

**Pemodelan Kualitas Perairan Teluk Jakarta Akibat Reklamasi dan
Pembangunan Tanggul Laut Raksasa
Menggunakan Perangkat Lunak MIKE21-EcoLab**

***Water Sea Quality Modeling at Jakarta Bay due to Reclamation and
The Development of Giant Sea Wall (GSW)
Using MIKE21-EcoLab Software***

Mardi Wibowo

Balai Infrastruktur Pelabuhan dan Dinamika Pantai – BPPT
Jalan Grafika No.2, SEKIP, Yogyakarta 55284 Indonesia
e-mail: mardi.wibowo@bppt.go.id

ABSTRAK

Pemerintah membangun tanggul laut raksasa (*giant sea wall/GSW*) untuk mengatasi permasalahan banjir rob, keterbatasan lahan dan air baku di Jakarta. Pembangunan GSW merupakan bentuk intervensi teknologi terhadap lingkungan perairan laut yang pastinya akan memberikan dampak, khususnya terhadap kualitas perairan (BOD, DO, dan salinitas). Kajian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya perubahan kualitas perairan akibat adanya pembangunan GSW menggunakan pemodelan komputasi dengan perangkat lunak MIKE-21 Modul Eco Lab. Berdasarkan kajian ini, pembangunan GSW berpengaruh signifikan terhadap kualitas lingkungan perairan, terutama di perairan yang berada dalam polder, terutama nilai BOD. Pada polder barat, kenaikan nilai BOD berkisar 88% - 141%, penurunan DO berkisar 23% - 43%, serta salinitas air turun antara 1% - 3%. Pada polder timur kenaikan nilai BOD berkisar 100% - 154%, penurunan nilai DO berkisar 11% - 34%, dan salinitas turun 1% - 5%. Tindakan pengelolaan perlu dilakukan pada bagian hulu sebelum masuk ke Teluk Jakarta, untuk mencegah penurunan kualitas perairan di Teluk Jakarta akibat pembangunan GSW.

Kata kunci: BOD, DO, salinitas, tanggul laut raksasa, pemodelan komputasi, polder

ABSTRACT

The government decided to build a giant sea wall (GSW) to overcome tide flood, lack of water resources and land problems in Jakarta. The development of GSW on Jakarta Bay is a form of technology intervention on the sea water environment which surely has an impact, especially to the water sea quality (BOD, DO, and salinity). The aim of this study is to know the sea water quality changes due to the construction of GSW by conducting computation modeling using software of MIKE-2,1 Eco Lab module. Based on this study, GSW development can give a significant impact to sea water quality, especially waters in the polder. The quality of waters in polder significantly decreases, especially the value of BOD. In west polder, BOD value increases between 88% - 141%, DO decreases between 23% - 43%, and water salinity decreases from 1% - 3%. In the east polder, the BOD value increases from 100% - 154%, DO values decreases from 11% - 34%, and the salinity decreases from 1% - 5%. The water must be managed from the upstream part before entering the Jakarta Bay to prevent a decrease on the sea water quality in the Jakarta Bay caused by the GSW development.

Keywords: BOD, DO, salinity, giant sea wall, computation modeling, polder

PENDAHULUAN

Secara geografis, Jakarta terletak pada dataran rendah, dan merupakan muara dari 13 sungai. Saat ini hampir 40% daerah daratan Jakarta berada di bawah permukaan air laut dan sungai, sehingga sering mengalami banjir, baik akibat air dari hulu maupun banjir rob dari laut (Brinkman, 2012; Anonim, 2013). Banjir tersebut semakin parah dengan adanya penurunan tanah yang selalu terjadi setiap tahun. Berdasarkan hasil pengamatan dan kajian yang telah dilakukan sejumlah pihak, penurunan permukaan tanah di DKI saat ini sudah sangat kritis, yaitu sekitar 10 - 20 cm/tahun, bahkan di beberapa wilayah utara Jakarta dapat mencapai 4,1 m per tahun (Brinkman, 2012). Penurunan tanah di Jakarta dominan dipengaruhi oleh konsolidasi alamiah dan pembebanan, yaitu sekitar 51% - 100%, sedangkan yang disebabkan oleh pengambilan air tanah hanya berpengaruh 0% - 24% (PU, 2014 dalam Hutasoit, 2016). Berdasarkan hasil pemodelan dengan data gaya berat mikro, penurunan tanah akibat pembebanan di permukaan terbesar terjadi di Jakarta Barat dan Jakarta Utara yang berkisar antara 8 - 13 cm (Minardi, 2014). Saat ini Jakarta telah mengalami kekurangan air baku sebesar 13.000 m³/det. dari total kebutuhan 31.000 m³/det. (Martiyanti, 2014). Selain itu, juga terjadi kekurangan lahan untuk pengembangan wilayah. Satu-satunya alternatif adalah pengembangan ke arah utara (Teluk Jakarta), yaitu dengan reklamasi.

Pemerintah pusat dan Provinsi DKI Jakarta berencana membangun tanggul laut raksasa di Teluk Jakarta untuk mengatasi berbagai permasalahan dan kebutuhan tersebut di atas. Berdasarkan hasil studi *Jakarta Coastal Development Strategy* (JDCS) pada 2010/2011, yang merupakan kerja sama antara Pemerintah Indonesia dan Pemerintah Belanda, sejumlah rencana strategis pengamanan dan pengembangan wilayah pantai Jakarta termasuk di antaranya tanggul laut ini, diyakini dapat mengatasi banjir di DKI Jakarta. Selain itu tanggul raksasa ini juga memiliki nilai ekonomi dan nilai investasi (Brinkman, 2012).

Sebenarnya, pada tahun 2014 pemerintah telah meluncurkan program NCICD (*National Capital Integrated Coastal Management*) untuk mengatasi berbagai permasalahan di Jakarta. Dalam program NCICD ini diperkenalkan wajah baru 'Jakarta waterfront' berupa kawasan reklamasi dan tanggul laut yang berbentuk burung Garuda (*Great Garuda*)

di Teluk Jakarta (Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian dr., 2014a). Akan tetapi dalam studi ini, GSW yang dikaji adalah konsep GSW awal yang dicanangkan pada awal 2013, bukan GSW dalam program NCICD. Hal ini karena konsep *Great Garuda* dalam NCICD belum ada desain detailnya.

Pembangunan GSW dan pulau-pulau reklamasi merupakan intervensi teknologi terhadap lingkungan perairan laut yang dapat memberikan dampak signifikan terhadap lingkungan dan terutama perairan laut yang ada, seperti terganggunya sirkulasi air laut, degradasi kualitas air, meningkatnya sedimentasi, dan ancaman tenggelamnya Jakarta (Muin, 2014).

Dalam rencana pembangunan GSW ini, akan dibentuk dua waduk yang relatif tertutup terhadap perairan laut terbuka. Penutupan ini dapat menimbulkan permasalahan kualitas perairan yang sangat signifikan. Hal ini terutama disebabkan oleh kualitas air sungai yang masuk ke dalam waduk yang terbentuk ini sangat buruk (tercemar). Rencana pembangunan GSW ini tidak terlepas dari rencana pembangunan 13 pulau reklamasi. Reklamasi pantai adalah kegiatan menimbun atau memasukkan material tertentu ke kawasan pantai dengan maksud untuk memperoleh lahan kering (Nurmandi, 2009). Menurut UU No. 27 Tahun 2007 (Pemerintah Republik Indonesia, 2007) reklamasi adalah kegiatan yang dilakukan dalam rangka meningkatkan manfaat sumber daya lahan ditinjau dari sudut lingkungan dan sosial ekonomi dengan cara pengurangan, pengeringan lahan atau drainase. Reklamasi pantai selain berdampak positif juga banyak menimbulkan dampak negatif, seperti kerusakan ekosistem pesisir, peningkatan potensi banjir, penyebaran spesies invasif, konflik sosial, gangguan jalur pelayaran dan mata pencaharian, potensi pencemaran kualitas air, dan lain-lain (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2016). Secara umum, dampak reklamasi terhadap lingkungan dapat dikelompokkan menjadi dampak terhadap biogeofisik-kimia (hidro-oseanografi, hidrologi, batimetri, topografi, geomorfologi, kualitas air, dan lain-lain), sosial-ekonomi-budaya (demografi, akses publik, relokasi), dan kesehatan masyarakat (Sudijanto, 2014).

Salah satu pengaruh rencana pembangunan GSW dan reklamasi adalah perubahan arus dan suhu perairan di sekitar intake PLTU Muara Karang karena kecepatan arus naik sekitar 48% dan suhu

rata-rata naik sekitar 1,37°C (Balai Teknologi Infrastruktur Pelabuhan dan Dinamika Pantai, 2016).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa 65,48% parameter kualitas air sungai yang bermuara di Teluk Jakarta sudah melampaui baku mutu air sungai/badan air, dan sudah melebihi kapasitas asimilasi alamiahnya (Firmansyah, 2012). Buruknya kualitas air laut terutama disebabkan oleh air limbah domestik 75%, air limbah perkantoran dan komersial 15%, dan air limbah industri 10% (JICA, 2014 dalam Suryani, 2015). Apabila hal ini dibiarkan, waduk yang terbentuk dapat menjadi “comberan” atau “*septic tank*” raksasa.

Penelitian tentang kualitas air telah banyak dilakukan, terutama terkait dengan kandungan logam berat. Hasil penelitian pengaruh kadar logam berat (Cu, Pb, Hg, Cd, dan Ni) terhadap kehidupan biota laut yang pernah dilakukan pada tahun 2004 secara umum menyatakan bahwa kadar logam berat di Teluk Jakarta belum berbahaya bagi kehidupan biota laut (Lestari dan Edward, 2004). Hasil penelitian tahun 2010 menunjukkan bahwa berdasarkan kandungan logam berat (Cu, Pb, Zn, Cd, dan Cr) nilai status mutu air laut Teluk Jakarta adalah -12, sehingga termasuk kelas C atau tercemar sedang. Sementara status mutu sedimen adalah 0, sehingga termasuk kelas A atau tidak tercemar (Pemanawati drr., 2013)

Permasalahan utama kualitas perairan ini adalah tingginya BOD (*Biological Oxygen Demand*) yang pada gilirannya dapat menurunkan DO (*Dissolved Oxygen*). Ketika perairan masih terbuka, zat pencemar dari air sungai akan terencerkan oleh air dari laut. Sebaliknya, ketika perairan menjadi tertutup (seperti waduk yang dibentuk), maka konsentrasi zat pencemar akan meningkat. Oleh karena itu, untuk mengetahui pola perubahan kualitas perairan pada waduk yang akan dibentuk, perlu adanya kajian pemodelan kualitas perairan yang bertujuan untuk memprediksi dan mengantisipasi dampak yang mungkin timbul. Hasil kajian ini diharapkan dapat dipakai sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan pembangunan GSW tersebut.

Berdasarkan hasil analisis kualitas air laut di lokasi sekitar rencana pulau reklamasi Teluk Jakarta diketahui bahwa nilai parameter BOD (1,6 - 8 mg/l), DO (5,5 - 6,5 mg/l), dan salinitas (29,1-30‰). Hal ini menunjukkan bahwa air laut masih

memenuhi baku mutu air laut untuk biota laut (Anonim, 2014).

Berdasarkan hasil pemantauan dan laporan BPLHD DKI Jakarta (2013) diketahui bahwa kualitas perairan Teluk Jakarta telah mengalami pencemaran yang cukup parah. Kualitas terburuk terdapat di perairan yang dekat dengan pantai (zona D, 5 km dari pantai), dan semakin ke tengah (zona A, 15 - 20 km) kualitasnya mengalami perbaikan, tetapi karena zona A dekat dengan pantai di barat dan timur maka, kualitas perairannya juga mengalami penurunan (Sachoeamar dan Wahjono, 2007).

Dalam dokumen perencanaan pembangunan NCICD, juga sudah dilakukan kajian dan pemodelan kualitas air khususnya BOD dan DO, akan tetapi pemodelan tersebut masih satu dimensi dan menggunakan desain GSW yang lama. Selain itu, juga dilakukan kajian secara statistik beban pencemaran BOD dan fosfor dari tahun 2006 - 2013 untuk mengetahui kecenderungan perubahan tingkat pencemaran kedua parameter tersebut di atas. Berdasarkan analisis statistik (ANOVA Test) diketahui bahwa dari tahun 2006 - 2013 ternyata terjadi penurunan tingkat pencemaran BOD dan fosfor dengan gradien penurunan rata-rata adalah 0,05 (Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian drr., 2014b). Sementara berdasarkan pemodelan pada waduk yang terbentuk terutama pada perairan antarpulau reklamasi terjadi kekurangan oksigen (DO sangat rendah) dan fosfor sangat tinggi. Beban pencemar BOD perlu dikurangi minimal 75% dari beban yang ada sekarang untuk mencapai standar DO yang dibutuhkan, yaitu sekitar 3 mg/l.

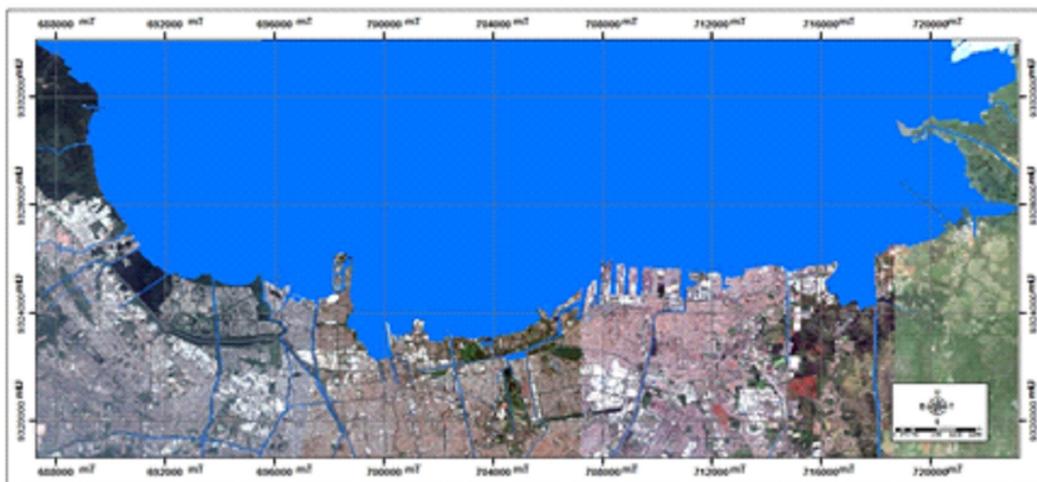
Berdasarkan state of the art ini, maka dalam tulisan ini akan dilakukan kajian perubahan kualitas perairan 2D dengan perangkat lunak pemodelan kualitas perairan yang andal, yaitu MIKE 21.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Kajian

Lokasi kajian adalah sepanjang Teluk Jakarta, batas di bagian barat adalah Tanjung Pasir (Kabupaten Tangerang), dan di sebelah timur adalah Muara Gembong (Kabupaten Bekasi).

Waktu pengujian diskenariokan berdasarkan waktu musim penghujan (Desember) dan musim kemarau (Juli). Untuk masing-masing bulan tersebut



Gambar 1. Ruang lingkup daerah kajian.

diskenariokan untuk kondisi pasang purnama (*spring tide*) dan pasang perbani (*neap tide*).

Tahapan Pelaksanaan Kegiatan

Adapun tahapan kegiatan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Studi literatur dan pengumpulan data sekunder
- b. Survei lapangan, meliputi survei batimetri, pengambilan sampel sedimen melayang dan dasar, pengukuran arus dan pengukuran pasang surut
- c. Analisis data sekunder dan lapangan yang diperoleh
- d. Penyusunan skenario pemodelan
- e. Pemodelan komputasi
- f. Analisis hasil dan penyusunan rekomendasi

Metode Pemodelan Kualitas Perairan

Pemodelan numerik adveksi-dispersi dilakukan untuk mengetahui distribusi parameter kualitas air yang ingin ditinjau, berdasarkan kondisi hidrodinamika perairan setempat. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* pemodelan MIKE 21 Modul Eco Lab dengan *Template* MIKE 21/3 WQ Simple. Berdasarkan *template* ini, parameter utama adalah DO (*Dissolved Oxygen*), BOD (*Biological Oxygen Demand*), dan salinitas (DHI, 2012a). *Template* ini dipilih selain karena DO dan BOD tersebut, juga karena merupakan parameter kualitas air yang sangat penting untuk mengetahui kapasitas asimilasi dari air laut (Thomann dan Mueller,

1987). Alasan lain adalah keterbatasan data sekunder yang diperoleh untuk parameter lain. Data sekunder kualitas air yang lengkap pada semua muara sungai, perairan laut, dan pada semua waktu yang ada hanyalah BOD dan DO. DO menggambarkan banyaknya oksigen yang terlarut dalam air. Nilai DO sangat dipengaruhi oleh banyaknya limbah yang masuk, terutama material organik yang menyebabkan deplesi (kekurangan) oksigen dalam proses degradasi material organik (Babu drr., 2006). Oksigen masuk ke dalam air melalui proses fotosintesis biota air dan *transfer* melalui *interface* udara dan air, dan dikonsumsi oleh proses respirasi tanaman, hewan, dan bakteri (Radwan drr., 2003). DO dengan nilai < 5 mg/l akan menyebabkan tekanan pada biota air, dan apabila di bawah 2 mg/l dalam waktu 1 - 4 hari akan mematikan seluruh biota yang ada (Gower, 1980). Sementara BOD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh proses degradasi material organik, artinya nilai BOD menunjukkan banyaknya limbah material organik yang ada alam suatu lingkungan perairan (Babu drr., 2006; Radwan drr., 2003). Semakin tinggi nilai BOD dan semakin rendah nilai DO suatu perairan, berarti semakin tinggi tingkat pencemaran limbah organik pada air tersebut (Amelia drr., 2016).

Persamaan pembangun pemodelan kualitas perairan didasarkan pada proses adveksi dispersi. Kedinamisan suatu zat yang akan dimodelkan dalam proses advectif dapat diekspresikan dengan menentukan persamaan transpornya (1). Untuk bentuk nonkonservatif dapat dituliskan sebagai berikut (DHI, 2012a):

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} + |S_c + P_c \dots\dots\dots(1)$$

di mana :

- c : Konsentrasi suatu variabel ECO Lab
- u, v, w : Komponen kecepatan arus
- D_x, D_y, D_z : Koefisien dispersi
- S_c : Sources dan sinks
- P_c : Proses-proses Eco Lab

- e. Data ECO Lab di boundary (batas), konsentrasi di boundary zat-zat advectif yang akan disimulasi dan dimodelkan.
- f. Gaya-gaya ECO Lab (btergantung pada *template* yang dipilih)
- g. Konstanta ECO Lab (btergantung pada *template* yang dipilih)
- h. Beban zat ECO Lab: konsentrasi padadi sumber dan presipitasi zat advectif

Nilai-nilai dari pada data masukan yang diperlukan dalam model disajikan pada Tabel 1.

Peralatan dan Data

Peralatan yang dipakai dalam kajian ini adalah:

- a. *Echosounding SB Ceeducer* untuk mengukur batimetri
- b. *Tide Master* untuk mengukur ketinggian permukaan air laut.
- c. Botol *Nansen*, untuk mengambil sampel sedimen melayang
- d. Perangkat lunak MIKE-21 FM modul hidrodinamik dan ECO Lab.
- e. Perangkat lunak *Global Mapper* untuk pengolahan data mentah (*raw data*) agar dapat dipakai sebagai input di MIKE 21.

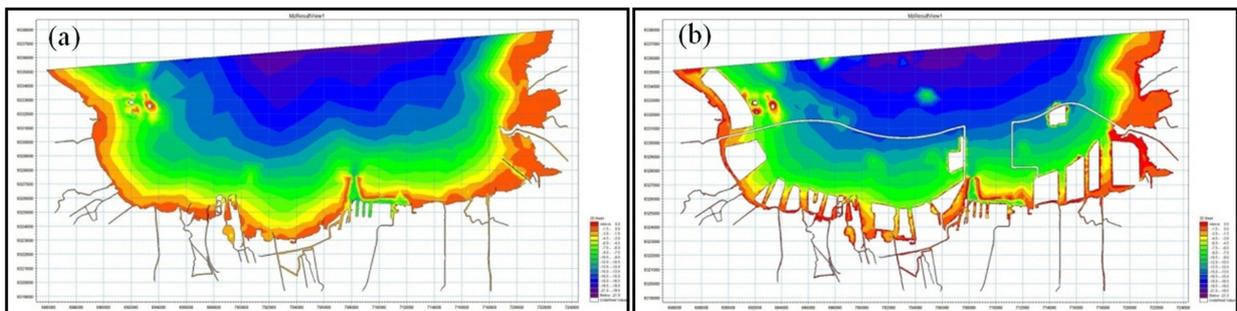
Skenario Pemodelan

Secara umum, skenario yang disusun terbagi menjadi dua bagian besar, yaitu kondisi existing dan kondisi *ultimate*. Untuk kedua skenario ini yang berbeda adalah domain model dan kondisi batimetrimya.

Kemudian, untuk masing-masing kondisi tersebut, skenario disusun berdasarkan waktu musim penghujan (Desember) dan musim kemarau (Juli). Untuk masing-masing bulan tersebut diskenariokan untuk kondisi pasang purnama (*spring tide*) dan pasang perbani (*neap tide*). Pemodelan kualitas ini dilakukan dengan empat skenario, yaitu pada kondisi *existing* untuk musim timur dan musim barat (Juli 2013) dan pada kondisi *ultimate* (setelah GSW dibangun) untuk musim barat dan timur (Tabel 1).

Data-data yang dibutuhkan dalam kajian ini adalah:

- a. *Mesh* hasil komputasi berisi data bathimetri (kedalaman)
- b. *Time step* dan periode simulasi
- c. Data hidrodinamika di *boundary*, seperti salinitas, suhu, pasang surut, dll.
- d. Gaya-gaya hidrodinamik: angin, suhu udara.



Gambar 2. Batimetri Teluk Jakarta kondisi existing (a) dan ultimate (b.)

Tabel 1. Data Masukan yang Dipakai pada Pemodelan Kualitas Perairan

No	Module	Parameter	Skenario Juli 2013	Skenario Desember 2012	Sumber
1	Umum	Domain	a. 685493,9442; 9319218,8356; b. 685493,9442; 9338116,9011 c. 724041,2536; 9338116,9011; d. 724041,2536; 9319218,8356		
		Waktu	Tgl 2 – 7 Juli 2013 (Pasang Purnama); Tgl 11 - 16 Juli 2013 (Pasang Perbani) Number time steps 20.000 Time step interval 30 s	Tgl. 1 – 7 Des. 2012 (Pasang Purnama); Tgl. 11 - 16 Des. 2012 (Pasang Perbani) Number time steps 20.000 Time step interval 30 s	
		Pilihan Modul	Eco-Lab		
2.	Hidro-dinamika	Solution Tech.	Minimum time step : 0,01 sec; Maximum time step : 30 sec Critical CFL number : 0,8		DHI, 2012b
		Flood and Dry (Include)	Drying depth : 0,005 m; Flooding depth : 0,05 m Wetting depth : 0,1 m		
		Density Type	Barotropic		
		Eddy Viscosity	Eddy type : smagorinsky (constant, value 0,28)		
		Bed Resistance	Resistance type : Manning Number (format constant 32 m ^{1/3} /s)		
		Coriolis Forcing	No coriolis force		
		Wind Forcing	Constant, Speed 4,1 m/s, Arah 80 deg.	Constant, Speed 5,3 m/s, Arah 270 deg.	BPS, 2013
		Ice Coverage	No ice coverage		DHI, 2012b
		Tidal Potential	Not include		
		Precip. -Evap.	Not include		
		Wave Radiation	No wave radiation		
		Sources (debit minimum/kemararu)	a. K. Dadap 10 m ³ /s b. K. Kamal 11 m ³ /s c. Cengkareng Drain 21,64 m ³ /s d. K. Angke 7,41 m ³ /s e. K. Grogol 2,78 m ³ /s f. K. Krukut 4,56 m ³ /s g. K. Ancol 0,02 m ³ /s h. K. Baru Timur 2,25 m ³ /s i. K. Sunter 0,86 m ³ /s j. Cakung Drain 1,97 m ³ /s k. Blencong 2 m ³ /s l. BKT 25 m ³ /s (?)	a. K. Dadap 14 m ³ /s b. K. Kamal 15 m ³ /s c. Cengkareng Drain 55,56 m ³ /s d. K. Angke 27,47 m ³ /s e. K. Grogol 3,56 m ³ /s f. K. Krukut 13,97 m ³ /s g. K. Ancol 2,17 m ³ /s h. K. Baru Timur 3,69 m ³ /s i. K. Sunter 5,84 m ³ /s j. Cakung Drain 30,16 m ³ /s k. Blencong 2,5 m ³ /s l. BKT 50 m ³ /s (?)	Santosa, 2012 BPLHD Jakarta, 2013
		Initial Cond.	Constant (Surface elevation : 0 m)		
		Boundary Cond.	1 boundary, type : specified level, varying in time and along boundary		Pasut Juli 013 (model TMD)
		Decoupling	Not Include		
		Output	Field type : 2D, Format : Area series, Time step 0 – 20.000, Frekuensi 20		
3	ECO Lab Module	Template Selection	MIKE 21/3 WQ Simple Including Temperature/ Salinity		
		Solution Tech.	Low order, fast algorithm		
		Constant	Built-in		
		Forcings	Built-in		
		Dispersion	Horizontal dispersion BOD, DO, Temperature and Salinity : scaled eddy viscosity formulation		
		Sources Satuan DO & BOD (ml/l)	a. K. Dadap (?) b. K. Kamal (DO : 4,38; BOD: 7,75; Sal: 30) c. Cengkareng Drain (DO: 1,55; BOD: 10,45; Sal: 30) d. K. Angke (DO: 7,8; BOD: 16,86; Sal: 31) e. K. Grogol (DO: 2,57; BOD: 7,75; Sal: 29) f. K. Krukut (?) g. K. Ancol (DO: 4,63; BOD: 3,17; Sal: 31) h. K. Baru Timur (?) i. K. Sunter (DO: 0,93; BOD: 13,15; Sal: 25) j. Cakung Drain (D : 3,0; BOD: 10,45; Sal: 30) k. Blencong (DO: 4,6; BOD: 29; Sal: 25) l. BKT 50 m ³ /s (DO: 3,4; BOD: 18,41; Sal: 28)	a. K. Dadap b. K. Kamal (DO: 3,02; BOD: 7,415) c. Cengkareng Drain (DO: 1,66; BOD: 15,12) d. K. Angke (DO: 3,9; BOD: 17,01) e. K. Grogol (DO: 1,1945; BOD: 9,44) f. K. Krukut (?) g. K. Ancol (DO: 4,1; BOD: 4,79) h. K. Baru Timur (?) i. K. Sunter (DO: 0,93; BOD: 10,45) j. Cakung Drain (DO: 3,43; BOD: 17,025) k. BKT 50 m ³ /s (DO: 8,98; BOD: 11,8)	BPLHD Jakarta, 2013
		Initial Conditions dan Boundary Conditions	BOD: 4,15 ml/l DO: 4,36 ml/l Temperatur: 29,08 °C Salinitas: 30,57 ‰	BOD : 4,15 ml/l DO : 4,36 ml/l Temperatur: 30,08 °C Salinitas: 30,57 ‰	
		Output	Field type : 2D, Format: Area series, Time step 0 - 20.000, Frekuensi 20		

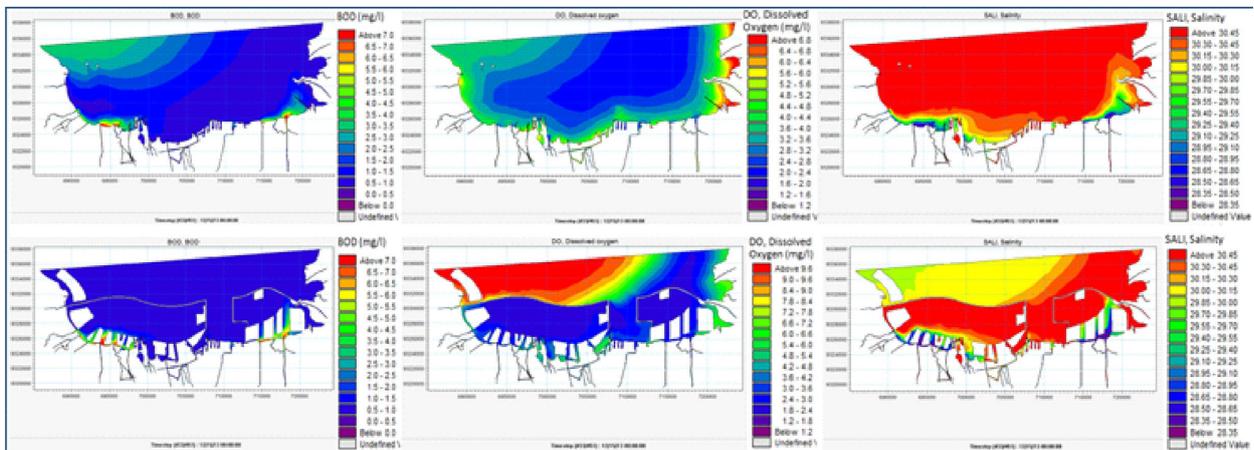
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan hasil pemodelan perubahan kualitas perairan ini dilakukan per skenario dengan membandingkan hasil antara kondisi *existing* dan *ultimate* pada polder sebelah barat (muara Cengkareng Drain) dan pada polder sebelah timur (muara BKT). Kondisi *existing* adalah kondisi yang ada saat ini (tanpa adanya tanggul raksasa dan pulau-pulau hasil reklamasi), dan kondisi *ultimate* adalah kondisi sudah ada tanggul raksasa dan pulau-pulau hasil reklamasi. Pengambilan atau ekstraksi data hasil pemodelan dilakukan pada daerah/jalur dari garis pantai sampai ke laut (2 - 5 km) untuk parameter:

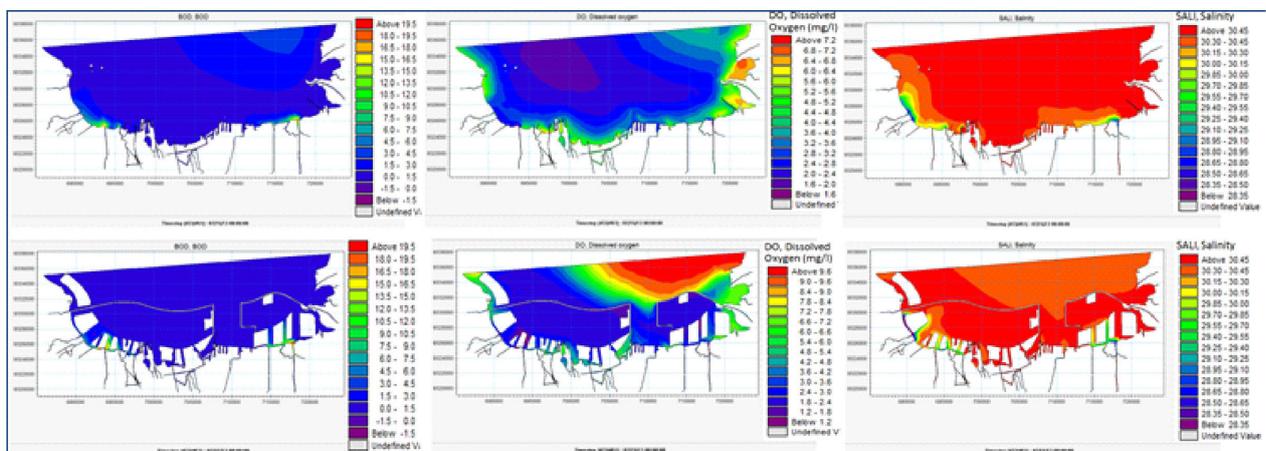
- BOD (*Biological Oxygen Demand*)
- DO (*Dissolved Oxygen*)
- Salinitas

Hasil Pemodelan Kualitas Perairan

Berdasarkan hasil pemodelan skenario Desember 2012 dan Juli 2013, terlihat bahwa GSW dan reklamasi pada akhir simulasi cukup merubah kualitas perairan laut di Teluk Jakarta, terutama di dalam polder yang terbentuk (Gambar 3 dan 4).



Gambar 3. Hasil Simulasi BOD, DO, dan Salinitas pada jam ke 72 simulasi pada skenario Desember Pasang Purnama (atas : eksisting; bawah : ultimate).



Gambar 4. Hasil Simulasi BOD, DO, dan Salinitas pada jam ke-72 simulasi pada skenario Juli Pasang Perbani (atas: *existing*; bawah: *ultimate*).

Kualitas Air Hasil Pemodelan Skenario Desember 2012 Pasang Purnama

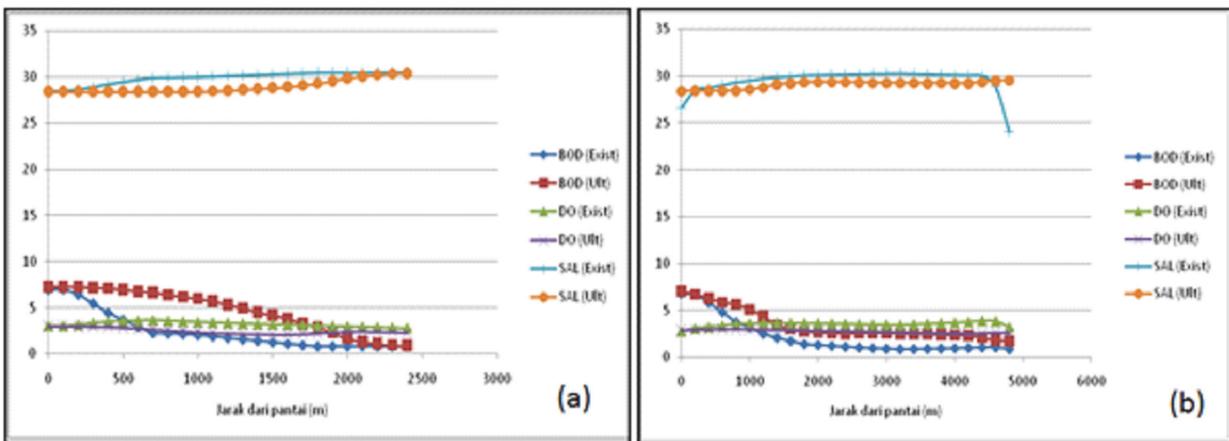
Berdasarkan hasil pemodelan pada skenario ini (Gambar 5) terlihat bahwa pada polder sebelah barat, pada jam ke-72 simulasi kenaikan rata-rata nilai BOD sampai pada jarak sekitar 2,4 km dari garis pantai adalah 2,2311 mg/l (129%), nilai DO turun sebesar 0,7375 mg/l (23%), dan salinitas turun sebesar 0,9821 ‰ (3%).

Pada polder sebelah timur, pada jam ke-72 simulasi kenaikan rata-rata nilai BOD sampai pada jarak sekitar 4,8 km dari garis pantai adalah 1.2933 mg/l (102%), nilai DO turun sebesar 0,7893 mg/l (22%), dan salinitas turun sebesar 0,3950 ‰ (1%).

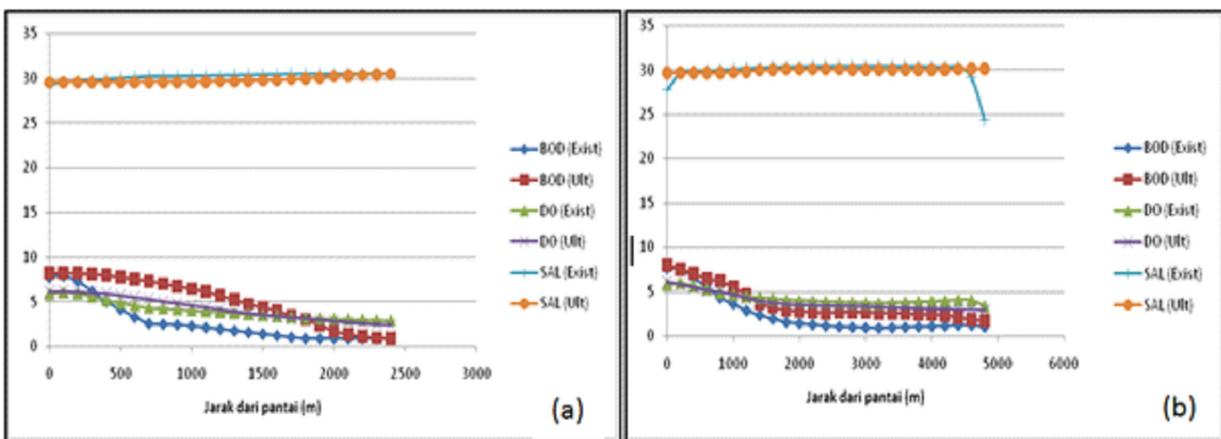
Kualitas Air Hasil Pemodelan Skenario Desember 2012 Pasang Perbani

Berdasarkan hasil pemodelan pada skenario ini (Gambar 6) terlihat bahwa pada polder barat, pada jam ke-72 simulasi kenaikan rata-rata nilai BOD sampai pada jarak sekitar 2,4 km dari garis pantai adalah 2,3629 mg/l (121%), nilai DO naik sebesar 0,2325 mg/l (4%), dan salinitas turun sebesar 0,4247 ‰ (1%).

Pada polder timur, pada jam ke-72 simulasi kenaikan rata-rata nilai BOD sampai pada jarak sekitar 4,8 km dari garis pantai adalah 1,3016 mg/l (100%), nilai DO turun 0,4193 mg/l (11%), dan salinitas relatif stabil.



Gambar 5. Perbandingan kualitas air hasil skenario Desember saat pasang purnama pada jam ke-72 simulasi pada: (a) polder sebelah barat (muara Cengkareng Drain) dan (b) polder sebelah timur (muara BKT).



Gambar 6. Perbandingan kualitas air hasil skenario Desember saat pasang perbani pada jam ke-72 simulasi pada : (a) polder sebelah barat (muara Cengkareng Drain) dan (b) polder sebelah timur (muara BKT).

Berdasarkan hasil pemodelan pada skenario Desember, baik pada pasang purnama maupun perbani, adanya tanggul dan pulau-pulau reklamasi akan meningkatkan nilai rata-rata BOD, menurunkan nilai rata-rata DO dan salinitas, baik pada polder sebelah barat maupun sebelah timur. Dengan adanya tanggul laut ini sistem polder menjadi tertutup. Seiring dengan bertambahnya input zat pencemar dari darat (sungai), kondisi air dalam polder tersebut semakin lama akan semakin menurun. Dengan adanya tanggul laut, suplai air satu-satunya adalah debit sungai yang berupa air tawar, sehingga akan menurunkan salinitas air pada polder yang ada.

Kualitas Air Hasil Pemodelan Skenario Juli 2013 Pasang Purnama

Berdasarkan hasil pemodelan pada skenario ini (Gambar 7) terlihat bahwa pada polder sebelah barat, pada jam ke-72 simulasi kenaikan rata-rata nilai BOD sampai pada jarak sekitar 2,4 km dari garis pantai adalah 1,9340 mg/l (88%), nilai DO turun sebesar 1,0314 mg/l (30%), dan salinitas naik sebesar 0,1638 ‰ (1%). Bahkan pada jarak sekitar 900 – 1.700 m dari garis pantai kenaikan nilai BOD mencapai lebih dari 130%, penurunan nilai DO lebih dari 50%, sedangkan salinitas relatif stabil.

Di polder sebelah timur, pada jam ke-72 simulasi kenaikan rata-rata nilai BOD sampai pada jarak sekitar 4,8 km dari garis pantai adalah 2,1502 mg/l (132%), nilai DO turun sebesar 1,009 mg/l (33%),

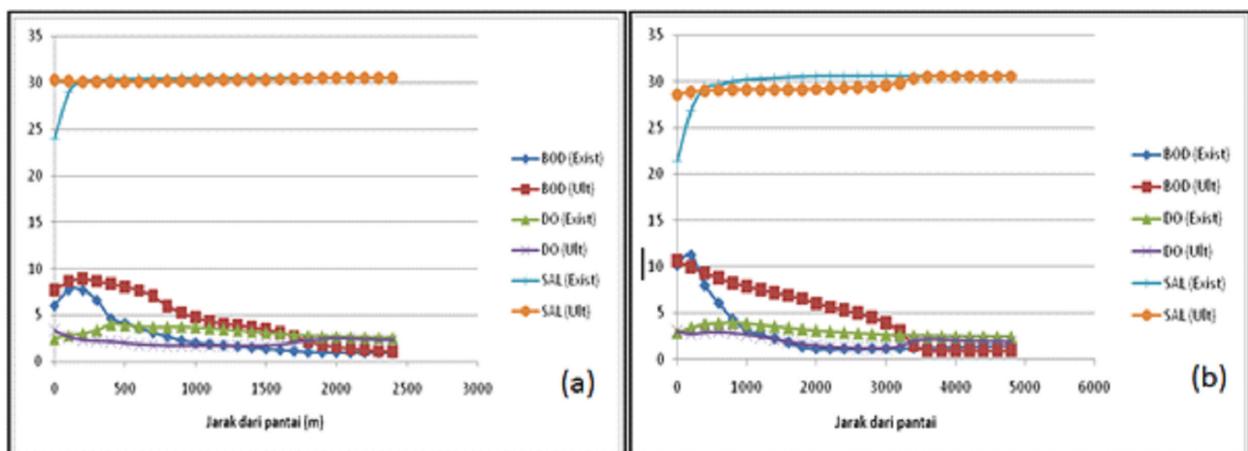
dan salinitas turun sebesar 0,2671 ‰ (0%). Bahkan pada jarak sekitar 1.800 – 2.600 m dari garis pantai penurunan nilai BOD mencapai lebih dari 300%, penurunan nilai DO lebih dari 50%, sedangkan salinitas relatif stabil.

Hasil pemodelan pada skenario ini memperlihatkan bahwa adanya tanggul dan pulau-pulau reklamasi akan meningkatkan nilai rata-rata BOD, menurunkan nilai rata-rata DO dan salinitas, baik pada polder sebelah barat maupun sebelah timur. Adanya tanggul laut ini menyebabkan sistem polder menjadi tertutup, sehingga bertambahnya input zat pencemar dari darat (sungai) dapat menyebabkan kondisi air dalam polder tersebut semakin lama akan semakin menurun. Salinitas relatif stabil karena dengan adanya tanggul laut, suplai air satu-satunya adalah dari sungai (air tawar) yang pada bulan Juli ini debitnya relatif kecil, sehingga tidak akan banyak memengaruhi salinitas air pada polder yang ada.

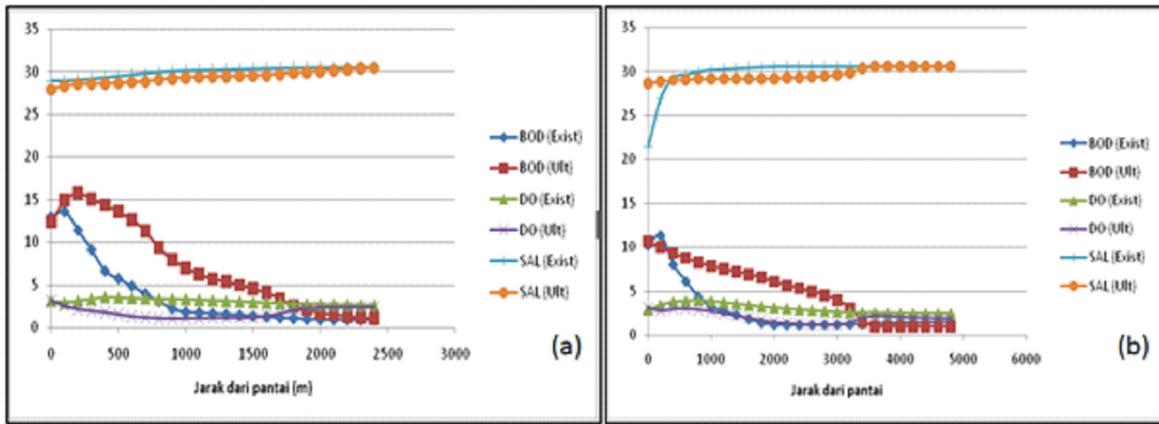
Kualitas Air Hasil Pemodelan Skenario Juli 2013 Pasang Perbani

Berdasarkan hasil pemodelan pada skenario ini (Gambar 8) terlihat bahwa pada polder barat, pada jam ke-72 simulasi kenaikan rata-rata nilai BOD sampai pada jarak sekitar 2,4 km dari garis pantai adalah 3,4974 mg/l (141%), nilai DO turun sebesar 1,3690 mg/l (43%), dan salinitas turun sebesar 0,6787 ‰ (2%).

Pada polder timur, pada jam ke-72 simulasi



Gambar 7. Grafik perbandingan kualitas air hasil skenario Juli pasang purnama saat jam ke-72 simulasi pada: (a) polder sebelah barat (muara Cengkareng Drain) dan (b) polder sebelah timur (muara Kali Blencong).



Gambar 8. Perbandingan kualitas air hasil skenario Juli pasang perbani saat jam ke-72 simulasi pada: (a) polder sebelah barat (muara Cengkareng Drain) dan (b) polder sebelah barat (muara Cengkareng Drain).

kenaikan rata-rata nilai BOD sampai pada jarak sekitar 4,8 km dari garis pantai adalah 2,6655 mg/l (154%), nilai DO turun sebesar 1,0089 mg/l (34%), dan salinitas turun sebesar 0,4491 ‰ (1%).

Berdasarkan hasil pemodelan pada skenario ini, adanya tanggul dan pulau-pulau reklamasi dapat meningkatkan nilai rata-rata BOD, menurunkan nilai rata-rata DO dan salinitas, baik pada polder sebelah barat maupun sebelah timur. Adanya tanggul laut ini menyebabkan sistem polder menjadi tertutup, sehingga bertambahnya input zat pencemar dari darat (sungai) akan menyebabkan kondisi air dalam polder tersebut semakin lama akan semakin menurun. Salinitas mengalami penurunan karena dengan adanya tanggul laut, suplai air satu-satunya adalah dari sungai yang berupa air tawar yang akan menurunkan salinitas air pada polder yang ada.

Berdasarkan hasil pemodelan satu dimensi dengan berbagai skenario, diketahui bahwa dengan adanya

pulau-pulau reklamasi dan tanggul laut raksasa nilai DO pada kolam retensi (polder) sebelah barat terjadi penurunan dari 4,42 mg/l menjadi 2,84 mg/l atau turun sebesar 35,75%. Sementara di kolam retensi (polder) sebelah timur terjadi penurunan nilai DO dari 4,39 mg/l pada kondisi existing menjadi 1,09 mg/l kalau dibangun pulau reklamasi dan tanggul laut raksasa. Dengan kata lain, terjadi penurunan nilai DO sebesar 75,1% (Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian dr., 2014b).

Validasi Model

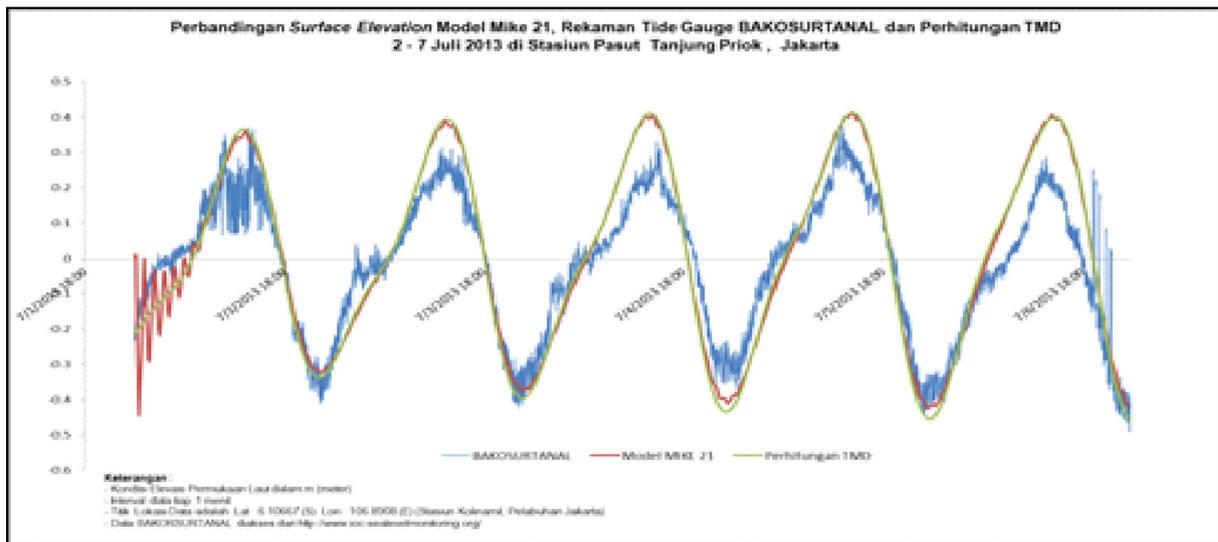
Umumnya, model ini dikalibrasi dengan data pengukuran. Dapat juga dengan pengukuran dari stasiun pemantauan lainnya. Data tersebut penting untuk pendokumentasian kapabilitas dan kualitas model. Karena dalam kajian saat ini tidak dilakukan survei dan sampling untuk pengukuran nilai DO

Tabel 2.

Verifikasi Hasil Model Dibandingkan dengan Pengukuran Pasut di Tanjung Priok, Jakarta, Tanggal 2 - 7 Juli 2013

	Keterangan	Jumlah Data	Perhitungan RMSD			Perhitungan NMSD	
			R M S D (cm)	x_{max} (m)	x_{min} (m)	RMSD/ ($x_{max} - x_{min}$)	NRMS (%)
1	Hasil Model MIKE 21 terhadap Perhitungan TMD	7.637	2,48	0,009	-0,446	0,055	5,452
2	Hasil Model MIKE 21 terhadap data BAKOSURTANAL	7.637	9,710	0,4137	-0,492	0,107	10,721

Sumber: Balai Pengkajian Dinamika Pantai, 2013



Gambar 9. Kondisi permukaan air laut Teluk Jakarta, 2 – 7 Juli 2013.

dan BOD, validasi dan kalibrasi model dilakukan pada hasil model hidrodinamikanya (Tabel 2 dan Gambar 9).

KESIMPULAN

Pembangunan GSW dan pulau reklamasi akan mengubah kualitas air di perairan Teluk Jakarta, yaitu menaikkan nilai BOD, menurunkan DO dan salinitas. Pada polder bagian barat, selama waktu yang disimulasikan (72 jam) pada bulan Desember saat pasang purnama perubahan kualitas air (pada area sejauh 2,4 km) akibat adanya tanggul laut dan reklamasi adalah rata-rata BOD naik sekitar 129%, DO turun sebesar 23%, dan salinitas turun 3% dibandingkan jika tidak ada tanggul laut dan reklamasi. Pada saat pasang perbani rata-rata BOD naik 121%, DO naik 4%, dan salinitas turun 1% dibandingkan jika tidak ada tanggul laut dan reklamasi. Di polder bagian timur, pada bulan Desember saat pasang purnama perubahan kualitas air (pada area sejauh 4,8 km) akibat adanya tanggul laut dan reklamasi adalah rata-rata BOD naik 102%, DO turun sebesar 22%, dan salinitas turun sebesar 1% dibandingkan jika tidak ada tanggul laut dan reklamasi. Pada saat pasang perbani rata-rata BOD naik sebesar 100%, DO turun sebesar 11%, dan salinitas relatif stabil dibandingkan jika tidak ada tanggul laut dan reklamasi.

Di polder bagian barat, selama waktu yang disimulasikan (72 jam) pada bulan Juli saat pasang

purnama perubahan kualitas air (pada area sejauh 2,4 km) akibat adanya tanggul laut dan reklamasi adalah rata-rata BOD naik 88%, DO turun sebesar 27%, dan salinitas turun sebesar 3% dibandingkan jika tidak ada tanggul laut dan reklamasi. Pada saat pasang perbani rata-rata BOD naik sebesar 141%, DO turun sebesar 43%, dan salinitas turun sebesar 2% dibandingkan jika tidak ada tanggul laut dan reklamasi. Di polder bagian timur, pada bulan Juli saat pasang purnama perubahan kualitas air (pada area sejauh 4,8 km) akibat adanya tanggul laut dan reklamasi adalah rata-rata BOD naik sampai 132%, DO turun sebesar 33%, dan salinitas relatif tetap dibandingkan jika tidak ada tanggul laut dan reklamasi. Pada saat pasang perbani rata-rata BOD naik sebesar 154%, DO turun sebesar 34%, dan salinitas turun sebesar 5% dibandingkan jika tidak ada tanggul laut dan reklamasi.

Berdasarkan kecenderungan perubahan kualitas perairan dari waktu ke waktu diketahui bahwa seiring bertambahnya waktu kualitas perairan Teluk Jakarta akan semakin menurun jika tidak dilakukan tindakan apapun. Untuk mengetahui perubahan kualitas dalam jangka yang lebih panjang perlu simulasi dan pemodelan untuk waktu yang lama (2 minggu - 1 bulan).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada manajemen Balai Teknologi Infrastruktur Pelabuhan dan

Dinamika Pantai-BPPT dan seluruh pelaksana kegiatan “Kajian Teknis Dinamika Pantai Rencana Pembangunan Tanggul Laut Raksasa Jakarta”, BPD-PBPPT, Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, M., Victor, K.M.R., Barkah, N., dan Dewantama, I., 2016. Dampak Reklamasi Lingkungan Perairan: Studi Kasus Teluk Benoa, Bali, Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional ke-III Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjajaran - Peran Geologi dalam Pengembangan Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Kebencanaan*. DOI: 10.24970/jbhl.v1n1.1.
- Anonim, 2013. Jakarta Floods Early Warning System (J-FEWS) Booklet. *Joint Cooperation Programme BMKG-Royal Netherlands Meteorological Institute-PUSAIR-Deltares*.
- Anonim, 2014. Analisis Dampak Lingkungan (ANDAL) Kegiatan Reklamasi Pulau I Bagian Barat Seluas 202,5 ha. PT. Jaladri Kartika Pakci. Jakarta.
- Babu, M.T., Das, V.K., dan Vethamony, P., 2006. BOD-DO Modeling and Water Quality Analysis of A Waste Water Outfall off Kochi, West Coast of India. *Environmental International* 32 (2006), 165 - 173, [www.sciencedirect.com.] Elsevier. DOI: 10.1016/j.envint.2005.08.007.
- Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah DKI Jakarta, 2013. Buku 1: Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Tahun 2012. BPLHD Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta. 610 h. DOI: 10.21009/improvement.03102.
- Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah DKI Jakarta, 2013. Buku 2: Tabel Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Tahun 2012, BPLHD Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta. 471 h. DOI: 10.21009/improvement.03102
- Badan Pusat Statistik, 2013. Jakarta Dalam Angka 2013. Badan Pusat Statistik Propinsi DKI Jakarta, <http://jakarta.bps.go.id/flip/jda2013/#/86/> [20 Agustus 2013].
- Balai Pengkajian Dinamika Pantai-BPPT, 2013. Laporan Akhir – Kajian Teknis Dinamika Pantai Rencana Pembangunan Tanggul Laut Raksasa Jakarta. BPD-PBPPT, Yogyakarta.
- Balai Teknologi Infrastruktur Pelabuhan dan Dinamika Pantai, 2016. Reklamasi Pantai Utara Jakarta – Simulasi Arus dan Sebaran Panas di Sekitar Pulau G Teluk Jakarta, Laporan Akhir Kegiatan di Balai Teknologi Infrastruktur Pelabuhan dan Dinamika Pantai-BPPT. Jakarta. 31 h.
- Brinkman, J.J., 2012. *Flood Risk Management And Urban Resilience*. May 2, 2012. Jakarta Coastal Defence Strategy (JCDS), Integrated GOI-GON Delta Approach. Jakarta. 40 h.
- DHI, 2012a. *Eco lab – Short Scientific Description*. MIKE by DHI. Copenhagen-Denmark. 40 h.
- DHI, 2012b. *Eco lab - 1d, 2d and 3d Water Quality And Ecological Modelling User Guide*. MIKE by DHI. Copenhagen-Denmark. 144 h.
- Firmansyah, I., Riani, E., dan Kurnia, R., 2012. Model Pengendalian Pencemaran Laut Untuk Meningkatkan Daya Dukung Lingkungan Teluk Jakarta. *JPSL* Vol. (2)1:22-28, Juli 2012. DOI: 10.29244/jpsl.2.1.22.
- Gower, A.M., 1980. *Water Quality in Catchment Ecosystems*, John Wiley & Sons, New York.
- Hutasoit, L.M., 2016. Amblesan Tanah dan Hubungannya dengan Reklamasi Jakarta, dalam Workshop IAGI – Geolog Mengupas Reklamasi Pantura Jakarta, IAGI, Jakarta.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2016. Kebijakan Reklamasi di Wilayah Pesisir: Tujuan, Manfaat dan Efek, Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia, Jakarta. DOI: 10.15578/jkpi.9.2.2017.85-94.
- Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian, Kementerian PU, BAPPENAS, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, 2014a. Master Plan Pengembangan Terpadu Pesisir Ibukota Negara (PTPIN) Draft 1 April 2014. Jakarta. 24 h.
- Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian, Kementerian PU, BAPPENAS, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. 2014b. Master Plan National Capital Integrated Coastal Development - Water Quality. NCICD Program. Jakarta. 113 hlm.
- Lestari dan Edward, 2004. Dampak Pencemaran Logam Berat Terhadap Kualitas Air Laut dan Sumberdaya Perikanan (Studi Kasus Kematian Massal Ikan-ikan di Teluk Jakarta. *Jurnal Makara Sains* Vol. 8 No. 2, Agustus 2001. h. 52-58. DOI: 10.7454/mss.v8i2.414

- Martiyanti, E., 2014. DKI Masih Krisis Air Baku. http://www.beritajakarta.id/read/1693/DKI_Masih_Krisis_Air_Baku#.Wc3scsYxW70 [29 September 2017].
- Minardi, S., 2014. Analisa Penurunan Airtanah dan Amblesan Tanah dengan Metode Gayaberat Mikro dan Gradien Vertikal Antar Waktu: Studi Kasus di Jakarta. *Jurnal Ilmu Dasar*, Vol. 14, No. 1, Januari 2014. h. 7 - 14.
- Muin, M., 2014. Dampak Reklamasi dan Pengerukan Terhadap Sirkulasi Arus Laut, Sungai, Sedimentasi dan Kualitas Air, www.muteknologi.musmuin.com.
- Nurmandi, A., 2009. Manajemen Perkotaan: Aktor, Organisasi dan Pengelolaan Daerah Perkotaan di Indonesia. Lingkaran Bangsa, Yogyakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia, 2007. Undang-undang No. 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah dan Pulau-pulau Kecil. Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4739.
- Permanawati, Y., Zuraida, R., dan Ibrahim, A., 2013. Kandungan Logam Berat (Cu, Pb, Zn, Cd dan Cr) dalam Air dan Sedimen di Perairan Teluk Jakarta, *Jurnal Geologi Kelautan* Vol. 11, No. 1, April 2013. h. 9 - 16.
- Radwan, M., Willems, P., Sadek, A.E., dan Berlamont, J., 2003. *Modelling of Dissolved Oxygen and Biochemical Oxygen Demand in River Water Using A Detailed and A Simplified Model*, *Intl. J. River Basin Management* Vol. 1, No. 2 (2003). IAHR-AIRH-INBO, 97 - 103. DOI: 10.1080/15715124.2003.9635196.
- Sachoemar, S.I. dan Wahjono, H.D., 2007. Kondisi Pencemaran Lingkungan Perairan di Teluk Jakarta. *Jurnal Air Indonesia* Vol. 3, No. 1. BPPT. Jakarta.
- Santosa, 2012. BAB IV. Kondisi umum lokasi penelitian. <http://repository.ipb.ac.id/bitstream/handle/123456789/54432/BAB%20IV%20Kondisi%20Umum%20Lokasi%20Penelitian.pdf?sequence=6> [20 Agustus 2013].
- Sudijanto, 2014. Pembelajaran dari AMDAL Reklamasi Teluk Jakarta – Reklamasi dan Dampaknya Terhadap Ekosistem Perairan. Bahan presentasi pada ASDEP Kajian Dampak Lingkungan, Deputi I Bidang Tata Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Suryani, A.S., 2015. Pencemaran di Teluk Jakarta. *Info Singkat Kesejahteraan Sosial* Vol. VII, No. 24/II/P3DI/Desember/2015. Sekretariat Jenderal DPR RI.
- Thomann, R.V. dan Mueller, J.A., 1987. *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*, Harper-Collins, New York, 1987.