

Pemodelan Perubahan Dasar Perairan (*Bed Level Change*) di Perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang

Andi Dwi Pramulya^{1*}, Indra Budi Prasetyawan², Alfi Satriadi², Elis Indrayanti², Aris Ismanto²

¹Program Sarjana Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan

²Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang Semarang. 50275 Telp/fax (024)7474698

Email: *andidwip@students.undip.ac.id

Abstrak

Endapan sedimen yang terakumulasi dapat menyebabkan terjadinya pendangkalan di perairan pelabuhan. Pelabuhan Tanjung Emas merupakan pelabuhan yang mengalami pertumbuhan yang begitu pesat, namun pada alur pelayaran mengalami pendangkalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola arus, sebaran jenis sedimen dasar, dan perubahan dasar perairan berdasarkan hasil model. Simulasi pemodelan arus dan pemodelan transport sedimen dilakukan selama 30 hari. Pemodelan arus menggunakan software Mike21 *Flow Model FM Hydrodynamic* untuk mengetahui arah dan kecepatan arus pada daerah kajian. Simulasi pemodelan transport sedimen menggunakan program Mike21 *Flow Model FM Sand Transport* untuk mengetahui pola transport sedimen di daerah kajian, dan mengetahui perubahan dasar perairan (*bed level change*). Metode dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dan penentuan lokasi pengambilan sampel sedimen menggunakan metode *purposive sampling*. Berdasarkan hasil pengolahan *World Current* menunjukkan arus dominan adalah arus residu. Kecepatan rata-rata arus bervariasi antara 3,32 – 3,99 cm/s. Berdasarkan hasil model arah arus dominan dari barat menuju ke timur laut dengan kecepatan maksimum lebih dari 0,114 m/s. Nilai verifikasi dengan metode CF sebesar 1,19 – 1,55 dikategorikan bagus. Analisa ukuran butir sedimen dasar yang ditemukan berupa Pasir, Lanau pasir dan Lanau. Ukuran butir sedimen dasar dominan di perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang lanau. Hasil model perubahan dasar perairan menunjukkan pengendapan sedimen di sepanjang garis pantai dan erosi terjadi di daerah laut.

Kata kunci: Sedimen dasar, Mike21, Arus, Perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.

Abstract

The accumulated sediment can cause siltation in the port of territorial waters. The Port of Tanjung Emas is an important port had been rapid growth, but in the shipping channel is experience can be silting up. Flow modeling simulation and sediment transport modeling carried out for 30 days. This study aims to determine the pattern of currents, the distribution bed load, and bed level changes based on the results of the model. This research discuss about current modeling and sediment transport modelling. Current modeling using the Hydrodynamic Module Mike21 Flow Model FM to knowing the current direction and speed in the study area. The sediment transport modelling simulation using the Mike21 Flow Model FM Sand Transport Module to identify the sediment Transport pattern in the area of the study, and know the change in the bed load (bed level change). This research is the descriptive method and the sampling location using the purposive sampling method. Data used as input such as current and size of sediment grain are primary data of field measurements using ADCP Sontek Argonaut – XR and laboratory analysis results, and the default value of the DHI MIKE21 program when the data is not carried out field data. Based on the results of the World Current processing that the residual current was dominant. The average of current speed variety between 3.32 – 3.99 cm/s. Based on the result of the model current direction is from west to northeast with a maximum speed of more than 0.114 m/s. The verification by using model data compare with field data which using CF method is 1.19 – 1.55 categorized well. The analysis of the basic sedimentary grains size found in the study area are sand, sandy silt and silt. Sedimentary grain size in the study area the dominant is silt. Based on modelling result along coastal line has sedimentation 0.02m and in the seas has erosion -0.005m.

Keywords: Bed load, Mike21, Current, Port of Tanjung Emas Semarang territorial water.

PENDAHULUAN

Perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang terletak di pesisir utara Pulau Jawa. Perairan Pelabuhan merupakan bagian alur pelayaran dari dan menuju pelabuhan. Pelabuhan Tanjung Emas salah satu sarana penghubung yang sangat penting bagi Kota Semarang. Pelabuhan Tanjung Emas merupakan pelabuhan yang mengalami pertumbuhan yang begitu pesat, namun pada alur pelayaran mengalami pendangkalan. Permasalahan utama pada area perairan pelabuhan adalah terjadinya pendangkalan alur pelayaran akibat akumulasi sedimen yang mengendap pada dasar perairan (Firdaus, 2013).

Dalam perairan daerah pesisir, sedimen bersifat dinamis yang akan terus mengalami perubahan berupa erosi, transportasi sedimen dan sedimentasi dalam skala spasial maupun temporal. Pengetahuan dan pemahaman tentang proses dinamis yang terjadi di daerah perairan daerah pesisir sangatlah diperlukan guna perencanaan pembangunan dan pengembangan pada daerah pesisir dimasa datang (Nugroho, 2014).

Proses terjadinya erosi atau sedimentasi pada dasar perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor hidro-oseanografi salah satu faktor tersebut adalah arus. Pengamatan arus pada suatu perairan memberikan informasi penting untuk mengetahui pola pergerakan arus yang dapat berpengaruh pada transport sedimen. Besarnya kecepatan arus dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya energi yang bekerja di dasar perairan yang mampu memindahkan sedimen dari suatu tempat ke tempat yang lain. Perpindahan sedimen ini akan mengakibatkan terjadinya erosi atau sedimentasi berpengaruh pula pada pola arus dan pasang surut di sekitar pantai dan pelabuhan (Wibowo, 2018).

Pasang surut dapat mempengaruhi elevasi tinggi gelombang sehingga dapat membawa material sedimen dari dan menuju ke arah pantai. Pasang surut dapat mempengaruhi besarnya kecepatan dan arah arus pada daerah pantai. Arus yang ditimbulkan akibat dari pasang surut cukup kuat untuk dapat membawa material sedimen dalam jumlah yang cukup besar, sedangkan untuk pantai yang terbuka selain arus pasang surut yang dapat membawa material sedimen yaitu energi gelombang. Energi gelombang berpengaruh terhadap proses sedimentasi di suatu kawasan pantai (Wahyudi dan Jupantara, 2004).

Faktor penting dalam proses erosi dan sedimentasi yaitu properti sedimen yang meliputi ukuran partikel dan distribusi butir, rapat massa, bentuk, kecepatan endap, dan viskositas. Kecepatan endap material tak kohesif seperti pasir dipengaruhi oleh rapat massa air, viskositas air, dimensi dan bentuk partikel. Kecepatan endap pada sedimen kohesif dipengaruhi oleh konsentrasi sedimen suspensi, salinitas, dan diameter partikel. Di daerah pantai gerakan massa air dapat terjadi karena adanya kombinasi dari energi gelombang dan arus. Gelombang berperan untuk mengaduk dan melepaskan material pada dasar laut sementara arus berperan untuk memindahkan material sedimen ke tempat lain (Hermawan, 2006).

Menurut Wibowo (2018), bahwa semakin besar ukuran butiran sedimen membutuhkan kecepatan arus yang semakin besar untuk mengangkut sedimen tersebut. Arah dan kecepatan arus di suatu perairan akan mempengaruhi pola transport sedimen di perairan tersebut. Dalam proses sirkulasi massa air laut pada daerah pantai, arus pasang surut berperan secara dominan. Arus pasang mengirim massa air dari laut menuju perairan pantai, sedangkan pada saat surut mengirim massa air dari perairan pantai menuju ke laut lepas. Sirkulasi massa air akibat arus pasang surut dapat membawa material sedimen yang terdapat di dasar perairan tersebut, sehingga pola arus pasang surut di suatu perairan dapat mempengaruhi pola sebaran sedimen di perairan tersebut.

Kajian pemodelan transport sedimen dasar yang dipengaruhi arus dilakukan untuk mengetahui arah sebaran sedimen dasar dengan menggunakan skenario model. Pemodelan transport sedimen menggunakan 8 skenario model yaitu pasang tertinggi, surut terendah, pasang menuju surut, surut menuju pasang saat Pasang – surut perbani dan Pasang – surut purnama. Model ini menggunakan data inputan pasang surut, ukuran butir sedimen dasar D_{50} , arus, serta menggunakan batimetri daerah penelitian. Analisa ukuran butir dilakukan untuk mengetahui jenis sedimen dasar dan ukuran butir sedimen dasar pada daerah kajian. Penelitian ini menggunakan pemodelan arus dan pemodelan transport sedimen. Pemodelan arus dilakukan untuk mengetahui pola arus di daerah kajian. Pemodelan transport sedimen dilakukan untuk mengetahui adanya perubahan dasar perairan baik erosi ataupun sedimentasi dengan melakukan analisa hasil model perubahan dasar perairan (*bed level change*).

Tujuan dari penelitian ini antara lain untuk mengetahui pola arus di perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang, selain itu juga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran jenis sedimen dasar di Perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang dan perubahan dasar perairan (*bed level change*) berdasarkan hasil model. Penelitian tersebut dapat memberikan informasi mengenai pola arus dan pola sebaran sedimen dasar sebagai bahan pertimbangan dalam upaya perencanaan pengelolaan dasar perairan sekitar Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.

MATERI DAN METODE

Materi pada penelitian merupakan data– data yang dibutuhkan dalam melakukan analisa. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer berupa data sedimen dasar dan data kecepatan arus. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasang surut, peta RBI, dan data bathimetri di perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. .

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode deskriptif. Dalam penentuan lokasi pengukuran dan pengambilan sampel, metode yang digunakan adalah metode pertimbangan (*Purposive Sampling Method*) yaitu lokasi ditentukan dengan pertimbangan yang dapat mewakili keadaan keseluruhan atau karakteristik wilayah lokasi penelitian.

Pengambilan data dilakukan pada bulan September 2018 dan uji laboratorium dilakukan pada bulan Oktober 2018. Lokasi pengambilan sampel dilakukan di lingkungan kawasan perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang dengan koordinat $06^{\circ} 54' 00'' - 06^{\circ} 57' 00''$ LS dan $110^{\circ} 21' 00'' - 110^{\circ} 27' 00''$ BT.

Pasang Surut

Data pasang surut diolah menggunakan metode Admiralty untuk mengetahui nilai komponen pasang surut. Hasil dari pengolahan metode Admiralty diketahui besaran nilai amplitudo (A) dan beda fase (g°) pada tiap komponen pasang surut. Data pasang surut digunakan sebagai syarat batas pemodelan arus pada daerah studi.

Ekstraksi Data Arus

Berdasarkan dari pengukuran data lapangan dengan menggunakan ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) Sontek Argonaut–XR didapatkan besar dan arah arus total. Data yang terekam kemudian diubah file ekstensi dari .arg menjadi .ASCII dengan menggunakan aplikasi View Argonaut, perubahan ekstensi file tersebut dikarenakan file dengan ekstensi .arg tidak kompatibel dengan aplikasi pengolah data lainnya hanya bisa digunakan pada aplikasi *View Argonaut*, sedangkan dengan ekstensi file .ASCII kompatibel dengan aplikasi pengolah data seperti Microsoft Excel.

Pemodelan Arus

Simulasi pemodelan arus di daerah lokasi penelitian dilakukan dengan menggunakan software Mike21 *Flow Model FM* melalui beberapa tahapan yaitu *Pre-processing* atau pengolahan data mentah yaitu pembentukan mesh segitiga tak berstruktur di daerah domain model dilakukan dengan MIKE *Tool Box*. Desain model mesh dengan batas darat, laut dan *triangulation mesh* (DHI 2017). *Processing* model merupakan set–up nilai koefisien parameter model yaitu dengan memasukan data – data parameter dan syarat batas. Data parameter di input dan selanjutnya adalah running model. output dari hasil simulasi model arus antara lain *surface elevation*, *u velocity*, *v velocity*, *current direction*, dan *current speed*. *Post – processing* model pada tahapan ini hasil *running* model selama 30 hari diekstrak dalam format angka di titik pengamatan dan pengukuran lapangan dengan software Mike21. Selanjutnya diproses dengan perangkat lunak ArcGIS 10.3 untuk pembuatan layout (DHI, 2017).

Analisa Ukuran butir sedimen

Analisa ukuran butir dan klasifikasi sedimen menggunakan metode Buchanan. Pada metode Buchanan perlu dilakukan pengayakan dan pipeting sampel sedimen. Setelah metode analisa ukuran

butir sedimen selesai dilakukan, hasil analisa yang didapat kemudian diplotkan pada *sieve graph* dan dilakukan penamaan sesuai dengan segitiga shepard (Shepard 1984).

Pemodelan perubahan dasar perairan

Pada simulasi model numerik distribusi sedimen dasar menggunakan modul Sand Transport pada software Mike21 *Flow Model FM*. Dalam penyelesaian model numerik harus melalui beberapa tahapan model yaitu *Pre-processing* model, pada tahapan ini perlu adanya data ukuran butir sedimen (*grain size*) pada domain lokasi penelitian dan data hasil simulasi hidrodinamika. *Processing* model, set-up nilai koefisien parameter model yaitu dengan memasukan data – data nilai parameter dan output *set-up* model (running model). Setelah data parameter di input maka selanjutnya adalah output dari hasil simulasi model sedimen antara lain, *bed level*, *bed level change*. *Post-processing* model, pada tahapan ini dilakukan dengan menganalisis hasil model sedimen.

Verifikasi

Verifikasi model dilakukan untuk mengetahui tingkat keakuratan dan nilai eror hasil dari pemodelan dengan data lapangan. Perhitungan terhadap besar nilai kesalahan diuji dengan menggunakan analisa statistik untuk pada setiap data.

Verifikasi dilakukan dengan menggunakan CF (*Cost Function*). Menurut George (2010) CF merupakan nilai non-dimensi yang menghitung perbedaan antara nilai model dengan data pengukuran. Kriteria hasil model untuk rumus CF adalah $CF < 1$ sangat bagus, 1–2 bagus, 2–3 masuk akal, > 3 buruk. Perhitungan CF menggunakan rumus :

$$C = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{|D_n - M_n|}{\sigma_D}$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (D_n - \bar{D})^2}$$

Keterangan : N= Jumlah data pengamatan; n: Nilai ke n, dengan n = 1,2,3.....; D:Nilai pengamatan; M: Nilai model; σ : Standar deviasi; \bar{D} : Rata –rata data pengamatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengolahan data didapatkan nilai komponen-komponen pasang surut yaitu S_0 sebesar 97,48 cm, M_2 sebesar 7,55 cm, S_2 7,24 cm, N_2 sebesar 3,36 cm, K_1 sebesar 15,57 cm, O_1 sebesar 7,57 cm, M_4 sebesar 0,39 cm, dan MS_4 sebesar 0,61, K_2 sebesar 1,96 cm, P_1 sebesar 5,80 cm seperti yang disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1. maka diperoleh nilai MSL (*Mean Sea Level*) sebesar 97,48 cm, HHWL (*Highest High Water Level*) sebesar 149,53 cm, LLWL (*Lowest Low Water Level*) sebesar 50,75 cm, HWL (*High Water Level*) sebesar 146 cm, LWL (*Low Water Level*) sebesar 64 cm, yang selanjutnya tersaji pada Tabel 2.

Tabel 1. Komponen pasang surut

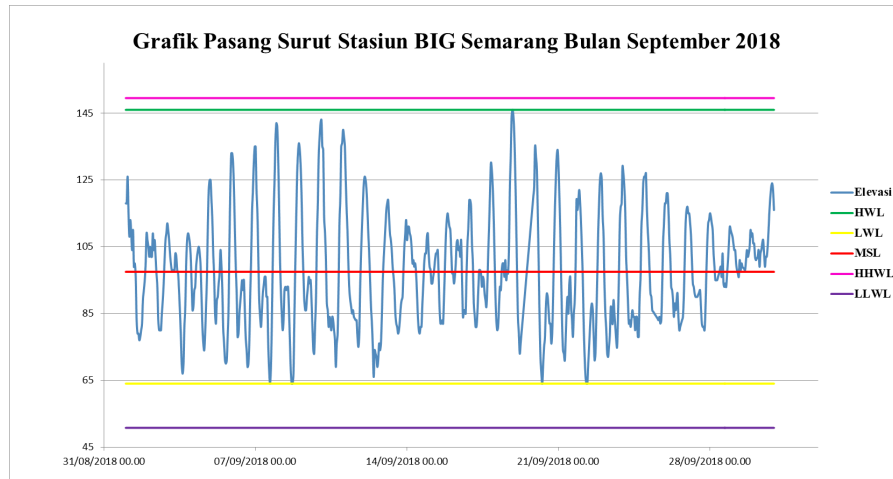
	S_0	M_2	S_2	N_2	K_1	O_1	M_4	MS_4	K_2	P_1
Amplitudo	97,48	7,55	7,24	3,36	15,57	7,57	0,39	0,61	1,96	5,80
Beda fase	0,50	1,99	1,35	1,74	1,13	1,16	2,07	1,69	1,35	1,13

Tabel 2. Analisa Kedudukan muka air laut

	MSL	HHWL	LLWL	HWL	LWL
Elevasi	97,48	149,53	50,75	146	64

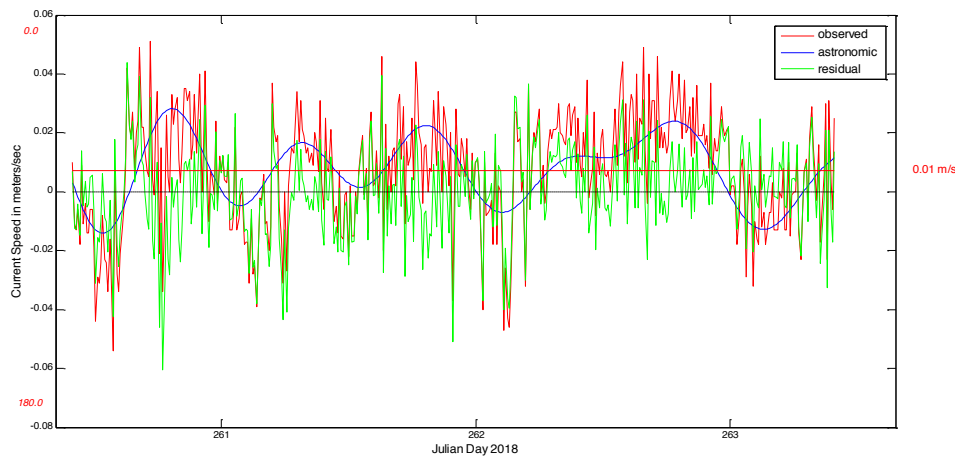
Berdasarkan grafik pasang surut pada Gambar 2 menunjukkan bahwa mengalami dua kali pasang

bahwa tipe pasang surut di daerah Semarang adalah campuran condong harian tunggal hal tersebut ditunjukkan pada grafik yang mengalami satu kali atau dua kali pasang dengan interval yang berbeda. Selain itu berdasarkan hasil analisis komponen pasang surut didapat nilai bilangan formzhal sebesar 1,70, dimana $1,5 < N_f < 3$ termasuk kedalam tipe pasang surut campuran condong harian tunggal.



Gambar 1. Grafik pasang surut

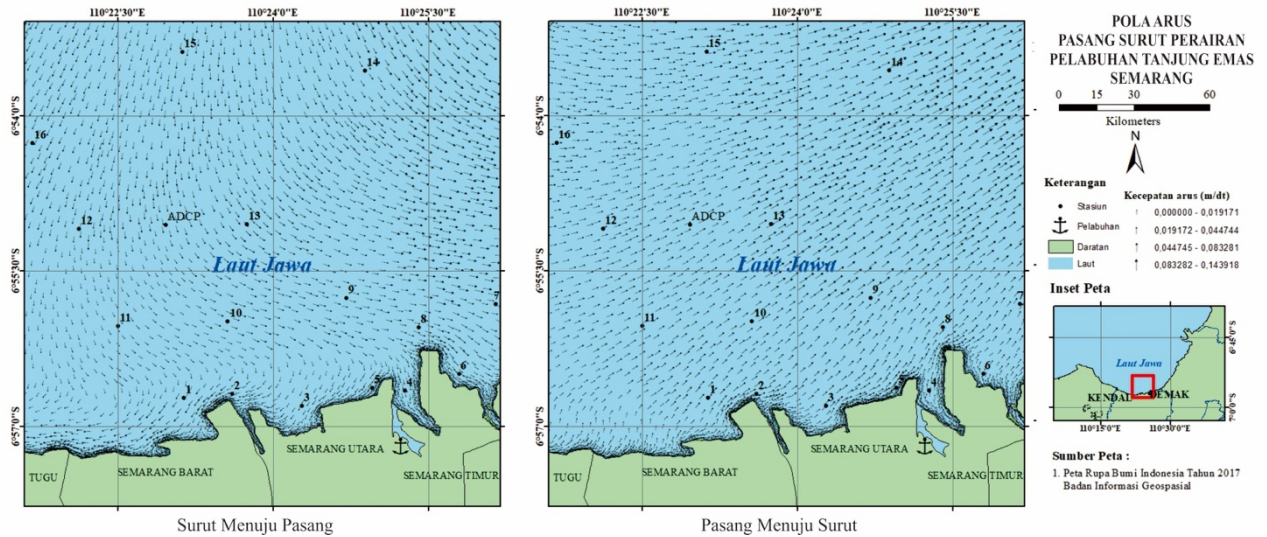
Berdasarkan hasil pengukuran arus lapangan bahwa arus dominan yang terjadi di perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang merupakan arus residu hal tersebut ditinjau berdasarkan dari hasil grafik pengolahan arus menggunakan *WorldCurrent 1.03* yang menunjukkan bahwa grafik arus lapangan mendekati dengan grafik arus residu, hal ini ditunjukkan dengan Gambar 3.



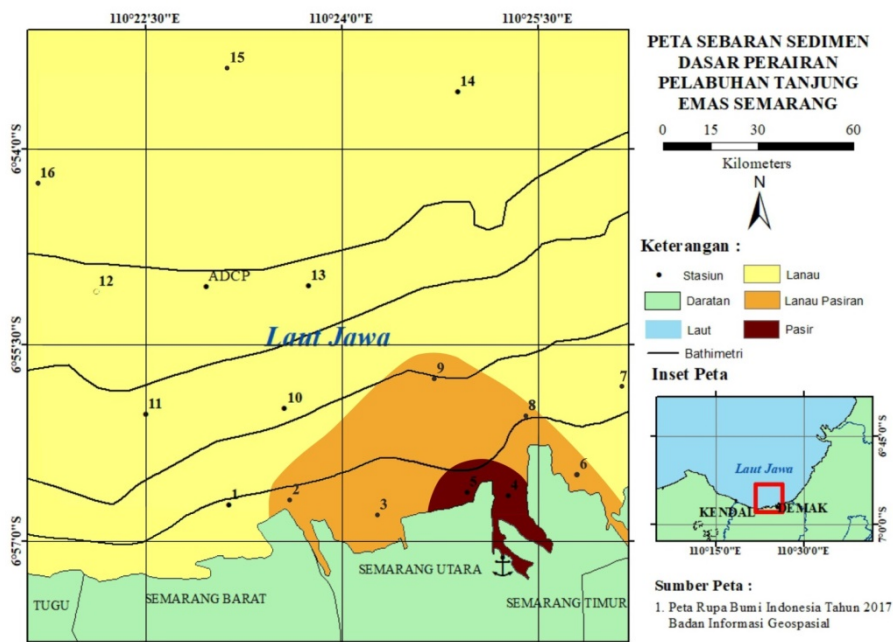
Gambar 2. Grafik arus time series

Hasil pengolahan model pola arus Gambar 3 kondisi surut menuju pasang diketahui bahwa arus bergerak dari timur laut menuju selatan dimana arah arus cenderung mendekati pantai, sedangkan pada kondisi pasang menuju surut pada menunjukkan arah arus bergerak dari Barat menuju Timur dimana arah arus cenderung menjauhi pantai, hal ini sesuai dengan pernyataan Surinati (2007) jika muka air naik arus mengalir mendekati pantai dan jika muka air turun maka arus mengalir menjauhi pantai. Ditinjau berdasarkan gradien besaran vektor arus dari hasil model, kecepatan arus pada surut menuju pasang dan pasang menuju surut lebih tinggi. Pada kondisi pasang tertinggi dan surut terendah kecepatan arus cenderung lebih rendah hal ini ditinjau dari gradien besaran vektor dari hasil model yang berukuran lebih kecil/pendek menggambarkan kecepatan arus rendah, dan apabila besaran vektor berukuran lebih besar/panjang menggambar kecepatan arus tinggi. Pada hasil model menunjukkan besaran vektor lebih bervariasi. Pada saat kondisi surut menuju pasang kecepatan arus lebih besar hal ini ditunjukkan dengan ukuran vektor lebih besar/panjang, dan pada saat kondisi pasang menuju surut

lebih rendah hal ini ditunjukkan dengan ukuran vektor lebih kecil/pendek. Menurut Brown et al., (1989) bahwa kecepatan arus pasut minimum akan terjadi saat surut terendah dan pasang tertinggi, sedangkan kecepatan maksimum terjadi pada saat transisi surut menuju pasang dan pasang menuju surut sehingga menyebabkan perubahan kecepatan dan arah arus pasut.



Gambar 3. Pemodelan arus

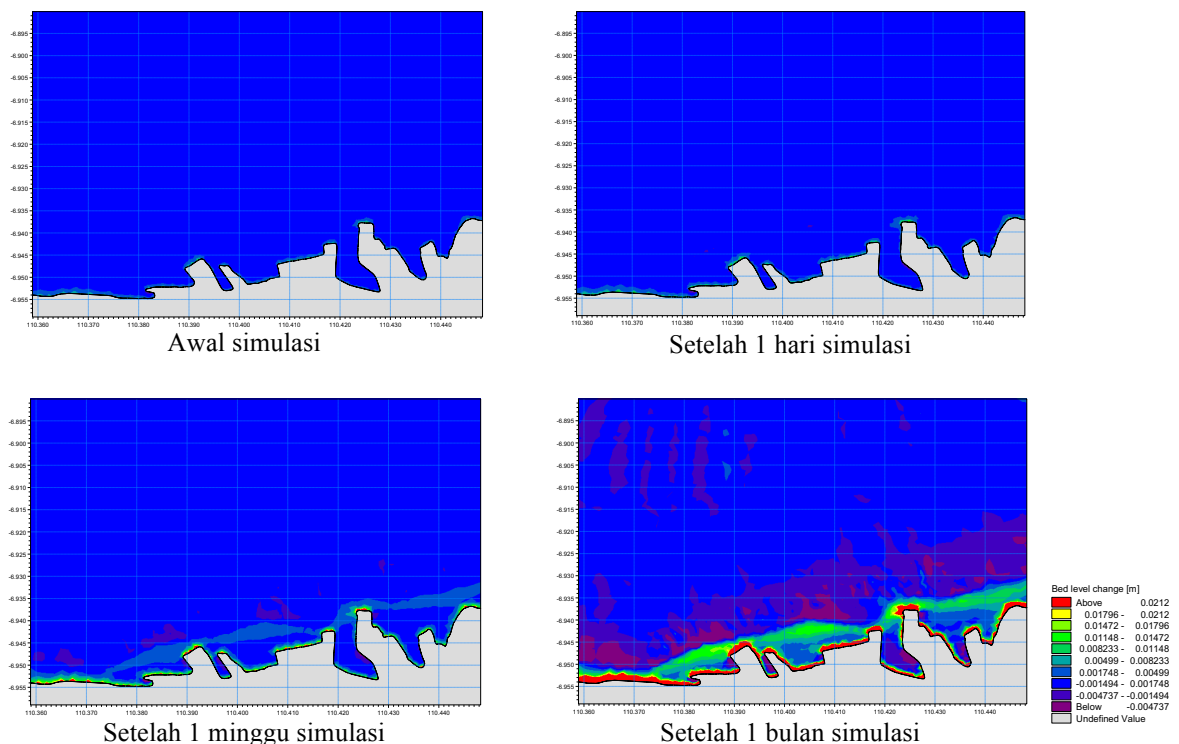


Gambar 4. Sebaran jenis sedimen dasar

Hasil analisis sedimen dasar menunjukkan ukuran butir sedimen pada Gambar-4 didominasi substrat berupa lanau. Pada Gambar 5 menunjukkan dominasi ukuran butir secara grafis. Ukuran butir di lepas pantai didominasi oleh lanau yang merupakan ukuran butir sedimen berukuran halus, maka arus kecil bisa mentransportkan ukuran tersebut. Ukuran butir lanau tersebut disebabkan karena arus yang kecil di wilayah lepas pantai. Sedimen dengan ukuran butir lanau dominan di wilayah yang memiliki kedalaman yang cukup dalam hal ini sesuai dengan pernyataan Hutabarat (2006) sebagian besar dasar laut yang dalam ditutupi oleh jenis partikel-partikel yang berukuran kecil yang terdiri dari

sedimen halus. Tinggi rendahnya konsentrasi sedimen dipengaruhi oleh arus. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa jenis sedimen memperlihatkan arah sebaran bergerak dari selatan dengan ukuran butir sedimen lebih besar ke arah utara semakin kecil. Pola sebaran jenis sedimen dasar mengikuti pola arus, hal ini dikarenakan sedimen yang terangkut oleh arus. Arus dalam hal ini mempunyai peran yang sangat dominan terhadap angkutan sedimen. Satria (2017) yang menyatakan bila kecepatan arus pada perairan berkurang maka sedimen dengan ukuran butir besar akan terakumulasi terlebih dahulu dikarenakan energi arus sudah tidak mampu membawa sedimen tersebut.

Berdasarkan hasil model transpor sedimen menunjukkan adanya perubahan dasar perairan. Perubahan kedalaman laut/dasar perairan mengindikasikan perubahan dasar perairan selama waktu simulasi berlangsung. Perubahan yang terjadi di dasar perairan dapat berupa proses sedimentasi yang ditandai dengan laju perubahan dasar perairan bernilai positif atau proses erosi yang ditandai dengan laju perubahan dasar perairan bernilai negatif. Pada daerah sepanjang garis pantai pada simulasi 1 hari menunjukkan adanya sedimentasi dengan cakupan yang kecil, pada simulasi 7 hari menunjukkan pada daerah sepanjang garis pantai sedimen yang mengendap mulai terakumulasi dengan cakupan luas dan pada daerah dekat pantai terjadi erosi dengan cakupan luasan yang kecil. Pada simulasi 1 bulan dimana pada daerah sepanjang garis pantai sedimen mengalami pengendapan dan mulai terakumulasi sehingga menyebabkan daerah sedimentasi semakin luas dan pada laut terjadi erosi. Hal ini terjadi karena transpor sedimen dipengaruhi oleh arus yang mengangkut material sedimen untuk berpindah dan mengendap, pada daerah laut kecepatan arus lebih besar daripada daerah sepanjang garis pantai, semakin besar kecepatan arus semakin banyak sedimen yang terangkut dan semakin berkurangnya kecepatan arus maka sedimen yang berukuran butir lebih besar akan mengalami pengendapan dan terakumulasi pada dasar perairan. Triatmodjo (1999) yang menyatakan bila kecepatan arus pada perairan berkurang maka sedimen dengan ukuran butir besar akan terakumulasi terlebih dahulu dikarenakan energi arus sudah tidak mampu membawa sedimen tersebut.



Gambar 5. Model perubahan dasar perairan (*bed level change*)

KESIMPULAN

Pola arus pada saat surut menuju pasang arus mendekati pantai dengan arah arus bergerak dari barat laut menuju ke timur dan pada saat pasang menuju surut arus menjauhi pantai dengan arus bergerak dari timur laut menuju barat daya dengan kecepatan yang bervariasi. Perairan Pelabuhan Tanjung Emas Semarang terdapat 3 jenis ukuran butir sedimen yaitu, pasir, lanau pasiran dan lanau. Berdasarkan hasil model pada daerah sepanjang garis pantai terjadi sedimentasi sebesar 0,02 m dan pada daerah laut terjadi erosi sebesar kurang dari - 0,005 m .

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, E., A. Colling., D. Park., J. Phillips., D. Rothery., J. Wright. 2001. *Ocean Circulation* Second Edition. Milton Keynes: Open University.
- DHI Manual Software . 2017. Mike 21 Flow Model FM Sand Transport Module. Denmark
- Firdaus, S.R., Siddhi, S., Alfi S. 2013. Studi Pengerukan Alur Pelayaran pelabuhan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Oseanografi Universitas Diponegoro*, 2(3): 274-279.
- George, M. S. 2010. Validation Of A Hybrid Coordinate Ocean Model For The Indian Ocean. *Journal of Operational Oceanography*. Mohn–Sverdrup Center for Global Ocean Studies and Operational Oceanography/Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Bergen, Norway
- Hutabarat, S., dan Evans, S. M. 2006. *Pengantar Oseanografi*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Jayakusuma, H., dan Hasanudin. 2015. Desain Kapal Keruk (Dredger) Alur Pelayaran Pelabuhan Tanjung emas Semarang. *Jurnal Teknik ITS* 4(1).
- Nugroho, S. H, dan Abdul, B. 2014. Sebaran Sedimen Berdasarkan Analisis Ukuran Butir Di Teluk Weda, Maluku Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(1): 229-240.
- Poerbandono., dan Djunarsjah, E. 2005. *Survei Hidrografi*. Refika Aditama. Bandung.
- Satria, F.W., Siddhi, S., Jarrot, M. 2017. Analisa Pola Sebaran Sedimen Dasar Muara Sungai Batang Arau Padang. *Jurnal Oseanografi*, 6(1): 47 – 53.
- Satriadhi, A. 2013. Kajian Transpor Sedimen Tersuspensi Untuk Perencanaan Pembangunan Pelabuhan Bojonegara Banten. *Buletin Oseanografi Marina*, 2: 68 - 77
- Sugianto, D. N. 2009. Simulasi Model Transport Sedimen Tersuspensi Untuk Mendukung Pembangunan Pelabuhan Teluk Bayur, Sumatera Barat. *Jurnal Teknologi lingkungan*, 5(2): 46–54.
- Surinati, D. 2007. Pasang Surut dan Energinya. *Jurnal Oseana LIPI* 33(1): 15-22.
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta
- Wahyudi, dan Jupantara D. 2004. Studi Simulasi Sedimentasi Akibat Pengembangan Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, *Jurnal Teknologi Kelautan ITS, Surabaya*, 8(2):74-85.
- Wibowo, M. 2018. Pemodelan Angkutan Sedimen Di Perairan Patimban Untuk Rencana Pembanguna Pelabuhan *Jurnal Kelautan Nasional*, 13(1): 27-38.