

HIDRODINAMIKA TELUK JAKARTA AKIBAT PEMBANGUNAN JAKARTA GIANT SEA WALL (GSW)

HYDRODYNAMICS OF JAKARTA BAY DUE TO THE CONSTRUCTION OF JAKARTA GIANT SEAWALL

Buddin Al Hakim¹, Widjo Kongko¹, Mardi Wibowo¹, Velly Asvaliantina², & Widodo S. Pranowo³

¹Pusat Riset Teknologi Hidrodinamika, BRIN, Surabaya, Indonesia

²Kementerian Koordinator Maritim dan Investasi, Jakarta Pusat, Indonesia

³Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bandung, Indonesia

e-mail : achmadiiswan67@gmail.com

ABSTRAK

Jakarta menghadapi permasalahan lingkungan dan bencana alam, potensi bencana alam tersebut meliputi banjir, gelombang ekstrem, abrasi dan cuaca ekstrem. Land subsidence yang semakin tinggi, sebagai akibat dari konsolidasi tanah dan pengambilan air tanah secara masif menyebabkan potensi kejadian banjir akan semakin meningkat. Dalam rencana pembangunan jangka panjang 2030, Jakarta mempunyai rencana pembangunan *Giant Sea Wall* (GSW), yang digunakan untuk mengatasi masalah di Jakarta. Pembangunan GSW yang membentang dilepas pantai Teluk Jakarta akan menyebabkan dampak terhadap perairan dan lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan kajian perubahan kondisi hidrodinamika di Teluk Jakarta akibat dari pembangunan Giant Sea Wall. Pembangunan GSW berpengaruh sangat signifikan terhadap pola hidrodinamika terutama di dalam tanggul. Fluktuasi muka air laut dan kecepatan arus di dalam tanggul, bersifat sirkulasi tertutup dan hanya dipengaruhi dari debit sungai yang masuk ke tanggul.

Kata kunci: Modelling, Hidrodinamika, *Giant Sea Wall* (GSW), Teluk Jakarta.

ABSTRACT

Jakarta is facing environmental issues and natural disasters, particularly with a high potential for floods, extreme waves, erosion, and extreme weather events. The increasing land subsidence due to soil consolidation and groundwater extraction continues to escalate the risk of flooding. In the long-term development plan for 2030, Jakarta has proposed the construction of the Giant Sea Wall (GSW) to address these challenges. The GSW, spanning off the coast of Jakarta Bay, is expected to have significant impacts on the water and environmental conditions. The objective of this research is to assess the changes in hydrodynamic conditions in Jakarta Bay resulting from the construction of the Giant Sea Wall. The construction of GSW significantly affects hydrodynamic patterns, especially within the embankment. Volatility in sea level and current velocity within the embankment exhibit closed-circulation characteristics, influenced solely by the discharge of rivers into the embankment.

Keywords: Modelling, Hydrodynamic, *Giant Sea Wall* (GSW), Jakarta Bay.

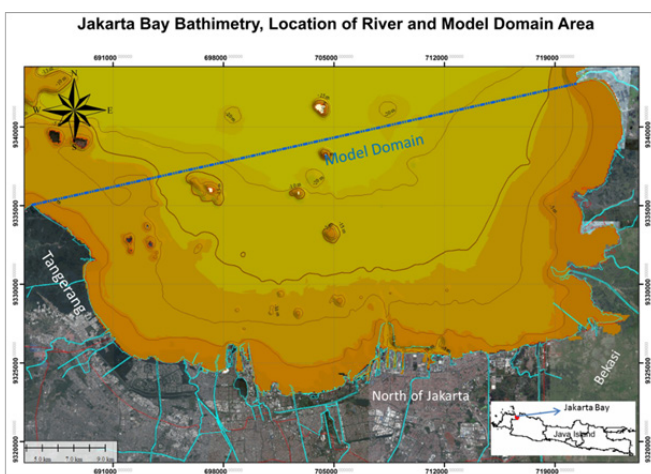
PENDAHULUAN

Teluk Jakarta berada di utara Jakarta, kawasan ini mempunyai garis pantai ± 70 km, luas area 515 km^2 , dengan kedalaman rata-rata ± 15 m, kawasan teluk Jakarta dibatasi dengan Tanjung Pasir di bagian Barat dan Tanjung Karawang di bagian Timur, terdapat 13 sungai dan kanal yang bermuara di Teluk Jakarta, kawasan ini meliputi wilayah Jakarta Utara, Kabupaten Tangerang dan Bekasi, secara umum gambaran teluk Jakarta disampaikan dalam Gambar 1. Jakarta menghadapi permasalahan lingkungan dan bencana alam, Jakarta mempunyai potensi tinggi terkait dengan bencana banjir, gelombang ekstrem, abrasi dan cuaca ekstrem (DKI Jakarta, 2022), selain itu sebagai wilayah pesisir, Jakarta mempunyai kerentanan terhadap bencana akibat dari perubahan iklim (Hakim *et al.*, 2022). *Land subsidence* yang terjadi di Jakarta pada tahun 1982-2010 adalah 1-15 cm/tahun bervariasi terhadap waktu dan lokasi dan dapat meningkat 20-28 cm/tahun (Abidin *et al.*, 2011; Rahardjo *et al.*, 2019), menjadikan wilayah Jakarta menjadi yang tercepat terjadinya land subsidence (Ningsih *et al.*, 2024). Selain itu Jakarta juga mempunyai masalah sumber daya air (Rusdiansyah *et al.*, 2018), permasalahan sosial (Yola *et al.*, 2022) sampai dengan

permasalahan infrastruktur pantai untuk pengamanan masyarakat pesisir (Surya *et al.*, 2019).

Sebagai Ibu Kota Negara, tidak heran jika Jakarta menjadi kota terpadat di Indonesia (BPS Prov. DKI Jakarta, 2023), dengan luas wilayah $661,23 \text{ km}^2$ jumlah penduduk pada tahun adalah 10,609 juta jiwa, ditambah dengan 3,3 juta penduduk yang beraktivitas di Jakarta yang berasal dari luar Jakarta. Beban lingkungan dan beban peningkatan jumlah penduduk perlu dilakukan antisipasi, agar daya dukung dan daya tampung wilayah Jakarta dapat menanggung beban yang ada. Penelitian (Takagi *et al.*, 2016) antara tahun 2000 dan 2050, diperkirakan potensi luas banjir akan meningkat sekitar 110,5 km, dengan 88% peningkatan ini disebabkan oleh penurunan tanah. Studi ini juga mengindikasikan bahwa laju perluasan wilayah banjir di periode 2025-2050 diperkirakan akan 3,4 kali lebih cepat daripada periode 2000-2025.

Saat ini, secara geografis hampir 40% wilayah Jakarta Utara berada di bawah permukaan air laut dan sungai sehingga sering mengalami banjir baik akibat air dari hulu maupun banjir rob dari laut (DLH Prov. Jakarta, 2020; Kardhana, 2013). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Bimantara *et al.* (2013), menyatakan bahwa dari hasil pengolahan data GPS dan sipat datar pada periode tahun 2000 sampai 2011 beberapa daerah di wilayah Jakarta telah mengalami penurunan muka tanah sebesar 1 cm sampai 1,7 m yang bervariasi baik secara spasial maupun temporal, dalam referensi lain rata-rata kecepatan penurunan tanah adalah 7,5 cm per tahun, bahkan ada wilayah yang memiliki kecepatan lebih tinggi hingga 17 cm per tahun (NCICD, 2014). Sampai saat ini penurunan tanah di Jakarta masih terjadi, faktor pengambilan air bawah tanah yang berlebihan dapat memperparah luasan dan kecepatan penurunan tanah yang terjadi di Jakarta.



Gambar 1. Domain Penelitian dan Batimetri Teluk Jakarta Kondisi Eksisting.
Figure 1. Research Domain and Bathymetry of Jakarta Bay Existing Conditions.

Untuk mengatasi permasalahan dan kebutuhan tersebut pemerintah pusat dan Provinsi DKI Jakarta berencana membangun tanggul laut raksasa atau disebut dengan *Giant Sea Wall* (GSW) di Teluk Jakarta (Peraturan Daerah Provinsi DKI Jakarta No. 1 Tahun 2012 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah 2030, 2012). Berdasarkan hasil studi Jakarta Coastal Development Strategy (JDCS) pada 2010/2011, yang merupakan kerjasama antara Pemerintah Indonesia dan Pemerintah Belanda, program ini saat ini lebih dikenal dengan nama *National Capital Integrated Coastal Development* (NCICD)/ Pengembangan Terpadu Pesisir Ibukota Negara (PTPIN). Pembangunan NCICD sendiri terdiri dari 3 fase, yakni Fase A, yang berupa pembangunan tanggul laut di seluruh pantai utara Jakarta, fase B dan C, adalah fase pembangunan tanggul laut yang dibangun di lepas pantai. GSW selain dimanfaatkan sebagai tanggul laut juga direncanakan sebagai sarana transportasi dan tanggul untuk penyedia air baku. Sejumlah rencana strategis pengamanan dan pengembangan wilayah pantai Jakarta termasuk diantaranya tanggul laut ini, diyakini dapat menyelesaikan masalah, memulihkan, dan meningkatkan ketahanan lingkungan di ibukota Republik Indonesia secara menyeluruh.

Interaksi atmosfer dalam skala luas akan menyebabkan terjadinya dinamika pantai, secara alamiah tanpa adanya intervensi manusia, laut dan pantai akan membentuk nilai keseimbangannya, intervensi manusia seperti pembangunan yang dilakukan di dalam perairan atau pantai perlu mendapatkan perhatian, bagaimana interaksi dinamika pantai yang terbentuk akibat dari adanya penambahan bangunan atau pengurangan yang terjadi (Hakim *et al.*, 2015).

Dinamika pantai yang lazim terjadi sangat kompleks, terdiri dari: perubahan pola hidrodinamika seperti arus laut, pasang surut, gelombang, perubahan kualitas lingkungan

perairan sampai dengan angkutan sedimen yang bisa membentuk area/lahan baru atau bahkan menghilangkannya (Poernomo *et al.*, 2015).

Dengan adanya pembangunan GSW Jakarta maka akan mengubah pola hidrodinamika, perubahan ini dapat menyebabkan perubahan angkutan sedimen, perubahan kualitas lingkungan perairan sampai dengan perubahan morfologi pantai di Teluk Jakarta (Arifin, 2004). Kajian ini memberikan gambaran mengenai kondisi hidrodinamika di perairan Teluk Jakarta sebelum dan sesudah pembangunan GSW Jakarta sehingga dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut terkait dengan perubahan angkutan sedimen dan kualitas lingkungan perairan.

BAHAN DAN METODE

Model Hidrodinamika

Arus permukaan di Teluk Jakarta cenderung bergerak dari timur ke barat saat air pasang, dengan kecepatan puncak di muara teluk dan dekat muara sungai. Gerak sirkulasi arus di perairan pantai yang dangkal diasumsikan sebagai aliran massa air yang bercampur sempurna (homogen) mulai dari permukaan laut sampai ke dasar perairan dan pengaruh angin dipermukaan diasumsikan mencapai dasar laut. Oleh karena itu persamaan model yang dipakai adalah persamaan yang diintegrasikan terhadap kedalaman.

Perangkat lunak yang digunakan untuk memodelkan kondisi hidrodinamika akibat adanya pembangunan GSW adalah *software* MIKE21 dari *Danish Hydraulics Institute* (DHI), Denmark yang lisensinya dimiliki oleh BPDP-BPPT. MIKE21 sangat handal untuk memodelkan permasalahan rekayasa dinamika pantai, seperti hidrodinamika, resirkulasi air pendingin dari PLTU serta permasalahan lingkungan lainnya seperti sedimentasi, eutrofikasi, dsb. MIKE

memiliki modul-modul yang penggunaannya disesuaikan dengan kebutuhan. Untuk kajian ini, dipilih MIKE 21 FM modul HD (hidrodinamika) yang merupakan modul dasar. Modul HD digunakan untuk memodelkan sirkulasi air dalam suatu perairan. FM berarti "flexible mesh" yang yang dapat memodelkan bentuk morfologi yang tidak beraturan dengan lebih akurat.

Model Hidrodinamika 2D menggunakan MIKE 21 merupakan model 2-dimensi yang dapat mensimulasikan kondisi hidrodinamika tidak tunak dengan memperhitungkan variasi densitas, batimetri dan gaya penggerak luar lainnya seperti angin dan debit sungai. Secara umum persamaan dua dimensi hidrodinamika terdiri dari komponen utama yang meliputi: persamaan konservasi massa (kontinuitas) dan persamaan konservasi momentum, untuk persamaan sirkulasi yang disebabkan oleh arus pasang surut di perairan pantai digambarkan oleh hukum kekekalan momentum dan massa air.

Persamaan Pembangun Model Hidrodinamika

Model Hidrodinamika 2D: Model MIKE 21 adalah suatu model dua dimensi yang mampu mensimulasikan keadaan hidrodinamika yang tidak stabil dengan mempertimbangkan variasi densitas, batimetri, dan gaya penggerak luar lainnya, seperti meteorologi, arus, pasang surut, dan unsur hidrodinamika lainnya. Secara umum, persamaan hidrodinamika dua dimensi terdiri dari komponen utama, termasuk persamaan konservasi massa (kontinuitas) dan persamaan konservasi momentum.

Sirkulasi yang timbul akibat arus pasang surut di perairan pantai dijelaskan oleh prinsip kekekalan momentum dan massa air. Dalam sistem koordinat kartesian dua dimensi, pergerakan arus pasang surut di perairan pantai dijelaskan melalui suatu persamaan pembangun model yakni persamaan kontinuitas (Persamaan 1, 2 dan 3) dan

persamaan momentum (Persamaan 4 dan 5).
Persamaan Kontinuitas:

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

Persamaan momentum arah x dan y :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{-\tau_{bx}}{\rho h} + A_h \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right) \dots\dots\dots 2)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{-\tau_{by}}{\rho h} + A_h \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} \right) \dots\dots\dots 3)$$

Dimana u dan v menyatakan kecepatan arus yang dirata-ratakan terhadap kedalaman yang didefinisikan sebagai:

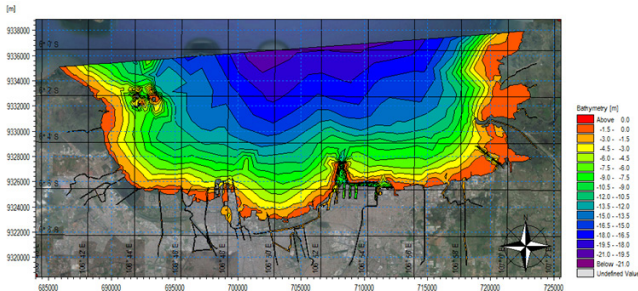
$$\bar{u} = \frac{1}{h} \int_{-h_0}^{\zeta} u dz \quad , \quad \bar{v} = \frac{1}{h} \int_{-h_0}^{\zeta} v dz \dots\dots\dots 4)$$

Dan ζ adalah elevasi muka laut, h adalah kedalaman total yang didefinisikan sebagai : $h = h_0 + \zeta$, dimana h_0 adalah kedalaman air rata-rata. τ_{bx} dan τ_{by} adalah stress dasar (m^2/det^2) yang didefinisikan:

$$\tau_{bx} = \rho \bar{u} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2} \quad , \quad \tau_{by} = \rho \bar{v} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2} \dots\dots\dots 5)$$

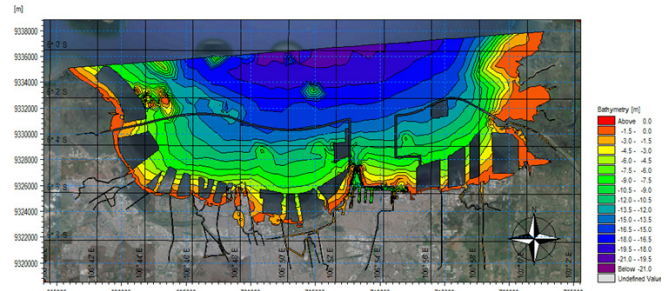
Skenario Pemodelan

Secara umum skenario yang disusun terbagi menjadi 2 bagian besar yaitu kondisi eksisting (tanpa adanya tanggul GSW dan pulau-pulau hasil reklamasi) sebagaimana digambarkan pada Gambar 2 dan skenario kondisi ULTIMATE (kondisi dimana pemodelan dilakukan dengan menganggap telah ada daerah reklamasi dan terdapat bangunan GSW dengan desain dari (Peraturan Daerah Provinsi DKI Jakarta No. 1 Tahun 2012 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah 2030, 2012) sebagaimana digambarkan pada Gambar 3. Dinamika perairan Teluk Jakarta sebagian besar dipengaruhi oleh angin muson, dan karakteristik arusnya cenderung dipengaruhi oleh perubahan musim (Koropitan *et al.*, 2009; van der Wulp *et al.*, 2016), sehingga dalam pemodelan ini skenario disusun berdasarkan waktu musim penghujan (bulan Desember) dan musim kemarau (bulan Juli). Untuk masing-masing bulan tersebut diskenariokan untuk kondisi pasang purnama (*spring tide*) dan pasang perbani (*neap tide*).



Gambar 2. Batimetri Teluk Jakarta Kondisi Eksisting.

Figure 2. Bathymetry of Jakarta Bay Existing Condition.



Gambar 3. Batimetri Teluk Jakarta Kondisi Ultimate.

Figure 3. Bathymetry of Jakarta Bay Ultimate Condition.

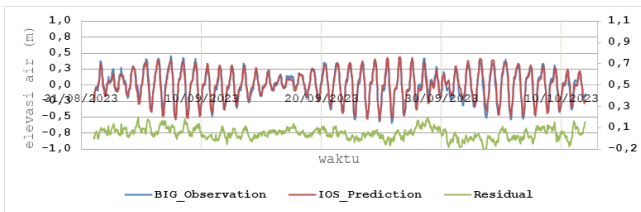
Data yang digunakan untuk pemodelan hidrodinamika akibat pembangunan GSW di Teluk Jakarta tersaji dalam Tabel 1.

Salah satu pembangkit model Hidrodinamika adalah data time series elevasi air pada boundary model, stasiun pengukuran pasang surut biasanya diletakkan di lokasi representatif untuk mewakili suatu perairan sehingga untuk kebutuhan data pasang surut pada batas model menggunakan data hasil perhitungan numerik, banyak model

yang dikembangkan untuk mendapatkan nilai pasang surut, pada simulasi ini data pasang surut di boundary dihitung dengan menggunakan *Tide Model Driver* (TMD) (Padman & Erofeeva, 2005). Perbandingan perhitungan model pasang surut dan hasil penguran dapat digambarkan pada Gambar 4. Nilai RMSE dari perhitungan model terhadap observasi adalah 5,18%-7%, dengan derajat kesamaan ini, diyakini hasil model hidrodinamika yang dijalankan mempunyai derajat validasi yang baik.

Tabel 1. Kebutuhan dan Sumber Data Pemodelan Hidrodinamika
Table 1. Needs and Sources of Hydrodynamic Modeling Data

No	Jenis Data	Sumber
1	Garis Pantai	<ul style="list-style-type: none"> Citra ALOS 2002, IKONOS 2006. Dengan tambahan Foto Citra dari Google Earth Perekaman 5 Juni 2013 diakses pada tanggal 25 Juni 2013
2	Batimetri	<ul style="list-style-type: none"> Validasi hasil survei BPDP – BPPT, 2013 DISHIDROS tahun 1994 Lembar Teluk Jakarta. Citra satelit Navichart
3	Topografi	<ul style="list-style-type: none"> Hasil Survei BPDP – BPPT, 2013
4	Debit sungai	<ul style="list-style-type: none"> Data SPOT Height Tahun 2007
5	Angin dan komponen meteorologi	<ul style="list-style-type: none"> SLHD provinsi DKI Jakarta Tahun 2013 (BPLHD DKI Jakarta, 2013), berupa data debit sungai
6	Pasang Surut	<ul style="list-style-type: none"> ECMWF, SLHD provinsi DKI Jakarta Tahun 2013 (BPLHD DKI Jakarta, 2013) Perhitungan dengan <i>Tide Model Driver</i> (TMD) (Padman & Erofeeva, 2005) Badan Informasi Geospasial (BIG) yang diakses dari http://www.ioc-sealevelmonitoring.org
7	Desain Giant seawall dan Pulau Reklamasi	<ul style="list-style-type: none"> Validasi hasil survei BPDP – BPPT, 2013 (Ministry of Public Works, 2011), (Peraturan Daerah Provinsi DKI Jakarta No. 1 Tahun 2012 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah 2030, 2012) Witteveen-Bos Indonesia (WBI), 2013



Gambar 4. Perbandingan Data Pasang Surut observasi BIG dan Hasil Perhitungan Model untuk inputan model.

Figure 1. Research Domain and Bathymetry of Jakarta Bay Existing Conditions.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat Kebenaran Hasil Model (Validasi)

Untuk memvalidasi sejauh mana hasil model mencerminkan kondisi nyata, digunakan perhitungan menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *normalized root-mean-square error* (NRMSE). RMSE dan NRMSE adalah suatu parameter yang digunakan untuk menilai kesesuaian nilai hasil pemodelan menggunakan perangkat lunak MIKE 21 terhadap nilai sebenarnya atau nilai yang dianggap benar. Perhitungan RMSE dan NRMSE menggunakan persamaan (6) dan (7).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \dots\dots\dots 6)$$

y_i adalah nilai observasi atau data aktual ke- i , dan \hat{y}_i adalah nilai yang dihasilkan dari model menggunakan MIKE21, dimana n merupakan jumlah data yang dibandingkan.

$$NRMSE = \left(\frac{RMSE}{Range} \right) \times 100\% \dots\dots\dots 7)$$

NRMSE menggambarkan derajat nilai

Tabel 2. Verifikasi Hasil Model dibandingkan dengan Pengamatan Pasang Surut di Tanjung Priok Jakarta, Tanggal 22 Agustus – 20 September 2013. (Sumber: Analisis data, 2013).

Table 2. Verification of Model Results compared with Tide Observations in Tanjung Priok Jakarta, 22 August – 20 September 2013. (Source: Data analysis, 2013).

No	Keterangan	Jml Data	Perhitungan RMSE			Perhitungan NRMSE	
			RMSE (m)	xmax (m)	xmin (m)	RMSD/ (xmax - xmin)	NRMSE (%)
1	Hasil Model MIKE 21 terhadap data IOC Kolinamil	1438	0,022	0,344	-0,48	0,03	2,65

kesalahan yang dinormalisasi, yang berguna untuk membandingkan hasil model atau data dengan rentang yang berbeda, semakin rendah nilai NRMSE, semakin baik model dalam melakukan prediksi relatif terhadap rentang data yang dibandingkan.

Untuk mengetahui tingkat validasi hasil model, dilakukan running model dengan memasukkan inputan yang akan digunakan untuk model skenario atau model rencana, waktu running model validasi dilakukan pada tanggal 22 Agustus – 20 September 2013, sesuai dengan data pengamatan pasang surut yang tersedia, baik yang berasal dari data pengamatan BIG maupun pasang surut dari hasil survei ADCP yang telah dipasang di Teluk Jakarta. Selanjutnya dihitung nilai RMSE dan NRSME-nya untuk mengetahui derajat kebenaran hasil model terhadap kondisi eksisting hasil pengamatan dan pengukuran yang telah dilakukan. Nilai RMSE dan NRMSE model ditampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Terhadap data pengamatan pasang surut yang dilakukan oleh BIG, model mempunyai nilai NRMSE 2.64%, sedangkan terhadap data pasang surut dari output ADCP nilai NRMSEnya adalah 7.37%. Dengan nilai NRMSE ini, dapat dikatakan model dapat berjalan dengan baik dan dapat merepresentasikan kondisi hidrodinamika di teluk Jakarta, dengan nilai kebenaran >90%.

Kondisi Pasang Surut Perairan Teluk Jakarta

Pasang surut adalah perubahan vertikal permukaan laut yang disebabkan oleh

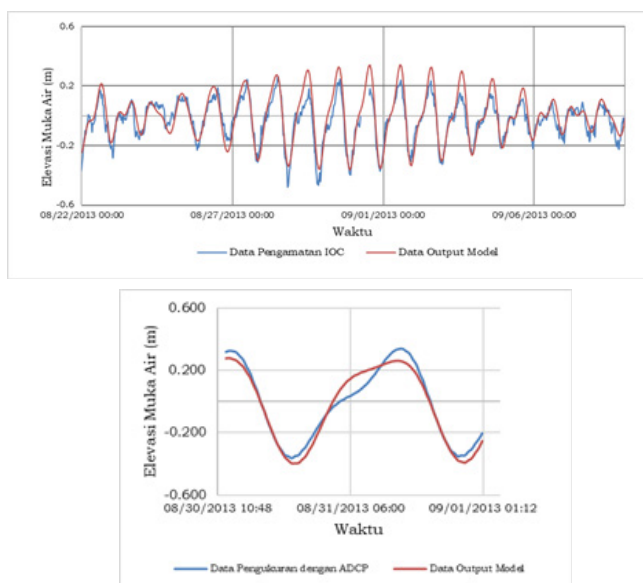
Tabel 3. Verifikasi Hasil Model dibandingkan dengan Pengukuran ADCP di Perairan Jakarta, Tanggal 30 Agustus – 1 September 2013 (Sumber: Analisis data, 2013)

Table 3. Verification of Model Results compared with ADCP Measurements in Jakarta Waters, 30 August – 1 September 2013 (Source: Data analysis, 2013)

No	Keterangan	Jml Data	Perhitungan RMSE			Perhitungan NRMSE	
			RMSE (m)	xmax (m)	xmin (m)	RMSD/ (xmax - xmin)	NRMSE (%)
1	Hasil Model MIKE 21 terhadap Pengukuran ADCP	249	0,054	0,340	-0,395	0,074	7,372

pengaruh gaya tarik dari bulan, matahari, dan objek langit lainnya terhadap bumi. Gerakan permukaan laut ini bersifat periodik seiring dengan gaya tarik yang berubah, dimana intensitasnya fluktuatif sesuai dengan posisi relatif bulan, matahari, dan bumi. Posisi relatif bulan dan bumi juga memengaruhi amplitudo pasang surut, yang dikenal sebagai tunggang air. Tunggang air adalah selisih antara tinggi air pada pasang maksimum (*high water*) dan pasang minimum (*low water*), dan bisa mencapai ketinggian rata-rata dari beberapa meter hingga puluhan meter.

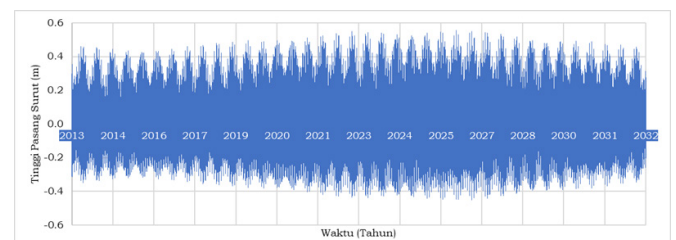
Dari analisis data komponen pasang surut di teluk Jakarta yang meliputi M2, S2, K1, O1, 5 N2, P1, K2 dan Q1 didapatkan nilai bilangan Formzahl (F) >3. Selain itu nilai bilangan Formzahl (F) dari komponen harmonik yang dihitung menggunakan metode admiralty didapatkan nilai F = 3.986 dan menggunakan MIKE21 didapatkan nilai F = 3.141, dengan nilai F > 3 maka kondisi pasang surut di teluk Jakarta dapat dikategorikan sebagai pasang surut diurnal (harian tunggal), yaitu hanya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari.



Gambar 5. (a) Perbandingan Hasil Model dengan data Pengamatan Pasang Surut BIG (St. Kolinamil), (b) Perbandingan Hasil Model dengan data hasil survei ADCP (BTIPDP).

Figure 5. (a) Comparison of model results with BIG Tidal Observation data (St. Kolinamil), (b) Comparison of model results with ADCP survey data (BTIPDP).

Dari perhitungan kondisi pasang surut selama 20 tahun di teluk Jakarta pada gambar 6, didapatkan nilai MSL = 0, tinggi maksimum water level adalah 0,557 m, sedangkan nilai minimumnya adalah -0,452 m. Analisis data pasang surut 20 tahun ini nantinya digunakan untuk menentukan skenario pemodelan, saat kondisi pasang tertinggi dan kondisi surut terendah dalam kurun waktu 20 tahun.



Gambar 6. Kondisi pasang surut di Teluk Jakarta 2013-2032.

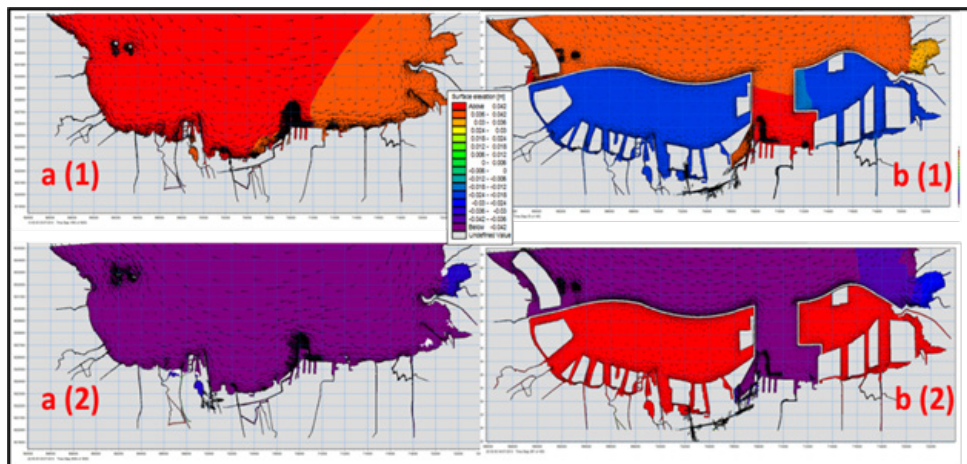
Figure 6. Tidal conditions in Jakarta Bay 2013-2032.

Hasil Model MIKE 21 Kondisi Surface Elevation dan Kecepatan Arus di Perairan Teluk Jakarta

Gambar 7 dan 8 merupakan snapshot dari hasil model yang telah dilakukan, pada gambar 7 menginformasikan bahwa sebelum ada pembangunan GSW, elevasi muka air laut diseluruh perairan teluk Jakarta adalah seragam, sedangkan saat pembangunan GSW akan menyebabkan perbedaan elevasi muka air laut di dalam tanggul dan di luar tanggul, pada gambar 8 menginformasikan bahwa hasil model pergerakan arus

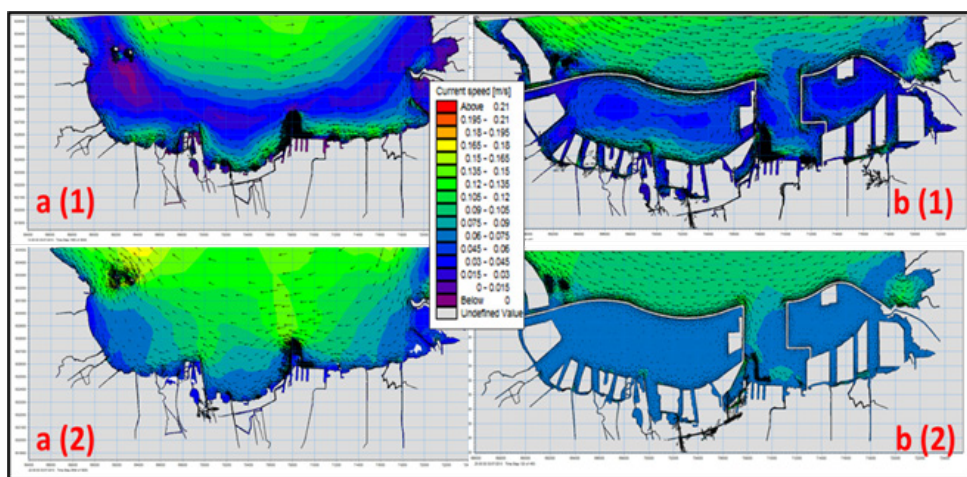
dipengaruhi oleh kondisi monsoon yang mempengaruhi pergerakan arus di wilayah Indonesia, hasil model skenario musim barat memberikan hasil bahwa arus cenderung bergerak dari barat ke timur (gambar 8, a(1), b(1)), sedangkan pada saat musim timur arus cenderung bergerak dari timur ke barat (gambar 8, a(2) dan b(2)), kondisi ini terjadi pada skenario eksisting maupun skenario penambahan GSW.

Pada gambar 8 juga menggambarkan pola arus di perairan Jakarta selain



Gambar 7. Kondisi surface elevation perairan teluk Jakarta a(1), b(1) saat pasang tertinggi a(2), b(2) surut terendah (Skenario : Musim Timur, Kondisi Spring; a : eksisting; b : ultimate)

Figure 7. Surface elevation conditions of Jakarta Bay waters a(1), b(1) at the highest tide, a(2), b(2) at the lowest ebb (Scenario: East Season, Spring Condition; a: existing; b: ultimate)



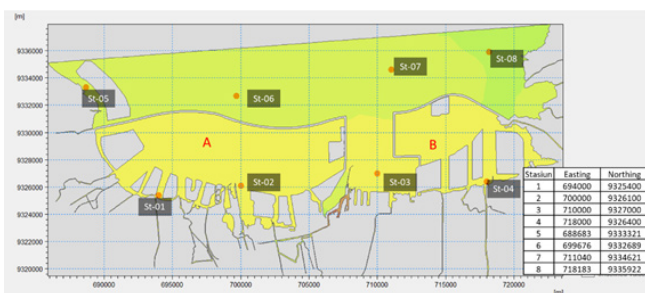
Gambar 8. Kondisi kecepatan arus (m/det) perairan teluk Jakarta a(1), b(1) saat pasang tertinggi a(2), b(2) surut terendah (Skenario : Musim Timur, Kondisi Spring; a : eksisting; b : ultimate)

Figure 8. Condition of current speed (m/sec) in Jakarta Bay waters a(1), b(1) at highest tide a(2), b(2) at lowest ebb (Scenario: East Season, Spring Conditions; a: existing; b: ultimate)

dipengaruhi oleh angin monsoon ternyata juga dipengaruhi oleh pasang surut yang cenderung dominan, pada saat menuju pasang terlihat pola arus menuju kearah pantai, pada saat surut pola arus pergerakannya menuju ke laut, jika dibandingkan kecepatannya ternyata arus menuju surut kecepatannya lebih tinggi dibandingkan saat menuju pasang. Pembangunan GSW di dalam perairan terbuka cenderung tidak berpengaruh pada pola arus, pembangunan GSW berakibat pada kecepatan arus yang mengenai bangunan tanggul. Saat mengenai bangunan, kecepatan arus cenderung meningkat hal ini diakibatkan adanya akumulasi gaya yang mengenai bangunan tanggul, sedangkan di dalam tanggul kecepatan arus yang terbentuk cenderung seragam di seluruh area di dalam tanggul dengan kecepatan konstan yang sangat kecil, di dalam tanggul pergerakan arus cenderung berputar putar mengelilingi bangunan.

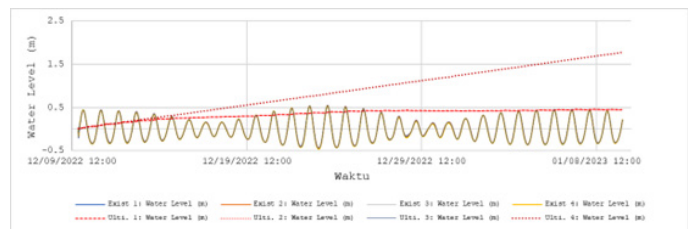
Hasil pemetikan data kondisi pasang surut dan kecepatan arus di Perairan Teluk Jakarta sebelum dan sesudah pembangunan GSW

Untuk mendapatkan perbandingan kondisi pasang surut dan kecepatan arus pasca pembangunan GSW, dilakukan ekstraksi data pada titik titik penting yang dianggap dapat digunakan untuk menganalisis terkait perubahan hidrodinamika di Teluk Jakarta. Terdapat 8 titik pengamatan yang



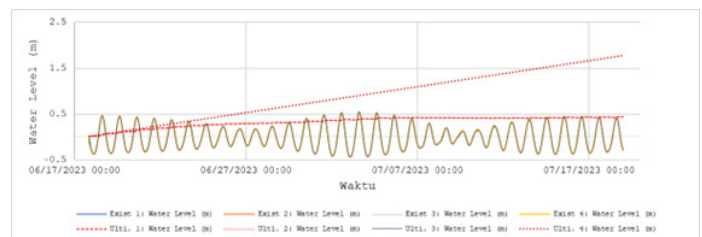
Gambar 9. Lokasi Titik Interest untuk analisis Hasil Model. (Ref. UTM Zone 48S)

Figure 9. Location of Interest Points for Model Results analysis (Ref. UTM Zone 48S).



Gambar 10. Hasil model perbandingan elevasi muka air laut saat musim barat (skenario musim barat).

Figure 10. Model results comparing sea level elevation during the west season (west monsoon scenario).

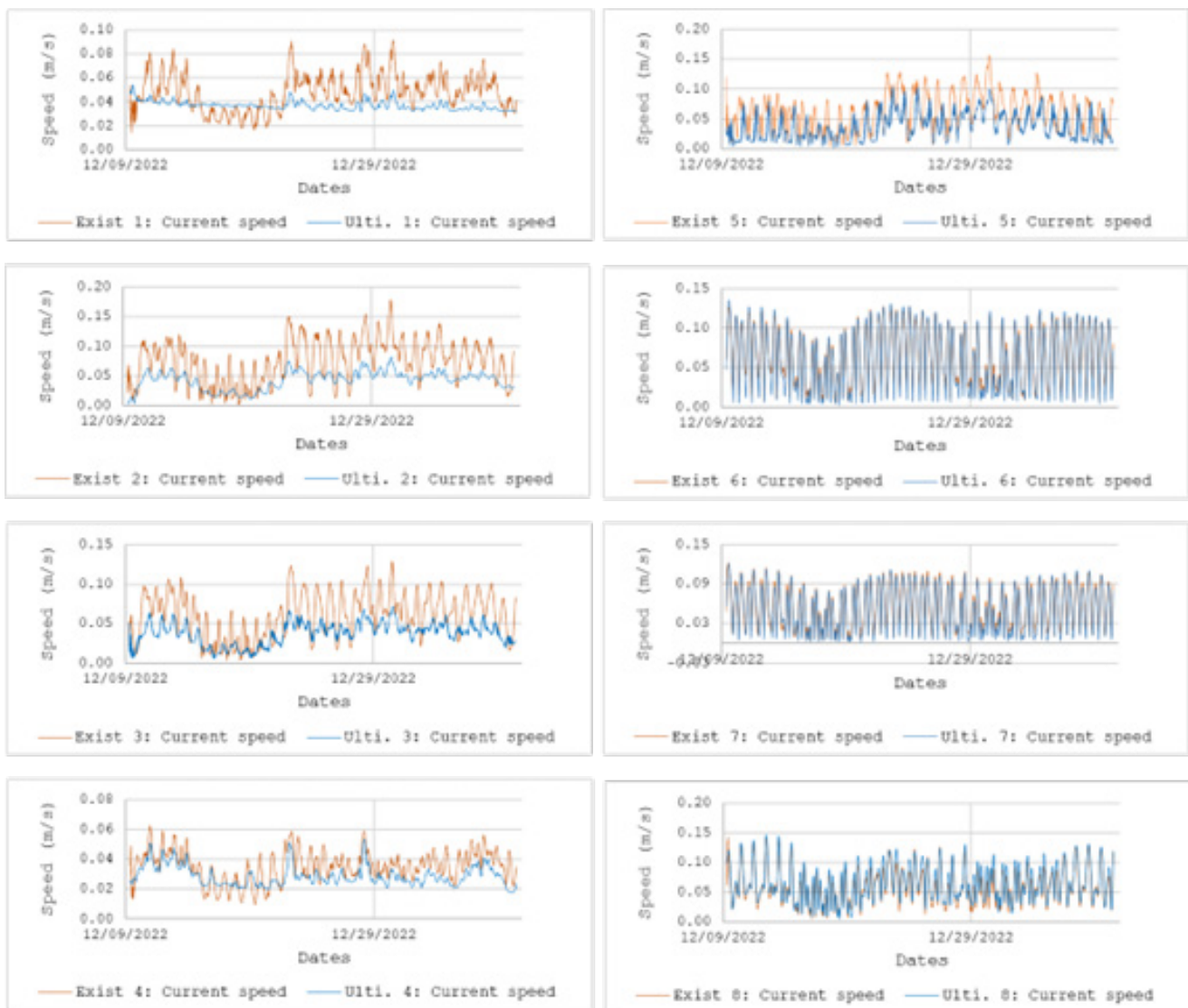


Gambar 11. Hasil model perbandingan elevasi muka air laut saat musim barat (skenario musim timur)

Figure 11. Model results comparing sea level elevation during the west season (east monsoon scenario).

selanjutnya disebut dengan Stasiun (ST)-01 sampai dengan ST-08 (Gambar 9).

Gambar 10 dan Gambar 11 merupakan hasil model 30 hari yang merepresentasikan kondisi musim barat dan musim timur dengan kondisi pasang tertinggi dan surut terendah selama 20 tahun, titik lokasi yang berada di dalam tanggul GSW cenderung meningkat elevasi air lautnya, kondisi ini tergambar pada water level ST-01, ST-02 dan ST-03, sedangkan di titik lokasi yang masih terhubung dengan perairan terbuka (ST-03) saat dibangun GSW, elevasi muka air lautnya mengikuti pola pasang surut. Pada tanggul B, penambahan elevasi air laut lebih cepat dari pada tanggul A. Pada tanggul A, membutuhkan waktu 30 hari untuk mencapai elevasi pasang maksimum pasang surut, sedangkan pada tanggul B, hanya membutuhkan waktu 10 hari untuk mencapai elevasi maksimum pasang surut yang terjadi di perairan teluk Jakarta.



Gambar 12. Hasil model perbandingan kecepatan arus di Teluk Jakarta setelah dan sesudah pembangunan GSW saat musim Barat Maksimum.

Figure 12. Model results comparing current speeds in Jakarta Bay after and after the construction of the GSW during the Maximum West season.

Ini berarti, jika dibangun tanggul maka ketinggian tanggul harus direncanakan dengan baik sehingga tidak melimpas ke luar wilayah tanggul. Selain itu peningkatan ketinggian elevasi di dalam tanggul dapat digunakan untuk merencanakan penyediaan air tawar untuk dimanfaatkan untuk kebutuhan di wilayah Jakarta, seperti tujuan awal terkait dengan latar belakang pembangunan GSW salah satunya digunakan untuk cadangan penyediaan air tawar. Tabel 4 menambahkan informasi bahwa, selisih elevasi air laut pada musim barat, sedikit lebih tinggi di bandingkan pada musim timur.

Gambar 12 dan gambar 13, merupakan perbandingan kondisi kecepatan arus, pada titik titik yang mewakili kondisi perairan, perubahan kondisi arus cenderung terjadi di wilayah yang berada di dalam tanggul GSW, hal ini terlihat pada perbandingan kecepatan arus di ST-01, ST-02, ST-04, dan ST-05, sedangkan pada ST-03, ST-06, ST-07 dan ST-08, kecepatan arus cenderung tetap sebelum dan sesudah pembangunan GSW, baik pada kondisi musim barat maupun kondisi musim timur. Pada ST-01, ST-02 dan ST-04, perubahan kecepatan arus ini dikarenakan perairan yang ditanggul dan tidak



Gambar 13. Hasil model perbandingan kecepatan arus di teluk Jakarta setelah dan sesudah pembangunan GSW saat musim timur minimum.

Figure 13. Model results comparing current speeds in Jakarta Bay after and after the construction of the GSW during the general east season.

Tabel 4. Perbandingan water level skenario sebelum (Exist) dan sesudah (Ulti) pembangunan GSW
Table 4. Comparison of water level scenarios before (Exist) and after (Ulti) GSW construction

Sta-siun	Water Level (m) Musim Barat						Water Level (m) Musim Timur					
	Minimal			Maksimal			Minimal			Maksimal		
	Exist	Ulti	Selisih	Exist	Ulti	Selisih	Exist	Ulti	Selisih	Exist	Ulti	Selisih
ST-01	-0,44	0,02	-0,46	0,55	0,46	0,09	-0,44	0,02	-0,45	0,55	0,44	0,12
ST-02	-0,44	0,02	-0,46	0,55	0,45	0,09	-0,44	0,02	-0,46	0,55	0,44	0,11
ST-03	-0,45	-0,45	0,00	0,54	0,55	-0,01	-0,44	-0,44	0,00	0,55	0,55	0,00
ST-04	-0,46	0,03	-0,49	0,54	1,78	-1,24	-0,44	0,02	-0,46	0,55	1,78	-1,22
ST-05	-0,42	-0,42	0,0	0,55	0,55	0,00	-0,43	-0,43	0,00	0,54	0,54	0,00
ST-06	-0,43	-0,43	0,00	0,55	0,55	0,00	-0,44	-0,44	0,00	0,54	0,54	0,00
ST-07	-0,44	-0,44	0,00	0,54	0,55	0,00	-0,44	-0,44	0,00	0,55	0,54	0,00
ST-08	-0,44	-0,44	0,00	0,54	0,54	0,00	-0,44	-0,44	0,00	0,55	0,54	0,00

Tabel 5. Perbandingan Kecepatan Arus skenario sebelum (*Exist*) dan sesudah (*Ulti*) pembangunan GSW

Table 5. Comparison of Current Speed scenarios before (*Exist*) and after (*Ulti*) GSW construction

Sta-siun	Kecepatan Arus (m/s) Musim Barat						Kecepatan Arus (m/s) Musim Timur					
	Rata Rata			Maksimal			Rata Rata			Maksimal		
	<i>Exist</i>	<i>Ulti</i>	Selisih	<i>Exist</i>	<i>Ulti</i>	Selisih	<i>Exist</i>	<i>Ulti</i>	Selisih	<i>Exist</i>	<i>Ulti</i>	Selisih
ST-01	0,05	0,04	0,01	0,09	0,5	0,04	0,04	0,04	0,00	0,09	0,06	0,03
ST-02	0,07	0,04	0,03	0,18	0,08	0,10	0,04	0,02	0,03	0,11	0,05	0,06
ST-03	0,06	0,04	0,02	0,13	0,07	0,06	0,04	0,02	0,01	0,10	0,06	0,04
ST-04	0,04	0,03	0,01	0,06	0,05	0,01	0,03	0,03	0,00	0,09	0,05	0,04
ST-05	0,06	0,04	0,03	0,16	0,11	0,051	0,05	0,02	0,03	0,11	0,07	0,046
ST-06	0,06	0,06	0,00	0,13	0,14	-0,01	0,06	0,06	0,00	0,14	0,14	0,00
ST-07	0,06	0,05	0,00	0,12	0,12	0,00	0,06	0,05	0,00	0,12	0,13	0,00
ST-08	0,06	0,07	-0,01	0,14	0,15	-0,01	0,05	0,06	0,00	0,11	0,11	0,00

terkoneksi dengan perairan terbuka tidak dipengaruhi pasang surut yang terjadi di teluk Jakarta, sehingga kecepatan arus cenderung melemah karena faktor pembangkitnya hanya berasal dari angin dan debit sungai yang bermuara pada wilayah tersebut, untuk ST-05 perubahan kecepatan arus karena titik ini berada di wilayah yang terpengaruh akibat adanya reklamasi yang merupakan bagian dari GSW, meskipun ST-05 ini tidak berada di dalam tanggul GSW. Pada Tabel 5, perubahan kecepatan arus tertinggi berada pada ST-02, lokasi ini berada di dalam tanggul B, dan berlokasi diantara pulau reklamasi, wilayah wilayah yang berada di dalam tanggul cenderung mengalami penurunan kecepatan arus secara signifikan. Perubahan ini cenderung menyebabkan peningkatan sedimentasi serta penurunan kualitas air laut, karena sedimen tidak dapat berpindah ke tempat lain. Penurunan kualitas air laut cenderung karena air tidak dapat melakukan sirkulasi dengan baik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pembangunan GSW berpengaruh secara signifikan terhadap pola hidrodinamika terutama di dalam tanggul. Fluktuasi muka air laut dan kecepatan arus di dalam tanggul, bersifat sirkulasi tertutup dan hanya dipengaruhi dari debit sungai yang masuk ke tanggul. Dari hasil simulasi selama 30 hari yang dengan skenario musim, didapatkan

kenaikan muka laut rerata di dalam tanggul mencapai 0,015 m/hari pada tanggul A (tanggul barat) dan 0,056 m/hari pada tanggul B (tanggul timur). Kecepatan arus juga berubah signifikan pada titik titik di dalam tanggul, pasang surut yang tertahan oleh tanggul diyakini menjadi penyebab dominan penurunan kecepatan arus di area perairan di dalam tanggul.

UCAPAN TERIMA KASIH

Seluruh penulis dalam artikel ini merupakan kontributor utama. Publikasi ini merupakan bagian dari kegiatan: Permodelan Numerik Dinamika Pantai Rencana Tanggul Laut di Pantai Utara Jakarta yang merupakan kegiatan task force dari Kedeputusan TIRBR-BPPT kepada Tim Dinamika Pantai GSW – BPPT, dengan anggaran TIRBR – BPPT yang dilaksanakan sejak tahun 2013 hingga 2023. Ucapan terimakasih disampaikan kepada Kemenko Ekonomi, Deputi Bidang Koordinasi Infrastruktur dan Pengembangan Wilayah, serta SKPD Pemda Provinsi DKI yang terlibat dalam FGD, penyediaan data dan diskusi. Reanalisis data dan hasil simulasi dilaksanakan pada Pusat Riset Teknologi Hidrodinamika pada tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Fukuda, Y., Pohan, Y. E., & Deguchi, T. (2011).

- Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development. *Natural Hazards*, 59(3), 1753–1771. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9866-9>
- Arifin, Z. (2004). Local Millenium Ecosystem Assessment: Condition and Trend of The Greater Jakarta Bay Ecosystem.
- BPLHD DKI Jakarta. (2013). Buku 1 dan Buku 2 : Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Tahun 2012.
- BPS Prov. DKI Jakarta. (2023). Provinsi DKI Jakarta Dalam Angka 2022. Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta. <https://jakarta.bps.go.id/>
- DKI Jakarta. (2022). Kajian Risiko Bencana Provinsi DKI Jakarta Tahun 2022-2023.
- DLHProv. Jakarta. (2020). Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Provinsi DKI Jakarta Tahun 2020. https://lingkunganhidup.jakarta.go.id/files/Buku_2_DIKPLHD.pdf
- Hakim, B. Al, Wibowo, M., Kongko, W., Irfani, M., Hendriyono, W., & Gumbira, G. (2015). Hydrodynamics Modeling of Giant Seawall in Semarang Bay. *Procedia Earth and Planetary Science*, 14, 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.07.102>
- Hakim, B., Kustiyanto, E., Choliso, E., Airawati, M. N., Wibawa, B., Susilo, Y. S., & Asharo, R. K. (2022). Assessing Environmental Physics: Tidal Flood Impact with Multidiscipline Approach (Case Study Coastal Cities Semarang Indonesia). *Journal of Physics: Conference Series*, 2377(1), 12059. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2377/1/012059>
- Kardhana, Y. L. A. W. H. (2013). Aplikasi Sobek Untuk Simulasi Kegagalan Tanggul Laut: Studi Kasus Pluit-Jakarta. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 4(2), 143–158.
- Koropitan, A. F., Ikeda, M., Damar, A., & Yamanaka, Y. (2009). Influences of physical processes on the ecosystem of Jakarta Bay: a coupled physical–ecosystem model experiment. *ICES Journal of Marine Science*, 66(2), 336–348. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp011>
- Ministry of Public Works. (2011). ATLAS: Pengamanan Teluk Jakarta.
- Ningsih, N. S., Hanifah, F., Yani, L. F., & Rachmayani, R. (2024). Simulated response of seawater elevation and tidal dynamics in Jakarta Bay to coastal reclamation. *Ocean Dynamics*, 74, 211–221. <https://doi.org/10.1007/s10236-024-01598-8>
- Padman, L., & Erofeeva, L. (2005). Tide Model Driver (TMD) Manual. Arctic, 1–12. <http://www.coas.oregonstate.edu/research/po/research/tide/index.html>
- Peraturan Daerah Provinsi DKI Jakarta No. 1 Tahun 2012 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah 2030, 291 (2012).
- Poernomo, A., Sulistiyo, B., Arifin, T., Zulham, A., Nasution, Z., Dwiyantri, S., Husrin, S., Prihantono, J., & Pranowo, W. (2015). *Prakiraan Dampak Giant Sea Wall Teluk Jakarta*.
- Rahardjo, P. P., Anggoro, B. W., & Wirawan, A. (2019). CPTu in Consolidating Soils. *Proceedings of the XVII ECSMGE-2019 - Geotechnical Engineering Foundation of the Future*.
- Rusdiansyah, A., Tang, Y., He, Z., Li, L., Ye, Y., & Yahya Surya, M. (2018). The impacts

of the large-scale hydraulic structures on tidal dynamics in open-type bay: numerical study in Jakarta Bay. *Ocean Dynamics*, 68(9), 1141–1154. <https://doi.org/10.1007/s10236-018-1183-3>

Surya, M., He, Z., Xia, Y., & Li, L. (2019). Impacts of Sea Level Rise and River Discharge on the Hydrodynamics Characteristics of Jakarta Bay (Indonesia). *Water*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/w11071384>

Takagi, H., Esteban, M., Mikami, T., & Fujii, D. (2016). Projection of coastal floods in 2050 Jakarta. *Urban Climate*, 17, 135–145. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.05.003>

van der Wulp, S. A., Damar, A., Ladwig, N., & Hesse, K.-J. (2016). Numerical simulations of river discharges, nutrient flux and nutrient dispersal in Jakarta Bay, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 110(2), 675–685. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.015>

Yola, L., Ulfiasari, S., Nanditho, G. A., Daga, R., Hannase, M., & Fatwa, N. (2022). Marine Pollution Challenges in Jakarta Northern Coast Fishermen Settlement. In E. M. Nia, I. Farshchi, L. Yola, & M. Awang (Eds.), *Sustainable Development Approaches* (pp. 127–133). Springer International Publishing.