

## USAHA AWAL PENGEMBANGAN DAN VALIDASI MODEL HIDRODINAMIKA DI LAUT UTARA JAWA; DERIVATIF MODEL DETAIL PASANG SURUT DARI MODEL SOUTH CHINA SEA

### INITIAL EFFORT OF DEVELOPING AND VALIDATING HYDRODYNAMIC MODEL IN THE NORTH JAVA SEA; NESTED TIDAL MODEL OF SOUTH CHINA SEA MODEL

Huda Bachtiar<sup>1)</sup>, Leo Sembiring<sup>2)</sup>

<sup>2)</sup> Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum  
Jl. Ir. H. Juanda 193 Bandung, Jawa Barat, Indonesia  
Email: huda.bachtiar@gmail.com

Diterima: 10 Maret 2015; Direvisi: Maret 2015; Disetujui: 4 November 2015

#### ABSTRAK

*Pengembangan model sistem dapat digunakan untuk monitoring kondisi perairan maupun dapat digunakan sebagai prediksi kondisi perairan di masa yang akan datang. Model sistem global yang terverifikasi menunjukkan tingkat kepercayaan suatu model. Pengembangan model sistem global Pantai Utara Jawa (Model North Java sea/Model NJV) merupakan salah satu dukungan terkait upaya pengembangan kawasan pantai terpadu di Jakarta (Program National Capital Integrated Coastal Development/Program NCICD). Model NJV merupakan model resolusi lebih detail dari model South China Sea (model SCS) yang dikembangkan oleh Riset Institut Deltares, Belanda. Sebagai langkah awal, pembangkit utama di batas terbuka model adalah elevasi pasang surut dengan komponen pasut O1, P1, K1, N2, M2, S2, dan K2. Validasi model dilakukan di tiga stasiun; di Teluk Jakarta, Indramayu, dan Porong. Hasil simulasi elevasi pasut secara umum menunjukkan tendensi yang hampir serupa dengan data pengamatan, dimana elevasi pasang surut berada di fase yang sama dengan data pengamatan dan amplitudo pasut lebih rendah dibandingkan dengan data pengamatan dengan perbedaan sekitar 0.07-0.10 m. Verifikasi arus pasut dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan data TMD yang memiliki komponen pasut yang sama, dimana model TMD merupakan model yang terverifikasi secara global. Dengan jumlah komponen pasut yang sama hasil simulasi menunjukkan arah arus pasut dominan cenderung memiliki arah yang sama dengan data TMD, walaupun magnitudo arus untuk hasil simulasi lebih kecil dengan data TMD perbedaan rata-rata sekitar 0.01 m/det.*

**Kata Kunci:** Model Sistem, Validasi Model, Model Hidrodinamika, Sirkulasi Arus Laut, Monitoring Pantai

#### ABSTRACT

*Knowledge of hydrodynamic condition in global circulation of marine current is quite essential to understand the coastal dynamic. Numerical model is a tool to conceive the global circulation of marine currents. The utility of developing model system is both to monitor the sea condition and to predict the marine current condition in the future. The model system which is already verified will indicate the level of accuracy. Therefore, the verification model is necessary to be conducted. Developing of North Java Sea model is expected to support National Capital Integrated Coastal Development Program (NCICD Program). NJV model is the nested model of model SCS. Tidal is the main forcing of this model, where the tidal component in the model is O1, P1, K1, N2, M2, S2, and K2. The validation model is conducted in three stations; Pasar Ikan-Jakarta, Indramayu, and Porong. Water level of simulation results yield nearly similar tidal signal with observation data about 0.07-0.10 m and it is quite satisfaction results. Verification of tidal current showed that the simulation results have nearly the same dominant direction of tidal current with TMD data. Eventhough, the magnitude different of simulation result is smaller about 0.01 m/sec. This is probably related with the grid resolution of NJV model and TMD.*

**Key words:** Model System, Validation Model, Hydrodynamic Model, Marine Current Circulation, Coastal Monitoring

#### PENDAHULUAN

Monitoring pantai secara *real-time* di kawasan perairan laut Indonesia merupakan visi yang harus mulai dikembangkan secara sistematis. Pemberian informasi yang akurat tentang kondisi suatu kawasan laut akan memberikan manfaat yang sangat besar, seperti memberikan info waktu ideal untuk melakukan pelayaran, identifikasi permasalahan pantai akibat sedimentasi, sebaran

polutan di suatu perairan, identifikasi rip current berdasarkan profil batimetri, dan mitigasi bahaya banjir akibat banjir rob dari arah laut (Leo dkk, 2014).

Pengembangan model sistem global telah banyak dikembangkan saat ini. Barnard dkk. (2009) mengembangkan monitoring pantai di sepanjang Pantai California untuk mengetahui area genangan dan pengaruh erosi pada musim badai.

Alvares-Elucaria, dkk (2010) mengembangkan model kombinasi antara gelombang dan arus untuk prediksi kondisi pantai, mitigasi rip-current, dan monitoring pantai di Pulau Mallorca, Spanyol.

Usaha pengembangan model untuk memprediksi kondisi perairan dengan model pasang surut merupakan langkah awal yang dapat dilakukan. Penambahan parameter lain seperti pengaruh angin dan gelombang serta simulasi *real time* merupakan upaya lanjutan yang dapat dilakukan.

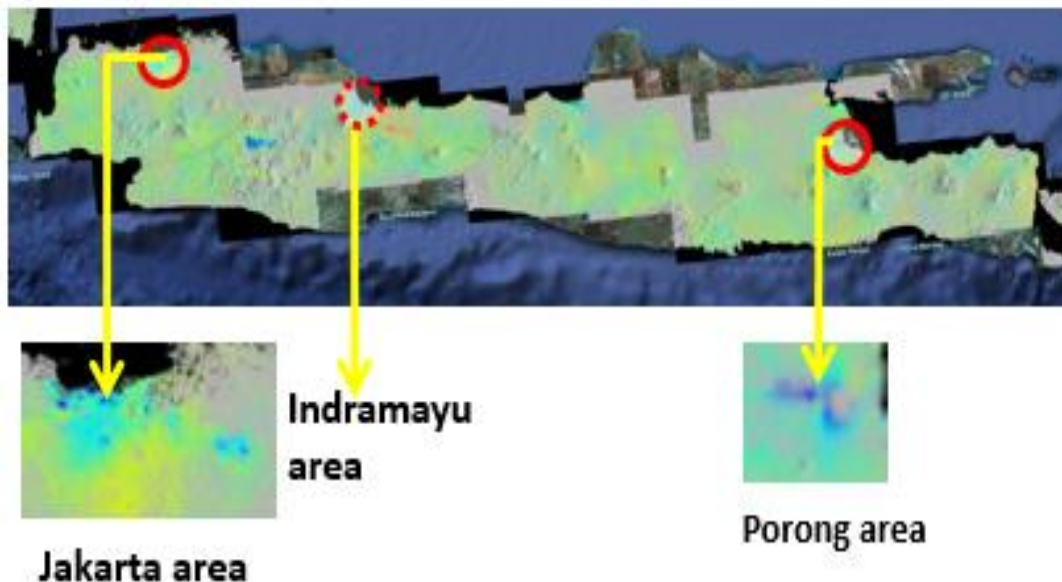
Makalah ini bertujuan untuk membahas upaya pengembangan model system di perairan Pantai Utara Jawa dan validasi model dengan data lapangan di tiga stasiun (lihat Gambar 1). Hasil studi ini merupakan kolaborasi riset antara Institut Riset Deltares dan Puslitbang Sumber Daya Air dalam rangkaian kegiatan untuk mendukung pengembangan kawasan pesisir terpadu atau program NCICD (*National Capital Integrated Coastal Development*) di Teluk Jakarta.

Kontribusi Deltares-Belanda dalam kajian ini sebagai institusi yang telah mengembangkan model South China Sea (model SCS) di perairan Nusantara, sedangkan Puslitbang SDA-Kementerian PU sebagai instansi yang bertanggung jawab mengembangkan model di Perairan Pantai Utara Jawa, yang akan kita sebut sebagai model *North JaVa sea* (model NJV).

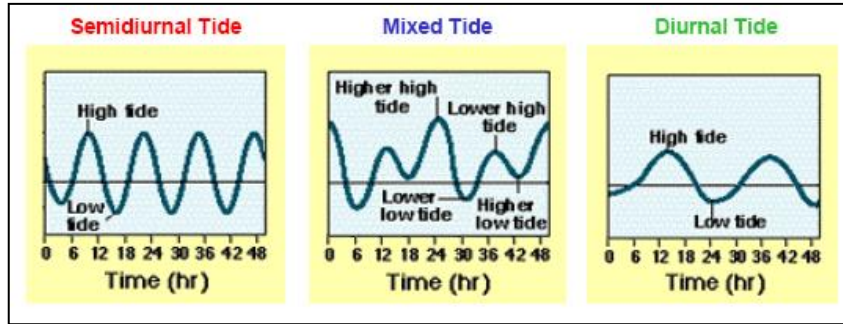
## KAJIAN PUSTAKA

### Pasang Surut Laut

Pasang surut laut merupakan fluktuasi muka air laut dan pergerakan massa air secara horizontal akibat adanya daya tarik bulan dan matahari terhadap bumi. Menurut Davidson-Arnot (2009) berdasarkan tipe pasutnya apabila suatu daerah memiliki tipe pasut harian tunggal maka kecenderungan arus pasut yang terjadi adalah harian tunggal yang berarti dalam satu hari akan terjadi perubahan arus sebanyak satu kali, namun untuk daerah pasut yang memiliki tipe harian ganda maka perubahan arah arus pasut yang terjadi dalam sehari sebanyak dua kali, sedangkan untuk pasut campuran arah arus pasut campuran yang terjadi akan berubah dalam interval kadang sekali dan terkadang dua kali (lihat Gambar 2). Selain besar atau kecilnya pengaruh daya tarik bulan dan matahari, tipe pasang surut sangat dipengaruhi oleh topografi/profil batimetri lokal di area tertentu. Gambar 3 menunjukkan tipe pasang surut di dunia secara global. Besarnya kecepatan arus pasut yang terjadi akan sangat tergantung pada elevasi pasang surut. Selain itu, tipe pasang surut dapat diklasifikasikan berdasarkan tenggang elevasi pasang surut (Davies, 1962); Microtidal, <2 m; Mesotidal, 2-4 m; Macrotidal, >4 m. Gambar 4 menunjukkan distribusi spasial tipe pasut di dunia secara global berdasarkan tenggang elevasi pasang surut.



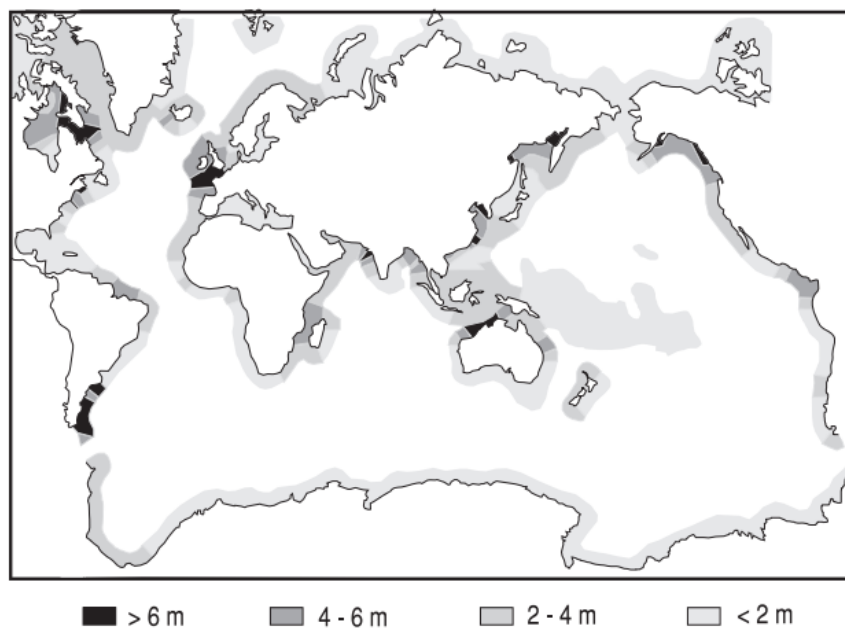
Gambar 1 Kawasan perairan di Pulau Jawa dan lokasi verifikasi model NJV (sumber: google earth, 2011)



Gambar 2 Tipe pasang surut (sumber : Hagerman, G dan Brian, P, 2006)

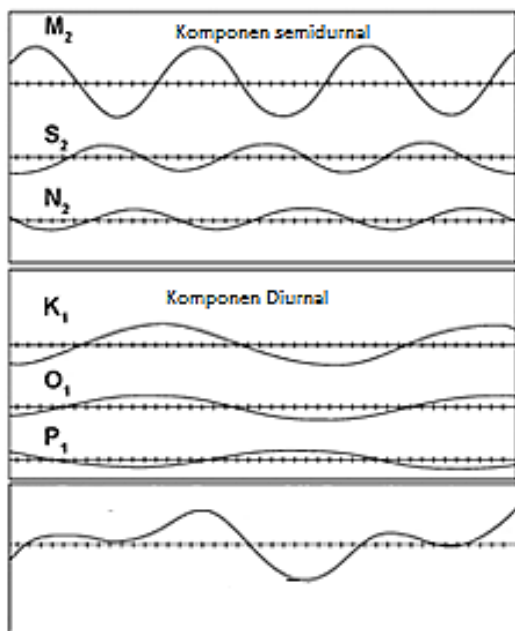


Gambar 3 Distribusi spasial jenis pasang surut di dunia (sumber: Davidson-Arnott, R., 2007)



Gambar 4 Distribusi spasial tenggang pasang surut di dunia (sumber: Davidson-Arnott, R., 2007)

Penyajian analisis pasang surut dapat berupa uraian komponen pasut utama hasil dari analisis harmonik pasang surut. Dengan kata lain, elevasi muka air merupakan superposisi dari berbagai komponen pasut (komponen semidiurnal dan komponen diurnal) dengan frekuensi tertentu. Gambar 5 menunjukkan dekomposisi elevasi pasang surut dari komponen pasut semidiurnal dan komponen diurnal.



Gambar 5 Dekomposisi komponen pasut

**Model Hidrodinamika**

Persamaan pembangun model hidrodinamika 2D diatur berdasarkan persamaan kontinuitas dan momentum di dalam sumbu -x dan -y berturut-turut di dalam grid curvilinear (Roelvink dan Reniers, 2011). Skematisasi perhitungan grid dihitung berdasarkan metode perhitungan implisit, dimana batasan time step cenderung tidak diperhitungkan dalam membangun model (Roelvink dan Reniers, 2011). persamaan kontinuitas ditunjukkan di dalam persamaan berikut

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

Persamaan momentum di dalam sumbu -x dan -y diekspresikan di dalam persamaan di bawah ini:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + C_f \frac{\bar{u} |\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}|}{h} - v \left( \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right) = 0 \tag{2}$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + C_f \frac{\bar{v} |\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}|}{h} - v \left( \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} \right) = 0 \tag{3}$$

Dengan  $\zeta$  adalah muka air,  $\bar{u}$  dan  $\bar{v}$  adalah kecepatan di dalam kordinat kartesian arah -x dan -y,  $h$  kedalaman air, dan  $g$  percepatan gravitasi. Dengan  $C_f$  adalah formula koefisien gesekan diekspresikan oleh persamaan berikut ini:

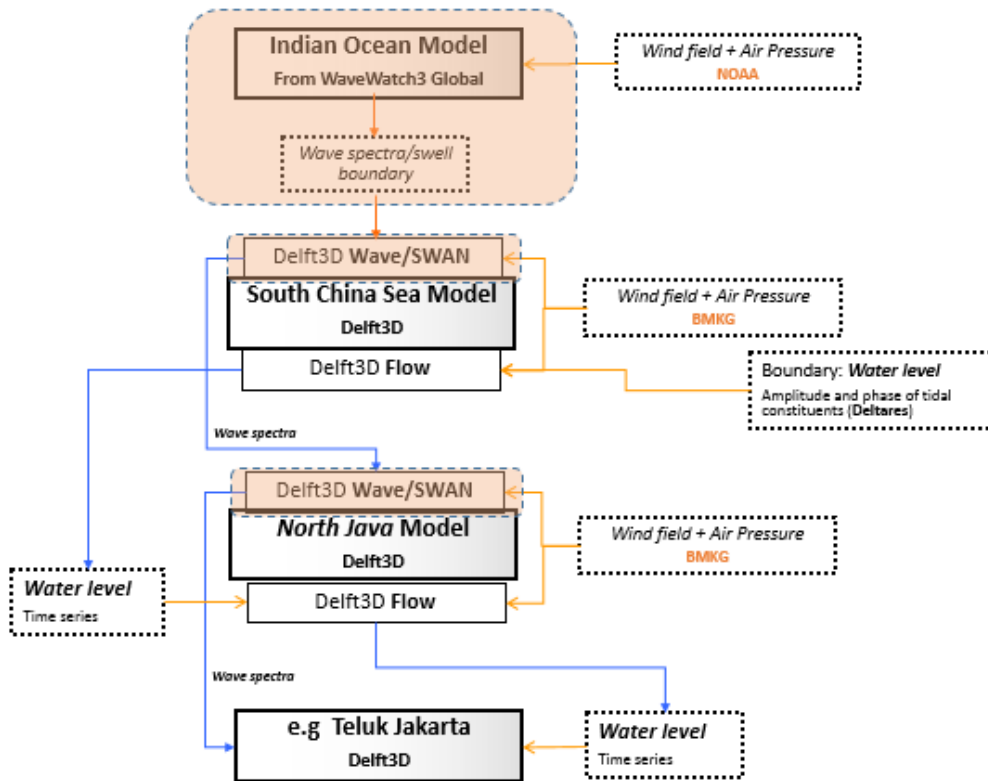
$$C_f = g \frac{n^2}{\sqrt[3]{h}} \tag{4}$$

Dimana  $n$  dan  $h$  adalah koefisien Manning's dan kedalaman air berturut-turut.

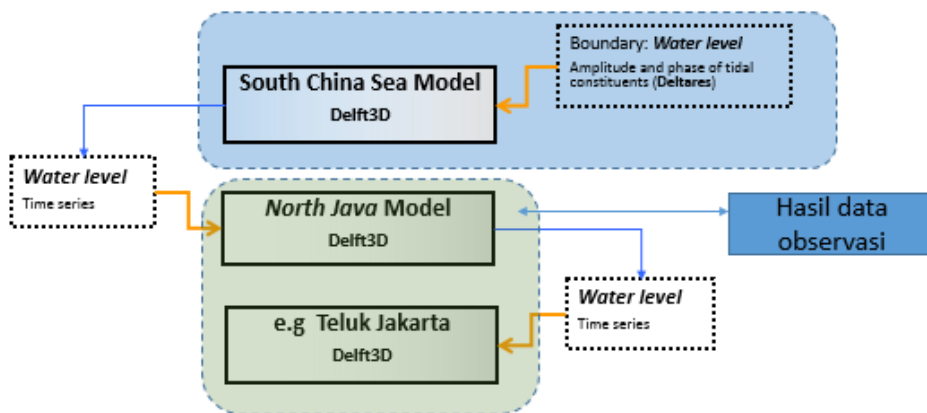
**METODOLOGI**

Pengembangan model sistem dapat dilakukan dengan menggunakan parameter kompleks untuk menghasilkan model sistem yang lebih presisi dengan kondisi lapangan; interaksi pasang surut, kondisi meteorologi dan klimatologi, serta gelombang. Paramter-parameter tersebut memiliki korelasi non-linier terhadap kondisi perairan (Dastgheib, 2012). Hasil simulasi tersebut dapat disinkronisasi dengan data real time hasil pengukuran dari BMKG, NOAA, dll. Dengan demikian, operasional model sistem dapat dijalankan dan digunakan oleh pengguna. Gambar 6 menunjukkan skema pengembangan model hidrodinamika.

Dalam kajian pengembangan model sistem ini dibuat dengan perangkat lunak Delft3D untuk modul hidrodinamika yang dikembangkan Deltares-Belanda. Perangkat lunak tersebut merupakan *free-ware* yang tidak terikat dengan lisensi. Modul flow 2D hidrodinamika telah disimulasikan dalam kajian ini. Hasil simulasi model dibandingkan dengan data pengamatan (lihat skema di Gambar 7). Penyesuaian parameter-parameter model dilakukan untuk mendapatkan hasil yang mendekati kondisi lapangan. *Nested model* merupakan salah satu teknik pemodelan, dimana model domain model global (model SCS) dijadikan sebagai input model lebih detail (model NJV). Teknik tersebut digunakan untuk membangun model sistem di sepanjang Pantai Utara Jawa.



Gambar 6 Skema pengembangan model sistem



Gambar 7 Skema simulasi model SCS dan model NJV

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Deskripsi Model

Gambar 8 Menunjukkan Domain Model Scs Dan Njv Berturut-Turut. Resolusi Model Scs Adalah 27 Km X 27 Km Dan Resolusi Model Njv Adalah 6 Km X 6 Km. Data Batimetri Model Scs Didapat Dari Data Batimetri Global Etopo (Skala Resolusi 2 Menit), Sedangkan Data Batimetri Model Njv Didapat Dari Data Topex (Skala Resolusi 1 Km). Parameter Model Detail Yang Digunakan Di Dalam Model Scs Dan Model Njv Dapat Dilihat Di Tabel 1 Dan Tabel 2.

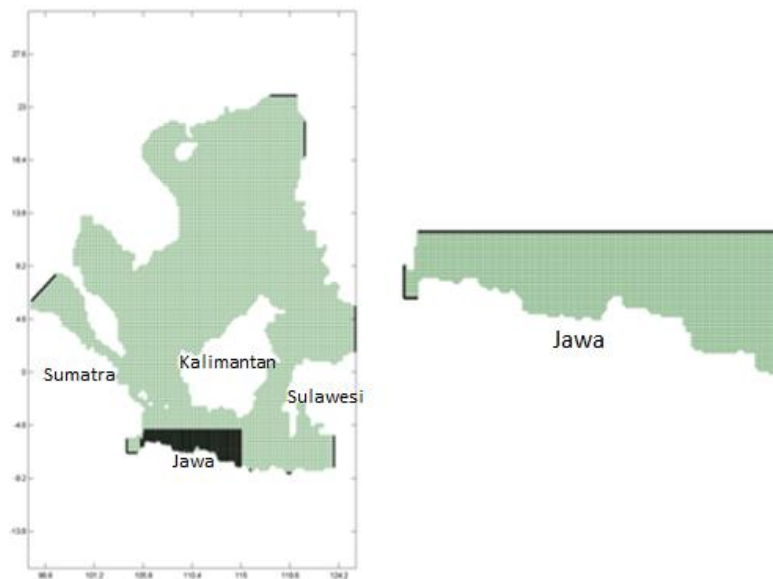
Gambar 9 menunjukkan hasil ekstraksi data batimetri global untuk model SCS dan model NJV. Hasil ekstraksi data menunjukkan profil batimetri di sepanjang Pantai Utara Jawa relatif dangkal, dimana kedalaman di perairan tersebut kurang dari 500 meter. Profil batimetri di sebelah utara, seperti Laut Sulawesi profil batimetri relatif dalam dengan kedalaman laut yang dapat mencapai 5000 meter. Kondisi tersebut mengindikasikan pola sirkulasi arus di perairan Indonesia sangat kompleks, karena pengaruh profil batimetri yang kompleks sehingga berpengaruh terhadap proses tidal mixing, proses upwelling, dan mixing secara vertikal (Gordon, 2005)

**Tabel 1** Parameter model SCS

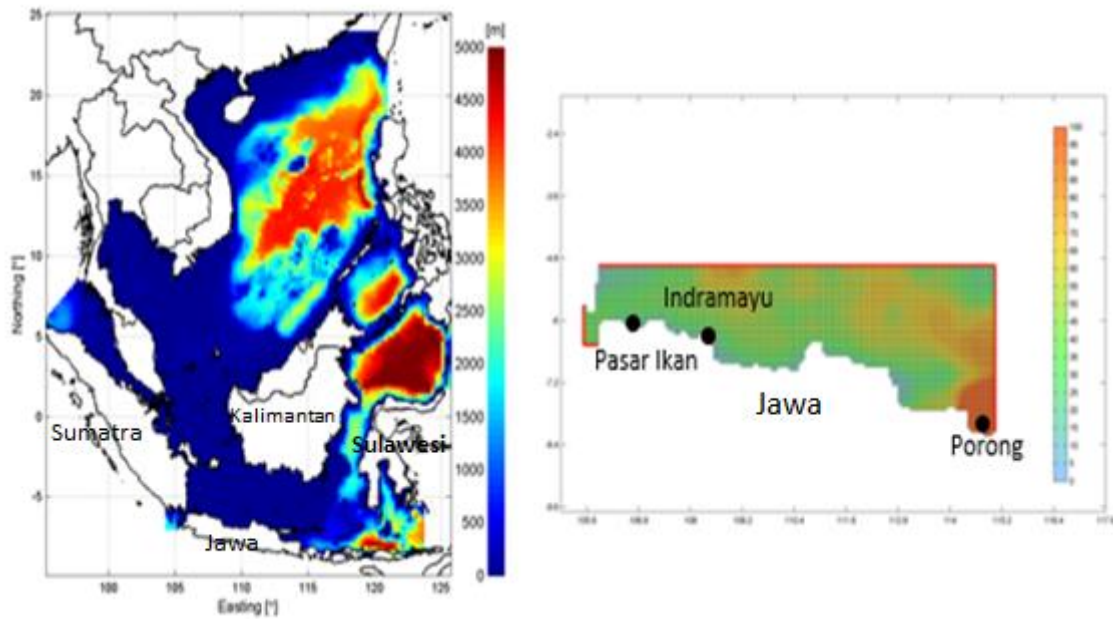
<b>Model South China Sea (Model SCS)</b>	
Resolusi spasial	27 km
Batas terbuka model	Elevasi muka air (komponen pasut)
Batimetri	ETOPO (2minx2min)
Koordinat sistem	Spherical
<i>Kekasaran</i>	Manning 0.026 m <sup>2</sup> /s
<i>Langkah waktu</i>	5 menit
<i>Pendetailan dari</i>	-

**Tabel 2** Parameter model NJV

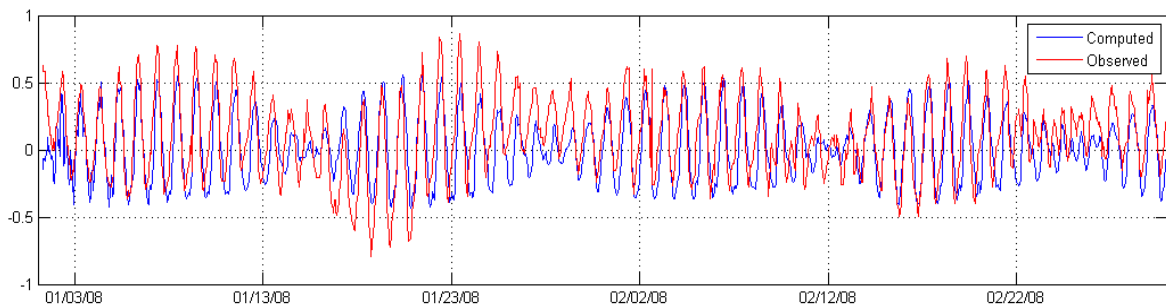
<b>Model North JaVa sea (Model NJV)</b>	
Resolusi spasial	6 km
Batas terbuka model	Elevasi muka air dari model SCS (komponen pasut)
Batimetri	ETOPO (1 kmx1 km)
Koordinat sistem	Spherical
<i>Kekasaran</i>	Manning 0.02 m <sup>2</sup> /s
<i>Langkah waktu</i>	5 menit
<i>Pendetailan dari</i>	Model SCS



**Gambar 8** Domain model SCS dan model NJV



**Gambar 9** Hasil ekstraksi data batimetri untuk model SCS dan model NJV



**Gambar 10** Validasi sinyal pasang surut di Pasar Ikan; hasil simulasi (biru) dan hasil pengamatan (merah)

### Validasi Model

Validasi model dilakukan di tiga stasiun pengamatan (lihat Tabel 3). Data pengamatan berupa data elevasi muka air di Teluk Jakarta (stasiun Pasar Ikan), Indramayu, dan Porong. Ketiga stasiun tersebut dianggap mewakili kondisi perairan di area model.

**Tabel 3** Stasiun pengamatan untuk validasi model

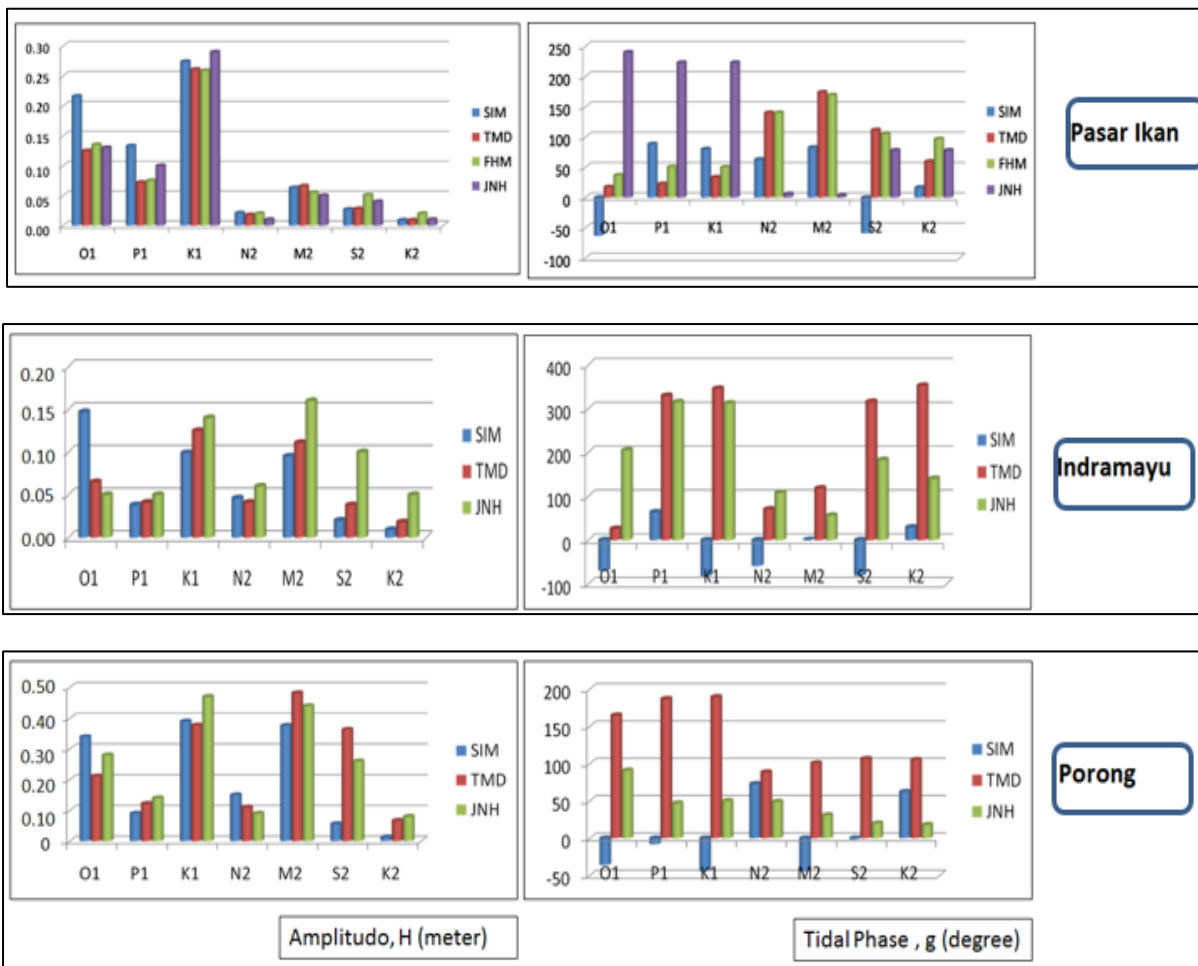
Lokasi	Stasiun	Lama Pengukuran
Pasar Ikan	6.13 S 106.81 E	60 hari
Indramayu	6.30 S 106.83 E	31 hari
Porong	7.54 S 112.84 E	17 hari

Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan data pengukuran FHM (Flood Hazard Map), komponen pasut dari Dinas Hidro-oseanografi TNI AL, serta

elevasi komponen pasut dan arus pasut dari TMD. Verifikasi elevasi pasang surut hasil model dengan data pengukuran di Pasar Ikan, Jakarta, menunjukkan elevasi pasang surut yang relatif sama dengan data pengamatan, dimana fase pasang surut berada di kondisi yang hampir serupa dengan keterlambatan fase 20 menit, sedangkan amplitudo pasang surut hasil pengamatan relatif lebih tinggi dengan data hasil simulasi. Hal ini terkait dengan komponen pasang surut yang dilakukan di simulasi hanya tujuh komponen pasut, yaitu O1, P1, K1, N2, M2, S2, dan K2, sedangkan komponen pasut hasil pengamatan merupakan superposisi komponen pasut diurnal, semidiurnal, maupun komponen pasut superharmonik akibat pengaruh pendangkalan perairan dan kondisi lokal batimetri. Root Mean Square Error (RMSE) di Pasar Ikan hasil simulasi menunjukkan nilai sekitar 0.21 m.

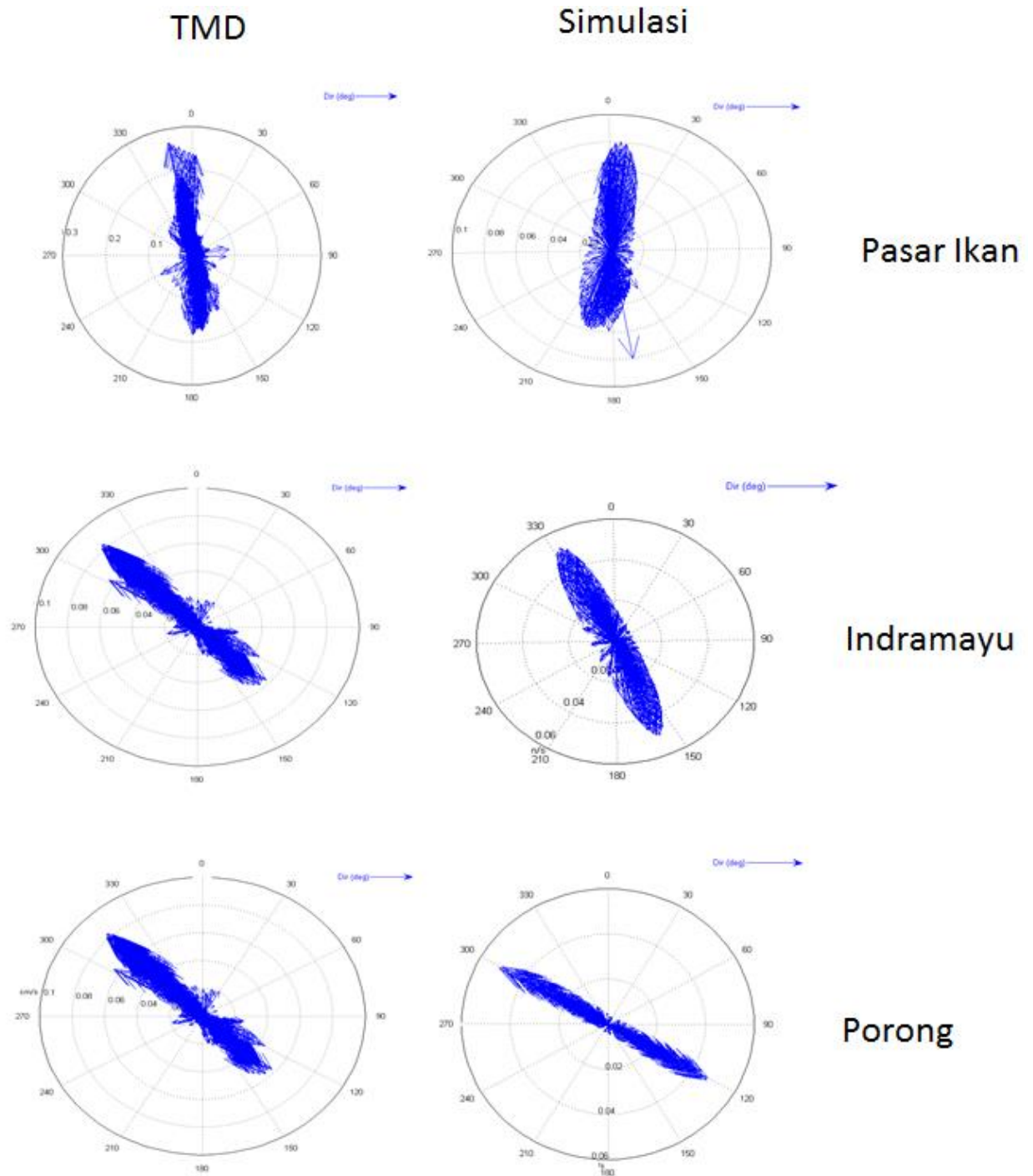
Perbandingan komponen utama pasut untuk amplitudo dengan data pengamatan, TMD, dan Janhidros-AL (JNH) di Jakarta menunjukkan trend yang hampir sama. Perbandingan fasa komponen pasut menunjukkan trend yang seragam, kecuali komponen pasut O1 dan S2, dimana simulasi model menunjukkan fasa negatif sedangkan data pengamatan positif. Verifikasi elevasi pasut model di stasiun Indramayu menunjukkan amplitudo yang relatif lebih kecil dengan data pengamatan, kecuali untuk amplitudo komponen pasut O1 terdapat perbedaan amplitudo sekitar 7 cm dengan data pengamatan. Gambar 11 menunjukkan grafik perbandingan komponen pasut (amplitudo dan fase) di ketiga stasiun pengamatan.

Gambar 12 menunjukkan polar arus perbandingan arus pasut antara hasil simulasi dengan data dari model global TMD (dengan jumlah komponen pasut yang sama dengan model). Hasil simulasi di ketiga stasiun menunjukkan arah arus dominan yang hampir menyerupai dengan data TMD, namun demikian magnitudo kecepatan arus hasil simulasi cenderung underestimate dengan data TMD, dimana kecepatan arus maksimum hasil simulasi di Pasar Ikan dapat mencapai 0.08 m/det sedangkan arus maksimum data TMD dapat mencapai 0.27 m/det. Dua stasiun TMD yang lain (stasiun Indramayu dan Stasiun Porong) kecepatan arus pasut cenderung kecil dibandingkan kecepatan arus di Pasar Ikan dengan perbedaan kecepatan arus sekitar 0.04 m/det.



Gambar 11 Validasi Komponen pasut



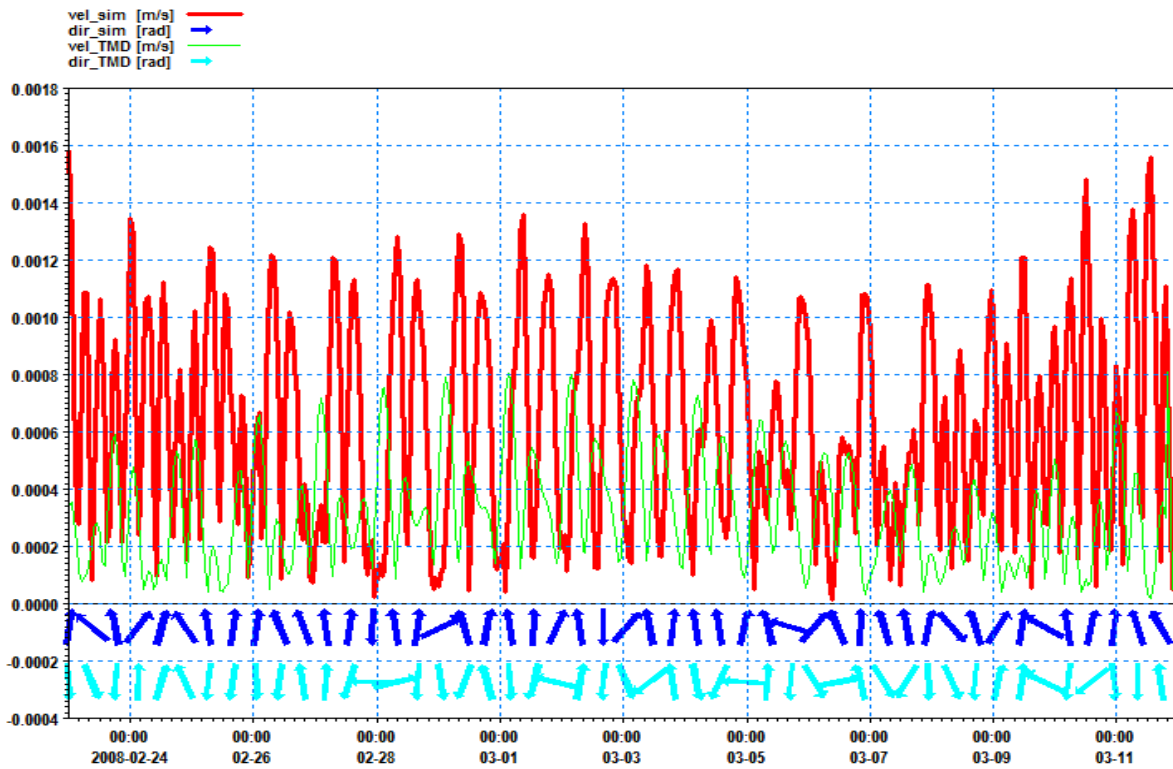


**Gambar 12** Validasi arus pasut antara data TMD dengan hasil simulasi

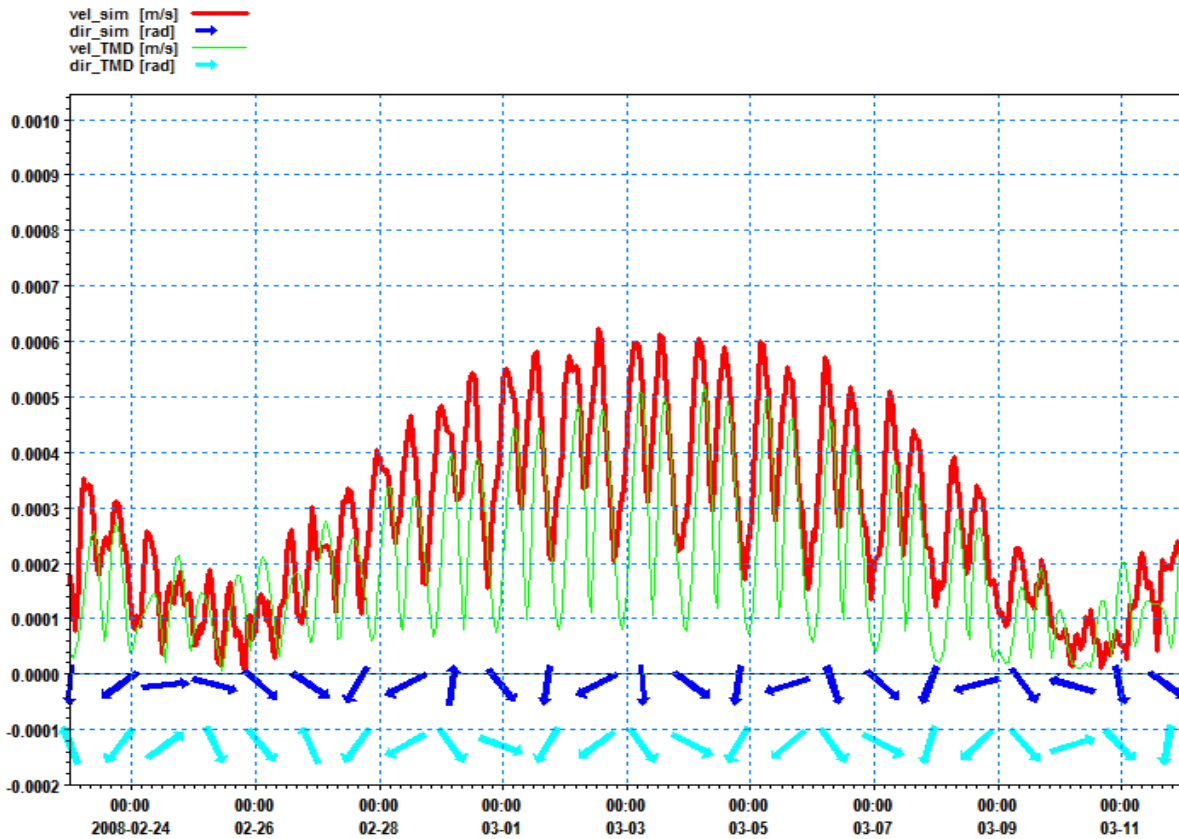
Gambar 13 sampai Gambar 15 menunjukkan perbandingan magnitudo arus dan arah arus sebagai fungsi dari waktu di ketiga lokasi. Magnitudo kecepatan arus hasil simulasi memberikan nilai dan pola yang cukup signifikan berbeda dengan hasil model TMD, dimana arah dominan arus menunjukkan pola arah arus yang berbeda.

Secara umum magnitudo kecepatan arus pasut antara hasil simulasi dengan forecasting dari

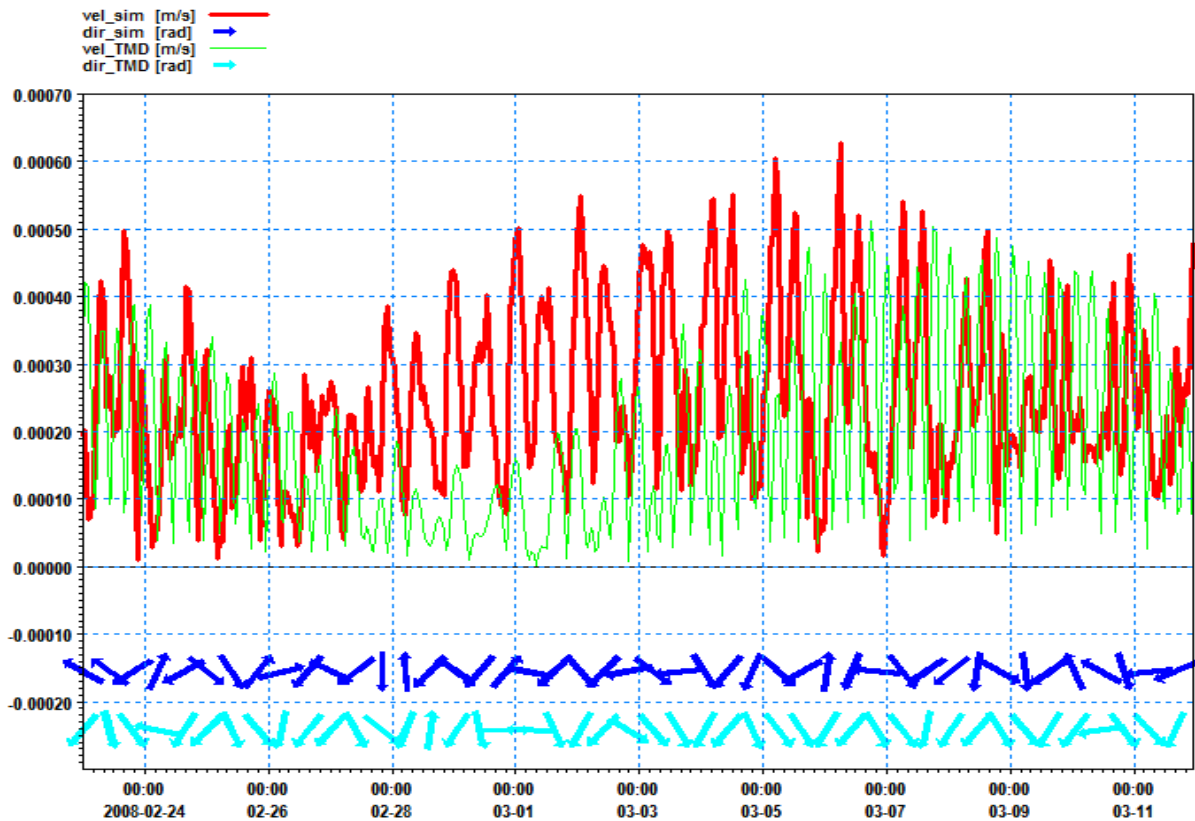
data TMD berbeda, hasil simulasi lebih besar dibandingkan hasil forecasting TMD sebagai fungsi terhadap waktu. Perbedaan resolusi model diindikasikan penyebab perbedaan magnitudo dan arah (resolusi TMD 0.25 deg). Dengan demikian, satu grid di TMD dapat menjadi 27 grid di nested model (1km), asumsi 1 deg=111 km di ekuator. Selain itu terdapat keterlambatan fasa antara hasil simulasi dengan data TMD sekitar 1 jam.



Gambar 13 Perbandingan magnitude kecepatan arus dan arah arus st. Pasar Ikan



Gambar 14 Perbandingan magnitude kecepatan arus dan arah arus st. Indramayu



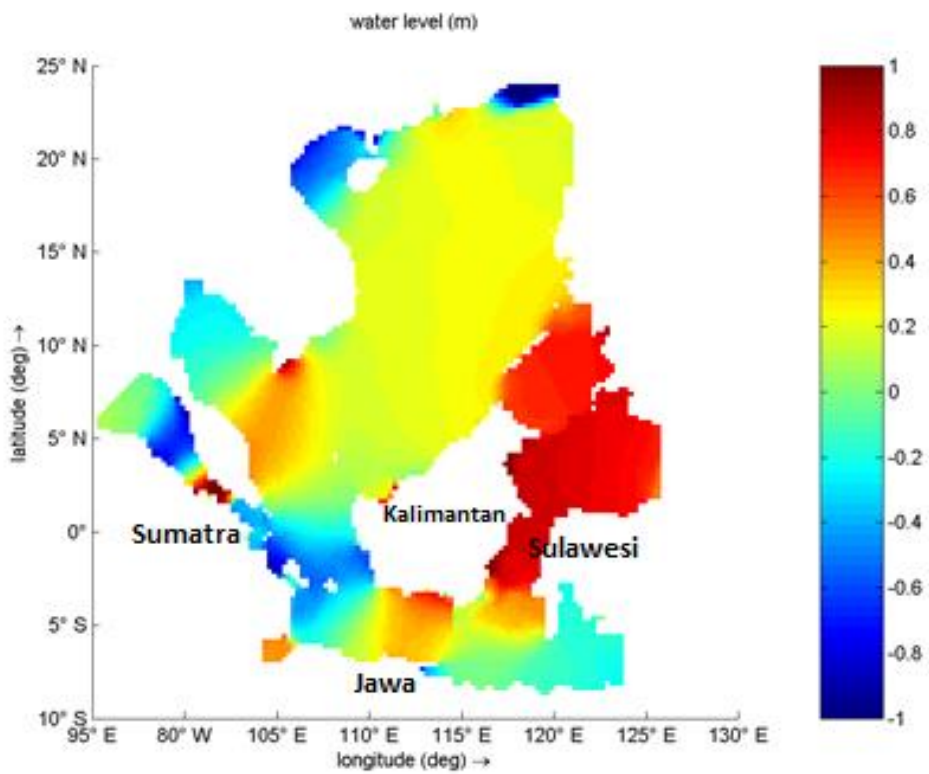
Gambar 15 Perbandingan magnitude kecepatan arus dan arah arus st. Porong

### Sirkulasi Arus Global

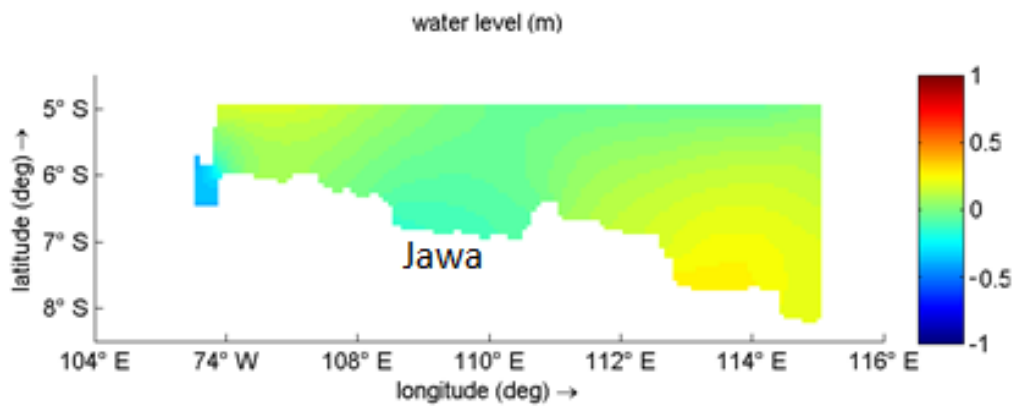
Gambar 16 dan Gambar 17 menunjukkan kondisi muka air hasil simulasi model SCS dan model NJV berturut-turut. Hasil simulasi model SCS menunjukkan variasi kondisi muka air pada saat tertentu, dimana variasi muka air dengan nilai positif menunjukkan kondisi muka air pada saat pasang, sedangkan kondisi muka air dengan nilai negatif menunjukkan muka air pada saat surut. Fluktuasi kondisi muka air pada saat pasang dan pada saat surut tersebut terjadi karena adanya pengaruh gravitasi akibat gaya tarik bulan dan matahari. Kondisi muka air pasang maksimum dan kondisi muka air surut minimum terjadi di perairan yang relatif sempit, seperti area selat. Hal tersebut berpengaruh terhadap kondisi arus pasut, dimana kondisi kecepatan arus maksimum juga biasanya terjadi di area selat. Hal itu terjadi karena massa air mengalir ke perairan sempit, sehingga

mengalami perubahan kecepatan secara spasial (dapat dianalogikan dengan bottle neck flow effect).

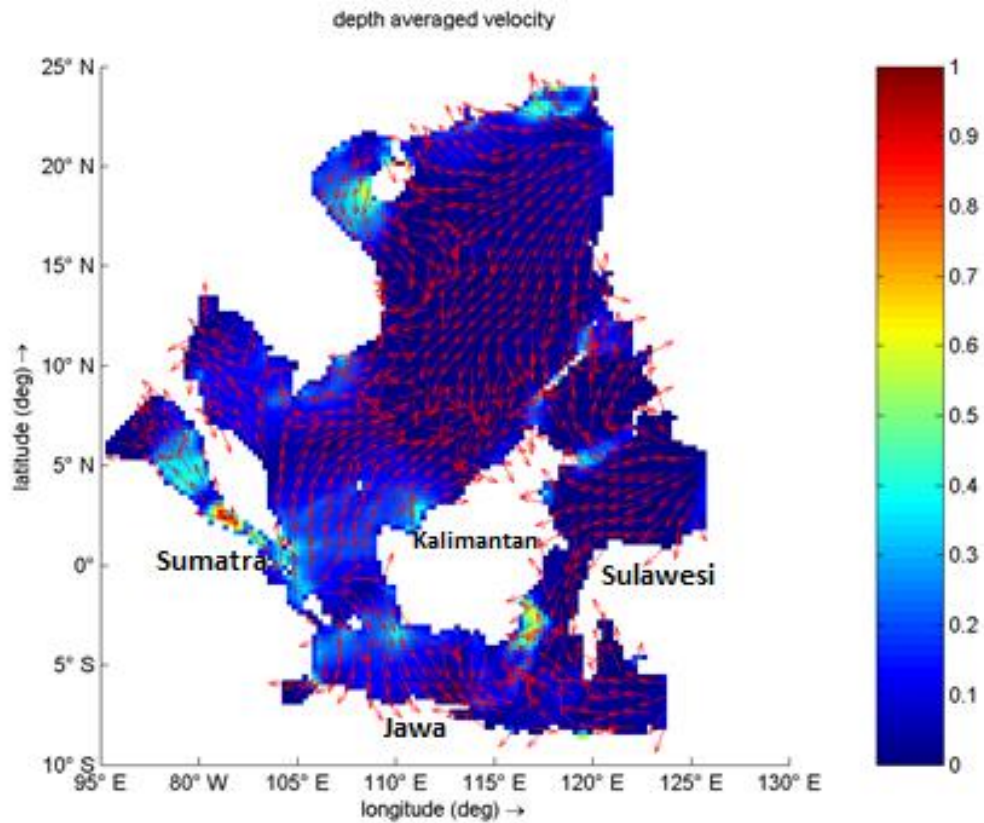
Kondisi fluktuasi muka air laut akibat adanya pengaruh pasang surut berdasarkan teori equilibrium analisis harmonik (Davidson-Arnott, R., 2007). Karakteristik tersebut memberikan kondisi dimana osilasi muka air akibat pengaruh pasang surut dapat diprediksi secara presisi berdasarkan analisis harmonik dari komponen pasang surut. Dengan demikian, pembangunan model sistem untuk prediksi muka air akibat pasang surut secara real-time sangat mungkin untuk dilakukan. Selain itu, pembangunan model sistem akibat pasang surut merupakan inisiasi awal dengan parameter yang tidak terlalu kompleks, sehingga dimulai dengan kasus "sederhana" terlebih dahulu.



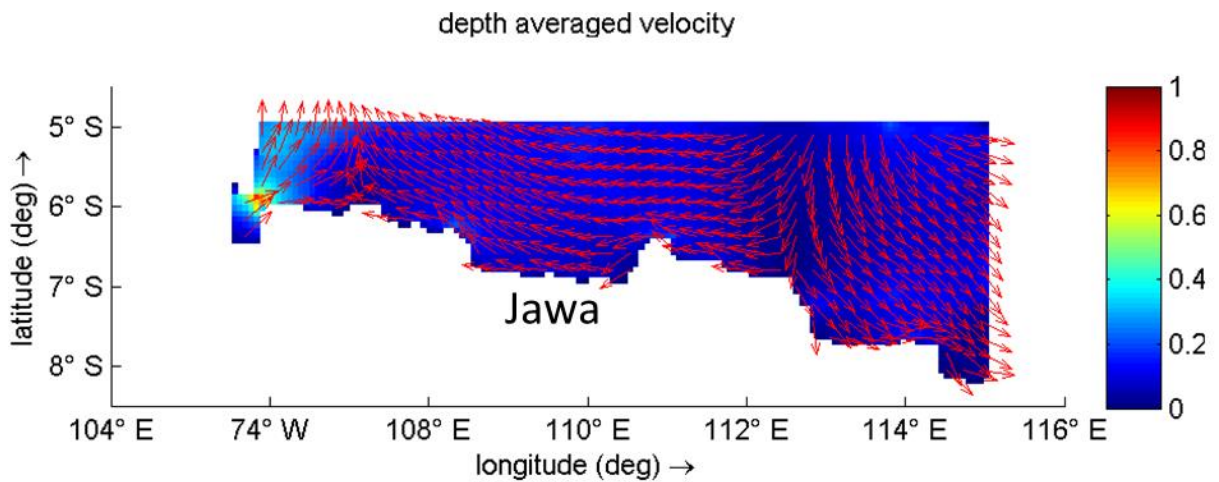
**Gambar 16** Kondisi muka air hasil simulasi model SCS; fluktuasi muka air dalam meter



**Gambar 17** Kondisi muka air hasil simulasi model NJV; fluktuasi muka air dalam meter



Gambar 18 Kecepatan dan arah arus model SCS; skala warna adalah kecepatan dalam meter/detik



Gambar 19 Kecepatan dan arah arus model SCS; skala warna adalah kecepatan dalam meter/detik

## KESIMPULAN

Pembangunan model sistem di perairan Indonesia sangat mungkin untuk dilakukan. Inisiasi awal pengembangan model sistem dengan resolusi model yang lebih detail dilakukan di sepanjang Pantai Utara Jawa. Validasi model merupakan indikator level presisi suatu model, sehingga verifikasi model sistem dilakukan di dalam studi

ini. Parameter atau gaya pembangkit dinamika air yang dimasukkan di dalam domain model adalah akibat adanya pasang surut.

Hasil verifikasi model menunjukkan kondisi elevasi pasang surut yang cukup presisi dengan data hasil pengukuran. Hasil simulasi tersebut cukup memuaskan, mengingat data batimetri yang dimasukkan di dalam model merupakan data

batimetri global. Dengan kata lain, ekspektasi hasil simulasi yang lebih baik dengan data detail hasil pengukuran sangat mungkin untuk didapat. Validasi arus pasut dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan data TMD. Verifikasi model menunjukkan arus pasut hasil simulasi memiliki arah arus dominan yang hampir menyerupai dengan data TMD, walaupun verifikasi arus pasut sebagai fungsi dari waktu menghasilkan arah arus yang berbeda. Hal tersebut dimungkinkan karena perbedaan resolusi model yang dihasilkan antara model NJV dan TMD.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez-Ellacuria, A., Orfila, A., Olabarrieta, M., Medina, R., Vizoso, G., and Tintoré, J., 2010. A nearshore wave and current operational forecasting system, *J. Coastal Res.*, 503–509, doi:10.2112/08-1133.1.
- Barnard, P., O'Reilly, B., van Ormondt, M., Elias, E., Ruggiero, P., Erikson, L., Hapke, C., Collins, B. D., Guza, R. T., Adams, P. N., and Thomas, J. T., 2009. The framework of a coastal hazards model; a tool for predicting the impact of severe storms, *US Geological Survey Open-File Report 2009–1073*, 21 pp.
- Brinkman, 2007. Flood Hazard Mapping (FHM) Report: Partners for Water Prepared for Jakarta Flood project. Deltares.
- Davidson-Arnott, R., 2007. *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*, Cambridgepress.
- Gordon, A. L., 2005: Oceanography of the Indonesian Seas and their throughflow. *Oceanography*, 18, 14–27.
- Gunther, H., 2002. WAM Cycle 4.5., Institute for Coastal Research, GKSS Research Centre, Germany.
- Hagerman, G., dan Brian, P., 2006. EPRI North American Tidal In Stream Power Feasibility Demonstration Project. Washington University, United States.
- Hanson, J. L., Tracy, B. A., Tolman, H. L., and Scott, R. D., 2009. Pacific hindcast performance of three numerical wave models, *J. Atmos. Ocean Tech.*, 26, 1614–1633.
- L. Sembiring, M. van Ormondt, A. van Dongeren, and D. Roelvink, 2014. A validation of an operational wave and surge prediction system for the Dutch Coast. *Natural Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, 2, 3251–3288.
- Roelvink and Reniers, 2011. *Advances in Coastal and Ocean Engineering: Volume 12. A Guide to Modeling Coastal Morphology*. World Scientific Press.
- Dastgheib, A., 2012. *Disertation Report; Morphodynamic of tidal inlet*. UNESCO-IHE.
- Tolman, H. L., 2009. *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 3.14*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini merupakan salah satu hasil dari rangkaian kegiatan Program JCDS pada tahun 2010, kerjasama antara Puslitbang SDA dengan Deltares-Belanda. Terima kasih kepada Pak Arie yang telah dan selalu mendukung kerjasama antara Puslitbang SDA dengan Deltares dapat terealisasi dan dapat berjalan dengan baik, serta Pak Janjaap Brinkman yang telah memberikan support dari pihak Deltares.