

POLA PENYEBARAN SEDIMEN TERSUSPENSI BERDASARKAN ANALISIS DEBIT MAKSIMUM DAN MINIMUM DI MUARA SUNGAI PORONG, KABUPATEN PASURUAN

TOTAL SUSPENDED SOLIDSPREADING PATTERNS BASED ON MAXIMUM AND MINIMUM RIVERFLOW ANALYSIS IN PORONG ESTUARY, PASURUAN REGENCY

Herna Octivia Damayanti^{*)}, Undang Hernawan^{**)}

^{*)}Kantor Penelitian dan Pengembangan Kabupaten Pati
Jalan Panglima Sudirman No. 26 PATI Kode Pos 59113

<sup>**)Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan
Pos-el: octivia_oc@yahoo.co.id</sup>

ABSTRACT

Porong estuary is a place where materials transported along the river have been accumulated as well as Sidoarjo sludge. The amount of sediment in the estuary causes high turbidity levels of the river. The objective of this study is to determine the pattern and the concentration of Total Suspended Solid (TSS) spreading in Porong estuary for 15 days with SED2D models from software SMS 8.1 using maximum and minimum riverflow input, thus, the model results that are closer to reality in nature can be obtained. Tides, currents, and TSS were used as primary data sources, while Porong riverflow, Juanda wind and bathymetry maps Java-North Coast Surabaya to Bali Strait scale 1: 200.000 Sheet V No.82 year 2006 as secondary data sources. The results of the research showed that the concentration of TSS spreading for maximum riverflow 248–158 mg/l and minimum riverflow input 248–160 mg/l with spreading pattern tend to go to southeast direction. TSS concentration spreading model verification indicates that the model with the maximum riverflow data input has smaller MRE value than the model with the minimum riverflow.

Keywords: *Porong estuary, TSS concentrations, Maximum and minimum riverflow input*

ABSTRAK

Muara sungai Porong merupakan tempat akumulasi berbagai bahan yang terangkut sepanjang aliran sungai, termasuk lumpur Sidoarjo. Banyaknya endapan di muara sungai menyebabkan tingkat kekeruhan yang tinggi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pola penyebaran dan besar konsentrasi sedimen tersuspensi (TSS) di muara Sungai Porong selama 15 hari dengan model SED2D dari *software* SMS 8.1 menggunakan input sungai debit maksimum dan minimum sehingga dapat diperoleh hasil model yang lebih mendekati kenyataan di alam. Sumber data primer berupa data pasang surut, arus, sedimen dasar, dan TSS, sedangkan data sekunder berupa data debit Sungai Porong, data angin Juanda, dan peta bathimetri Jawa-Pantai Utara Surabaya hingga Selat Bali Lembar V No. 82 skala 1: 200.000 tahun 2006. Hasil simulasi sebaran konsentrasi TSS memperlihatkan besar konsentrasi TSS untuk input sungai debit maksimum 248–158 mg/l dan debit minimum 248–160 mg/l dengan pola penyebaran keduanya cenderung ke arah tenggara. Hasil verifikasi model sebaran TSS menunjukkan bahwa model dengan input debit maksimum memiliki nilai MRE lebih kecil dibanding model dengan input debit minimum.

Kata kunci: Muara Sungai Porong, Konsentrasi TSS, *Input* debit maksimum dan minimum

PENDAHULUAN

Sungai Porong yang mengalir dari Barat ke arah Timur merupakan bagian dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Kalibrantas.¹ Muara Sungai Porong terletak di Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Di muara sungai Porong terdapat area tambak karena terdapat delta yang dinamai Pulau Dem dan Pulau Tujuh.² Bagian hilir Sungai Porong langsung berhubungan dengan Selat Madura, berfungsi sebagai pengeluaran air sungai dan dipengaruhi oleh pasang surut.

Muara sungai Porong menjadi objek yang menarik untuk dikaji karena muara merupakan tempat akumulasi berbagai bahan yang terangkut sepanjang aliran sungai. Permasalahan menjadi semakin kompleks dengan adanya aktivitas pembuangan lumpur Sidoarjo ke dalam aliran sungai. Triatmodjo³ menyatakan bahwa permasalahan yang sering dijumpai di sungai ini adalah banyaknya endapan di muara sungai yang menyebabkan tingkat kekeruhan tinggi.

Tingkat kekeruhan yang tinggi menandakan bahwa konsentrasi sedimen tersuspensi total (*Total Suspended Solid* = TSS) juga tinggi. Konsentrasi TSS yang tinggi menandakan potensi pendangkalan menjadi besar. TSS adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter >1 μm) yang tertahan pada saringan milipore dengan diameter pori 0,45 μm . TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air.⁴ Jika kondisi air memiliki kekeruhan tinggi, akan berdampak pada kelangsungan hidup biota air yang hidup di dalamnya dan terganggunya aktivitas transportasi laut di sekitarnya.

Untuk itu perlu dilakukan pengkajian terhadap pola sebaran TSS yang ada di muara sungai Porong, salah satunya dengan memanfaatkan teknologi pemodelan. Pemodelan ini akan menghasilkan simulasi pola penyebaran, sekaligus prediksi besar konsentrasi TSS. Model ini dibuat sedemikian rupa sehingga dapat menyerupai keadaan yang ada di alam. Penelitian pemodelan sebaran TSS pada Sungai Porong dilakukan Damayanti⁵ menggunakan *software* SMS 8.1 dengan *input* sungai maksimum menghasilkan *Mean Relative Error (MRE)* model RMA2 sebesar 21,290% dan model SED2D sebesar 34,820%. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, kembali dilakukan pembuatan simulasi dengan proses

pengolahan baru untuk *input* sungai maksimum dan dengan *input* sungai berbeda, yaitu debit minimum.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pola penyebaran dan besar konsentrasi TSS di muara Sungai Porong selama 15 hari pada musim peralihan (bulan April 2008) dengan menggunakan *input* sungai debit maksimum dan minimum sehingga dapat diperoleh hasil model yang lebih mendekati kenyataan di alam. Manfaat dari pemodelan sebaran TSS ini adalah diperolehnya gambaran arah potensi pendangkalan di muara Sungai Porong.

METODE PENELITIAN

Data Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif menggunakan sumber data primer dan data sekunder. Pengambilan sampel dan pengukuran data primer dilakukan pada 9–24 April 2008. Data primer terdiri dari (1) data pasang surut per jam selama 16 hari mulai tanggal 9–24 April 2008; (2) arus per 30 menit selama 26 jam mulai tanggal 23–24 April 2008; (3) sedimen dasar diambil di muara Sungai Porong pada tanggal 10 April 2013; (4) sedimen tersuspensi (TSS) diambil di 30 stasiun mulai tanggal 10–13 April 2008; dan (5) bathimetri hasil pengukuran yang dilakukan pada tanggal 9 April 2008. Pasang surut diukur di pelabuhan Indonesia Power Jawa Timur. Arus diukur dengan ADCP tipe mobile frekuensi 600 Hz. Sedimen dasar diambil dengan *sedimen grab* dan *gravity core grab*, kemudian dianalisis di Laboratorium Contoh Inti Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan Cirebon. Sedimen tersuspensi diambil dengan *water sampler* kemudian dianalisis di Laboratorium Air Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB. Data sekunder berupa (1) data debit Sungai Porong per jam selama 12 bulan pada 2008 dengan jarak dari muara ± 5 km dan berada sebelum percabangan Sungai Porong karena terdapat delta yang disebut Pulau Dem dan Pulau Tujuh; (2) data angin Juanda per jam mulai tanggal 9–24 April 2008; dan (3) peta bathimetri Jawa-Pantai Utara Surabaya hingga Selat Bali Lembar V No.82 skala 1:200.000 dikeluarkan oleh

Tentara Nasional Indonesia (TNI) Angkatan Laut Dinas Hidro-Oseanografi 2006.

Lokasi Pengambilan Data Primer

Lokasi stasiun pengambilan sampel dan pengukuran data arus dapat dilihat pada Gambar 1. Lokasi geografis pengambilan data arus disajikan pada Tabel 1, lokasi geografis sampel sedimen dasar dan TSS disajikan pada Tabel 2. Koordinat lokasi pasang surut adalah 113°1'38,97" BT dan 7°38'41,89" LS.

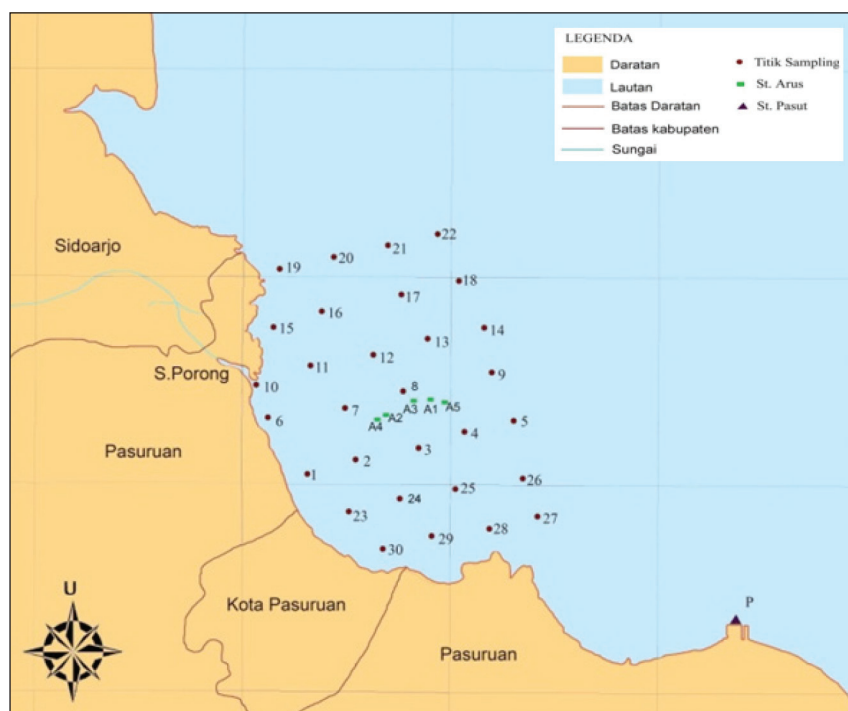
Pembuatan Simulasi Model

Model simulasi sebaran TSS dibuat dengan menggunakan software SMS ver. 8.1. *Surface Water Modelling System (SMS)* adalah pra dan pascaprosesor untuk pemodelan. Analisis model air permukaan meliputi model numerik satu, dua, dan tiga dimensi.⁶ Pembuatan model simulasi sebaran TSS melalui dua langkah pengerjaan. *Pertama*, pembuatan model hidrodinamika dengan modul RMA2 untuk mendapatkan solusi arah pergerakan dan besar kecepatan arus yang akan mendorong penyebaran TSS ke laut.

Kedua, pembuatan model sebaran TSS dengan modul SED2D untuk mendapatkan pola dan besar konsentrasi TSS yang menyebar ke laut.

Running model dilakukan selama 16 hari untuk mengantisipasi ketidakstabilan model pada awal pengerjaan model hidrodinamika. *Boundary* model (batas daerah model) dibuat lebih besar dari *domain* model (wilayah tampilan model). Hal itu untuk mengantisipasi ketidakstabilan pola dan kecepatan arus pada *domain* model. *Boundary* model dapat dilihat pada Gambar 1, sedangkan *domain* model lebih kecil dibandingkan tampilan Gambar 1.

Pembuatan model ini menggunakan persamaan dasar aliran untuk model hidrodinamika dan persamaan transportasi sedimen untuk model sebaran TSS. Persamaan dasar aliran yang digunakan merupakan persamaan aliran dua dimensi pada rerata kedalaman (*depth average*) untuk kondisi aliran subkritik dari Donnel dkk.⁷ Formulasi persamaan transportasi sedimen yang digunakan juga berasal dari Donnel dkk.⁸ Demikian juga untuk verifikasi model dengan mencari nilai MRE dari Donnel dkk.⁷



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Tabel 1. Lokasi Pengambilan Data Arus

No	Lokasi	Bujur (Timur)	Lintang (Selatan)
1	A1	112°55'39"	7°34'24"
2	A2	112°54'54"	7°34'40"
3	A3	112°55'17"	7°34'24"
4	A4	112°54'41"	7°34'31"
5	A5	112°55'54"	7°34'25"

Tabel 2. Lokasi Pengambilan Sedimen Dasar dan Sedimen Tersuspensi

No	Lokasi	Bujur (Timur)	Lintang (Selatan)	No	Lokasi	Bujur (Timur)	Lintang (Selatan)
1	Sp-01-08	112°53'13"	7°35'56"	16	Sp-16-08	112°53'26"	7°32'29"
2	Sp-02-08	112°54'08"	7°35'40"	17	Sp-17-08	112°55'08"	7°32'24"
3	Sp-03-08	112°55'11"	7°35'22"	18	Sp-18-08	112°56'12"	7°32'06"
4	Sp-04-08	112°56'11"	7°35'08"	19	Sp-19-08	112°52'39"	7°31'60"
5	Sp-05-08	112°57'10"	7°35'00"	20	Sp-20-08	112°53'38"	7°31'35"
6	Sp-06-08	112°52'23"	7°34'44"	21	Sp-21-08	112°54'45"	7°31'30"
7	Sp-07-08	112°53'54"	7°34'28"	22	Sp-22-08	112°55'46"	7°31'14"
8	Sp-08-08	112°55'04"	7°34'15"	23	Sp-23-08	112°54'02"	7°36'38"
9	Sp-09-08	112°56'50"	7°33'53"	24	Sp-24-08	112°55'03"	7°36'23"
10	Sp-10-08	112°52'13"	7°34'04"	25	Sp-25-08	112°56'07"	7°36'12"
11	Sp-11-08	112°53'14"	7°33'39"	26	Sp-26-08	112°57'28"	7°36'01"
12	Sp-12-08	112°54'32"	7°33'27"	27	Sp-27-08	112°57'41"	7°36'42"
13	Sp-13-08	112°55'36"	7°33'10"	28	Sp-28-08	112°56'46"	7°36'54"
14	Sp-14-08	112°56'36"	7°32'56"	29	Sp-29-08	112°55'43"	7°37'09"
15	Sp-15-08	112°52'28"	7°33'02"	30	Sp-30-08	112°54'45"	7°37'19"

Keterangan:

No. 10 adalah lokasi pengambilan sampel sedimen dasar

HASIL DAN PEMBAHASAN

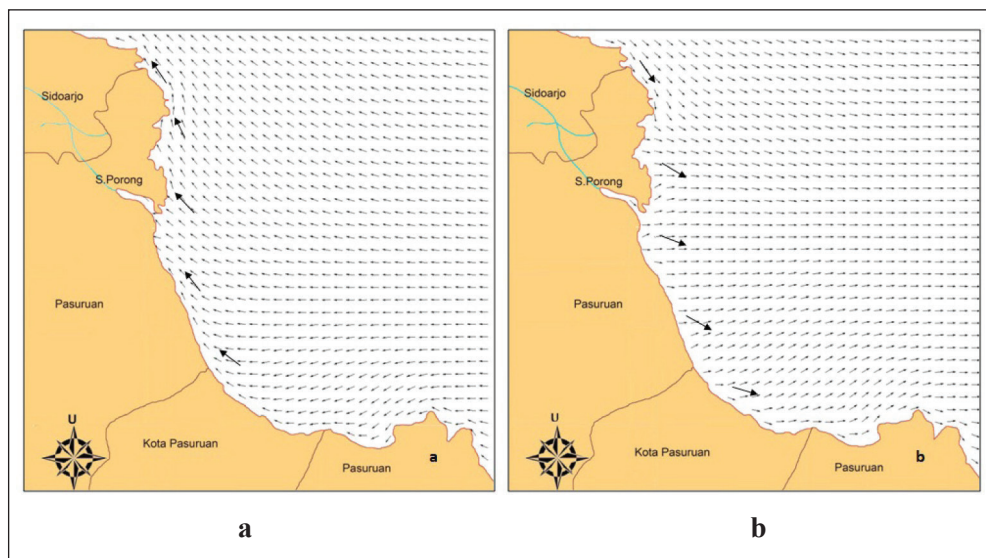
Model Hidrodinamika

Hasil model hidrodinamika muara Sungai Porong yang diperoleh adalah pola pergerakan arus saat surut menuju pasang dan pasang menuju surut saat kondisi perbani dan purnama. Pola pergerakan arus kondisi perbani dapat dilihat pada Gambar 2.

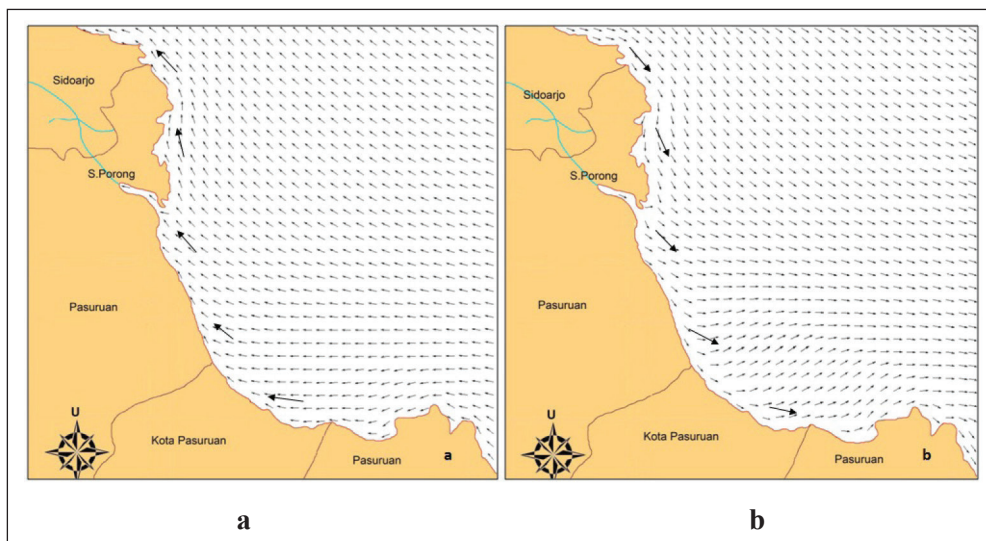
Gambar 2 (a) merupakan hasil simulasi pergerakan arus saat surut menuju pasang kondisi perbani dan Gambar 2 (b) merupakan pergerakan arus saat pasang menuju surut kondisi perbani. Pola pergerakan arus di sekitar perairan muara Sungai Porong pada saat surut menuju pasang berorientasi dari timur ke barat, kemudian membelok ke Utara saat mendekati garis pantai.

Pada saat pasang menuju surut, pergerakan arus berorientasi dari utara ke selatan, kemudian membelok ke timur saat mendekati garis pantai.

Pola pergerakan kondisi purnama dapat dilihat pada Gambar 3. Pada Gambar 3 orientasi pergerakan arus, baik saat pasang menuju surut dan surut menuju pasang menunjukkan pola yang sama dengan saat kondisi perbani. Hamzah⁹ tanpa menyebutkan *software* yang digunakan, menyatakan bahwa arah pergerakan arus saat surut menuju pasang arus, dari timur menyusuri garis pantai berbelok ke utara. Arah pergerakan arus saat pasang menuju surut, arah arus dari utara menyusuri garis pantai berbelok ke timur. Pembelokan arah arus menjadi menyusur pantai disebabkan oleh adanya *long shore current*, yaitu pergerakan arus yang sejajar dengan pantai



Gambar 2. Arus Saat Perbani (a) Surut Menuju Pasang (b) Pasang Menuju Surut



Gambar 3. Arus Saat Purnama (a) Surut Menuju Pasang (b) Pasang Menuju Surut

sehingga arus yang semula bergerak menuju pantai kemudian membelok dan bergerak sejajar dengan garis pantai.⁵

Kecepatan arus hasil pemodelan selama 15 hari saat kondisi perbani dan kondisi purnama dengan *input* debit minimum 14,293 m³/s dan debit maksimum 33,010 m³/s di 5 stasiun dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa kecepatan arus saat kondisi perbani tidak sebesar saat kondisi purnama. Penelitian yang dilakukan Damayanti⁵ juga menyatakan bahwa kecepatan arus saat kondisi

perbani lebih kecil dibanding kondisi purnama. Hal itu karena saat kondisi purnama gaya tarik bulan dan matahari mencapai maksimum sehingga muka air laut mengalami kenaikan tertinggi dan pergerakan arus yang disebabkan oleh pasang surut menjadi maksimal. Pada kondisi ini, kecepatan arus yang terjadi menjadi besar. Sedangkan saat kondisi perbani, gaya tarik bulan dan matahari menjadi minimum sehingga muka air laut mengalami kenaikan terendah. Akibatnya pergerakan arus pasang surut menjadi minimal, dan kecepatan arus menjadi kecil.⁵

Tabel 3. Kecepatan Arus Hasil Model Dengan *Software* SMS 8.1

Stasiun	Debit Maksimum				Debit Minimum			
	Purnama		Perbani		Purnama		Perbani	
	S-P	P-S	S-P	P-S	S-P	P-S	S-P	P-S
A1	0,0416	0,0272	0,0055	0,0127	0,0414	0,0276	0,0054	0,0126
A2	0,0460	0,0306	0,0046	0,0132	0,0458	0,0307	0,0045	0,0130
A3	0,0427	0,0279	0,0053	0,0127	0,0424	0,0281	0,0051	0,0126
A4	0,0499	0,0332	0,0051	0,0138	0,0492	0,0329	0,0047	0,0137
A5	0,0407	0,0267	0,0058	0,0126	0,0403	0,0269	0,0058	0,0126

Sumber: Data yang Diolah

Verifikasi Hasil Model Hidrodinamika

Teknik pengukuran arus menggunakan pendekatan Lagrangian, yaitu dengan menggunakan *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)* tipe mobile Frekuensi 600 Hz. *ADCP* tipe mobile ini menghasilkan data arus dengan pola lintasan. Pengukuran dilakukan selama 26 jam dengan panjang lintasan ± 1 km, dimulai dari sekitar stasiun 2 (Sp-02-08) sampai sekitar stasiun 4 (Sp-04-08). Masa pengukuran data arus yang dapat digunakan adalah apabila telah melampaui 24 jam. Selama 26 jam masa pengukuran ini, diperoleh banyak titik koordinat pengukuran. Lokasi yang diambil merupakan lokasi yang paling sering dilewati selama pengukuran, yaitu lima lokasi (A1, A2, A3, A4, dan A5). Sedangkan data arus yang dipakai merupakan data arus pada 0,8d (0,8 dari total kedalaman lokasi pengukuran arus).

Dari hasil simulasi model hidrodinamika, kemudian dilakukan perhitungan besar kesalahan model (verifikasi model). Verifikasi model hidrodinamika dengan data arus dapat dilihat pada Tabel 4.

Pembuatan model hidrodinamika dilakukan dengan menggunakan 2 nilai debit sungai, yaitu debit saat kondisi maksimum dan minimum. Hal ini dilakukan untuk melihat perbedaan besar kesalahan yang dihasilkan. Dalam pemodelan, jika nilai MRE semakin kecil maka model menjadi semakin mendekati kenyataan di alam. Lakhan dan LaValle dalam Lakhan dan Trenhaile¹⁰ menyatakan bahwa data keluaran simulasi pesisir tidak hanya terkait dengan fluktuasi acak, tetapi juga berbagai derajat kebenaran. Hal ini disebabkan model simulasi selalu memasukkan simplifikasi dan selalu mengurangi beberapa hal dari keadaan yang sebenarnya. Oleh karena itu, tidak ada satu model pun yang tepat benar saat dihubungkan dengan keadaan yang sebenarnya (Shannon 1975 dalam Lakhan and Trenhaile)¹⁰ sehingga model simulasi diperbolehkan memiliki berbagai derajat kebenaran.¹⁰ Dalam penelitian Damayanti,⁵ MRE model hidrodinamika (model RMA2) dengan debit maksimum yang dihasilkan adalah 21,290%, sedangkan nilai MRE model dengan debit maksimum setelah dilakukan

Tabel 4. Verifikasi Model Hidrodinamika

No	Tanggal	Waktu	Data Lapangan	Kecepatan arus (m/s)			MRE (%)	
				Model Debit Maksimum (33,010 m ³ /s)	Model Debit Minimum (14,293 m ³ /s)	Debit Maksimum	Debit Minimum	
1	23/4/2008	13.30	0,024	0,023	0,014	4,311	42,202	
2	23/4/2008	14.00	0,020	0,016	0,017	18,647	13,474	
3	23/4/2008	14.30	0,029	0,026	0,025	9,985	12,772	
4	23/4/2008	15.00	0,029	0,031	0,029	5,939	0,000	
5	23/4/2008	15.30	0,030	0,023	0,029	23,806	3,822	
Rata-rata						12,538	14,454	

Sumber: Data yang Diolah

pengolahan kembali yaitu 12,538%. Artinya terjadi penurunan derajat kesalahan dibanding penelitian sebelumnya. *MRE* model dengan debit minimum yaitu 14,454% juga menunjukkan derajat kesalahan yang lebih kecil dari penelitian sebelumnya. Jika dilihat dari nilai *MRE*, model hidrodinamika dengan debit maksimum lebih mendekati kenyataan di alam karena *MRE* yang dihasilkan lebih kecil.

MRE model ini dapat disebabkan oleh bathimetri yang digunakan sebagai *input* model. Bathimetri yang digunakan merupakan hasil pengukuran saat penelitian pada 2008. Untuk lokasi-lokasi yang tidak terjangkau pengukuran bathimetri, digunakan data bathimetri dari peta bathimetri keluaran Dishidros tahun 2006 sehingga kemungkinan ada perbedaan kedalaman perairan dengan kondisi sebenarnya, terutama di lokasi yang tidak terjangkau saat pengukuran bathimetri. Penyebab lain adalah model ini dibuat dengan asumsi *input* dari sungai hanya berasal dari satu sumber yaitu Sungai Porong. Akan tetapi, kenyataannya di daerah domain model terdapat beberapa sungai yang mengalir di sekitar Selat Madura. *Input* debit sungai bersifat konstan dan kontinyu, sedangkan kenyataan di alam besar debit sungai tidak konstan dan tidak kontinyu, tetapi bervariasi tidak terus-menerus 14,293 m³/s atau 33,010 m³/s.

Model sebaran TSS

Debit maksimum

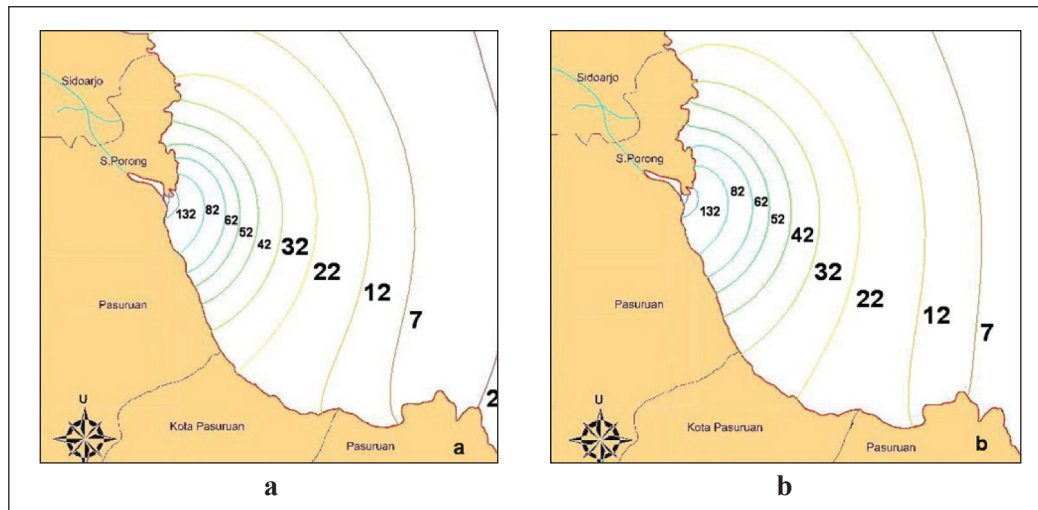
Model sebaran TSS dibuat dengan dua jenis *input* sungai, yaitu berupa debit maksimum dan debit minimum. Untuk menjalankan modul SED2D harus menjalankan modul RMA2 terlebih dahulu, karena solusi dari RMA2 akan digunakan sebagai dasar dari modul SED2D.⁵ Hasil simulasi model SED2D dengan *input* sungai debit maksimum untuk hari ke-1 (terhitung sejak pengukuran pasang surut pertama) disajikan pada Gambar 4.

Input konsentrasi TSS dari Sungai Porong sebesar 248 mg/l dan debit maksimum sebesar 33,010 m³/s. Konsentrasi TSS yang digunakan merupakan data hasil pengukuran saat penelitian di stasiun muara, yaitu stasiun 10 (SP-10-08). Data debit maksimum yang digunakan adalah

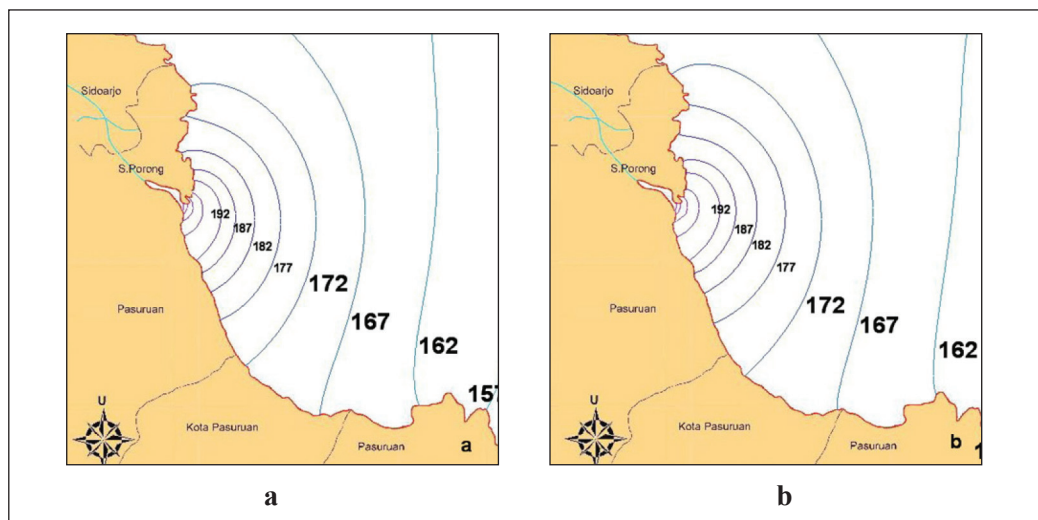
data debit rata-rata pada bulan April 2008 yang merupakan debit rata-rata terbesar pada 2008. Setelah disimulasikan, hasil pada hari ke-1 terlihat pada Gambar 4. Gambar 4(a) merupakan simulasi sebaran TSS saat surut menuju pasang. Gambar tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi menyebar ke arah timur cenderung ke tenggara. Hal ini dikarenakan bentuk muara sungai yang membelok ke arah tenggara. Kurniawan dalam Pranowo¹¹ juga menyatakan bahwa simulasi pergerakan sedimen tersuspensi di muara Sungai Porong dan sekitarnya memperlihatkan sebaran sedimen tersuspensi muara Sungai Porong dominan ke Tenggara. Penyebaran dominan ke Tenggara ini juga disebutkan dalam penelitian Damayanti⁵ dan diperkuat oleh hasil simulasi yang dibuat oleh Hamzah⁹ yang menunjukkan pergerakan sedimen tersuspensi cenderung ke arah tenggara. Konsentrasi TSS saat surut menuju pasang pada batas Timur daerah studi (domain model) mencapai 2 mg/l, sedangkan Gambar 4(b) saat pasang menuju surut mencapai 7 mg/l. Hal ini karena adanya dorongan arus pasang surut sehingga saat pasang menuju surut, arah arus berbalik menuju laut, dan membawa TSS ke laut. Penelitian Herman dkk.¹² tentang pola sebaran material tersuspensi dengan citra satelit juga menyatakan bahwa sebaran sedimen dipengaruhi oleh pola arus yang dibangkitkan oleh pasang surut.

Simulasi model dikerjakan sampai hari ke-15 dengan *input* sungai yang konstan dan kontinu. Hasil simulasi model setelah hari ke-15 disajikan pada Gambar 5. *Input* sungai disebut konstan karena menggunakan nilai debit sungai yang tetap, yaitu debit minimum 14,293 m³/s dan untuk debit maksimum 33,010 m³/s. *Input* sungai disebut kontinu karena debit diberikan secara terus-menerus tanpa henti selama masa *running* model (15 hari).

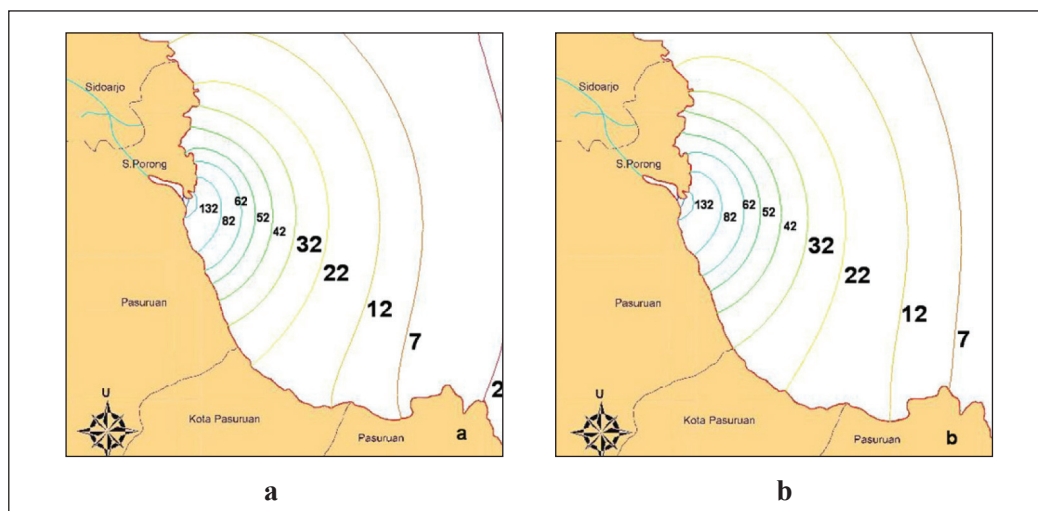
Proses simulasi yang berlangsung selama 15 hari membuat besar konsentrasi TSS yang tersebar semakin besar. Gambar 5(a) menunjukkan besar konsentrasi TSS di batas domain model sebesar 157 mg/l. Pada Gambar 5(b), konsentrasi TSS juga 157 mg/l, hanya saja konsentrasi 157 mg/l ini lebih terdorong ke arah timur batas domain model. Hal ini karena kondisi pergerakan arusnya adalah saat pasang menuju surut, sedangkan besar konsentrasi TSS hasil pemodelan di daerah domain



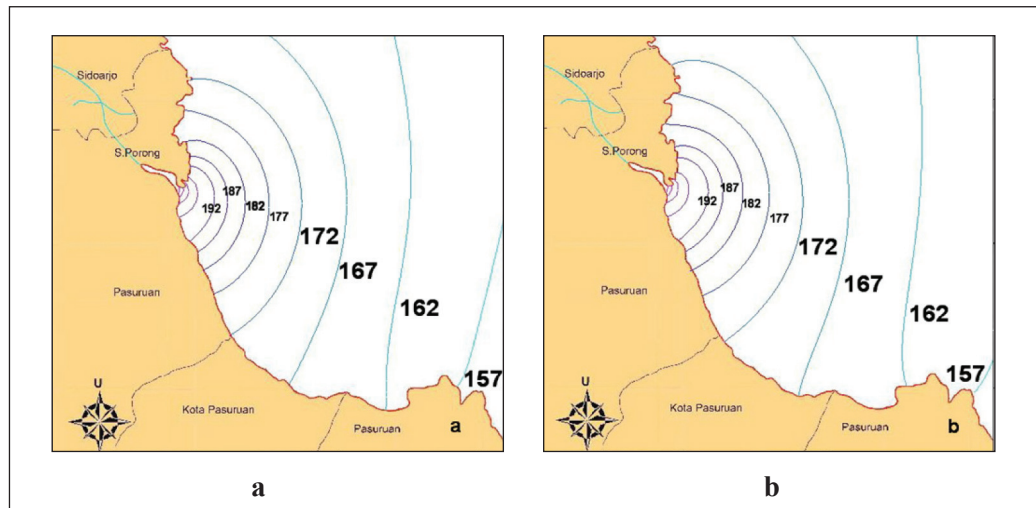
Gambar 4. Konsentrasi TSS Debit Maksimum h1 (a) Surut Menuju Pasang (b) Pasang Menuju Surut
Keterangan: Angka = Besar konsentrasi TSS (mg/l)



Gambar 5. Konsentrasi TSS Debit Maksimum h15 (a) Surut Menuju Pasang (b) Pasang Menuju Surut
Keterangan: Angka = Besar konsentrasi TSS (mg/l)



Gambar 6. Konsentrasi TSS Debit Minimum h1 (a) Surut Menuju Pasang (b) Pasang Menuju Surut
Keterangan: Angka = Besar konsentrasi TSS (mg/l)



Gambar 7. Konsentrasi TSS Debit Minimum h15(a) Surut Menuju Pasang (b) Pasang Menuju Surut
Keterangan: Angka = Besar konsentrasi TSS (mg/l)

model untuk *input* sungai debit maksimum selama 15 hari adalah 248-158 mg/l. Konsentrasi TSS 248 mg/l merupakan hasil pemodelan pada hari ke-15 di stasiun 10 (Sp-10-08), sedangkan konsentrasi TSS 158 mg/l merupakan hasil pemodelan pada hari ke-15 di stasiun 27 (Sp-27-08).

Debit minimum

Input konsentrasi TSS dari Sungai Porong sebesar 248 mg/l dan debit minimum sebesar 14,293 m³/s. Konsentrasi TSS yang digunakan merupakan data hasil pengukuran saat penelitian di stasiun muara yaitu stasiun 10 (SP-10-08), sedangkan data debit minimum yang digunakan adalah data debit rata-rata pada bulan Maret 2008 yang merupakan debit rata-rata terkecil pada 2008. Hasil simulasi model SED2D dengan *input* sungai debit minimum hari ke-1 (terhitung sejak pengukuran pasut pertama) disajikan pada Gambar 6.

Dari simulasi gambar, perbedaan antara model sebaran TSS dengan *input* sungai debit maksimum dan debit minimum sulit untuk dibedakan. Akan tetapi, jika diteliti terlihat bahwa saat surut menuju pasang, Gambar 4(a) garis kontur konsentrasi TSS terlihat sedikit bergeser lebih jauh dibanding Gambar 6(a). Demikian juga dengan Gambar 4(b), saat pasang menuju surut, garis kontur konsentrasi TSS sedikit bergeser lebih jauh dibanding Gambar 6(b). Hal ini disebabkan besar dorongan debit yang berbeda, di mana Gambar 4

debit maksimum 33,010 m³/s, sedangkan Gambar 6 debit minimum 14,293 m³/s.

Hasil simulasi hari ke-15 dengan *input* sungai debit minimum disajikan pada Gambar 7. Perbedaan antara model sebaran TSS dengan *input* debit maksimum dan debit minimum semakin nyata terlihat dari hasil simulasi model hari ke-15. Gambar 5(a) saat surut menuju pasang garis kontur konsentrasi TSS terlihat jelas bergeser lebih jauh dibanding Gambar 7(a). Pergeseran sebaran konsentrasi TSS juga terlihat jelas pada Gambar 5(b) saat pasang menuju surut dibanding Gambar 7(b). Sedangkan besar konsentrasi TSS hasil pemodelan di daerah domain model untuk *input* sungai debit minimum selama 15 hari adalah 248–160 mg/l. Konsentrasi TSS 248 mg/l merupakan hasil pemodelan pada hari ke-15 di stasiun 10 (Sp-10-08), sedangkan konsentrasi TSS 160 mg/l merupakan hasil pemodelan pada hari ke-15 di stasiun 27 (Sp-27-08).

Verifikasi Model Sebaran TSS

Hasil model sebaran TSS diverifikasi, sama seperti model hidrodinamika. Verifikasi untuk *input* sungai debit maksimum dan debit minimum disajikan pada Tabel 5.

Dalam penelitian Damayanti,⁵ MRE model sebaran TSS dengan debit maksimum yang dihasilkan adalah 34,820%. Sedangkan nilai MRE model dengan debit maksimum

Tabel 5. Verifikasi Model Sebaran TSS dengan Debit Maksimum

No	Data Lapangan (mg/l)	Hasil Model (mg/l)		MRE (%)	
		Debit Maksimum (33,010 m ³ /s)	Debit Minimum (14,293 m ³ /s)	Debit Maksimum (33,010 m ³ /s)	Debit Minimum (14,293 m ³ /s)
1	122	137,638	136,582	12,818	11,953
2	180	151,107	130,866	16,052	27,297
3	25	33,750	33,672	34,998	34,686
4	55	24,871	24,425	54,780	55,591
5	5	4,594	4,495	8,110	10,096
6	230	161,770	160,709	29,665	30,127
7	86	125,841	124,623	46,327	44,911
8	100	111,617	110,487	11,617	10,487
9	10	7,086	7,141	29,138	28,587
10	248	234,966	224,278	5,256	9,565
11	191	148,212	146,182	22,402	23,465
12	45	43,591	43,272	3,131	3,839
13	62	29,221	28,833	52,869	53,496
14	9	8,058	7,939	10,461	11,793
15	122	136,966	135,719	12,267	11,245
16	73	62,210	61,653	14,780	15,544
17	23	17,156	17,037	25,409	25,925
18	11	8,287	8,211	24,661	25,351
19	73	60,039	59,222	17,754	18,873
20	50	54,276	53,472	8,553	6,945
21	32	17,716	17,521	44,637	45,248
22	14	9,628	9,509	31,232	32,078
23	41	30,934	30,636	24,551	25,278
24	102	66,099	65,105	35,198	36,172
25	5	7,598	7,394	51,967	47,880
26	12	2,978	2,885	75,180	75,958
27	23	5,337	5,244	76,795	77,199
28	18	7,328	7,192	59,288	60,045
29	9	8,631	8,462	4,101	5,980
30	73	69,374	68,863	4,967	5,668
		Rata-rata		28,299	29,043

Sumber: Data yang Diolah

setelah dilakukan pengolahan kembali yaitu 28,299%. Hal itu menunjukkan penurunan derajat kesalahan dibanding penelitian sebelumnya. Pengolahan kembali yang dimaksudkan adalah dengan melakukan pembuatan model dari awal. Dimulai dari proses digitasi bathimetri dengan menambahkan data bathimetri yang semula tidak disertakan sehingga meminimalisir interpolasi bathimetri oleh model, karena bathimetri menjadi lebih rapat. Jaring-jaring daerah model (*mesh*

daerah model) dibuat lebih rapat untuk memperoleh hasil yang lebih detail. Hal ini berguna untuk mengurangi terjadinya *error* selama proses *running* karena fluktuasi pergerakan arus yang terlalu besar akibat *mesh* model yang besar.

MRE model dengan debit minimum yaitu 29,043%, juga menunjukkan derajat kesalahan yang lebih kecil dari penelitian sebelumnya. Pembuatan model ini menggunakan asumsi *input* TSS hanya dari satu sumber, yaitu Sungai Porong,

bersifat konstan dan kontinu sehingga tidak akan sama persis dengan kondisi di alam. Hasil verifikasi model sebaran TSS dipengaruhi juga oleh hasil verifikasi model hidrodinamika sebelumnya. Dengan demikian, untuk mendapatkan hasil yang paling mendekati kenyataan di alam digunakan hasil model dengan nilai MRE terkecil, yaitu model sebaran TSS dengan *input* sungai debit maksimum.

KESIMPULAN

Simulasi sebaran konsentrasi TSS, baik dengan *input* sungai debit maksimum (33,010 m³/s) maupun debit minimum (14,293 m³/s), memperlihatkan bahwa konsentrasi TSS cenderung menyebar ke arah Tenggara. Besar konsentrasi TSS dengan *input* sungai debit maksimum adalah 248–158 mg/l. Konsentrasi TSS 248 mg/l merupakan hasil pemodelan pada hari ke-15 di stasiun 10 (Sp-10-08), sedangkan konsentrasi TSS 158 mg/l merupakan hasil pemodelan pada hari ke-15 di stasiun 27 (Sp-27-08). Besar konsentrasi TSS dengan *input* sungai debit minimum adalah 248–160 mg/l. Konsentrasi TSS 248 mg/l merupakan hasil pemodelan pada hari ke-15 di stasiun 10 (Sp-10-08), sedangkan konsentrasi TSS 160 mg/l merupakan hasil pemodelan pada hari ke-15 di stasiun 27 (Sp-27-08).

Hasil verifikasi terhadap model sebaran TSS menunjukkan bahwa model dengan *input* sungai debit maksimum (33,010 m³/s) memiliki nilai MRE lebih kecil dibanding model dengan *input* sungai debit minimum (14,293 m³/s). *Input* sungai debit maksimum MRE model sebaran TSS (model SED2D) sebesar 28,299%, sedangkan untuk *input* sungai debit minimum MRE model sebaran TSS (model SED2D) sebesar 29,043%. Dapat disimpulkan bahwa model dengan *input* sungai debit maksimum lebih mendekati kenyataan di alam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Ibu Puspita Lisdiyanti sebagai pembimbing penulisan karya tulis ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Ribuan ha tambak terancam, endapan lumpur Lapindo di Sungai Porong segera didorong ke muara. 2009. [http : // korbanlumpur. Info](http://korbanlumpur.info), diakses 10 Maret 2009.
- ²Bachtar, H., F. Novico, dan F. Riandini. 2011. Model sederhana 2-dimensi arah pergerakan sedimen di Sungai Porong Jawa Timur. [http: // www. academia.edu/ 2769094/Sediment_Transport_Model_Porong](http://www.academia.edu/2769094/Sediment_Transport_Model_Porong), diakses 5 Mei 2013.
- ³Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Djambatan. 397 hlm.
- ⁴Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius. 258 hlm.
- ⁵Damayanti, H. O. 2009. Studi penyebaran sedimen tersuspensi di muara Sungai Porong Kabupaten Pasuruan. Skripsi, Program Studi Oseanografi Jurusan Ilmu Kelautan. Semarang: Universitas Diponegoro.
- ⁶Brigham Young University. 2003. *SMS-Surface Water Modelling System Tutorials*. Utah: Brigham Young University-Environmental Modelling Research Laboratory. 202 hlm.
- ⁷Donnell, B.P. dkk. 2003. *Users Guide for RMA2 Version 4.5*. New York: US Army Engineer Research and Development Center, Waterways Experiment Station, Coastal and Hydraulics Laboratory.
- ⁸-----, 2003. *Users Guide for SED2D Version 4.5*. New York: US Army Engineer Research and Development Center, Waterways Experiment Station, Coastal and Hydraulics Laboratory. 172 hlm.
- ⁹Hamzah, L. 2009. Simulasi sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi muara Sungai Porong dan sekitarnya. ITB. Hamzah@ppk.itb.ac.id, diakses 1 Juni 2009.
- ¹⁰Lakhan, V.C., and A.S Trenhaile. 1989. *Applications in Coastal Modelling*. Netherlands: Elsevier Science Publishers.
- ¹¹Pranowo, W.S. 2006. Hidro-oseanografi Selat Madura (dalam rangka kasus Lapindo Brantas). Jakarta: Departemen Kelautan dan Perikanan. <http://www.scribd.com>, diakses 17 Juni 2009.
- ¹²Herman, T. Osawa, and I.W. Arthana. 2008. Study of total suspended matter distribution using satellite data and numerical simulation in Porong Sidoarjo, East Java. *Ecotrophic* 4(2): 73–79.

