



UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMANFAATAN MODEL WAVEWATCH III DAN OTIS
UNTUK ESTIMASI POTENSI ROB JAKARTA UTARA**

TESIS

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

ANDRI RAMDHANI

0706304725

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM MAGISTER ILMU KELAUTAN
DEPOK
DESEMBER 2009**

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Andri Ramdhani
NPM : 0706304725
Program Studi : Ilmu Kelautan
Judul Tesis : Pemanfaatan Model Wavewatch III dan OTIS
Untuk Estimasi Potensi Rob di Jakarta Utara

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

MENYETUJUI

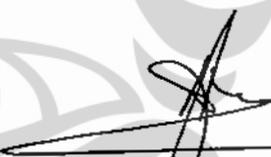
1. Komisi Pembimbing


Dr. Eko Kusratmoko, M.Sc
Pembimbing I


Dr. Ibnu Sofian
Pembimbing II

2. Komisi Penguji


Dr. Abdul Haris
Penguji I


Dr. Rahmatullah
Penguji II

3. Ketua Program Studi Magister Ilmu Kelautan



Dr. A. Harsono Seopardjo, M.Eng

Tanggal Lulus : 29 Desember 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan Kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sains Jurusan Ilmu Kelautan pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia . Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Dr. Eko Kusratmoko**, selaku Pembimbing I, yang telah memberikan pengarahan maupun pemeriksaan teknis mulai penelitian sampai penulisan akhir tesis ini
2. **Dr. Ibnu Sofian**, selaku Pembimbing II, yang telah memberikan pengarahan, pemeriksaan dan membantu memecahkan permasalahan serta materi tesis ini
3. **Dr. A. Harsono Seopardjo, M.Eng** selaku ketua Jurusan Program Pascasarjana Ilmu Kelautan yang telah memberikan banyak bimbingan dan pengarahan selama mengikuti pendidikan Pascasarjana di Universitas Indonesia
4. Tim Penguji yang terdiri dari atas **Dr. Abdul Haris** dan **Dr. Rahmatullah** dengan masukan dan saransarannya yang sangat membantu dalam mengarahkan penulis
5. Seluruh staf pengajar Program Pascasarjana Ilmu Kelautan Universitas Indonesia yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan
6. **Drs. Suratno, M.Si** selaku Kepala Subbidang Informasi Meteorologi Maritim yang telah memberikan dukungan penuh serta memberikan pengetahuan dalam hal pekerjaan maupun dalam penyelesaian kuliah di Pascasarjana Universitas Indonesia
7. Rekan-rekan kerja di BMKG terutama dan rekan-rekan mahasiswa Pascasarjana Ilmi Kelautan yang telah banyak membantu sehingga terselesaikan tesis ini

Terakhir rasa terima kasih yang tiada terhingga kepada orang tua (**Bapak (Alm).** dan **Ibu**), kepada istri tercinta yang telah banyak berkorban dan memberikan dukungan serta kepada **Bapak dan Ibu mertua** yang senantiasa memberikan dukungan sebesar-besarnya kepada penulis dalam rangka menyelesaikan kuliah di Pascasarjana Ilmu Kelautan Universitas Indonesia ini.

Semoga amal baik dan budi luhur mereka senantiasa mendapat imbalan yang berlipat ganda dari Allah Subhannahu wa Ta'ala. Amien.. Akhirnya dengan segala kerendahan hati, penulis memohon maaf apabila masih terdapat kekurangan dan kesalahan dalam tesis ini, semoga dapat memberikan manfaat dan berguna bagi yang memerlukan amin.

Depok, Desember 2009

Penulis ,

ANDRI RAMDHANI

ABSTRAK

Nama : Andri Ramdhani
Program Studi : Ilmu Kelautan
Judul : Pemanfaatan Model Wavewatch III dan OTIS Untuk Estimasi Potensi Rob di Jakarta Utara

Rob merupakan banjir yang terjadi akibat naiknya air laut pada daerah pesisir. Rob di Jakarta Utara pada beberapa tahun belakangan ini menjadi perhatian karena hampir setiap tahun terjadi dan menimbulkan berbagai macam kerugian diantaranya adalah terganggunya aktivitas berbagai sektor seperti perdagangan, transportasi, kesehatan serta kegiatan ekonomi lainnya. Seiring dengan makin meningkatnya frekuensi rob kerusakan infrastruktur semakin tinggi, sehingga dapat mengancam proses pembangunan wilayah pesisir. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan estimasi daerah potensi rob di Jakarta Utara dengan menggunakan hasil analisis model Wavewatch III dan OTIS untuk melihat pola dan karakteristik gelombang dan pasang surut yang mempengaruhi fluktuasi tinggi muka laut di pesisir Jakarta Utara. Sebagai bahan perbandingan digunakan data pengamatan tinggi muka laut di daerah Tanjung Priok.

Hasil perhitungan gabungan model tersebut dapat dilihat waktu periode, daerah potensi dan ketinggian dari banjir rob. Waktu periode rob di Jakarta berpotensi terjadi pada bulan Januari, Februari, November dan Desember, dengan puncaknya terjadi pada bulan Januari dan Februari. Untuk daerah potensi, hampir seluruh wilayah sepanjang pesisir mempunyai potensi rob karena pada umumnya mempunyai elevasi permukaan yang cukup rendah, tetapi ada beberapa daerah yang mempunyai potensi terbesar yaitu daerah Muara Baru, sebagian Tanjung Priok, Cilincing dan Marunda. Sedangkan potensi ketinggian rob bervariasi di seluruh pesisir dengan potensi tertinggi terjadinya genangan berada di daerah Muara Baru, Cilincing dan Marunda.

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa model gelombang laut dan pasang surut global dapat digunakan untuk melihat pola tinggi muka laut di perairan Jakarta. Hasil perbandingan model dan data pengamatan diperoleh pola dan karakteristik yang sama tetapi nilai model cenderung lebih besar.

Kata kunci : rob, estimasi, model laut, gelombang, pasang surut, tinggi muka air laut

ABSTRACT

Name : Andri Ramdhani
Study Program : Marine Science
Title : Implementation of Wavewatch III and OTIS Model to Estimate The Potential of Coastal inundation in Northern Jakarta

Coastal inundation is a kind of flood which caused by sea level rise on coastal area. In several years, coastal inundation at North Jakarta is became hot issue because it happens almost every year and caused a variety of loss at some activity which are commerce, transportation, health, and other economic activity. Along with frequency of coastal inundation are increase, higher infrastructure damage in this case coastal area development would be threaten. This research goal to estimate the area which have a coastal inundation potential at North Jakarta using the output of wave model (Wavewatch III) and Tidal model (OTIS) to observe pattern and characteristic of wave and tidal which influenced sea level fluctuation. As Comparison, using sea level observation data at Tanjung Priok

The output from model composite calculation can referred to period time, potential area and water level. Coastal inundation time period at North Jakarta potential on January, February, November, and December at its height on January and February. For Potential area almost every area along coast have potential because in a general way have surface elevation quite low, but on some area have the highest potential which is Muara Baru, part of Tanjung Priok, Cilincing and Marunda. The potential puddle elevation have variation on hole coast with the highest potential where at Muara Baru, Cilincing, and Marunda.

As conclusion of this research, both of the model can be use to observe sea level pattern at Jakarta waters. The output of model compare with observation data is having same pattern and characteristic but the model value is higher.

Key word : Coastal inundation, estimation, ocean model, wave, tide, sea level

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi / Tesis / Desertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun di rujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Andri Ramdhani

NPM : 0706304725

Tanda Tangan :

Tanggal : 15 Desember 2009



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

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

Nama : Andri Ramdhani
NPM : 0706304725
Program Studi : Ilmu Kelautan
Departemen : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

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

"Pemanfaatan Model Wavewatch III dan OTIS Untuk Estimasi Potensi Rob di Jakarta Utara" . 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 : 15 Desember 2009

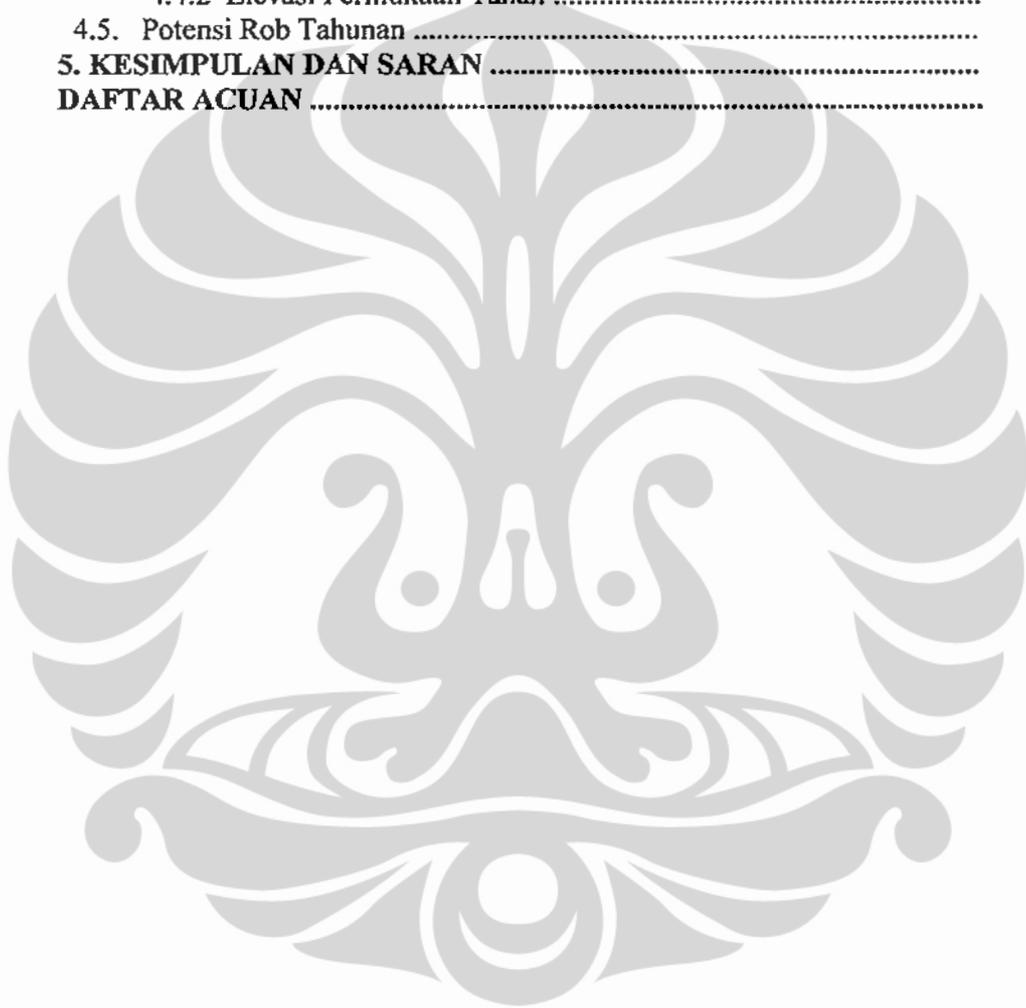
Yang Menyatakan

(Andri Ramdhani)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORSINILITAS	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Mekanisme Rob	5
2.2 Pasang Surut	9
2.2.1 Gaya Pembangkit Pasut	9
2.2.2 Pengukuran dan Analisis Pasang Surut	10
2.3 Gelombang Laut	12
2.3.1 Gelombang Laut Sebagai Gelombang Sinusoidal	13
2.3.2 Gelombang Laut Sebagai Gelombang Superposisi	13
2.3.3 Pertumbuhan Gelombang	14
2.3.4 Disipasi Energi	15
2.3.5 Interaksi Gelombang	16
2.4 Model Gelombang Wavewatch III	16
2.4.1 Model Sub Routine	17
2.4.2 Model Program	17
2.5 Model Pasang Surut OTIS	20
2.5.1 Format Data OTIS	21
2.5.2 Konvensi Grid dalam OTIS	22
2.5.3 Program OTIS	23
3. METODE PENELITIAN	26
3.1 Data dan Peralatan	26
3.2 Pengolahan dan Analisis Data	28
3.2.1 Menjalankan Model Gelombang Wavewatch III	28
3.2.2 Ekstraksi Model OTIS	29
3.2.3 Pengolahan Data Pengamatan	31
3.2.4 Validasi Model	31
3.2.5 Analisis Deskriptif	31
3.3 Penentuan Estimasi Daerah Potensi Rob	32
3.3.1 Menentukan Tinggi Muka Laut (TML)	32
3.3.2 Menentukan Estimasi Banjir Rob	32
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	35

4.1 Pasang Surut	35
4.2 Tinggi Gelombang	36
4.3 Analisis Kejadian Rob Berdasarkan Hasil Estimasi Model	38
4.3.1 Analisis Hasil Model	38
4.3.2 Sebaran Genangan Hasil Estimasi Model Pada Saat Kejadian	40
4.4 Estimasi Potensi Rob	44
4.4.1 Pasang, Gelombang, Curah Hujan	44
4.4.2 Elevasi Permukaan Tanah	44
4.5. Potensi Rob Tahunan	46
5. KESIMPULAN DAN SARAN	48
DAFTAR ACUAN	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Genangan Banjir Rob Jakarta 2007	2
Gambar 1.2	Model laut untuk Estimasi Potensi Banjir Rob	4
Gambar 2.1	Proses naiknya air laut di Pesisir	7
Gambar 2.2	Skematik <i>Storm-Tide</i>	6
Gambar 2.3	Gerakan Periodik Pasang Surut	8
Gambar 2.4	Pengaruh Gaya Pasut Terhadap Permukaan Bumi	9
Gambar 2.5	Bentuk Gelombang Sinusoidal	14
Gambar 2.6	Bentuk Gelombang Superposisi	14
Gambar 2.7	Program Utama dan Aliran Data WWIII	19
Gambar 2.8	Contoh file log ww3	19
Gambar 2.9	Posisi data Altimetri Topex/Poseidon yang digunakan dalam Model OTIS untuk Wilayah Perairan Indonesia ...	21
Gambar 2.10	Konversi Grid dalam OTIS	22
Gambar 2.11	Program dan File pada OTIS	29
Gambar 3.1	Diagram Penelitian	34
Gambar 4.1	Grafik Pasang Tertinggi Perbulan Tahun 2004 s.d 2008 ..	35
Gambar 4.2	Grafik Surut Terendah Perbulan Tahun 2004 – 2008	36
Gambar 4.3	Grafik pasang surut harian	36
Gambar 4.4	Grafik Tinggi Gelombang Signifikan Bulanan Periode 2004 s.d 2008	37
Gambar 4.5	Grafik Arah terbanyak dan kecepatan angin maksimum bulanan Periode 2004 s.d 2008	37
Gambar 4.6	Grafik Analisis Model 26 Nopember 2007	38
Gambar 4.7	Grafik TML Model dan <i>Tide Gauge</i> 26 Nopember 2007 .	38
Gambar 4.8	Grafik Analisis Model 12 Januari 2009	39
Gambar 4.9	Grafik TML Model dan <i>Tide Gauge</i> 12 Januari 2009	40
Gambar 4.10	Grafik Pasang dan Gelombang Tertinggi Tahun 2004 s.d 2008	44
Gambar 4.11	Grafik Intensitas Hujan tertinggi bulanan Tahun 2004 s.d 2008	45
Gambar 4.12	Daerah potensi banjir rob	47

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Program dan Subroutine WWIII	18
Tabel 4.1	Genangan Rob hasil model dan informasi media (24-26 November 2007)	41
Tabel 4.2	Curah hujan di Jakarta tanggal 24 – 27 November 2007 ..	41
Tabel 4.3	Genangan Rob hasil model dan informasi media (08 Mei 2008)	41
Tabel 4.4	Curah hujan di Jakarta tanggal 7 – 9 Mei 2008	42
Tabel 4.5	Genangan Rob hasil model dan informasi media (18 Nopember 008)	42
Tabel 4.6	Curah hujan di Jakarta tanggal 17–19 Nopember 2008	42
Tabel 4.7	Genangan Rob hasil model dan informasi media (12 Januari 2009)	43
Tabel 4.8	Curah hujan di Jakarta tanggal 11–13 Januari 2009	43



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

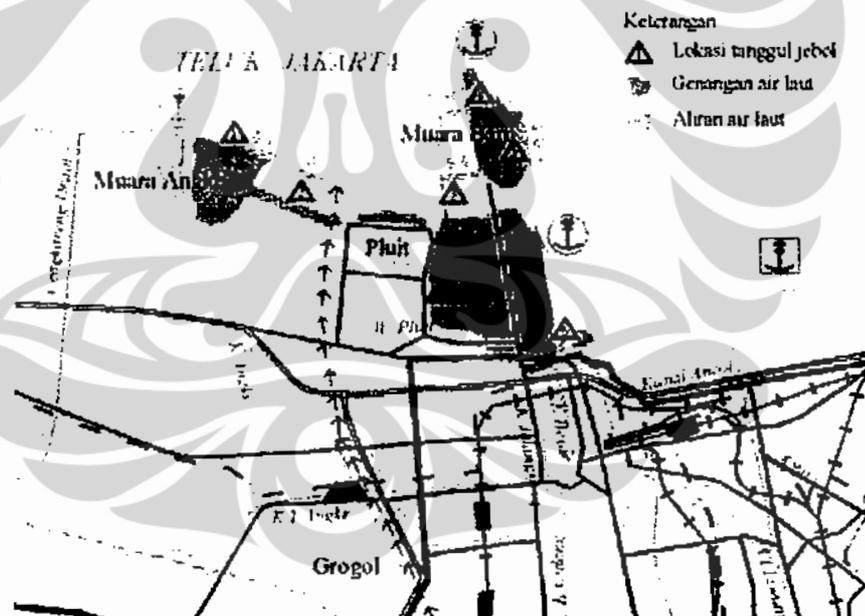
Di Indonesia fenomena banjir rob atau banjir air pasang baru populer beberapa tahun belakangan ini, padahal sebenarnya fenomena ini di dunia merupakan suatu hal sering terjadi terutama di kawasan yang mempunyai pantai yang landai dengan elevasi antara 0m sampai 2m, terlebih lagi di negara yang berada di lintang menengah dan tinggi dimana sering terjadi badai yang dapat membuat tinggi muka laut di sekitar pantai menjadi ekstrim (Massey, 2000)

Banjir rob terjadinya akibat naiknya tinggi muka laut (TML) sehingga air laut sampai ke daratan pantai yang berelevasi rendah. Naiknya TML dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor astronomi, meteorologi (oseanografi) dan tektonik, meskipun pengaruh pasang surut (*tide*) lebih dominan dengan frekuensi yang tinggi. Selanjutnya, interaksi antara faktor astronomi (pasang surut) dan meteorologi (tinggi gelombang) mengakibatkan terjadinya pasang air laut yang signifikan dengan tinggi melebihi batas normal pasang maksimum bulanan. Kedua faktor ini mengakibatkan banjir dalam skala besar dengan area genangan yang lebih besar pula.

Banjir rob menjadi hal yang diperhatikan dikarenakan menimbulkan berbagai macam kerugian diantaranya adalah terganggunya aktivitas berbagai sektor seperti perdagangan, transportasi, maupun kesehatan. Seiring dengan makin meningkatnya frekuensi rob, kerusakan infrastruktur, erosi, abrasi dan perubahan garis pantai semakin intensif, sehingga dapat mengancam proses pembangunan wilayah pesisir.

Ancaman banjir rob mendapat perhatian lebih serius sejak tahun 2007, dimana pada sepanjang tahun ini terjadi rob di beberapa wilayah pantai di Indonesia terutama di pantai utara (Pantura) Pulau Jawa. Pantura adalah wilayah yang terletak di utara Pulau Jawa yang berbatasan dengan Laut Jawa, memiliki populasi penduduk tertinggi dan merupakan pusat perekonomian di Indonesia, terdapat beberapa kota besar seperti Jakarta, Semarang dan Surabaya, dimana ketiga kota tersebut yang sering merasakan dampak langsung akibat adanya banjir rob.

Jakarta merupakan kota terbesar yang juga merupakan ibu kota negara sangat mudah terpengaruh oleh kenaikan TML, terutama terhadap bahaya banjir rob, sedimentasi dan erosi. Daerah Jakarta Utara adalah dataran rendah yang terbentang sepanjang beberapa kilometer dari pantai, merupakan daerah banjir selama musim penghujan dengan puncaknya pada bulan Desember sampai Pebruari. Banjir ini disebabkan akibat tingginya curah hujan dan air kiriman dari daerah tinggi di sebelah Selatan. Dengan terjadinya banjir rob pada beberapa tahun terakhir ini maka ancaman banjir di Jakarta Utara tidak hanya datang pada saat musim penghujan juga bisa terjadi pada saat naiknya TML. Menurut data dari dinas Pekerja Umum (PU) DKI Jakarta wilayah – wilayah pesisir Jakarta yang sering terkena rob adalah daerah Muara Baru, Muara Angke, Luar Batang, Pluit, Kapuk Muara, Pelabuhan Pelindo, Penjaringan, Marunda, Cilincing dan Kawasan Ancol.



Gambar 1.1 Peta Genangan Banjir Rob Jakarta 2007

Sumber : Dinas Pekerjaan Umum DKI, 2007

Informasi mengenai prediksi rob yaitu waktu, intensitas dan daerah yang berpotensi terendam merupakan hal penting yang dibutuhkan oleh masyarakat, terutama yang tinggal di daerah sekitar pantai, dan pemerintah terkait dalam rangka

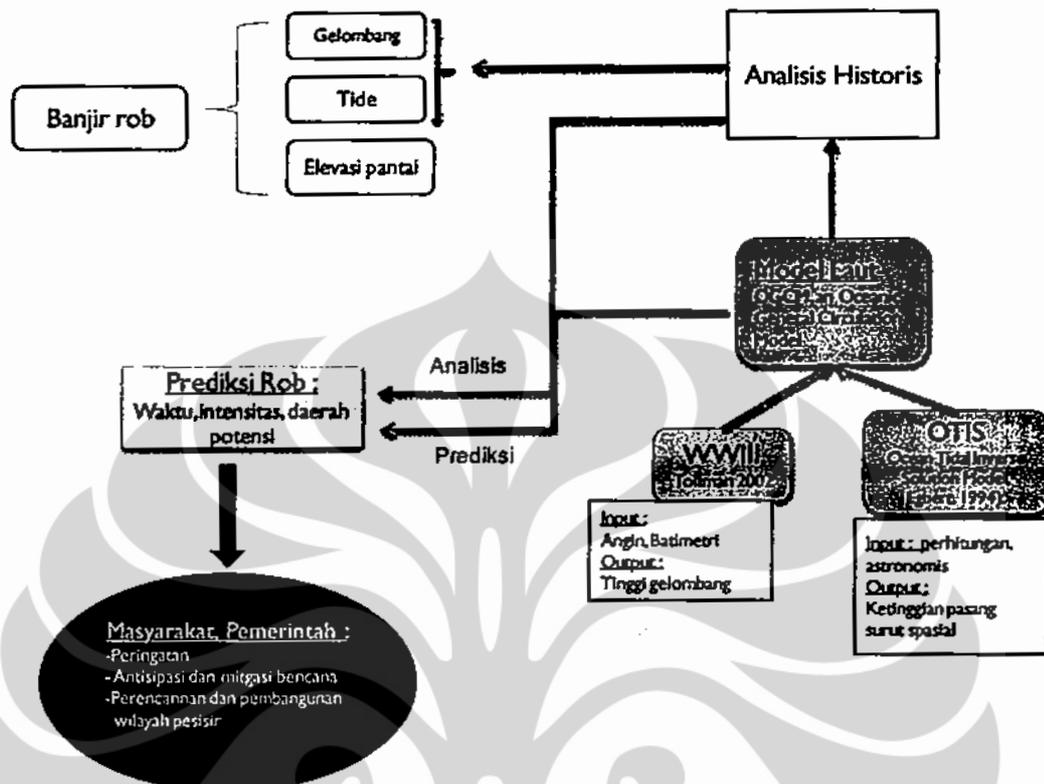
antisipasi dan mitigasi bencana serta perencanaan pengembangan dan pembangunan di wilayah pesisir. Di Indonesia penelitian mengenai rob ini masih jarang dilakukan mungkin karena dampak yang terasa belum signifikan dan hanya terjadi sesaat serta rentang historisnya yang belum panjang.

Untuk dapat membuat prediksi rob, dapat dilakukan dengan analisa historis melalui kejadian-kejadian rob yang pernah terjadi, Analisa yang digunakan dapat berupa model laut secara umum (*OGCM, an Oceanic General Circulation Model*), maupun model gelombang. Dalam penelitian ini, model yang digunakan adalah model gelombang laut dan model pasang surut. Pemilihan model ini dikarenakan gelombang laut dan pasang surut adalah faktor yang dominan penyebab terjadinya rob. Selanjutnya, model gelombang dan pasut yang digunakan, masing-masing adalah *Wavewatch-III* (Tollman, 2002) dan *OTIS* (*Ocean Tidal Inverse Solution Model*) (Egbert, 1994). Sebagai bahan pembanding model digunakan data observasi TML dari *tide gauge* yang dipasang di Tanjung Priok. Dari hasil analisis kedua model tersebut akan didapatkan nilai ketinggian muka air, kemudian dipetakan dengan menggunakan analisis spasial *GIS* (*Geographical Information System*), sehingga didapatkan informasi kawasan yang berpotensi banjir rob. Secara umum gambaran penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.2

1.2 Perumusan Masalah

Keadaan geomorfologi wilayah Jakarta khususnya daerah Jakarta Utara dengan banyaknya daerah berelevasi rendah terhadap *mean sea level* (MSL) maka wilayah ini sangat rentan terhadap bencana banjir rob. Oleh karena itu diperlukan suatu metode untuk menganalisa dari sisi faktor astronomi dan meteorologi, sehingga di dapatkan suatu acuan untuk membuat estimasi dari sisi kedua faktor tersebut dalam rangka keperluan peringatan dini kepada masyarakat sekitar dan mitigasi serta penanggulangan bencana bagi pemerintah. Dari uraian diatas maka dapat dirumuskan permasalahan penelitian, yaitu :

1. Bagaimana pola tinggi muka laut (TML) berdasarkan hasil model di pantai Jakarta?
2. Bagaimana estimasi potensi rob di pantai Jakarta?



Gambar 1.2 Model laut untuk estimasi potensi banjir rob

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan estimasi potensi rob di Jakarta dengan menggunakan hasil analisis model laut global dengan metode model bersarang (*nested model*) pada perairan lokal sehingga di peroleh gambaran daerah-daerah mana saja di Jakarta yang merupakan daerah rawan dan berpotensi rob, periode, dan estimasi ketinggian genangannya.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

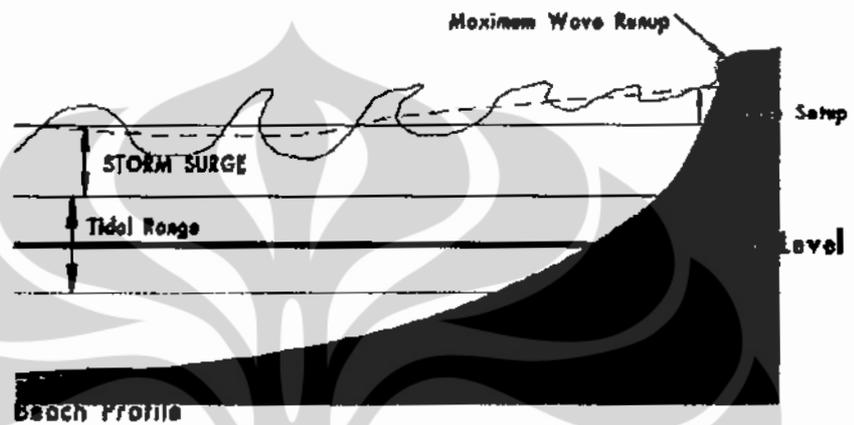
1. Menambah wawasan dalam pengembangan dan pemanfaatan model laut untuk digunakan dalam membuat sistem monitoring dan prediksi banjir rob.
2. Estimasi daerah potensi rob dapat dijadikan acuan untuk antisipasi dalam rangka mitigasi bencana serta sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan dan pengembangan di wilayah pantai khususnya di wilayah pantai Jakarta

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

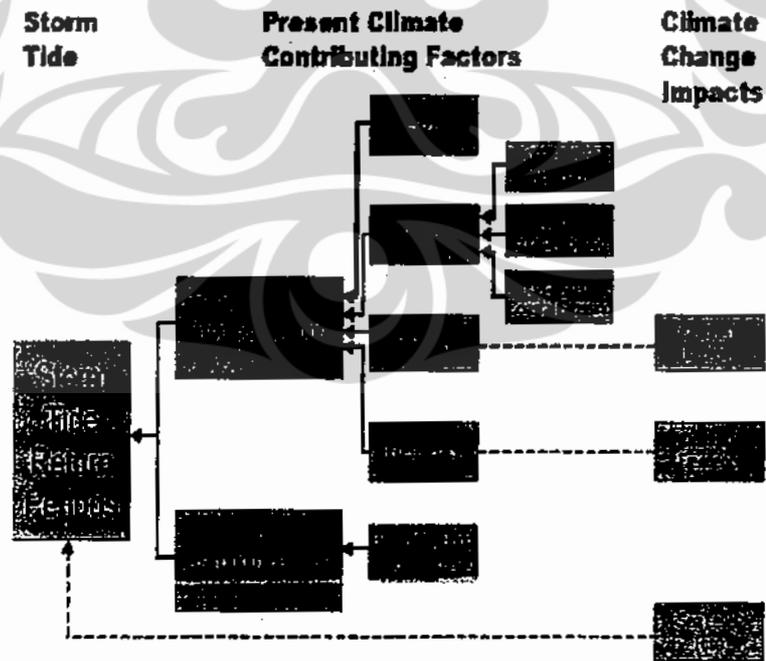
2.1 Mekanisme Rob

Rob atau *coastal inundation* adalah banjir di pesisir yang disebabkan oleh adanya kombinasi ketinggian muka laut yang berasal dari pasang surut (*tide*), *storm surge* yang diikuti oleh gelombang tinggi yang menyebabkan meluapnya air laut sehingga menggenangi daerah-daerah rendah di sekitar pesisir yang berpotensi menimbulkan kerugian jiwa dan materil. (Wolf, 2008).

Penyebab naiknya air laut pada tiap lokasi berbeda beda tergantung kondisi morfologi dan karakteristik wilayah tersebut, yang paling ekstrim adalah yang diakibatkan oleh siklon (*storm*), biasanya terjadi di negara-negara di lintang tengah dan tinggi. Perbedaan tekanan udara (*atmospheric pressure*) yang besar yang terjadi di laut antara satu tempat dengan tempat lainnya menjadi pemicu terjadinya badai dilautan. Pada suatu tempat dengan tekanan udara yang sangat rendah atau biasa disebut *low pressure area* akan terjadi suatu pusaran angin yang sangat kuat, pusaran angin tersebut terjadi akibat dari tertariknya massa udara di daerah sekelilingnya yang mempunyai tekanan udara lebih tinggi atau biasa disebut *high pressure area* ke daerah dengan tekanan rendah (*low pressure*). Angin yang terjadi di daerah low area tersebut mempunyai kecepatan yang sangat tinggi, bisa mencapai lebih dari 60 knot di pusat pusarannya. Fenomena tersebut biasa dikenal dengan badai tropis (*tropical cyclone*). Angin tersebut menimbulkan gelombang yang tinggi, dimana apabila gelombang tersebut mempunyai energi yang sangat kuat akan menciptakan gelombang alun (*swell*) yang apabila sampai ke daerah pesisir akan menimbulkan gelombang yang tinggi, hal ini dikarenakan adanya proses *wave breaking* (*wave setup, wave runup*). Dan apabila alun ini terjadinya bersamaan dengan naiknya air laut akibat adanya pasang (*high tide*) biasanya disebut *storm-tide* yang berakibat naiknya tinggi muka laut di pantai yang dapat berpotensi terjadinya banjir yang menggenangi daerah-daerah rendah di sekitar pesisir.



Gambar 2.1. Proses naiknya air laut di pesisir (McInnes , 2000)



Gambar 2.2 Skematik *storm-tide* (McInnes , 2000)

Gambar 2.1 mendeskripsikan proses naiknya air laut di pesisir yang dipengaruhi oleh adanya *storm dan high tide* yang bersamaan. Sedangkan pada gambar 2.2 menunjukkan skema terjadinya proses *storm tide* dimana dipengaruhi oleh 2 faktor utama yaitu faktor *astronomical tide*, *tropical cyclone* dimana dan *climate change* (McInnes, 2000). Yang harus di perhatikan adalah waktu pasang yang terjadi bersamaan dengan siklon, sedangkan untuk siklon yang harus diamati adalah jejak lintasannya apakah menuju ke pantai atau menjauhi pantai disamping intensitas dan frekuensinya, apabila lintasan mendekati pantai maka akan membahayakan. Untuk pengaruh *climate change* masih di perdebatkan karena prosesnya lebih kompleks, apabila disederhanakan dalam konteks ini pengaruhnya adalah dapat menyebabkan naiknya level muka air dan mempengaruhi intensitas serta frekuensi terjadinya siklon tropis.

Rodriguez (1998) menulis bahwa ketinggian muka laut global merupakan hasil pertambahan dari tiga komponen yaitu : mean sea level, pasang surut (*tide*), *surge* dan gelombang angin (*wind waves*) dan dirumuskan seperti dibawah ini :

$$Z = C + T + W \dots\dots\dots (2.1)$$

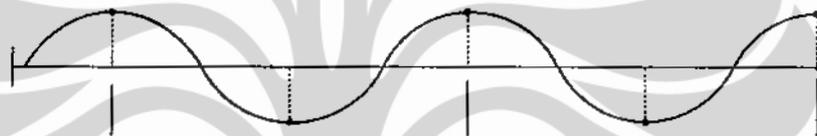
- C = adalah mean sea level
- T= pasang surut
- W= ketinggian gelombang angin

Ketinggian *mean sea level* (C) cenderung statis dan bisa diabaikan atau diasumsikan dengan nilai 0. Jadi faktor yang berpengaruh terhadap kenaikan tinggi muka laut adalah pasang surut dan gelombang angin.

2.2 Pasang Surut

Pasang surut laut (pasut) merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi dan bulan. Pengaruh benda angkasa lainnya dapat diabaikan karena jaraknya lebih jauh atau ukurannya lebih kecil.

Pengaruh kedudukan bulan dan matahari tersebut adalah adanya gejala naik turunnya muka air laut secara teratur. Apabila kita memasang suatu alat ukur tinggi muka air laut di suatu tempat di laut, kemudian kita amati muka air tersebut setiap jam selama satu hari penuh (24 jam), maka akan jelas terlihat bahwa muka air laut berfluktuasi seiring dengan bertambahnya jam. Lalu apabila kita gambarkan grafik pengamatannya akan terlihat bahwa fenomena pasang merupakan suatu fenomena yang periodik (dapat dilihat pada gambar dibawah)



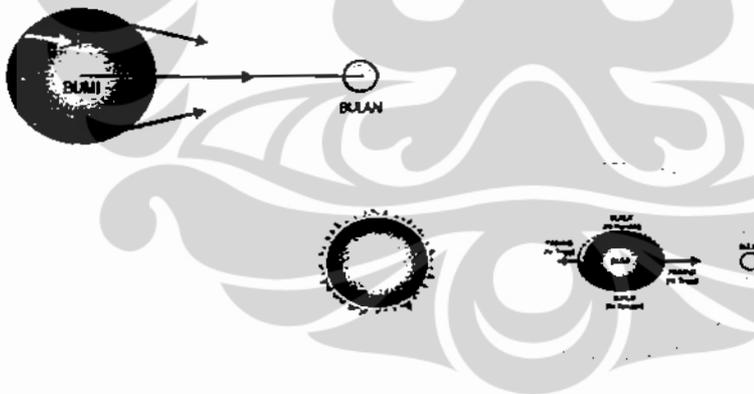
Gambar 2.3 Gerakan periodik pasang surut

Dari gambar diatas terlihat bahwa perbedaan antara tinggi muka air terendah dan tertinggi terjadi selama selang waktu 6 jam. Apabila dalam sehari (24 jam) terjadi dua kali pasang (air tinggi) dan dua kali surut (air rendah), maka kondisi pasutnya disebut dengan pasang tengah harian (semi diurnal). Sedangkan apabila dalam satu hari hanya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut, maka kondisi pasutnya disebut pasang surut harian (diurnal). Akibat dari revolusi bulan terhadap bumi selama 27,3 hari, maka periode kembali ke kondisi pasang (air tinggi) terakhir tidak tepat selama 24 jam , tetapi 24 jam 50 menit. Perbedaan 50 menit ini disebut dengan keterlambatan fasa. Perbedaan kondisi pasut ini disebabkan oleh gaya pembangkit pasut yang berbeda pada setiap tempat di bumi. Gaya pembangkit pasut ini terjadi karena adanya gaya tarik bulan dan gaya sentrifugal. Resultante dari kedua gaya ini akan menghasilkan gaya pembangkit pasut .

2.2.1 Gaya Pembangkit Pasut

Gaya pembangkit pasut di permukaan bumi dihasilkan dari kombinasi dua buah gaya, yaitu gaya gravitasi bumi bulan dan matahari terhadap bumi dan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh revolusi bumi dan bulan. Mekanisme terbentuknya pasut dapat dijelaskan dari teori pasut seimbang (Equilibrium Tide), dimana bumi dianggap seluruhnya ditutupi oleh air laut dan air memberikan respons yang segera terhadap gaya tarik bulan dan matahari.

Akibat revolusi bumi-bulan mengelilingi sumbu bersamanya maka setiap titik pada permukaan bumi dipengaruhi oleh gaya sentrifugal yang arahnya menjauhi sumbu revolusi. Besar gaya sentrifugal ini adalah konstan di setiap titik di permukaan bumi. Bulan melakukan gaya tarik terhadap permukaan bumi yang besarnya berbeda pada setiap titik di permukaan bumi. Gaya tarik bulan ini arahnya menuju bulan. Makin dekat jarak titik di permukaan bumi dengan bulan makin besar gaya tariknya. Resultante gaya tarik bulan dan gaya sentrifugal disebut gaya pembangkit pasut. Gaya pembangkit pasut ini akan menimbulkan air tinggi pada dua lokasi dan air rendah pada dua lokasi



Gambar 2.4 Pengaruh gaya pasut terhadap permukaan bumi

Bila posisi matahari-bumi-bulan berada pada suatu garis (bulan baru dan bulan purnama) maka pasut akibat gaya tarik bulan dan matahari saling memperkuat. Pada kondisi ini tinggi pasutnya maksimum dan disebut pasang purnama (*Spring Tide*). Sedang bila posisi matahari-bumi-bulan berada dalam satu garis tegak lurus

yaitu pada perempat pertama (*First Quarter*) dan perempat terakhir atau ketiga (*Third/Last Quarter*), maka pasut akibat gaya tarik bulan akan dikurangi pasut akibat gaya tarik matahari. Pada kondisi ini tinggi pasutnya minimum dan disebut pasang perbani (*Neap Tide*). Dalam satu bulan terdapat 2 kali pasang purnama dan 2 kali pasang perbani dengan periode 15 hari. Jadi untuk menganalisis pasut suatu lokasi perlu data pasut paling sedikit 15 hari agar didapat kondisi purnama dan perbani.

Adanya kontribusi matahari-bumi akan menghasilkan fenomena pasut yang mirip dengan fenomena yang diakibatkan oleh bumi-bulan. Perbedaannya terletak pada Gaya Pembangkit Pasut (GPP), yang disebabkan oleh matahari hanya separuh kekuatan yang disebabkan oleh bulan. Hal ini disebabkan oleh jarak bumi-bulan yang jauh lebih dekat dibanding dengan jarak matahari-bumi, walaupun massa matahari lebih besar daripada massa bulan. Oleh karena posisi bulan dan matahari terhadap bumi berubah-ubah, maka resultan gaya pasut yang dihasilkan dari gaya tarik kedua benda angkasa tersebut tidak sesederhana yang diperkirakan. Tetapi karena rotasi bumi, revolusi bumi terhadap matahari dan revolusi bulan terhadap bumi sangat teratur, maka resultan GPP yang rumit tadi dapat diuraikan sebagai hasil gabungan sejumlah komponen harmonik pasut. Komponen harmonik ini dapat dibagi menjadi tiga komponen, yaitu tengah harian, harian dan periode panjang.

2.2.2. Pengukuran dan Analisis Pasang Surut

Pengukuran pasang surut laut dimaksudkan untuk meneliti karakteristik pasang surut di daerah survei mendapatkan konstanta harmonik dari berbagai komponen harmonik pasang surut di daerah survei, yang dapat digunakan untuk meramalkan pasut, menetapkan Ketinggian Datum Peta untuk pemetaan batimetri menetapkan ketinggian Muka Laut Rata-rata (*Mean Sea Leve*), dan muka Air Rendah Purnama (*Lowest Water Sping*) dan lain-lain.

Ketinggian pasang surut laut diukur dengan peranti Pengukur Muka Air Otomatis (*Automatic Water Level Recorder – AWLR*), yang ditempatkan di atas dermaga atau bangunan pantai lain yang ada atau dalam bagan yang khusus dibangun

untuk itu. Ketinggian pasang surut di ukur secara kontinu, selama 15 atau 29 hari. Di samping AWLR ditempatkan palem pasang surut untuk mendapatkan angka ketinggian pasut dari ketinggian nol palem, yang selanjutnya dikonversikan terhadap ketinggian benchmark. Tinggi muka laut rata-rata, tinggi Datum Peta serta tinggi nol palem diukur terhadap benchmark .

Data pasut yang terekam dalam AWLR kemudian didigitisasi, untuk kemudian dilakukan analisis harmonik dengan menggunakan Metode Admiralty 30 piantan. Untuk memeriksa kualitas data serta ketelitian hasil analisis harmoniknya, disusun ramalan pasut untuk periode yang sama dengan waktu pengambilan data, untuk kemudian dibandingkan dengan data pasutnya.

Untuk mempelajari karakteristik pasang surut di suatu perairan dilakukan analisis pasang surut guna menghitung konstanta harmonik pasang surut dari hasil pengukuran di lokasi yang akan dianalisis. Konstanta harmonik pasang surut adalah dua parameter yang dianggap konstan, yakni amplitudo beberapa komponen pasut, serta keterlambatan fasa pasang sebenarnya dari pasang surut setimbang (*equilibrium tide*)-nya. Konstanta harmonik ini nantinya akan dapat digunakan untuk dapat meramalkan kondisi pasang di perairan tersebut, untuk setiap kurun waktu yang dikehendaki. Ramalan pasang sangat bermanfaat dalam menetapkan kriteria desain bangunan pantai, untuk keperluan navigasi serta keperluan lainnya. Pasang surut laut dihasilkan oleh gaya tarik bulan, matahari dan benda langit lainnya, yang disebut sebagai faktor astronomis. Sepanjang penjarannya, gelombang pasang surut dipengaruhi oleh topografi dasar laut, morfologi pantai serta kondisi meteorologi. Komponen pasang surut yang dihasilkan oleh faktor-faktor astronomis merupakan gelombang harmonik (periodik), sedang pengaruh meteorologis tidaklah periodik, bahkan seringkali hanya menghasilkan efek sesaat saja.

Analisis pasang surut dilakukan untuk memperoleh elevasi muka air penting yang menentukan dalam perencanaan. Analisa pasang surut dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

- Menguraikan komponen-komponen pasang surut.
- Meramalkan fluktuasi muka air akibat pasang surut.
- Menghitung elevasi muka air penting.

Menguraikan komponen-komponen pasang surut adalah menguraikan fluktuasi muka air akibat pasang surut menjadi komponen-komponen harmonik penyusunnya. Besaran yang diperoleh adalah amplitudo dan fasa setiap komponen. Metoda yang biasa digunakan untuk menguraikan komponen-komponen pasang surut adalah metoda *Admiralty* dan *Least Square*.

2.3. Gelombang Laut

Gelombang/ombak yang terjadi di lautan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam tergantung kepada gaya pembangkitnya. Pembangkit gelombang laut dapat disebabkan oleh: angin (gelombang angin), gaya tarik menarik bumi-bulan-matahari (gelombang pasang-surut), gempa (vulkanik atau tektonik) di dasar laut (gelombang tsunami), ataupun gelombang yang disebabkan oleh gerakan kapal.

Definisi gelombang laut secara umum adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Gelombang laut disebabkan oleh angin. Angin di atas lautan mentransfer energinya ke perairan, menyebabkan riak-riak, alun/bukit, dan berubah menjadi apa yang kita sebut sebagai gelombang. Ketinggian dan periode gelombang tergantung kepada panjang fetch pembangkitannya. *Fetch* adalah jarak perjalanan tempuh gelombang dari awal pembangkitannya. *Fetch* ini dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Semakin panjang jarak *fetch* nya, ketinggian gelombangnya akan semakin besar. Angin juga mempunyai pengaruh yang penting pada ketinggian gelombang. Angin yang lebih kuat akan menghasilkan gelombang yang lebih besar.

Gelombang yang menjalar dari laut dalam (deep water) menuju ke pantai akan mengalami perubahan bentuk karena adanya perubahan kedalaman laut. Apabila gelombang bergerak mendekati pantai, pergerakan gelombang di bagian bawah yang berbatasan dengan dasar laut akan melambat. Ini adalah akibat dari friksi/gesekan antara air dan dasar pantai. Sementara itu, bagian atas gelombang di permukaan air

akan terus melaju. Semakin menuju ke pantai, puncak gelombang akan semakin tajam dan lembahnya akan semakin datar. Fenomena ini yang menyebabkan gelombang tersebut kemudian pecah.

Ada dua tipe gelombang, bila dipandang dari sisi sifat-sifatnya. Yaitu: gelombang pembangun/pembentuk pantai (*Constructive wave*) dan gelombang merusak pantai (*Destructive wave*). Yang termasuk gelombang pembentuk pantai, bercirikan mempunyai ketinggian kecil dan kecepatan rambatnya rendah. Sehingga saat gelombang tersebut pecah di pantai akan mengangkut sedimen (material pantai). Material pantai akan tertinggal di pantai (deposit) ketika aliran balik dari gelombang pecah meresap ke dalam pasir atau pelan-pelan mengalir kembali ke laut. Sedangkan gelombang merusak pantai biasanya mempunyai ketinggian dan kecepatan rambat yang besar (sangat tinggi). Air yang kembali berputar mempunyai lebih sedikit waktu untuk meresap ke dalam pasir. Ketika gelombang datang kembali menghantam pantai akan ada banyak volume air yang terkumpul dan mengangkut material pantai menuju ke tengah laut atau ke tempat lain.

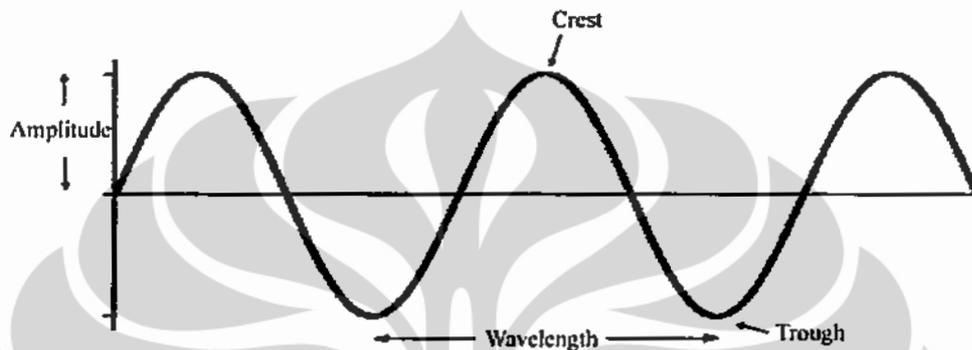
2.3.1. Gelombang Laut sebagai Gelombang Sinusoidal

Gelombang permukaan laut merupakan gelombang yang sangat kompleks dan tidak dapat hanya diwakili oleh sebuah gelombang sinusoidal sederhana. Penggambaran dengan menggunakan gelombang sinusoidal ini hanya digunakan sebagai konsep puncak perambatan gelombang tanpa adanya pengaruh angin serta diketahui sebagai sifat-sifat dasar gelombang laut. Bagaimanapun dalam kenyataannya gelombang seperti itu tidak akan ada walaupun gelombang besar tsunami datang pada daerah laut yang tenang .

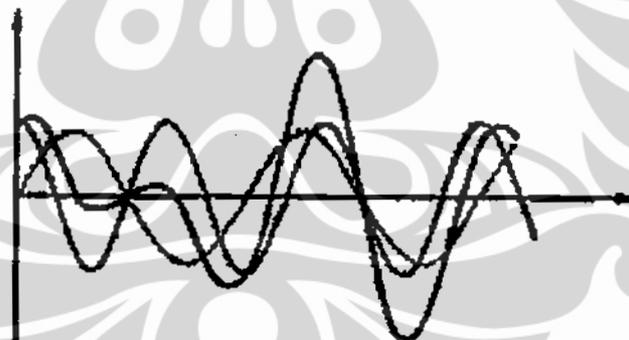
2.3.2 Gelombang Laut sebagai Gelombang Superposisi

Superposisi gelombang adalah penjumlahan dua gelombang atau lebih dapat melintasi ruang yang sama tanpa ada ketergantungan satu gelombang dengan yang lain. Elastisitas medium akan mempengaruhi bentuk gelombang yang dihasilkan. Di alam, gelombang laut selalu nampak tidak teratur. Hal ini karena gelombang laut

terbentuk dari beberapa gelombang sinusoidal. Gelombang ini menggambarkan gabungan gelombang yang merupakan jumlah amplitude dan periode.



Gambar.2.5. Bentuk Gelombang Sinusoidal



Gambar 2.6 Bentuk Gelombang Superposisi

2.3.3 Pertumbuhan Gelombang

Dalam usaha menjelaskan proses tumbuhnya gelombang di laut, banyak teori dikemukakan para ahli, tetapi hanya ada dua teori yang saling melengkapi dan dapat menjelaskan pertumbuhan gelombang di lautan.

Teori yang pertama menyatakan, oleh karena angin atmosfer bawah selalu turbulen maka ketika angin bertiup diatas permukaan laut yang tenang menyebabkan

fluktuasi tekanan atmosfer pada permukaan laut, menimbulkan riak-riak atau gelombang-gelombang kecil. Gelombang-gelombang kecil ini kemudian akan dapat tumbuh menjadi gelombang besar bila mengalami resonansi dengan turbulensi dalam angin. Teori ini dikemukakan oleh Philips (1957) dan kemudian dikenal dengan teori Phillips. Sayangnya, teori resonansi hanya bisa menjelaskan pertumbuhan linier gelombang pada awal pertumbuhannya, tetapi gagal menjelaskan pertumbuhan eksponensial gelombang.

Teori yang kedua disampaikan oleh Miles (1959) dan kemudian dikenal dengan teori ketidakstabilan atau mekanisme arus balik (*feed-back Mechanisme*). Ketika gelombang tumbuh menjadi semakin besar, gelombang ini mulai mengganggu angin yang bertiup di atasnya, tekanan angin pada gelombang menjadi semakin besar sebanding ukuran gelombang. Sebaliknya, gangguan gelombang menyebabkan turbulensi dalam angin juga semakin besar dan hal ini akan mengakibatkan fluktuasi tekanan turbulensi juga semakin besar, seiring dengan membesarnya tekanan angin akibat gangguan gelombang. Kombinasi proses resonansi dan tekanan angin memperbesar suplai energi ke dalam gelombang sehingga gelombang tumbuh secara eksponensial ciri dari suatu ketidakstabilan.

2.3.4. Disipasi Energi

Proses-proses yang dapat mengurangi energi gelombang diantaranya gesekan dasar laut (pada gelombang laut dangkal), viskositas gelombang dan efek angin. Viskositas molekuler sangat berpengaruh pada gelombang kapiler (gelombang yang dikendalikan oleh gaya pengendali tegangan permukaan) dan gelombang grafitasi pendek bila permukaan laut tertutup cairan lain seperti minyak. Tetapi pengaruhnya viskositas molekuler pada gelombang grafitasi yang lebih panjang pengaruh sangat kecil dan diabaikan. Demikian juga efek viskositas turbulen, meskipun viskositas turbulen jauh lebih besar daripada viskositas molekuler tetapi sama tidak efektifnya dalam mengurangi energi dari gerakan gelombang.

Pengurangan energi gelombang yang terbesar terjadi jika gelombang dan angin saling berlawanan arah. Efek angin yang berlawanan arah hampir sebanding dengan efek angin pada pertumbuhan gelombang.

2.3.5. Interaksi Gelombang

Penjelasan tentang proses tumbuhnya gelombang menunjukkan bahwa gelombang-gelombang pendek tumbuh dengan sangat cepat, jauh lebih cepat daripada gelombang-gelombang yang lebih panjang. Ini berarti bahwa gelombang pendek mendapat suplai energi yang lebih besar dari angin daripada gelombang panjang. Proses pemindahan energi berlangsung dari komponen gelombang frekuensi yang lebih tinggi ke komponen-komponen gelombang lain yang frekuensinya hampir sama tetapi lebih rendah. Oleh karena proses pemindahan energi ini merupakan proses internal antar gelombang, maka tidak mempengaruhi energi total gelombang secara keseluruhan tetapi hanya merubah bentuk spektrumnya.

2.4. Model Gelombang Wavewatch III

Wavewatch III (WWIII) adalah model gelombang generasi tiga yang di kembangkan di *NOAA/NCEP*. Model ini digunakan untuk operasional dalam membuat prediksi gelombang di National Weather Service, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), Amerika Serikat. Model ini merupakan model *open source* yang artinya bisa di pakai siapa saja tanpa *license* dengan catatan tidak digunakan untuk keperluan komersial. Keluaran utama dari WWIII adalah analisis dan prediksi gelombang berupa arah, tinggi, periode dan frekuensinya, dengan input yang digunakan adalah model angin permukaan 10 meter dan batimetri.

WWIII ditulis dengan menggunakan bahasa pemrograman Fortran 90, program intinya terdiri dari dua *sub routine* yaitu berupa sub routine untuk inisialisasi (*model initialization*) dan adalah perhitungan numerik model gelombang (*w3wave*). Kedua sub routine ini bisa dipanggil secara terpisah dengan menggunakan program *shell script*. Selain program inti tadi terdapat juga beberapa program tambahan yaitu *grid*

preprocessors untuk membuat initial grid serta beberapa program *generic shell* untuk memproses input dan output model.

2.4.1 Model Sub Routine

Seperti yang telah disebutkan diatas model gelombang WWIII mempunyai dua *sub routine* utama yaitu *model initialization* dan *w3wave*. *Model initialization* adalah sub routine yang isinya berupa setting I/O system yaitu mendefinisikan *unit number*, memproses definisi model(*mod_def.ww3*) dan menentukan harga awal model (*initial conditions*) (*restart.ww3*), mempersiapkan keluaran model dan menghitung grid parameter-parameter model. Sedangkan *w3wave* adalah sub routine yang menangani perhitungan model numerik gelombang, routine ini bisa di jalankan setelah harga awal didapatkan.

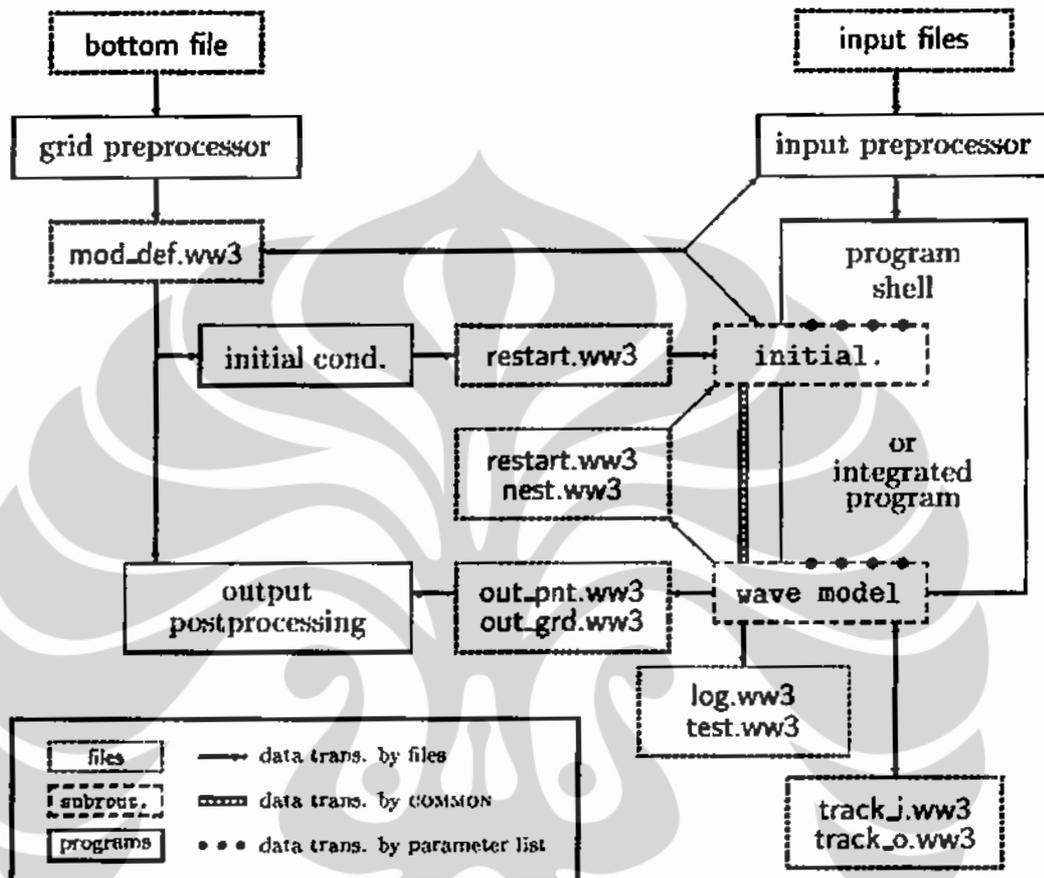
2.4.2. Model Program

Tabel 2.1 adalah program-program model WWIII sedangkan Gambar 2.7 menggambarkan design model dan aliran datanya. Proses perhitungan model dimulai oleh 2 program yaitu *input processor* dan *grid processor*. *Grid Preprocessor* adalah program untuk membuat definisi model dan membuat domain grid model (*mod_def.ww3*), sedangkan *Input Processor* untuk menyiapkan masukan model yaitu angin dan batimetri, program ini juga memerlukan masukan file definisi model (*mod_def.ww3*) yang dihasilkan oleh *Grid Processor* . Hasil dari kedua program tersebut kemudian dibaca oleh dua sub routine utama melalui program *generic shell*. *Generic shell* adalah program yang berbasis shell script untuk memanggil dua sub routine utama yaitu *initial condition* dan *w3wave*. Keluaran dari sub routine utama WWIII adalah file *restart.ww3*, *nest.ww3*, *out_pnt.ww3* dan *out_grd.ww3* . File-file ini merupakan file-file keluaran dari model. Secara lengkap nya model WWIII ini bisa menghasilkan 18 parameter, tetapi hal itu tergantung dari masukan (*forcing*) yang diberikan. Untuk melihat jalannya model ketika sedang di berjalan bisa melihat file *log.ww3* yaitu sebuah file *log* yang berisi informasi kondisi model yang sedang di

jalankan, jadi kita bisa melihat model yang sedang dijalankan berjalan dengan baik atau tidak (Gambar 2.8).

No	Nama Program	Source Code	Masukan	Keluaran	Fungsi
1	<i>Grid Preprocessor</i>				
	ww3_grid	ww3_grid.ftn	ww3_grid.inp	mod_def.ww3	menentukan definisi model : penentuan nilai parameter fisika beserta pendekatan numerik
				mask.ww3	Membuat <i>land-sea mask</i>
2	<i>Initial Condition Program</i>				
	ww3_strt	ww3_strt.ftn	ww3_strt.inp	restart.ww3	-menentukan harga awal model
			mod_def.ww3		-mempersiapkan keluaran model
					-mengitung grid parameter model
3	<i>Input Preprocessor</i>				
	ww3_prep	ww3_prep.ftn	ww3_prep.inp	wind.ww3	-menentukan masukan paramater
			mod_def.ww3		angin
4	<i>Generic shell</i>	ww3_shel.ftn	ww3_shel.inp	log.ww3	- Menjalankan sub routine utama
	ww3_shel		mode_def.ww3	test.ww3	- Menghasilkan keluaran model
			restart.ww3	restartn.ww3	- Menghasilkan file-file restart
			nest.ww3		- Menghasilkan keluaran file untuk
			wind.ww3		nesting
			track_i.ww3		- Mengasihkan <i>track</i> keluaran hasil model
5	<i>Gridded output post-processor</i>	ww3_outf.ftn	ww3_outf.inp	standart.out	- Membuat grid untuk keluaran
	ww3_outf		mod_def.ww3		model
			out_grd.ww3		
6	<i>Gridded outpur post-processor</i>	gx_outf.ftn	gx_outf.inp	ww3_grads	- Menghasilkani keluaran model
	<i>for Grads</i>		mod_def.ww3	ww3.ctl	untuk Grads, baik untuk data grid
	gx_outf		out_grd.ww3		maupun data point.

Tabel 2.1 Program dan Subroutine WVIII



Gambar 2.7 Program utama dan aliran data WWIII (Tolman, 2002)

Initial time : 2005/01/01 07:00:00 UTC

step	pass	date	time	input		output					
				b	w	g	p	t	r	b	f
0	1	2005/01/01	07:00:00	F	F	X	X				
1	1		07:15:00	X							
24	1		13:00:00			X	X	X			
25	1		13:15:00	X							
48	1		19:00:00	X	X	X	X	X			
49	2		19:15:00	X							
72	2	2005/01/02	01:00:00			X	X	X			
73	2		01:15:00	X							
96	2		07:00:00	X		X	X	X			
97	3		07:15:00	X							
120	3		13:00:00			X	X	X			
121	3		13:15:00	X							
144	3		19:00:00	X		X	L	L			

Gambar 2.8 contoh file log.ww3

Pada tiga kolom pertama (Gambar 2.8) menunjukkan langkah perhitungan (*step*) beserta tanggal dan waktu data, sedangkan pada kolom input dan output terdapat tanda (F) dan (X), dan tanda (L). (F) menunjukkan pembacaan pada baris data pertama dan (L) menunjukkan data terakhir dari keluaran model, sedangkan (X) menunjukkan bahwa input maupun output telah sukses di proses. Pada kolom input terdapat simbol *b, w, l, c, i, d.*, dimana

b = *input boundary* (nilai batas domain model)

w = *wind* (angin)

l = *water levels* (tinggi muka air)

c = *current* (arus)

i = *ice* (nilai konsentrasi es)

d = *assimilation* (data asimilasi)

Sedangkan pada kolom output terdapat simbol *g, p, t, r, b, f* yang menunjukkan

g = *gridded output* (keluaran data grid model)

p = *point output* (keluaran model berupa titik)

t = *track output*

r = *restart file*

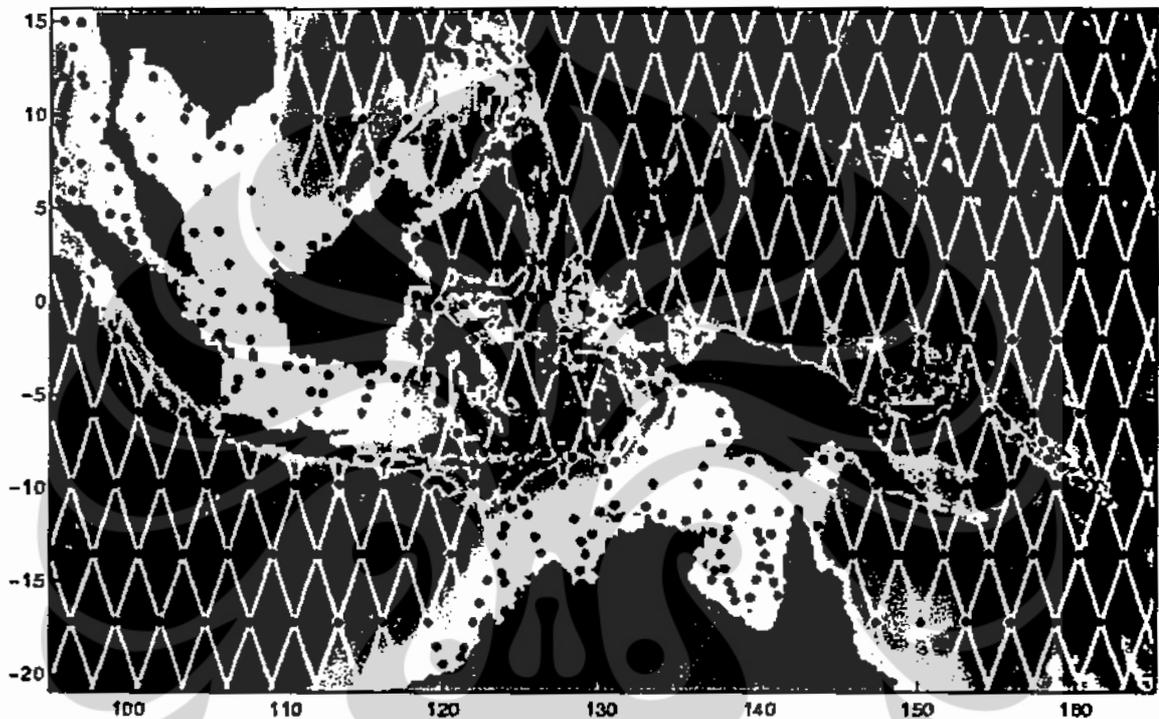
b = *boundary output* (keluaran nilai batas domain (untuk proses *nesting*))

2.5. Model Pasang Surut OTIS

OTIS (Oregon State University *Tidal Inversioan Software*) adalah model model pasang surut barotropic 2 dimensi untuk meramalkan pasang surut (pasut) pada lokasi dan waktu yang diberikan. Model ini dibuat oleh Oregon State University (OSU), Amerika Serikat. Model OTIS ini dapat di ekstrak dengan menggunakan perangkat lunak yang dinamakan OTPS (*OSU Tidal Prediction Software*). Model OTIS mempunyai skala global maupun regional termasuk untuk wilayah perairan Indonesia.

Solusi OTIS untuk wilayah Indonesia tersedia dengan resolusi $1/6^\circ$, dengan jumlah grid 420×200 grid dan batas daerah model $21^\circ \text{LS} - 15,67^\circ \text{LU}$, $95^\circ \text{BT} - 165^\circ \text{BT}$. Batimetri yang digunakan dalam model ini adalah Gtopo30 (Smith

dan Sandwell, 1997). Model ini mengasimilasikan 5880 data altimetri dari TOPEX/Poseidon (sperti yang terdapat pada Gambar 2.2). Konstanta harmonik yang dapat diekstrak ada 8, yaitu: M_2 , S_2 , K_1 , O_1 , N_2 , P_1 , K_2 , dan Q_1



Gambar 2.9 Posisi data altimetri TOPEX/Poseidon yang digunakan dalam model OTIS untuk wilayah perairan Indonesia

2.5.1. Format Data OTIS

Format dari keluaran model OTIS adalah biner big endian, record dalam byte pada sistem operasi UNIX. Terdapat satu header pada data ini yang memuat informasi mengenai ukuran grid (n sel dalam bujur dan m sel dalam lintang), jumlah konstanta harmonik pasut (nc), batas daerah model ($\theta_{lim}(2)$, $\phi_{lim}(2)$), dan nama konstanta harmonik pasut ($c_{id}(nc)$). Header ini kemudian diikuti dengan record sebanyak nc yang masing-masing berisi field elevasi (dalam satuan meter) atau transpor (dalam satuan m^2/det) untuk satu konstanta pasut

Semua data diberikan dalam bentuk bilangan kompleks, sehingga komponen pasut dengan frekuensi diberikan oleh:

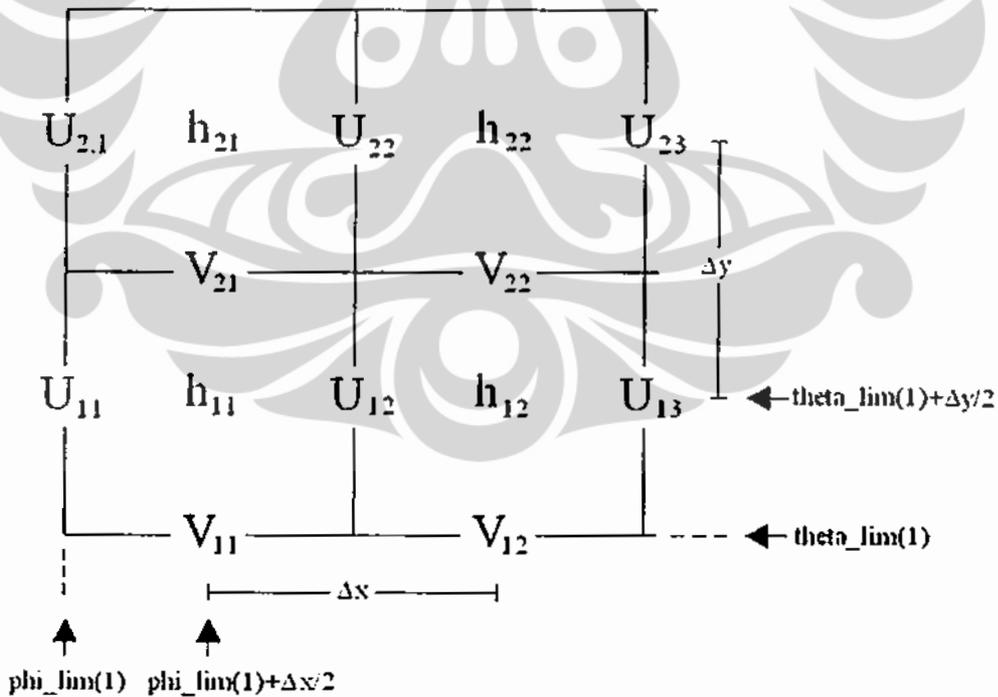
$$h(t, x) = \text{Re} \left[h(x) e^{i(\omega(t-t_0) + V_0(t_0))} \right] \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana $V_0(t_0)$ adalah argumen astronomis untuk komponen pasut pada t_0 . Dari format bilangan kompleks ini, amplitudo (A) dan fasa (ϕ) dari suatu komponen pasut dapat dihitung dengan:

$$A = |h|, \text{ dan } \phi = \tan^{-1} (\text{Im}(h)/\text{Re}(h)) \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

2.5.2. Konvensi Grid dalam OTIS

Terdapat n grid dalam arah bujur dan m dalam arah lintang. Elevasi dan transpor diberikan dalam grid Arakawa-C, dimana U, V, dan h dalam grid tidak terletak pada posisi yang sama, seperti yang dapat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.10 Konvensi grid dalam OTIS

Lintang (lat) dan bujur (lon, dalam derajat) untuk simpul grid individual adalah:

$$\text{Untuk simpul-h: } \text{lat}(i,j) = \text{theta_lim}(1) + (j-.5)*\Delta y \dots (2.4)$$

$$\text{lon}(i,j) = \text{phi_lim}(1) + (i-.5)*\Delta x \dots (2.5)$$

$$\text{Untuk simpul-U: } \text{lat}(i,j) = \text{theta_lim}(1) + (j-.5)*\Delta y \dots (2.6)$$

$$\text{lon}(i,j) = \text{phi_lim}(1) + (i-1)*\Delta x \dots (2.7)$$

$$\text{Untuk simpul-V: } \text{lat}(i,j) = \text{theta_lim}(1) + (j-1)*\Delta y \dots (2.8)$$

$$\text{lon}(i,j) = \text{phi_lim}(1) + (i-.5)*\Delta x \dots (2.9)$$

Dimana Δx dan Δy masing-masing adalah spasi ruang dalam arah bujur dan lintang.

2.5.3 Program OTIS

Ada dua program utama (source code dalam bahasa FORTRAN), yaitu `extract_HC.f` dan `predict_tide.f`, yang masing-masing berfungsi untuk mengekstrak konstanta harmonik dan meramalkan pasut. Kedua program ini memerlukan file `subs.f` yang berisi subroutine-subroutine yang dipanggil oleh kedua program tersebut dan file `constit.h` yang berisi parameter standar pasut seperti amplitudo dan frekuensi konstanta pasut utama. Selain itu, kedua program tersebut juga memerlukan file masukan bernama `setup.inp`, `Model_*`, dan `lat_lon_time`. Isi `setup.inp` :

```

DATA/Model_ind      ! 1. tidal model control file
lat_lon_time        ! 2. latitude/longitude/time file
z                   ! 3. z/U/V/u/v
m2,s2,n2,k2,k1,o1,p1,q1 ! 4. tidal constituents to include
AP                  ! 5. AP/RI
oce                 ! 6. oce/geo
                    ! 7. 1/0 correct for minor
l                   constituents
tmp                 ! 8. output file (ASCII)

```

Keterangan pada setiap baris :

1. File kontrol model pasut (minimum 3 baris, dalam format ASCII, dan berisi informasi tentang nama file elevasi, transpor, dan grid batimetri). Jika kita telah mengunduh solusi dari model OTIS untuk wilayah Indonesia, dalam file yang kita unduh tersebut akan terdapat file kontrol bernama Model_ind dengan isi sbb:

```
DATA/h_ind  
DATA/UV_ind  
DATA/grid_ind
```

Yang berisi informasi nama file serta direktori tempat file itu berada, dimana h_ind adalah nama file elevasi, UV_ind adalah nama file transpor, dan grid_ind adalah nama file grid batimetri, yang berfungsi untuk mengubah posisi x,y ke lon,lat. Sedangkan DATA merujuk ke nama sub direktori tempat file-file tersebut berada. Baris pertama ini dapat dibiarkan kosong jika kita tidak yakin data dari model mana yang akan digunakan. Dalam kasus ini, seluruh model dari model.list akan dicek. File model.list ini harus berisi seluruh file DATA/Model_* yang kita miliki. Untuk membuat file model.list ini, jalankan perintah (dalam sistem operasi linux atau UNIX) sbb:

```
ls DATA/Model_*>model.list
```

2. Nama file (dalam format ASCII) yang berisi informasi tentang posisi lintang (lat, dalam derajat), bujur (lon, dalam derajat), dan waktu (dalam [yyyy mm dd hh mm ss]).Semuanya ada 8 kolom. Untuk posisi lintang dan bujur berlaku konvensi sbb:

lat > 0 : lintang utara, lon > 0 : bujur timur

lat < 0 : lintang selatan, lon < 0 : bujur barat

[yyyy mm dd hh mm ss] : tahun bulan hari jam menit detik (UTC)

Kolom waktu ini hanya diperlukan untuk peramalan dan dapat dibiarkan kosong jika kita hanya ingin mengekstrak konstanta harmonik pasut saja.

Berikut adalah contoh isi dari file `lat_lon_time` :

9.795800	103.471901	2002	3	18	4	29	18
9.795800	103.471901	2002	3	28	2	28	22
9.795800	103.471901	2002	4	7	0	26	43
9.795800	103.471901	2002	5	6	18	21	48
9.795800	103.471901	2002	5	16	16	20	52
9.795800	103.471901	2002	5	26	14	19	13
9.795800	103.471901	2002	6	5	12	17	35

3. Mengekstrak konstanta harmonik pasut/meramalkan pasut untuk `z/U/V/u/v` (elevasi (m)/transpor (m^2/det) barat-timur/transpor (m^2/det) utara-selatan/kecepatan (cm/det) barattimur/kecepatan (cm/det) utara-selatan). Jadi jika kita ingin mengekstrak elevasi, maka baris ini kita isi dengan `z`.
4. Nama konstanta harmonik pasut yang akan diekstrak atau ikut (include) dalam perhitungan peramalan pasut.
5. AP/RI - keluaran dalam amplitudo dan fasa (GMT) atau bilangan kompleks (real dan imajiner). Baris ini hanya berfungsi untuk mengekstrak konstanta harmonik pasut dan dapat dibiarkan kosong jika kita ingin meramalkan pasut
6. oce/geo - mengekstrak konstanta harmonik pasut laut/geosentris, hanya untuk elevasi. Pasut geosentris ini cocok untuk membandingkan atau mengoreksi data altimetri. Baris ke-6 ini hanya diperlukan untuk meramalkan pasut dan dapat dibiarkan kosong jika isian di baris ke-3 bukan `z`.
7. Baris ke-7 ini hanya diperlukan untuk peramalan. Angka 1 berarti dilakukan koreksi terhadap konstanta minor yang tercantum dalam file `weights.h`, dan angka 0 berarti tidak dilakukan koreksi. Hanya berfungsi untuk 8 konstanta pasut, yaitu: M_2 , S_2 , K_1 , O_1 , N_2 , P_1 , K_2 , dan Q_1 .
8. Baris ke-8 berisi nama file untuk keluaran. Pada contoh di atas, nama file keluaran adalah `tmp`.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam menentukan estimasi potensi banjir rob di Jakarta terdapat 2 parameter utama yang harus di analisis yaitu kondisi pasang surut dan ketinggian gelombang, selain itu dilihat juga intensitas curah hujan, karena banjir rob akan menjadi lebih ekstrim apabila ke tiga parameter tersebut terjadi pada saat bersamaan. Sample data yang digunakan adalah data model OTIS dan Model Wavewatch tahun 2004 sampai dengan 2008 pada lokasi $106^{\circ} 52'$ BT (Bujur Timur), $6^{\circ} 06'$ LS (Lintang Selatan).

Lokasi ini di ambil karena disesuaikan dengan lokasi alat *tide gauge* yang dipasang di daerah Tanjung Priok, Data pada stasiun tersebut digunakan untuk memvalidasi data tinggi muka laut hasil pemodelan.

3.1 Data dan Peralatan

Data dan alat yang diperlukan adalah sebagai berikut :

1. Data angin pada ketinggian 10 m yang bersumber dari National Center for Environmental Prediction (NCEP), data ini digunakan sebagai data masukan model Wavewatch III (WWIII). Periode data : Januari 2004 sampai dengan Desember 2008.
2. Data batimetri perairan Jakarta yang diperoleh dari Etopo2 dengan resolusi 2 menit (3,6 km) sebagai data masukan model WWIII. Etopo2 adalah data kedalaman laut digital yang bersumber dari National Geophysical Data Center(NGDC), NOAA.
3. Data hasil pengamatan tinggi muka laut dari *tide gauge* yang dipasang di Pelabuhan Tanjung Priok, data ini bersumber dari Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Priok, BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisik).
Periode data : Januari 2004 – Desember 2008
4. Data pendukung lain yang digunakan adalah :
 - Data pengamatan angin di Jakarta periode 2004 - 2008
 - Data pengamatan curah hujan di Jakarta periode 2004 - 2008

5. Data elevasi Jakarta untuk membuat analisis spasial dalam memetakan estimasi rob (sumber data Dinas Pemetaan dan Pengukuran Tanah, DKI Jakarta)
6. Peta tematik rawan banjir untuk wilayah DKI Jakarta sebagai alat bantu untuk memetakan kawasan berpotensi rob khususnya di wilayah pesisir Jakarta yang bersumber dari hasil penelitian BMKG, Dinas PU DKI dan Bakosurtanal
7. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah :
 - a. Perangkat keras, berupa :
 - i. Komputer Server dengan spesifikasi : Linux Operation System (Centos 5.2), processor Intel Xeon (quad core), memory 16 GB, HDD 250 GB. Di gunakan untuk menjalankan model WWIII dan esktraksi model pasut OTIS.
 - ii. Komputer PC (*Personal Computer*) dengan spesifikasi : Windows XP Operation System, processor Intel Core(2) Duo, memory 2 GB, HDD 160 GB. Digunakan untuk pengolahan data serta analisis spasial GIS.
 - iii. GPS untuk mengukur lokasi *tide gauge* di Tanjung Priok
 - b. Perangkat lunak :
 - i. Software model Wavewatch III (WWIII)
 - ii. Software model OTIS.
 - iii. Grads versi 1.9b untuk menggambarkan hasil model WWIII dan OTIS.
 - iv. Xconv 1.91 untuk ekstrasi dan pengolahan data angin 10 m dari NCEP.
 - v. Matlab for Linux untuk melakukan *generate* data batimetri yang disesuaikan dengan domain model yang akan di jalankan.
 - vi. Arcview 3.2 sebagai software untuk melakukan pengolahan dan analisis spasial GIS dalam rangka pembuatan peta estimasi rob.

3.2 Pengolahan dan Analisis Data

3.2.1 Menjalankan Model Gelombang Wavewatch III (WWIII).

Model WWIII dijalankan dengan menggunakan masukan data grid angin 10m dan data batimetri. Sebelum menjalankan model ada beberapa tahapan yang dilakukan:

1. Persiapan sebelum menjalankan model :

a. Melakukan esktraksi data angin 10m grib menjadi data yang dapat dibaca oleh model WWIII, esktraksi ini menggunakan bantuan software Xconv. versi 1.9. Data angin grib berupa data FNL (Final Analysis) dengan resolusi 1.0°

b. Pembuatan domain, tujuannya adalah untuk menentukan domain model yang akan dijalankan yang terdiri atas :

- ***Perairan Jakarta dan sekitarnya*** (lokal), dengan domain sebagai berikut

104⁰ Bujur Timur (BT) s.d 110⁰ Bujur Timur (BT)

0⁰ Lintang Utara (LU) s.d 8⁰ Lintang Selatan (LS)

Resoulsi grid 4 km.

- ***Perairan Indonesia*** (regional), dengan domain sebagai berikut :

90⁰ Bujur Timur (BT) s.d 140⁰ Bujur Timur (BT)

12⁰ Lintang Utara (LU) s.d 15⁰ Lintang Selatan (LS)

Resolusi grid 20 km.

- ***Perairan Global***, dengan resolusi grid 110 km.

c. Melakukan *generate* data batimetri dengan bantuan script dan software *Matlab for Linux* untuk membuat data grid batimetri sesuai dengan domain model yang akan di jalankan yaitu untuk domain lokal, regional dan global.

2. Melakukan proses *nesting* , yaitu untuk menentukan batas input model lokal dan regional dari domain yang lebih besar.

a. *Nesting* untuk input model regional didapat dari hasil model global

b. *Nesting* untuk input model lokal didapat dari hasil model regional

3. Menjalankan model dengan masukan angin 10m dan data batimetri, model dijalankan untuk menganalisis data dari tahun 2004 s.d 2008. Dengan dimulai dari domain global kemudian regional (perairan Indonesia) dan tahap selanjutnya adalah domain lokal (perairan Jakarta dan sekitarnya).

Dari hasil menjalankan model WWIII didapatkan keluaran berupa :

- Tinggi gelombang signifikan
- Arah, periode dan frekuensi gelombang.

3.2.2 Ekstraksi model pasang surut OTIS

Pada tahap ini dilakukan ekstraksi data model pasang surut yang didapat dari model OTIS untuk domain perairan Jakarta yaitu:

104⁰ Bujur Timur (BT) s.d 110⁰ Bujur Timur (BT)
0⁰ Lintang Utara (LU) s.d 8⁰ Lintang Selatan (LS)

Untuk dapat menjalankan model OTIS ini ada beberapa tahap, yaitu :

a. *Compile* program

Dalam sistem operasi Linux atau UNIX, untuk meng-compile program `extract_HC.f` dan `predict_tide.f` dapat dilakukan dengan perintah:

`make extract_HC` dan `make predict_tide` dimana perintah ini akan membaca file `makefile` yang isinya:

```
predict_tide: predict_tide.f subs.f constit.h
    f90 -o
    predict_tide
    predict_tide.f
    subs.f rm *.o
extract_HC: extract_HC.f subs.f
    f90 -o
    extract_H
```

```

C
extract_H
C.f subs.f
rm *.o

```

Dengan menjalankan perintah : `make extract_HC`, maka akan dihasilkan file `extract_HC` yang siap dijalankan untuk mengekstrak konstanta harmonik pasut, sedangkan dengan menjalankan `make predict_tide` akan dihasilkan file `predict_tide` yang siap dijalankan untuk melakukan peramalan pasut, kemudian untuk dapat mengeluarkan hasil keluaran model, menggunakan perintah :

```
extract_HC<setup.inp
```

atau

```
predict_tide<setup.inp
```

dimana sebelumnya kita harus merubah isi pada file `setup.inp` sesuai dengan kebutuhan kita.

Berikut adalah contoh keluaran model OTIS :

a. konstanta harmonik (*HC*) :

Model: ind		Elevations (m)							
Lat	Lon	m2_amp	m2_ph	s2_amp	s2_ph	n2_amp	n2_ph		
-5.920	106.667	0.051	172.2	0.038	102.7	0.015	116.9		
-5.920	106.668	0.051	172.1	0.038	102.7	0.015	116.8		
-5.920	106.669	0.051	172.1	0.038	102.8	0.015	116.8		
-5.920	106.670	0.051	172.1	0.038	102.8	0.015	116.8		
-5.920	106.671	0.051	172.1	0.038	102.9	0.015	116.7		
-5.920	106.672	0.051	172.1	0.038	102.9	0.015	116.7		

b. Prediksi pasut

Model: ind
Constituents included: m2 s2 k1 o1 n2 p1 k2 q1

Lat	Lon	mm.dd.yyyy hh:mm:ss	z(m)
1.600	128.583	09.18.2001 00:00:00	0.451
1.600	128.583	09.18.2001 01:00:00	0.010
1.600	128.583	09.18.2001 02:00:00	-0.439
1.600	128.583	09.18.2001 03:00:00	0.784
1.600	128.583	09.18.2001 04:00:00	-0.941

3.2.3 Pengolahan Data Pengamatan

Melakukan pengolahan data pengamatan pasang surut dan data-data meteorologis lainnya sebagai data pendukung, yaitu data angin dan curah hujan di sekitar wilayah Jakarta pada periode tahun 2004 sampai dengan 2008. Data-data tersebut digunakan untuk mendapatkan pola dan karakteristik pasang surut dan musim di Jakarta.

3.2.4 Validasi Model

Membandingkan hasil keluaran model gelombang WWIII dan OTIS dengan hasil pengamatan dari *tide gauge*, tujuannya adalah untuk melihat tingkat akurasi dan kesesuaian model dibandingkan dengan hasil pengamatan.

3.2.5 Analisis Deskriptif

Pada tahapan ini melakukan analisis deskriptif, yaitu :

1. Analisis data pasang surut baik itu dari hasil model maupun hasil pengamatan
2. Analisis data gelombang, angin dan curah hujan.

Tujuannya untuk melihat pola dan karakteristik pasang surut, tinggi gelombang serta curah hujan di DKI Jakarta sehingga diperoleh informasi pada pada bulan ke berapa tiap tahunnya yang rawan dan berpotensi terjadinya banjir rob.



UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PERPUSTAKAAN

Kampus Baru UI Depok 16424 Telp. 7863436, 7863437
Faks : 7270012 e-mail : adhari_hb@yahoo.com

SURAT TANDA TERIMA BAHAN PUSTAKA

No. 09 /Perpus/TT/S/TT/D/LAL/PL/III/14/10

Perpustakaan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia
menerangkan bahwa :

Nama

: ANGEL RAMDHANI

NPM

: 2906404425

Departemen/Bidang Studi :

: S2 MIPA Matematika

telah menyerahkan 1 (satu) eksemplar bahan pustaka berupa Skripsi/Tesis/Disertasi/
Laporan Akhir/Laporan Penelitian *) beserta Compact Disk (CD) dengan judul :

Pemanfaatan modal... Andri Ramdhani, FMIPA UI, 2009

Depok,
Penerima

*) Coret yang tidak sesuai

3.3 Penentuan Estimasi Potensi Rob

3.3.1. Menentukan Tinggi Muka Laut (TML)

Untuk dapat mengestimasi rob yang terjadi maka kita harus menghitung berapa ketinggian muka laut (TML) nya, Nilai TML di dapatkan dengan menambahkan ketinggian gelombang signifikan (H_{sig}) dan kondisi pasang surut (Rodrigues, 1998)

Sehingga kita bisa mendapatkan nilai tinggi muka laut di sekitar pantai

$$TML = MSL + H_{sig} + H_{tide}$$

Dimana TML = Tinggi Muka Laut

MSL = *Mean Sea Level*

H_{sig} = ketinggian gelombang signifikan di sekitar pantai

H_{tide} = Tinggi pasang surut

Dengan nilai MSL diasumsikan = 0, maka

$$TML = H_{sig} + H_{tide}$$

3.3.2. Menentukan Estimasi Banjir Rob

Untuk dapat membuat estimasi potensi rob ada 4 parameter yang dapat digunakan, yaitu :

a. Pasang Maksimum :

Menentukan kapan pasang maksimum terjadi dan berapa ketinggiannya. Ini dapat diperoleh dengan menggunakan hasil perhitungan model. Model dapat memberikan informasi kapan terjadi nya pasang maksimum dan berapa ketinggiannya. Selain itu kita juga dapat melihat perhitungan fase bulan pada setiap bulannya, sehingga kita bisa mengantisipasi kapan akan terjadi pasang maksimum

b. Gelombang Tinggi

Adanya waktu yang bersamaan antara terjadinya pasang maksimum dengan gelombang tinggi disekitar pantai akan menaikkan tinggi muka laut. Data klimatologis gelombang laut diperlukan untuk melihat pola dan karakteristiknya. Cara yang lebih valid adalah dengan menggunakan hasil pengamatan tetapi karena keterbatasan data pengamatan gelombang di

perairan Indonesia khususnya di perairan Jakarta maka digunakan hasil analisis model.

c. Curah Hujan

Curah hujan dapat memperparah terjadinya banjir rob karena akan menambah genangan-genangan pada kawasan-kawasan dengan elevasi rendah. Prediksi curah hujan bisa didapatkan dengan menggunakan model numerik cuaca (*NWP=Numerical Weather Prediction*) dimana model ini dapat menghasilkan prediksi curah hujan pada lokasi dan waktu tertentu. Selain itu dapat dilihat juga karakteristik intensitas curah hujan tahunan yang biasa terjadi seperti pada bulan apa dan berapa intensitas curah hujan maksimumnya, data ini didapatkan dari hasil pengamatan curah hujan pada kurun waktu tertentu.

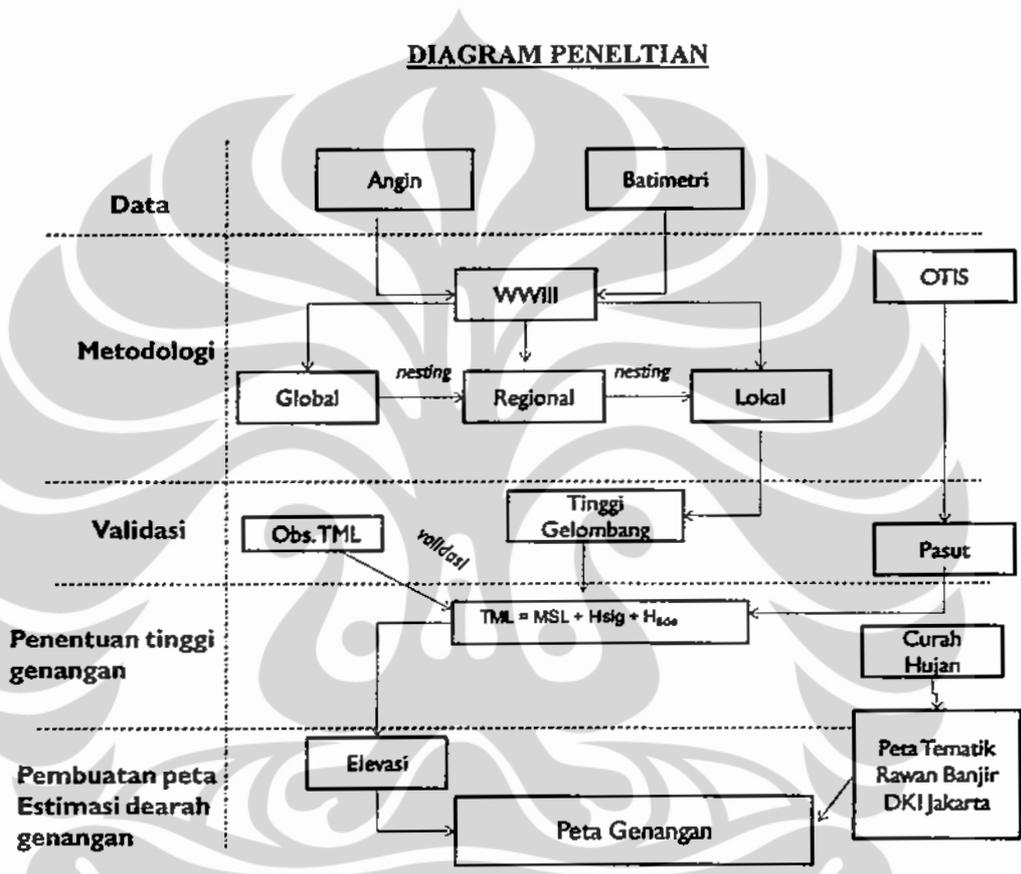
d. Elevasi permukaan tanah

Informasi ketinggian permukaan tanah dapat digunakan untuk melihat daerah mana saja yang merupakan kawasan rendah di kawasan pesisir pantai, karena kawasan rendah ini merupakan kawasan yang sangat rentan terhadap perubahan tinggi muka laut. Dengan adanya informasi ini maka dapat dilihat kawasan-kawasan yang merupakan rawan terhadap potensi bahaya banjir rob, oleh karena itu dapat dijadikan acuan untuk membangun tanggul, meninggikan tanah atau merelokasi pemukiman ke tempat yang lebih aman.

Dari uraian diatas untuk membuat peta sebaran genangan, dilakukan hal sebagai berikut :

1. Estimasi daerah genangan rob berdasarkan hasil perhitungan tinggi muka laut dan data elevasi wilayah pesisir Jakarta
2. Pembuatan peta estimasi daerah potensi rob di Jakarta dengan memakai hasil perhitungan data elevasi dengan TML serta memasukan interpolasi data pengamatan curah hujan. Peta estimasi ini dibuat dengan menggunakan peta tematik rawan banjir yang merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh BMKG, Dinas PU DKI dan Bakosurtanal pada tahun 2007

Gambaran umum metodeologi pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 yang menunjukkan alur data dan tahapan yang dilakukan.



Gambar 3.1 Diagram Penelitian

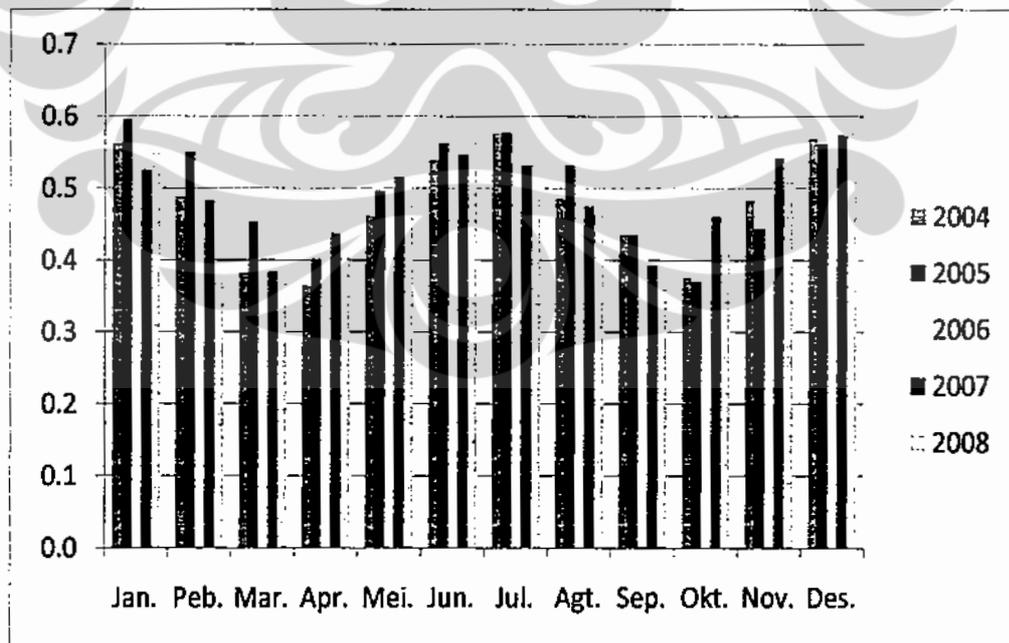
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

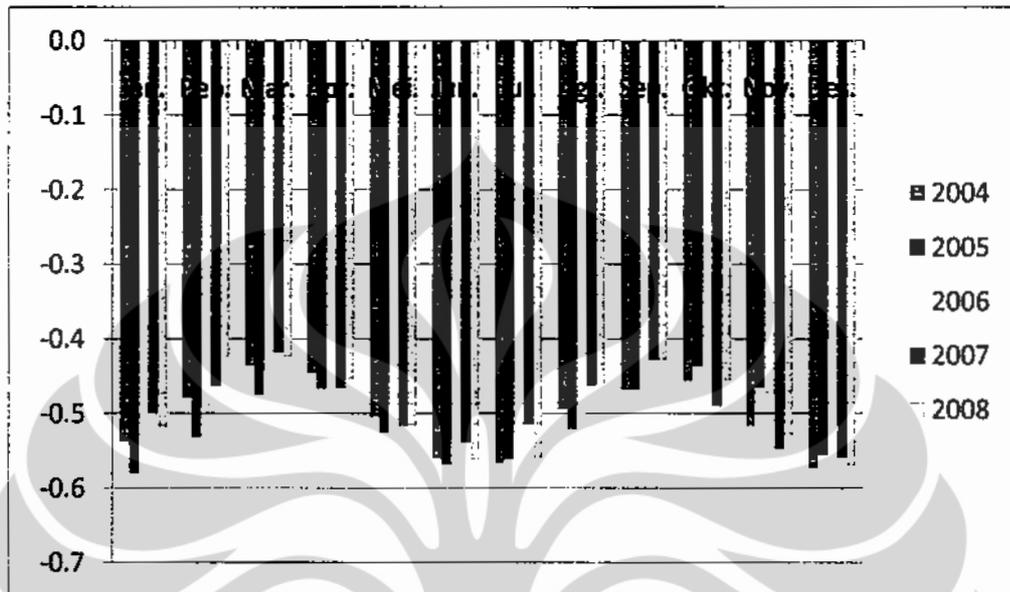
4.1 Pasang Surut

Berdasarkan hasil analisis model OTIS didapat pola dan karakteristik pasang surut, dimana kondisi pasang mencapai tertinggi terjadi pada bulan Januari, Pebruari, Mei, Juni, Juli, November dan Desember, dengan ketinggian antara 0.5 s.d 0.6 meter (Gambar 4.1). Begitu pun halnya dengan kondisi surut biasanya surut terendah terjadi pada bulan-bulan yang sama dengan kondisi pasang dengan ketinggian -0.5 s.d -0.6 meter (Gambar 4.2), ketinggian hasil model ini dihitung dari *mean sea level* dengan asumsi tinggi *mean sea level* = 0.

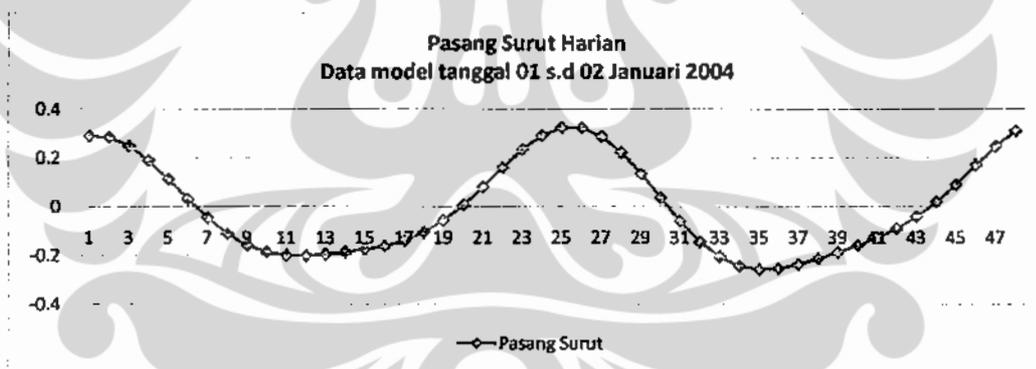
Untuk pola dan karakteristik pasang surut harian termasuk dalam kategori *diurnal* yaitu waktu pasang dan surut terjadi sekali dalam sehari, dimana waktu pasang terjadi pada pagi hari hingga menjelang siang dan waktu surut nya pada malam hari hingga menjelang dini hari. (Gambar 4.3)



Gambar 4.1. Grafik pasang tertinggi perbulan tahun 2004 s.d 2008



Grafik 4.2. Grafik surut terendah perbulan tahun 2004 sampai dengan 2008

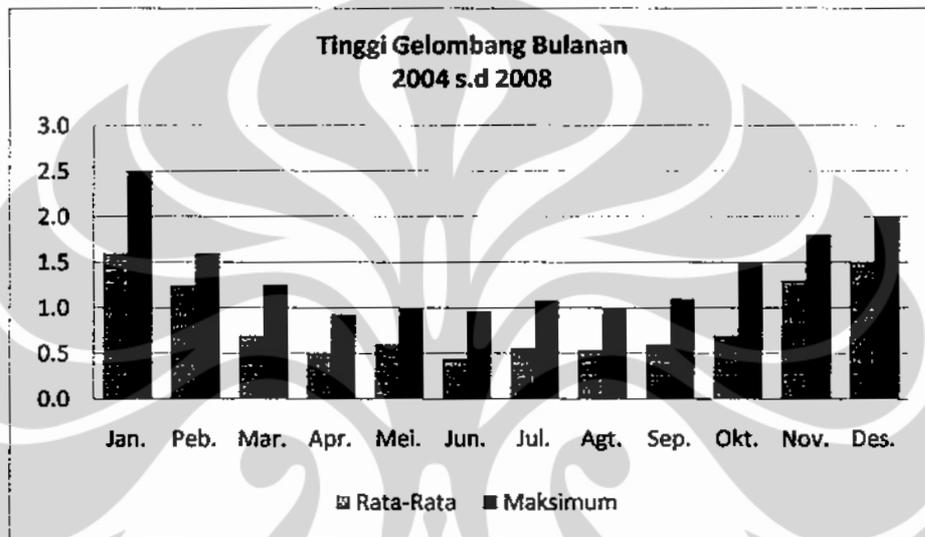


Grafik 4.3. Grafik pasang surut harian

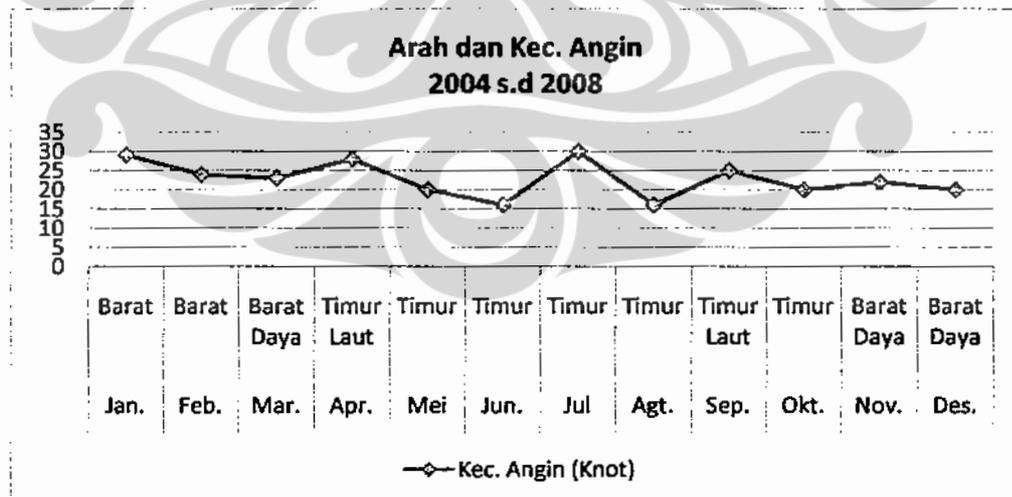
4.2 Tinggi Gelombang

Hasil analisis gelombang berdasarkan model Wavewatch III memperlihatkan bahwa gelombang tinggi terjadi pada bulan Januari, Pebruari, November dan Desember (Gambar 4.4). Periode bulan-bulan tersebut merupakan periode musim barat, dimana kecepatan angin cenderung lebih tinggi dibandingkan bulan-bulan yang lain, hal ini sesuai dengan data pengamatan angin di daerah Tanjung Priok

(Gambar 4.5), umumnya angin bertiup dari arah Barat atau Barat Daya, dengan kecepatan angin cenderung lebih tinggi dibandingkan bulan-bulan yang lainnya.



Gambar 4.4 Grafik tinggi gelombang signifikan bulanan periode 2004 – 2008



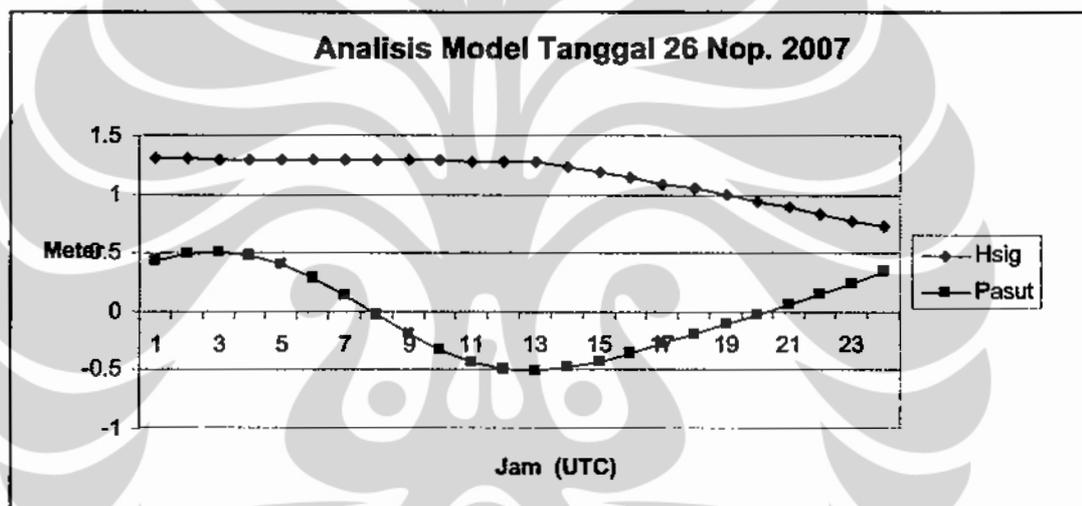
Gambar 4.5 Grafik arah terbanyak dan kecepatan angin maksimum bulanan periode 2004 s.d 2008

4.3 Analisis Kejadian Rob Berdasarkan Hasil Estimasi Model

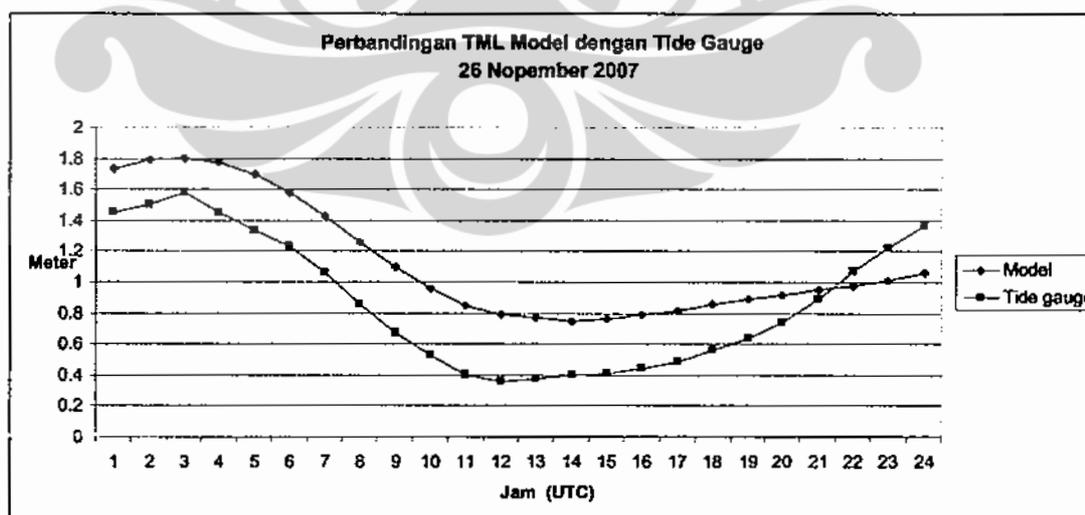
Untuk dapat melihat perbandingan antara hasil model dengan pengukuran tinggi muka laut dari *tide gauge* maka dilakukan analisis hasil model pada sampel kejadian rob terjadi di Jakarta, yaitu pada tanggal 26 Nopember 2007, dan 12 Januari 2009.

4.3.1 Analisis Hasil Model

A. Analisis 26 Nopember 2007



Gambar 4.6 Grafik Analisis Model 26 Nopember 2007

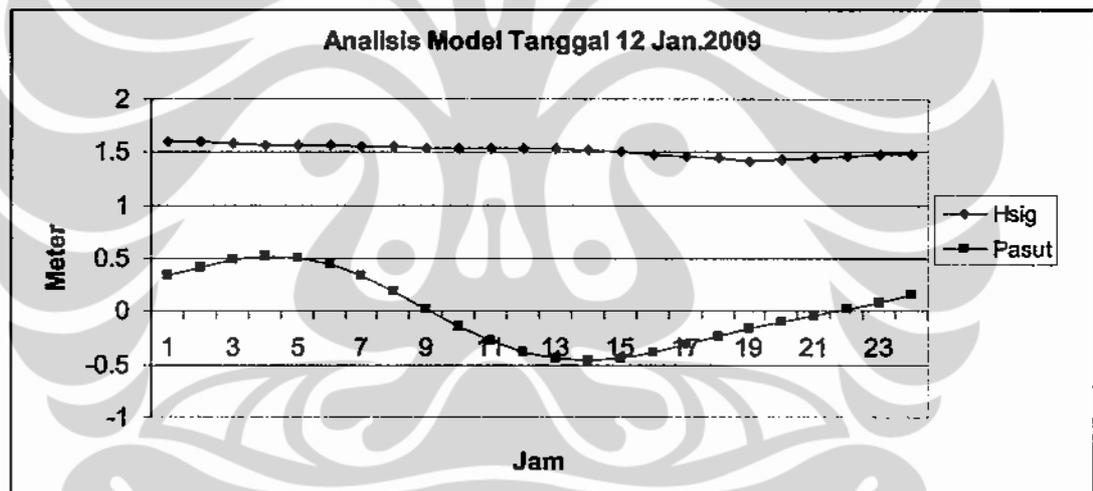


Gambar 4.7 Grafik TML Model dan *Tide Gauge* 26 Nopember 2007

Pada Gambar 4.6 ditampilkan grafik ketinggian pasang surut dan gelombang signifikan (H_{sig}) pada tanggal 26 November 2007, dimana terjadi gelombang yang cukup tinggi bersamaan dengan waktu pasang yaitu pada pukul 02 UTC atau 09.00 WIB. Hal ini yang menyebabkan tinggi muka air laut pada jam tersebut meningkat dimana TML tertinggi pada tanggal tersebut berdasarkan hasil model adalah 1.8 meter sedangkan berdasarkan hasil pengamatan adalah 1.6 meter. Disini terlihat bahwa estimasi model lebih besar dibandingkan dengan kondisi hasil pengamatan (Gambar 4.7)

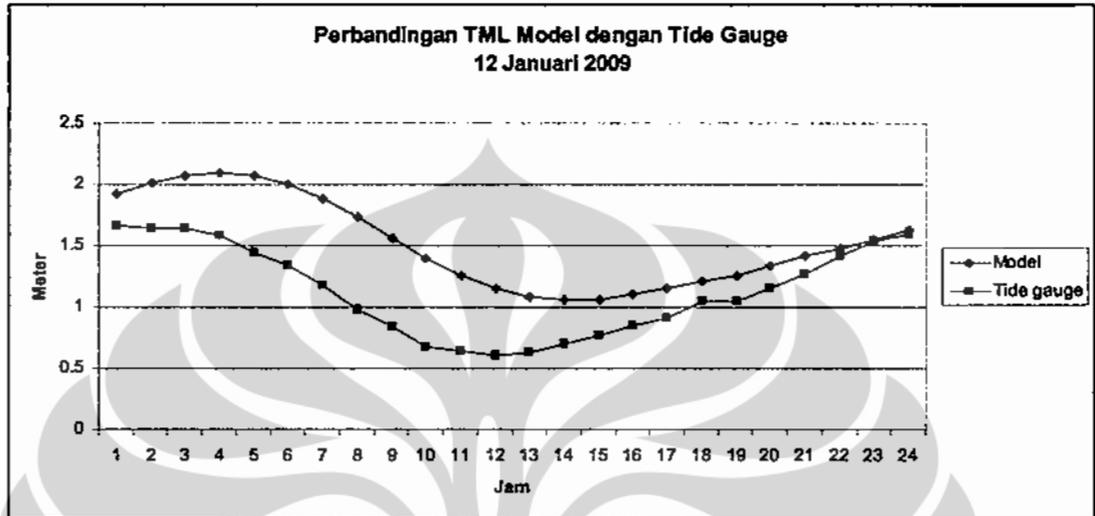
B. Analisis 12 Januari 2009

Berikut disajikan hasil analisis model untuk tanggal 12 Januari 2009 :



Gambar 4.8 Grafik Analisis Model 12 Januari 2009

Pada Gambar 4.8 ditampilkan grafik ketinggian pasang surut dan gelombang signifikan (H_{sig}) pada tanggal 12 Januari 2009, dimana terjadi gelombang yang cukup tinggi bersamaan dengan waktu pasang yaitu pada pukul 04 UTC atau 11.00 WIB. Hal ini yang menyebabkan tinggi muka air laut pada jam tersebut meningkat dimana TML tertinggi pada tanggal tersebut berdasarkan hasil model adalah 2.2 meter sedangkan berdasarkan hasil pengamatan adalah 1.8 meter (Gambar 4.9)



Gambar 4.9 Grafik TML Model dan *Tide Gauge* 12 Januari 2009

Dari hasil perbandingan model dan pengamatan diatas terlihat hasil model selalu lebih tinggi, hal ini disebabkan karena model yang digunakan adalah model global dimana resolusi masih cukup rendah untuk di terapkan pada perairan lokal karena grid data yang digunakan masih kurang representatif. Akan tetapi hasil model ini masih menunjukkan pola yang sama dengan data pengamatan, oleh karena itu kita masih bisa menggunakan sebagai acuan untuk dapat membuat estimasi potensi rob yang terjadi di pesisir Jakarta.

4.3.2. Sebaran Genangan Hasil Estimasi Model Pada Saat Kejadian

Pada Lampiran 7(A), 7(B), 8(A) dan 9(B) disajikan peta sebaran genangan banjir rob pada saat kejadian tanggal 26 November 2007, 08 Mei 2008, 18 Nopember 2008 dan 12 Januari 2009.

Dari keempat gambar tersebut dapat dilihat genangan-genangan yang terjadi, yaitu didaerah Kapuk Muara, Pluit, Penjaringan, Muara Baru, Ancol, Pademangan Tanjung Priok, KaliBaru, Cilincing dan Marunda. Berikut adalah tabel tingginya genangan hasil model dibandingkan dengan informasi dari media .

A Genangan Rob tanggal 26 November 2007

Lokasi genangan hasil model	Informasi media	Keterangan
Muara Baru : 1.5 - 2 meter	Muara Baru : 1 meter	Sumber media : http://digilib-ampl.net yang dikutip dari Koran SINDO tanggal 27 Nopember 2007
Penjaringan: 50 cm s.d 1 meter	Penjaringan: 50 cm	
Ancol : 50 cm - 1 Meter	Ancol : 60 cm	
KawasanTanjung Priok : 25 - 75 cm	KawasanTanjung Priok : 40 cm	
Marunda : 25 - 75 cm	Marunda : 30 cm	
Cilincing : 25 - 75 Cm	Cilincing : 20 cm	
Pluit : 20 - 75 cm	Pluit : 15 cm	

Tabel 4.1 Genangan rob hasil model dan informasi media (24 - 26 November 2007)

Hujan	24 - 27 Nopember 2007			
Lokasi / Tanggal	24	25	26	27
Tanjung Priok	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Kemayoran	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Cengkareng	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Halim	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm

Tabel 4.2 Curah hujan di Jakarta tanggal 24 – 27 Nopember 2007

Curah hujan berdasarkan data pengamatan dari 4 stasiun BMKG yang ada di Jakarta terlihat bahwa pada tanggal 24 – 26 November 2007 tersebut tidak ada hujan sehingga genangan yang ada pada kawasan pesisir Jakarta hanya disebabkan oleh faktor naiknya permukaan air laut.

B. Genangan Rob tanggal 08 Mei 2008

Lokasi genangan hasil model	Informasi media	Keterangan
Muara Baru : 0.75 – 1.5 meter	Muara Baru : 20 – 70 cm	Sumber media : http://digilib-ampl.net yang dikutip dari Koran Tempo tanggal 08 Mei 2008
Penjaringan: 20 cm meter s.d 30 cm	Penjaringan: 10 - 20 cm	
Ancol : 20 cm - 50 cm	Ancol : 30 cm	
KawasanTanjung Priok : 20 - 60 cm	KawasanTanjung Priok : 15 cm	

Tabel 4.3 Genangan rob hasil model dan informasi media (08 Mei 2008)

Hujan 7 – 9 Mei 2008			
Lokasi / Tanggal	7	8	9
Tanjung Priok	0 mm	0 mm	0 mm
Kemayoran	0 mm	0 mm	0 mm
Cengkareng	0 mm	0 mm	0 mm
Halim	0 mm	0 mm	0 mm

Tabel 4.4 Curah hujan di Jakarta tanggal 7 – 9 Mei 2008

Curah hujan berdasarkan data pengamatan dari 4 stasiun BMKG yang ada di Jakarta terlihat bahwa pada tanggal 15– 26 November 2007 tersebut tidak ada hujan sehingga genangan yang ada pada kawasan pesisir Jakarta hanya disebabkan oleh faktor naiknya permukaan air laut.

C. Genangan Rob tanggal 18 Nopember 2008

Lokasi genangan hasil model	Informasi media	Keterangan
Muara Baru : 1.5 - 2 meter	Muara Baru : 1 meter	Sumber media : http://digilib-ampl.net yang dikutip dari Koran Kompas tanggal 18 Nopember 2008
Penjaringan: 50 cm meter s.d 75 cm	Penjaringan: 30 cm	
Ancol : 20 cm - 50 cm	Ancol : 40 cm	
KawasanTanjung Priok : 20 - 75 cm	KawasanTanjung Priok : 10 cm	
Marunda : 50cm – 1,5 m	Marunda : 1 meter	
Cilincing : 50cm – 1,5 m	Cilincing : 1 meter	

Tabel 4.5 Genangan rob hasil model dan informasi media (18 Nopember 2008)

Hujan 17 – 19 Nopember 2008			
Lokasi / Tanggal	17	18	19
Tanjung Priok	0	5	0
Kemayoran	9	10	1
Cengkareng	0	0	5
Halim	13	0	0

Tabel 4.6 Curah hujan di Jakarta tanggal 17 – 19 Nopember 2008

Curah hujan berdasarkan data pengamatan dari 4 stasiun BMKG yang ada di Jakarta terlihat bahwa pada tanggal 15– 26 November 2007 tersebut tidak ada hujan sehingga genangan yang ada pada kawasan pesisir Jakarta hanya disebabkan oleh faktor naiknya permukaan air laut.

D. Genangan Rob tanggal 12 Januari 2009

Lokasi genangan hasil model	Informasi media	Keterangan
Muara Baru : 1.5 - 2 meter	Muara Baru : 2 meter	Sumber media : http://digilib-ampl.net yang dikutip dari Koran SINDO tanggal 13 Januari 2009
Penjaringan: 50 cm s.d 1meter	Penjaringan: 50 cm	
Ancol : 75 cm - 1 Meter	Ancol : 60 cm	
KawasanTanjung Priok : 50 - 75 cm	KawasanTanjung Priok : 40 cm	
Marunda : 75 cm sd 2 meter	Marunda : 1-2 meter	
Cilincing : 75 cm sd 2 meter	Cilincing : 1-2 meter	

Tabel 4.7 Genangan rob hasil model dan informasi media (12 Januari 2009)

Hujan 11 – 13 Januari 2009

Lokasi / Tanggal	11	12	13
Tanjung Priok	12 mm	35 mm	149 mm
Kemayoran	26 mm	85 mm	102 mm
Cengkareng	11 mm	65 mm	85 mm
Halim	12 mm	35 mm	149 mm

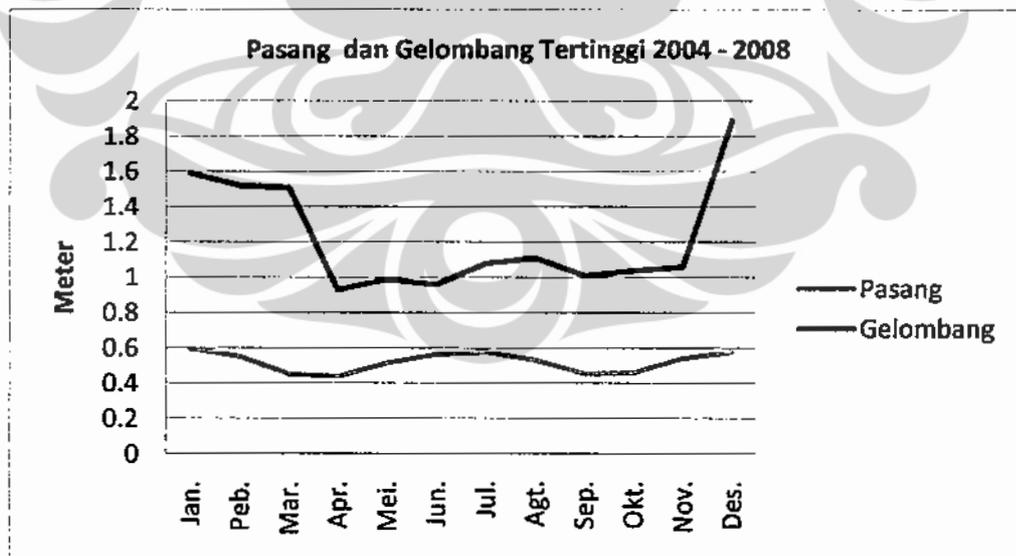
Tabel 4.8 Curah hujan di Jakrata tanggal 11 – 13 Januari 2009

Curah hujan berdasarkan data pengamatan dari 4 stasiun BMKG yang ada di Jakarta terlihat bahwa pada tanggal 11– 13 Januari 2009 tersebut terjadi hujan yang cukup lebat sehingga genangan yang ada menjadi lebih tinggi akibat akumulasi naiknya permukaan air laut dengan curah hujan.

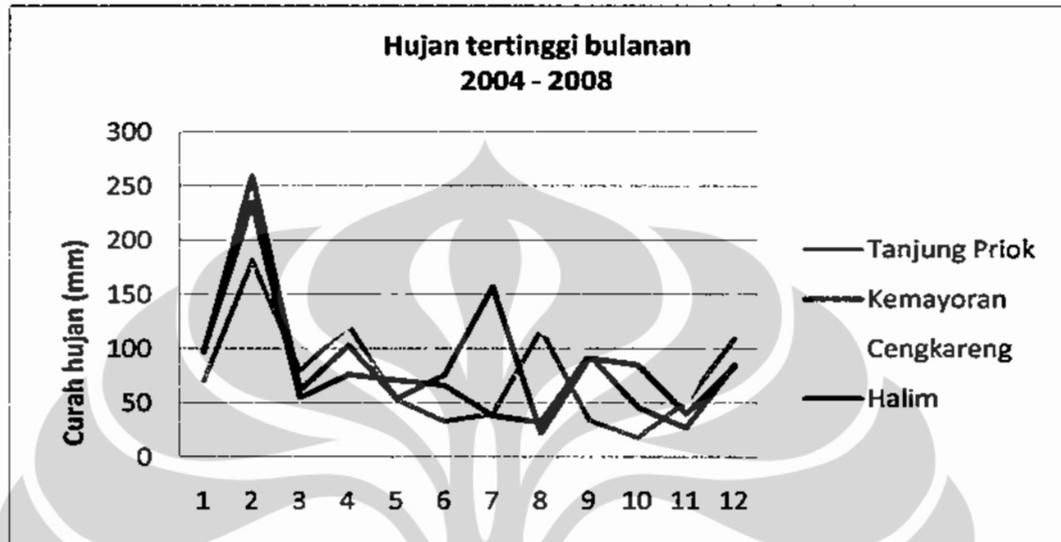
Dari hasil estimasi genangan diatas dapat disimpulkan bahwa secara sebaran genangan hasil model cukup baik tetapi hasil model lebih besar di bandingkan dengan kejadian di lapangan, tetapi secara garis besar dapat memberikan gambaran terjadinya banjir rob.

4.4 Estimasi Potensi Rob

Pada Metodologi disebutkan bahwa terdapat 4 parameter yang digunakan untuk dapat membuat estimasi potensi rob, yaitu : pasang maksimum, gelombang tinggi, curah hujan dan elevasi permukaan tanah. Pada penelitian ini didapatkan hasil model yang dapat melihat pola dan karakteristik pasang surut dan gelombang di sekitar perairan Jakarta dan dari hasil model tersebut didapatkan potensi rob yang bisa terjadi pada masa yang akan datang dengan menggunakan data historis analisis model, pengamatan curah hujan dan data elevasi permukaan tanah. Yang digunakan adalah data pasang maksimum, gelombang tertinggi dan curah hujan terbesar pada periode waktu 2004 sampai dengan 2008.



Gambar 4.10 Grafik pasang dan gelombang tertinggi tahun 2004 – 2008



Gambar 4.11 Grafik intensitas hujan tertinggi bulanan 2004 – 2008

4.4.1. Pasang, Gelombang, Curah Hujan

Dari Gambar 4.10 terlihat grafik pasang maksimum gelombang tertinggi pada tiap bulan. Terlihat potensinya terjadi pada bulan-bulan Januari, Pebruari, Mei, Juni, November dan Desember. Dari tahun 2004 – 2008 periode pasang maksimum dan gelombang tinggi selalu ada pada bulan-bulan tersebut terlebih lagi pada bulan Januari, Pebruari, November dan Desember. Pada Gambar 4.11 adalah grafik data curah hujan tertinggi pada tiap bulan untuk tahun 2004-2008, dimana pada periode tersebut terlihat curah hujan di Jakarta mencapai puncaknya pada bulan Januari dan Pebruari. Apabila kita hubungkan dengan kondisi pasang dan gelombang maka pada periode Januari dan Pebruari sangat berpotensi terjadi banjir rob yang cukup besar di wilayah pesisir Jakarta karena pada bulan-bulan tersebut biasanya terdapat pasang maksimum, gelombang tinggi dan tingkat curah hujan yang mencapai puncaknya.

4.4.2 Elevasi Permukaan Tanah

Lampiran 9B menunjukkan elevasi permukaan tanah pesisir Jakarta, secara umum dapat dilihat bahwa hampir di sepanjang pesisir mempunyai elevasi yang cukup rendah yaitu antara - 0.5 s.d 1 meter yang mana daerah-daerah tersebut sangat

rentan terhadap kenaikan tinggi muka laut. Daerah-daerah yang menjadi langganan banjir rob seperti Kamal Muara, Kapuk Muara, Pluit, Penjaringan, Muara Baru, Ancol, Tanjung Priok, Kalibaru, Cilincing dan Marunda terlihat memiliki elevasi yang cukup rendah dan hal itulah yang menyebabkan kenapa daerah-daerah tersebut sangat berpotensi banjir rob.

4.5 Potensi Rob Tahunan

Dari data-data maksimum diatas (pasang, gelombang, curah hujan) serta data elevasi dapat ditentukan estimasi ketinggian maksimum yang dapat terjadi pada setiap bulan, dan itu merupakan kondisi terburuk apabila pada bulan-bulan tersebut mencapai nilai yang maksimum pada saat bersamaan. Peta potensi sebaran genangan rob bulanan disajikan pada Lampiran 1 sampai dengan Lampiran 6. Dari peta sebaran genangan rob dapat dilihat pola sebaran dan genangan yang mungkin terjadi di beberapa kawasan. Dari informasi peta-peta tersebut ada beberapa hal yang bisa disimpulkan :

A. Periode Rob.

Jika kita menggunakan nilai maksimum pada masing-masing parameter (pasang, gelombang, curah hujan) maka pada tiap bulan pasti akan terjadi rob, karena di kondisikan terjadi pada saat yang bersamaan. Tetapi potensi terbesar terjadi berada pada saat musim angin barat (musim hujan) yaitu pada bulan Januari Peburari, November dan Desember dan puncaknya terjadi pada bulan Januari dan Pebruari.

B. Dearah Potensi

Berdasarkan peta sebaran terdapat beberapa kawasan dipesisir Jakarta yang merupakan kawasan yang rawan rob, namun dari beberapa kawasan tersebut dapat dibedakan menjadi menjadi tiga daerah rawan yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.12

Kawasan yang berpotensi tinggi adalah kawasan yang sangat sensitif terhadap kenaikan tinggi muka laut, kawasan ini merupakan daerah langganan banjir rob dan

terjadi tidak hanya pada saat bulan-bulan puncak rob yang termasuk kawasan ini adalah daerah Muara Baru, Ancol, sebagian Tanjung Priok, Cilincing dan Marunda. Sedangkan kawasan yang termasuk kategori sedang dan rendah adalah kawasan yang berpotensi terjadi rob pada saat bulan-bulan puncak rob yaitu pada bulan Nopember, Desember, Januari dan Pebruari. Kawasan-kawasan ini meliputi daerah Kamal Muara, Penjaringan, Pluit, Kali Baru, Koja dan Pademangan.



Gambar 4.12 Daerah potensi banjir rob

C. Ketinggian Rob

Ketinggian rob di beberapa daerah yang dihasilkan model bervariasi mulai dari 0.25 meter sampai dengan 2.5 meter, dimana sebaran tertinggi berada pada kawasan Muara Baru, Marunda dan Cilincing, sedangkan kawasan lainnya seperti Kamal Muara, Kapuk Muara, Penjaringan, Ancol, Tanjung Priok, Pademangan dengan ketinggian genangan antara 0.25 m sampai dengan 1 meter.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa model Wavewatch III dan OTIS dapat digunakan untuk melihat pola tinggi muka laut di perairan Jakarta. Hasil perbandingan model dan data pengamatan diperoleh pola dan karakteristik yang sama tetapi nilai model cenderung lebih besar.

Berdasarkan perhitungan model dapat dilihat waktu periode, daerah potensi dan ketinggian dari banjir rob. Waktu periode rob di Jakarta berpotensi terjadi pada bulan Januari, Februari, November dan Desember, dengan puncaknya terjadi pada bulan Januari dan Februari. Untuk daerah Potensi hampir seluruh wilayah sepanjang pesisir mempunyai potensi rob karena pada umumnya mempunyai elevasi permukaan yang cukup rendah, tetapi ada beberapa daerah yang mempunyai potensi terbesar yaitu daerah Muara Baru, sebagian Tanjung Priok, Cilincing dan Marunda. Sedangkan potensi ketinggian genangan bervariasi diseluruh pesisir dengan potensi tertinggi terjadinya genangan berada didaerah Muara Baru, Cilincing dan Marunda.

5.2 Saran

Hasil penelitian ini berupa data potensi rob diharapkan dapat menjadi acuan untuk dapat memprediksi kapan, dimana, dan berapa ketinggian rob yang akan terjadi, sehingga dapat bermanfaat sebagai *early warning system* bagi pemerintah daerah dan masyarakat, mitigasi bencana serta keperluan untuk perencanaan dan pengembangan wilayah pesisir.

Berikut adalah beberapa saran untuk penelitian selanjutnya :

- Diperlukan model laut pada skala lokal seperti model ROMS (*Regional Ocean Modelling System*)
- Diperlukan *tide gauge* di sepanjang daerah rawan rob untuk memantau ketinggian muka air selain itu juga dapat digunakan sebagai masukan dan validasi model

- Di perlukan perangkat keras yang optimal seperti PC kluster atau main frame untuk mempercepat perhitungan model.
- Diperlukan peta elevasi dan peta penutup lahan dengan resolusi yang tinggi untuk dapat menghasilkan sistem informasi geografis yang informatif dan lebih detail pada lokasi yang merupakan daerah rawan banjir rob



DAFTAR ACUAN

- Ayoub & Underschultz (2007), Simulation of Coastal Subsidence and Storm Wave Inundation Risk, CSIRO Petroleum Report 07-003.
- Benassai1 & I. Ascione 2 (2006). Implementation of WWIII wave model for the study of risk inundation on the coastlines of Campania, Italy. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol 88, © 2006 WIT Press
- Digilib.Ampl. Kliping Berita Banjir Jakarta. (12 Nopember 2009).
<http://digilib-ampl.net/detail/list.php>
- Egbert & Svetlana Y. Erofeeva (1994). Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides, *College of Oceanic and Atmospheric Sciences*, Oregon State University, Corvallis
- Guan (2009). Comparisons between the Wind Wave Results from WAVEWATCH III and the Observed Data. *The International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE)*.
- Hughes (2005). Estimating Irregular Wave Runup on Rough, Impermeable Slopes. ERDC/CHL CHETN-III-70 July 2005
- Massey (2007) . History of Coastal Inundation Model. *MTS Journal Spring*, Vol 41,
- Mather, Adams & Yushioka (1964). Coastal Storm at Eastern United States. *Labotatory of Climatology. USA*.
- McInnes (1989) . Impact of Sea level Rise and Storm Surges on Coastal, *A report for CSIRO Tourism*
- Rodriguez (1998). Joint occurrence of high tide, surge and storm-waves on the northwest Spanish coast. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr..* 15 (1-4). 1999: 21-29
- Shibaki (2008), Numerical Simulation Of Storm Surge Inundation Induced bu Overflow and Overtopping On The Coast Of Centra Port, ICCE.2008
- Suratno (1997). Model Numerik Prakiraan Gelombang Permukaan Laut Untuk Perairan Indonesia dan Sekitarnya. Tesis. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan. Universitas Indonesia. Jakarta
- The oceanography course team (2006), Waves, Tide and Shallow-Water Pocesess, *The open University – England 2006*
- Tolman (2002). User Manual dan System Documentation of Wavewatch III version 2.22. *Technical Note*. NOAA 2002

WMO, 1998 : Guide to Wave Forecasting and Analysis . *WMO Buletin No.702*.
Secretariat of WMO-Geneva-Switzerland.

Wolf (2008). Coupled wave and surge modelling and implications for coastal
Flooding. *Advances in Geosciences*. Adv. Geosci., 17, 19–22, 2008

