

# MODEL SEDERHANA 2-DIMENSI ARAH PERGERAKAN SEDIMEN DI SUNGAI PORONG JAWA TIMUR SIMPLE MODEL OF TWO DIMENSIONAL SEDIMENT MOVEMENT IN PORONG RIVER

Oleh :

Huda Bachtiar<sup>1</sup>, Franto Novico<sup>2</sup> dan Fitri Riandini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Balai Pantai, Puslitbang SDA, Kementerian Pekerjaan Umum

<sup>2</sup>P3GL, Kementerian ESDM

Diterima : 02-07-2011; Disetujui : 08-11-2011

## SARI

Model numerik MIKE 21 modul transport sedimen digunakan untuk mengetahui respon pergerakan lumpur Sidoarjo pada saat musim hujan dan musim kemarau dan pengaruh tanggul yang berada di muara Sungai Porong. Data yang digunakan adalah pasang surut muka air laut, kedalaman air, debit sungai, arus dan konsentrasi sedimen. Simulasi dilakukan dengan membuat dua skenario, yaitu pada saat kondisi musim hujan dan pada saat musim kemarau. Hasil simulasi model hidrodinamika di verifikasi dengan data lapangan untuk mendapatkan nilai korelasi. Verifikasi meliputi data muka air dan kecepatan arus baik arah  $-x$  maupun  $-y$ .

Berdasarkan hasil verifikasi didapatkan nilai korelasi muka air sebesar 0.8641 sementara arus bernilai 0.1493 untuk sumbu  $-x$  dan 0.1917 untuk sumbu  $-y$ . Selanjutnya hasil simulasi model menunjukkan konsentrasi sedimen pada tanggal 27 November 2007 merupakan puncak tertinggi dengan nilai  $3.2 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$  untuk musim hujan sementara untuk musim kemarau konsentrasi sedimen bernilai  $0.0 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ .

**Kata kunci :** Model Numerik, Pergerakan Lumpur, Sungai Porong.

## ABSTRACT

Numerical model of MIKE 21 sediment transport module was applied to recognize the response of mud flow respective in rainy and dry season and also to get information of dike effect at the river mouth. Data that used in this simulation was tide, water depth, river discharge, current and sediment concentration. The simulations were created for two scenarios, therefore dry season and wet season. The result of the simulation model verified with observation data to see the correlation value. The verification are covering water level data and current magnitude of  $-x$  and  $-y$  axis.

Based on the verification result, the correlation value of water level has a value 0.8641 meanwhile for the current the correlation value have magnitude 0.1493 of  $x$ -axis and 0.1917 of  $y$ -axis. Moreover, the maximum value of sediment concentration could be seen at November 27<sup>th</sup> 2007 with  $3.2 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$  at the wet season and  $0.0 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$  for dry season.

*Keywords: Numerical Model, Mud Movement, Porong River*

## PENDAHULUAN

### Karakteristik Sedimen di Kali Porong

Sungai Porong yang mengalir dari barat ke arah timur yang merupakan bagian dari daerah aliran sungai (DAS) Kalibrantas. Seperti diketahui, setelah terjadi bencana lumpur Lapindo maka sedimen yang keluar mengalir ke Sungai Porong diharapkan akan terbawa ke Selat Madura. Tulisan ini bertujuan untuk mengetahui kondisi pergerakan sedimen lumpur yang berada di sungai Porong, baik pada saat musim hujan maupun kemarau, serta pengaruh tanggul di daerah muara terhadap penyebarannya.

Pemodelan numerik dengan menggunakan software Mike 21 akan dijadikan dasar acuan untuk mengetahui kondisi tersebut. Software ini dibuat oleh perusahaan dari Denmark dan merupakan salah satu software analisis numerik yang sudah umum digunakan dalam menganalisis kondisi hidrodinamika sungai pantai. Batasan dalam pemodelan numerik 2D ini dengan asumsi bahwa sedimen yang berada pada Sungai Porong adalah homogen atau merupakan sedimen kohesif. (BPLS 2008). Batasan lain cenderung suspensi atau menyebar di kolom air. (Davidson&Arnott, 2009). Selain itu penyebaran sedimen dipengaruhi oleh ukuran sedimen itu sendiri. (Jeremy.D, 2006) dan anggapan bahwa Sungai Porong memiliki sedimen yang bersifat kohesif, (Ant,2010).

Selanjutnya kondisi debit sungai yang direncanakan di dalam model akan dibatasi oleh asumsi nilai yang didapatkan dari hasil pengukuran lapangan pada tanggal 14 hingga 29 November 2007, dimana debit yang direncanakan pada model adalah 500 m<sup>3</sup>/det untuk musim hujan dan 100m<sup>3</sup>/det musim kemarau.

### Deskripsi Model

Model numerik yang dibangun menggunakan software MIKE 21 2D yang akan memodelkan kondisi pergerakan sedimen di Sungai Porong berdasarkan kondisi hidrodinamika aliran sungai tersebut. Dengan asumsi bahwa sedimen kohesif tersebut terlarut di dalam air sehingga akan terpengaruh oleh pergerakan massa air (hidrodinamika) Sungai Porong.

## Model Hidrodinamika

Simulasi model hidrodinamika pada model harus dilakukan untuk mendapatkan gambaran akan kondisi sebaran sedimen yang terjadi, baik di saat musim kemarau maupun pada saat musim penghujan. Untuk itu, beberapa persamaan yang mendasari pergerakan massa air tersebut dapat dilihat pada persamaan di bawah ini;

Persamaan kontinuitas

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

Persamaan momentum pada arah x dan y

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + 2 \Omega v \sin \varphi + F_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - 2 \Omega u \sin \varphi + F_y \quad (3)$$

Dimana  $\zeta$  adalah elevasi muka air,  $x$  dan  $y$  adalah koordinat Cartesian,  $u$  dan  $v$  adalah kecepatan dalam arah  $-x$  dan  $-y$ . Selanjutnya  $F_x$  dan  $F_y$  adalah gaya dalam arah  $-x$  dan  $-y$ ,  $p$  adalah tekanan,  $\rho$  massa jenis,  $g$  adalah percepatan gravitasi, dan  $\varphi$  merupakan lintang dari gaya coriolis. Persamaan 1, 2 dan 3 dapat dilihat lebih jelas dalam DHI, 2007.

### Proses Adveksi dan Difusi

Setelah mengetahui persamaan akan hidrodinamika massa air, selanjutnya perlu juga diketahui proses adveksi dan difusi yang berhubungan dengan kondisi sedimen. Secara umum, adveksi adalah pergerakan partikel fluida akibat adanya aliran. Dispersi biasanya digunakan sebagai istilah umum untuk merujuk pada hamburan partikel fluida yang bergantung kepada proses tipe-acak (difusi) dan efek dari kecepatan gradien (geser), seperti yang ditunjukkan dalam tabel 1 (DHI, 2007).

**Tabel 1.** Perpindahan Partikel Fluida.

MAIN TRANSPORT PROCESSES	
ADVECTION Movement of fluid particles due to the resolved flow processes	
DISPERSION Scattering of fluid particles due to non-resolved flow processes	SHEAR Spatial velocity gradients
	DIFFUSION Molecular motion
	Turbulence

Persamaan adveksi dan dispersi untuk menghitung konsentrasi kandungan terlarut atau tersuspensi dalam 2-Dimensi :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -v \frac{\partial C}{\partial x} + D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Dimana  $C$  adalah konsentrasi,  $D_L$  adalah koefisien dispersi,  $v$  adalah kecepatan,  $t$  merupakan waktu dan  $x$  merupakan komponen koordinat kartesian.

### Model Penyebaran Sedimen

Berdasarkan Folk, 1954, batas lumpur adalah sedimen dengan ukuran butir-kurang dari 63 mikron.

Secara alami, lumpur yang terbawa di sungai merupakan hasil dari proses endapan

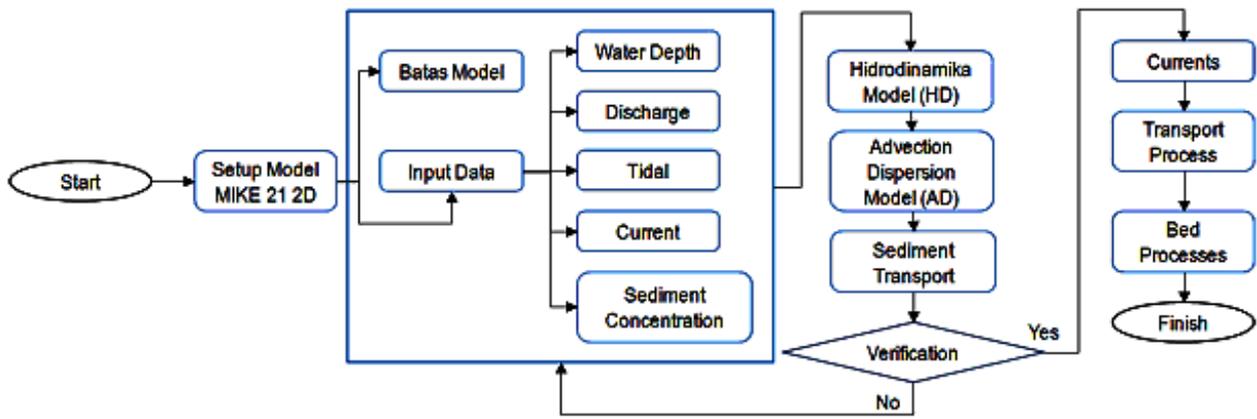
“*flock*”, (Burt, 1986). Penggumpalan tersebut terjadi dari setiap partikel sedimen kohesif yang berkumpul dalam tempat dan waktu yang bersamaan tanpa mendapat gangguan dari kondisi hidrodinamika, (Krone, 1986). Sementara, jika terjadi kondisi hidrodinamika yang cukup besar sehingga terjadi turbulensi massa air, maka sedimen halus tersebut akan mudah terbawa oleh aliran air dan akan berhenti hingga pada saat terjadi penurunan kondisi aliran hingga menuju “*stagnant*”. Hal tersebut sangat berbeda dengan kondisi sedimen non kohesif seperti pasir dimana ukuran partikelnya lebih besar dari lumpur sehingga pembentukan dan perusakan penggumpalan memerlukan energy yang lebih besar. Cara termudah untuk membedakan lumpur dan pasir adalah dengan melihat gambar berikut (lihat **Gambar 1**)



**Gambar 1.** Lumpur (kiri) dan Pasir (kanan)

sungai dimana pada daerah yang terdapat lumpur merupakan daerah yang memiliki arus yang kecil. Kondisi lumpur yang merupakan sedimen halus (kohesif) dan kondisi arus yang kecil akan mengakibatkan terjadinya penggumpalan

Dalam rangka membangun model transport lumpur, penulis memadukan model hidrodinamika untuk mengetahui pola arus, persamaan adveksi-dispersi untuk proses pergerakan, dan model sebaran lumpur untuk



Gambar 2. Flowchart Model

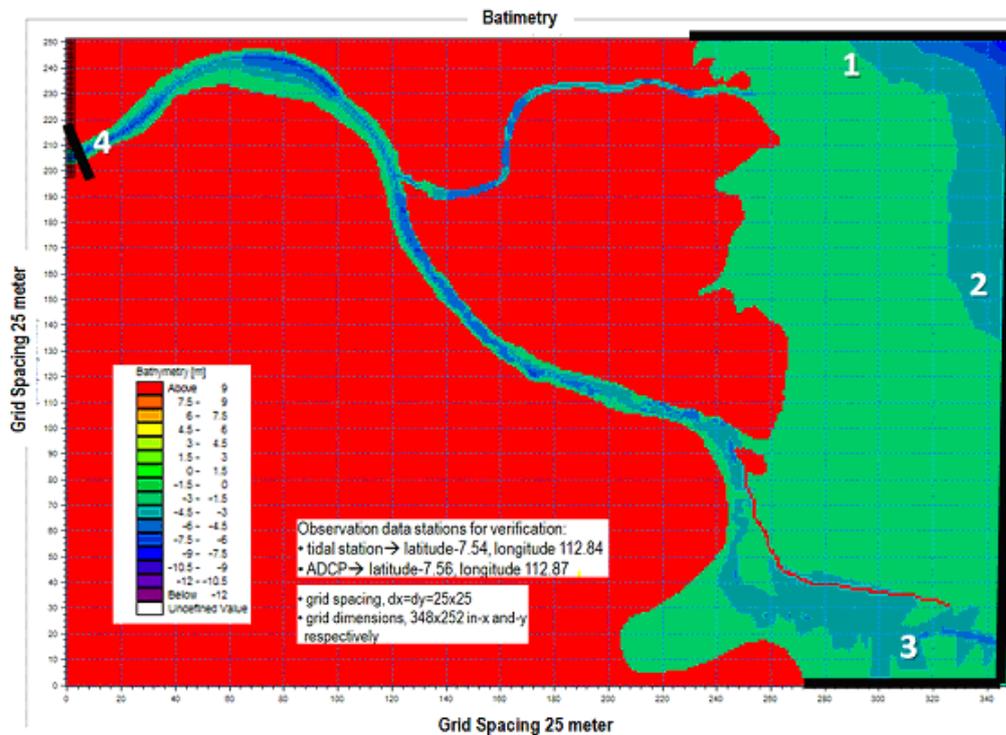
proses deposisi dan proses penempatan seperti terlihat pada *flowchart* model (Gambar 2).

### DESAIN MODEL

Skematisasi skenario pemodelan dalam studi ini dilakukan dengan membuat dua skenario, yaitu untuk skenario pada saat musim kemarau dan pada saat musim hujan. Data input untuk simulasi ini terdiri dari batimetri, tinggi

muka air di 4 batas terbuka (Gambar 3), data kecepatan dan konsentrasi sedimen.

Model dibuat dengan grid/jarak analisis untuk setiap 25 meter arah vertikal dan 25 meter horizontal. Data batimetri didapatkan dari hasil pengukuran pada tanggal 14 hingga 29 November 2007 (Gambar 3). Simulasi model dilakukan selama 15 hari untuk mewakili dua kondisi air pasang, yaitu pasang perbani dan pasang purnama.



Gambar 3. Desain model dan kondisi batas terbuka

**Tabel 2.** Batasan Model

No	Parameter	Nilai
1	Elevasi muka air	Digunakan pada 4 batas terbuka
2	Debit	500 m <sup>3</sup> /det pada musim hujan dan 100 m <sup>3</sup> /det di musim kemarau
3	Konsentrasi Sedimen	85 mg/l

Selanjutnya, data debit sungai dan kecepatan arus yang berada di hulu Sungai Porong dijadikan data untuk verifikasi model yang telah dibuat. Untuk lebih jelas parameter pada batasan model ini dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

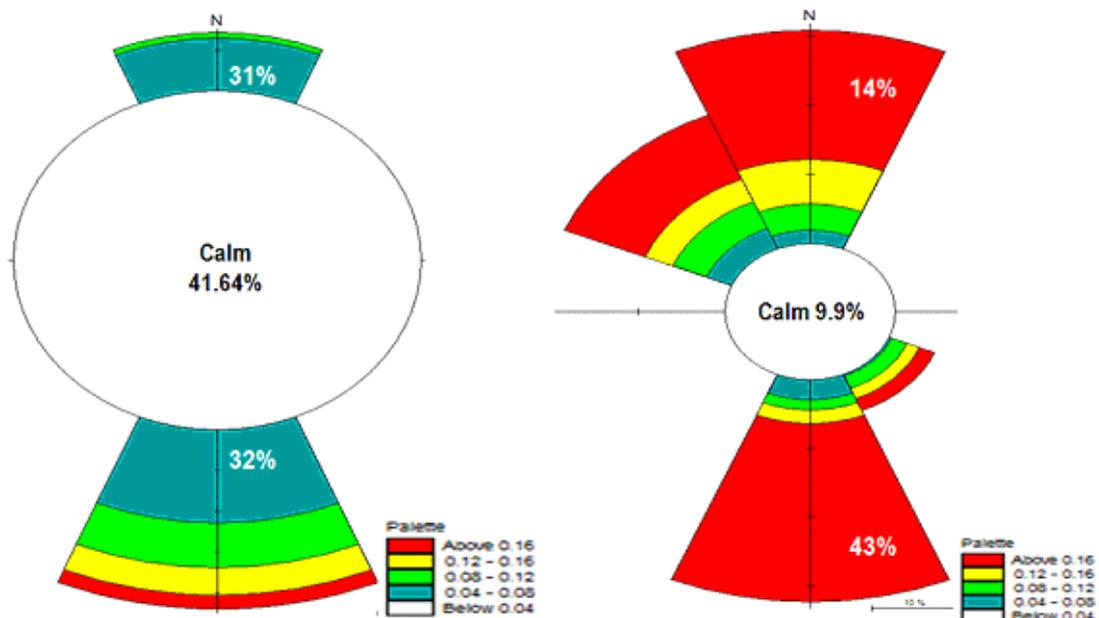
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Verifikasi

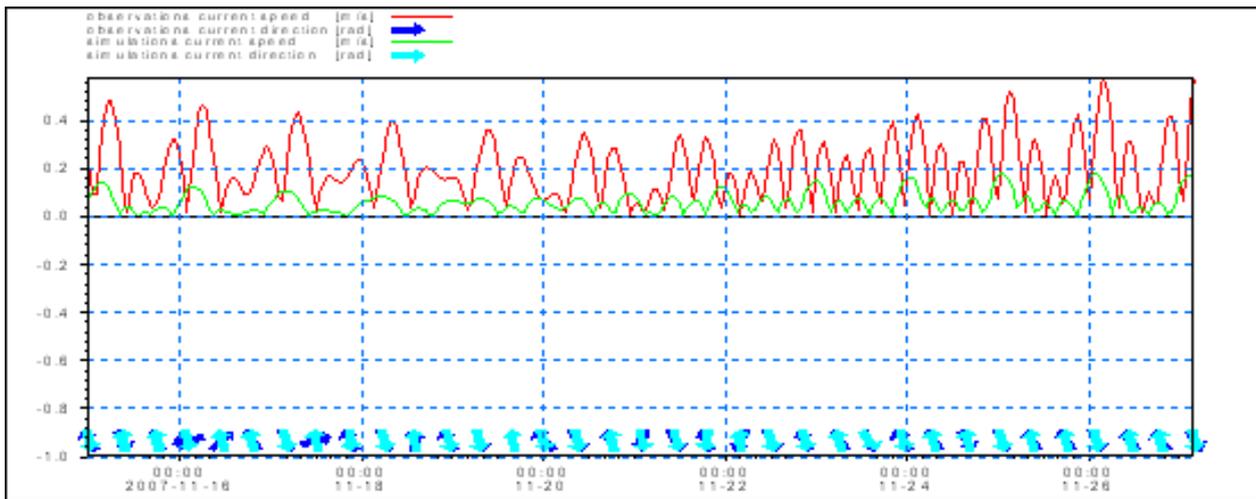
Hasil simulasi memberikan nilai yang cukup baik, hal ini terlihat dari verifikasi arah arus dominan yang dibandingkan antara hasil pengamatan dan hasil simulasi. Dari *current rose* terlihat dengan jelas bahwa arah dominan, baik hasil pengamatan dan simulasi adalah utara dan selatan, namun tetap terjadi anomali untuk hasil simulasi dengan arah *north west* dan *south east*, (Gambar 4).

Selanjutnya, verifikasi untuk magnitudo kecepatan antara hasil simulasi dan observasi memiliki perbedaan dimana magnitudo kecepatan hasil observasi (garis merah) lebih besar dibandingkan magnitudo kecepatan hasil simulasi (garis hijau), gambar 5 dengan nilai kecepatan hasil observasi sebesar 0.6 m/det sementara hasil simulasi nilainya kurang dari 0.2 m/det (Gambar 5).

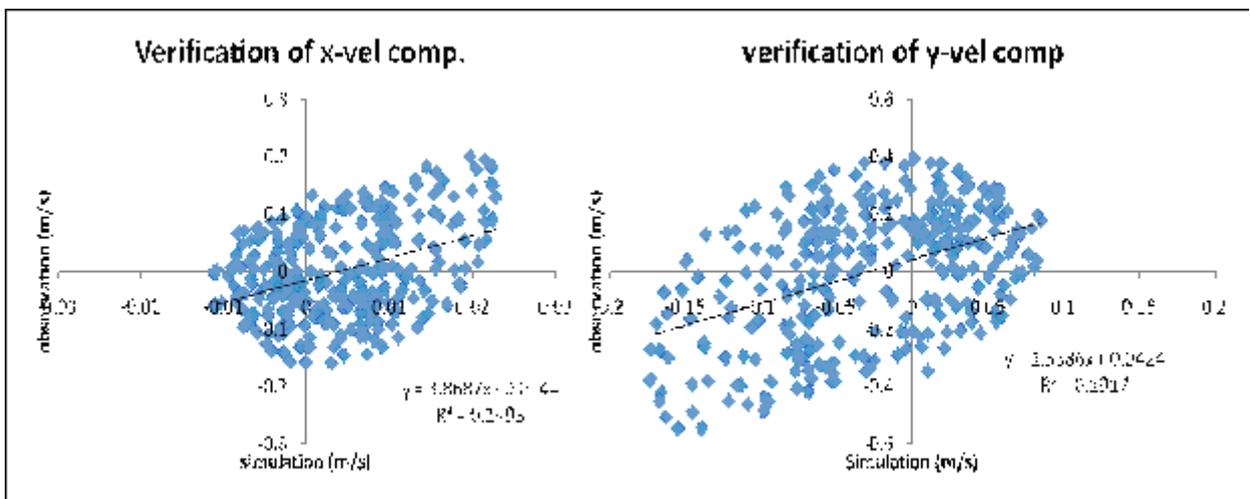
Berdasarkan hasil verifikasi tersebut di atas, maka perlu diketahui korelasi antara komponen kecepatan arah -x dan -y dimana dilakukan dengan metode statistik menggunakan persamaan *regresi linier* akan didapatkan koefisien korelasi setiap komponen kecepatan tersebut. Berdasarkan hasil analisis maka dapat diketahui koefisien korelasi kecepatan arah -x memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan koefisien korelasi kecepatan arus



**Gambar 4.** *Current rose* hasil pengamatan (kiri) dan hasil simulasi (kanan)



**Gambar 5.** Magnitude kecepatan arus observasi (garis merah) dan magnitude kecepatan arus simulasi (garis hijau)



**Gambar 6.** Koefisien korelasi komponen kecepatan arah -x dan -y

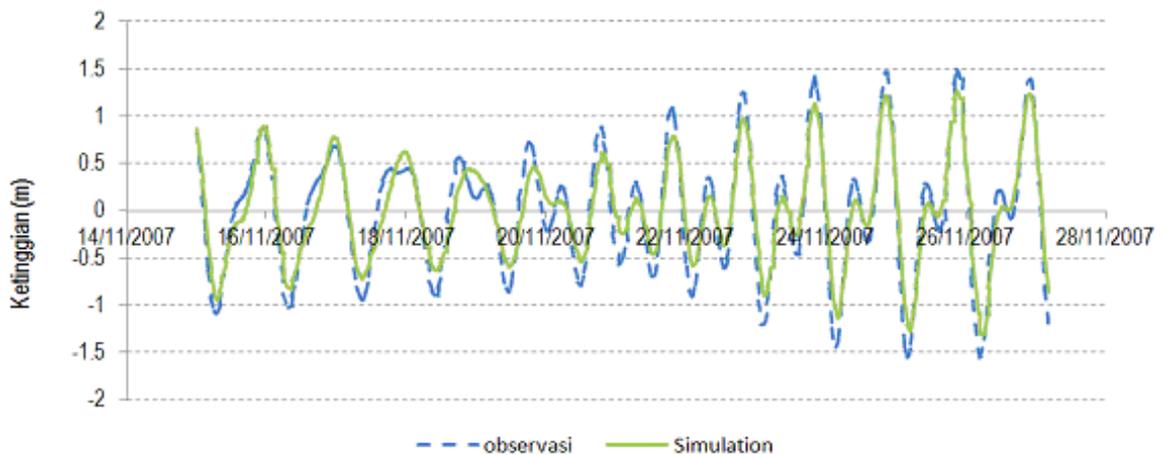
arah -y, dimana nilai korelasi sumbu -x sebesar 0.1493 dan sumbu -y sebesar 0.1917 yang berarti perbedaannya mencapai 0.0424 (Gambar 6).

Verifikasi selanjutnya dilakukan terhadap kondisi muka air (WL) dimana akan dibandingkan antara kondisi muka air hasil pengamatan dan simulasi. Berdasarkan data yang di dapat, kondisi muka air antara pengamatan dan simulasi hampir mendekati kesamaan, (Gambar 7).

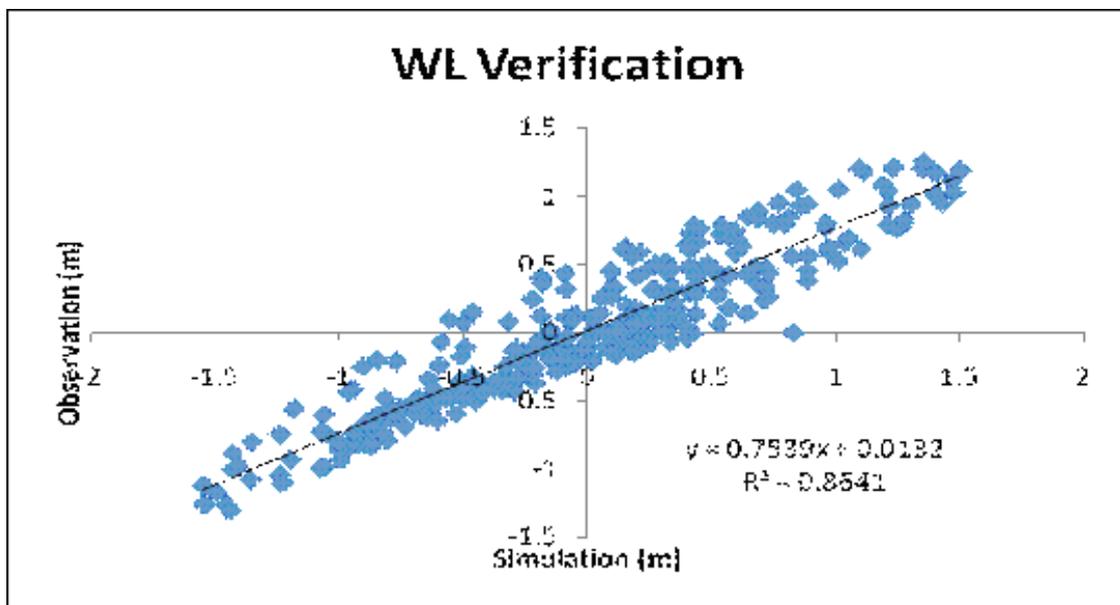
Untuk itu, koefisien korelasi muka air dihitung dengan menggunakan metode yang sama yaitu metode statistik dengan persamaan regresi linear, sehingga didapatkan nilai korelasi sebesar 0.8641 yang berarti mendekati 1 (kesamaan), gambar 8. Sehingga dapat dikatakan hasil verifikasi untuk muka air lebih baik dari verifikasi kecepatan sumbu -x dan -y.

### Pola Arus

Simulasi hidrodinamika pada dua musim yang direncanakan menghasilkan gambaran yang cukup jelas akan perbedaan kondisi pola arus. Pada musim hujan terlihat pola aliran lebih jelas dan memiliki nilai yang cukup besar



Gambar 7. Verifikasi *Water Level* hasil simulasi dan observasi



Gambar 8. Verifikasi Water Level (WL) koefisien korelasi

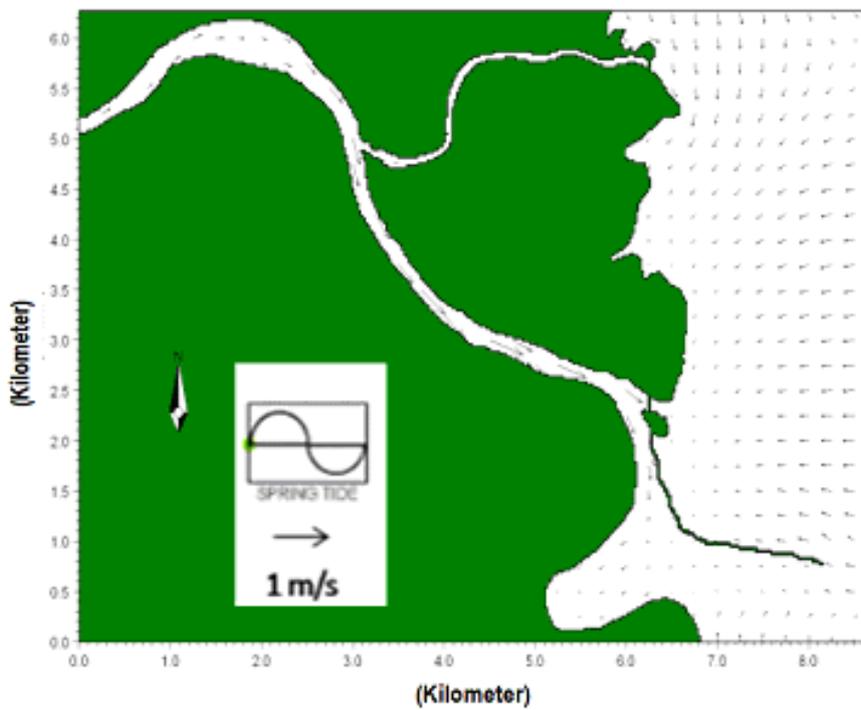
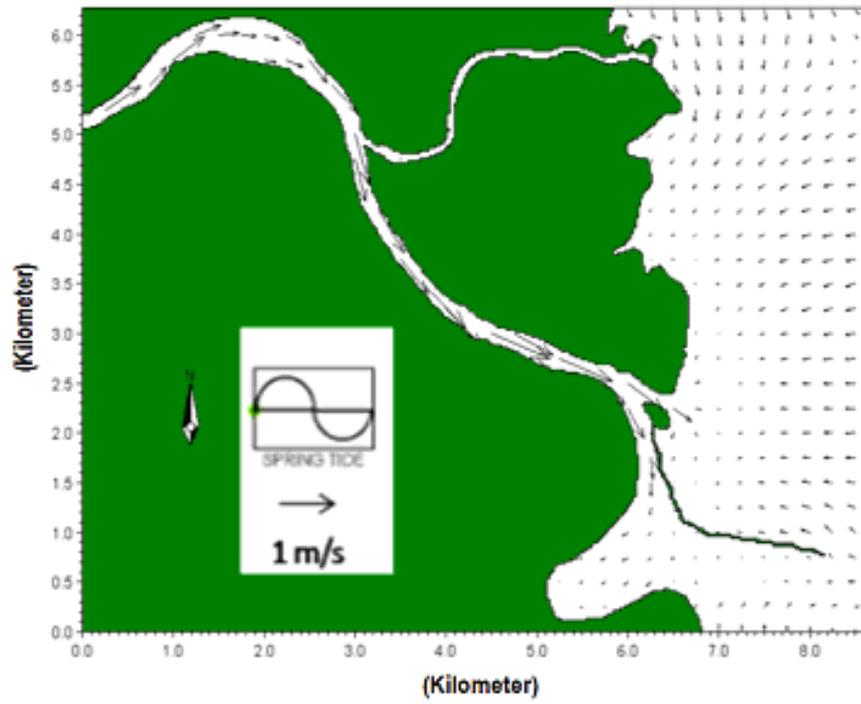
mencapai 0.6 m/det (Gambar 9a), sementara di musim kemarau pola arus tidak sebesar pada saat musim hujan yaitu hanya 0.18 m/det (Gambar 9b).

### Pola Penyebaran Sedimen

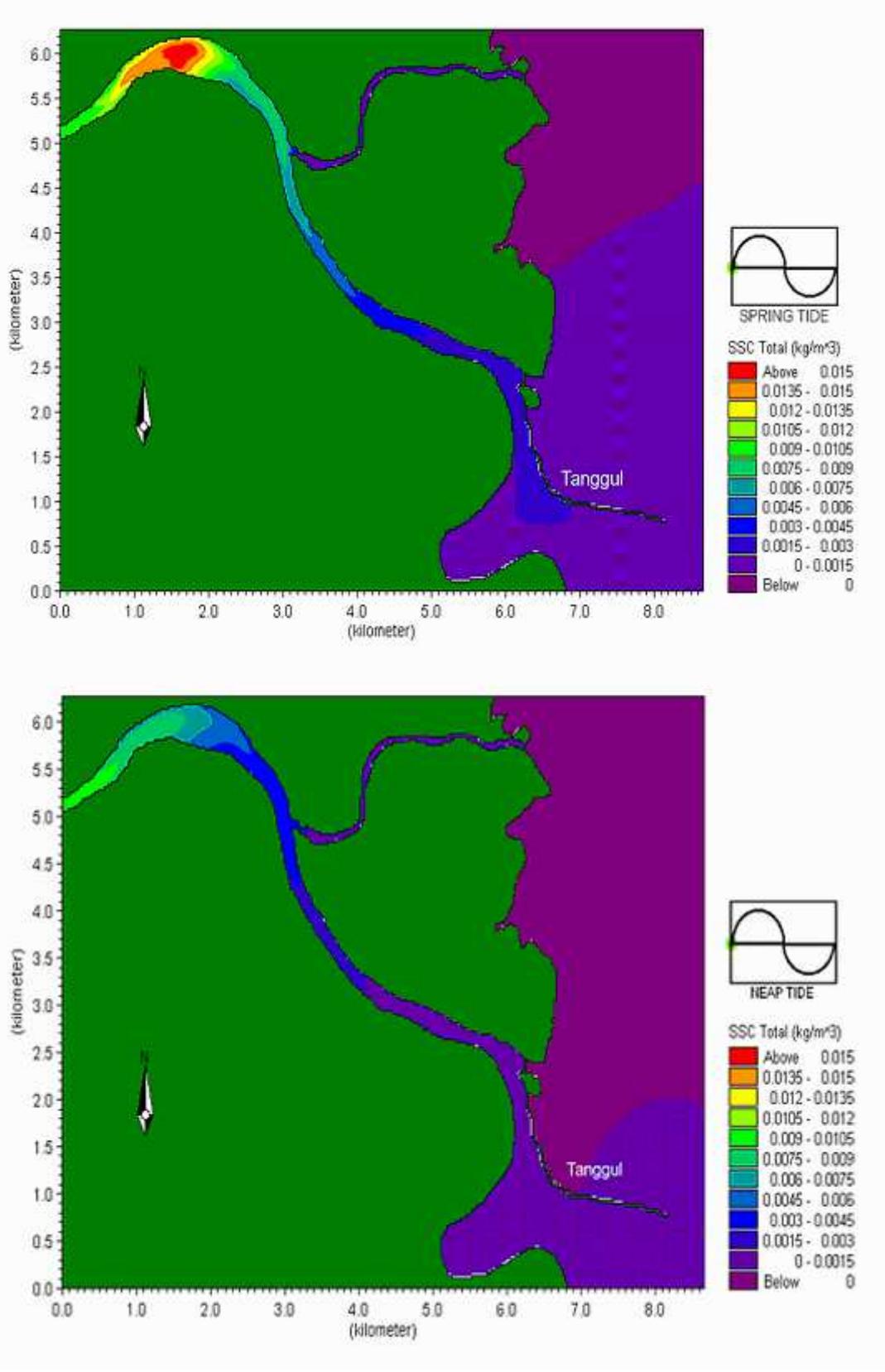
Hasil simulasi, pola sebaran sedimen pada saat musim hujan memiliki konsentrasi yang sangat tinggi, mengingat besarnya debit air yang mengalir pada Sungai Porong cukup kuat untuk membawa sedimen hingga ke arah muara, (Gambar 10a).

Selain itu, posisi tanggul akan mengarahkan aliran sedimen bergerak dari sungai menuju ke laut.

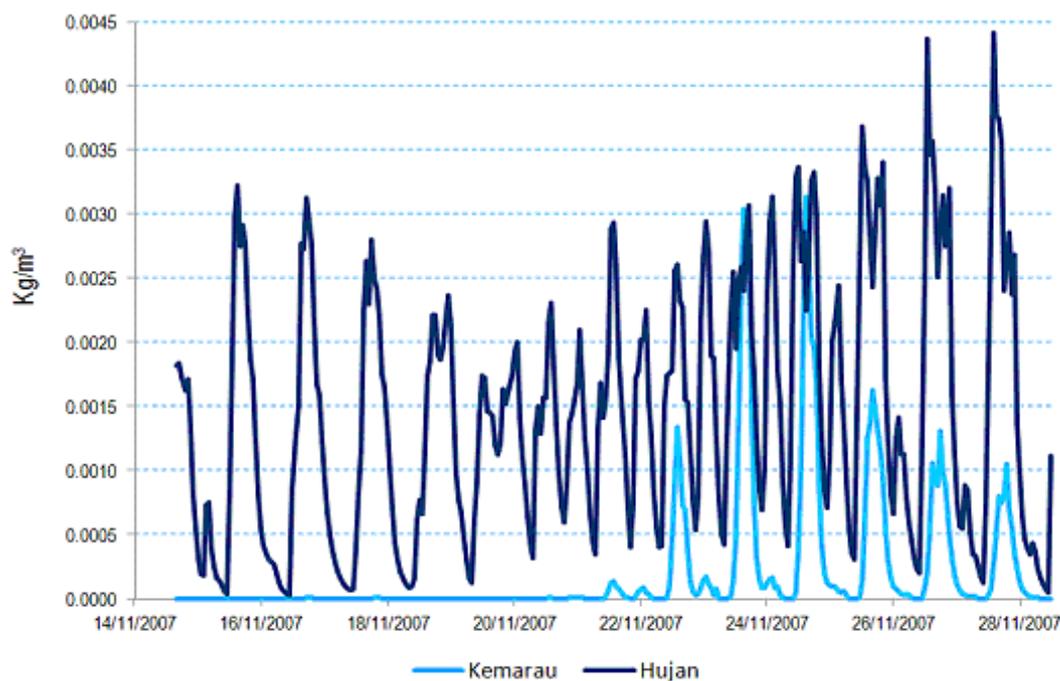
Sementara pada musim kemarau, konsentrasi sedimen tidak begitu tinggi, (Gambar 10b). Perbandingan antara musim hujan dan kemarau pada waktu yang sama, terlihat perbedaan yang cukup mencolok, yakni tanggal 27 November 2007 konsentrasi sedimen di musim hujan (garis biru) memiliki nilai maksimum sebesar 0.004368 kg/m<sup>3</sup> sementara pada saat yang sama untuk musim kemarau (garis hijau) konsentrasi bernilai 0.000206 kg/m<sup>3</sup>.



**Gambar 9.** Pola arus pada saat musim hujan (a) dan pada saat musim kemarau (b)



**Gambar 10.** Pola penyebaran sedimen di musim hujan (a) dan musim kemarau (b)



**Gambar 11.** Konsentrasi sedimen pada musim hujan dan musim kemarau

## KESIMPULAN

Persentasi arah arus dominan antara hasil data pengamatan dengan simulasi menunjukkan arah utara-selatan, masing-masing besaran adalah 31% - 32% dan 14% - 43%.

Magnitude kecepatan maksimum hasil data pengamatan sebesar 0.6m/det dan simulasi 0.18m/det.

Perhitungan regresi linier menunjukkan komponen kecepatan arah -x lebih kecil dibandingkan komponen kecepatan arah -y.

Perbedaan dua skenario simulasi mempengaruhi kecepatan penyebaran, berdasarkan "sampling point" tanggal 27 November jam 01.0 konsentrasi sedimen 0.004368 kg/m<sup>3</sup> sedangkan musim kemarau 0.000206 kg/m<sup>3</sup>. Dengan demikian, pola penyebaran sedimen proses adveksi lebih dominan dibandingkan proses difusi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ant, 2010. Cegah Endapan Kering, BPLS Alirkan Lumpur Ke Kali Porong. Republika, Indonesia.
- BPLS. 2008. Studi Transportasi Sedimen dan Morphologi Sungai Kali Porong. Indonesia.

Burt, T.N. 1986. Field settling velocities of estuary muds. In Estuarine Cohesive Sediment Dynamics. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies. (Mehta, A.J., ed.). Springer Verlag, Berlin, pp 126-150.

Davidson Robin and Arnott, 2009. Introduction to Coastal Processes and Geomorphology. Cambridge University Press, UK.

Dunning Jeremy., 2006. An Introductory Geology Course Course for Non-science Majors . Indiana university.

DHI Manual Software.2007. Mud Transport Module Scientific Background. Denmark.

Folk, R.L., 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. Journal of Geology 62 (4), 344-359

Krone, B. 1986. The significance of aggregate properties to transport processes. In: Mehta A.J. (Ed) Estuarine Cohesive Sediment Dynamics, Springer Verlag, p 66-84.