Transisi Monsoon Asia baik garis regresi metode *point to point* maupun agregasi saling berhimpitan. Hal ini juga terjadi pada tiap kategori tipe iklim, kedalaman laut, dan lokasi laut (Lampiran 2). Ini menunjukkan bahwa perbedaan kedua metode sangat kecil dan tidak signifikan.



Gambar 4.15. Diagram scatterplot perbandingan SWH_{a1} dengan SWH_{w1} dengan metode *point to point* dan metode agregasi

Sumber: Pengolahan data

Dari penjelasan-penjelasan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa berdasarkan analisis statistik yang menemukan bahwa secara umum perhitungan validasi dengan metode *point to point* dan agregasi perbedaannya relatif kecil, maka dapat dinyatakan bahwa studi yang dilakukan dengan titik pun dapat dilakukan dengan hasil yang tetap relevan.

4.2.3. Pengaruh Perbaikan Resolusi terhadap Hasil Validasi

4.2.3.1. Karakteristik Khusus *Limited Area Model*

Apabila ditilik kembali, *WindWaves-5* termasuk dalam kategori *Limited Area Model* (LAM). Saat ini, LAM banyak digunakan dan dikembangkan dalam berbagai aplikasi meteorologi karena model ini membutuhkan waktu yang lebih singkat, performa / spesifikasi komputer yang lebih kecil, biaya yang lebih murah, dan dapat menghasilkan model dengan resolusi yang lebih besar dibandingkan dengan Global Area Model (GAM) (De Elia, 2002). Meski demikian, LAM memiliki berbagai keterbatasan yang diantaranya yaitu pengaruh kondisi wilayah batas (*lateral boundary condition*) (Warner, 1997). Lebih lanjut Warner menyebutkan bahwa kondisi wilayah batas tersebut dapat mengurangi akurasi hasil pemodelan LAM secara signifikan dalam berbagai cara, yaitu diantaranya adalah:

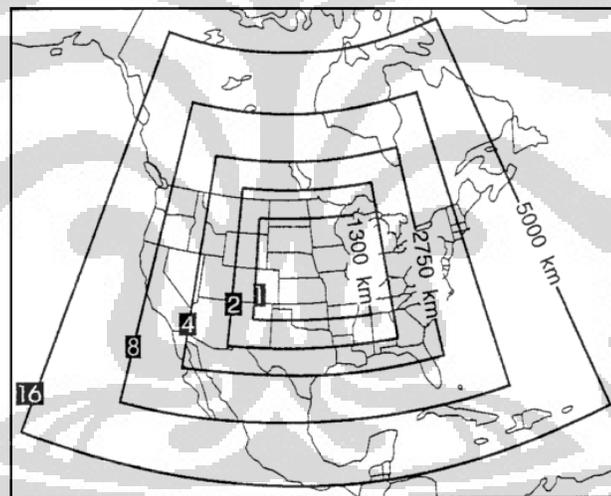
- Kondisi wilayah batas yang digunakan mempunyai resolusi yang lebih kasar daripada resolusi yang digunakan dalam LAM yang akan menyebabkan nilai yang diagregasikan oleh LAM berpotensi mengurangi kualitas hasil model.
- Kondisi wilayah batas tersebut berasal dari suatu model yang mempunyai kesalahan (*error*) dibanding kondisi sebenarnya. Tentu saja apabila data masukan sudah salah maka akan mengakibatkan kesalahan pula pada hasil keluaran LAM.

Karena hal-hal tersebut tidak dapat dihindari, maka diperlukan solusi khusus agar pengaruh dari kondisi-kondisi tersebut dapat diminimalisir sekecil mungkin. Solusi yang paling sederhana adalah menjauhkan wilayah batas cukup jauh dari domain interior (yaitu dalam hal ini adalah wilayah kajian), sehingga terdapat zona buffer yang memisahkan antara wilayah batas dengan domain interior tersebut.

Kajian lain yang dilakukan oleh Treadon dan Petersen (1993) mencoba menemukan jarak ideal bagi wilayah batas ini. Dengan menggunakan resolusi

yang sama, Treadon dan Petersen secara progresif mengurangi luasan wilayah masukan sehingga mendapatkan 5 (lima) wilayah yang tiap-tiapnya mempunyai luas sekitar setengah dari wilayah yang lebih besar (Gambar 4.16). Tekanan rendah di tengah-tengah wilayah tersebut adalah titik kajiannya, dimana data observasi dan hasil model akan dibandingkan.

Hasil kajian tersebut menemukan bahwa hasil model yang menggunakan wilayah masukan terluas mempunyai RMSE terkecil sedangkan hasil model yang menggunakan wilayah masukan terkecil mempunyai RMSE terbesar. Ini membuktikan bahwa semakin jauh jarak antara kondisi wilayah batas dari domain kajian, pengaruh kondisi wilayah batas tersebut dapat semakin jauh berkurang.



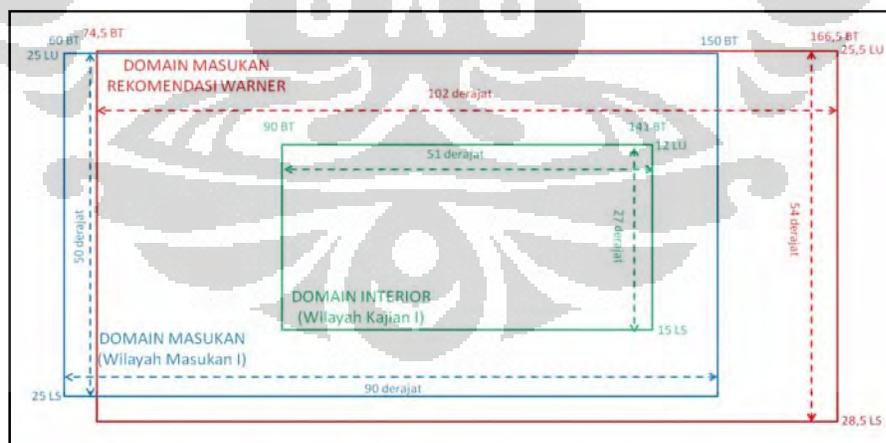
Gambar 4.16. 5 (lima) macam wilayah masukan yang digunakan dalam studi Treadon dan Petersen (1993)

Dalam hal ini, Warner (1997) juga memberikan rekomendasi jarak antara lateral boundary dengan domain interior, yaitu jika panjang masing-masing sisi domain interior adalah L , maka jarak lateral boundary pada tiap sisi adalah $\frac{1}{2} L$. Jadi misalkan domain masukan adalah sepanjang 100 titik grid pada tiap sisi, maka domain interior yang disarankan adalah sepanjang 50 x 50 titik grid di

tengah-tengah domain masukan tersebut (panjang sisi domain masukan = 50% dari panjang sisi domain interior).

4.2.3.2. Pengaruh *Lateral Boundary Condition* pada Penelitian

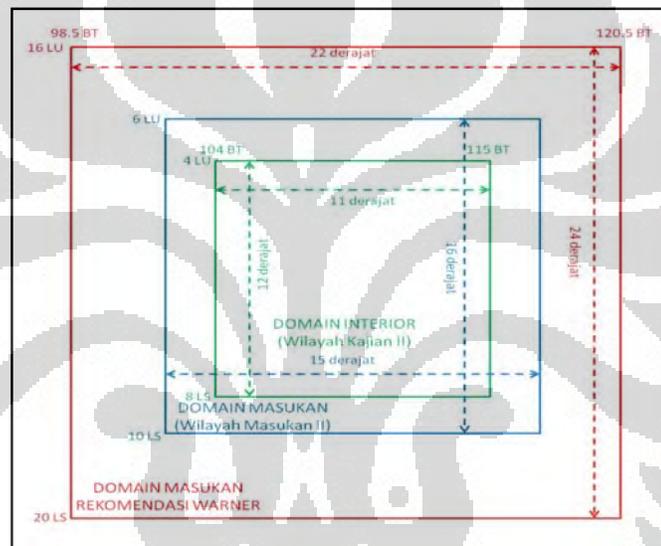
Apabila dirunut kembali, Pemodelan Tahap I dengan *WindWaves-5* digunakan wilayah kajian antara 90°BT hingga 141°BT dan 12°LU hingga 15°LS . Berarti wilayah tersebut terbentang sejauh 51 derajat ke arah barat-timur dan 27 derajat ke arah utara-selatan. Wilayah masukan yang digunakan mencakup wilayah antara 60°BT hingga 150°BT dan 25°LU hingga 25°LS (terbentang 90 derajat ke arah timur-barat dan 50 derajat ke arah utara-selatan). Rekomendasi Warner (1997) merekomendasikan untuk menggunakan wilayah seluas 102×54 derajat sebagai wilayah masukan. Dengan Wilayah Masukan I yang seluas 90×50 derajat, yang apabila dipersentasekan panjang sisi Wilayah Masukan I adalah 175% dan 185% dari panjang sisi Wilayah Kajian I, maka kondisi ini dirasa sudah mendekati rekomendasi Warner, meskipun lokasi domain interior tidak tepat di tengah-tengah domain masukan (Gambar 4.17).



Gambar 4.17. Perbandingan antara domain interior dan domain masukan pada kajian ini maupun rekomendasi Warner pada Pemodelan Tahap I

Sumber: Pengolahan data

Sedangkan pada Pemodelan Tahap II digunakan Wilayah Masukan II yang wilayahnya mencakup 102°BT hingga 117°BT dan 6°LU hingga 10°LS (15×16 derajat), dan Wilayah Kajian II yang mencakup antara 104°BT hingga 115°BT dan 4°LU hingga 8°LS (11×12 derajat). Pada Tahap II ini, rekomendasi Warner menyarankan luasan domain masukan sebesar 24×22 derajat. Apabila dipersentasekan, panjang sisi Wilayah Masukan II adalah 136% dan 133% dari panjang sisi Wilayah Kajian II (Gambar 4.18).

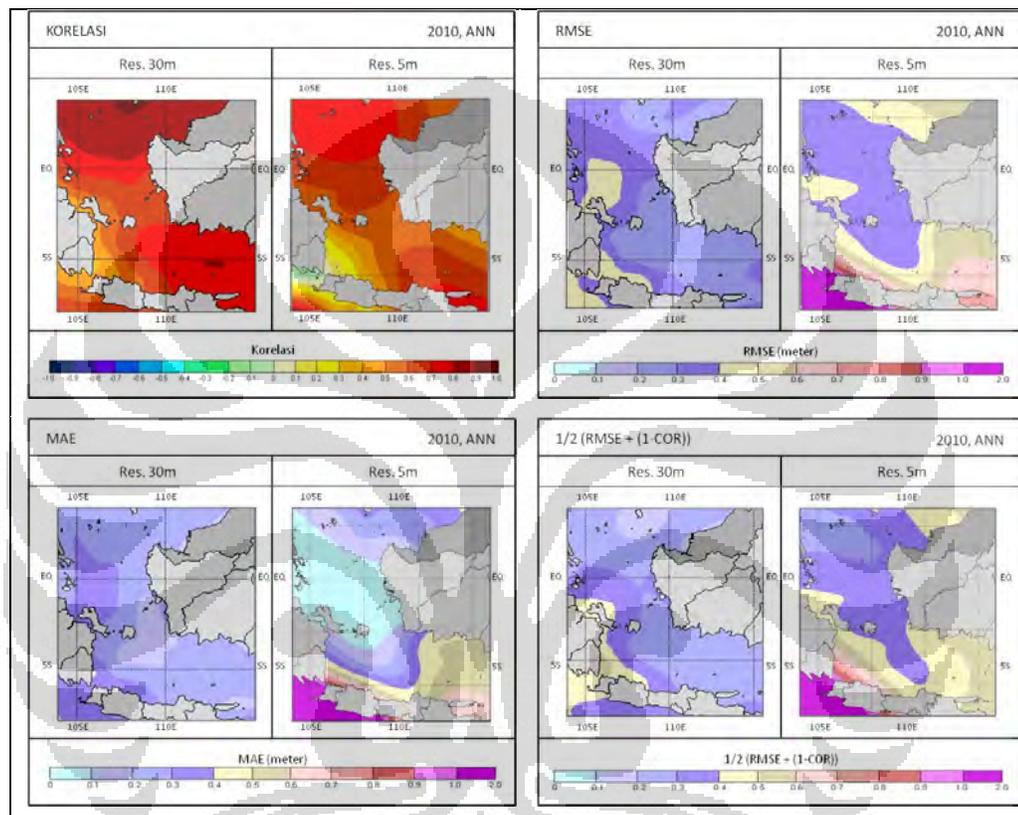


Gambar 4.18. Perbandingan antara domain interior dan domain masukan pada kajian ini maupun rekomendasi Warner pada Pemodelan Tahap II

Sumber: Pengolahan data

Apabila hasil validasi Tahap I dan II dicermati kembali, akan diketahui bahwa peta koefisien korelasi beresolusi 5 menit mempunyai pola yang hampir mirip dengan peta koefisien korelasi beresolusi 30 menit pada wilayah yang berasosiasi (Gambar 4.19.). Meski demikian, nilai koefisiennya sendiri jauh lebih kecil pada resolusi 5 menit. Sama halnya untuk peta RMSE, MAE dan peta Gabungan RMSE-Korelasi, dimana perbandingan peta hasil perbandingan SWH_{a2} dengan SWH_{w2} (beresolusi 5 menit) juga mempunyai pola yang mirip dengan peta

hasil perbandingan SWH_{al} dengan SWH_{wl} (beresolusi 30 menit) pada wilayah yang berasosiasi. Nilai RMSE, MAE maupun Gabungan RMSE-Korelasinya jauh lebih besar pada resolusi 5 menit.



Gambar 4.19. Perbandingan peta koefisien korelasi (kiri atas), RMSE (kanan atas), MAE (kiri bawah) dan peta Gabungan RMSE-Korelasi (kanan bawah) data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit

Sumber: Pengolahan data

Dari sini bisa disimpulkan bahwa dengan adanya perbaikan resolusi spasial dari 30 menit menjadi 5 menit, hasil perbandingan tinggi gelombang signifikan hasil pengamatan satelit dengan model *WindWaves-5* justru mengalami penurunan. Kondisi ini tampak dari peningkatan nilai MAE dan RMSE serta penurunan koefisien korelasi yang didapat.

4.2.4. Hubungan Antara Hasil Validasi dan Implikasinya Berkaitan dengan Karakteristik Laut Tertentu

4.2.4.1. Siklon Tropis

Mengingat peningkatan tinggi gelombang yang disebabkan oleh kejadian siklon tropis, dan bahwa wilayah perairan di sekitar Indonesia ternyata merupakan wilayah yang sering dilalui oleh siklon tropis (dan menjadi lokasi tumbuhnya bibit siklon tropis), maka informasi gelombang tinggi pada musim-musim siklon sangat diperlukan. Dari validasi yang telah dilakukan pada wilayah perairan Indonesia dan sekitarnya, diketahui bahwa perairan Laut Cina Selatan dan Samudra Pasifik sebelah utara Papua merupakan wilayah perairan yang mempunyai hasil validasi yang sangat baik di sepanjang tahun. Ini menunjukkan bahwa model gelombang *WindWaves-5* mempunyai performa yang baik dalam mengidentifikasi gelombang-gelombang tinggi yang disebabkan oleh siklon tropis di wilayah-wilayah tersebut.

4.2.4.2. El Nino dan La Nina

Apabila ditilik kembali bahwa pada wilayah Samudra pasifik sebelah utara Halmahera hingga Papua mempunyai tingkat keyakinan SWH yang tinggi di sepanjang tahun, maka dapat disimpulkan bahwa model gelombang *WindWaves-5* mempunyai performa yang cukup baik dalam mengidentifikasi anomali tinggi gelombang di wilayah samudra Pasifik sebelah utara Halmahera dan Papua yang seringkali terjadi pada periode El Nino / La Nina, dimana pada saat El Nino akan terjadi peningkatan tinggi gelombang di wilayah ini dan sebaliknya pada periode La Nina.

4.2.4.3. Monsoon

Terkait dengan penelitian ini, validasi tinggi gelombang signifikan model *WindWaves-5* di wilayah Laut Cina Selatan yang mendapatkan hasil yang sangat

baik di sepanjang tahun, maka dapat disimpulkan bahwa di model gelombang ini dapat mengidentifikasi peningkatan tinggi gelombang oleh potensi cuaca buruk yang ditimbulkan oleh sirkulasi monsoon di wilayah Indonesia dan sekitarnya.

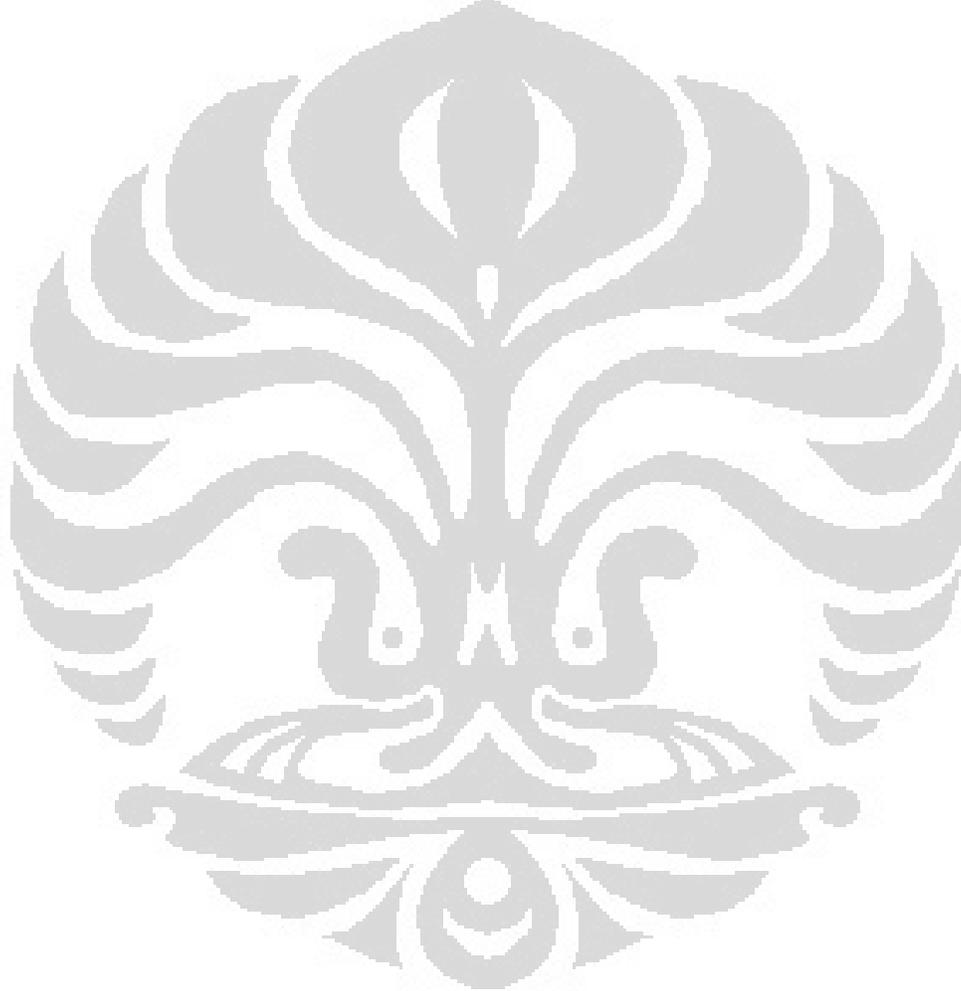
4.2.5. Perbandingan Antara Hasil Validasi yang Didapat dengan Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian ini nilai koefisien korelasi dan RMSE yang didapat pada periode Monsoon Asia sebesar 0.81 dan pada Monsoon Australia sebesar 0.75. Sedangkan nilai RMSE pada periode yang sama berturut-turut adalah 39 cm dan 43 cm. Temuan ini mendukung hasil kajian sebelumnya yang dilakukan oleh Suratno (1997) yang menemukan bahwa tinggi gelombang *hindcast* pada bulan Agustus mempunyai rata-rata RMSE 69 cm dan korelasi 0,736, meskipun untuk periode Monsoon Asia koefisien korelasi dan RMSE yang didapatkan pada penelitian ini lebih baik dibandingkan dengan penelitian Suratno (1997) yang bernilai 89 cm dan 0,735.

Sedangkan jika dibandingkan dengan kajian yang dilakukan oleh BMKG (2011), penelitian ini memperoleh nilai validasi yang lebih baik, dimana kajian yang dilakukan BMKG (2011) pada periode Monsoon Australia hanya mendapatkan nilai korelasi 0.35 – 0.47 dan RMSE 94 – 136 cm untuk *hindcast*. Sedangkan pada periode yang sama penelitian ini mendapatkan nilai korelasi 0.75 dan RMSE 43 cm.

Apabila dibandingkan dengan penelitian yang melakukan validasi terhadap model gelombang MRI II yang merupakan dasar dari model gelombang *WindWaves-5*, penelitian telah dilakukan oleh Isozaki dan Uji (1973) yang memvalidasi model tersebut di wilayah perairan Laut Jepang dan Samudra Atlantik pada periode 16 – 18 Desember 1959 (Samudra Atlantik) dan 4 – 5 Januari 1971 (Laut Jepang). Validasi ini membandingkan data hasil model dengan pengamatan gelombang di stasiun pengamatan cuaca kelautan di pantai. Hasil validasi ini menunjukkan bahwa tinggi gelombang signifikan hasil model cukup merepresentasikan kondisi sebenarnya yang terjadi, meskipun variasi pada hasil model cenderung lebih *smooth* dibandingkan dengan kondisi sebenarnya.

Apabila dibandingkan lebih lanjut, validasi yang dilakukan terhadap model gelombang Wavewatch-III di Laut Cina Selatan (Chu et al, 2004) pada periode tahun 2000, menghasilkan nilai bias rata-rata sebesar 0.02 meter, RMSE rata-rata 0,48 meter dan koefisien korelasi sebesar 0,90. Kondisi tersebut lebih baik dibandingkan dengan hasil validasi *WindWaves-5* pada penelitian ini yang mempunyai RMSE berkisar pada nilai 0,39 hingga 0,64 meter dan koefisien korelasi berkisar antara 0,75 hingga 0,83.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian ini secara umum dapat diambil kesimpulan bahwa model gelombang *WindWaves-5* menghasilkan data tinggi gelombang signifikan yang sesuai dengan data hasil pengamatan satelit altimetri multimisi dengan tingkat korelasi antara 0,75 hingga 0,83.

Secara khusus, penelitian ini mendapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Hasil validasi model gelombang *WindWaves-5* cenderung lebih baik pada kondisi gelombang tinggi daripada gelombang yang lebih rendah, dan pada periode Monsoon Asia dan Australia daripada periode transisi.
- b. Hasil validasi di Laut Cina Selatan, Samudra Pasifik utara Papua, Laut Timor dan Laut Arafuru mendapatkan hasil yang sangat baik di sepanjang tahun, namun di Laut Mindanau, Teluk Tomini dan Teluk Berau validasi model *WindWaves-5* selalu kurang baik.
- c. Validasi model gelombang *WindWaves-5* independen terhadap pola iklim di suatu wilayah, namun dependen terhadap kedalaman laut dan posisi laut relatif terhadap daratan di sekitarnya.
- d. Peningkatan resolusi spasial dari 30 menit menjadi 5 menit menunjukkan hasil validasi yang justru mengalami penurunan. Hal ini diperkirakan terjadi karena kurang luasnya wilayah masukan yang digunakan.
- e. Dari hubungannya dengan siklon tropis, El Nino / La Nina dan monsoon, diketahui bahwa di wilayah:
 - Laut Timor dan Arafuru, model ini dapat mengidentifikasi gelombang-gelombang tinggi yang diakibatkan oleh siklon tropis dengan baik
 - Laut Cina Selatan model ini mempunyai performa yang baik dalam mengidentifikasi gelombang-gelombang tinggi yang diakibatkan oleh

siklon tropis maupun peningkatan tinggi gelombang oleh potensi cuaca buruk yang ditimbulkan oleh sirkulasi monsoon

- Samudra Pasifik sebelah utara Papua, selain mempunyai performa yang baik dalam mengidentifikasi gelombang tinggi yang diakibatkan oleh siklon tropis, model ini juga dapat mengidentifikasi anomali tinggi gelombang-yang seringkali terjadi pada periode El Nino / La Nina

5.2. Saran

Dari hasil penelitian ini, dapat diberikan rekomendasi sebagai berikut:

- a. Penelitian ini hanya menggunakan data selama tahun 2010 karena data satelit altimetri multimisi sebagai data pembanding validasi baru tersedia sejak bulan September 2009. Untuk penelitian lebih lanjut diharapkan series data dapat ditambah agar untuk mendapatkan hasil yang lebih kuat.
- b. Terkait dengan pengaruh perbaikan resolusi spasial terhadap hasil validasi, dalam penelitian ini terjadi permasalahan *lateral boundary* pada kajian data beresolusi 5 menit karena kurang luasnya wilayah masukan, mengingat keterbatasan kemampuan komputer yang digunakan. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat digunakan perangkat dengan spesifikasi teknis yang lebih baik sehingga permasalahan tersebut tidak terjadi lagi.
- c. Pada penelitian ini data angin yang digunakan sebagai masukan model baik yang beresolusi 30 menit maupun 5 menit mempunyai resolusi 1 derajat. Pada penelitian berikutnya diharapkan data dapat digunakan data angin dengan resolusi yang lebih baik.
- d. Selain itu, data tinggi gelombang signifikan hasil pengamatan satelit yang digunakan sebagai pembanding dalam kajian ini mempunyai resolusi 1 derajat. Pada kajian mendatang diharapkan ada data satelit generasi baru dengan resolusi yang lebih baik.

DAFTAR ACUAN

- Aldrian, E., dan Susanto, R. D. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23:1435-1452.
- Aldrian, E. (2008). *Meteorologi Laut Indonesia*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).
- Bakosurtanal (2007). *Atlas Indonesia dan dunia untuk pendidikan*. Jakarta: Grasindo.
- Balseiro, C. F., Souto, M. J., dan Penabad., E. (2002). Development of a limited-area model for operational weather forecasting around a power plant: the need for specialized forecast. *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 41, Sept. 2002, 919-929.
- BMG (2003). *Panduan operasional WindWaves-04 model numerik untuk membuat analisis dan prakiraan gelombang*. Jakarta: Author.
- BMKG (2011). *Laporan kegiatan validasi model prakiraan gelombang*. Jakarta: Author.
- Chawla, A., Tolman, H. L., Hanson, J. L., Devaliere, E., Gerald dan V. M., (2008). Validation of a multi-grid Wavewatch-III modelling system. *11th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting Coastal Hazards Symposium Halifax Canada*, Oct 2008.
- Chelton, D. B., dan Schlax, M. G. (2003). The accuracies of smoothed sea surface height fields constructed from tandem satellite altimeter datasets. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 20, 1276-1302.
- Chu, P., C., Qi, Y., Chen, Y., Shi, P., dan Mao, Q. (2004). South China Sea wind-wave characteristics. Part I: Validation of Wavewatch-III using

Topex/Poseidon Data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol.21, Nov 2004, 1718-1733.

De Alia, R., dan Laprise, R. (2002). Forecasting skill limits of nested, limited-area models: a perfect-model approach. *Monthly Weather Review*, Vol. 130, August 2002, 2006-2023.

Durrant, T. H., Greenslade, D. J. M., Simmonds, I. (2009). Validation of Jason-1 and Envisat remotely sensed wave heights. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, January 2009, 123-134.

Gray, W. M. (1995). *Tropical Cyclones*. Fort Collins: Colorado State University.

Gross, M. G. (1972). *Oceanography a view of the earth*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

Holland, G. J. (ed.) (1992). *Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting*. http://cawcr.gov.au/bmrc/pubs/tcguide/globa_guide_intro.htm

Khotimah, M., K., (2008). Klimatologi siklon tropis di sekitar Indonesia. *Buletin Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, Vol.4 No. 3, September 2008.

Khotimah, M., K., (2009). Siklon dekat ekuator. *Buletin Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, Vol.5, No.4, Desember 2009, 447-455.

Kurniawan, R. (2012). Studi daerah rawan gelombang tinggi di Indonesia. *Tesis Magister Sains, Jurusan Magister Ilmu Kelautan, Fakultas MIPA, Universitas Indonesia*.

Le Traon, P. Y., dan Dibarboure, G. (1999). Mesoscale mapping capabilities of multi-satellite altimeter missions. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 16, 1208-1223.

Le Traon, P. Y., dan Dibarboure, G. (2002). Velocity mapping capabilities of present and future altimeter missions: the role of high-frequency signals.

Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, December 2002, 2077-2087.

Le Traon, P. Y., Faugere, Y., Hernandez, F., Dorandeu, J., Mertz, F., dan Ablain, M. (2003). Can we merge GEOSAT Follow-On with TOPEX/Poseidon and ERS-2 for an improved description of the ocean circulation? *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, June 2003, 889-895.

Le Traon, P. Y., dan Dibarboure, G. (2004). An illustration of the unique contribution of the TOPEX/Poseidon – Jason-1 tandem mission to mesoscale variability studies. *Marine Geodesy*, 27:3-13.

Pascual, A., Faugere, Y., Larnicol, G., dan Le Traon, P. Y. (2006). Improved description of the ocean mesoscale variability by combining four satellite altimeters. *Geophysical Research Letters*, 33, L02611.

Puntodewo, A., Dewi, S., dan Tarigan J. (2003). *Sistem Informasi Geografis untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam*. Jakarta: Centre for International Forestry Research. <http://www.litbang.depkes.go.id/download/ebook/SIG.pdf>

Queffeuilou, P. (2004). Long term validation of wave height measurements from altimeters. *Marine Geodesy*, 27, 495-510.

Quaifeulou, P., Ardhuin, F., dan Lefevre, J. (2012). *Wave height measurements from altimeters: validation status & applications*. March 19, 2012. IFREMER. <http://www.aviso.oceanobs.com/>

Queffeuilou, P., dan Croize-Fillon, D. (n.d.). *Investigation of large-scale and regional features of wave height using multi-satellite altimeter measurements*. March 19, 2012. IFREMER. <http://www.eumetsat.int>

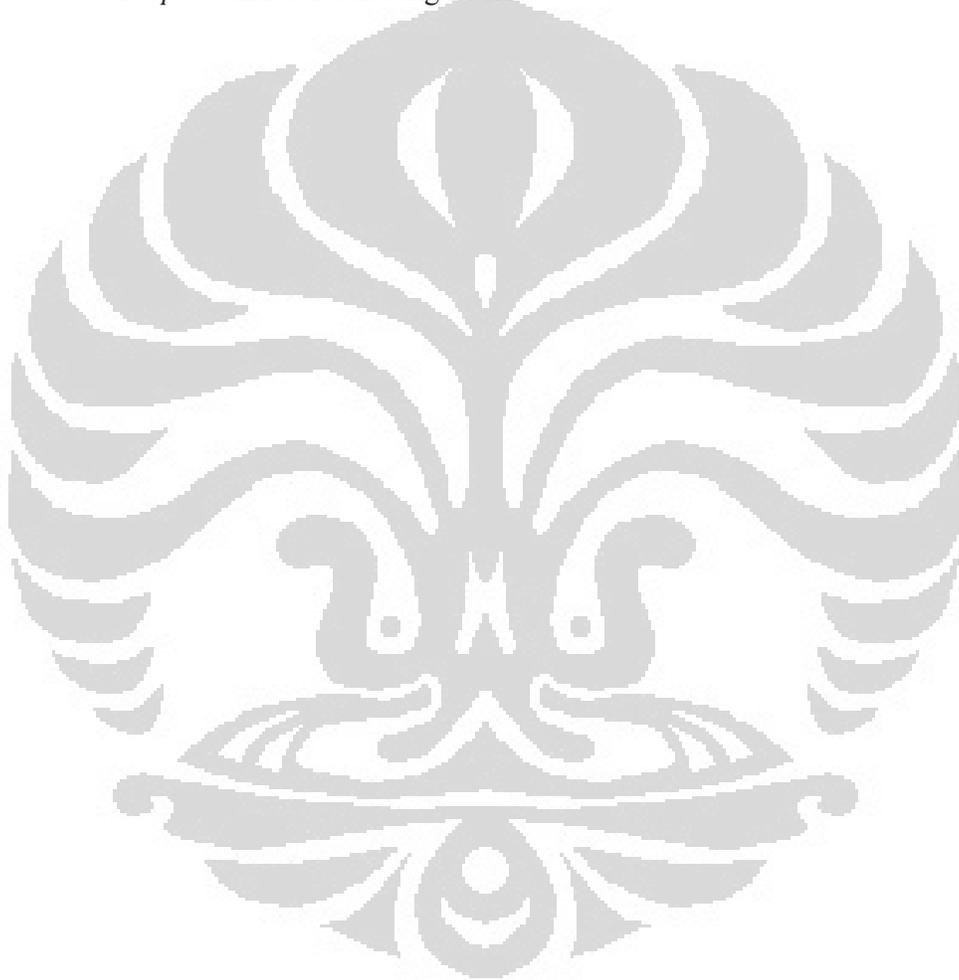
Ramage, C.S. (1971). *Monsoon meteorology*. New York: Academic Press Inc.

- Ramlan (2012). Variabilitas gelombang laut di Laut Jawa dan Selat Karimata ditinjau dari perspektif dinamika meteorologi. *Tesis Magister Sains, Jurusan Magister Ilmu Kelautan, Fakultas MIPA, Universitas Indonesia.*
- Stowe, K. (1996). *Exploring ocean science*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Supangat dan Susanna (n.d.). *Pengantar Oseanografi*. Jakarta: Dep. Kelautan dan Perikanan.
- Suratno (1997). Model Numerik Prakiraan Gelombang Permukaan Laut untuk Perairan Indonesia dan Sekitarnya. *Thesis Magister Sains, Program Pasca Sarjana, Bidang Ilmu Sains dan Matematika, Program Studi Fisika, Kekhususan Meteorologi, Universitas Indonesia.* www.digilib.ui.ac.id/
- Thurman, H. V. (1975). *Introductory oceanography* (5th Ed.). Ohio: Charles E. Merrill Publishing.
- Treadon, R., E., dan Petersen, R., A. (1993). Domain size sensitivity experiments using the NMC Eta model. *Proceeding 13th Convergence on Weather Analysis and Forecasting*, American Meteorological Society., 176-177.
- Warner, T. T., Peterson, R. A., dan Treadon, R. E. (1997). A tutorial on lateral boundary conditions as a basic and potentially serious limitation to regional numerical weather prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 78, No. 11, November 1997, 2599-2617.
- Wheeler, M. C. dan McBride, J. L. (2005). Australian-Indonesian monsoon. In W. K. M. Lau dan D. E. Waliser (Ed). *Intraseasonal Variability in the Atmosphere-Ocean Climate System* (pp.125-173). Springer Berlin Heidelberg.
- Wirjohamidjojo, S., dan Sugarin (2008). *Praktek Meteorologi Kelautan*. Jakarta: Puslitbang BMG.

WMO (1988). Guide to Wave Forecasting and Analysis. *WMO-No.702*. Geneva-Switzerland: Secretariat of WMO.

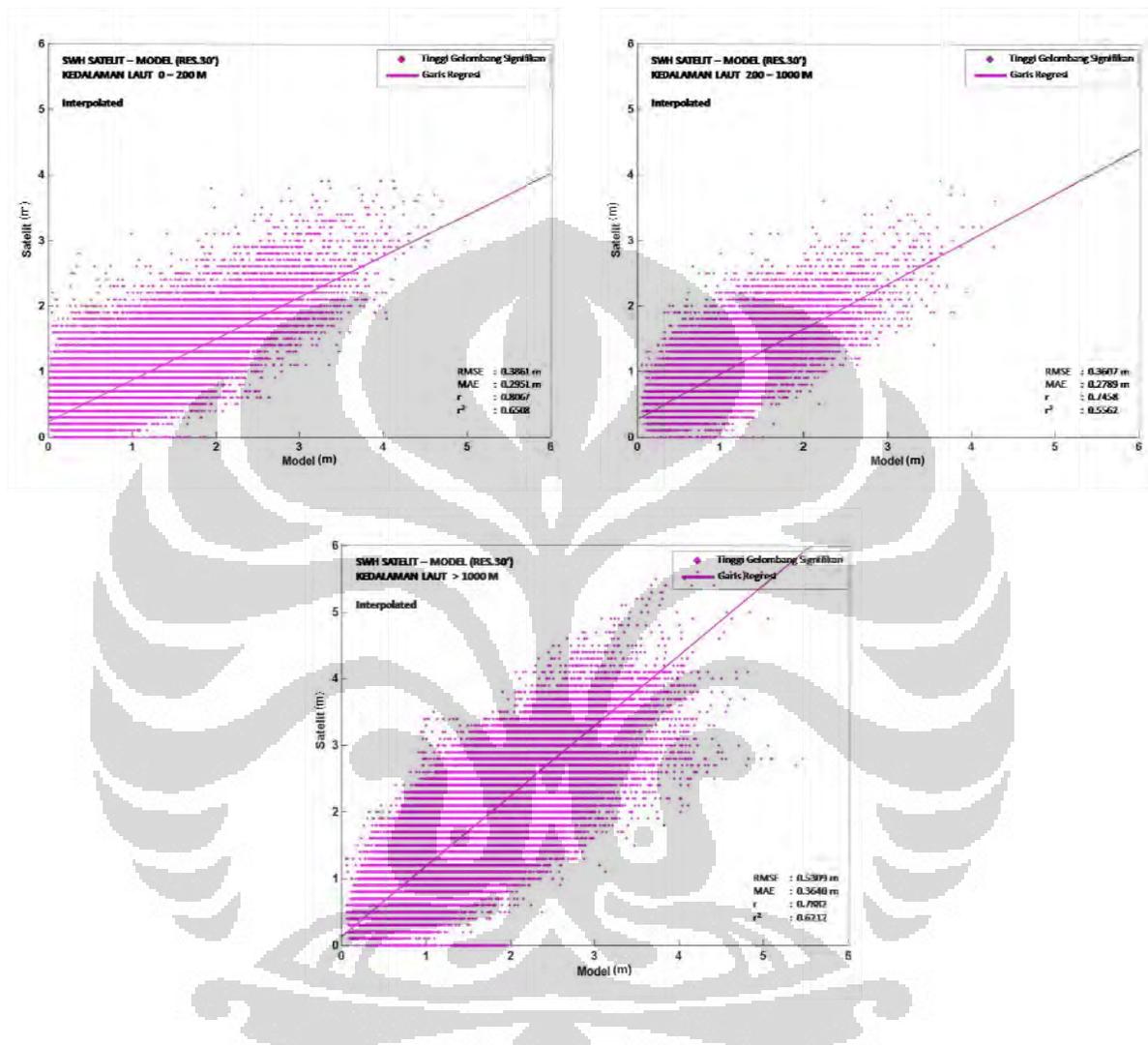
WMO (2008). DCPC Implementation Strategy. DCPC-XXIV/Doc. 13.1. Geneva-Switzerland: Secretariat of WMO.

Zakir, A., Sulisty, W., Khotimah, M. K. (2010). *Perspektif Operasional Cuaca Tropis*. Jakarta: Puslitbang BMKG.

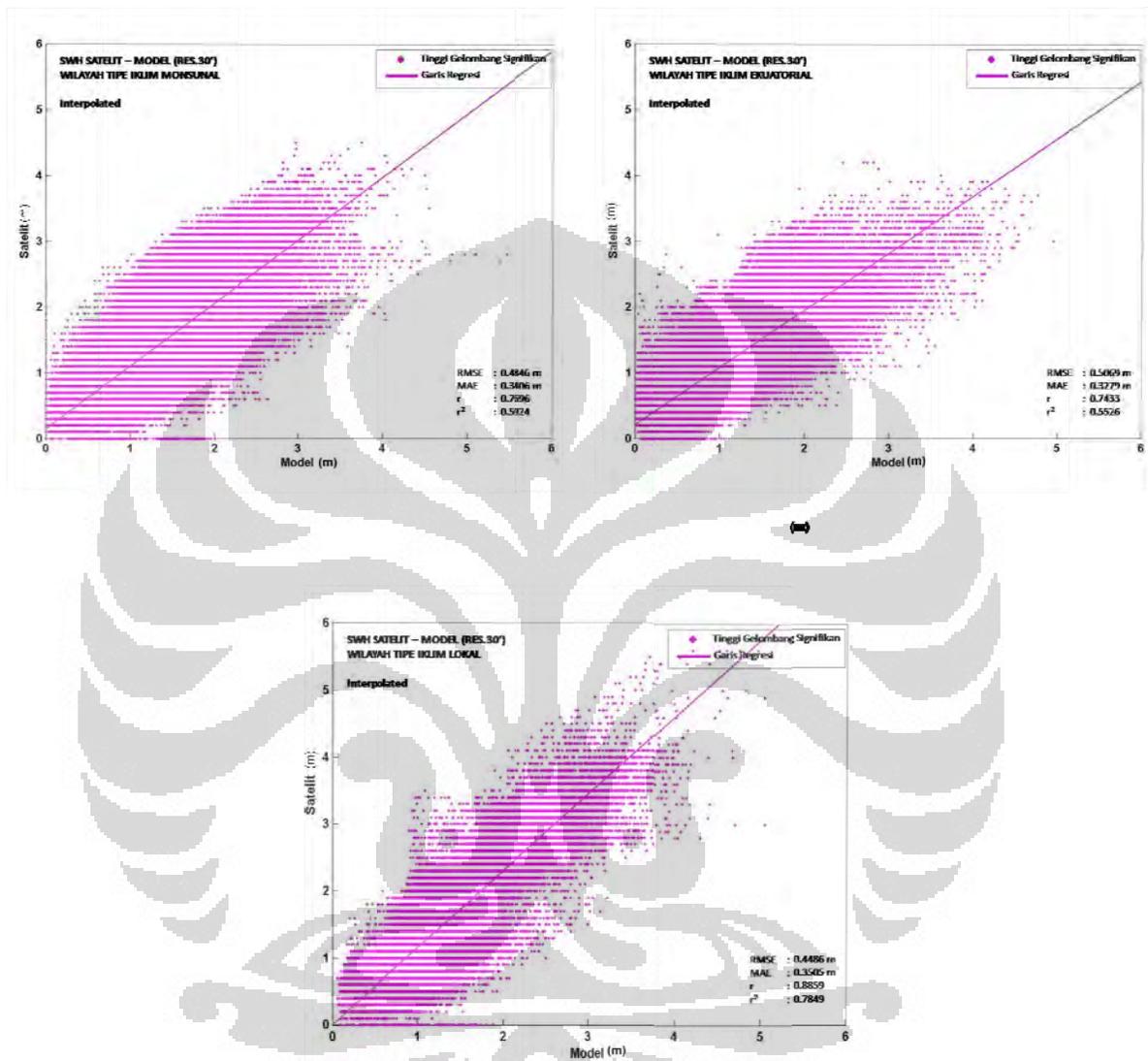


LAMPIRAN 1
DIAGRAM SCATTEROMETER
VALIDASI SWH_{w1} TERHADAP SWH_{a1}

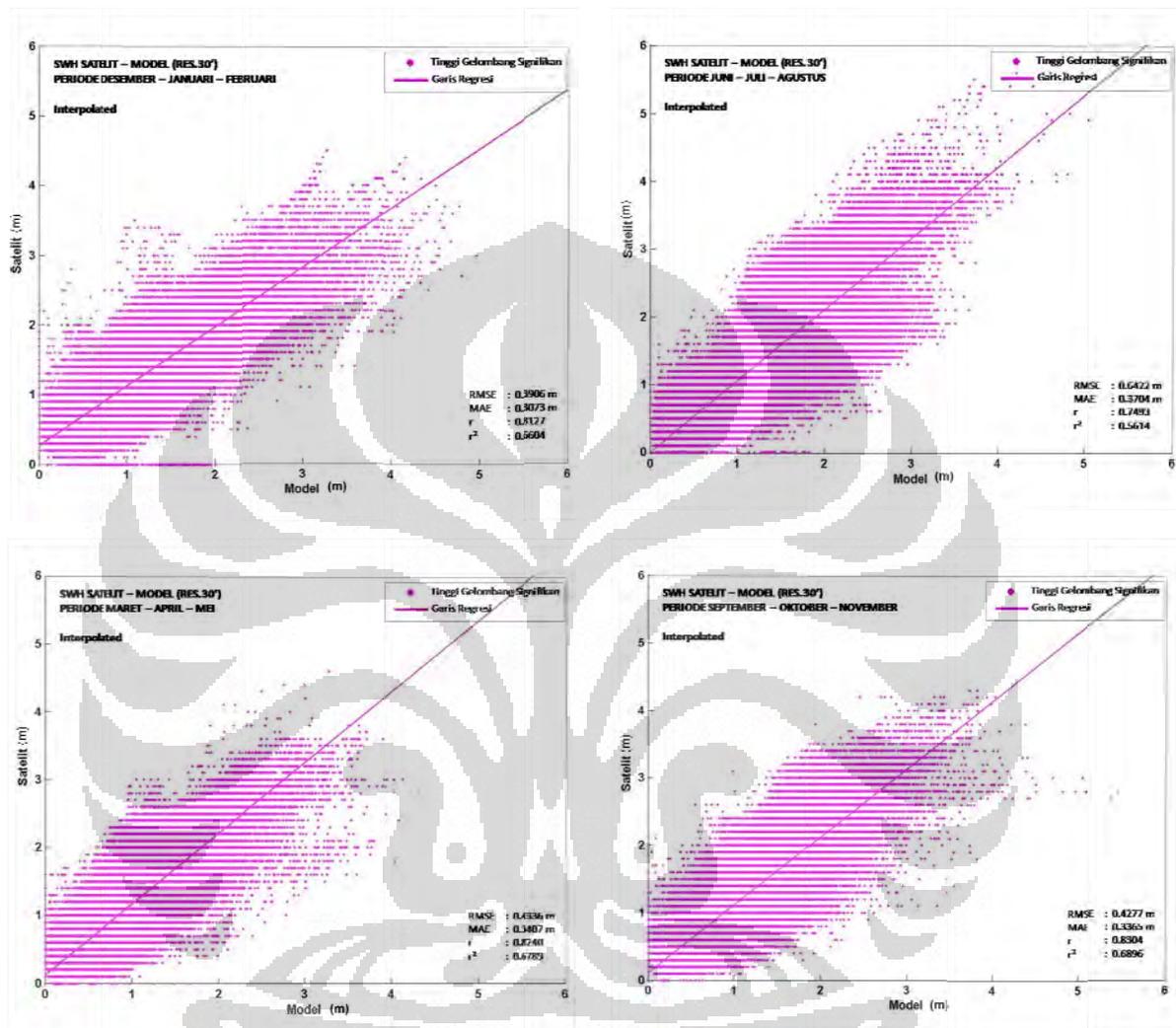




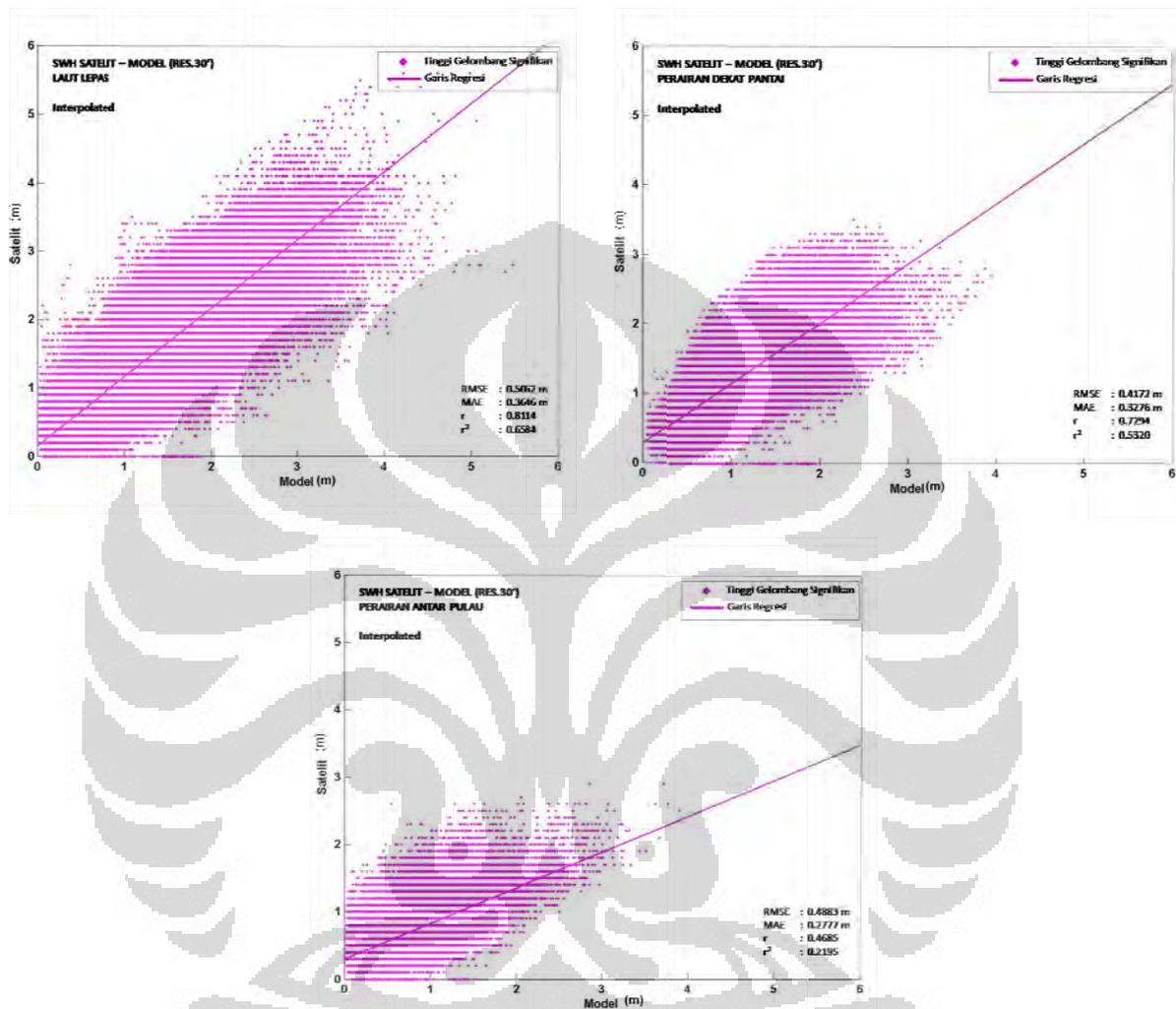
Gambar 6.1. Diagram scatterometer tinggi gelombang signifikan Tahap I pada kategori kedalaman laut < 200 meter (kiri atas), 200 – 1000 meter (kanan atas) dan > 1000 meter (bawah)



Gambar 6.2. Diagram scatterometer tinggi gelombang signifikan Tahap I pada wilayah tipe iklim monsunal (kiri atas), ekuatorial (kanan atas) dan lokal (bawah)



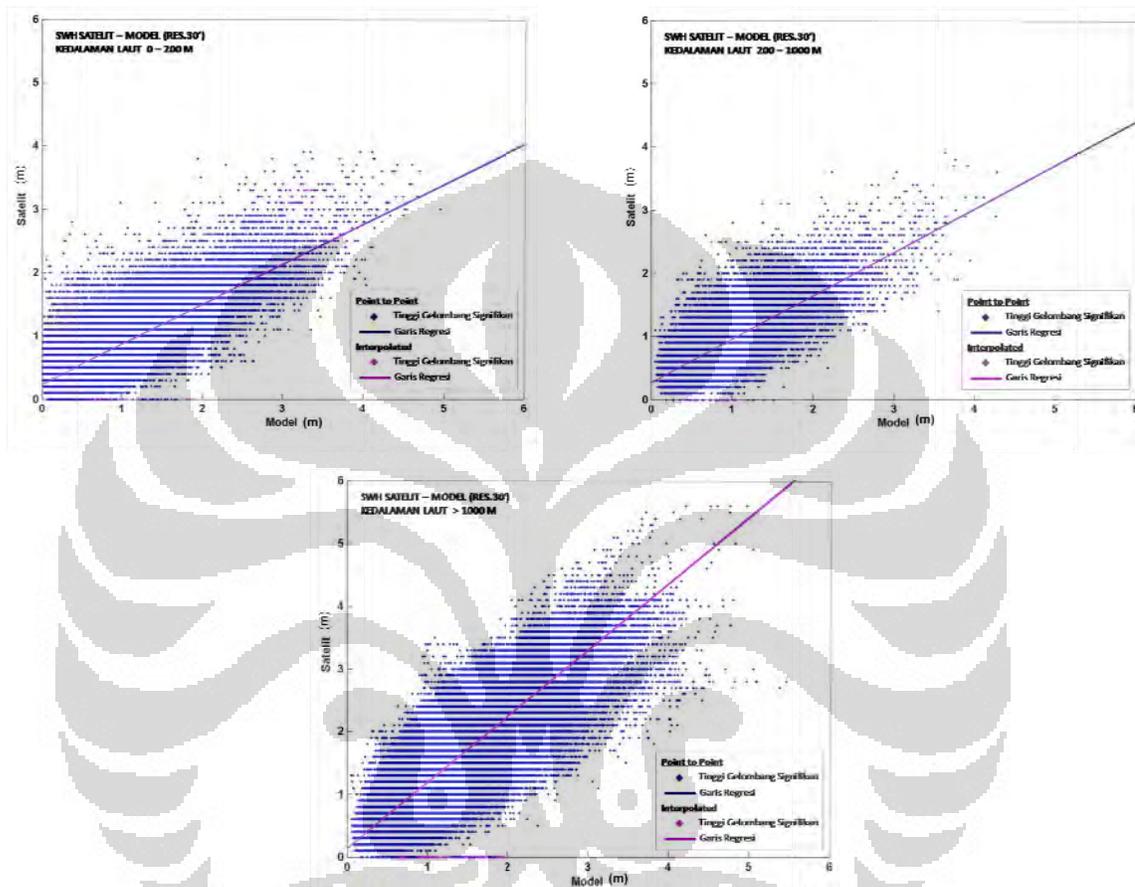
Gambar 6.3. Diagram scatterometer tinggi gelombang signifikan Tahap I pada periode Monsoon Asia (kiri atas), Transisi Monsoon Australia (kanan atas), Monsoon Australia (kiri bawah) dan Transisi Monsoon Asia (kanan bawah)



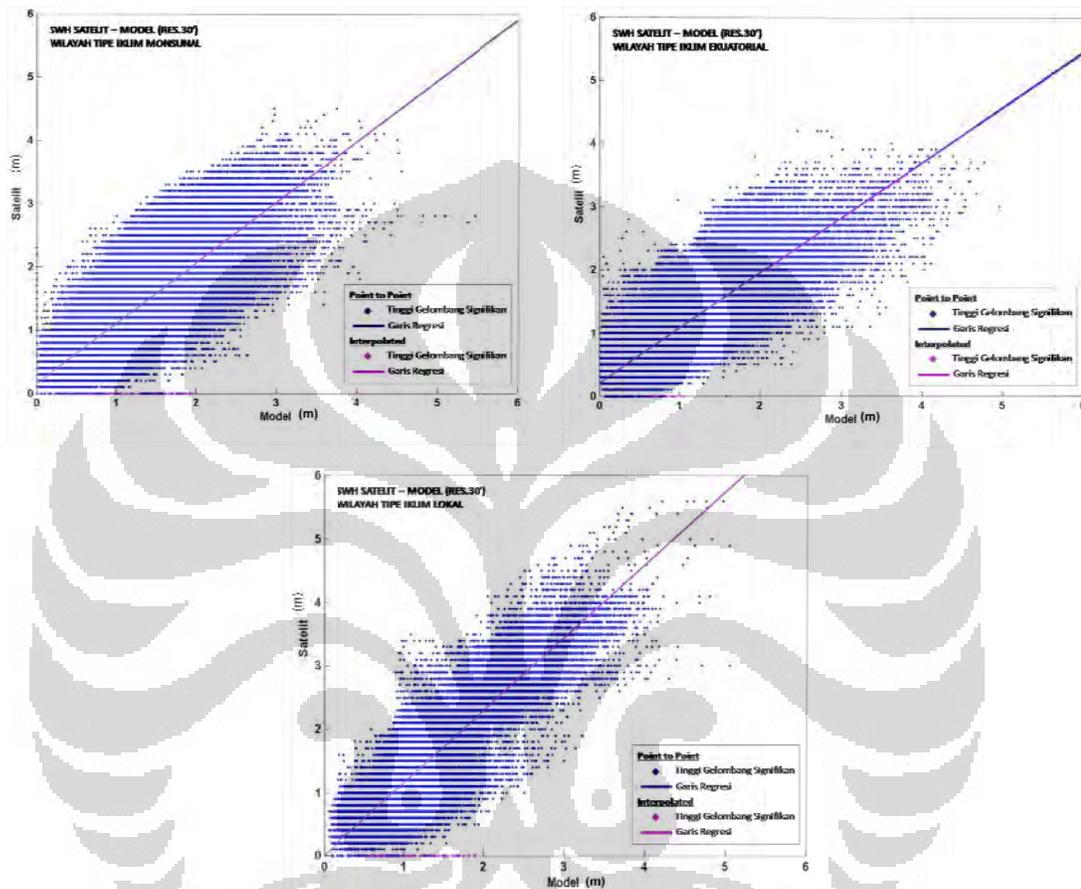
Gambar 6.4. Diagram scatterometer tinggi gelombang signifikan Tahap I pada wilayah laut lepas (kiri atas), perairan dekat pantai (kanan atas) dan perairan antar pulau (bawah)

LAMPIRAN 2
DIAGRAM SCATTEROMETER
PERBANDINGAN SWH_{a1} DENGAN SWH_{w1} DENGAN METODE POINT
TO POINT DAN METODE AGREGASI

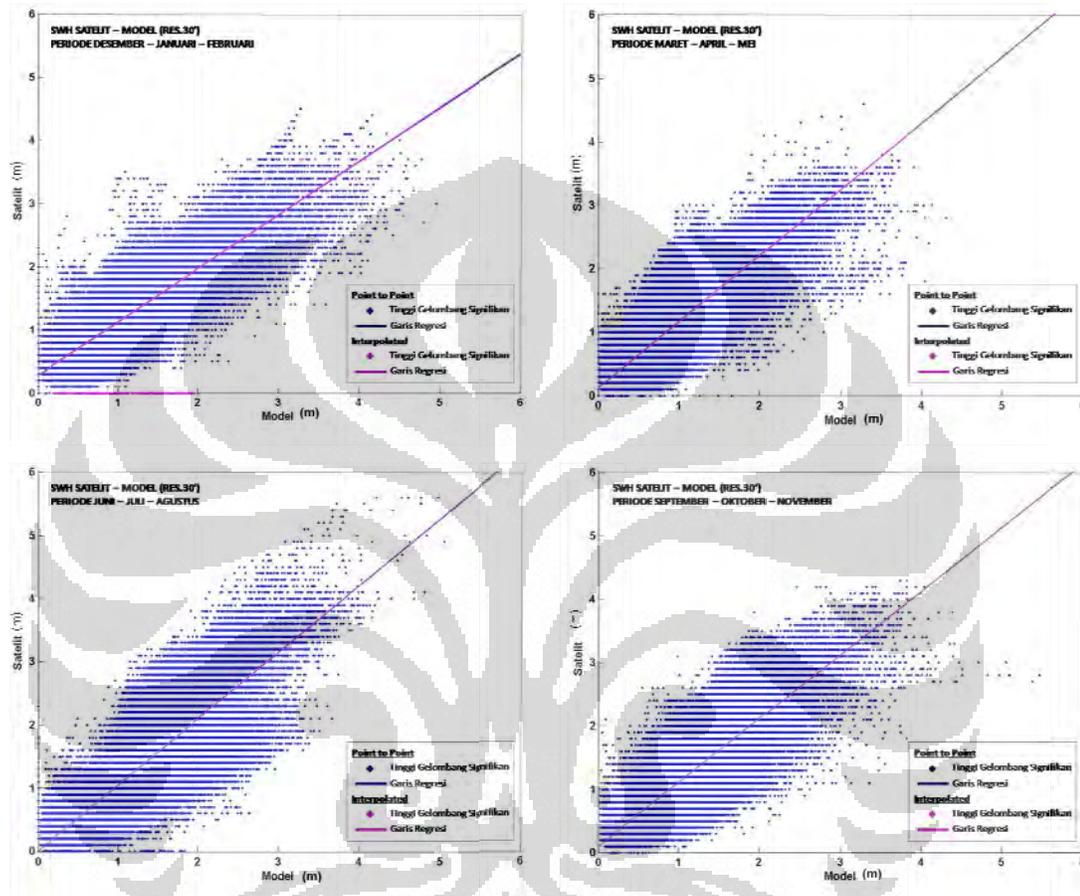




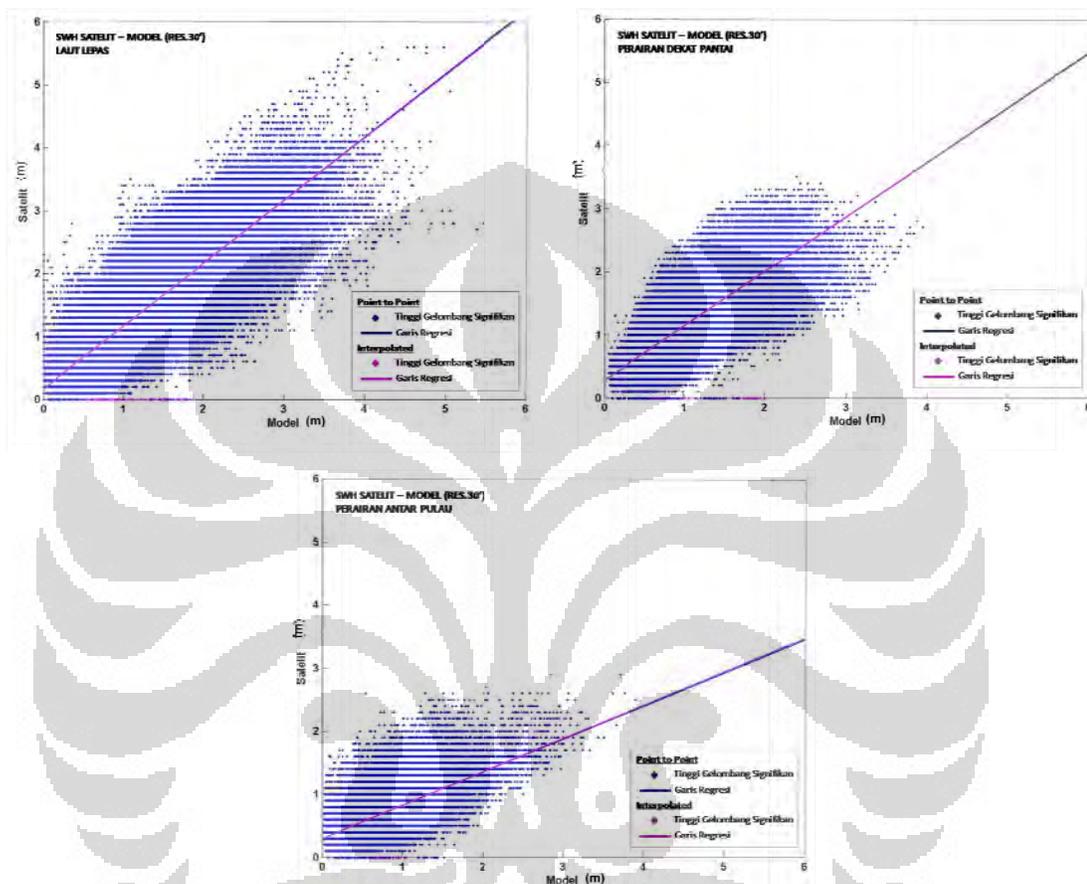
Gambar 6.5. Diagram scatterometer tinggi gelombang signifikan perbandingan SWH_{al} dengan SWH_{wl} dengan metode *point to point* dan metode agregasi pada kategori kedalaman laut < 200 meter (kiri atas), 200 – 1000 meter (kanan atas) dan > 1000 meter (bawah)



Gambar 6.6. Diagram scatterometer tinggi gelombang signifikan perbandingan SWH_{al} dengan SWH_{wl} dengan metode *point to point* dan metode agregasi pada wilayah tipe iklim monsunal (kiri atas), ekuatorial (kanan atas) dan lokal (bawah)



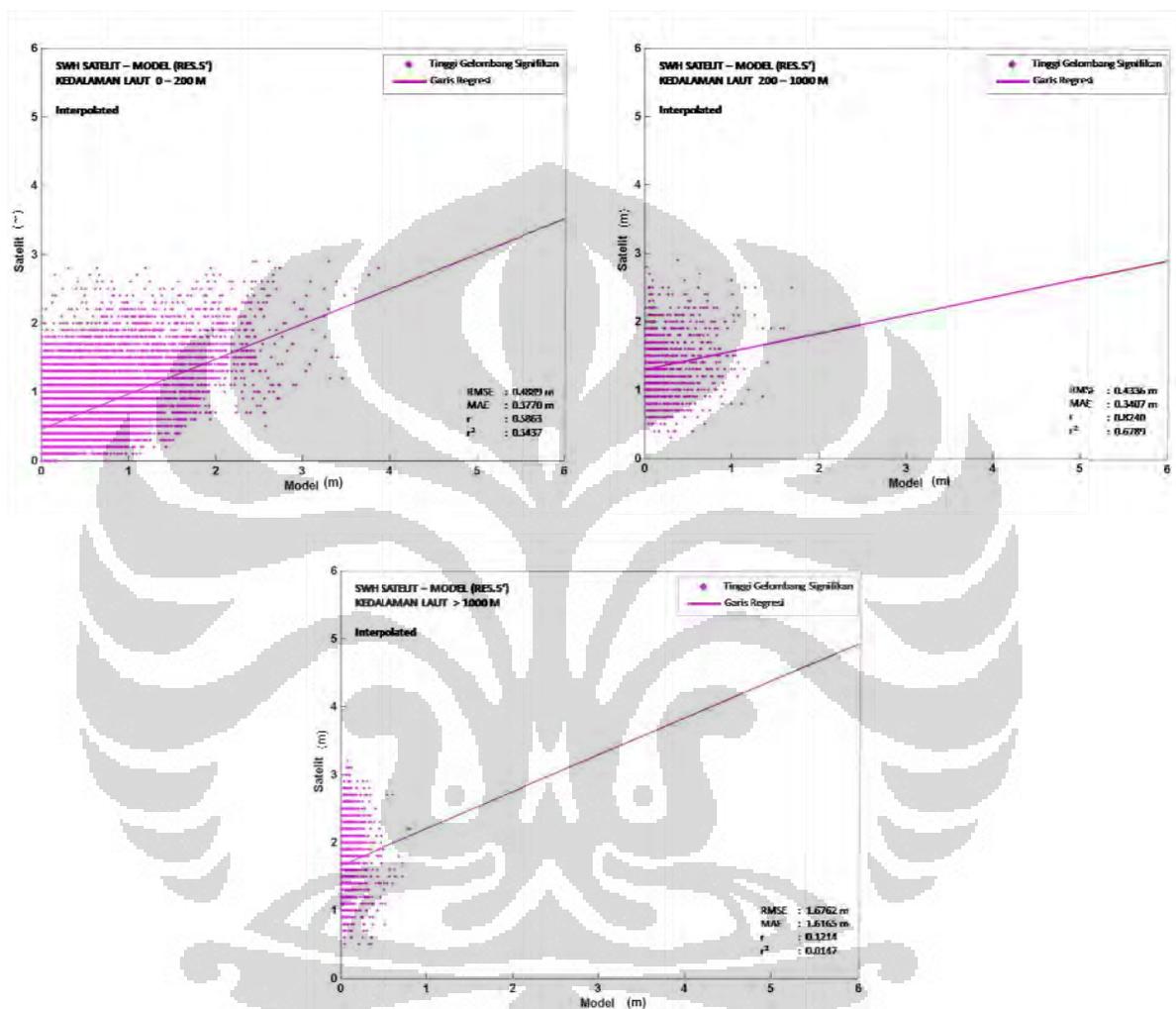
Gambar 6.7. Diagram scatterometer tinggi gelombang signifikan perbandingan SWH_{al} dengan SWH_{wl} dengan metode *point to point* dan metode agregasi pada periode Monsoon Asia (kiri atas), Transisi Monsoon Australia (kanan atas), Monsoon Australia (kiri bawah) dan Transisi Monsoon Asia (kanan bawah)



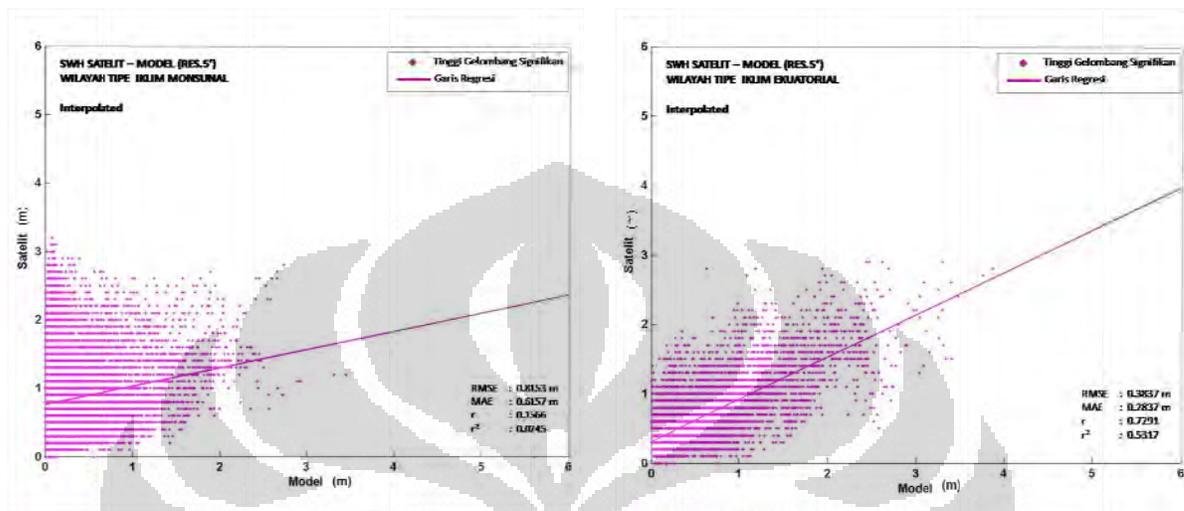
Gambar 6.8. Diagram scatterometer tinggi gelombang signifikan perbandingan SWH_{al} dengan SWH_{wl} dengan metode *point to point* dan metode agregasi pada wilayah laut lepas (kiri atas), perairan dekat pantai (kanan atas) dan perairan antar pulau (bawah)

LAMPIRAN 3
DIAGRAM SCATTEROMETER
VALIDASI SWH_{w2} TERHADAP SWH_{a2}

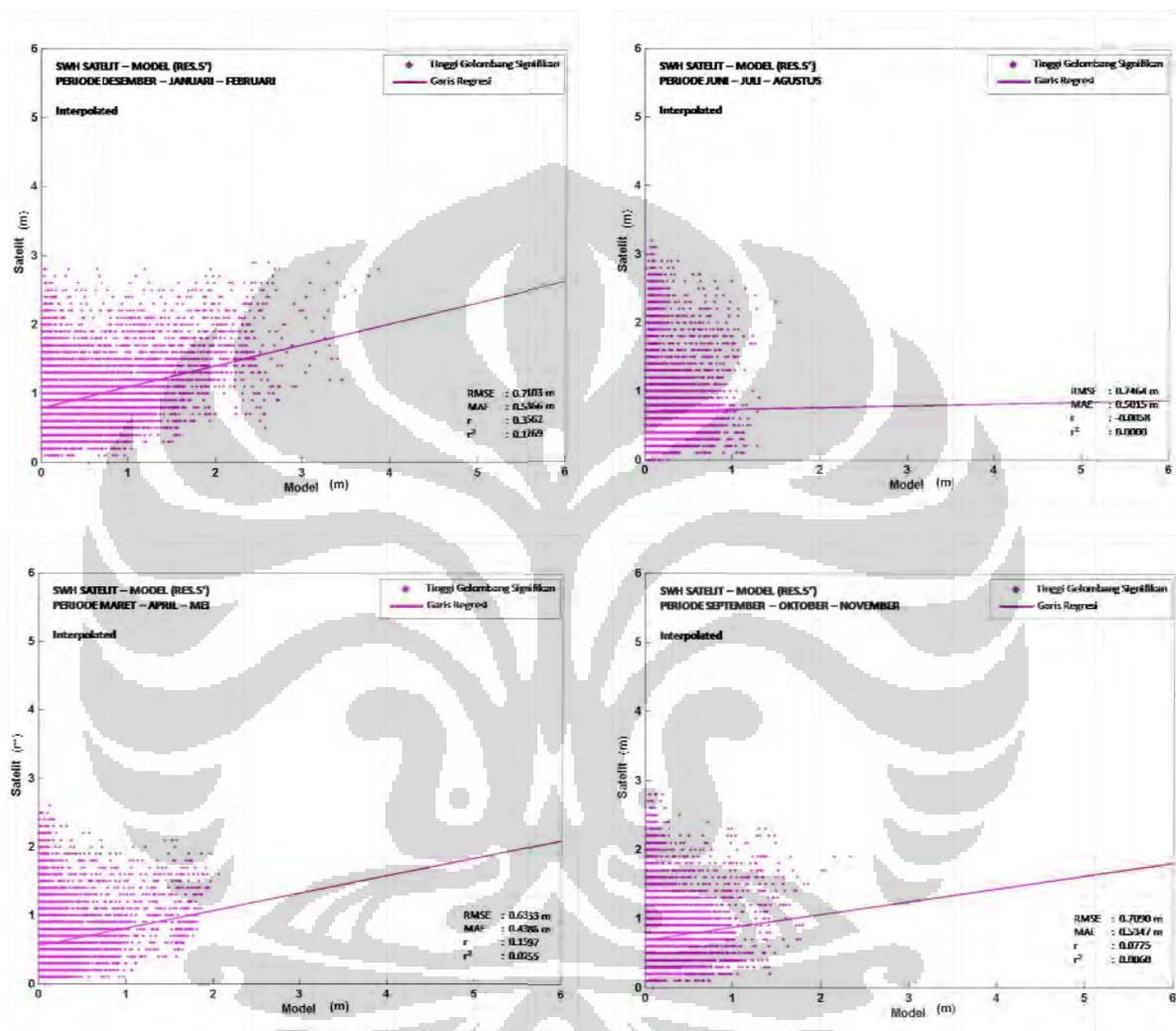




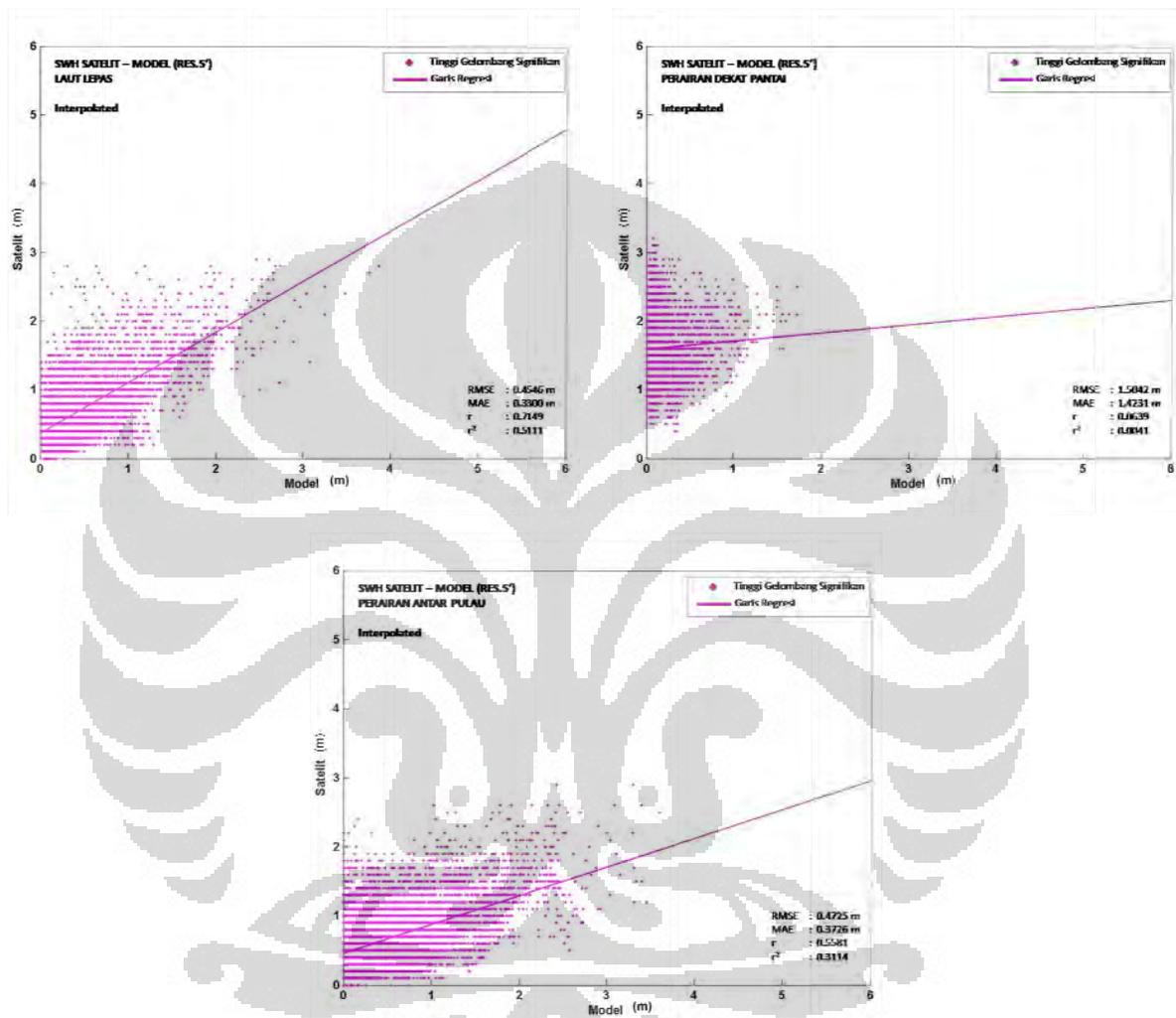
Gambar 6.5. Diagram scatterometer tinggi gelombang signifikan Tahap II pada kategori kedalaman laut < 200 meter (kiri atas), 200 – 1000 meter (kanan atas) dan > 1000 meter (bawah)



Gambar 6.6. Diagram scatterometer tinggi gelombang signifikan Tahap I pada wilayah tipe iklim monsunal (kiri) dan ekuatorial (kanan)



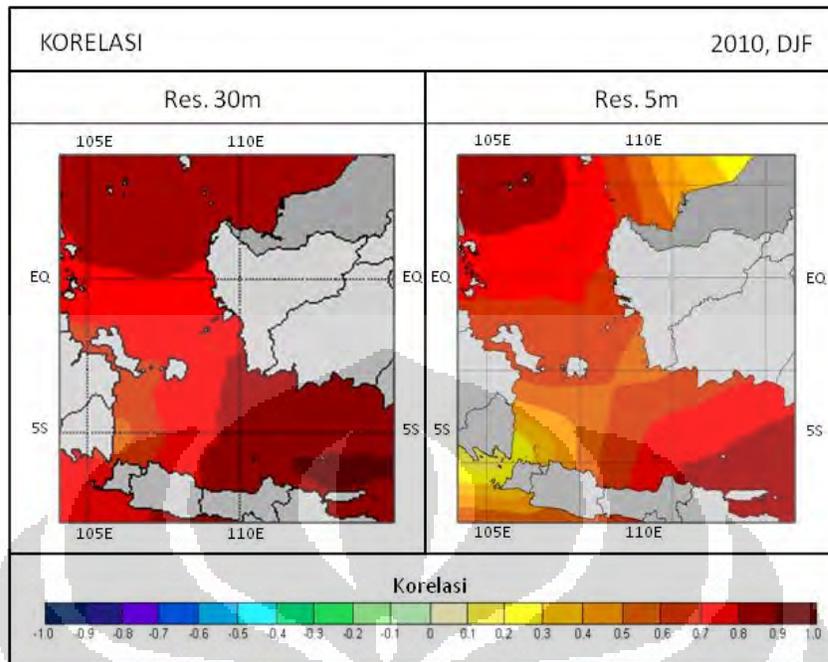
Gambar 6.7. Diagram scatterometer tinggi gelombang signifikan Tahap II pada periode Monsoon Asia (kiri atas), Transisi Monsoon Australia (kanan atas), Monsoon Australia (kiri bawah) dan Transisi Monsoon Asia (kanan bawah)



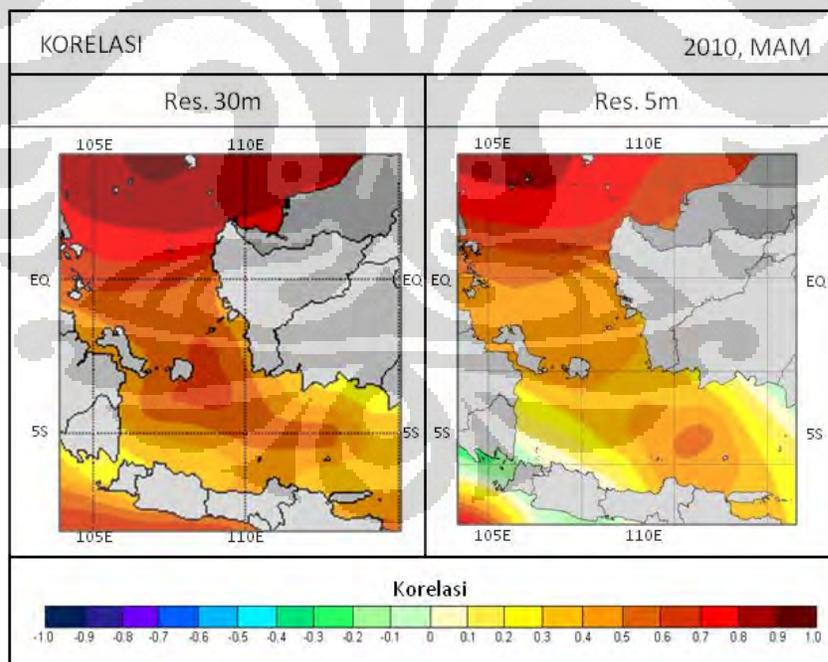
Gambar 6.8. Diagram scatterometer tinggi gelombang signifikan Tahap II pada wilayah laut lepas (kiri atas), perairan dekat pantai (kanan atas) dan perairan antar pulau (bawah)

LAMPIRAN 4
PERBANDINGAN PETA KOEFISIEN KORELASI DATA BERESOLUSI
5 MENIT DENGAN DAN 30 MENIT

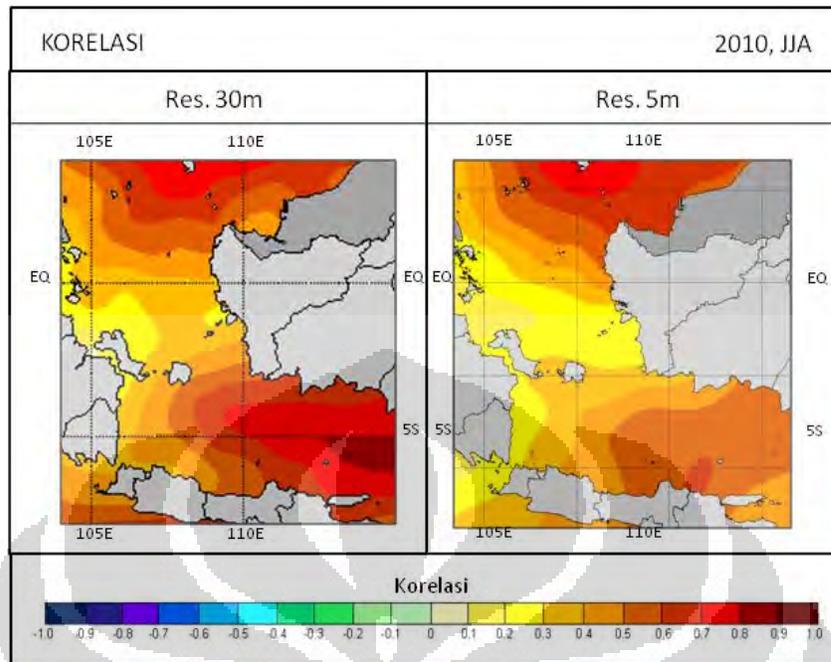




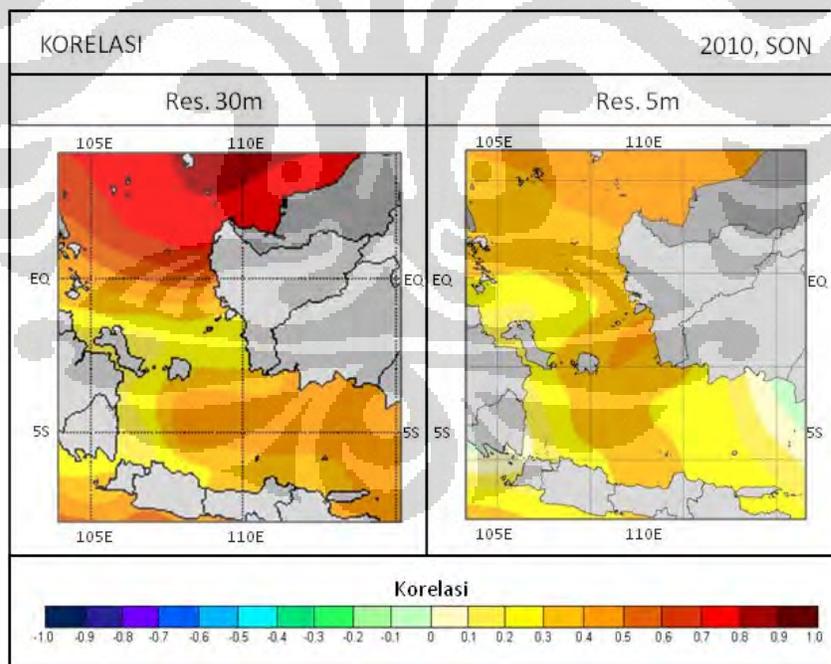
Gambar 6.9. Perbandingan peta koefisien korelasi data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit periode Monsoon Asia



Gambar 6.10. Perbandingan peta koefisien korelasi data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit periode Transisi Monsoon Australia



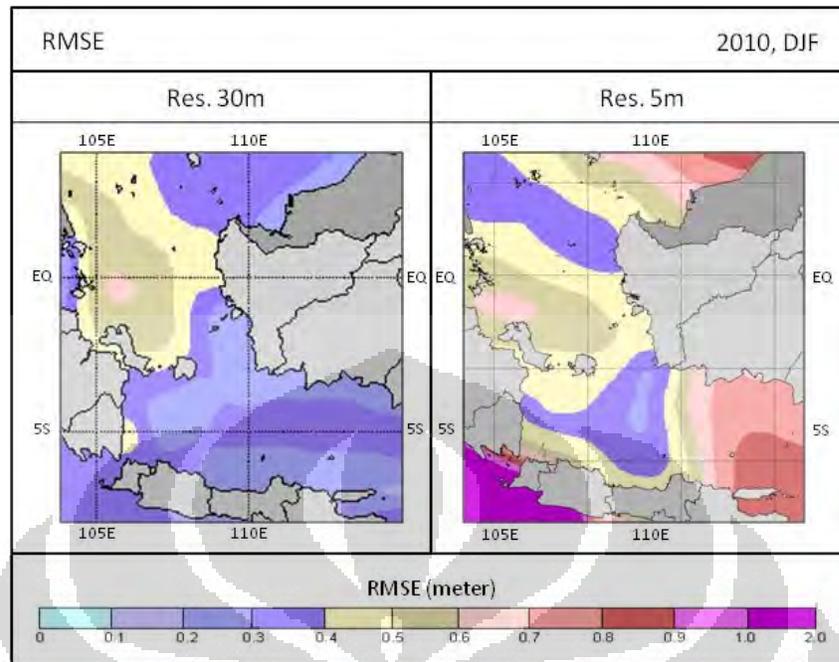
Gambar 6.11. Perbandingan peta koefisien korelasi data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit periode Monsoon Australia



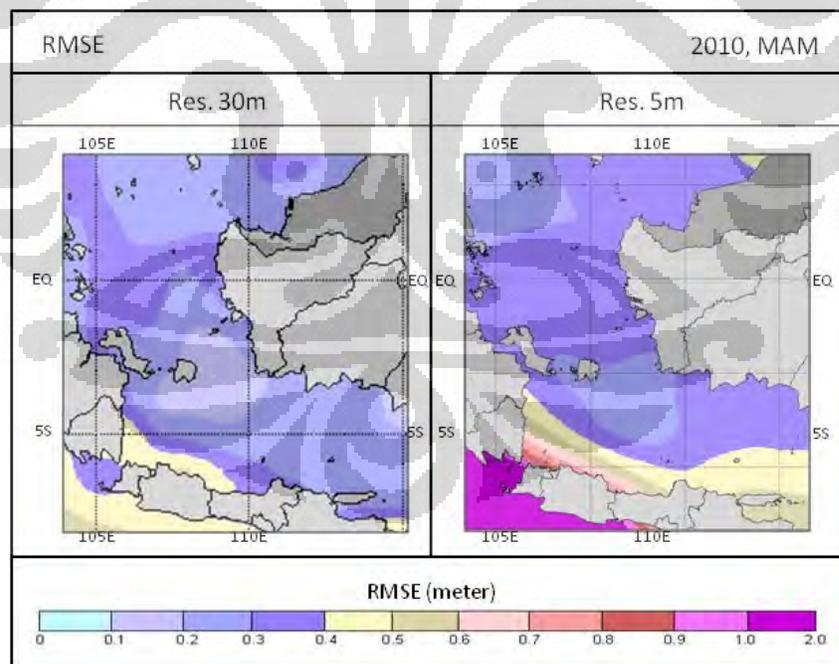
Gambar 6.12. Perbandingan peta koefisien korelasi data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit periode Transisi Monsoon Asia

LAMPIRAN 5
PERBANDINGAN PETA RMSE DATA BERESOLUSI
5 MENIT DENGAN DAN 30 MENIT

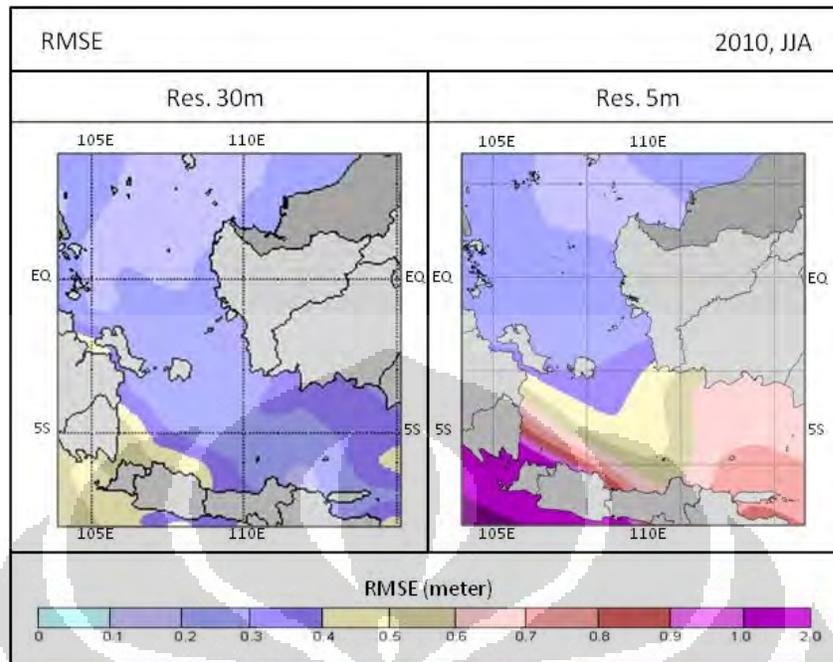




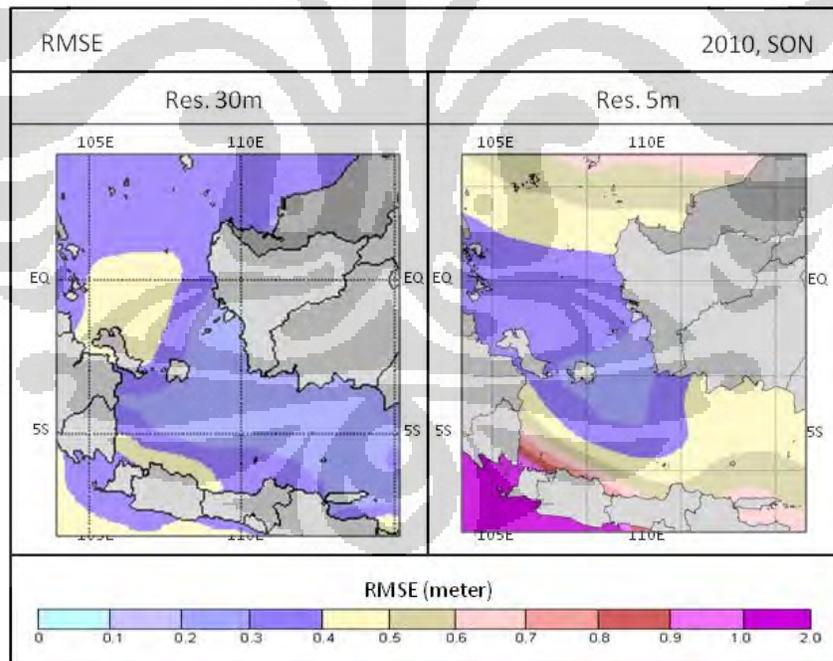
Gambar 6.13. Perbandingan peta RMSE data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit periode Monsoon Asia



Gambar 6.14. Perbandingan peta RMSE data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit periode Transisi Monsoon Australia



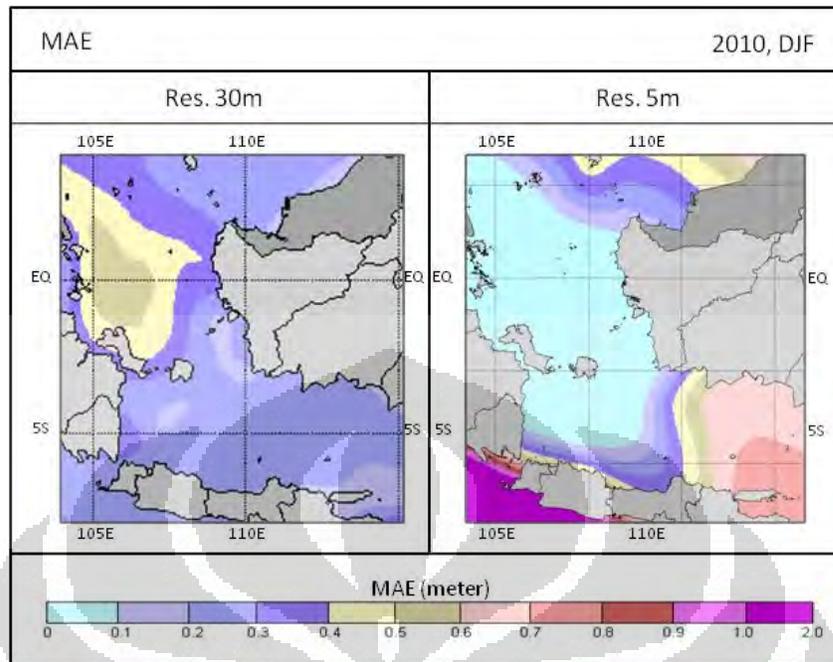
Gambar 6.15. Perbandingan peta RMSE data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit periode Monsoon Australia



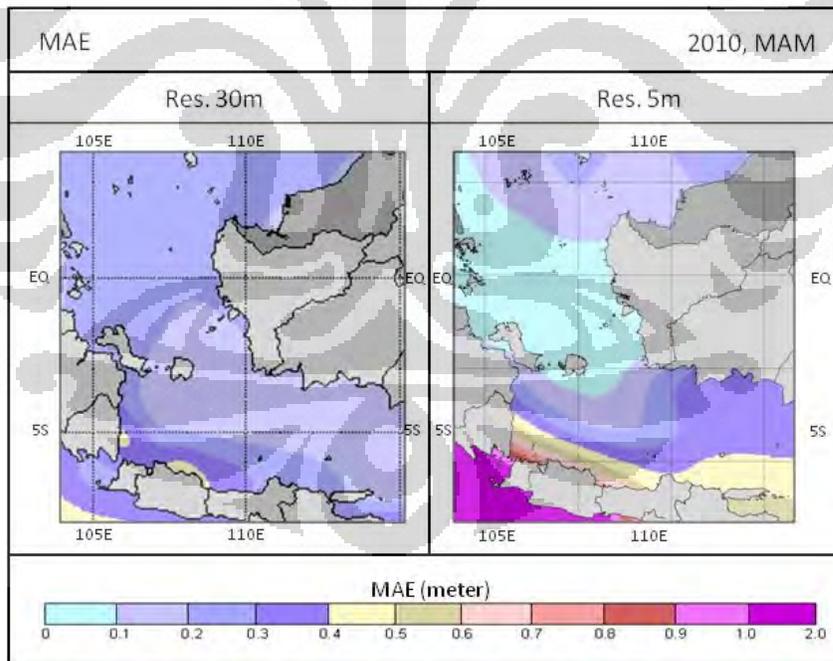
Gambar 6.16. Perbandingan peta RMSE data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit periode Transisi Monsoon Asia

LAMPIRAN 6
PERBANDINGAN PETA MAE DATA BERESOLUSI
5 MENIT DENGAN DAN 30 MENIT

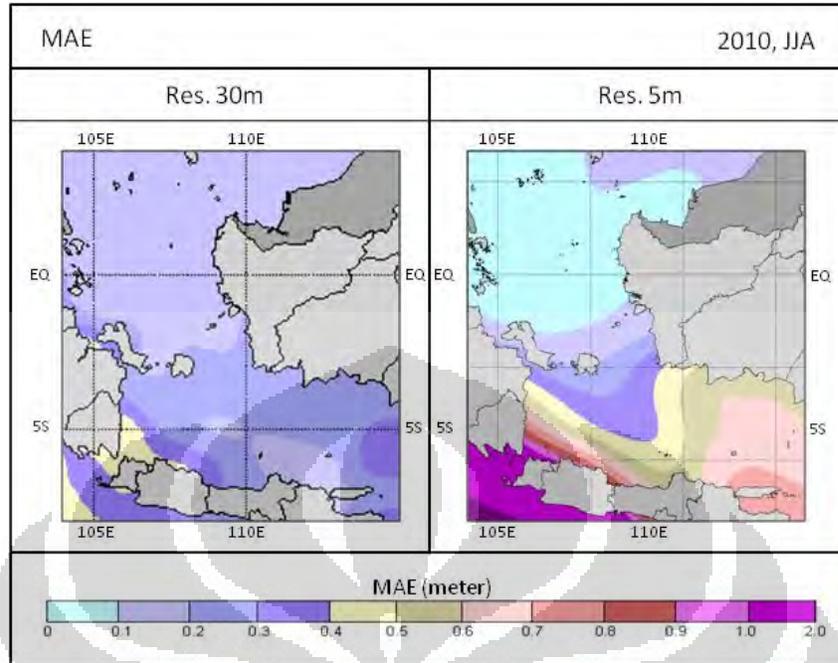




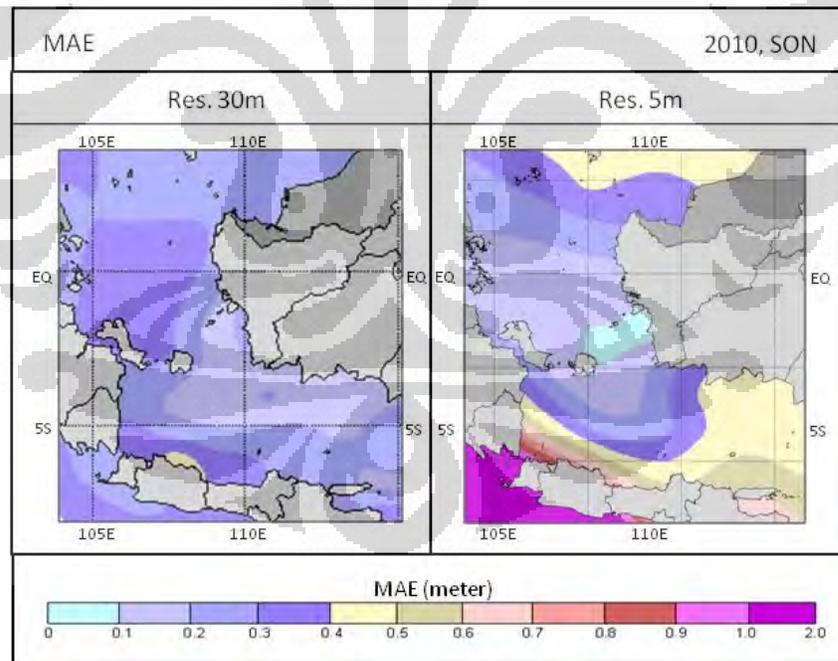
Gambar 6.17. Perbandingan peta MAE data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit periode Monsoon Asia



Gambar 6.18. Perbandingan peta MAE data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit periode Transisi Monsoon Australia



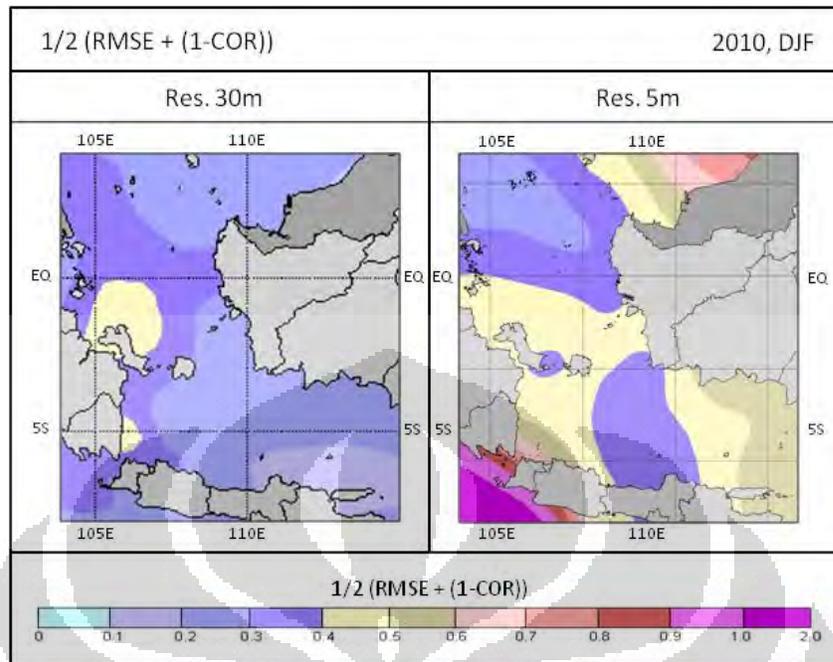
Gambar 6.19. Perbandingan peta MAE data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit periode Monsoon Australia



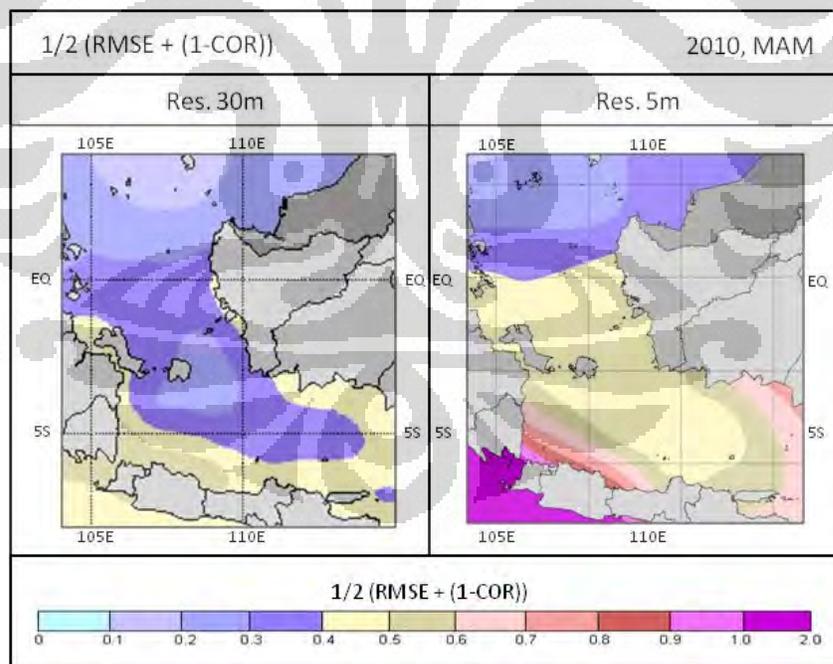
Gambar 6.20. Perbandingan peta MAE data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit periode Transisi Monsoon Asia

LAMPIRAN 7
PERBANDINGAN PETA GABUNGAN RMSE-KORELASI DATA
BERESOLUSI 5 MENIT DENGAN DAN 30 MENIT

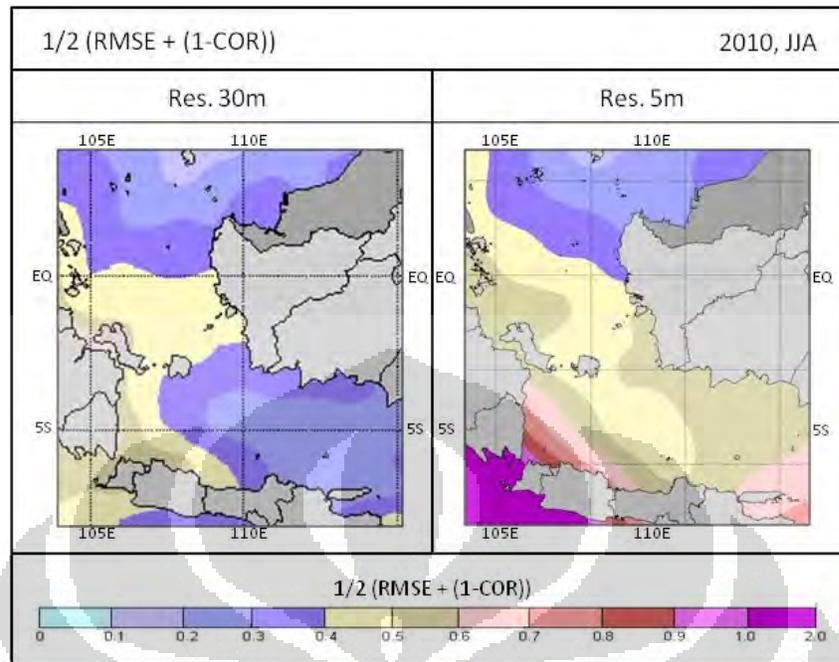




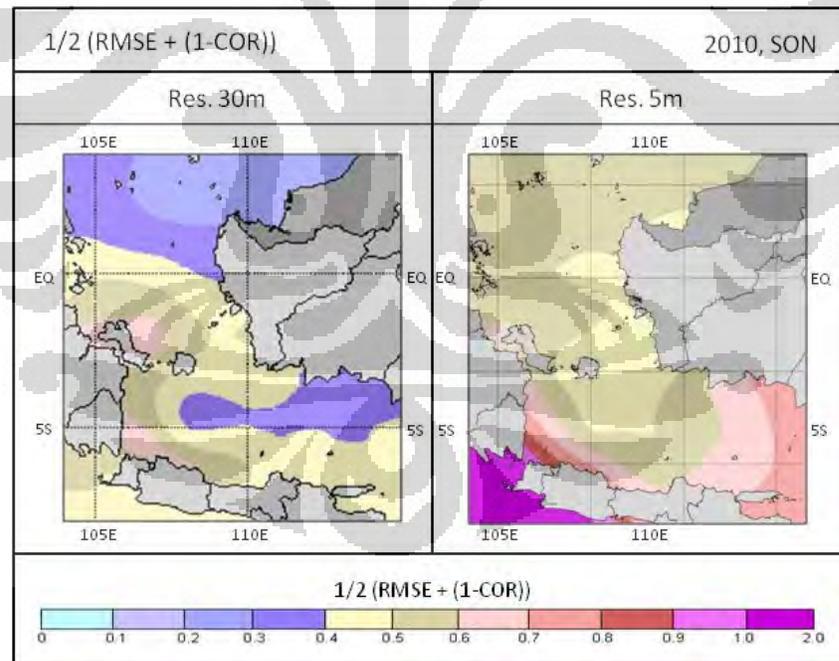
Gambar 6.21. Perbandingan peta gabungan RMSE-korelasi data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit periode Monsoon Asia



Gambar 6.22. Perbandingan peta gabungan RMSE-korelasi data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit periode Transisi Monsoon Australia



Gambar 6.23. Perbandingan peta gabungan RMSE-korelasi data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit periode Monsoon Australia



Gambar 6.24. Perbandingan peta gabungan RMSE-korelasi data beresolusi 5 menit dengan dan 30 menit periode Transisi Monsoon Asia