

Studi Dinamika Sedimen Kohesif di Perairan Teluk Balikpapan dengan Menggunakan Model Numerik Tiga Dimensi

^{1*}Medi Susyanto, ²Dadan Hamdani, ³Idris Mandang
^{1,2,3} Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Mulawarman, Samarinda
*Email: medi.susyanto@yahoo.com

ABSTRAK

Studi ini membahas tentang permasalahan sedimentasi di daerah teluk yang paling dipengaruhi oleh pasang surut air laut dan DAS (Debit Aliran Sungai). Proses Sedimentasi terjadi akibat adanya pergerakan arus pasang surut dari lepas pantai (*offshore*) dan debit sungai. Proses ini yang menyebabkan terjadinya erosi dan deposisi pada permukaan dasar teluk. Studi ini dilakukan pada bulan Juli 2014 hingga Januari 2015. Studi ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana dinamika sedimen kohesif di Teluk Balikpapan. Analisa data yang saya lakukan pada studi ini adalah berapa besar konsentrasi sedimen, deposisi, erosi, *bed shear stress*, dan kecepatan arus di Teluk Balikpapan. Pemodelan menggunakan bantuan ECOMSED, yang merupakan model numerik untuk mensimulasikan hidrodinamika dan sedimentasi di Teluk Balikpapan. Pengambilan data verifikasi dilakukan langsung di Teluk Balikpapan pada 3 titik lokasi. Waktu simulasi dimulai pada 24 Agustus hingga 23 September 2014. Hasil yang diperoleh dalam studi ini yaitu rata-rata konsentrasi sedimen kohesif yang berada di hulu sungai Semoi dan Riko adalah 18.00×10^{-6} hingga 4.20×10^{-5} gr/cm^3 , pada hilir sungai hingga ke mulut teluk memiliki rata-rata nilai 6.06×10^{-6} hingga 1.2×10^{-5} gr/cm^3 , sedangkan untuk lepas pantai memiliki rata-rata nilai 1.00×10^{-6} gr/cm^3 . Untuk nilai deposisi ataupun erosi, hanya terjadi di hulu sungai Semoi, sungai Riko dan lepas pantai paling timur. Deposisi yang terjadi di hulu sungai Semoi selama 30 hari memiliki kisaran nilai dari 0 hingga 4 mm, pada hulu sungai Riko memiliki nilai rata-rata 0 hingga 2 mm, sedangkan pada lepas pantai paling timur Teluk Balikpapan terjadi erosi dengan kisaran nilai 0 hingga 68 mm. Untuk nilai *Bed Shear Stress* berkisar dari 0 hingga 16 dyne/cm^2 yang terletak di sepanjang Sungai Semoi hingga menuju lepas pantai dalam kurun waktu 30 hari. Nilai arus pasang surut berkisar dari 0 hingga 0.75 m/s yang terjadi di sepanjang Teluk Balikpapan.

Kata-kata kunci Sedimen Kohesif, Deposisi, Erosi, Teluk Balikpapan, Model Numerik.

1. Pendahuluan

Kalimantan Timur termasuk salah satu daerah yang memiliki kondisi geografis yang mempunyai beberapa sungai besar yang mengalir langsung ke Teluknya. Pada umumnya, Teluk Balikpapan masih digunakan sebagai jalur angkutan lalu lintas utama. Sebab Teluk Balikpapan merupakan alur pelayaran yang dapat menghubungkan suatu daerah dengan daerah lainnya di wilayah Balikpapan - Penajam

Balikpapan memiliki pelabuhan yang terletak di pinggir Teluk tersebut. Alur pelayaran di Teluk ini memiliki arti penting bagi kapal-kapal besar yang menuju dan meninggalkan pelabuhan kota Balikpapan. Salah satu kegunaan prasarana transportasi ini adalah sebagai jalur keluar masuknya kapal penumpang serta kapal-kapal pengangkut bahan bakar.

Pada dasarnya, alur pelayaran di Teluk Balikpapan harus terjaga kedalamannya sehingga proses pelayaran

kapal angkutan tidak terganggu. Salah satu faktor yang mempengaruhinya yaitu pendangkalan dasar perairan yang disebabkan dari pengendapan sedimen. Proses transpor sedimen terjadi karena adanya besar arus debit sungai dan arus pasang surut. Dari proses transpor tersebut, sedimen akan mengalir dan terbawa arus per-airan sesuai dengan keadaan/kondisi perairan tersebut.

Dari hasil studi ini akan mengidentifikasi dinamika sedimen di muara Teluk Balikpapan dengan menggunakan model numerik. Dari hasil penelitian melalui model numerik, akan didapatkan beberapa *output* seperti konsentrasi sedimen secara vertikal maupun horisontal, arus pasang surut, deposisi/Erosi dan *bottom shear stress*. Data tersebut akan digrafikkan dan kemudian dianalisis serta dibandingkan dengan data lapangan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memodelkan dinamika sedimen kohesif dan untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi sedimen kohesif di Teluk Balikpapan.

Model Hidrodinamika

Dalam studi ini menggunakan model hidrodinamika tiga dimensi dan model transpor sedimen yang dinamakan dengan ECOMSED (*Estuary Coastal Ocean Model and Sediment Transport*). Model ini dirancang untuk mensimulasikan distribusi bergantung waktu pada level air, arus pasang surut, temperatur dan salinitas yang hampir mendekati waktu nyata di perairan maupun di daerah sungai (Hydroqual, 2004).

Pada bab ini menjelaskan secara terperinci untuk modul sirkulasi numerik. Modul ini berupa model hidrodinamika tiga dimensi untuk di perairan, yang memberikan beberapa nilai parameter seperti waktu nyata pada proses

pencampuran vertikal. Untuk variabel *prognostic* ada tiga komponen untuk kecepatan, temperatur, salinitas, energi kinetik untuk turbulensi dan *turbulence macroscale*. Persamaan momentum adalah nonlinier dan tergabung dalam variabel parameter Coriolis. Elevasi permukaan juga dihitung secara *prognostic* jadi pasang surut dan riak gelombang dapat disimulasikan. Modul hidrodinamika yang diterangkan disini, adalah tiga dimensi, model bergantung waktu yang dikembangkan oleh Blumberg and Mellor (1980, 1987) (Lutfi, 2012).

Persamaan Umum

Persamaan dasar untuk model hidrodinamika tiga dimensi adalah sebagai berikut.

Persamaan Kontinuitas:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

)
dimana (U,V,W) adalah komponen kecepatan untuk bagian timur (x), bagian utara (y) dan kedalaman (z). Kondisi batas dinamis berada pada permukaan laut $z = \eta$ yang mengindikasikan hubungan antara elevasi muka air laut η dengan kecepatan vertikal di muka air laut W_η .

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial x} U_\eta + \frac{\partial \eta}{\partial y} V_\eta = W_\eta \quad (2)$$

)
Kecepatan pada permukaan air laut W_η diperoleh dengan mengintegrasikan persamaan 1 dari dasar $z = -H$ hingga ke permukaan $z = \eta$. Untuk persamaan momentum, menggunakan persamaan Boussinesq dan pengasumsian pada kesetimbangan

hidrostatik vertikal dalam koordinat kartesian.

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV \\ = \frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left[A_v \frac{\partial U}{\partial z} \right] + F_x \end{aligned} \quad (3)$$

)

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} + fU \quad (4)$$

)

$$= \frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left[A_v \frac{\partial V}{\partial z} \right] + F_y$$

$$\rho g = - \frac{\partial P}{\partial z} \quad (5)$$

)

Sedangkan untuk persamaan temperatur dan salinitas diperoleh dengan persamaan sebagai berikut.

Temperatur

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} + V \frac{\partial T}{\partial y} + W \frac{\partial T}{\partial z} \\ = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial T}{\partial x} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial T}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

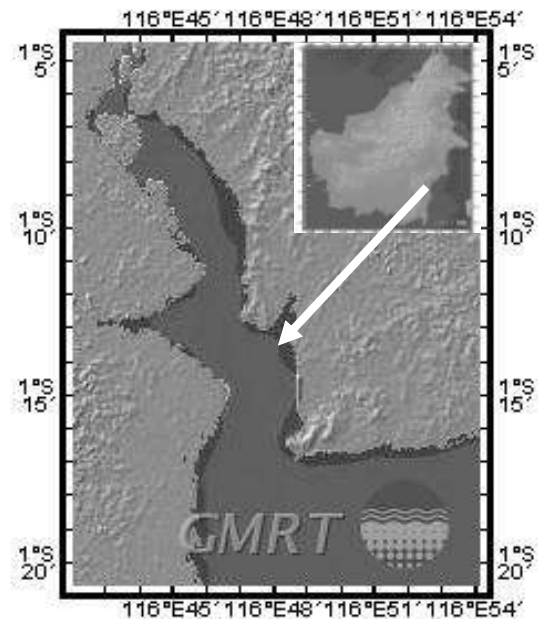
)

Salinitas

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial t} + U \frac{\partial S}{\partial x} + V \frac{\partial S}{\partial y} + W \frac{\partial S}{\partial z} \\ = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_v \frac{\partial S}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial S}{\partial x} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial S}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

)

dimana T adalah temperatur, S adalah salinitas, f parameter Coriolis ($= 2\Omega \sin \phi$; $\Omega = 7.27 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ dan ϕ adalah lintang), ρ_o densitas air laut ($= 1024.78 \text{ kg/m}^3$), g percepatan gravitasi ($= 9.8 \text{ ms}^{-1}$), P adalah tekanan. A_v dan K_v adalah viskositas eddy vertikal dan koefisien difusi vertikal, A_H koefisien difusi horisontal.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Sumber: GMRT, 2013)

Model Transpor Sedimen

Persamaan Transpor

Model transpor sedimen dijelaskan dengan mengikuti persamaan adveksi-difusi:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_k}{\partial t} + \frac{\partial (u C_k)}{\partial x} + \frac{\partial (v C_k)}{\partial y} + \frac{\partial (w C_k)}{\partial z} \\ + \frac{\partial (W_{S,k} C_k)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial C_k}{\partial x} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial C_k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_V \frac{\partial C_k}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

)

$$K_v \frac{\partial C_k}{\partial z} = 0, z \rightarrow \eta \quad (9)$$

$$K_v \frac{\partial C_k}{\partial z} = E - D, z \rightarrow -H \quad (10)$$

dimana E dan D masing-masing adalah resuspensi dan deposisi fluks; η adalah elevasi permukaan air; H adalah kedalaman batimetri (Hydroqual, 2010).

Komputasi bottom shear stress

Untuk *bottom shear stress* dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$\tau = \rho u_*^2 \quad (11)$$

sedangkan untuk *shear velocity* didefinisikan melalui profil kecepatan logaritmik Prandtl-von Karman

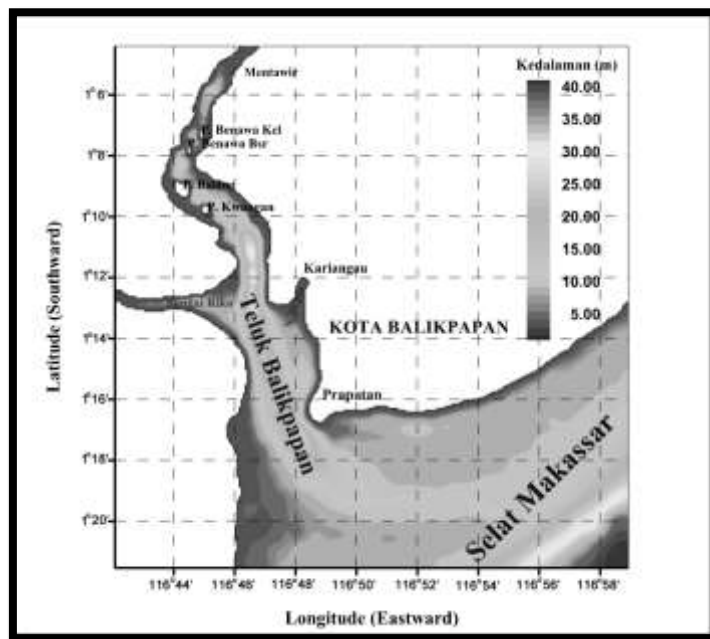
$$u_* = \frac{ku}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (12)$$

dimana k adalah konstanta von Karman ($\cong 0.40$)

Model Erosi

$$\varepsilon = \frac{a_0}{T_d^m} \left(\frac{\tau_b - \tau_c}{\tau_c} \right)^n \quad (13)$$

Dimana ε = resuspensi potensial (mg cm^{-2}); a_0 = konstanta yang bergantung atas sifat-sifat dasar perairan; T_d = waktu setelah deposisi (day); τ_b = tegangan geser dasar perairan (dyne cm^{-2}); τ_c = tegangan geser kritis untuk erosi (dyne cm^{-2}); dan m, n = konstanta yang tergantung atas deposisional lingkungan.



Gambar 2. Peta Digitasi Kedalaman Perairan Teluk Balikpapan

Model Deposisi

Partikel-partikel kohesif natural dalam suspensi disebabkan partikel yang menyatu, bentuk gumpalan bervariasi dalam ukuran dan kecepatan pengendapan. Variasi konsentrasi dan tegangan geser

internal mempengaruhi ukuran dan kecepatan jatuh pada gumpalan (Hydroqual, 2010). Karakteristik pada fluks-fluks deposisi dalam sistem air yang alami dapat menjadi rumit. Dalam SED, tingkat deposisi untuk sedimen kohesif tergantung atas fluks sedimen yang

mendekati dasar dan kemungkinan pada pelekatan gumpalan/flok pada dasar, menurut formulasi pada Krone (1962) dengan mengikuti:

$$D_1 = -w_{s,1} C_1 P_1 \quad (14)$$

Yang mana D_1 = fluks deposisional ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$); $w_{s,1}$ = kecepatan pengendapan pada gumpalan kohesif sedimen (cm s^{-1}); C_1 = konsentrasi kohesif sedimen tersuspensi ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) mendekati antar permukaan sedimen; dan P_1 = probabilitas deposisi.

Metode Penelitian

Data Observasi

Data batimetri diperoleh dari DISHIDROS (Dinas Hidro-oseanografi Indonesia). Lokasi studi ini terletak di Teluk Balikpapan, Kalimantan Timur pada $1^\circ 11' 26.183''$ s.d $1^\circ 22' 01.125''$ LS dan dan $116^\circ 44' 20.978''$ s.d $116^\circ 59' 12.866''$ BT.

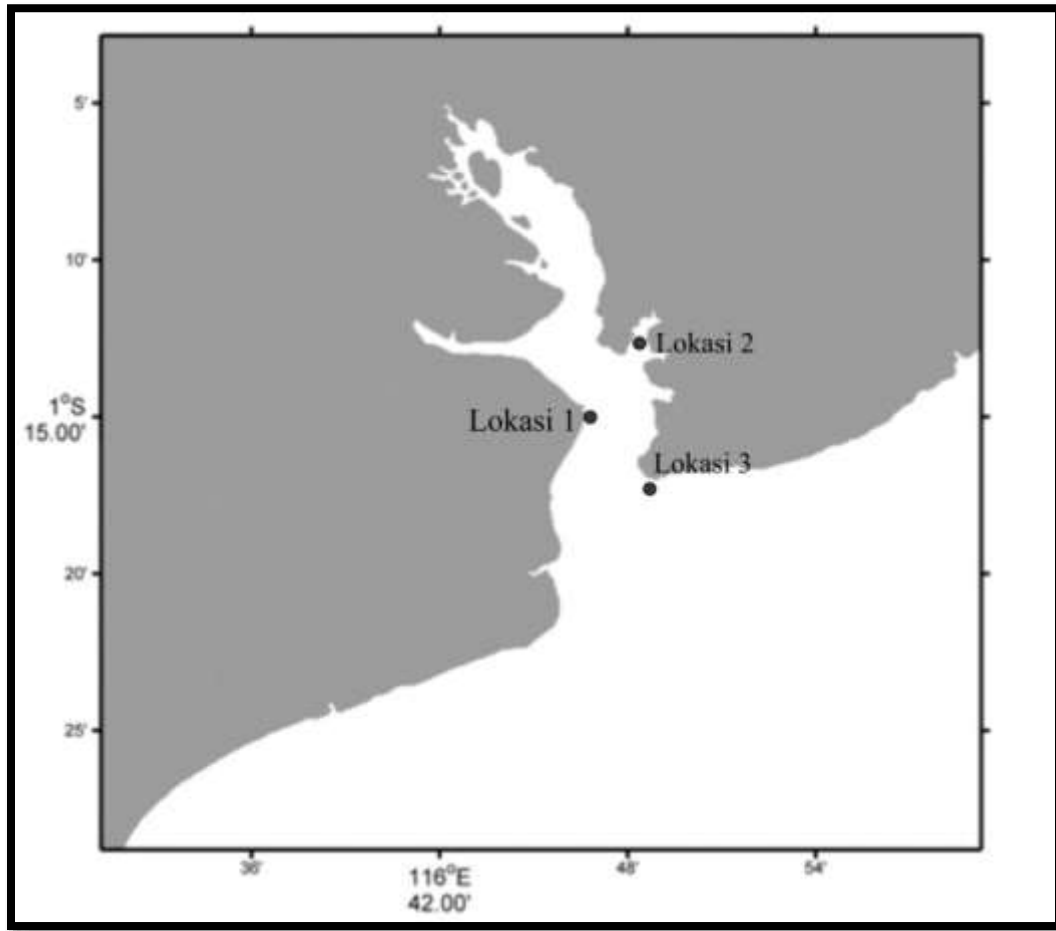
Data elevasi pasang surut diperoleh dari ORI.96 (*Ocean Research Institute*), data konsentrasi dan debit sungai untuk nilai awal diperoleh dari Dinas Perikanan dan Kelautan Kota Balikpapan. Sedangkan untuk data primernya sebagai data perbandingan dengan data model dilakukan pengambilan langsung dilapangan berupa data konsentrasi sedimen dan deposisi sedimen. Dimana ada tiga titik

pengambilan data seperti yang terlihat pada **Gambar 2**. Lokasi 1 berada di Pelabuhan Penajam, lokasi 2 berada di Pelabuhan Kariangau dan lokasi 3 di Pesisir Balikpapan.

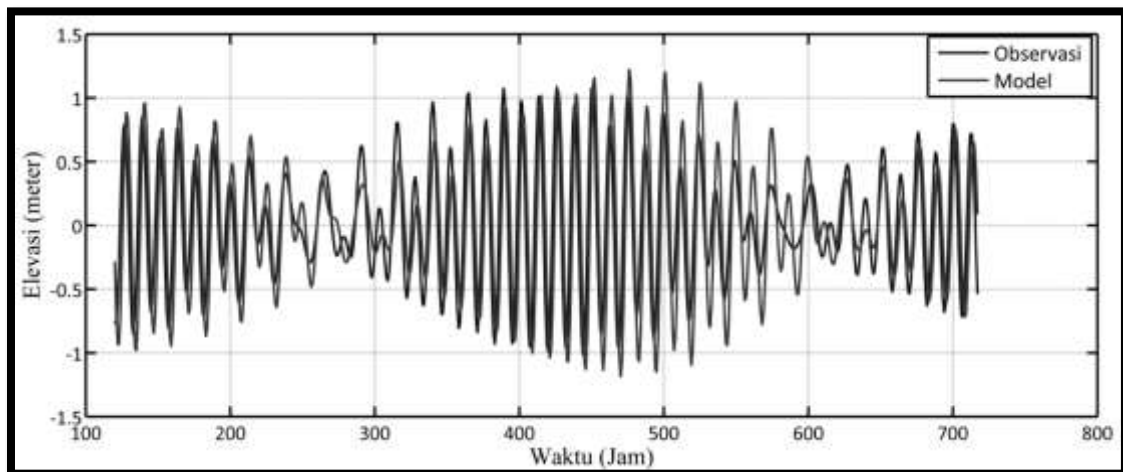
Kondisi awal dan kondisi batas

Nilai pada batas terbuka diperoleh melalui interpolasi linier pada 4 titik, yaitu berupa data pasang surut, konsentrasi sedimen, salinitas dan temperatur. Model ini berukuran 254×258 grid, dengan resolusi 150×150 meter. Nilai awal untuk konsentrasi sedimen diperoleh dari Dinas Perikanan dan Kelautan Kota Balikpapan.

Nilai awal debit sungai, temperatur, salinitas dan konsentrasi sedimen masing-masing pada hulu sungai Riko adalah sebesar $16.852 \text{ m}^3/\text{detik}$, 28°C , 22 ppt, dan 273.0 mg/L . Sedangkan Nilai awal debit sungai, temperatur, salinitas dan konsentrasi sedimen masing-masing pada hulu sungai Semoi yaitu $127 \text{ m}^3/\text{detik}$, 27.8°C , 0.1 ppt, dan 415.5 mg/L . Dimana data ini didapat dari Dinas Perikanan dan Kelautan Kota Balikpapan.



Gambar 3. Lokasi Observasi data dan verifikasi data di Teluk Balikpapan



Gambar 4. Perbandingan data pasang surut (data observasi dengan data simulasi)

Skenario Penelitian

Dalam pengaplikasian ke model, lokasi penelitian didigitasi sehingga menjadi ukuran grid 254 x 258 dengan resolusi 150 m x 150 m. Langkah waktu

pada model ini dengan Δt internal sebesar 45 detik, sedangkan untuk Δt eksternal yaitu 3 detik. Model ini dijalankan mulai 24 Agustus s/d 23 September 2014. Kemudian hasil keluaran model akan diverifikasi

dengan data lapangan yaitu Arus pasang surut, dan Konsentrasi sedimen.

Hasil dan Pembahasan

Simulasi model ECOMSED tiga dimensi selama 30 hari menghasilkan keluaran berupa, konsentrasi sedimen, deposisi/erosi, kecepatan arus, *bottom shear stress*, temperatur dan salinitas. Hasil keluaran model ada dua bentuk data yaitu data spasial dan temporal, dimana data spasial berupa parameter konsentrasi sedimen, deposisi/erosi, *bottom shear stress*, arus pasang surut dan salinitas. Sedangkan data temporalnya yaitu konsentrasi sedimen, elevasi pasang surut dan *bottom shear stress*.

Untuk data spasial, hanya dicuplik pada 4 waktu pada kondisi pasang surut perbani (*neap*) dan 4 waktu lainnya pada kondisi pasang surut purnama (*spring*). Pada jam ke-234 (menuju pasang), 238 (pasang tertinggi), 244 (menuju surut), dan 254 (surut terendah) untuk pasang surut perbani dan jam ke-423 (menuju pasang), 426 (pasang tertinggi), 430 (menuju surut) dan 432 (surut terendah) untuk pasang surut purnama.

Konsentrasi Sedimen

Dari hasil simulasi model, maka didapatkan hasil keluaran data berupa konsentrasi sedimen di lokasi Teluk Balikpapan. Dimana selama simulasi 30 hari terlihat penyebaran konsentrasi sedimen mulai dari hulu sungai Semoi dan Riko hingga ke bagian tengah Teluk Balikpapan. Nilai maksimum konsentrasi sedimen berada di hulu sungai Semoi pada saat kondisi pasang surut perbani adalah 375 mg/L, sedangkan nilai mini-mumnya berada di lepas pantai yaitu hanya 2 mg/L.

Pada saat kondisi pasang surut purnama, nilai maksimum masih berada di hulu sungai Semoi yaitu 376 mg/L,

sedangkan nilai minimum terletak di lepas pantai yang hanya 2 mg/L. Nilai konsentrasi sedimen sangat dipengaruhi oleh besar salinitas di lokasi penelitian, dimana hulu sungai Riko memiliki nilai salinitas terendah yaitu hanya 0.1 ppt, sedangkan nilai salinitas tertinggi berada di lepas pantai 32 ppt.

Hubungan Konsentrasi Sedimen dengan *Bottom Shear Stress*

Seperti yang terlihat pada **Gambar. 7 (c)** yang terletak di titik Balikpapan (Lokasi 3) besar kaitannya antara *bottom shear stress* dengan konsentrasi sedimen. Pada lapisan-1 dan lapisan-2 hanya sedikit pengaruh dari *bottom shear stress*, namun pada lapisan-3 sangat terlihat pengaruhnya. Dimana nilai konsentrasi sedimen tertinggi pada titik ini adalah 15 mg/L yang terletak di dekat permukaan dasar, sedangkan nilai *bottom shear stress* maksimumnya sekitar 3.5 dyne/cm². Untuk melihat hubungan antara konsentrasi sedimen dengan *bottom shear stress* di lokasi-1 dan lokasi-2 dapat dilihat pada **Gambar. 7 (a)** dan **Gambar. 7 (b)**.

Arus

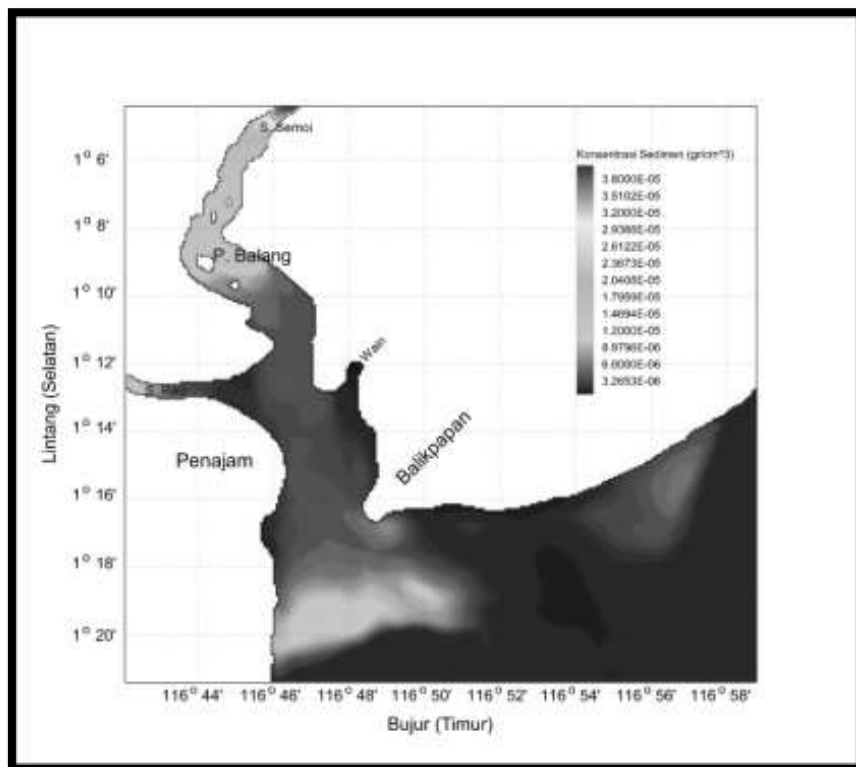
Pada saat pasang surut perbani, nilai kecepatan arus maksimum berada di sepanjang aliran sungai Semoi yaitu 0.45 m/s pada jam ke-238, sedangkan pada saat pasang surut purnama nilai kecepatan arus maksimumnya masih berada di sepanjang aliran sungai Semoi yaitu 0.75 m/s pada jam ke-423.

Deposisi/Erosi dan *Bottom Shear Stress*

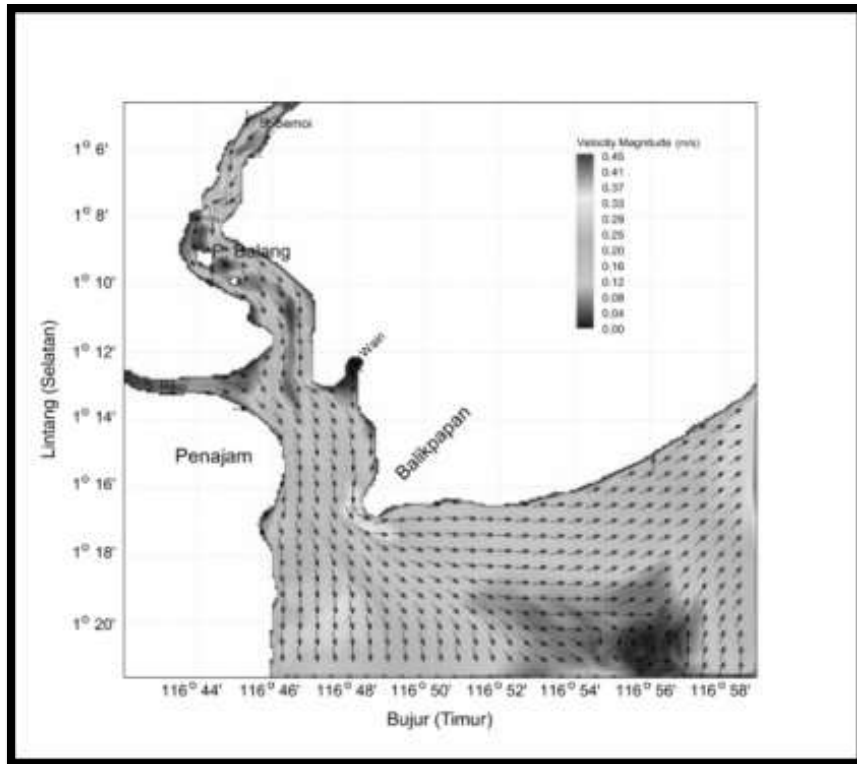
Data keluaran model berupa deposisi/erosi dan *bottom shear stress* spasial dapat dilihat pada Lampiran. Hasil yang divisualisasikan yaitu dimulai pada

hari ke-9 hingga hari ke-30 dengan interval 3 hari. Dari gambar tersebut terlihat bahwa deposisi/erosi dengan *bottom shear stress* pun memiliki hubungan yang erat. Pada hari ke-9, deposisi terjadi di hulu sungai Semoi yang memiliki nilai 1 mm.

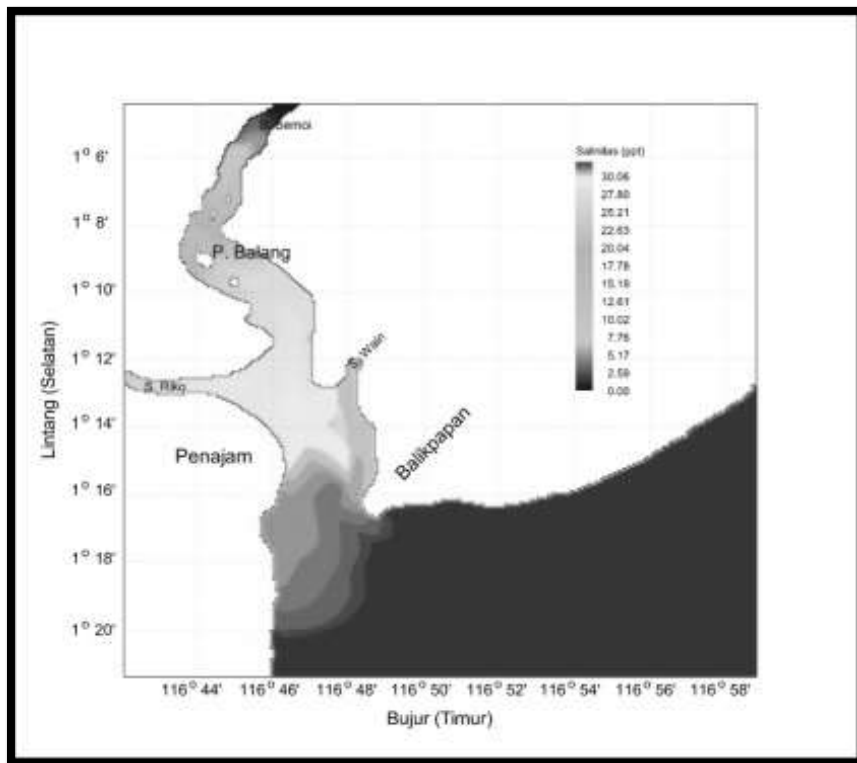
Sedangkan erosi terjadi di lepas pantai bagian timur yaitu 47 mm. Untuk parameter berupa *bottom shear stress*



(a)

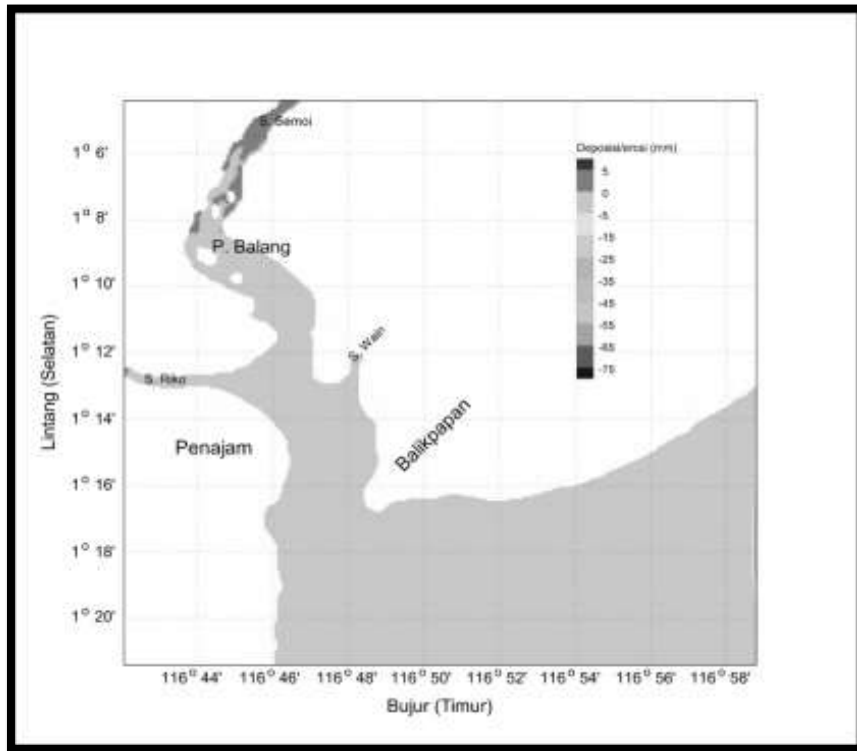


(b)

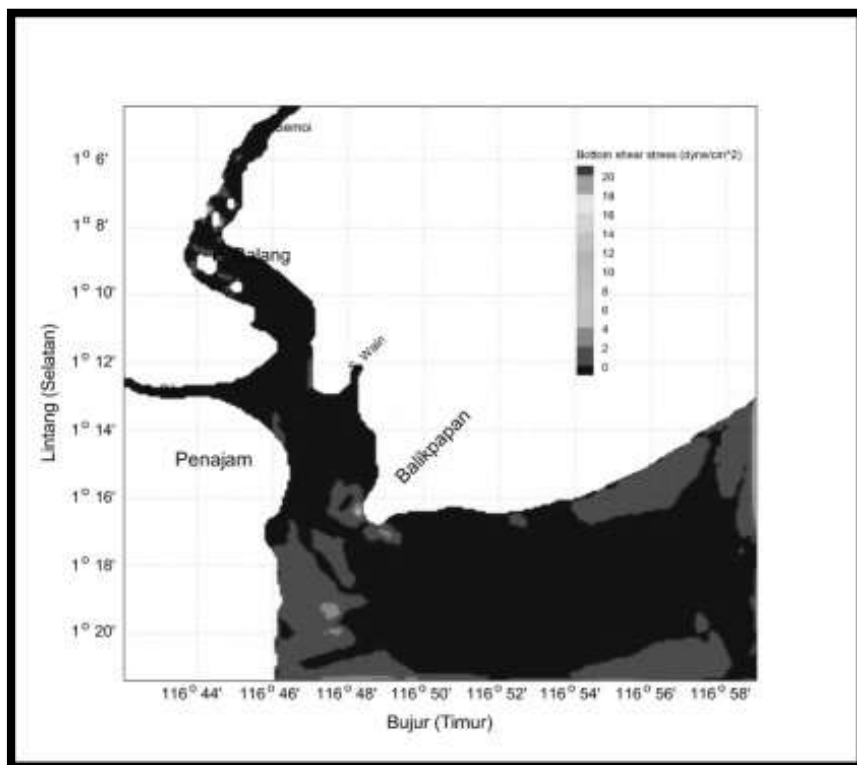


(c)

Gambar 5. (a). Konsentrasi sedimen pada jam ke-432, (b). Kecepatan Arus pada jam ke-432, (c).Salinitas pada jam ke-432



(a)



(b)

Gambar 6. (a). Deposisi/erosi pada hari ke-30, (b). *Bottom Shear Stress* pada hari ke-30

Tabel 1. Perbandingan data observasi dan data model numerik

Data	TSS (gr/cm ³)	Kec. Arus (m/s)	Salinitas (ppt)
Observasi (1)	5.14×10 ⁻⁶	0.15	32.00
Model Numerik (1)	5.11×10 ⁻⁶	0.12	29.19
Observasi (2)	4.31×10 ⁻⁶	0.23	26.00
Model Numerik(2)	4.18×10 ⁻⁶	0.18	30.21
Observasi (3)	5.05×10 ⁻⁶	0.33	32.00
Model Numerik(3)	5.05×10 ⁻⁶	0.27	31.86

*1, 2, 3 adalah Lokasi

pada waktu ini hingga mencapai 6 dyne/cm² yang terletak di lepas pantai bagian timur .

Selama 30 hari, terjadi deposisi sebesar 4 mm untuk di sepanjang aliran sungai Semoi dan 3 mm di sepanjang aliran sungai Riko. Sedangkan erosi masih berada di lepas pantai bagian timur yaitu sebesar 68 mm, dengan nilai *bottom shear stress* nya sebesar 16 dyne/cm².

Verifikasi Data

Konsentrasi Sedimen

Untuk data pengukuran langsung di lapangan, nilai konsentrasi sedimen di lokasi-1 adalah 5.14×10⁻⁶ gr/cm³, sedangkan data model di titik yang sama

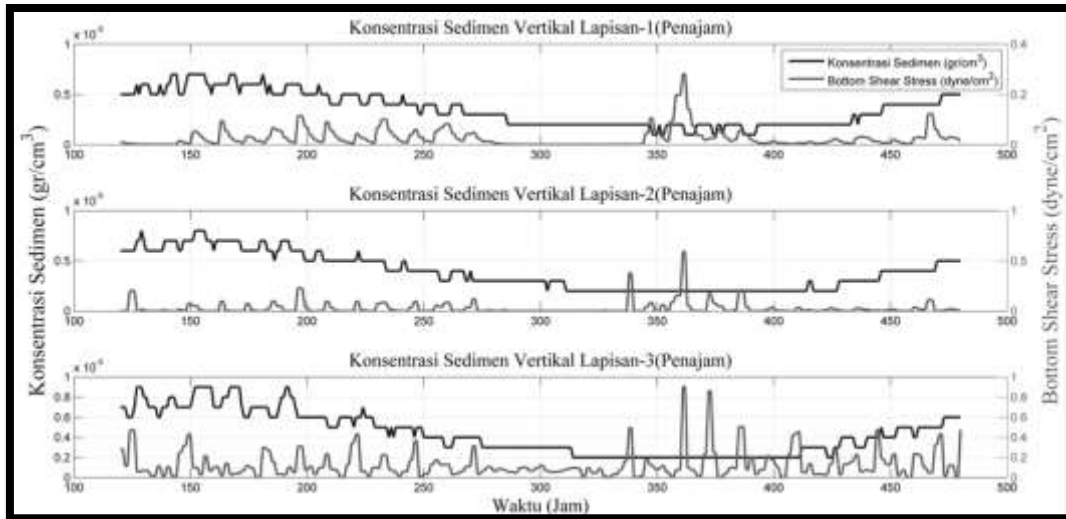
memiliki konsentrasi sedimen sebesar 5.11×10⁻⁶ gr/cm³.

Untuk lokasi-2, data observasi konsentrasi sedimen sebesar 4.31×10⁻⁶ gr/cm³, sedangkan data model di titik ini adalah 4.18×10⁻⁶ gr/cm³. Untuk lokasi-3, data observasi sebesar 5.05×10⁻⁶ gr/cm³, dan data model sebesar 5.05×10⁻⁶ gr/cm³.

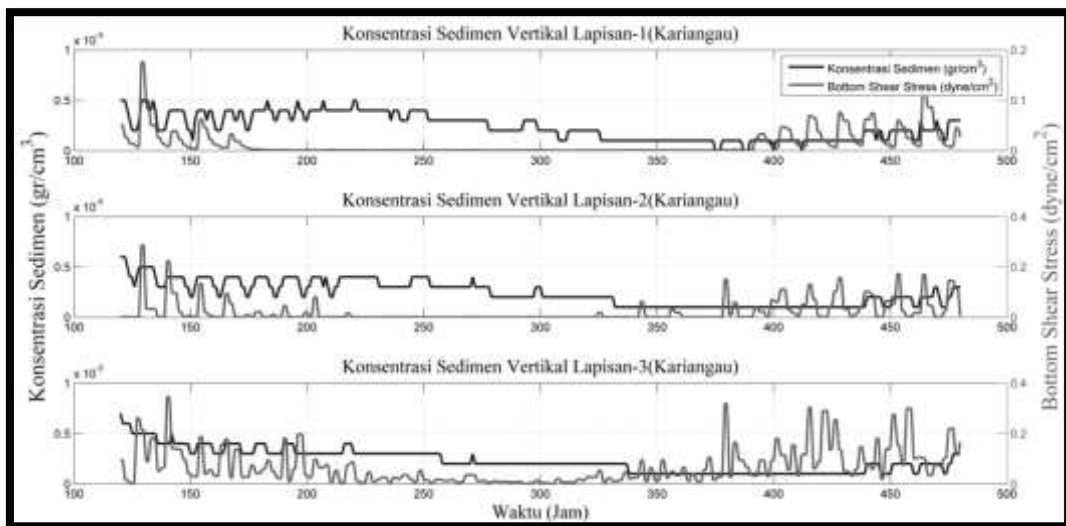
Arus

Pada lokasi-1, besar kecepatan arus dari data observasi adalah 0.15 m/s, sedangkan untuk data model adalah 0,12 m/s. Untuk lokasi-2, data observasinya 0.23 m/s, sedangkan untuk data model adalah 0.18 m/s.

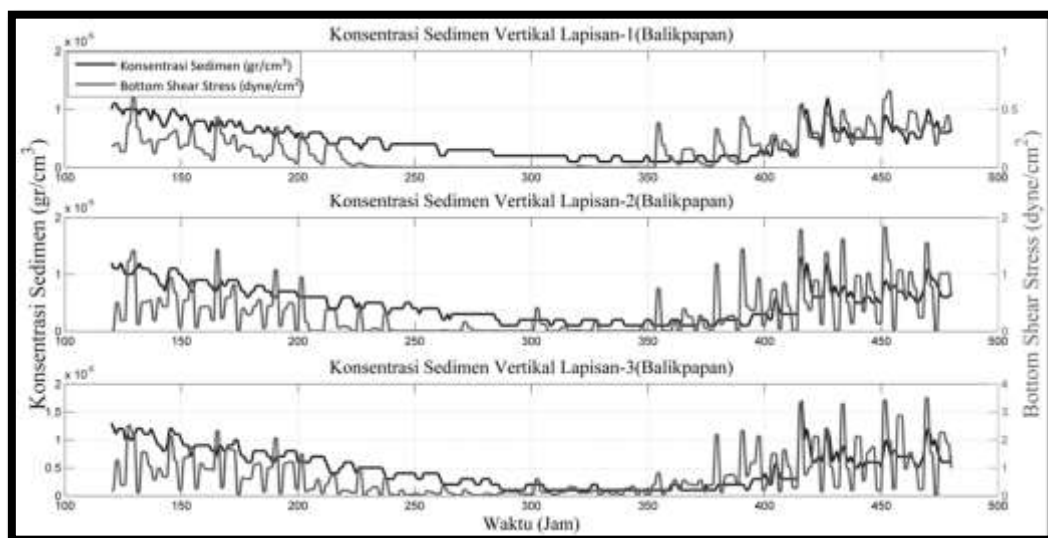
Pada lokasi-3, memiliki nilai observasi sebesar 0.33 m/s, untuk data model pada titik ini sebesar 0.27 m/s.



(a)



(b)



(c)

Gambar 7. Grafik perbandingan Konsentrasi Sedimen dengan *Bottom Shear Stress*
(a). Penajam, (b). Kariangau, dan (c). Balikpapan (Banua Patra)

Kesimpulan

Dari hasil penelitian, didapatkan hasil pergerakan sedimen yang dipengaruhi oleh arus pasang surut dan arus debit sungai. Besar nilai minimum dan maksimum konsentrasi sedimen saat kondisi pasang surut perhari selama satu bulan masing-masingnya yaitu 1.0×10^{-6} gr/cm³ dan 3.75×10^{-4} gr/cm³. Sedangkan untuk nilai minimum dan maksimum konsentrasi sedimen saat kondisi pasang surut purnama selama satu bulan masing-masingnya yaitu 1.00×10^{-6} gr/cm³ dan 3.76×10^{-4} gr/cm³.

Deposisi terjadi di hulu sungai Semoi, dimana nilai maksimum dalam kurun waktu satu bulan adalah 4 mm. Sedangkan untuk sungai Riko mengalami deposisi sebesar 3 mm. Erosi terjadi di Teluk Balikpapan bagian timur, dengan nilai maksimum mencapai 68 mm.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Fisika Komputasi dan Pemodelan FMIPA Universitas Mulawarman atas fasilitas yang diberikan untuk melakukan penelitian ilmiah ini.

Referensi

- [1]Aryanto, A.F. 2010. “Pengaruh Perubahan Penutup Lahan Terhadap Debit Aliran Permukaan di Sub-DAS Keduang Kabupaten Wonogiri” [Skripsi]. Solo: Fakultas Teknik UNS. Digilib.uns.ac.id
- [2]Blumberg, A. F. and G. L. Mellor. 1987. “A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, in *Three-Dimensional Coastal Ocean Model*”, Coastal and Estuarine Sciences, Vol. 4, Editor N. Heap, American Geophysical Union, Washington, D. C., 1-16
- [3]Chao X., Jia Y., Dkk., 2010. “*Three-dimensional numerical simulation of water quality and sedimen-associated processes with application to a Mississippi Delta Lake*”. [Journal]. National Center for Computational Hydroscience and Engineering, University Mississipi. USA
- [4]Dadang K.M., Dr.Rer.nat dan Hadi S., Hadi Safwan, Ph.D., 1989. “*Pasang Surut*”. Bandung : ITB
- [5]Draft Laporan Akhir Dinas Perikanan dan Ke-lautan Kota Balikpapan. “*Eksplorasi dan Inventarisasi Sumberdaya Pulau-Pulau Kecil Terumbu Karang, Padang Lamun dan Mangrove*”. Balikpapan : PT. INDULEXCO
- [6]Furbish D.J., Haff P.K., Roseberry J.C., Schmeckle M.W. “*A probabilistic description of the bed load sediment flux : 1. Theory*”. USA
- [7]Greening H, Shermood E, Garcia L, Kaufman K, Kemp M, Martin J. 2012. “*Old Tampa Bay Integrated Model Development Project: Task 2-2 Develop the Data Assessment Report*”. Florida: Janicky Environmental, Inc.
- [8] Hadi S, Ningsih N.S, dan Tarya A. 2006. “*Study on Seasonal Variation of Cohesive Suspended Sediment Transport in Estuary of Mahakam Delta by using a Numerical Model*”[Jurnal]. ITB: Studi Program of Oceanography Vol.13 No. 1, Januari 2006

- [9] Hidayat, Nur. 2005. “Kajian Hidro-Oseano-grafi untuk Deteksi Proses-proses Fisik di Pantai” [Jurnal]. Palu: Fakultas Teknik Universitas Tadulako. Vol. 3, No. 2, Mei 2005 : 73 – 85
- [10] Hydroqual, Inc. 2010. “A Primer for ECOM-SED Version 1.4-LPR User manual. USA
- [11] Kasman, Nurjaya IW, Damar A, Muchsin I, Arifin Z. 2010. “Prediksi Sebaran Suhu dari Air Buangan Sistem Pendingin PT. Badak NGL di Perairan Bontang Menggunakan Model Numerik”. Bogor: Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan IPB. ISSN 0853-7291
- [12] Kelompok Kerja Erosi dan Sedimentasi. 2002. *Kajian Erosi dan Sedimentasi Pada DAS Teluk Balikpapan Kalimantan Timur, Laporan Teknis Proyek Pesisir, TE-02/13-I, CRC/URI*. Jakarta: 38 halaman
- [13] Lumborg U., Windelin A. 2003. “Hydrography and cohesive sediment modelling: application to the Romo Dyb tidal area”. Denmark: Journal of marine Systems
- [14] Mananoma T, Legono D, dan Rahardjo AP. 2003. “Fenomena Alamiah Erosi dan Se-dimentasi Sungai Progo Hilir”. Semarang: Jurnal dan Pengembangan Keairan No.1, Juli 2003, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
- [15] Mandang I, Yanagi T. 2009. “Cohesive Se-diment Transport in the 3D-Hydrodynamic-Baroclinic Circulation Model in the Mahakam Estuary, East Kalimantan, Indonesia”. Japan: Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Kasuga. Coastal Marine Science 32(3) :000-000, 2009
- [16] Manning, Andrew J. 2013. “Sediment Transport Processes and Their Modelling Application”. Croatia: Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka
- [17] Ningsih, N.S. 1998. “Model Hidrodinamika Tiga-Dimensi (3-D) Arus Pasang Surut di Laut Jawa”. Bandung: JMS Vol. 3 No. 2, hal. 79-96, ITB
- [18] Nursa’ban, Muh. 2008. “Evaluasi Sediment Yield di Daerah Aliran Sungai Cisang-garung Bagian Hulu Dalam Memperkirakan Sisa Umur Waduk Darma”[Jurnal]. Yogyakarta: UNY. Vol. 13, No. 1, April 2008: 47 – 64
- [19] Sholikin, Moch. 2011. “Kajian Karakteristik Sedimentasi di Pertemuan Dua Sungai Menggunakan Metode MESHLESS LOCAL PETROV-GALERKI dan Simulasi Fluent”. Surabaya : Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [20] Smith DL, Threatgill TM, Larson CE. 2012. “Modeling the Hydrodynamics and Water Quality of the Lower Minnesota River Using CE-QUAL-W2”. U.S Army Engineer Research and Development Center. Vicksburg
- [21] Sudradjat C., dkk. 2012. “Kajian Sedimentasi di Sekitar Muara Sungai Wanggu Teluk Kendari Sulawesi Tenggara”. Bandung: ITB
- [22] Tian R, Chen C, Xu Q, Xue P, Cowles GW, Beardsley RC, Rothschild BJ. 2009. “The Massachusetts Bay Water Quality Model: 2006-2007 Simulation”. Boston: Massachusetts

Water Resources Authority. Report
2009-11. 124 p

- [23] Yun-Mei Zhu, X.X. Lu, Yue Zhou.
2007. "*Sus-pended sediment flux
modeling with artificial neural
network: An example of the
Longchuanjiang River in the Upper
Yang-tze Catchment, China*". China:
Geomorphology 84 (2007) 111-125