OSEANOLOGI DAN LIMNOLOGI DI INDONESIA
 Print ISSN: 0125-9830 Online ISSN: 2477-328X
 Nomor Akreditasi: 712/AU3/P2MI – LIPI/10/2015
<http://jurnal-oldi.or.id>

Dinamika Proses Sedimentasi di Perairan Muara Sungai Riko, Teluk Balikpapan

Dynamics of Sedimentation Process at Riko River Estuary, Balikpapan Bay

¹Endro Soeyanto dan ²Arifiyana

^{1,2}Balai Teknologi Survei Kelautan - BPPT

Email: endro.soeyanto@bppt.go.id

Submitted 10 March 2017. Reviewed 30 October 2017. Accepted 9 January 2018.

Abstrak

Pembangunan fasilitas-fasilitas kelautan (seperti dermaga kapal-kapal riset, workshop dan Pusat Riset Kelautan Nasional) di dalam kawasan calon lokasi *National Science and Technology Park (NSTP)* Maritim di Kabupaten Penajam Paser Utara, Propinsi Kalimantan Timur, memerlukan pemahaman dalam kajian dinamika lingkungan fisis perairan. Mengingat calon lokasi Kawasan NSTP Maritim yang berada di perairan Sungai Riko merupakan bagian dari Teluk Balikpapan maka diperlukan studi dinamika oseanografi fisis yang merupakan interaksi antara perairan laut (Teluk Balikpapan) dan perairan Sungai Riko. Studi ini membangun suatu Model Hidrodinamika 2-Dimensi (2D) di perairan Muara Sungai Riko dan Teluk Balikpapan secara umum. Model ini mensimulasikan kondisi hidrodinamika perairan dan selanjutnya dilakukan prediksi transpor sedimen melayang (*mud transport*) untuk bulan September – November 2016 dengan inisiasi debit sungai dan pasokan sedimen melayang hasil pengukuran lapangan pada bulan November 2016. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa rerata pergerakan muatan sedimen akibat dinamika perairan di Muara Sungai Riko adalah sebesar $\pm 4,25 \times 10^{-3}$ kg/detik atau $\pm 367,7$ kg per hari. Studi awal ini diharapkan yang dapat menjawab proses-proses pendangkalan di Muara Sungai Riko.

Kata kunci: Model Hidrodinamika 2D, NSTP Maritim, Transpor Sedimen, Kabupaten Penajam Paser Utara

Abstract

Development of the marine facilities (i.e. port, workshops, laboratories, etc) for Indonesian Research Vessels and National Center for Marine Research in the proposed National Science Technopark (NSTP) Maritime Region at District of Penajam Paser Utara, East Kalimantan Province, needs to understanding the dynamic of waters physical environment. Due to the NSTP-Maritime region located at Riko River as part of Balikpapan Bay waters, it needs an ocean interaction study between open sea (Balikpapan Bay) and Riko River waters. This study used a 2D-Hydrodynamic Model for Riko River and Balikpapan Bay waters and adjacent sea. The model simulated the hydrodynamic conditions on the waters and furthermore predicted the mud transport in September - November 2016 using the river flow and total suspended sediment data collected in November 2016. The model results showed that the average of sediment load movement due to the dynamic of waters at the estuary is $\pm 4,25 \times 10^{-3}$ kg per second or $\pm 367,7$ kg per day. This preliminary study hopefully can explain the shallowing processes in mouth of Riko River.

Keywords: 2D-Hydrodynamic Model, NSTP Maritime, Mud Transport, Distric of Penajam Paser Utara.

Pendahuluan

Sedimentasi didefinisikan sebagai proses pemindahan sedimen oleh aliran limpasan dan terendap ke daerah dengan kecepatan air lambat dalam suatu perairan seperti sungai, waduk, danau, serta di wilayah tepi teluk atau laut (Arsyad 1989). Proses sedimentasi di dalam air dapat menyebabkan pendangkalan dan penurunan (degradasi) kualitas air. Beberapa partikel sedimen yang dibawa oleh aliran sungai dan terendapkan disekitar muara sungai berpotensi mengganggu jalur pelayaran dan menyebabkan banjir ketika musim hujan datang. Selain itu, tingginya konsentrasi sedimen di badan air akan menyebabkan kekeruhan yang akan membahayakan kehidupan biota dan menghambat proses fotosintesis pada badan air (Handoyo dan Djokosetiyanto 2005).

Tujuan umum penelitian ini untuk mengkaji seberapa besar kontribusi aliran yang merupakan interaksi sungai-laut (*intertidal zone*) dalam proses pembentukan sedimentasi di sekitar mulut sungai dan laut sekitarnya dengan menggunakan dengan modul-modul dari perangkat lunak MIKE21 (dibangun oleh Danish Hydraulic Institute). Solahuddin et al. (2011) menggunakan metode dan perangkat lunak yang sama dalam memprediksi pergerakan dan muatan sedimen yang dibawa oleh aliran Sungai Sambas ke perairan Pemangkat. Carniello et al. (2012) membangun model numerik penyebaran transport lumpur dengan memasukkan penggerak arus pasang surut, kecepatan angin permukaan dan gelombang laut di perairan Laguna Venice, Italia. Studi sejenis juga telah dilakukan di perairan sekitar Sungai Wain, Kota Balikpapan oleh Sinaga et al. (2013). Tujuan spesifik penelitian ini adalah untuk melihat proses dinamika sedimentasi lumpur ditinjau dari dinamika arus dan angin permukaan di kawasan perairan Teluk Balikpapan serta menitikberatkan pada lokasi di perairan Muara Sungai Riko, Teluk Balikpapan.

Metodologi

Lokasi penelitian ini merupakan calon lokasi kawasan *National Science Technopark*

(*NTSP*) Maritim pertama di Indonesia, tepatnya di dalam Sungai Riko, Kawasan Buluminung. Secara geografis daerah studi terletak pada koordinat 116°42'00" - 116°52'00" BT dan 01°11'00" - 01°22'00" LU sedangkan secara administratif termasuk dalam Kabupaten Penajam Paser Utara, Propinsi Kalimantan Timur dan di dalam perairan Teluk Balikpapan (Gambar 1).

Dalam lokasi calon kawasan NSTP Maritim tersebut, direncanakan akan dibangun berbagai fasilitas seperti laboratorium, workshop dan dermaga kapal-kapal riset nasional. Rencana lokasi dermaga yang berada di dalam Sungai Riko, mempersyaratkan kondisi perairan sungai yang aman dan memenuhi syarat sebagai dermaga sandar yang layak. Oleh karena itu, studi ini ditujukan sebagai dasar pertimbangan kelayakan lokasi tersebut.

Prediksi (simulasi) pasang surut (pasut) dan arus pasut dilakukan dengan pemecahan persamaan-persamaan kontinuitas massa dan momentum perairan dangkal dengan modul Hidrodinamika 2 Dimensi (2D) perangkat lunak MIKE21-HD, *Flexible Mesh Modul (HD)* yang dikombinasikan dengan modul Transport Sedimen Lumpur MIKE21- *Mud Transport Sediment (MT)* untuk melihat transpor sedimen lumpur.

HD adalah model nonlinear dan salah satu model hidrodinamika terbaru dan komprehensif dari model-model hidrodinamika yang ada saat ini. Model ini mensimulasi dalam kerangka (domain) waktu untuk menghasilkan propagasi gelombang perairan dangkal yang menghasilkan efek-efek variasi muka laut dan arus. Model HD didasarkan pada solusi numerik dua dimesi (2D) perairan dangkal pada persamaan-persamaan rerata pada kedalaman untuk bilangan Reynolds (*depth averaged Reynold*) dan Navier-Stokes (*depth averaged Navier-Stokes*). Diskretisasi spasial pada parameter persamaan model ini dibangun dengan menempatkan parameter di tengah grid dengan metode volume hingga (*cell-centered finite volume*). Detail penjelasan tentang modul ini dapat dilihat pada buku MIKE21-HD Manuals (DHI 2007 2011).

Gambar 1. Sungai dan Muara Sungai Riko (dalam kotak merah) di Kawasan Buluminung, Teluk Balikpapan, Kalimantan Timur. Area abu-abu menunjukkan calon lokasi NSTP Maritim
 Figure 1. Riko River and Riko Estuary (inside the red square) in Buluminung Regime, Balikpapan Bay, East Kalimantan. The shaded area shows the proposed NSTP Maritime area.

Gambar 2. Peta Batimetri, domain daerah pemodelan dan lokasi stasiun-stasiun pengukuran debit dan Material Padatan Tersuspensi (MPT) di Teluk Balikpapan
 Figure 2. Bathymetric map, domain model area, River flow and Total Suspended Sediment (TSS) Stations at Balikpapan Bay.

Masukkan model HD dan MT antara lain adalah peta kedalaman laut (batimetri) yang merupakan hasil pengukuran di lapangan menggunakan *Multibeam Reson Hydrobat Composite* dengan data tambahan dari *Shuttle Radar Topography Mapping (SRTM)* 30mx30m (*Topex Poseidon*), data pasut, kecepatan dan arah angin diperoleh dari pengukuran *near Real Time (nRT)* pada Stasiun Observasi NSTP-Maritim (<http://bpptbuoy.info/pdbi/metocean/>) di Pelabuhan PT. ASDP Penajam menggunakan peralatan *Automated Weather Station (AWS)* tipe MetPak RG (Gill Instruments) dan *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)* tipe SL-500 (SONTEK), debit sungai dan konsentrasi sedimen terlarut total atau material padatan tersuspensi (*Total Suspended Sediment/TSS*)

diperoleh dengan pengukuran dan pengambilan sampel di lapangan. Domain area model dan sebaran stasiun sampling dapat dilihat pada Gambar 2. Batas domain area model antara lain adalah batas laut di Selatan (mulut Teluk Balikpapan), batas-batas sungai antara lain di muara sisi Timur Jenebora (celah sisi Utara Teluk Balikpapan), Sungai Wain dan hulu Sungai Riko. Masukkan model pada Batas Laut dan Batas Sungai masing-masing adalah fluktuasi pasut dan debit sungai. Data arah dan kecepatan angin juga dimasukkan dalam model HD, sesuai dengan waktu skenario pemodelan.

Formulasi dalam pemodelan untuk transpor sedimen melayang dalam studi ini berdasarkan pada persamaan sebaran menurut persamaan berikut (Teisson 1991):

$$\frac{\partial c^i}{\partial t} + \frac{\partial uc^i}{\partial x} + \frac{\partial vc^i}{\partial y} + \frac{\partial wc^i}{\partial z} - \frac{\partial w_s c^i}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v_{Tx}}{\sigma_{Tx}^i} \frac{\partial c^i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_{Ty}}{\sigma_{Ty}^i} \frac{\partial c^i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_{Tz}}{\sigma_{Tz}^i} \frac{\partial c^i}{\partial z} \right) + S^i \quad (1)$$

Dimana i adalah waktu. Sumbu $-x$, $-y$ dan $-z$ adalah sumbu dalam koordinat kartesian. Suku $-u$, $-v$ dan $-w$ adalah komponen kecepatan arus (aliran fluida) pada masing-masing arah koordinat kartesian. D_v adalah koefisien difusi turbulensi secara vertikal (eddy). c^i adalah komponen skalar ke- i (didefinisikan sebagai konsentrasi massa). w_s^i adalah kecepatan jatuh / pengendapan. σ_{Tx}^i adalah bilangan turbulen Schmidt. v_{Tx} adalah viskositas eddy anisotropik. S^i adalah suku sumber.

Hasil

Batimetri

Peta kontur pada Gambar 2 menunjukkan peta batimetri di Teluk Balikpapan dan sekitarnya. Kedalaman laut bervariasi antara 2 – 32 meter. Celah terdalam (~32 meter) melintang dari arah Utara ke Tenggara. Celah pertama terdapat di bagian mulut teluk tepat di perairan sisi bagian Barat Kota Balikpapan. Sementara Celah Kedua melintang kearah Utara dari sisi bagian Timur Pelabuhan Penajam ke arah hulu Sungai Semoi – Sepaku di sisi bagian Utara Teluk Balikpapan.

Di sekitar Muara Sungai Riko ditemukan perairan yang mengalami pendangkalan yang signifikan dengan kedalaman berkisar antara 2 – 6 meter, sementara pada bagian dalam sungai kedalaman perairannya berkisar antara 8 - 30 meter. Di dalam sungai ini, ditemukan kedalaman perairan yang melebihi 30 meter dalam bentuk pola yang berkelok-kelok (*meandering*) dari arah mulut sungai hingga anak

sungai terdekat yang berjarak sekitar 3 km dari mulut sungai.

Pasang Surut dan Kecepatan Angin Permukaan

Data pasang surut yang digunakan untuk membangun model ini adalah dari hasil pengukuran dari tanggal 1 September s.d. 28 November 2016 dari Stasiun Observasi NSTP Maritim di Pelabuhan PT. ASDP Penajam dengan selang pencuplikan (*sampling*) data setiap 15 menit untuk memprediksi kecepatan dan arah arus permukaan di Teluk Balikpapan pada umumnya (garis hijau pada Gambar 3a).

Perhitungan konstanta pasut (8 komponen) menggunakan metode *least square* dari data hasil pengamatan pasut pada periode waktu yang sama (Tabel 1). Berdasarkan perhitungan bilangan *Formzahl (F)*, diperoleh nilai F sebesar 0,37. Sesuai dengan kriteria Courtier pasang surut di perairan Kawasan Buluminung, Teluk Balikpapan ini adalah tipe campuran condong harian ganda (*mixed mainly semidiurnal tides*); terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari, dan terkadang terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dengan tinggi dan waktu kejadian yang berbeda-beda. Hasil ini mirip seperti studi yang dilakukan oleh Witono et al. (2013). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tunggang pasut di perairan ini adalah sebesar 2,737 meter yang sesuai dengan kriteria perairan Indonesia yang memiliki tunggang pasut pada kisaran 1 sampai dengan 6 meter. Selama periode simulasi model pada September – November 2016, nilai kecepatan angin berkisar 2 – 8 m/detik, dan hanya sedikit diperoleh kecepatan

angin melebihi 8 m/detik. Arah kecepatan angin dalam periode ini didominasi dari arah Tenggara

(lihat Gambar 3b)

Gambar 3. (a) Perbandingan pasut hasil model dan pengukuran di stasiun observasi NSTP Maritim di Pelabuhan PT. ASDP Penajam (b) Windrose arah dan kecepatan angin bulan September-November 2016

Figure 3. (a) Comparison of the tide level from model and observation at the maritime observation station at Penajam Port (PT. ASDP Penajam) (b) Wind magnitude and direction (Windrose diagram) on September-November 2016

Tabel 1. Hasil analisis harmonik pasang surut.

Table 1. Result of tidal harmonic analysis

Tide component	Zo	Q1	O1	P1	K1	N2	M2	S2	K2
<i>Amplitude (cm)</i>	271	3.7	15.6	7.9	24.5	7.1	67.1	40.9	11.4
<i>Phase (°)</i>		99.3	203.5	290.5	272.1	359.6	101	217.4	20.3

Tabel 2. Konsentrasi MPT dan debit Sungai.

Table 2. TSS concentration and flow rivers

Station	TSS Concentration (mg/l)			Average TSS (kg/m ³)	Depth (d meter)	Current velocity (m/s)	River discharge (m ³ /s)
	0.2d	0.6d	0.8d				
A	230	-	-	0.230	3.5	0.220	38.96
B	200	220	270	0.230	13.0	0.090	30.00
C	240	280	320	0.280	20.0	0.480	33.00
D	240	-	-	0.240	5.0	0.200	39.60
E	120	-	-	0.120	9.0	0.160	22.00
F	180	190	200	0.190	18.0	0.050	22.00
G	140	-	-	0.140	25.0	0.220	22.00
H	-	210	200	0.205	8.0	0.370	22.00
I	140	-	-	0.140	2.0	-	-
J	180	-	-	0.180	10.0	0.370	25.00
K	180	-	-	0.180	7.0	-	-
L	180	-	-	0.180	4.50	0.130	28.03

* Sampling stations are shown at Figure 2.

Debit Sungai dan Konsentrasi TSS

Pada beberapa titik cabang anak sungai di Sungai Riko, Sungai Wain dan Batas Utara daerah model dilakukan pengukuran debit dan konsentrasi TSS (lihat Tabel 2). Hasil perhitungan debit sungai yang diukur berkisar antara 22 – 39,6 m³/det. Sementara nilai rata-rata Konsentrasi TSS berkisar antara 0,12 – 0,28 kg/m³

Arah dan Kecepatan Arus

Contoh hasil pemodelan hidrodinamika dengan MIKE21-HD memberikan sebaran vektor-vektor arus seperti pada Gambar 4. Pada saat pasang tertinggi dan surut terendah (Gambar 4a dan b) pada umumnya perairan dalam teluk tenang, sementara pada saat menuju pasang tinggi (surut terendah) atau *slack tide period* memberikan vektor-vektor arus yang kuat ke dalam (ke luar) teluk seperti yang tergambar dalam Gambar 4c dan d.

(a).

(b).

(c).

(d).

Gambar 4. Hasil simulasi sebaran vektor-vektor arus pada saat (a) pasang tinggi, 16 November 2016 jam 19:00 (b) surut terendah, 17 November 2016 jam 13:00 (c) menuju pasang, 16 November 2016 jam 16:00 dan (d) menuju surut, 17 November 2016 jam 10:00

Figure 4. Results of current vectors simulation at (a) high tide period, 16 November 2016 19:00 (b) lowest tide period, 17 November 2016 13:00 (c) Slack tide period, 16 November 2016 16:00 (d) Slack tide period, 17 November 2016 10:00

Pembahasan

Verifikasi

Hasil simulasi model HD dalam studi ini diverifikasi dengan hasil pengukuran lapangan pada rentang waktu yang sama yaitu 15-26 November 2016. Perbandingan hasil model dan pengukuran pasut (Gambar 3a) mengkonfirmasi

hubungan yang hampir sama pada fasa dan elevasi pasut antara hasil model dengan pengukuran lapangan. Korelasi perhitungan elevasi muka laut antara hasil model dan pengukuran langsung diperoleh nilai $r \sim 0,96$. Nilai korelasi ini lebih baik dari penelitian sejenis yang telah dilakukan oleh Witono et al. (2013).

(a).

(b).

(c).

(d).

Gambar 5. (Panel-panel dari a, b, c dan d) Hasil pemodelan sebaran sedimen melayang dari sumbernya dari anak-anak sungai Riko, Sungai Wain dan perairan batas utara daerah model. Simulasi dimulai pada tanggal 2 September 2016 jam 02:45 WITA hingga 9 hari kemudian

Figure 5. (The panels from a, b, c and d) Results model of the dispersion of total suspended sediment from the sources from branches rivers at Riko and Wain Rivers and northern boundary of model area. Simulation started from 2 September 2016 at 02:45 WITA to 9 days after.

(a).

(b).

Gambar 6 (a). Lokasi stasiun pengamatan laju pengendapan sedimen di sekitar Muara Sungai Riko, Teluk Balikpapan (b) Grafik laju pengendapan (deposisi) dari tanggal 15 Oktober 2016 s.d. 28 November 2016 dihitung pada stasiun-stasiun seperti yang terlihat pada Gambar 6a

Figure 6. (a). Location of observation station for speed of deposition sediment at Riko Estuary, Balikpapan Bay (b) Graphs of deposition from October 15 to November 28, 2016 estimated on some stations as showing in Figure 6a.

Pada Gambar 4 tampak dengan jelas lokasi dimana vektor-vektor arus kuat terjadi disekitar muara Sungai Riko dan Sungai Wain, hal ini konsisten dengan adanya pendangkalan ekstrim di muara-muara sungai tersebut. Di lokasi muara-muara sungai tampak pula vektor-vektor arus saat elevasi pasut menuju surut lebih kuat dibandingkan saat menuju pasang. Hal ini

mendukung terjadinya proses-proses sedimentasi dilokasi tersebut.

Simulasi Sedimen Melayang dan Laju Sedimentasi

Hasil model hidrodinamika 2D (MIKE21-HD) selanjutnya diterapkan untuk memodelkan sedimentasi dengan menjalankan modul total sedimen melayang atau *mud*

transport (MIKE21-MT). Model ini dijalankan dengan memberikan nilai kondisi awal (inisiasi) dengan nilai-nilai debit aliran dan konsentrasi TSS pada lokasi sumber tertentu, seperti yang tercantum pada Tabel.2. Jejak sebaran sedimen melayang yang disimulasikan sejak tanggal 2 September 2016 hingga 11 September 2016 dapat dilihat pada Gambar 5. Sejalan waktu, tampak konsentrasi sedimen menyebar ke arah muara sungai, namun interaksi antara pasang surut dengan debit sungai menyebabkan konsentrasi sedimen tampak tertahan di sekitar muara sungai saja, karena itu konsentrasi sedimen terkonsentrasi pada muara sungai saja.

Pergerakan pasut sangat mendominasi penyebaran konsentrasi sedimen. Pada saat pasang naik, konsentrasi sedimen di muara akan sangat tinggi. Pada saat surut, konsentrasi sedimen menyebar ke arah laut lepas. Lumpur adalah sedimen kohesif yang sangat mudah terpengaruh oleh salinitas. Jika salinitas tinggi akan terjadi penggumpalan (*flocculation*), sehingga pengendapan sedimen akan terjadi.

Selanjutnya, laju sedimentasi (pengendapan) dihitung dan dilihat untuk membedakan karakteristiknya pada beberapa lokasi di muara sungai dengan 12 stasiun pengamatan dengan jarak antar stasiun sekitar 1 km, seperti yang tergambar pada Gambar 6a. Gambar 6b menunjukkan grafik hasil perhitungan laju deposisi di area tengah muara dari 12 stasiun pengamatan tersebut. Prediksi selama periode simulasi dari 1 September – 28 November 2016 (Musim Peralihan dari Musim Timur ke Barat) diperoleh nilai rata-rata laju sedimentasi sebesar $\pm 6,08 \times 10^{-7}$ kg/m²/detik. Hal ini menunjukkan tingkat sedimentasi yang cepat dan masif terjadi disekitar Muara Sungai Riko. Kondisi ini menjadi pertimbangan yang serius, khususnya dalam pemeliharaan alur sungai, misalnya dengan pengerukan dan relokasi Daerah Aliran Sungai (DAS) dalam mendukung keamanan dan keselamatan lalu lintas kapal di sungai tersebut.

Kesimpulan

Berdasarkan distribusi konsentrasi TSS dan prediksi laju sedimentasi, maka dapat disimpulkan bahwa perairan Muara Sungai Riko, Kawasan Buluminung khususnya dan Teluk Balikpapan umumnya termasuk perairan dengan proses sedimentasi cukup tinggi. Hal tersebut berdampak pada proses pendangkalan di sekitar muara sungai dan beresiko tinggi terhadap kehidupan biota dalam air dan alur-alur pelayaran kapal-kapal dari dan ke dalam sungai. Hasil

prediksi menunjukkan bahwa pada bulan Musim Peralihan Timur ke Barat (September-November 2016), dengan luasan penampang Sungai Riko adalah sebesar 7000 m² maka muatan sedimen yang dialirkan dan terdeposisi ke Muara Sungai Riko adalah sebesar $\pm 4,25 \times 10^{-3}$ kg/detik atau $\pm 367,7$ kg per hari.

Persantunan

Ucapan terima kasih kepada Direktur Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Wilayah (PTPSW)-BPPT dan Kepala Balai Teknologi Survei Kelautan (BTSK)-BPPT, Dinas Perhubungan, Kebudayaan dan Pariwisata Kab. Penajam Paser Utara dan PT. ASDP Penajam yang telah memberikan kesempatan, akses dalam Survei Pemetaan untuk calon lokasi Kawasan *National Science Technopark (NTSP)* Maritim tahun 2015-2016. Studi ini juga didedikasikan untuk JSPS CCore RENSEA.

Daftar Pustaka

- Arsyad, S. 1989. Konservasi Tanah dan Air. Penerbit IPB (IPB Press), Bogor.
- CRMP. 2001. Kajian Erosi dan Sedimentasi di DAS Teluk Balikpapan Kalimantan Timur. Kelompok Kerja Erosi dan Sedimentasi CRMP, Jakarta.
- Carniello, L., A. Define and L. D. Alpaos 2012. Modeling sand-mud transport induced by tidal currents and wind waves in shallow microtidal basins: Application to the Venice Lagoon (Italy). *Estuaries, Coastal and Shelf Science* (102-103): 105-115.
- Danish Hydraulic Institute (DHI) Software. 2007. Manual MIKE21 Flow Model Mud Transport Module, Scientific Background. DHI Waters & Enviroment, Horsholm: Denmark.
- Danish Hydraulic Institute (DHI) Software. 2011. MIKE21 & MIKE3 Flow Model FM Hydrodynamic and Transport Module Scientific Background. DHI Waters & Enviroment, Horsholm: Denmark.
- Hardjojo, B. dan Djokosetiyanto. 2005. Pengukuran dan Analisis Kualitas Air. Edisi Kesatu, Modul 1 - 6. Universitas Terbuka. Jakarta.
- John D. B. 2010. World Tide and World Current. Marine Science: Virginia Institute.
- Mehta, A.J., E.J. Hayter, W.R. Parker, R.B. Krone, and A.M. Teeter 1989. Cohesive sediment transport. I: Process description. *Journal of Hydraulic Engineering – ASCE* 115 (8): 1076-1093.

- Sinaga, A.T, A. Satriadi, Hariyadi dan F. Novico 2013. Pola Sebaran Sedimen Tersuspensi berdasarkan Model Pola Arus Pasang Surut di Perairan Teluk Balikpapan, Kalimantan Timur. *Jurnal Oseanografi* 2(3):329-336.
- Solahuddin Tb., E. M. Sari dan G. Kusumah. 2011. Prediksi Laju Sedimentasi di Perairan Pemangkat, Sambas Kalimantan Barat Menggunakan Metode Pemodelan. *Buletin Geologi Tata Lingkungan (Bulletin of Enviromental Geology)* 21(3): 117-126.
- Soedarsono, S. dan K. Takeda. 2003. Hidrologi Pengukuran Untuk Pengairan. Jakarta: Pradnya Paramitha.
- Stewart,H. 2008. Introduction to Oceanography. Dept. Oceanography. Texas A&M University.
- Taurusman A. A., R. Dahuri dan K.Tridoyo 2001. Model Sedimentasi dan Daya Dukung Lingkungan Segara Anakan untuk Kegiatan Budidaya Udang. *Jurnal Penelitian Pesisir dan Lautan* 4(2): 50 – 62.
- Teisson, C. 1991. Cohesive suspended sediment transport: feasibility and limitations of numerical modelling. *Journal of Hydraulic Research* 29 (6):755-769.
- Witono, A., D. Nugroho, S. Widada dan F. Novico 2013. Pemodelan Pola Arus Pada Perairan Teluk Balikpapan Dengan Menggunakan Software Mike21. *Journal of Oceanography* 2(3). (<http://e-journal-s1.undip.ac.id/index.php/joce/article/view/4578>).
- , 2016. Daftar Pasang Surut Kepulauan Indonesia. Dinas Hidro-Oseanografi TNI-AL. Jakarta.