

Pemodelan Hidrodinamika Perairan Subang: Analisis Awal Sebelum Pembangunan Pelabuhan Patimban

Kholillah Yudicia Isnaeni^{1*}, Mutiara Rachmat Putri², Wiwin Windupranata³

¹Program Studi Sains Kebumiam, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumiam, Institut Teknologi Bandung

²Kelompok Keahlian Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumiam, Institut Teknologi Bandung

³Kelompok Keahlian Hidrografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumiam, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesa No. 10, Coblong, Bandung, Jawa Barat 40132 Indonesia

*Corresponding author, e-mail: kholillahyudiciaisnaeni@gmail.com

ABSTRAK: Studi ini bertujuan untuk menggambarkan kondisi hidrodinamika baik secara horizontal maupun vertikal di perairan Subang sebelum dilakukannya pembangunan Pelabuhan Patimban (2018). Simulasi dilakukan dengan menggunakan model numerik yang dikembangkan oleh Deltares (DELFT3D) untuk menghasilkan output berupa salinitas, suhu, dan arus secara 3D dengan 5 lapisan kedalaman serta tinggi muka air secara 2D. Simulasi menggunakan grid kotak yang seragam dan grid bersarang (domain 1 dan 2). Verifikasi dari model menunjukkan hasil yang baik yaitu 0,07-0,09 untuk RMSE dan 0,9 untuk CC. Hasil model menunjukkan bahwa kondisi hidrodinamika di perairan Subang didominasi oleh pasut secara umum, dan debit sungai saat kondisi high discharge. Adanya input debit sungai memungkinkan terjadinya stratifikasi secara vertikal pada perairan yang dangkal yang seharusnya merupakan mixed layer (seragam). Pengaruh debit sungai mengakibatkan nilai salinitas di Perairan Subang turun dari 33 ppt menjadi kurang dari 31 ppt dan nilai suhu dari 33°C menjadi kurang dari 31°C. Debit sungai juga mempengaruhi kondisi arus, ketika debit tinggi maka arus akan searah dengan debit dan magnitudo arus naik hingga 0,1 m/s secara vertikal dan >0,5 m/s secara horizontal di permukaan pada daerah dekat muara. Pengaruh debit sungai terhadap kondisi hidrodinamika di Perairan Patimban yang cukup signifikan menunjukkan bahwa dalam rencana pembangunan Pelabuhan Patimban perlu mempertimbangkan kondisi hidrodinamika dan debit sungai, sehingga kondisi alami Perairan Patimban tidak terganggu oleh aktivitas pelabuhan.

Kata kunci: perairan Subang; debit sungai; kondisi hidrodinamika; DELFT 3D

Hydrodynamic Modelling of Subang Waters: Preliminary Analysis Prior to Construction of Patimban Port

ABSTRACT: This study describes horizontal and vertical hydrodynamic conditions in Subang waters before the construction of Patimban Port (2018). The simulation was carried out using a numerical model developed by Deltares (DELFT3D) to produce 3D outputs of salinity, temperature, and currents with five layers of depth and 2D tinggi muka air. The simulation uses a structured and nested grid (domains 1 and 2). Verification of the model shows good results, namely 0.07-0.09 for RMSE and 0.9 for CC. The model results show that tides dominated the hydrodynamic conditions in general. However, the river discharge generally dominates the hydrodynamic conditions in Subang waters during high discharge. River discharge inputs allow vertical stratification in shallow waters, which should be a mixed layer (uniform). The influence of river discharge resulted in a decrease in the salinity value in Subang waters from 33 ppt to <31 ppt and a temperature value from 33°C to <31°C. River discharge also affects the current condition. When the discharge is high, the current will be in the direction of the discharge. The high discharge condition makes the current magnitude rises to 0.1 m/s vertically and > 0.5 m/s horizontally on the surface near the estuary. The significant influence of river discharge on hydrodynamic conditions in Patimban Waters shows that the Patimban Port development plan needs to consider hydrodynamic conditions and river discharge, so that the natural conditions of Patimban Waters are not disturbed by port activities.

Keywords: Subang waters; river discharge; hydrodynamic conditions; DELFT 3D.

PENDAHULUAN

Pelabuhan Internasional Patimban termasuk dalam proyek strategis nasional yang diatur dalam Peraturan Presiden Nomor 3 Tahun 2016 tentang Percepatan Pelaksanaan Proyek Strategis Nasional (Nuraeni *et al.*, 2020) yang dibangun di Desa Patimban, Kecamatan Pusakanegara, Kabupaten Subang, Provinsi Jawa Barat. Pelabuhan Patimban berperan sebagai penyokong Pelabuhan Tanjung Priok yang telah mengalami kelebihan kapasitas. Proses pembangunan pelabuhan Patimban akan dibagi dalam tiga tahap selama tahun 2018 – 2027 (JICA 2017; Yuana *et al.*, 2021) yang direncanakan menggunakan lahan seluas 542 ha dengan rincian 300 ha lahan darat dan 242 ha reklamasi laut (Safira *et al.*, 2022).

Studi ini mengkaji daerah Perairan Patimban, Kabupaten Subang yang merupakan kawasan Teluk Eretan. Lokasi Perairan Patimban berada di Laut Jawa yang merupakan daerah perairan dangkal dan muara dari Sungai Cipunagara. Sungai Cipunagara merupakan sungai terbesar di Subang dengan kecenderungan akresi karena lebih didominasi oleh debit sungai dari pada gelombang laut. Selama kurun waktu 24 tahun (1989-2013) terjadi akresi sepanjang 1,7 km di estuari Sungai Cipunagara (Salim *et al.*, 2016). Akresi yang intensif terjadi setelah tahun 2000 dengan arah akresi menuju timur laut, dan pada tahun 2020 terjadi penambahan luas area delta akibat akresi sebesar 205,95 Ha dibandingkan data pada tahun 1978 (Nur *et al.*, 2020). Debit rata-rata tahunan Sungai Cipunagara mencapai 184 m³/s (Achiari dan Dinan 2019). Tingginya input debit sungai di perairan Subang tersebut sangat berpengaruh terhadap kondisi hidrodinamika di Perairan Subang karena terkait pula dengan intrusi air tawar ke laut.

Keterkaitan yang erat antara aktivitas manusia dan lingkungan, dalam hal ini berupa pembangunan pelabuhan, yang berupa bangunan struktur keras mengakibatkan diperlukannya pengkajian mengenai kondisi hidrodinamika sebelum dan saat dilakukannya pembangunan. Umumnya, pembangunan struktur tersebut memiliki efek buruk terhadap pantai yang berdekatan dan bahkan mempengaruhi pantai yang cukup jauh dari bangunan (Kudale 2010). Arus laut berpengaruh terhadap kegiatan pelayaran terutama pada navigasi di daerah dangkal, termasuk pelabuhan dan sungai selama *dock operations* (Akbar *et al.*, 2022). Tinggi permukaan laut atau pasang surut juga sangat mempengaruhi *dock operation* karena mempengaruhi elevasi dari kapal terhadap pelabuhan. Selain itu, terdapat sungai besar di daerah Patimban yang debitnya mempengaruhi kondisi hidrodinamika, transportasi sedimen, dan perubahan ekosistem perairan.

Kajian kondisi hidrodinamika dilakukan dengan simulasi numerik bertujuan untuk mengetahui gambaran kondisi hidrodinamika perairan Patimban dengan mempertimbangkan debit sungai. Kondisi hidrodinamika yang dimaksud merupakan arus, level air, suhu, dan salinitas. Penelitian mengenai kondisi hidrodinamika di Perairan Patimban dengan mempertimbangkan debit sungai sebagai input dalam model masih sedikit dilakukan. Penelitian yang telah dilakukan oleh Bayhaqi *et al.*, (2018) dan Maryan *et al.*, (2021) menyatakan bahwa perairan Laut Jawa sangat dipengaruhi oleh monsun yang mengakibatkan adanya fluktuasi kondisi arus mengikuti kondisi angin baik arah maupun magnitudonya. Penelitian berupa simulasi pasang surut di daerah Laut Jawa telah dilakukan oleh (Koropitan dan Ikeda 2016) serta (Yusuf dan Yanagi 2013). Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa Laut Jawa didominasi oleh konstanta pasut K1 yang berasal dari Samudera Pasifik dan M2 yang berasal dari Samudera Hindia. Studi lebih lanjut mengenai kondisi pasang surut pada daerah Patimban telah dilakukan oleh Nuraghnia *et al.* (2021) yang mengaplikasikan penggunaan *bottom roughness* yang berbeda. Studi mengenai kondisi hidrodinamika di Perairan Patimban telah dilakukan oleh Isnaeni *et al.* (2022) menyatakan bahwa kondisi arus dan tinggi muka air dipengaruhi oleh angin musiman (monsoon) dan pasang surut. Namun, analisis secara musiman memperlihatkan bahwa angin lebih mendominasi pola musiman dari arus dan tinggi muka air.

Pada studi kali ini dilakukan simulasi hidrodinamika dengan menggunakan dua domain (*nested grid*), yaitu mencakup perairan Laut Jawa yang membentang dari Jakarta hingga Pemalang (Jawa Tengah) dan terfokus pada daerah Perairan Patimban, Kabupaten Subang. Pemodelan akan dilakukan menggunakan DELFT-3D FLOW dengan *structured grid* resolusi 1000 m pada domain pertama dan resolusi 44-22 m pada domain kedua. Data inputan yang digunakan berupa data batimetri dari BATNAS (Batimetri Nasional, BIG) dan garis pantai untuk pembangunan domain; data

angin dan tekanan dari ERA5 ECMWF; data salinitas, suhu dan debit sungai dari Copernicus; serta data pasang surut dari TPXO-9. Input debit sungai dimasukkan pada domain 2 karena membutuhkan resolusi grid yang tinggi. Verifikasi model dilakukan dengan metode statistik *root mean square error* (RMSE) dan *coefficient correlation* (CC) menggunakan data dari 3 *tide gauge station*. Studi ini diperlukan karena dari studi-studi yang telah disebutkan belum terdapat pembahasan secara jelas mengenai kondisi hidrodinamika yang dipengaruhi oleh debit sungai di daerah perairan Subang (Pelabuhan Patimban). Dengan dilakukannya studi ini maka pembangunan Pelabuhan Patimban yang sedang dalam tahap konstruksi diharapkan dapat memperhatikan faktor-faktor hidrodinamika yang ada di daerah studi.

MATERI DAN METODE

Data yang digunakan dalam studi kali ini adalah data inputan (batimetri, angin, tekanan, salinitas, suhu, debit sungai, dan pasang surut), serta data untuk verifikasi (tinggi muka air) (Tabel 1). Data batimetri dan garis pantai digunakan dalam membangun domain model. Data batimetri dari BATNAS diolah sehingga menghasilkan data batimetri dengan resolusi 100 m (domain 1) dan 8 m (domain 2). Data garis pantai yang digunakan merupakan hasil asimilasi data Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 dengan data garis pantai hasil ekstraksi citra LANDSAT 8. Data angin dan tekanan digunakan sebagai nilai input yang berubah terhadap waktu dan berperan sebagai gaya pembangkit diseluruh domain. Data konstanta pasut, salinitas, dan suhu merupakan data pada batas terbuka yang memungkinkan adanya gaya dari batas ke dalam domain. Konstanta pasut yang digunakan untuk domain 1 hanya 5 konstanta yang dominan dan merepresentasikan kondisi level air di daerah kajian (Laut Jawa), yaitu K1, O1, P1, M2, S2. Domain 2 digunakan 15 konstanta pasut sesuai jumlah konstanta pasut yang dihasilkan oleh TPXO-9 (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, MM, MF, M4, MN4, MS4, 2N2, dan S1). Data debit sungai diambil dari Copernicus dengan 1 titik berada di Sungai Cipunagara, dan 1 titik berada di Sungai Sewo (Gambar 1b). Selanjutnya data pengamatan level air dari tiga stasiun *tide gauge* yang berada di Jakarta (Pondok Dayung, Sunda Kelapa, dan Kolinamil) digunakan untuk verifikasi model.

Gambar 1a memperlihatkan domain 1 dari model yang membentang dari Jakarta hingga Pematang (Jawa Tengah). Terlihat di peta terdapat 3 titik *tide gauge* di Jakarta. Pemilihan domain seperti Gambar 1 dimaksudkan untuk menjauhkan daerah interes dari batas sehingga daerah interes akan terhindar dari eror yang mungkin terjadi karena kesalahan yang terjadi pada batas. Selain itu, pemilihan domain juga dikarenakan ketersediaan data untuk verifikasi berupa data pengamatan level air dari *tide gauge* yang lokasinya terbatas (Jakarta) dan tidak terdapat pada daerah interes. Kotak merah pada Gambar 1a menandakan luasan daerah interes (domain 2).

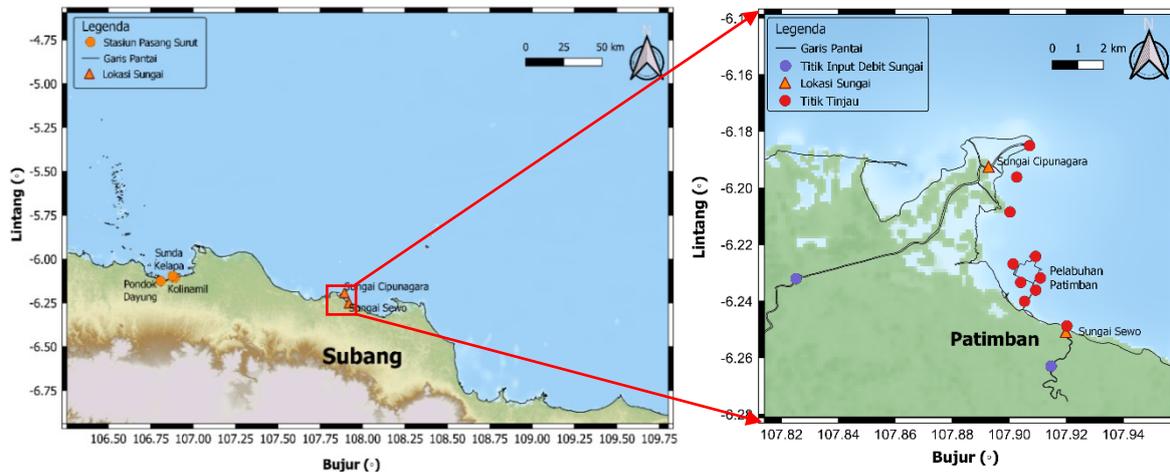
Gambar 1b memperlihatkan domain 2 dari model yang mencakup wilayah Perairan Patimban. Domain ini merupakan domain dengan resolusi yang tinggi sehingga input debit sungai dapat dimasukkan ke dalam domain sebagai input model. Pada Domain 2 terlihat terdapat beberapa titik pengamatan yang tersebar di mulut sungai dan terpusat pada daerah pembangunan Pelabuhan Patimban. Input debit sungai yang digunakan berjumlah dua input, satu input di Sungai Cipunagara dan satu input di Sungai Sewo. Data salinitas dan suhu yang digunakan dalam input debit sungai diambil dari JICA (2017) yaitu bernilai 0 ppt dan 25 °C.

Penelitian saat ini menggunakan model DELFT-3D FLOW untuk melakukan simulasi hidrodinamika 3D. DELFT-3D FLOW merupakan model yang mampu menyimulasikan hidrodinamika multi-dimensi yang dapat menghitung fenomena aliran tak tunak dan transpor yang merupakan hasil dari gaya pembangkit berupa pasang surut dan parameter meteorologis, termasuk pengaruh perbedaan densitas karena ketidakseragaman distribusi suhu dan salinitas (aliran yang digerakkan oleh kepadatan) (Deltares 2014). Model ini dapat digunakan untuk memprediksi aliran di laut dangkal, daerah pantai, muara, laguna, sungai dan danau.

Sistem persamaan yang digunakan dalam model numerik adalah dengan menyelesaikan persamaan perairan dangkal (*shallow water equation*) yang tidak stabil dalam dua (kedalaman rata-rata) atau dalam tiga dimensi. Sistem persamaan terdiri dari persamaan gerak horizontal, persamaan kontinuitas, dan persamaan transport untuk konstituen konservatif (suhu dan salinitas).

Tabel 1. Data dan Sumber Data

No.	Jenis Data	Resolusi	Sumber
1.	Batimetri Nasional (BATNAS)	6 arc-second (185 m)	Badan Informasi Geospasial (BIG)
2.	Garis Pantai	1:25.000	Peta Rupa Bumi Indonesia (BIG)
3.	Konstanta harmonik pasut	1/6° (18,5 km)	Tide Model Driver (Model TPXO-9)
4.	Angin (u10 and v10) dan tekanan	Spasial: 1/4° (27,75 km) Temporal: jam	ERA 5 ECMWF
5.	Suhu dan arus	Spasial: 1/12° (9,25 km) Temporal: harian	Global Ocean Physics Analysis Copernicus
6.	Debit sungai	Spasial: 1/10° (11 km) Temporal: harian	ERA 5 ECMWF
7.	Data tide gauge	Menit	BIG



Gambar 1. (a) Domain 1 dan (b) Domain 2 Model

Persamaan dirumuskan dalam koordinat *orthogonal curvilinear* atau dalam koordinat bola (*spherical*). Jenis grid yang dipakai dalam DELFT-3D FLOW dapat berupa *flexible mesh* atau *unstructured grid* pada versi berbayarnya dan *structured grid* jenis *rectangular* maupun *curvilinear* pada versi *open source*.

Gaya pembangkit berupa pasang surut berada di batas terbuka, tekanan angin di permukaan bebas, dan gradien tekanan karena gradien permukaan bebas (barotropik) atau gradien densitas (baroklinik) pada kolom air. Istilah *source* dan *sink* dimasukkan dalam persamaan untuk memodelkan debit dan *withdrawal* air. Dalam model 3D digunakan koordinat sigma untuk arah vertikal yang memiliki variasi mengikuti kondisi topografi dasar perairan. Sigma koordinat sangat cocok digunakan pada daerah dengan variasi topografi yang signifikan seperti pada estuari (Mellor *et al.*, 2002). Adapun persamaan perairan dangkal 3D yang digunakan dalam perumusan diterangkan di bawah ini dengan arah horizontal menggunakan koordinat kartesian dan arah vertikal menggunakan koordinat sigma (σ) (de Goede 2020).

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\omega}{H} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - fv = -\frac{1}{\rho} P_u + F_u + \frac{1}{H^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\nu_v \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\omega}{H} \frac{\partial v}{\partial \sigma} - fu = -\frac{1}{\rho} P_v + F_v + \frac{1}{H^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\nu_v \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial \sigma} = -\frac{\partial \zeta}{\partial t} - \frac{\partial Hu}{\partial x} - \frac{\partial Hv}{\partial y} + H(q_{in} + q_{out}) + S_{precip} - S_{Evap} \quad (3)$$

Kecepatan vertikal ω dalam koordinat sigma dihitung dari persamaan kontinuitas di bawah ini (Persamaan 4) dengan mengintegrasikan secara vertikal dari lapisan dasar hingga lapisan σ ($-1 \leq \sigma \leq 0$) (de Goede 2020).

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{\partial HU}{\partial x} + \frac{\partial HV}{\partial y} = HQ \quad (4)$$

Pada Persamaan 4, Q merepresentasikan kontribusi per unit area akibat *discharge* atau *withdrawal* dari air, presipitasi, dan evaporasi (de Goede 2020).

$$Q = H \int_{-1}^0 (q_{in} + q_{out}) d\sigma + S_{precip} - S_{Evap} \quad (5)$$

Di dasar, kondisi batas untuk persamaan momentum memenuhi (de Goede 2020)

$$\frac{u_v}{H} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \Big|_{\sigma=-1} = \frac{1}{\rho_0} \tau_{bx}, \quad \frac{v_v}{H} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \Big|_{\sigma=-1} = \frac{1}{\rho_0} \tau_{by} \quad (6)$$

dengan τ_{bx} dan τ_{by} adalah komponen gesekan dasar pada arah x dan y . Pada Persamaan 1-6 $u(x, y, \sigma, t)$, $v(x, y, \sigma, t)$, dan $\omega(x, y, \sigma, t)$ adalah komponen kecepatan pada arah horizontal (x dan y) dan arah vertikal (σ); $\zeta(x, y)$ adalah level air di atas bidang referensi; $d(x, y)$ adalah kedalaman di atas bidang tersebut; $H(x, y) = d(x, y) + \zeta(x, y)$ adalah kedalaman total, t adalah waktu; f adalah parameter Coriolis; v_v adalah koefisien edi vertikal. Variasi densitas diabaikan kecuali pada suku tekanan baroklinik; P_x dan P_y merepresentasikan gradien tekanan. F_x dan F_y pada persamaan momentum merupakan ketidakseimbangan dari stress Reynold horizontal. q_{in} dan q_{out} merupakan *source* dan *sink* lokal dari air per unit volume; S_{precip} merupakan suku *source* non-lokal dari presipitasi dan S_{Evap} suku *sink* non-lokal karena evaporasi. Adapun persamaan transpor untuk konstanta c adalah sebagai berikut (de Goede 2020).

$$\begin{aligned} \frac{\partial Hc}{\partial t} + \frac{\partial Huc}{\partial x} + \frac{\partial Hvc}{\partial y} + \frac{\partial \omega c}{\partial \sigma} \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_H H \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_H H \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(D_v \frac{\partial c}{\partial \sigma} \right) \\ - \lambda_d Hc + S \end{aligned} \quad (7)$$

dengan D_H dan D_v merupakan difusivitas vertikal edi horizontal dan vertikal, λ_d merupakan orde pertama proses peluruhan. S merupakan suku *source* dan *sink* per unit area karena *discharge* q_{in} atau *withdrawal* q_{out} dari air dan perubahan dari panas melewati permukaan bebas Q_{tot} yang dituliskan seperti di bawah ini (de Goede 2020).

$$S = H(q_{in} C_{in} + q_{out} C) + Q_{tot} \quad (8)$$

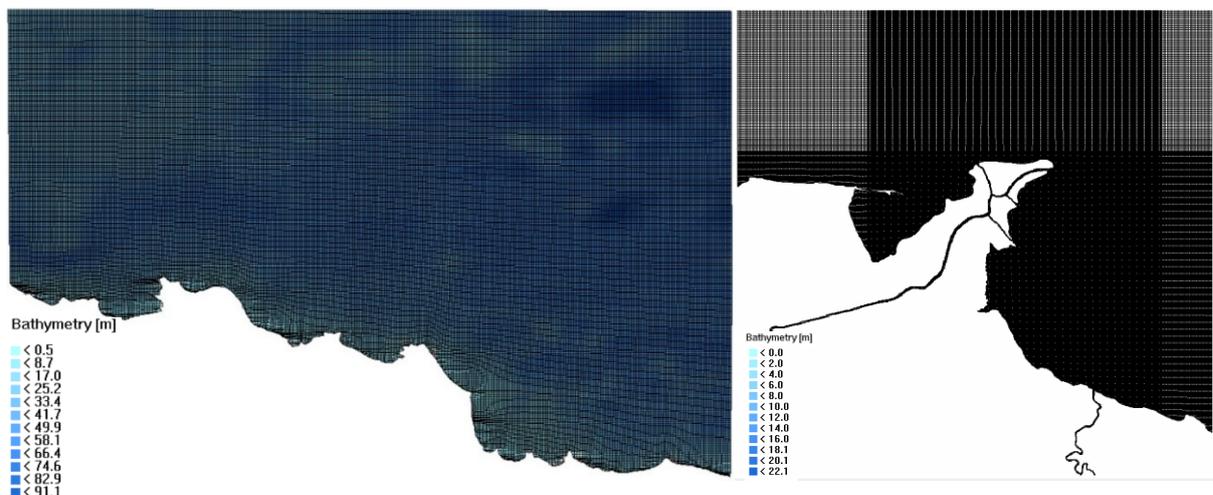
Seperti yang telah disebutkan sebelumnya model menggunakan *structured grid* yang sama besar dx dan dy -nya kecuali pada daerah dekat garis pantai. Daerah dekat garis pantai memiliki dx dan dy yang berbeda karena kondisi grid yang harus mengikuti garis pantai. Adapun konfigurasi dari model ditunjukkan oleh Tabel 2. Simulasi dilakukan selama 1 tahun (Juli 2018 – 2019) pada domain 1 dan selama 6 bulan pada domain 2. Langkah waktu atau dt yang digunakan adalah 1 menit, namun output model diberikan tiap interval 120 menit. Gaya pembangkit yang digunakan adalah angin, tekanan, pasang surut, gradien suhu, dan gradien salinitas. Pada dasarnya hasil simulasi pada domain 1 akan digunakan sebagai input dan konfigursai pada domain 2, hanya saja yang

membedakan adalah ukuran grid serta pada domain 2 ditambahkan input debit sungai sebagai analisis utama dari kajian ini.

Pada Gambar 2 diperlihatkan visualisasi dari konfigurasi domain, yang mana terdiri dari data kedalaman yang telah disesuaikan berdasarkan grid yang dibuat. Dalam simulasi kali ini domain 1 memiliki rentang kedalaman dari 91,1-0,5 m dan domain 2 memiliki rentang kedalaman 20,8-0,2 m. Pada domain 1 ditentukan tiga titik tinjau sebagai *output timeseries* yang akan digunakan sebagai data verifikasi (*tide gauge station* pada Gambar 1a). Output yang dihasilkan dari model hidrodinamika ini berupa *tinggi muka air* (level permukaan), suhu, salinitas dan arus (tiap level/layer) baik secara spasial di seluruh domain maupun secara *timeseries* untuk tiap titik tinjau. Pada domain 1 nilai dx dan dy sebesar 1000 m dengan jumlah grid pada arah x adalah 288 sedangkan pada arah y adalah 357. Pada domain 2 nilai dx dan dy hanya sebesar 44-22 m sehingga jumlah grid arah x berjumlah 568 dan arah y berjumlah 558. Resolusi pada domain 2 memungkinkan adanya gaya yang bekerja dari sungai (input debit sungai).

Tabel 2. Konfigurasi Model

Jenis Konfigurasi	Domain 1	Domain 2
Langkah waktu	1 menit	1 menit
Ukuran grid	1000 m	22 m
Durasi	1 tahun (Juli 2018 - 2019)	4 bulan (September-Desember 2018)
Input	Angin, tekanan, pasut, suhu dan salinitas	Angin, tekanan, pasut, gradien suhu dan salinitas, dan debit sungai
Kondisi awal	<i>Steady state</i>	Kondisi domain 1
Kondisi batas	- Di permukaan: Astronomik (menggunakan 5 komponen) - Di kolom air: <i>timeseries</i> (harian)	- Di permukaan: Astronomik (menggunakan 15 komponen) - Di kolom air: <i>timeseries</i> (kondisi domain 1)
Output parameter	Tinggi muka air, suhu, salinitas, dan arus	Tinggi muka air, suhu, salinitas, dan arus
<i>Output time interval</i>	120 menit	120 menit



Gambar 2. Konfigurasi Grid Domain 1 (kanan) dan Domain 2 (kiri)

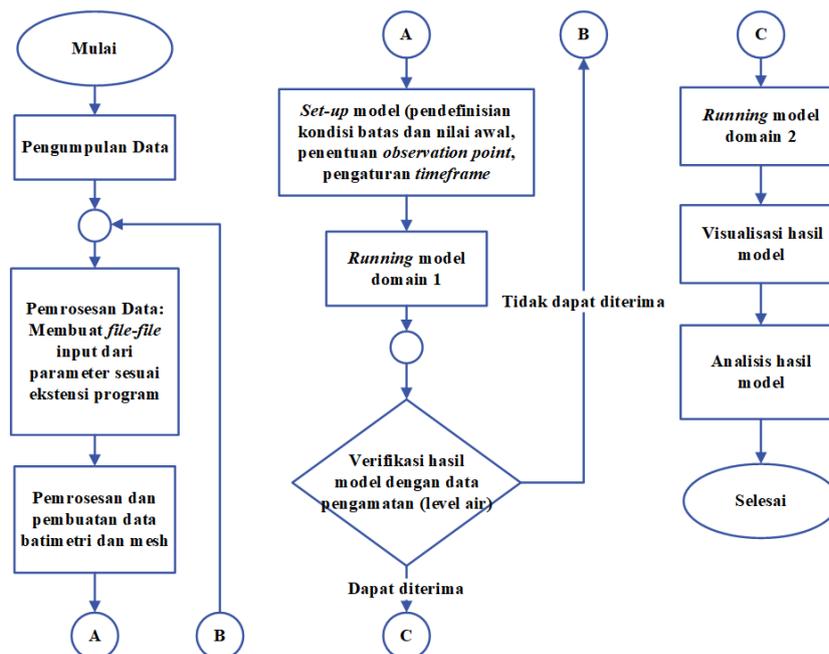
Pada studi kali ini digunakan data tinggi muka air hasil pengamatan (pasut) dari stasiun pengamatan pasang surut BIG untuk verifikasi model. Metode verifikasi yang digunakan adalah metode statistik berupa RMSE dan CC. RMSE dipilih untuk melihat berapa eror atau galat yang menunjukkan selisih antara hasil model dan data lapangan. RMSE dipilih sebagai metrik statistik yang baik untuk menggambarkan distribusi eror ketika distribusi mendekati distribusi normal dan jumlah sampel yang banyak (Chai *et al.*, 2014). Variabel yang terdistribusi normal cenderung menghasilkan eror yang terdistribusi normal (Hodson 2022). Data pasut yang berupa data siklik memiliki distribusi yang mendekati distribusi gaussian/normal, sehingga penggunaan RMSE dalam studi ini dapat merepresentasikan distribusi eror hasil model terhadap data lapangan. Korelasi diantara dua set data adalah ukuran normalisasi ketergantungan statistik antara dua variabel. Metrik korelasi yang paling umum digunakan adalah koefisien korelasi (CC) product-moment linier (Pearson), yang menggambarkan ketergantungan statistik linier orde satu sebagai *covariance* antara kumpulan data yang dinormalisasi dengan deviasi standar masing-masing (Loew *et al.*, 2017). Adapun perumusan dari RMSE (5) dan CC (6) adalah sebagai berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \tag{10}$$

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \tag{11}$$

dengan y_i data observasi, x_i hasil model, \bar{y} rata-rata data lapangan, and \bar{x} rata-rata data model.

Gambar 3 menjelaskan mengenai *flowchart* atau algoritma untuk membangun model yang dimulai dari pengumpulan data, *pre-processing*, *running*, dan *post-processing*. *Pre-processing* sendiri merupakan tahapan dari pemrosesan data hingga pembuatan *mesh* (grid). Dalam *data processing* dilakukan pengolahan data angin, tekanan, salinitas, suhu, pasang surut, dan debit sungai menjadi suatu file yang dapat menjadi inputan model. Selain itu, dilakukan juga pengolahan data batimetri dan garis pantai yang akan digunakan dalam proses pembuatan *mesh*.



Gambar 3. Flowchart Pengerjaan Model

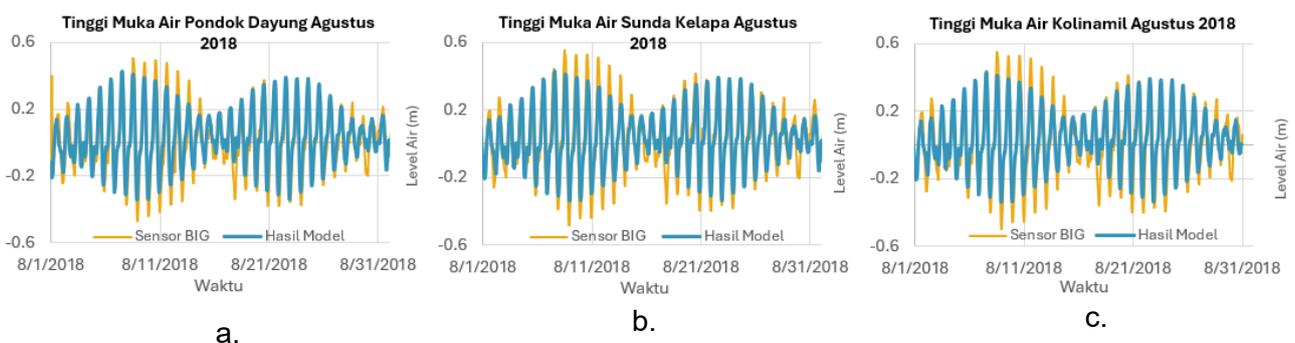
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil verifikasi menunjukkan kesesuaian yang sangat memuaskan antara model dan data lapangan. Nilai RMSE terbaik berada pada *tide gauge* (TG) Kolinamil yang mencapai nilai 0,078, sedangkan pada TG Pondok Dayung 0,096 dan TG Sunda Kelapa 0,094. Nilai RMSE yang kecil mengindikasikan bahwa error sangat kecil. Gambar 5 menunjukkan bahwa pola *tinggi muka air* model mengikuti pola pasang surut dari data lapangan dengan amplitudo data lapangan cenderung lebih tinggi dari pada data model. CC untuk ketiga TG juga termasuk tinggi, yaitu dengan nilai yang mendekati 1 (0,9) yang mengindikasikan bahwa hubungan antara model dan data lapangan searah (jika nilai data lapangan naik maka nilai model juga naik, jika menurun maka nilai model juga akan menurun). Hasil ini mengartikan bahwa hasil model dan data lapangan sefase.

Wilayah Indonesia dipengaruhi oleh sirkulasi ekuatorial dan monsunal dengan karakter yang berbeda (Tjasyono *et al.*, 2008). Namun, dalam studi ini hanya akan melihat pengaruh sirkulasi monsunal dari input angin. Sedangkan pengaruh sirkulasi ekuatorial seperti ENSO dan IOD tidak dipertimbangkan karena durasi penelitian hanya satu tahun sehingga tidak dapat merepresentasikan periode sirkulasi ekuatorial. Arus pada daerah Laut Jawa dipengaruhi oleh angin monsun yang berubah arah secara musiman sehingga dalam melakukan studi dipilih skenario pada domain 1 yang menyimulasikan kondisi perairan selama 1 tahun (Juli 2018 – Juni 2019). Dengan rentang waktu tersebut dapat dibandingkan mengenai dominasi angin dan pasut pada daerah kajian.

Dalam studi ini, pembahasan pertama adalah kondisi angin pada 4 waktu yang berbeda bertepatan saat kondisi pasang dari pasang purnama (*spring tide*). Kondisi arus secara horizontal digambarkan pada 8 waktu (2 waktu seperti pada angin, dan 6 waktu sesuai kondisi pasut, yaitu pada saat pasang perbani (kondisi pasang dan surut) serta saat pasang purnama (kondisi surut). Setelah mengetahui dominasi dari angin dan pasut selanjutnya dilakukan analisis pada kondisi arus, *water level*, suhu, dan salinitas yang didasarkan pada kondisi ekstrim yaitu ketika *high discharge* (HD) dan *low discharge* (LD) baik untuk domain 1 maupun domain 2 untuk melihat pengaruh debit sungai terhadap kondisi hidrodinamika pada daerah kajian. Gambar 5 memperlihatkan luasan daerah visualisasi serta transek membujur pada domain 1 dan 2 yang diambil untuk visualisasi penampang vertikal yang akan dibahas pada bagian berikutnya. Transek pada domain 1 diwakili oleh garis dari titik A ke B (Gambar 5b) untuk menjelaskan kondisi penampang vertikal disepanjang Teluk Eretan. Sedangkan transek dari titik C ke D baik pada domain 1 maupun 2 (Gambar 5b-5c) digunakan untuk menggambarkan kondisi penampang vertikal ketika HD dan LD.

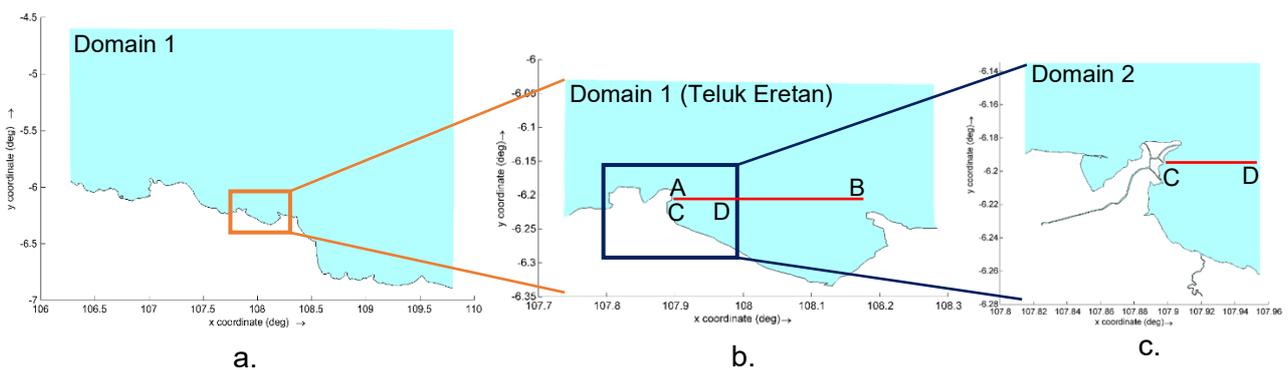
Angin pada tanggal 23 Juli 2018 pukul 13:00 WIB berhembus dari tenggara (Australia) menuju barat laut (Asia) yang disebut sebagai angin musim timur. Kisaran kecepatan angin pada daerah kajian cukup variatif, yaitu sebesar 1-3,8 m/s (Gambar 6a). Selanjutnya, pada tanggal 2 Oktober 2018 11:00 WIB kecepatan angin merupakan yang terkecil dari 4 waktu yang dicuplik, yaitu berkisar pada 0-2 m/s, dengan nilai di daerah pantai hanya mencapai 1 m/s (Gambar 7b). Terjadi perubahan arah angin dengan mulai tidak teraturnya arah vektor angin jika dibandingkan pada tanggal 23 Juli 2018,



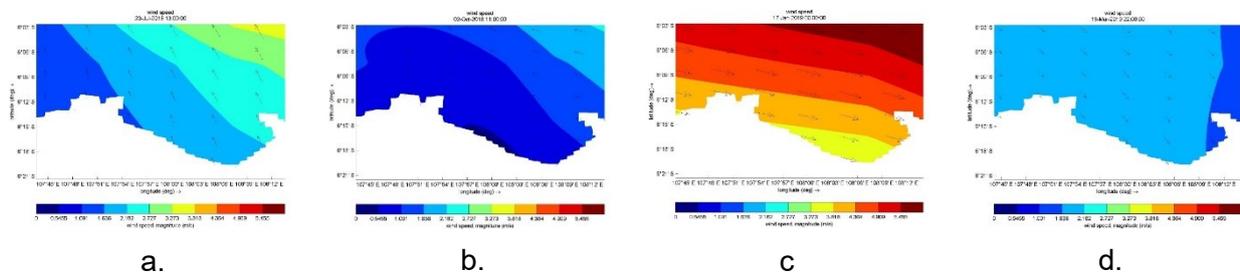
Gambar 4. Hasil Verifikasi Data Level Air Model Terhadap Data Lapangan (*Tide Gauge*) (a) Pondok Dayung, (b) Sunda Kelapa, dan (c) Kolinamil

yaitu terdapat arah angin dari selatan menuju utara. Angin pada tanggal 17 Januari 2019 pukul 08:00 WIB memiliki pergerakan ke arah timur dari barat yang menandakan sedang bertiup angin muson barat (Gambar 6c). Kecepatan angin pada tanggal 17 Januari 2019 merupakan kecepatan yang paling besar (dari 4 waktu yang dicuplik), yaitu 3-4 m/s di pantai dan >5 m/s di lepas pantai. Pada tanggal 13 Maret 2019 pukul 22:00 WIB angin bergerak lebih condong ke arah tenggara dari barat laut, hal ini mengindikasikan sudah terjadi pembelokan arah angin karena transisi perubahan arah angin (perubahan musim). Besaran kecepatan angin saat itu hampir seragam secara spasial di daerah kajian, yaitu bernilai 1,6 m/s (Gambar 6d). Pergerakan ke utara tersebut dikarenakan mulai terjadinya perubahan arah angin monsun yang perlahan akan berubah menuju ke barat laut dari tenggara. Perbandingan magnitudo angin pada 4 waktu pencuplikan tersebut memperlihatkan bahwa magnitudo pada tanggal 2 Oktober dan 13 Maret (musim peralihan) nilainya lebih kecil dari pada tanggal 23 Juli (musim timur) dan 17 Januari (musim barat). Hal ini dikarenakan pada musim peralihan seakan-akan angin melemah karena mulai terjadinya perubahan arah angin, yaitu perubahan sumber angin bertiup (awalnya dari Asia berubah menjadi dari Australia, dan sebaliknya) (Elake *et al.*, 2018).

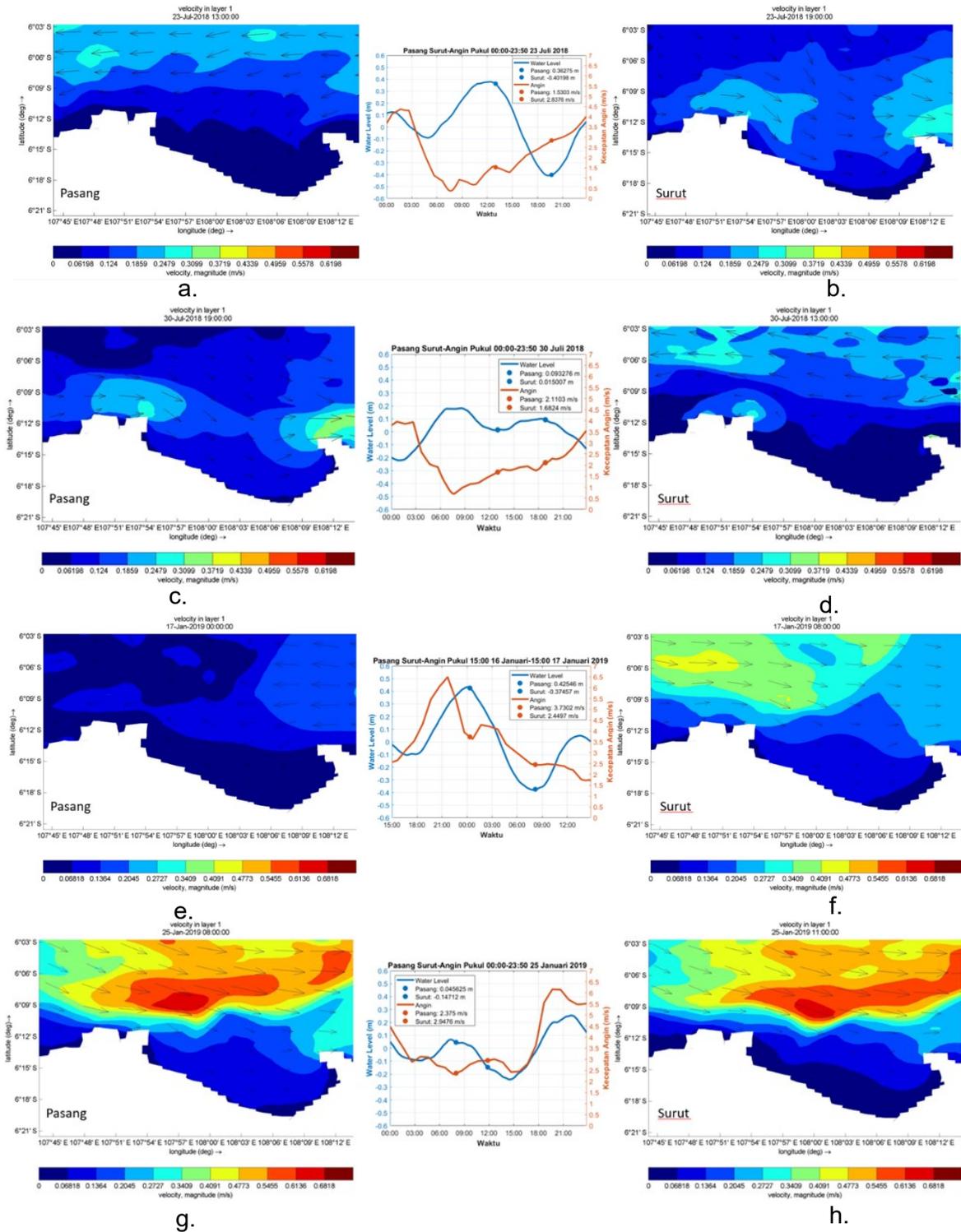
Hasil model arus (Gambar 7) menunjukkan bahwa pola arus berbeda dengan pola angin baik magnitudo maupun arahnya. Hal tersebut dapat diartikan bahwa dominasi angin musiman di daerah kajian dengan rentang spasial yang sempit lebih rendah dibandingkan dengan faktor yang bersifat lebih lokal di daerah tersebut seperti pasang surut (pasut). Saat pasang purnama nilai magnitudo arus lebih besar ketik kondisi surut dari pada kondisi pasang. Saat pasang, magnitudo terbesar dari arus terlihat ketika tanggal 23 Juli 2018 pukul 13:00 WIB (0,2 m/s), sedangkan saat surut magnitudo terbesar ketika tanggal 17 Januari 2019 pukul 8:00 (0,3 m/s). Saat kondisi pasang purnama, ketika



Gambar 5. (a) Domain 1 Model untuk Simulasi Skenario 1, (b) Pencuplikan Domain 1 untuk Visualisasi (Zoom pada Daerah Teluk Eretan), dan (c) Domain 2 Model untuk Simulasi Maupun Visualisasi. Transek AB untuk Visualisasi Vertikal di Sepanjang Teluk Eretan (Skenario 1) dan Transek CD untuk Visualisasi Vertikal Sesuai Panjang Domain 2 (Daerah Teluk Eretan)



Gambar 6. Pola Spasial Angin pada (a) 23 Juli 2018 pukul 13:00 WIB, (b) 2 Oktober 2018 pukul 11:00 WIB, (c) 17 Januari 2019 pukul 00:00 WIB, dan (d) 13 Maret 2019 pukul 22:00 WIB



Gambar 7. Sebaran Spasial Hasil Model Berupa Arus (Arah dan Magnitudo) pada Layer 1 (Permukaan) Kondisi Pasang Purnama pada 23 Juli 2018 (a) Pukul 13:00 WIB dan (b) Pukul 19:00 WIB; Kondisi Pasang Perbani pada 30 Juli 2018 (c) Pukul 19:00 WIB dan (d) Pukul 13:00 WIB; Kondisi Pasang Purnama pada 17 Januari 2019 (e) Pukul 00:00 WIB dan (f) Pukul 08:00 WIB; Kondisi Pasang Perbani pada 25 Januari 2019 (g) Pukul 08:00 WIB dan (h) Pukul 11:00 WIB. Grafik di Tengah merupakan *Overlay* antara Data tinggi muka air (Warna Biru) dan Angin (Warna Merah) Hasil Model

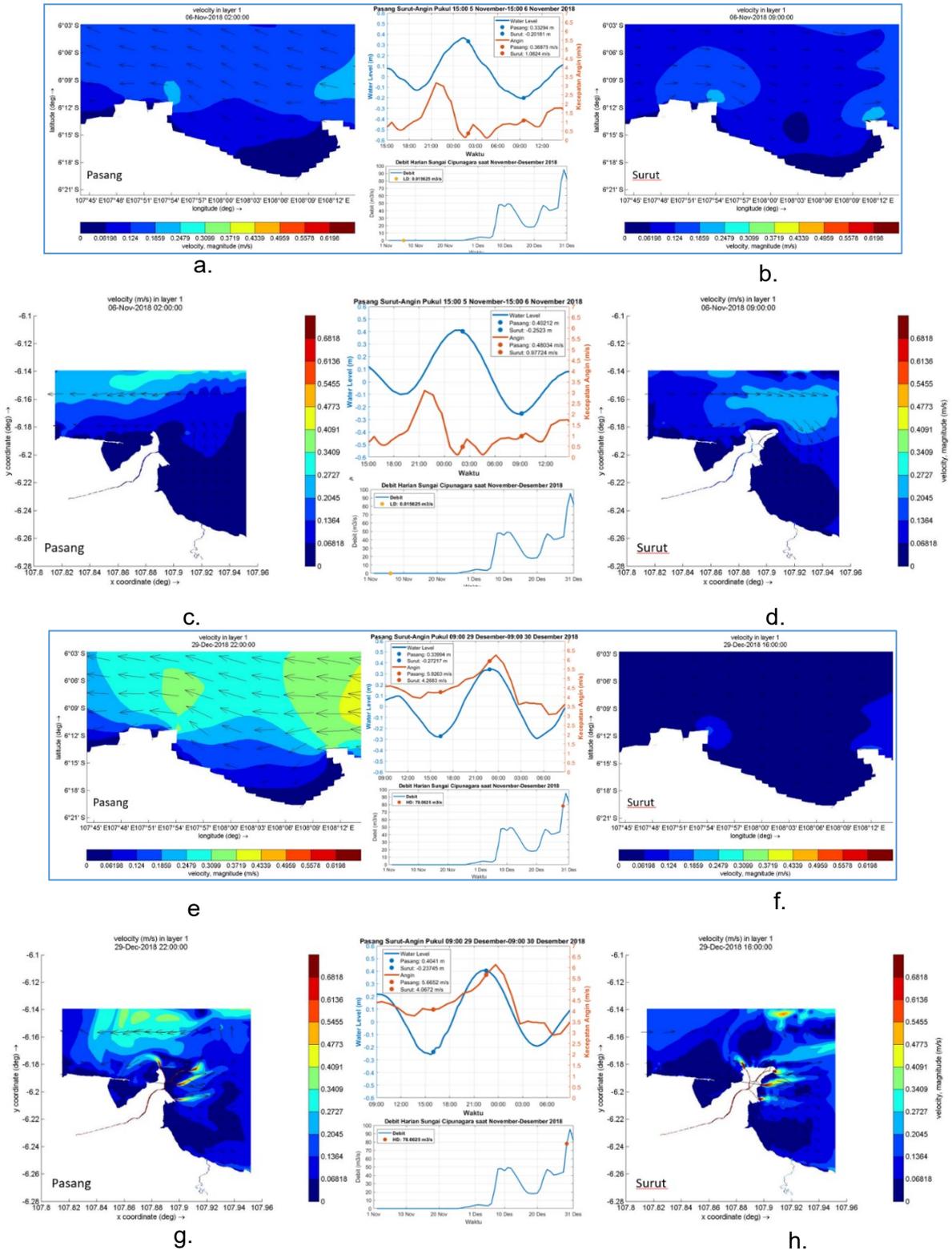
pasang arah arus terbagi dua yaitu menuju barat pada tanggal 23 Juli 2018 dan 17 Januari 2019. Kondisi arus saat pasang perbani berkebalikan dengan saat pasang purnama, yaitu ketika pasang perbani magnitudo arus lebih tinggi ketika pasang dari pada ketika surut. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi arus di daerah kajian lebih didominasi oleh arus pasut dari pada angin permukaan.

Secara vertikal saat kondisi pasang purnama tidak terjadi stratifikasi pada arus, terutama saat kondisi pasang. Saat kondisi surut masih terlihat adanya stratifikasi pada magnitudo kecepatan, dan nilai kecepatan menurun dengan bertambahnya kedalaman yang mengartikan bahwa gaya-gaya pembangkit yang mempengaruhi sirkulasi lebih dominan terjadi di permukaan seperti angin walaupun pada dasarnya terdapat gaya badan seperti pasang surut yang bekerja namun akumulasi gaya di permukaan lebih tinggi dari pada di dasar. Hal ini juga dapat dikarenakan faktor adanya gesekan antar lapisan ataupun gesekan dasar yang mengakibatkan nilai kecepatan berkurang secara vertikal.

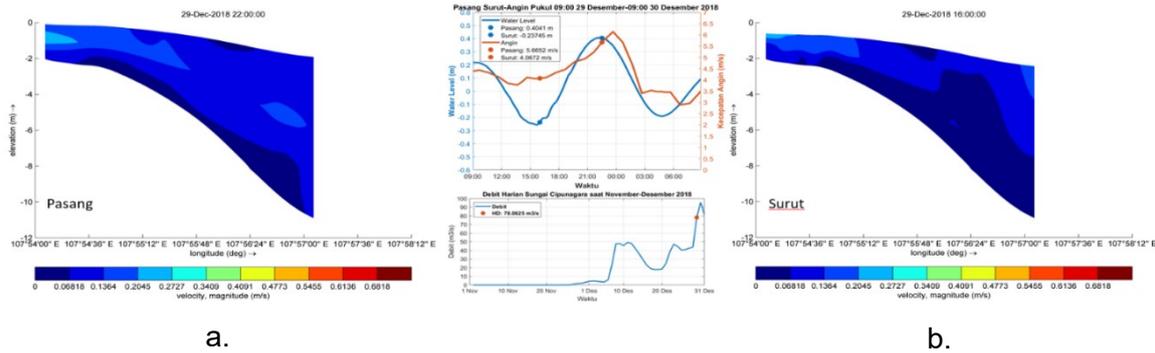
Berkaitan dengan tujuan studi maka diperlukan perbandingan kondisi sebelum dan sesudah diberikan input debit sungai. Penggambaran tersebut diambil pada empat waktu yang mewakili kondisi HD dan LD serta saat pasang dan surut. Penggambaran terhadap kondisi pasang dan surut diperlukan karena gaya dominan yang bekerja di perairan Subang merupakan gaya pasang surut. Penentuan debit tinggi dan rendah didasarkan dari debit harian Sungai Cipunagara dan Sewo selama Juli-Desember 2018 yang diperoleh dari ERA 5 ECMWF yang menunjukkan bahwa pada Sungai Cipunagara kondisi HD terjadi pada tanggal 29 Desember 2018 dan LD terjadi pada tanggal 6 November 2018. Kondisi HD di Sungai Sewo terjadi pada tanggal 11 Desember 2018 dan LD pada tanggal 21 November 2018. Sungai Cipunagara memiliki debit yang tinggi mencapai $78 \text{ m}^3/\text{s}$, dan Sungai Sewo hanya bernilai $3 \text{ m}^3/\text{s}$ maka dalam penggambaran hasil akan digunakan waktu saat Sungai Cipunagara mengalami kondisi HD dan LD.

Saat kondisi debit rendah ($0,016 \text{ m}^3/\text{s}$), kondisi arus hampir sama antara hasil simulasi pada domain 1 tanpa input debit dengan hasil simulasi domain 2 dengan input debit baik arah maupun magnitudonya (Gambar 8). Perbedaan arah arus antara domain 1 dan 2 terjadi saat kondisi HD, yaitu pada domain 1 arah arus mengikuti arah dari arus pasang surut, ketika pasang arah arus menuju barat sedangkan ketika surut arah arus menuju timur. Pada domain 2 arah arus terlihat mengikuti debit yang keluar dari Sungai Cipunagara dalam hal ini terdapat empat muara dari Sungai Cipunagara yang mengeluarkan arus $> 0,7 \text{ m/s}$ ketika kondisi HD. Pada domain 2 terdapat daerah yang tergenang ketika pasang namun saat kondisi surut daerah tersebut kering, hal ini dapat terjadi karena secara alami daerah tersebut merupakan hasil akresi dari Sungai Cipunagara. Akresi yang terjadi dikarenakan oleh tingginya debit yang membawa sedimen sehingga banyak terjadi pengendapan ke arah laut yang dapat dilihat dari deposit di mulut estuari (Franklin *et al.*, 2021). Kondisi tersebut juga menunjukkan bahwa daerah hasil akresi merupakan daerah yang landai karena ketika pasang daerah tersebut tergenang walaupun kondisi tunggang pasut kecil. Kondisi seperti ini mengartikan bahwa debit yang masuk ke perairan Subang sangat mempengaruhi kondisi arus di Perairan Subang baik dalam arah maupun magnitudonya.

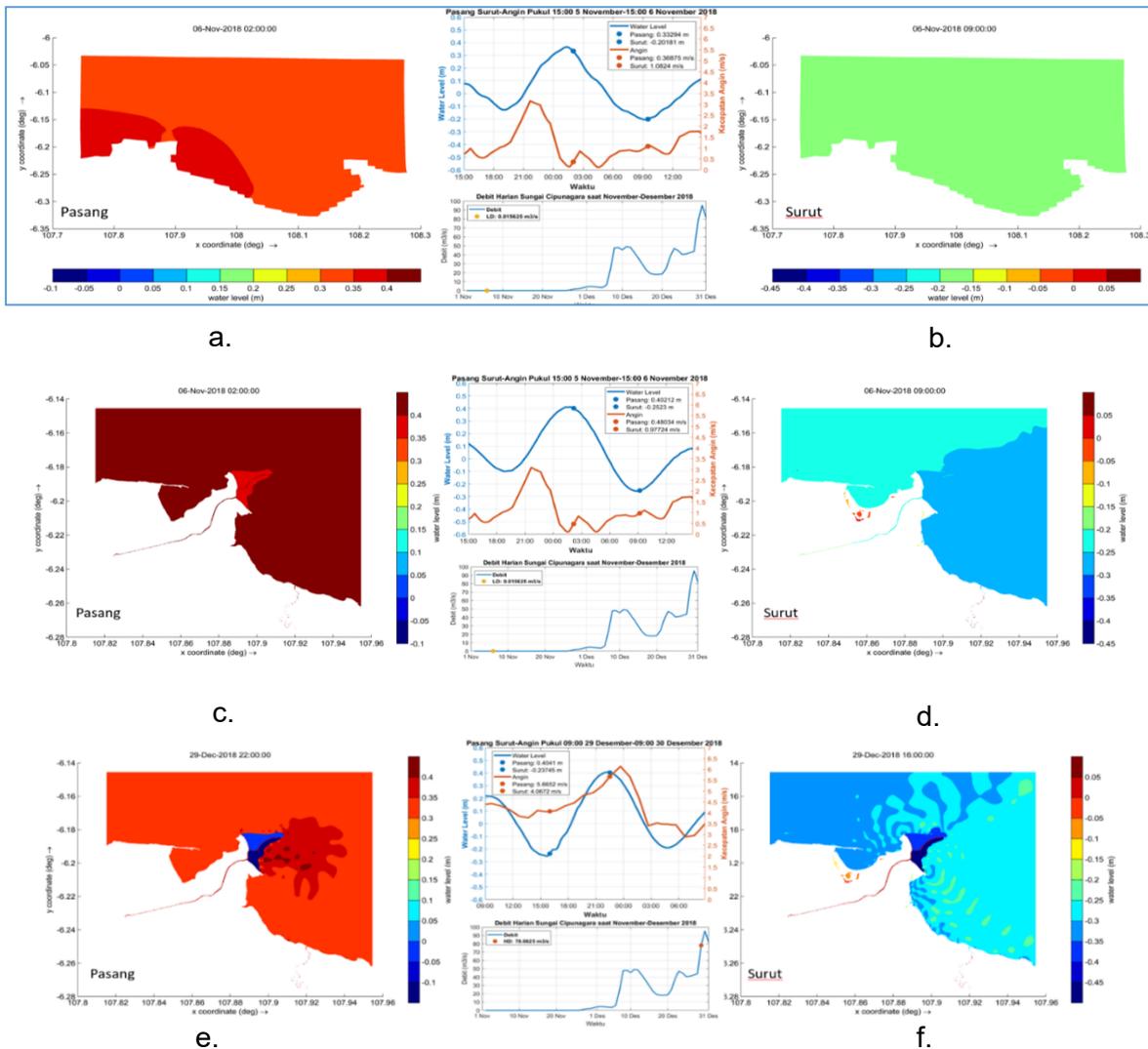
Profil vertikal membujur di sepanjang salah satu muara Sungai Cipunagara (Gambar 5b-5c, transek C-D) yang diperlihatkan oleh Gambar 9 menunjukkan bahwa adanya input debit sungai terjadi stratifikasi secara vertikal dari kecepatan arus. Pencuplikan hanya dilakukan ketika HD, karena ketika kondisi LD tidak terjadi perubahan di daerah kajian (pasut yang menjadi gaya penggerak dominan di perairan). Hasil simulasi memperlihatkan adanya stratifikasi di domain 2 karena memasukkan input debit, saat pasang (Gambar 6a) nilai kecepatan arus lebih tinggi dari pada saat surut (Gambar 6b). Hal ini menjelaskan bahwa saat pasang nilai arus pasut yang tinggi mengakibatkan nilai arus total yang tinggi dan terjadi pencampuran vertikal secara sempurna, dan saat adanya input debit terjadi penambahan nilai kecepatan arus pada daerah dekat dengan muara sungai. Ketika surut, kondisi perairan terstratifikasi secara spasial dan vertikal karena arus pasut yang melemah. Dari penjabaran ini dapat disimpulkan bahwa dengan kondisi perairan Subang yang berupa perairan dangkal serta fokus kajian berada di daerah pantai maka variasi kondisi arus (maupun parameter lainnya) secara vertikal tidak ada, namun dengan adanya input debit sungai yang tinggi dari Sungai Cipunagara memungkinkan terjadinya stratifikasi secara vertikal. Penjabaran mengenai kondisi arus menunjukkan bahwa kondisi perairan lebih bervariasi baik secara vertikal



Gambar 8. Sebaran Spasial Hasil Model Berupa Arus (Arah dan Magnitudo) pada Layer 1 (Permukaan) Kondisi Debit Rendah di Domain 1 (a, b) dan Domain 2 (c, d) pada 6 November 2018 Pukul 02:00 WIB (a, c), dan Pukul 09:00 WIB (b, d) serta Kondisi Debit Tinggi di Domain 1 (e, f) dan Domain 2 (g, h) pada 29 Desember 2018 Pukul 22:00 WIB (e, g), dan Pukul 16:00 WIB (f, h). Grafik di Tengah merupakan *Overlay* antara Data tinggi muka air dan Angin Hasil Model (Atas) serta Data Debit (Bawah)



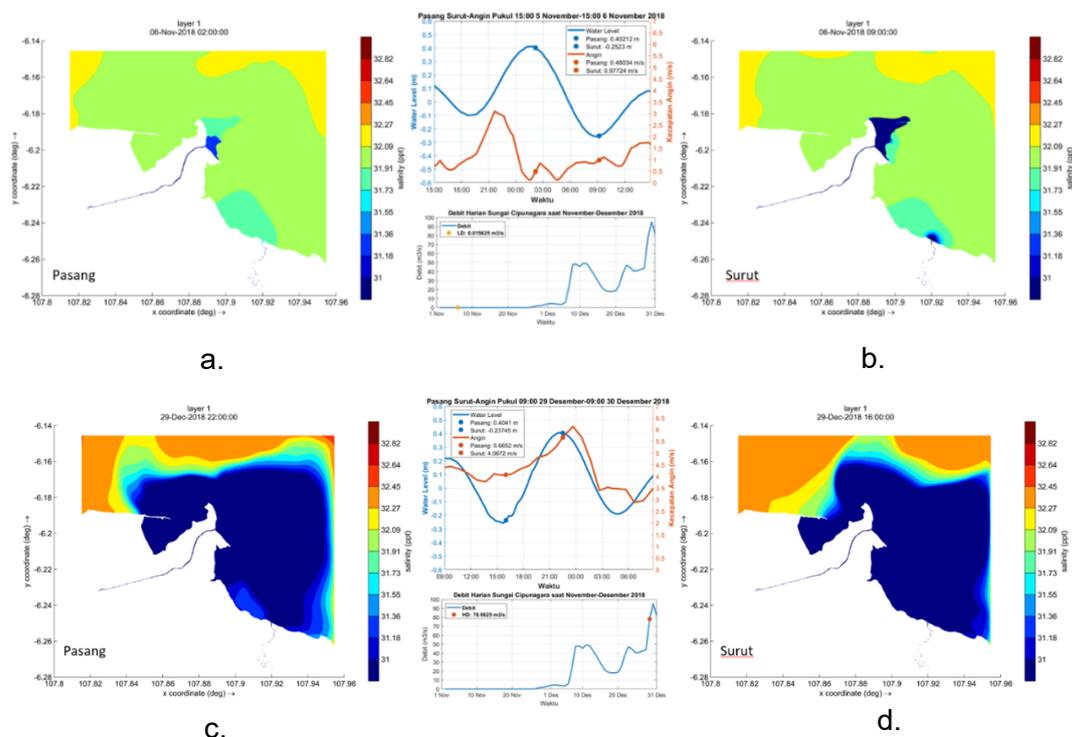
Gambar 9. Profil Vertikal Hasil Model Berupa Arus (Magnitudo) Kondisi Debit Tinggi Tanggal 29 Desember 2018 pada Domain 2 (a) Pukul 22:00 WIB dan (b) Pukul 16:00 WIB, Profil Vertikal merupakan Transek CD pada Gambar 5b-c



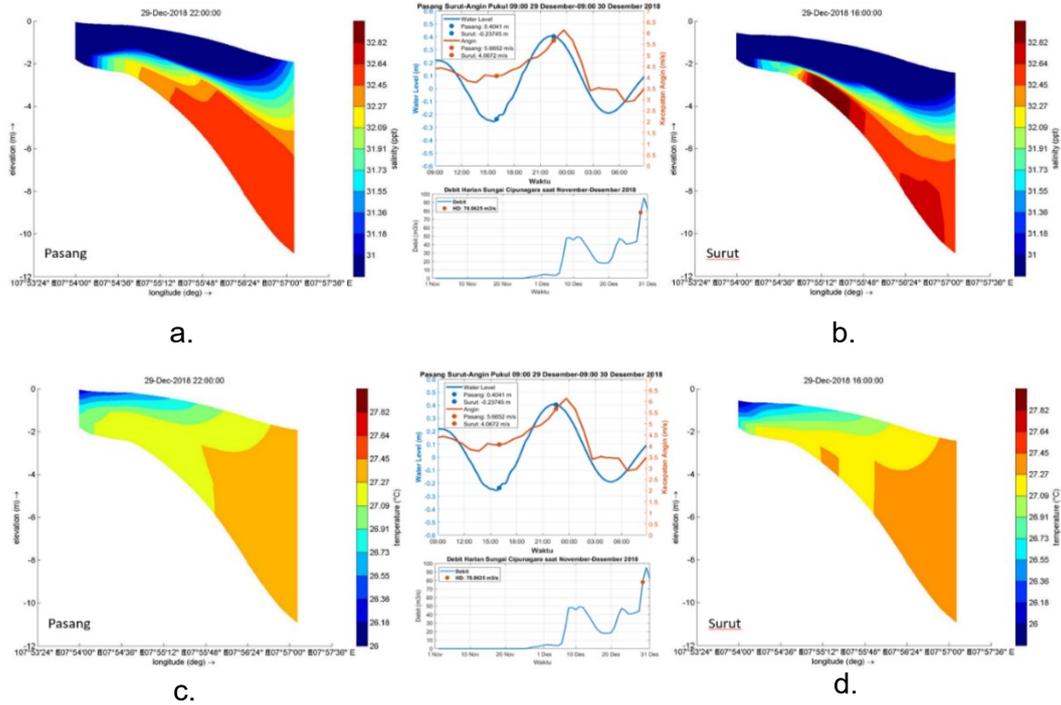
Gambar 10. Sebaran Spasial Hasil Model Berupa Level Air Kondisi Debit Rendah di Domain 1 (a, b) dan Domain 2 (c, d) pada 6 November 2018 Pukul 02:00 WIB (a, c), dan Pukul 09:00 WIB (b, d) serta Kondisi Debit Tinggi di Domain 2 pada 29 Desember 2018 (e) Pukul 22:00 WIB dan (f) Pukul 16:00 WIB

maupun horizontal ketika dalam simulasi disertakan input debit sungai sehingga pada pembahasan mengenai kondisi tinggi muka air hanya akan dibahas mengenai kondisi saat debit tinggi dan rendah saja untuk penggambaran secara horizontal. Gambar 10 memperlihatkan tinggi muka air yang merupakan salah satu parameter yang lebih dipengaruhi oleh pasut dari pada oleh debit. Hal ini dapat dilihat dari sebaran spasial nilai tinggi muka air. Terlihat bahwa nilai tinggi muka air pada domain 2 mengikuti pola pada domain 1 ketika surut.

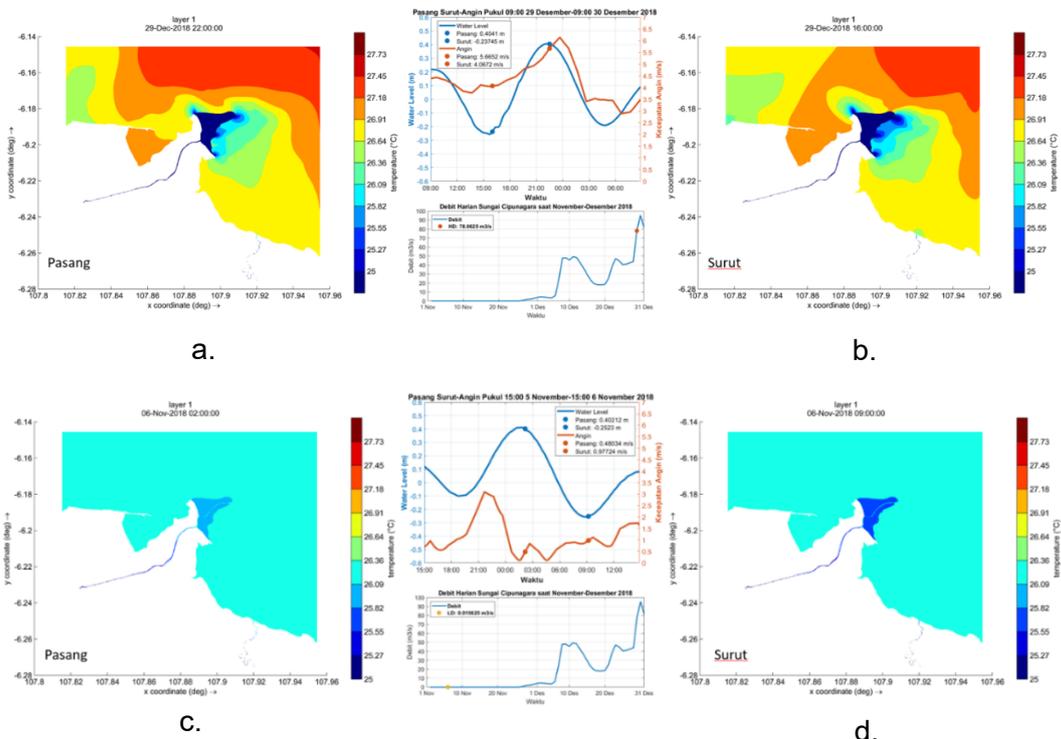
Saat kondisi pasang, ketika debit tinggi, nilai tinggi muka air lebih rendah dari pada saat debit rendah (Gambar 9c dan 9g), namun pada saat debit tinggi, terlihat adanya variasi secara spasial pada daerah muara sungai yang mempengaruhi nilai tinggi muka air lebih tinggi dibandingkan pada daerah lainnya (Gambar 9g-9h). Penjelasan ini dapat disimpulkan bahwa pengaruh debit lebih kecil terhadap kondisi tinggi muka air jika dibandingkan dengan pengaruh arus terhadap tinggi muka air. Kondisi suhu dan salinitas ketika LD memiliki pola dan nilai yang hampir sama antara domain 1 dan domain 2 sehingga saat penggambaran secara vertikal hanya digambarkan saat kondisi HD saja. Kondisi debit tinggi yang dibawa Sungai Cipunagara mengakibatkan nilai salinitas menurun dengan cukup signifikan hingga nilai salinitas kurang dari 31 ppt. Sedangkan pada kondisi LD nilai salinitas mencapai 32-33 ppt yang mengartikan bahwa debit sungai tidak mempengaruhi kondisi salinitas perairan Subang. Secara vertikal (Gambar 12) terlihat pula bahwa dengan adanya debit terjadi stratifikasi yang jelas dengan nilai salinitas yang lebih tinggi di dasar. Jika dibandingkan dengan kondisi tanpa input debit hanya terdapat variasi secara horizontal dan tidak terjadi stratifikasi pada profil vertikal. Saat debit tinggi kondisi pasang (Gambar 12a) terlihat bahwa intrusi dari debit sungai tidak sedalam ketika surut (Gambar 12b). Hal ini terlihat jelas dari tebal kolom air yang memiliki nilai salinitas kurang dari 31 ppt, yaitu saat surut ketebalan mencapai kedalaman 5 m dan saat pasang hanya mencapai 3 m. Hal tersebut terjadi karena pada saat surut input debit sungai akan lebih banyak ke daerah laut dari pada saat pasang.



Gambar 11. Sebaran Spasial Hasil Model Berupa Salinitas pada Layer 1 (Permukaan) Kondisi LD di Domain 2 pada 6 November 2018 (a) Pukul 02:00 WIB dan (b) Pukul 09:00 WIB serta Kondisi HD di Domain 2 pada 29 Desember 2018 (c) Pukul 22:00 WIB dan (d) Pukul 16:00 WIB



Gambar 12. Profil Vertikal Hasil Model Berupa Salinitas (a,b) dan Suhu (c,d) Kondisi HD Tanggal 29 Desember 2018 pada Domain 2 Pukul 22:00 WIB (a,c) dan Pukul 16:00 WIB (b,d). Profil Vertikal merupakan Transek CD pada Gambar 5b-c.



Gambar 13. Sebaran Spasial Hasil Model Berupa Suhu pada Layer 1 (Permukaan) Kondisi LD di Domain 2 pada 6 November 2018 (a) Pukul 02:00 WIB dan (b) Pukul 09:00 WIB serta Kondisi HD di Domain 2 pada 29 Desember 2018 (c) Pukul 22:00 WIB dan (d) Pukul 16:00 WIB

Kondisi suhu permukaan perairan Subang ditunjukkan oleh Gambar 13, yang mana terlihat bahwa variasi secara horizontal terlihat lebih besar saat kondisi HD dengan nilai suhu mencapai 28 °C pada domain, sedangkan saat LD nilai suhu hanya mencapai 26 °C di daerah pantai baik kondisi pasang maupun surut. Dari sebaran horizontal tersebut juga dapat dilihat bahwa nilai suhu dari debit sungai lebih rendah dari pada pesisir namun intrusi dari suhu oleh debit sungai tidak sejauh salinitas jangkauannya baik secara horizontal maupun secara vertikal (Gambar 13 dan 12c-d).

Pada Gambar 12c-12d terlihat bahwa secara vertikal stratifikasi terjadi saat kondisi debit tinggi namun intrusi dari debit sungai hanya mencapai kedalaman 1 m saat surut dan lebih tipis lagi saat pasang. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kondisi hidrodinamika di perairan Subang dipengaruhi oleh banyak faktor, baik secara lokal maupun *remote*. Namun untuk daerah yang sempit seperti daerah Patimban terlihat jelas bahwa pengaruh lokal lebih dominan. Adapun pengaruh lokal tersebut seperti debit sungai dan pasang surut yang merupakan gelombang panjang namun memiliki kekhasan tersendiri di setiap tempat karena faktor geomorfologi. Dengan faktor geomorfologi yang cukup kompleks walaupun merupakan perairan dangkal mengakibatkan pola pasang surut di daerah perairan Subang tidak persis sama seperti di daerah lain. Pengaruh debit mendominasi distribusi permukaan dari tiap karakteristik air (Beardsley *et al.*, 1985; Chen *et al.*, 1994), seperti suhu, salinitas, dan arus dalam kajian ini.

KESIMPULAN

Simulasi hidrodinamika yang dilakukan pada studi ini dapat merepresentasikan kondisi hidrodinamika di daerah kajian karena memiliki nilai CC yang tinggi pada kisaran 0,9 dan RMSE yang baik, kisaran 0,09. Kondisi hidrodinamika (tanpa input debit) dipengaruhi oleh angin musiman dan pasut, namun hasil analisis memperlihatkan bahwa pasut lebih mendominasi. Pengaruh debit sungai lebih mendominasi dari pasut saat kondisi debit tinggi, terutama pada parameter salinitas (< 31 ppt dengan kondisi normal 32-33 ppt). Parameter suhu mengalami penurunan nilai hingga 2-1 °C. Debit sungai yang tinggi mempengaruhi kondisi arus baik pada arah maupun magnitudonya serta menjadi gaya dominan yang bekerja pada daerah dekat muara sungai (kenaikan arus 0,1 m/s secara vertikal dan >0,5 m/s secara horizontal di permukaan). Fluktuasi tinggi muka air lebih dipengaruhi oleh kondisi pasut dibandingkan debit. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk melihat perubahan kondisi hidrodinamika setelah dilakukan pembangunan Pelabuhan Patimban agar dalam perancangan pelabuhan baik dari sistem operasionalnya maupun pembangunannya memperhatikan kondisi hidrodinamika yang bergantung oleh musim (debit sungai) maupun kondisi secara hariannya (pasut).

UCAPAN TERIMAKASIH

Publikasi ini didanai oleh *Marine Technology Cooperation Research Center* (MTCRC) Korea-Indonesia sebagai bagian dari program MTCRC Joint Supervision Masteral Expert Course 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Achiari, H. & Dinan, M.I. 2019. Sedimentation Analysis Based on River Hydrological Discharge at Cipunagara Estuary, Subang, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 258(1): p. 012021. DOI: 10.1088/1755-1315/258/1/012021.
- Akbar, Z.A., Guruh Pratomo, D., Negara, A.K. & Riyadi, N. 2022. Identifikasi Objek Berdimensi Kecil Menggunakan Sapuan Multibeam Echosounder. *Jurnal Chart Datum* 4(2): 127–136.
- Bayhaqi, A., Wisha, U.J. & Surinati, D. 2018. Modeling Tidal Current on Banten Bay During Transitional Monsoons. *Jurnal Segara* 14(2):95-105. DOI: 10.15578/segara.v14i2.6452.
- Beardsley, R.C., Limeburner, R., Yu, H. & Cannon, G.A. 1985. Discharge of the Changjiang (Yangtze River) into the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 4(1):57–76.
- Chai, T., Chai, T. & Draxler, R.R. 2014. Root Mean Square Error (RMSE) or Mean Absolute Error (MAE)? Ozone Health and Ecosystem Impacts View Project Root Mean Square Error (RMSE)

- or Mean Absolute Error (MAE)? Arguments Against Avoiding RMSE in the Literature. *Geoscientific Model Development*, 7: 1247–1250.
- Chen, C., Beardsley, R.C., Limeburner, R. & Kim, K. 1994. Comparison of Winter and Summer Hydrographic Observations in the Yellow and East China Seas and Adjacent Kuroshio during 1986. *Continental Shelf Research*, 14(7): 909–929.
- Deltares. 2014. Delft3D-FLOW User Manual. 3.15. Deltares.
- Elake, A.Y., Talahatu, M. & Nanlohy, P. 2018. Korelasi Multivariabel Enso, Monsun dan Dipolemode Terhadap Variabilitas Curah Hujan di Maluku. *Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan* 12(1): 7-16. DOI: 10.30598/vol12iss1pp7-16ar359.
- Franklin, G.L., Medellín, G., Appendini, C.M., Gómez, J.A., Torres-Freyermuth, A., López González, J. & Ruiz-Salcines, P. 2021. Impact of Port Development on the Northern Yucatan Peninsula Coastline. *Regional Studies in Marine Science*, 45: p.101835. DOI: 10.1016/j.rsma.2021.101835.
- de Goede, E.D. 2020. Historical Overview of 2D and 3D Hydrodynamic Modelling of Shallow Water Flows in the Netherlands. *Ocean Dynamics*, 70(4): 521–539. DOI: 10.1007/s10236-019-01336-5.
- Hodson, T.O. 2022. Root-Mean-Square Error (RMSE) or Mean Absolute Error (MAE): When to Use Them or Not. *Geoscientific Model Development*, 15(14): 5481–5487. DOI: 10.5194/gmd-15-5481-2022.
- Isnaeni, K.Y., Diastomo, H., Nusantara, C.A.D.S. & Windupranata, W. 2022. Understanding the Oceanography Condition in Java Sea using Hydrodynamic Simulation for Patimban Port Development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1047(1): p. 012011. DOI: 10.1088/1755-1315/1047/1/012011.
- JICA. 2017. Environmental Impact Assessment Report of New Port Development Project in Eastern Metropolitan Area (Patimban).
- Koropitan, A.F. & Ikeda, M. 2016. Influences of Physical Processes and Anthropogenic Influx on Biogeochemical Cycle in the Java Sea: Numerical Model Experiment. *Procedia Environmental Sciences*, 33:532–552. doi: 10.1016/j.proenv.2016.03.106.
- Kudale, M.D. 2010. Impact of Port Development on the Coastline and the Need for Protection. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences* 39(4): 597–604.
- Loew, A., Bell, W., Brocca, L., Bulgin, C.E., Burdanowitz, J., Calbet, X., Donner, R.V., Ghent, D., Gruber, A., Kaminski, T. & Kinzel, J., 2017. Validation Practices for Satellite-Based Earth Observation Data Across Communities. *Reviews of Geophysics* 55(3): 779–817. DOI: 10.1002/2017RG000562.
- Maryan, Y.S., Pranowo, W.S., Adrianto, D., Kurniawan, A., Sukoco, N.B. & Astika, I.M.J. 2021. Modeling the Hydrodynamic Characteristics of Tidal and Monsoonal Currents in Pondok Dayung Port of Tanjung Priok Harbor, Jakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 925(1): p.012059. DOI: 10.1088/1755-1315/925/1/012059.
- Mellor, G.L., Häkkinen, S.M., Ezer, T. & Patchen, R.C. 2002. A Generalization of a Sigma Coordinate Ocean Model and an Intercomparison of Model Vertical Grids. Dalam: *Ocean Forecasting*. Springer Berlin Heidelberg, p.55–72. DOI: 10.1007/978-3-662-22648-3_4.
- Nur, W.H., Hendrizan, M., Nurhidayati, A.U. & Fauzi Ismayanto, A. 2020. Estuary Changes of Cipunagara and Cimanuk River Using Landsat Imagery Spatial Analysis. *Bulletin of the Marine Geology*, 35(2): 65–78.
- Nuraeni, Darmawan, A. & Nugraha, D.A. 2020. Studi Efektivitas Sosialisasi Proyek Pembangunan Pelabuhan Patimban dan Penerimaannya oleh Masyarakat. *Jurnal Komunikasi Universitas Garut: Hasil Pemikiran dan Penelitian*, 6(1): 390–398.
- Nuraghnia, A., Windupranata, W., Hakim, A.R., Nusantara, C.A.D.S. & Poerbandono. 2021. Modeling of Tide in the Java Sea Coastal Area between Jakarta and Cirebon, Indonesia: Bathymetric data source and Sensitivity Tests due to Bottom Roughness and Boundary Condition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 777(1): p. 012034. DOI: 10.1088/1755-1315/777/1/012034.
- Safira, R.L., Prasiwi, R.R.I., Julia, A. & Putra, N.R. 2022. Kesiapan Masyarakat dan Pemerintah Desa dalam Pembangunan Pelabuhan di Desa Patimban, Kecamatan Pusakanagara,

- Kabupaten Subang. *Region: Jurnal Pembangunan Wilayah dan Perencanaan Partisipatif*, 17(2): 296-316. DOI: 10.20961/region.v17i2.59327.
- Salim, A.G., Siringoringo, H.H., Budi, D., Narendra, H., Penelitian, P. & Hutan, P. 2016. Pengaruh Penutupan Mangrove Terhadap Perubahan Garis Pantai dan Intrusi Air Laut di Hilir DAS Ciasem dan DAS Cipunegara, Kabupaten Subang. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 23(3): 319–326.
- Tjasyono, B.H., Lubis, A., Juaeni, I. & Woro, H.S.B. 2008. Dampak Variasi Temperatur Samudera Pasifik dan Hindia Ekuatorial Terhadap Curah Hujan di Indonesia. *Jurnal Sains Dirgantara*, 5(2): 83–95.
- Yuana, S.T., Wahyudi, B. & Santoso, P. 2021. Resolusi Konflik Pembangunan Pelabuhan Internasional Di Kabupaten Subang Provinsi Jawa Barat Tahun 2017 –2019. *Jurnal Damai dan Resolusi Konflik* 7(1): 206-232
- Yusuf, M. & Yanagi, T. 2013. Numerical Modeling of Tidal Dynamics in the Java Sea. *Coastal Marine Science*, 36(1): 1–12.