

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/322593044>

PEMODELAN HIDRODINAMIKA DI PERAIRAN TELUK AMBON / HYDRODYNAMIC MODELLING IN AMBON BAY

Conference Paper · April 2014

CITATIONS

0

READS

2,824

3 authors, including:



Muhammad Fadli

National Research and Innovation Agency of Indonesia

30 PUBLICATIONS 48 CITATIONS

SEE PROFILE



Ivonne Radjawane

Bandung Institute of Technology

63 PUBLICATIONS 109 CITATIONS

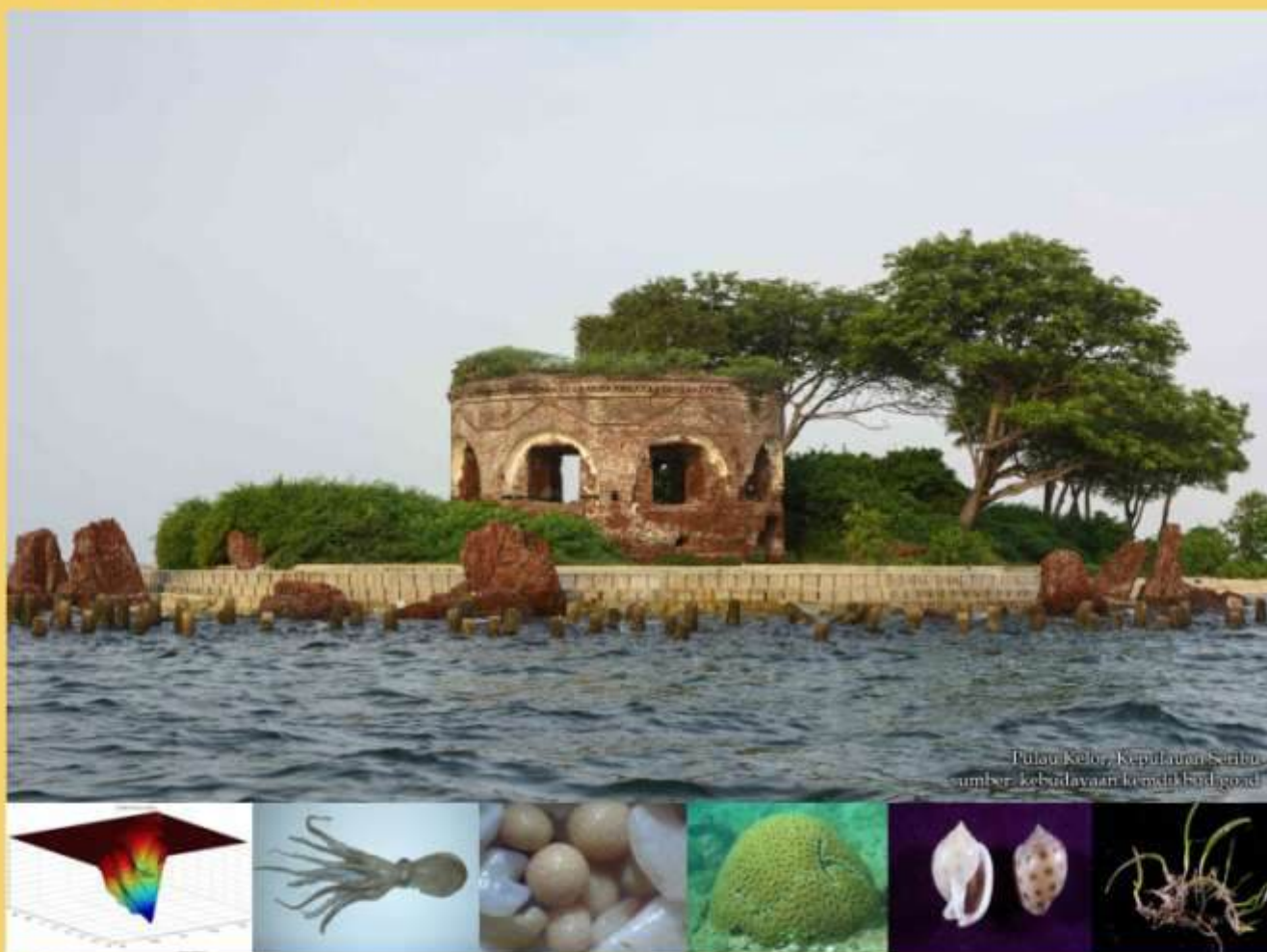
SEE PROFILE



ISBN: 978-602-18153-2-8

Prosiding **Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan X ISOI 2013**

Gedung II BPPT, Jakarta
11 - 12 November 2013



Pulau Kober, Kepulauan Seribu
sumber kebudayaan keanekaragaman hayati

Ketua Tim Editor:
Agus S. Atmadipoera

Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia
Jakarta, April 2014

**Prosiding
PERTEMUAN ILMIAH NASIONAL
TAHUNAN X ISOI 2013**

Gedung II BPPT Jakarta
11 - 12 November 2012

Ketua Tim Editor:

Agus S. Atmadipoera

Tim Editor:

Indra Jaya, Suhartati M. Natsir, Nani Hendiarti, Bambang Herunadi,
Mufti P. Patria, Rina Zuraida, Kresna T. Dewi, Widodo Pranowo, Tri
Prartono, Wahyu Pandoe, Taslim Arifin, Udrek, Fadli Syamsudin,
Anastasia R. Tisiana D.K., M. Ilyas, Agus Sudaryanto dan Luky Adrianto

Penyunting Pelaksana:

M. Subkhan dan Sri Ratih Deswati



**Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia
Jakarta, April 2014**

Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan X ISOI 2012

**Gedung II BPPT Jakarta
11 – 12 November 2013**

Ketua Tim Editor:
Agus S. Atmadipoera

Tim Editor:
Indra Jaya, Suhartati M. Natsir, Nani Hendiarti, Bambang Herunadi, Mufti P. Patria,
Rina Zuraida, Kresna T. Dewi, Widodo Pranowo, Tri Prartono, Wahyu Pandoe,
Taslim Arifin, Udrek, Fadli Syamsudin, Anastasia R. Tisiana D.K., M. Ilyas,
Agus Sudaryanto, Luky Adrianto

2014
Diterbitkan oleh:
Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia (ISOI)

Sekretariat
d/a. Pusat Penelitian Oseanografi – LIPI
Jl. Pasir Putih I No.1, Ancol Timur
Jakarta 14430
sekretariat@isoi.or.id
www.isoi.or.id
publikasi.isoi.or.id

Atmadipoera *et al.* (Editor). 2014. Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan X ISOI 2013, Jakarta, 11 - 12 November 2013, 360 h.

Foto kulit muka : Pulau Onrust, Kepulauan Seribu mangrove; 3D *bathymetri*;
cephalopoda (*Octopus* sp.); fosil foraminifera dan batu gamping;
terumbu karang (*Favia* sp.); gastropoda (*Phalium bisulcatum*); dan
lamun (*Halodule uninervis*)
Keterangan foto : Foto memperlihatkan sebagian dari obyek dan hasil penelitian
yang diseminarkan
Tata letak : M. Subkhan
ISBN : 978-602-18153-2-8

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas rahmat-Nya sehingga Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan X ISOI 2013, Jakarta, 11-12 November 2013 dapat terbit. Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan X ISOI 2013 ini merupakan bagian dari salah satu kegiatan rutin tahunan ISOI dengan tema "Inovasi IPTEK Kelautan untuk Penghidupan dan Kehidupan yang Lebih Baik". Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan ini merupakan *semi-international event* mengingat dihadiri oleh beberapa pembicara kunci terkait pengembangan ilmu dan teknologi kelautan serta perikanan dari berbagai negara asing seperti Jepang, China dan Korea Selatan.

Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan X ISOI 2013 ini dihadiri oleh berbagai pemangku kepentingan seperti instansi pemerintah, swasta, perguruan tinggi, lembaga penelitian, lembaga swadaya masyarakat dan industri dari berbagai daerah Indonesia dan luar negeri. Makalah yang dipresentasikan terdiri dari empat belas bidang yaitu hidro-oseanografi; pemetaan sumberdaya laut; penginderaan jauh kelautan; perubahan iklim dan *blue carbon*; kebijakan kelautan, mitigasi bencana dan wisata bahari; pencemaran dan ekotoksikologi laut; akustik, instrumentasi dan robotika kelautan; terumbu karang dan manajemen sumberdaya laut; geologi laut dan rekayasa kelautan; ekosistem laut arafura dan laut timor; budidaya perikanan dan perikanan tangkap; sumberdaya mineral, pertambangan dasar laut dan energi terbarukan; bioteknologi kelautan; serta pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil.

Seperti tahun sebelumnya, saya sebagai Ketua Umum ISOI sangat senang dan bangga pada penerbitan Prosiding ini karena makalah yang diterbitkan disini telah melalui seleksi *peer review* oleh Tim Editor yang telah bekerja keras disela-sela kesibukannya untuk mereview paper yang masuk.

Ucapan terima kasih disampaikan secara khusus kepada pengurus ISOI Komisariat DKI Jakarta dan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yang telah membantu pelaksanaan PIT IX ISOI ini. Penghargaan sebesar-besarnya juga saya sampaikan kepada Ketua and Anggota Tim Editor beserta staf pendukungnya yang telah bekerja keras untuk dapat menyelesaikan proses penerbitan Prosiding ini. Tidak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada instansi pemerintah dan swasta yang telah turut serta membantu dalam penyelenggaraan Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan IX ISOI ini seperti Kementerian Koordinator Bidang Kesejahteraan Rakyat, FPIK IPB, BALITBANGKP KKP, Puslibang Geologi Kelautan, BIG/BAKOSURTANAL, LIPI, ITB, Dishidros, PKSPKL IPB, P.T. Taman Impian Jaya Ancol, P.T. SeaWorld Indonesia, Yayasan KEHATI dan AKKII.

Jakarta, April 2014

ttd

Prof. Dr. Ir. Indra Jaya, M.Sc.
Ketua Umum ISOI

KATA PENGANTAR

Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan X ISOI 2013 ini merupakan salah satu hasil dari Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan X ISOI 2013 yang diselenggarakan di Jakarta, pada tanggal 11-12 November 2013. Kegiatan yang berupa seminar ini bertema "Inovasi IPTEK Kelautan untuk penghidupan dan Kehidupan yang Lebih Baik" dan dihadiri oleh berbagai peserta baik dari instansi pemerintah maupun swasta.

Panitia pelaksana seminar menerima sebanyak 288 abstrak yang semuanya dipresentasikan secara oral maupun dalam bentuk *full presentation*, *flash presentation* maupun poster. Dari 288 abstrak yang dipresentasikan, sebanyak 107 makalah lengkap diterima oleh Tim Editor sampai batas waktu yang ditentukan. Melalui *peer group review*, makalah tersebut di review dan diseleksi untuk dapat diterbitkan dalam Prosiding dan jurnal yang dikelola maupun yang berafiliasi dengan ISOI. Beberapa jurnal tersebut antara lain Jurnal Oseanologi Indonesia, Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis dan *Journal of Coastal Development* (OMICS Group). Setelah melalui proses review dan seleksi, dari 107 makalah lengkap yang direview oleh Tim Editor maka makalah yang layak diterbitkan melalui perbaikan dan saran dari para reviewer untuk Prosiding sebanyak 38 judul.

Selaku Ketua Tim Editor, saya mengucapkan terima kasih banyak dan penghargaan sebesar-besarnya kepada anggota Tim Editor yang sudah bekerja keras untuk mereview makalah dibidangnya dan memberikan masukan atau komentar untuk perbaikan paper yang layak maupun tidak layak untuk diterbitkan. Tidak lupa saya ucapkan terima kasih kepada panitia seminar yang telah membantu dan bekerja keras dalam proses pengumpulan makalah, proses editing, sampai proses penerbitan Prosiding PIT X ISOI 2013 ini khususnya kepada Mukhammad Subkhan dan Ratih Deswati

Semoga Prosiding Pertemuan Tahunan ISOI X 2013 ini dapat menambah, melengkapi, dan memajukan ilmu dan teknologi di bidang perikanan dan kelautan.

Jakarta, April 2014

ttd

Dr. Agus S. Atmadipoera
Ketua Tim Editor

DAFTAR ISI

Kata Sambutan	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	v

OPERATIONAL OCEANOGRAPHY (HIDRO-OSEANOGRAFI DAN OCEAN FORECASTING SYSTEM)

Studi Karakteristik Gelombang di Perairan Selat Madura. Aries Dwi Siswanto dan Achmad Fahrudin Syah	1
Pemodelan Hidrodinamika di Perairan Teluk Ambon. Muhammad Fadli, Ivonne M. Radjawane, dan Susanna	6
Variasi Sebaran Suhu, Salinitas dan Klorofil Terhadap Jumlah Tangkapan Lemuru di Perairan Selat Bali Saat Muson Tenggara. Winking E. Rintaka, Agus Setiawan, Eko Susilo, dan Mukti Trenggono	20
Persebaran Horisontal dan Vertikal Oksigen Terlarut di Perairan Selatan Jawa. Yohanes Onni Satrio Adinegoro dan Susanna Nurdjaman	32
Analisis Harmonik Gelombang Pasang Surut dan Spektrum Densitas Energi Gelombang Permukaan di Teluk Palabuhanratu. Denny S. Seri, Agus S. Atmadipoera, Yuli Naulita, Nur A.R. Setyawidati	41
Assesmen Kondisi Fisika-Kimia Oseanografi Perairan Pulau Sempu Malang Selatan Sebagai Parameter Penentuan Lokasi Pembuatan Taman Karang. Oktiyas Muzaky Luthfi dan Alfian Jauhari	49

PERUBAHAN IKLIM DAN INTERKASI LAUT-ATMOSFER

Telekoneksi Perairan Indonesia Dengan Samudera Pasifik Terkait Arlindo. Dewi Surinati, Edwin Aldrian, dan A. Harsono Soepardjo	59
Variabilitas Suhu Permukaan Laut di Perairan Raja Ampat. Riyazsa Savitria, Ivonne M. Radjawane, dan Fendry Y.S. Mamengko	71
Dampak Kebakaran Hutan Sebagai Sumber Nutrien Bagi Perairan Kepulauan Riau. Ilham Armi dan Susanna Nurdjaman	83

KEBIJAKAN KELAUTAN, MITIGASI BENCANA KELAUTAN DAN WISATA BAHARI

Analisis Kualitas Perairan Kaitannya dengan Keberlanjutan Ekosistem untuk Wisata Bahari di Kawasan Pulau Wangi-Wangi, Kabupaten Wakatobi. A. Rustam, Yulius, M. Ramdhan, H. L. Salim, D. Purbani, dan T. Arifin	91
Studi Awal Model Penjalaran Tsunami Di Perairan Maluku Sebagai Mitigasi Bencana Tsunami Di Pelabuhan Perikanan Maluku. Joko Prihantono¹ dan Semeidi Husrin	105
Indeks Kerentanan Pesisir di Pulau Sebuk Kalimantan Selatan. Try Al Tanto dan Yayat Abdillah	114
Transplantasi Lamun Sebagai Atraksi Wisata Bahari. Wawan Kiswara	126

OPERATIONAL OCEANOGRAPHY
(HIDRO-OSEANOGRAFI & OCEAN FORECASTING SYSTEM)

PEMODELAN HIDRODINAMIKA DI PERAIRAN TELUK AMBON

HYDRODYNAMIC MODELLING IN AMBON BAY

Muhammad Fadli¹, Ivonne M. Radjawane², dan Susanna³

¹Mahasiswa Program Studi Sains Kebumihan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB Bandung
JL. Ganesha No 10, 40135e-mail: fadliose07@gmail.com

²Pengajar Program Studi Sains Kebumihan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB Bandung
JL. Ganesha No 10, 40135

³Pengajar Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB Bandung
JL. Ganesha No 10, 40135

Abstrak

Teluk Ambon merupakan teluk sempit dengan bentuk batimetri yang khas. Teluk Ambon Luar (TAL) memiliki kedalaman antara 200 – 600 meter dan Teluk Ambon Dalam (TAD) antara 10 – 40 meter. TAD dan TAL dipisahkan oleh daerah menyempit dan dangkal dengan lebar 1 km serta kedalaman 15 meter. Teluk Ambon digunakan untuk transportasi, perikanan, pelabuhan dan perumahan sehingga berbagai limbah masuk ke Teluk Ambon. Penelitian tentang pola arus yang dibangkitkan oleh pasang surut harus dipelajari untuk memahami penyebaran limbah ini. Metode yang digunakan adalah simulasi hidrodinamika menggunakan *Princeton Ocean Model* (POM) yang dilakukan dari tanggal 2–31 Oktober 2008. Input model di batas terbuka berupa elevasi pasang surut yang dihasilkan dari *Tide Model Driver* (TMD). Elevasi pasang surut diverifikasi dengan data hasil observasi Universitas Hawaii dan Badan Informasi Geospasial (BIG). Verifikasi elevasi pasang surut hasil simulasi dengan data observasi menunjukkan kesesuaian besar dan fasa dengan nilai kesalahan relatif rata-rata atau *Mean Relative Error* sebesar 1,9% dan nilai korelasi 0,97. Namun verifikasi kecepatan arus antara model dan hasil pengukuran UPT Balai Konservasi Biota Laut Lipi Ambon belum menunjukkan kesesuaian.

Kata Kunci: Simulasi Hidrodinamika, POM (*Princeton Ocean Model*), Teluk Ambon

Abstract

Ambon bay is a narrow bay that has unique bathymetry. Ambon Luar Bay (TAL) depth is 200-600 meters and Ambon Dalam Bay (TAD) is 10 – 40 meters. TAD and TAL are separated by narrow and shallow area that have 1 km in length and 15 meter in depth. Ambon bay used as transportation, fisheries, port, and residency therefore any waste contaminate it. So research about tidal current is needed to understand about distribution of waste. This research used hydrodynamic model *Princeton Ocean Model* (POM), which was simulated from 2-31 October 2008. Input for model is elevation data from *Tide Model Driver* (TMD). To verify the result, the tide observation data from Hawaii University and Badan Informasi Geospasial (BIG) and current from UPT Balai Konservasi Biota Laut LIPI Ambon were used. Verification for elevation values between simulation and observation shows good agreement with mean relative error 1,9 % and correlation value 0,97. Otherwise verification for current velocity is not well matched.

Keywords: Hydrodynamic Simulation, POM, Ambon Bay

I. PENDAHULUAN

Teluk Ambon adalah perairan yang memiliki bentuk morfologi dan batimetri yang khas dimana intensitas penggunaannya baik kawasan pesisir maupun perairannya sangat tinggi. Berdasarkan hasil pengamatan indeks vegetasi wilayah pesisir Teluk Ambon dari tahun 1985 sampai 1993 dengan menggunakan satelit Landsat-5, ternyata dari 23.864 ha lahan yang teramati, sebanyak 2.094 ha lahan vegetasi dikonversi menjadi 415 ha lahan terbuka dan 1.679 ha lahan kritis (Wothuysen dkk, 1996). Menurut Sahubawa (2001), lahan diatas dikonversi menjadi kawasan pemukiman, perkantoran, kawasan ekonomi dan perdagangan terpadu,

industri, hotel, pelabuhan, armada perikanan serta terminal transit Bahan Bakar Minyak (BBM)

Sebagai salah satu perairan yang penting untuk transportasi, perikanan, pelabuhan dan perumahan maka kondisi fisis serta dinamika oseanografi yang terjadi di Teluk Ambon mutlak harus dipahami. Pasang surut, arus laut, dan gelombang merupakan beberapa fenomena dasar yang dipelajari untuk berbagai kebutuhan seperti navigasi, perencanaan pelabuhan, serta prediksi arah penyebaran tumpahan minyak bumi atau sampah domestik.

Untuk memanfaatkan perairan Teluk Ambon dengan maksimal serta mencegah agar pencemaran yang terjadi akibat pembangunan tidak semakin memburuk, maka dibutuhkan suatu penelitian tentang pergerakan massa air di Teluk Ambon. Penelitian ini bisa dimulai dengan melakukan pengukuran dan simulasi kondisi oseanografi sehingga tergambar jelas fenomena pasang surut dan pola arus yang terjadi. Penggabungan metode pengukuran lapangan dan simulasi adalah langkah yang efektif untuk mendapatkan gambaran pasang surut dan pola arus Teluk Ambon secara menyeluruh dengan biaya yang relatif mudah.

Arus laut adalah pergerakan horizontal dan vertikal dari massa air. Arus adalah salah satu proses fisis di laut yang mempengaruhi penyebaran suhu, polutan, nutrien atau sedimen. Arus ini akan membawa material dari tempat dimana material itu berada ke tempat lain. Proses perpindahan atau transpor material akibat arus dinamakan dengan proses adveksi.

Teluk Ambon merupakan teluk yang relatif sempit sehingga secara teoritis, arus yang dominan berkembang adalah arus pasang surut. Berdasarkan hal diatas, arus yang ditinjau untuk simulasi adalah arus yang disebabkan oleh pasang surut.

Arus pasut adalah pergerakan air laut secara horizontal yang dihubungkan dengan naik dan turunnya permukaan air laut yang disebabkan oleh fenomena pasang surut. Menurut Hadi dan Radjawane (2009), gerakan arus pasang surut terbagi 3 yaitu:

1. Gerak rotasi
2. Gerak yang berubah arah (bolak-balik)
3. Tipe Hidrolik

Untuk daerah sungai, estuari, dan teluk, gerakan arus pasut yang terjadi adalah gerakan bolak-balik.

Arus pasang surut yang terjadi Teluk Ambon secara teori dikategorikan kedalam arus pasang surut tipe bolak balik. Arus bergerak masuk kedalam teluk saat menuju pasang dan keluar menuju Laut Banda saat menuju surut.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Deskripsi Teluk Ambon

Teluk Ambon terletak dikoordinat $3^{\circ} 37,42' - 3^{\circ} 46,43' \text{ LS}$ dan $128^{\circ} - 128^{\circ} 14,8' \text{ BT}$. Teluk Ambon terdiri atas Teluk Ambon Dalam (TAD) dan Teluk Ambon Luar (TAL). TAD memiliki luas $\pm 11.497,5 \text{ km}^2$ dengan kedalaman maksimum 41 meter. TAL memiliki luas $\pm 120.723,8 \text{ km}^2$ dengan kedalaman maksimum $\pm 600 \text{ m}$. Teluk Ambon terbagi dua oleh suatu daerah sempit dengan panjang 1 km dan lebar 0,5 km serta kedalaman $\pm 15 \text{ m}$ yang terletak antara Galala dan Rumah Tiga (lihat Gambar 1). Teluk Ambon berbatasan dengan Laut Banda dan Pulau Haruku disebelah Timur, Laut Banda di sebelah Barat dan Selatan, dan Teluk Piru disebelah Utara.

Berdasarkan penelitian Asyiwati (2010), ada 42 sungai yang bermuara ke Teluk Ambon dan 25 diantaranya terus mengalir sepanjang tahun. Sungai-sungai yang

bermuara ke Teluk Ambon membawa senyawa organik dan anorganik serta sampah. Perubahan tata guna lahan menyebabkan input tersebut seperti limbah rumah tangga, industri, pertanian dan lain-lain ke sungai semakin meningkat. Kondisi ini menyebabkan Teluk Ambon rentan terhadap kondisi kerusakan lingkungan.

2.2. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi data input dan data verifikasi. Data input adalah data yang akan dimasukkan kedalam model sedangkan data verifikasi digunakan untuk menguji kebenaran hasil model.

2.2.1. Data Input

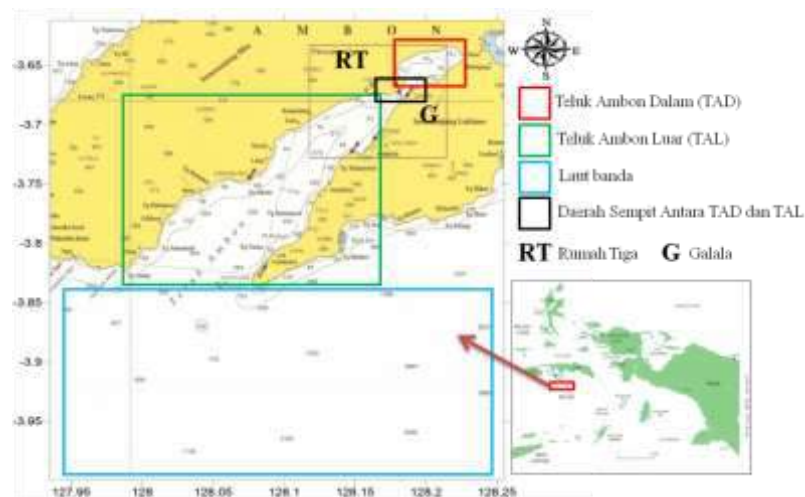
Data input yang digunakan untuk simulasi model hidrodinamika adalah data batimetri daerah model dan data elevasi pasang surut yang diletakkan dibatas model.

a. Batimetri

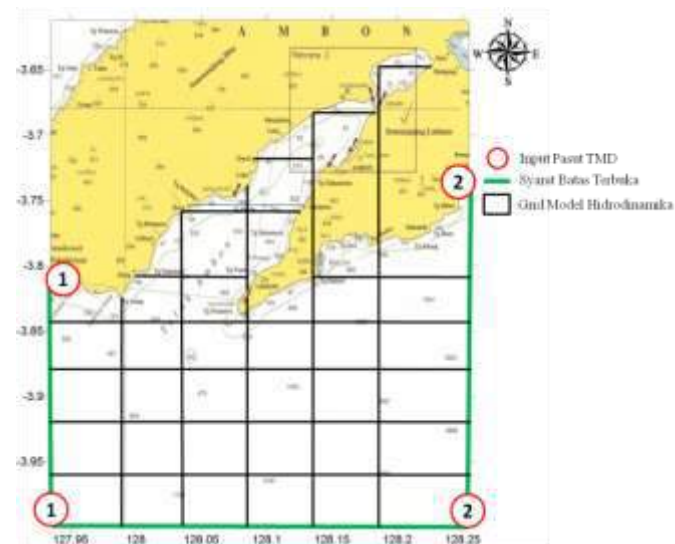
Data garis pantai dan batimetri Teluk Ambon yang digunakan berasal dari peta Dihidros TNI AL No 49 tahun 2002 (Gambar 2). Peta didigitasi menggunakan perangkat lunak ArcGIS 9.3. Nilai batimetri di Laut Banda kurang detail karena skala peta yang hanya 1:200.000. Solusi untuk permasalahan ini adalah dengan memadukan nilai batimetri peta dengan batimetri dari perangkat lunak GEBCO yang memiliki resolusi 30 detik (942 x 942 meter). Seluruh nilai batimetri lalu diinterpolasi menggunakan perangkat lunak ArcGIS 9.3 dengan resolusi sesuai dengan desain model. Metode interpolasi yang digunakan adalah krigging. Langkah terakhir adalah dengan melakukan *smoothing* nilai kedalaman secara manual berdasarkan keadaan batimetri dipeta Dishidros.

b. Elevasi Pasang Surut

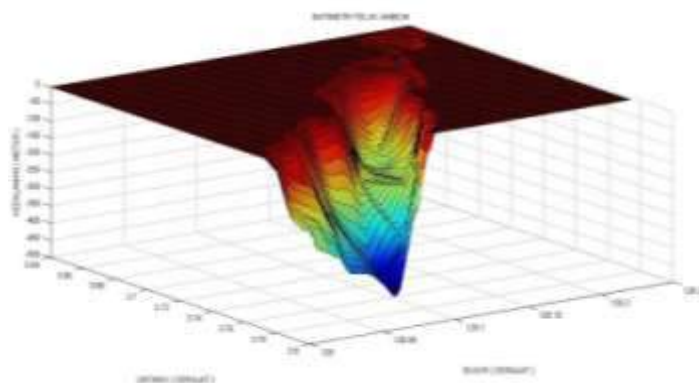
Data input elevasi pasang surut dibatas model didapatkan dari hasil peramalan perangkat lunak TMD (Tide Model Driver) versi 1.2 tahun 2005 yang dikembangkan oleh Laurie Padman dan Erofeeva (2005). Data diambil pada koordinat $127^{\circ} 56,02'$ BT dan $3^{\circ} 59,6'$ LS dan koordinat $128^{\circ} 14,1'$ BT dan $3^{\circ} 59,6'$ LS. Nilai elevasi antara dua koordinat ini diinterpolasi menggunakan metode interpolasi linier.



Gambar 1. Daerah Kajian di Teluk Ambon
(Sumber : Peta Dishidros TNI AL No 49 tahun 2002 dan <http://www.papuaweb.org/gb/peta/sketsa.html>)



Gambar 2. Peta Batimetri Teluk Ambon dan
Desain Model Hidrodinamika
Sumber : Peta Dishidros TNI AL No 49 tahun 2002



Gambar 3. Batimetri 3 Dimensi Teluk Ambon Tampak Depan

2.2.2. Data Verifikasi

a. Data Verifikasi Pasang Surut

Verifikasi pasang surut hasil model menggunakan data pengukuran tiap jam yang dilakukan oleh Universitas Hawaii dan Badan Informasi Geospasial (BIG) dalam GLOSS/CLIVAR Project yang bisa didownload di situs <http://uhslc.soest.hawaii.edu/data/rqh>. Pengukuran menggunakan alat ukur elevasi pasang surut analog Fischer and Porter 1550.

Data hasil pengukuran merupakan data mentah sehingga tidak terlihat titik nol atau duduk tengah. Untuk itu dicari duduk tengah data atau komponen S0 pasang surut dengan menggunakan perangkat lunak T-Tide. Data lapangan hasil pengukuran dikurangi dengan duduk tengah hasil perhitungan dan dikonversi kedalam satuan meter. Untuk verifikasi elevasi pasang surut model, terdapat satu stasiun yang bisa digunakan yaitu Stasiun 133 yang berlokasi di Pelabuhan Ambon, Ambon dengan koordinat $128^{\circ} 10,97'$ BT dan $3^{\circ} 40,97'$ LS (lihat Gambar 4).

b. Data Verifikasi Arus

Data verifikasi arus mengacu kepada hasil pengukuran UPT Balai Konservasi Biota Laut LIPI Ambon pada tanggal 15 Oktober 2008. Pengukuran menggunakan current meter yang diproduksi perusahaan ALEC.Ltd. Pengukuran arus dilakukan di 17 titik (lihat Gambar 4) mulai dari permukaan sampai pada kedalaman 50 meter (kedalaman maksimum alat) dengan selang waktu perekaman data adalah 1 detik.

Sebelum melakukan verifikasi, data kecepatan arus hasil pengukuran dipisah kedalam arah x dan y lalu dirata-ratakan dari permukaan sampai kedalaman 50 meter dan dikonversi kedalam satuan meter/detik. Perata-rataan data lapangan dilakukan karena output model hidrodinamika POM adalah arus yang dirata-ratakan terhadap kedalaman.

2.3. Desain Model Hidrodinamika

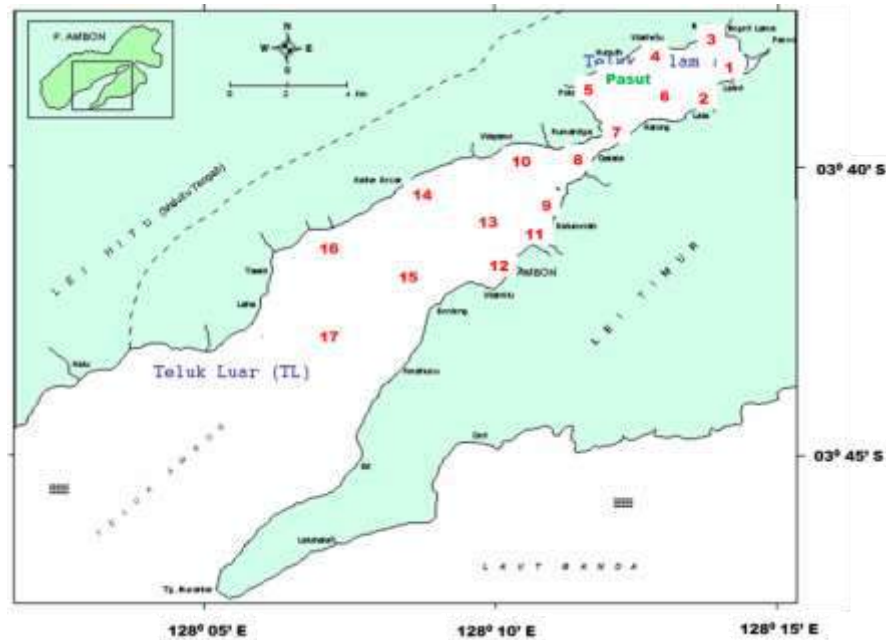
Simulasi hidrodinamika menggunakan model hidrodinamika 2D dengan perata-rataan terhadap kedalaman yang terdapat didalam *Princeton Ocean Model* (POM). Daerah kajian dibatasi pada koordinat $127^{\circ} 56,02' - 128^{\circ} 14,1'$ BT dan $3^{\circ} 37,6' - 3^{\circ} 59,6'$ LS. Ukuran grid yang digunakan adalah $\Delta x = \Delta y = 250$ meter. Total grid yang digunakan adalah 135×164 grid dengan luas daerah kajian yaitu $1383,75 \text{ km}^2$ (lihat Gambar 2). Selang waktu Δt yang digunakan adalah 0,1 detik yang dipilih berdasarkan perhitungan syarat kestabilan CFL (*Courant Friedrichs Lewy*).

Gaya pembangkit yang ditinjau hanya pasang surut. Data elevasi pasang surut dibatas terbuka (lihat Gambar 2) didapatkan dari perangkat lunak TMD (Tide Model Driver) versi 1.2 tahun 2005 yang dikembangkan oleh Padman dan Erofeeva (2005). Data elevasi TMD diambil selama 33 hari dari tanggal 2 Oktober 2008 sampai 3 November 2008 dengan selang waktu 1 jam. Dalam pengerjaan model, data elevasi akan diinterpolasi sesuai kebutuhan Δt yang digunakan. Interpolasi data elevasi pasang surut menggunakan metode interpolasi *spline cubic*. Data elevasi menggunakan 8 komponen pasang surut yaitu M2, S2, K1, O1, N2, P1, K2, Q1.

Model dijalankan selama 30 hari dari tanggal 2 - 31 Oktober 2008. Dalam pengolahan data hasil model, data tiga hari pertama dibuang karena dianggap hasil model masih kurang stabil sehingga data yang dihasilkan kurang bagus.

Data hasil model dikeluarkan dalam dua tipe yaitu tipe *time series* dan spasial. Keluaran dalam bentuk *time series* diatur agar model mengeluarkan nilai elevasi dan kecepatan arus tiap jam di titik yang ditentukan. keluaran dalam bentuk spasial diatur

agar model mengeluarkan nilai elevasi dan kecepatan arus disemua grid pada beberapa waktu tertentu. Waktu yang dipilih adalah waktu yang menunjukkan periode satu kali pasang dan satu kali surut pada kondisi pasang surut sedang perbani dan purnama. Data ini digunakan untuk visualisasi kondisi spasial Teluk Ambon.



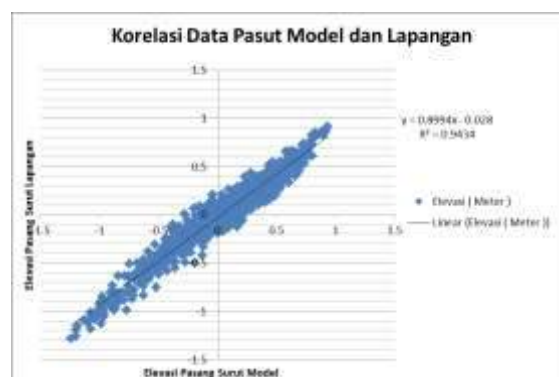
Gambar 4. Peta Lokasi Pengambilan Data Verifikasi dan Stasiun Pasut
(Sumber : LIPI Ambon, 2008)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Verifikasi

3.1.1. Elevasi Pasang Surut

Verifikasi elevasi model dilakukan di satu stasiun verifikasi yaitu Stasiun 133 yang berlokasi di Pelabuhan Ambon, Ambon. Pelabuhan Ambon berada pada koordinat $128,183^{\circ}$ BT dan $3,683^{\circ}$ LS. Verifikasi dilakukan pada tanggal 2-31 Oktober 2008 menggunakan dua metode statistik yaitu *Mean Relative Error* (MRE) dan korelasi linier. Metode *Mean Relative Error* akan menghasilkan nilai kesalahan rata-rata dengan mencari nilai kesalahan model relatif terhadap data lapangan.



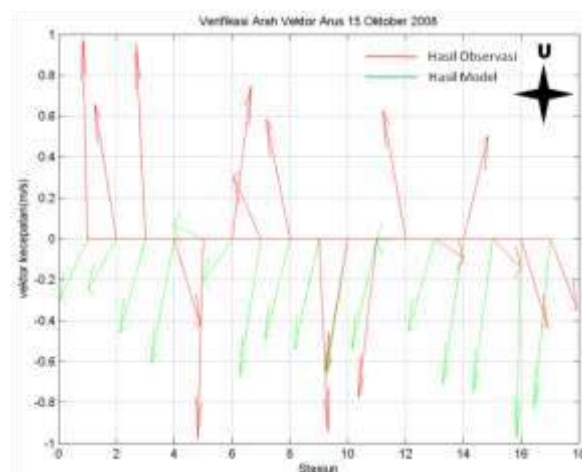
Gambar 5. Hasil Korelasi Linier Data Pasut Model dan Data Lapangan

Korelasi linier akan mencari nilai kesesuaian antara data lapangan dengan data model dengan melinierkan sebaran data kedalam satu garis linier dan dicari nilai kepercayaan data (determinasi). Akar dari determinasi akan menjadi nilai korelasi yang menunjukkan sifat hubungan atau bisa disebut fase antara data lapangan dan data model.

Data hasil model dibandingkan dengan data lapangan dan didapatkan nilai *mean relative error* sebesar 1,9 % dimana hal ini menunjukkan bahwa model memberikan nilai yang sangat mirip dengan data lapangan. Untuk fase telah memperlihatkan adanya kesamaan fase antara model dan lapangan yang dibuktikan dengan nilai korelasi (akar dari R^2) antara elevasi model dan data lapangan yaitu 0.971 (lihat Gambar 5).

3.1.2. Arus

Verifikasi arus dilakukan di 17 titik hasil pengukuran UPT Balai Konservasi Biota Laut LIPI Ambon (lihat Gambar 4). Stasiun 1-7 berada di Teluk Ambon Dalam dan sisanya berada di Teluk Ambon Luar. Pengukuran dilakukan pada tanggal 15 Oktober 2008 pada pukul 08:30 – 11:30 WIT. Gambar 6 memperlihatkan vektor arah arus sesaat antara hasil model (warna hijau) dan observasi (warna merah). Arah nol derajat berada di sumbu x positif (arah timur) dan nilai derajat membesar berlawanan arah jarum jam.



Gambar 6. Verifikasi Arah Arus Hasil Model dan Observasi

Hasil verifikasi menunjukkan dari 17 stasiun, hanya 3 stasiun yang perbedaan arah arus antara observasi dan model dibawah 45 derajat dan 6 stasiun yang arah arusnya berbeda antara 45 – 90 derajat. Hal ini disebabkan karena arus hasil observasi merupakan arus total yang didalamnya terdapat efek angin permukaan, input dari sungai dan Laut Banda, serta bentuk morfologi Teluk Ambon. Selain itu menurut Hamzah dan Wenno (1987), arus yang direkam bersama-sama dengan arus pasang surut di Teluk Ambon adalah arus yang disebabkan oleh pertukaran massa air antara Teluk Ambon dan Laut Banda. Hal inilah yang menyebabkan simulasi saat ini belum terlalu baik menggambarkan pola arus di Teluk Ambon. Penambahan variabel seperti yang dijelaskan diatas sangat dibutuhkan untuk simulasi selanjutnya agar simulasi bisa mendekati keadaan aslinya. Melakukan pengukuran arus pasang surut selama 25 jam juga bisa menjadi salah satu solusi untuk mendapatkan hasil verifikasi yang lebih baik.

Selain permasalahan diatas, desain kecepatan arus di tiga syarat batas terbuka model juga memberikan kontribusi sehingga hasil simulasi arus masih belum sesuai harapan terutama di daerah mulut Teluk Ambon Luar. Arus yang diharapkan di mulut Teluk adalah bergerak dari Laut Banda memasuki Teluk Ambon dengan arah utara-selatan saat surut menuju pasang dan bergerak dari Teluk Ambon Luar menuju Laut Banda saat pasang menuju surut. Akan tetapi hasil simulasi memperlihatkan bahwa saat surut menuju pasang di Laut Banda, arus bergerak dari timur ke barat lalu sedikit memasuki Teluk Ambon Luar kemudian kembali keluar menuju Laut Banda dan terus mengalir ke barat. Sebaliknya terjadi saat kondisi pasang menuju surut.

Penanganan syarat batas terbuka untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dapat dilakukan dengan pemilihan jenis syarat batas yang lebih sesuai seperti penggunaan syarat batas radiasi, gradien dan lain-lain serta pengaturan posisi grid input yang sesuai.

3.2. Simulasi Model Hidrodinamika

Hasil simulasi model hidrodinamika berupa elevasi pasang surut dan kecepatan arus yang dirata-ratakan terhadap kedalaman. Perata-rataan terhadap kedalaman menggunakan asumsi nilai kecepatan arus dipermukaan sampai ke dasar dianggap sama.

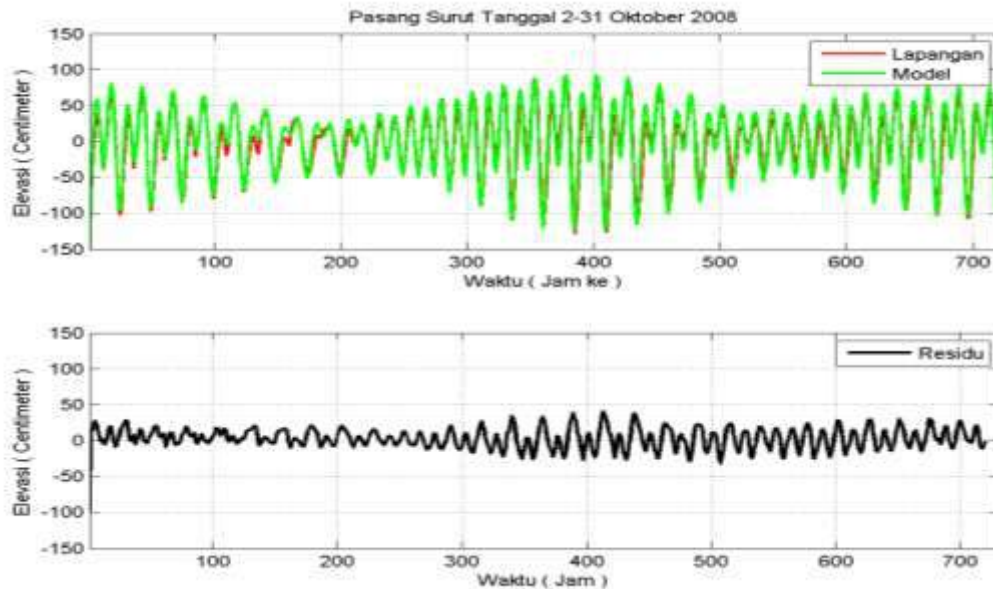
Nilai elevasi pasang surut hasil model memperlihatkan perbedaan yang kecil sekali antara grid yang satu dengan grid yang lain. Hal ini terjadi karena ukuran daerah kajian yang jauh lebih kecil dari pada panjang gelombang pasang surut sehingga nilai elevasi input dibatas timur dengan elevasi di batas barat tidak jauh berbeda dengan selisih maksimal yaitu 3,78 cm. Bila kita tinjau nilai elevasi antara Teluk Ambon Dalam dan Teluk Ambon Luar, maka untuk beberapa waktu tertentu, terjadi perbedaan yang cukup besar apalagi pada saat kondisi pasut purnama. Perbedaan nilai elevasi ini bisa mencapai 0,14 meter. Hal ini terjadi akibat adanya daerah yang menyempit dan dangkal diperbatasan TAD (Teluk Ambon Dalam) dan TAL (Teluk Ambon Luar) yang menyebabkan aliran massa air yang masuk atau keluar teluk tidak mengalir dengan lancar sehingga terjadi perbedaan elevasi.

3.2.1. Simulasi Pasang Surut

3.2.1.1. Kondisi Pasut Purnama

Kondisi pasut purnama terbagi dua yaitu saat bulan purnama dan saat bulan baru. Kondisi pasut pada dua tipe bulan ini menghasilkan nilai tunggang pasut yang tinggi. Hal ini disebabkan posisi bumi, bulan dan matahari yang segaris sehingga gaya tarik gravitasional dalam keadaan maksimum. Tunggang pasut tertinggi dihasilkan pada saat bulan baru yaitu sebesar 2,15 meter sedangkan pengukuran lapangan sebesar 2,19 meter. Tunggang pasut saat bulan purnama sebesar 1.80 meter dan pengukuran lapangan sebesar 1,69 meter (lihat Gambar 7). Saat bulan baru (17 -18 Oktober 2008), selisih elevasi tertinggi antara TAL dan TAD adalah 13,9 cm yang terjadi saat kondisi pasang menuju surut. Ini merupakan selisih tertinggi selama hasil simulasi dimana elevasi di TAD lebih tinggi dari pada TAL. Hal ini terjadi karena saat pasang menuju surut, massa air akan bergerak keluar dari TAD menuju TAL dan dari TAL menuju Laut Banda. Daerah menyempit dan dangkal menyebabkan kecepatan massa air meninggalkan TAL menuju Laut Banda jauh lebih cepat dari pada TAD menuju TAL sehingga elevasi di TAL sudah rendah akan tetapi di TAD masih tinggi.

Saat bulan purnama (29-30 Oktober 2008), selisih nilai elevasi tertinggi antara TAD dan TAL adalah 9,45 cm yang terjadi saat kondisi surut menuju pasang). Nilai selisih ini merupakan yang terbesar kedua selama simulasi. Kondisi ini terjadi karena saat surut menuju pasang, massa air akan bergerak dari Laut Banda menuju TAL dan dari TAL menuju TAD. Daerah perbatasan yang sempit dan dangkal menyebabkan aliran massa air dari TAL menuju TAD terhambat sehingga menimbulkan perbedaan elevasi akibat tidak samanya volume air di TAL dan TAD.



Gambar 7. Verifikasi Hasil Model dengan Data Lapangan Pengukuran Universitas Hawaii dan Bakosurtanal Untuk Satu Bulan

3.2.1.2. Kondisi Pasut Perbani

Kondisi pasut perbani terbagi dua yaitu $\frac{1}{4}$ bulan pertama atau pada fase antara bulan baru menuju bulan purnama dan $\frac{3}{4}$ bulan terakhir atau pada fase antara bulan purnama menuju bulan baru. Kondisi pasut pada dua tipe bulan ini menghasilkan nilai tunggang pasut yang kecil karena posisi bumi, bulan dan matahari yang membentuk sudut 90° sehingga gaya tarik gravitasinya minimum. Tunggang pasut yang dihasilkan pada saat $\frac{1}{4}$ bulan pertama yaitu sebesar 0.97 meter sedangkan pengukuran lapangan sebesar 0.72 meter dan tunggang pasut saat $\frac{3}{4}$ bulan terakhir adalah sebesar 0.71 meter dimana pengukuran lapangan menunjukkan 0,69 meter (lihat Gambar 7). Saat $\frac{1}{4}$ bulan pertama (23-24 Oktober 2008), selisih elevasi tertinggi antara TAL dan TAD adalah 6,63 cm yang terjadi saat kondisi surut menuju pasang. Sedangkan saat $\frac{3}{4}$ bulan terakhir (9-10 Oktober 2008), selisih elevasi tertinggi antara TAD dan TAL adalah 4 cm yang terjadi pada kondisi surut menuju pasang.

3.2.2. Simulasi Arus

3.2.2.1. Kondisi Pasut Purnama

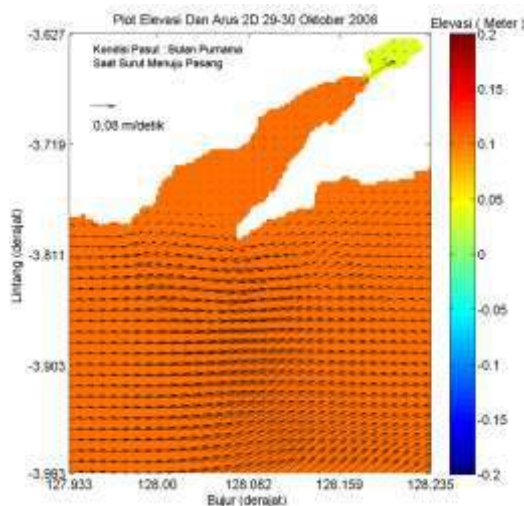
Kondisi Surut Menuju Pasang

Saat surut menuju pasang, elevasi di TAL lebih tinggi dari pada di TAD dengan selisih 6,5 cm saat bulan purnama dan 8,3 cm saat bulan baru. Perbedaan tinggi muka air ini menyebabkan arus bergerak dari TAL menuju TAD. Kecepatan arus

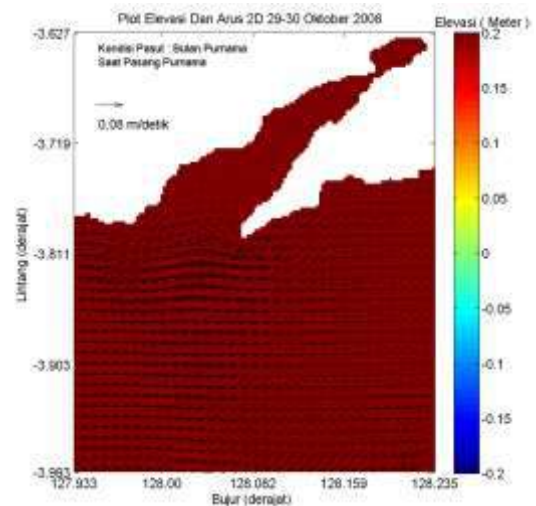
yang terjadi adalah 9,92 cm/s saat bulan purnama dan 11,2 cm/s saat bulan baru dengan kecepatan tertinggi terjadi di daerah menyempit (lihat Gambar 8). Arus bergerak dari barat menuju timur di Laut Banda dan di mulut Teluk Ambon, arus bergerak memasuki TAL dan menuju TAD. Akibat batimetri dan morfologi teluk, arus tidak sepenuhnya bergerak memasuki Teluk Ambon dan di mulut teluk ada sebagian arus yang keluar kembali ke Laut Banda.

Kondisi Pasang Tertinggi

Saat pasang tertinggi, masih terjadi perbedaan elevasi antara TAL dan TAD. Selisih elevasinya adalah 1,9 cm saat bulan purnama dan 1,04 cm saat bulan baru. Perbedaan yang kecil ini masih mampu menimbulkan arus yang bergerak dari TAL menuju TAD dengan kecepatan 9,2 cm/s saat bulan purnama dan dari TAD menuju TAL dengan kecepatan 9,6 cm/s saat bulan baru (Lihat Gambar 9). Perbedaan ini terjadi karena kurang tepatnya pengambilan waktu culik. Akan tetapi secara garis besar, saat kondisi pasang tertinggi dimana seharusnya arus dalam keadaan diam, akan tetapi masih bergerak masuk atau keluar akibat perbedaan elevasi antara TAL dan TAD.



Gambar 8. Pola Elevasi dan Arah Arus Pasang Surut Saat Surut Menuju Pasang Purnama



Gambar 9. Pola Elevasi dan Arah Arus Pasang Surut Saat Pasang Puncak Purnama

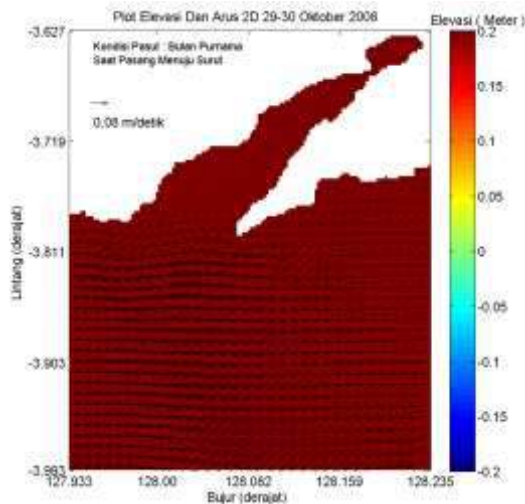
Kondisi Pasang Menuju Surut

Saat pasang menuju surut, terjadi kembali perbedaan elevasi antara TAD dan TAL yaitu 9,2 cm saat bulan purnama dan 13,93 cm saat bulan baru. Selisih ini merupakan yang terbesar selama 1 bulan simulasi (lihat Gambar 10). Hal ini terjadi karena massa air di TAL lebih dahulu meninggalkan TAL menuju Laut Banda sehingga elevasinya menurun sedangkan massa air dari TAD dimana elevasinya masih tinggi, kemudian keluar menuju TAL dengan debit yang kecil akibat harus melewati celah yang sempit. Ketidakseimbangan antara massa air yang keluar dari TAL ke Laut Banda dan massa air yang mengisi TAL dari TAD menyebabkan perbedaan elevasi yang besar.

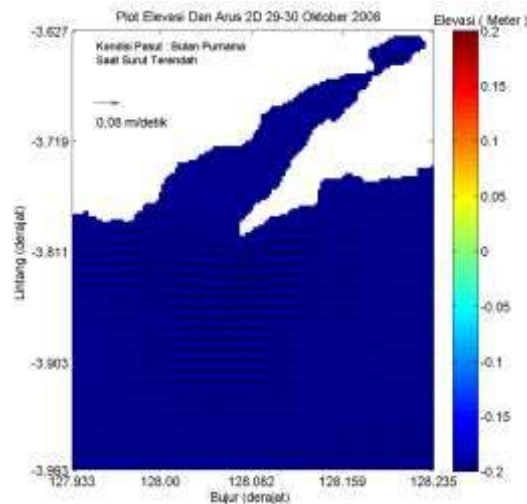
Perbedaan elevasi yang besar menyebabkan kecepatan arus yang dihasilkan sangat cepat yaitu 14,03 cm/s saat bulan purnama dan 19,04 cm/s saat bulan baru yang terjadi di depan mulut Teluk Ambon.

Kondisi Surut Terendah

Saat surut terendah, elevasi di TAL lebih tinggi dari pada TAD dengan selisih 7,2 cm saat bulan purnama dan 7,5 cm saat bulan baru. Pada saat ini kondisi sedang menuju pasang sehingga arus mulai bergerak dari laut banda menuju Teluk Ambon dengan kecepatan 10,7 cm/s saat bulan purnama dan 11,2 cm/s saat bulan baru (lihat Gambar 11).



Gambar 10. Pola Elevasi dan Arah Arus Pasang Surut Saat Pasang Menuju Surut Purnama



Gambar 11. Pola Elevasi dan Arah Arus Pasang Surut Saat Surut Terendah Purnama

3.2.2.2. Kondisi Pasut Perbani

Kondisi Surut Menuju Pasang

Saat surut menuju pasang, elevasi di TAL lebih tinggi dari pada di TAD dengan selisih 6,63 cm saat $\frac{1}{4}$ bulan awal dan 4,01 cm saat $\frac{3}{4}$ bulan terakhir. Perbedaan ini tidak sebesar saat pasang purnama karena gaya gravitasi bulan yang menggerakkan massa air tidak sekuat saat pasut purnama. Selisih ini merupakan yang terbesar selama simulasi pada kondisi pasut perbani. Perbedaan tinggi muka air ini menyebabkan arus bergerak dari TAL menuju TAD dengan kecepatan adalah 9,2 cm/s saat $\frac{1}{4}$ bulan awal dan 6,7 cm/s saat $\frac{3}{4}$ bulan terakhir yang terjadi di perbatasan TAL dan TAD dan di depan mulut teluk (lihat Gambar 12).

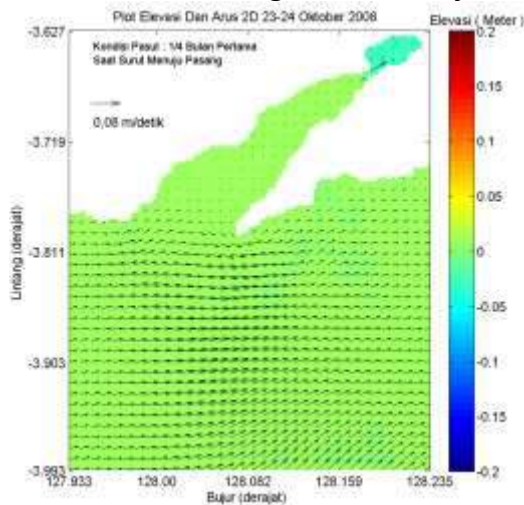
Kondisi Pasang Tertinggi

Saat pasang tertinggi, tetap terjadi perbedaan elevasi antara TAD dan TAL dimana selisihnya adalah 0,7 cm saat $\frac{1}{4}$ bulan awal dan 1,06 cm saat $\frac{3}{4}$ bulan terakhir. Perbedaan ini menyebabkan terjadinya arus yang bergerak dari TAD menuju TAL (lihat Gambar 13) dengan kecepatan berkisar 1,5 cm/s saat $\frac{1}{4}$ bulan awal dan 0,8 cm/s saat $\frac{3}{4}$ bulan terakhir.

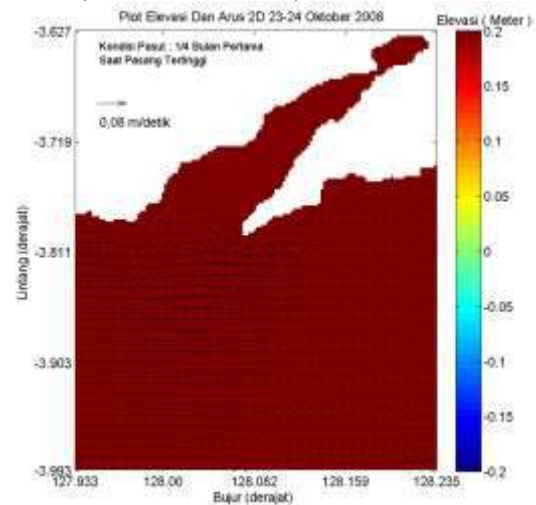
Kondisi Pasang Menuju Surut

Saat pasang menuju surut, perbedaan elevasi kembali terjadi antara TAD dan TAL yaitu 4,8 cm saat $\frac{1}{4}$ bulan awal dan 3,3 cm saat $\frac{3}{4}$ bulan akhir. Perbedaan ini terjadi akibat fenomena yang sama pada saat pasut purnama. Perbedaan elevasi ini

menyebabkan arus dengan kecepatan 8,3 cm/s saat $\frac{1}{4}$ bulan pertama dan 6,8 cm/s saat $\frac{3}{4}$ bulan terakhir dengan arah menuju Laut Banda (lihat Gambar 14).



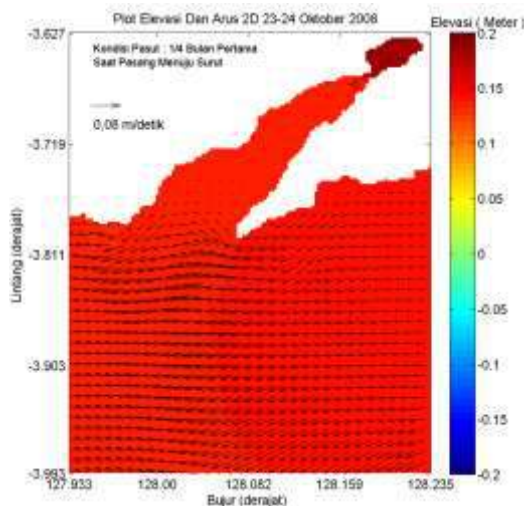
Gambar 12. Pola Elevasi dan Arah Arus Pasang Surut Saat Surut Menuju Pasang Perbani



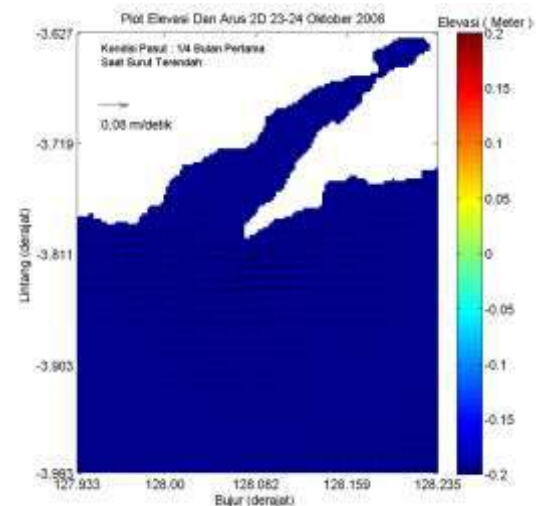
Gambar 13. Pola Elevasi dan Arah Arus Pasang Surut Saat Pasang Puncak Perbani

Kondisi Surut Terendah

Saat surut terendah, elevasi di TAL lebih tinggi dari pada TAD sehingga arus bergerak dari TAL menuju TAD. Selisih elevasi antara TAL dan TAD adalah 4,03 cm saat $\frac{1}{4}$ bulan pertama dan 3,68 cm saat $\frac{3}{4}$ bulan terakhir. Selisih ini menyebabkan terjadinya arus dengan kecepatan 6,0 cm/s saat $\frac{1}{4}$ bulan pertama dan 5,6 cm/s saat $\frac{3}{4}$ bulan terakhir (lihat Gambar 15).



Gambar 14. Pola Elevasi dan Arah Arus Pasang Surut Saat Pasang Menuju Surut Perbani



Gambar 15. Pola Elevasi dan Arah Arus Pasang Surut Saat Surut Terendah Perbani

IV. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi model yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil simulasi elevasi pasang surut memperlihatkan kesesuaian fasa antara model dan observasi yang ditunjukkan dengan nilai korelasi sebesar 0,97 dan nilai kesalahan yang kecil yang dibuktikan dengan nilai MRE 1,9 %. Namun Verifikasi kecepatan arus antara model dan data observasi masih belum sesuai baik arah maupun nilai kecepatan.
2. Arus pasut bergerak dari TAL menuju TAD saat surut menuju pasang dan bergerak dari TAD menuju TAL saat pasang menuju surut.
3. Penerapan syarat batas terbuka di dalam tugas akhir ini sudah mampu menghasilkan simulasi elevasi pasang surut yang baik, namun masih belum baik untuk simulasi arus.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E., L. D. Gates, dan F. H. Widodo, 2003, Variability of Indonesian Rainfall and the influence of ENSO and Resolution in ECHAM4 Simulation and in the Reanalysis, MPI Report 346, 30pp.
- Asyiwati, Y., 2012, *Analisis Status Ekosistem Pesisir Bagi Penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah Pesisir di Kawasan Teluk Ambon*, Tesis, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Hadi, S., dan I. M. Radjawane, 2009, *Arus Laut*, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Hamzah, M.S., dan L.F. Wenno, 1987, Sirkulasi Arus Teluk Ambon, dalam Soemodihardjo. S, S. Birowo, dan K. Romimohtarto, *Teluk Ambon, Biologi, Perikanan, Oseanografi, dan Geologi* (hal 91–101), LIPI, Ambon.
- Kowalik, Z., dan T.S. Murty, 1993, Numerical Modelling of Ocean Dynamics, Advance Series on Ocean Engineering, vol 5, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore.
- Laporan Monitoring Teluk Ambon 2008 UPT Balai Konservasi Biota Laut, LIPI Ambon
- Padman, L., dan S. Erofeeva, 2005, Tide Model Driver (TMD) Manual
- Ramming, H.G., dan Z. Kowalik, 1980 Numerical Modelling of Marine Hydrodynamic; Application to Dynamic Physical Processes, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Sahubawa, L., 2001, Dampak Pembuangan Limbah Terhadap Perubahan Kualitas Oseanografi Biofisik-Kimia dan Produksi Ikan Teri (*Stolephorus spp.*) di Perairan Laut Teluk Ambon, *Manusia dan Lingkungan*, **8(1)**:15-29
- Wouthuyzen, S., W. Hutahehan, dan H. P. Indarto, 1996, Pemantauan Indeks Vegetasi Pulau Ambon serta Kaitannya dengan Kondisi Lingkungan Perairan Teluk Ambon, *Prosiding Seminar dan Lokakarya Pengelolaan Teluk Ambon*, hal. 234-249, Ambon
- Yustiani, Y.M., 2000, *Model Dua Dimensi Penyebaran Ammonium, Nitrit, dan Nitrat di Perairan Pantai Semarang dengan Persamaan Kinetik Orde Satu Thoman*,

Tesis Magister, Bidang Khusus Teknik Pengelolaan Lingkungan, Program Magister Teknik Lingkungan, ITB, Bandung

<http://id.wikipedia.org/wiki/Fotosintesis>(Tanggal : 17 Juni 2011)

<http://kuliahitukeren.blogspot.com/2011/03/hubungan-zooplankton-dengan.html>(
Tanggal : 16 Juni 2011)

http://maps.google.co.id/maps?hl=id&biw=1366&bih=677&gbv=2&q=teluk%20ambon&gs_sm=e&gs_upl=167114514101121121014141011881119411.7&ie=UTF-8&sa=N&tab=il(Tanggal : 19 Mei 2011)

<http://www.oocities.org/ambon67/pics/maluku.jpg>(Tanggal : 16 Juni 2011)

<http://id.wikipedia.org/wiki/Maluku>(Tanggal : 16 Juni 2011)

http://books.google.co.id/books?id=jSQFxmjo3cC&pg=PA35&dq=coastal+oceanography+chapter+5+residual+flow&hl=id&ei=OYX8TdECYzOrQeq2dzgDw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCcQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false (Tanggal : 18 Juni 2011)

https://www.meted.ucar.edu/sign_in.php?go_back_to=http%253A%252F%252Fwww.meted.ucar.edu%252Foceans%252Fcurrents%252Fmedia%252Fgraphics%252Fstanding_wave.jpg##(Tanggal : 18 Juni 2011)

http://www.dephut.go.id/INFORMASI/INTAG/Peta%20Tematik/Hph_03/Maluku.gif
(Tanggal : 21 Juni 2011)

http://www.fishsource.org/system/resource/image_path/154/large/Food_Web.png(
Tanggal : 22 Juni 2011)

http://id.wikipedia.org/wiki/Siklus_nitrogen(Tanggal : 19 Maret 2012)

<http://zonabawah.blogspot.com/2011/04/proses-amonifikasi-nitrifikasi-dan.html>(
Tanggal : 19 Maret 2012)