

PEMODELAN TRANSPOR SEDIMEN DI ALUR PELAYARAN PELABUHAN TELUK BATANG, KALIMANTAN BARAT

Daryana¹, Abdul Chalid², Didin Kusdian³
^{1,2,3}Magister Teknik Sipil, Universitas Sangga Buana

¹korespondensi: akddaryana@gmail.com

ABSTRACT

The entrance waterway to Batang Bay Port has shallow groove spots, making it difficult for ships to enter port, where the depth of the channel in the shallow area is less than 2,5 meters. With this siltation, it is necessary to maintain waterway and port pools because the dynamic conditions of sea waters including waves, currents and sediment transport can lead to changes in the morphological conditions of the seabed, one of which is silting in waterway and port pools due to the sedimentation process. Sedimentation pattern modeling was carried out to obtain the rate and volume of sediment transport at the bay inlet location with a numerical method using the MIKE 21 Mike 21/3 Integrated Models Couple Model FM software from DHI with hydrodynamic, hincasting and mud transport modules. Hydrodynamic and wave modeling was carried out to obtain current patterns due to tides and waves which will then be used for sedimentation modeling using the mud transport module to obtain the distribution pattern of suspended sediment, spot depth changes and sediment volume. The distribution pattern of suspended sediment tends to be concentrated in the upstream area and locations that become silting spots in the bay area. In the entire area of waterway, the value of the sediment transport rate for 1 simulation year is 0,147 m/year with the sediment transport volume at that spot of 16.148,59 m³.

Keywords: waterway, sedimentation, hydrodynamic model, sediment transport.

ABSTRAK

Alur masuk Pelabuhan Teluk Batang terdapat spot alur yang dangkal sehingga menyulitkan kapal untuk keluar maupun masuk pelabuhan yang mana kedalaman alur pada area dangkal kurang dari 2,5 meter. Dengan adanya pendangkalan tersebut maka perlu adanya pemeliharaan alur pelayaran dan kolam pelabuhan karena kondisi dinamis perairan laut meliputi gelombang, arus dan transpor sedimen dapat mengakibatkan perubahan kondisi morfologi dasar laut, salah satunya adalah pendangkalan pada alur pelayaran dan kolam pelabuhan akibat proses sedimentasi. Pemodelan pola sedimentasi dilakukan untuk mendapatkan laju dan volume transportasi sedimen pada lokasi alur masuk pelabuhan dengan metode numerik yang menggunakan software MIKE 21 Mike 21/3 Integrated Models Couple Model FM dari DHI dengan modul hidrodinamik, hincasting dan mud transport. Pemodelan Hidrodinamika dan gelombang dilakukan untuk mendapatkan pola arus akibat pasang surut dan gelombang yang kemudian akan digunakan untuk pemodelan sedimentasi dengan menggunakan modul mud transport untuk mendapatkan pola sebaran sedimen tersuspensi, spot perubahan kedalaman dan besar volume sedimen. Pola sebaran sedimen tersuspensi cenderung terkonsentrasi pada area hulu dan lokasi yang menjadi spot pendangkalan pada area teluk. Pada seluruh area alur pelayaran didapatkan nilai laju transportasi sedimen selama 1 tahun simulasi yaitu sebesar 0.147 m/ tahun dengan volume transportasi sedimen pada spot tersebut sebesar 16,148.59 m³.

Kata kunci: alur, sedimentasi, pemodelan hidrodinamika, transportasi sedimen.

PENDAHULUAN

Alur pelayaran maupun kolam pelabuhan merupakan bagian dari fasilitas pelabuhan. Alur pelayaran merupakan area yang digunakan untuk mengarahkan kapal yang akan masuk ke kolam pelabuhan (1). Alur pelayaran dan kolam pelabuhan harus cukup tenang terhadap

pengaruh gelombang dan arus. Perencanaan alur ditentukan berdasarkan kapal terbesar rencana yang akan tambat ke dermaga dan kondisi meteorologi dan oseanografi. Untuk menunjang keamanan dan keselamatan pelayaran, maka fasilitas tersebut harus bebas dari rintangan baik kerangka kapal ataupun

gugusan karang sehingga kapal-kapal yang keluar/masuk pelabuhan terhindar dari bahaya/kecelakaan. Hal tersebut diperjelas dalam PP No. 5 Tahun 2010 tentang Kenavigasian terkait segala sesuatu yang berkaitan dengan sarana bantu navigasi-pelayaran, telekomunikasi-pelayaran, hidrografi dan meteorologi, alur dan perlintasan, pengerukan dan reklamasi, pemanduan, penanganan kerangka kapal, salvage, dan pekerjaan bawah air untuk kepentingan keselamatan pelayaran kapal. PP No.64 Tahun 2015 tentang Kepelabuhanan terkait tempat berlabuh kapal yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan sebagai tempat perpindahan intra dan antar moda transportasi. Untuk keperluan-keperluan di atas, maka terlebih dahulu perlu dilakukan kajian dalam rangka mengindikasikan adanya hambatan pelayaran di sekitar pelabuhan dan memberikan gambaran prospek pengembangan alur/kolam dan selanjutnya dapat ditindaklanjuti sesuai hasil kajian.

Alur masuk Pelabuhan Teluk Melano/Teluk Batang terdapat spot alur yang dangkal sehingga menyulitkan kapal untuk keluar maupun masuk Pelabuhan Teluk Melano/ Teluk Batang yang mana kedalaman alur pada area dangkal kurang dari 2,5 meter. Berdasarkan hasil survei dengan adanya pendangkalan tersebut maka perlu adanya pemeliharaan alur pelayaran dan kolam pelabuhan dari suatu pelabuhan karena kondisi dinamis perairan laut meliputi gelombang, arus dan transpor sedimen dapat mengakibatkan perubahan kondisi

morfologi dasar laut, salah satunya adalah pendangkalan pada alur pelayaran dan kolam pelabuhan akibat proses sedimentasi.

Sedimentasi menjadi permasalahan yang sering terjadi dalam kolam pelabuhan (2). Sedimen yang mengendap di alur pelayaran dan kolam pelabuhan dapat mengurangi kedalaman sehingga sarat air (*draft/draught*) kapal maksimum yang dapat masuk secara aman menjadi berkurang. Hal ini berdampak pada terbatasnya ukuran kapal maksimum yang dapat dilayani oleh pelabuhan. Konsekuensi dari hal tersebut adalah berkurangnya jumlah bongkar muat barang di pelabuhan sehingga dapat mengurangi profit margin suatu pelabuhan. Solusi penanggulangan sedimentasi untuk menjaga kedalaman adalah dengan melakukan *maintenance dredging* secara berkala dengan mengeruk dan membuang sedimen ke area pembuangan.

Sedimentasi di kawasan pesisir khususnya kasus di alur pelayaran dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti sedimentasi akibat pengaruh angkutan sedimen sejajar pantai, sedimentasi yang diakibatkan oleh *cross-shore transport*, maupun sedimentasi yang disebabkan oleh adanya pengaruh inflow dari sungai (3). Kecepatan arus dan arah arus adalah faktor pembawa sedimen ke areal alur pelayaran. Sedimen menjadi penyebab pendangkalan di alur pelayaran. Perairan yang mengalami tingkat sedimentasi yang sangat tinggi, pengerukan digunakan untuk memelihara (*maintenance dredging*) kedalaman suatu alur pelayaran akibat adanya proses pergerakan dan pengendapan lumpur

(sedimen transpor) (4). Pengerukan berkala penting dilakukan untuk menjaga kestabilan kedalaman alur. Selama dan setelah pengerukan dapat dilihat perubahan konsentrasi sedimen dengan cara dilakukan pemodelan (5). Model sebaran sedimen dapat digunakan untuk mitigasi dan rehabilitasi wilayah pesisir (6).

Sedimen adalah jenis polutan yang memiliki berat dan kemampuan tersuspensi paling tinggi di antara polutan lainnya (7). Transpor sedimen adalah pergerakan atau perpindahan sedimen ketika mendapat gaya yang cukup besar atau tegangan geser oleh perpindahan air.

Dalam rangka menjaga fasilitas pelabuhan tersebut, pada pasal 35 Peraturan Pemerintah (PP) No.61 Tahun 2009 tentang Kepelabuhanan disebutkan bahwa penyediaan serta pemeliharaan alur pelayaran dan kolam pelabuhan merupakan tanggung jawab penyelenggara pelabuhan. Berdasarkan Keputusan Menteri Perhubungan No. 30 Tahun 2020 Tentang Rencana Induk Pelabuhan Nasional hierarki Pelabuhan Teluk Melano/Teluk Batang adalah Pelabuhan Pengumpul. Berdasarkan uraian di atas dapat dikatakan bahwa dalam upaya kegiatan pemeliharaan alur pelayaran dan kolam pelabuhannya maka diperlukan beberapa parameter teknis yang harus diketahui dan dianalisis dengan tepat yang diwujudkan dalam bentuk suatu kegiatan Studi Pemodelan

Transpor Sedimen di Alur Pelayaran Pelabuhan Teluk Batang, Kalimantan Barat.

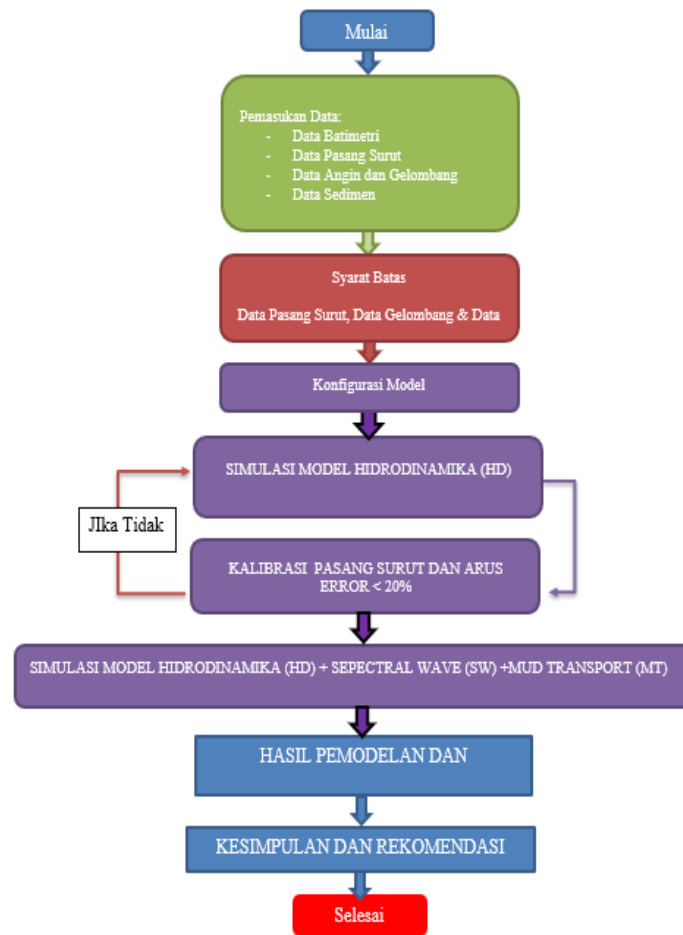
Penelitian ini akan membahas Pemodelan Transpor Sedimen di Alur Pelayaran Pelabuhan Teluk Batang Kalimantan Barat. Pemodelan yang akan dilakukan berupa pemodelan numerik yang merupakan penelitian kualitatif.

Pemodelan numerik adalah merupakan suatu metode yang sering dipakai untuk menggambarkan proses hidrodinamika di perairan sebagai penggerak pokok dari proses pergerakan polutan di daerah perairan contohnya limbah, sedimen, dan lainnya (8).

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah apakah terjadi pola sedimentasi akibat pengaruh interaksi lingkungan laut arus pasang surut dan gelombang yang terjadi di lokasi alur pelayaran Pelabuhan Teluk Batang? dan berapa laju sedimentasi dan volume sedimentasi yang terjadi di lokasi alur pelayaran Pelabuhan Teluk Batang? Sedangkan tujuan dalam penelitian adalah mengetahui pola sedimentasi akibat pengaruh interaksi lingkungan laut arus pasang surut dan gelombang yang terjadi di lokasi alur pelayaran Pelabuhan Teluk Batang, dan mengetahui laju sedimentasi dan volume sedimentasi yang terjadi di lokasi alur pelayaran Pelabuhan Teluk Batang.

METODE

Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada diagram berikut ini.



Gambar 1: Lokasi Titik Pengamatan Hidrodinamika

Penelitian dimulai dengan pengumpulan data meliputi data batimetri, pasang surut, arus, gelombang dan sedimen. Dari data tersebut digunakan sebagai syarat batas dan selanjutnya dibuat konfigurasi model. Metode yang digunakan adalah metode numerik dengan bantuan software MIKE 21 untuk pemodelan transpor sedimen.

Pemodelan transpor sedimen menggunakan bantuan program MIKE 21 merupakan program pemodelan yang dapat diaplikasikan untuk simulasi hidrolika dan fenomena terkait dengan perairan. Beberapa modul-modul MIKE 21 yang digunakan dalam pemodelan di antaranya modul *Hydrodynamic (HD)* dan modul *Sand*

Transport (ST). Persamaan transpor untuk konsentrasi sedimen tersuspensi intra-gelombang, termasuk erosi dan laju pengendapan, baru diimplementasikan dalam model (9). Model hidrolis dua dimensi MIKE 21C yang digunakan, telah dikembangkan secara khusus untuk mensimulasikan aliran 2D dan perubahan morfologi (10).

Persamaan Pengatur Model Hydrodynamic (HD)

MIKE 21 hydrodynamic (HD) modul adalah model matematik untuk menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya kondisi angin tertentu dan muka air yang sudah ditentukan di *open*

model boundaries. Modul HD ini mensimulasi perbedaan muka air dan arus dalam menghadapi berbagai fungsi gaya di danau, estuari dan pantai. Efek dan fasilitasi yang termasuk di dalamnya yaitu:

1. *bottom shear stress*
2. *wind shear stress*
3. *barometric pressure gradients*
4. *coriolis force*
5. *momentum dispersion*
6. *sources and sinks*
7. *evaporation*
8. *flooding and drying*
9. *wave radiation stresses*

Model HD ini menstimulasi aliran dua dimensi tidak langgeng dalam fluida satu lapisan (secara vertikal homogen). Persamaan berikut, konservasi massa dan momentum, menggambarkan aliran dan perbedaan muka air:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \dots\dots\dots [1]$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \dots\dots\dots [2]$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial xy} (p_a) = 0 \dots\dots\dots [3]$$

Mud Transport Modul

Modul *Mud Transport* (MT) merupakan aplikasi model dari angkutan sedimen kohesif. *MIKE 21 Flow Model* FM adalah satu sistem

modeling berbasis pada satu pendekatan mesh fleksibel. Dikembangkan untuk aplikasi di dalam *oceanographic*, rekayasa pantai dan alam lingkungan muara sungai. *Mud Transport Module* menghitung hasil dari pergerakan material kohesif berdasarkan kondisi aliran di dalam modul hidrodinamik serta kondisi gelombang dari perhitungan gelombang (modul *spectral wave*).

Persamaan pengatur yang digunakan dalam modul ini adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{z(1+a-e^z)}{e^z(z-1)+1} \frac{1}{U_0} \frac{dU_0}{dt} + \frac{30K}{k} \sqrt{\frac{K^2 U_0^2 + z^2 U_{f0}^2 + 2KzU_{f0}U_0 \cos \gamma}{e^z(z-1)+1}} \dots\dots\dots [4]$$

Beberapa item *output* yang dihasilkan dari Modul Mud Transport (MT) ini adalah :

1. *Suspended Sediment Concentration (SSC)*
2. *Deposition Rate*
3. *Rate of bed level change*
4. *Bed level change*
5. *Bed level*

Penelitian ini akan membahas tentang Pemodelan Transpor Sedimen di Alur Pelayaran Pelabuhan Teluk Batang Kalimantan Barat. Pemodelan yang akan dilakukan berupa pemodelan numerik yang merupakan penelitian kualitatif. Pemodelan numerik adalah merupakan suatu metode yang sering dipakai untuk menggambarkan proses hidrodinamika di perairan sebagai penggerak pokok dari proses pergerakan polutan di daerah perairan contohnya limbah, sedimen, dan lainnya (8).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Hidrodinamika

Kalibrasi model dilakukan untuk mendapatkan model yang sesuai dengan kondisi lapangan yaitu dengan cara membandingkan data elevasi muka air dan arus hasil simulasi model dengan data hasil survei di titik lokasi yang sama. Kalibrasi model dilakukan dengan menggunakan nilai *chezy number* (*bed resistance*) yang berbeda-beda, harga error terkecil akan digunakan untuk simulasi tahap

berikutnya. harga error tidak boleh melebihi dari 20%. Adapun persamaan untuk memperoleh harga error adalah:

$$Error = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N \left| \frac{\dot{x}_i - x_i}{TP} \right| \right] * 100\% \dots\dots [5]$$

Dari Tabel 1 rekapitulasi harga *error* elevasi muka air didapatkan bahwa dari ketiga *chezy number* yang digunakan memiliki nilai error yang sudah memenuhi harga error maksimal (20%). Nilai *chezy number* dengan harga error terkecil yaitu 32, 40 dan 36.

Tabel 1: Rekapitulasi Harga Error Kalibrasi Elevasi Muka Air

Parameter Statistik	Cn32	Cn36	Cn40
Min (Data Lapangan)		1,00	
Mix (Data Lapangan)		3,62	
Min (Data Model)	1,10	1,08	1,07
Max (Data Model)	3,57	3,59	3,62
$\Sigma(X_i - x_i)$	4,47	10,64	5,43
Tunggang Pasut	2,62	2,91	2,91
N (Jumlah Data)	643	643	643
ERROR (%)	0,27%	0,57%	0,29%

Sumber : Hasil Pengolahan, 2022

Dari Tabel 2 rekapitulasi harga error kecepatan arus didapatkan bahwa dari ketiga nilai *chezy number* yang digunakan memiliki nilai error

yang sudah memenuhi harga error maksimal (20%). Nilai *chezy number* dengan harga error terkecil yaitu 40, 36 dan 32.

Tabel 2: Rekapitulasi Harga Error Kalibrasi Arus

Parameter Statistik	Cn32	Cn36	Cn40
MIN (Lapangan)		0,02	
MAX (Lapangan)		0,66	
Min (Model)	0,02	0,01	0,03
Max (Model)	0,59	0,61	0,61
$\Sigma(X_i - x_i)$	2,62	2,56	2,54
Tunggang Pasut	0,64	0,64	0,64
N (Jumlah Data)	26	26	26
ERROR (%)	15,77%	15,39%	15,2%

Sumber : Hasil Pengolahan, 2022

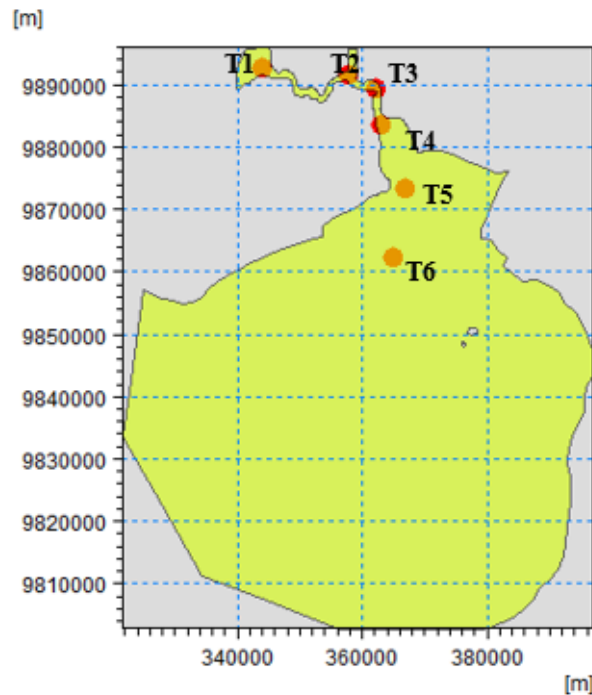
Hasil perhitungan harga *error* dapat dilihat rekapitulasi harga *error* kalibrasi arus, nilai *Chezy number* 40 memiliki nilai error terkecil dari ketiga nilai *Chezy number* lainnya,

sehingga untuk pemodelan modul *Mud Transport* (MT) menggunakan nilai *Chezy number* 40.

Hasil Analisis Hidrodinamika Arus

Pemodelan Hidrodinamika dilakukan dengan meninjau kondisi elevasi muka air serta kecepatan arus. Kondisi yang diamati dalam empat kondisi yaitu kondisi menuju pasang purnama dan pasang purnama, menuju surut purnama dan surut purnama, menuju pasang

perbani dan pasang perbani dan menuju surut perbani dan surut perbani. Selain itu juga dilakukan tinjauan titik lokasi sebanyak enam titik, dimana titik-titik tersebut merupakan titik pengamatan yang berlokasi pada area Selat Maya, Kolam Pelabuhan dan tiga titik di alur-pelayaran Pelabuhan Teluk Batang.



Gambar 2: Lokasi Titik Pengamatan Hidrodinamika

Di antara keenam titik pengamatan tersebut memiliki besar tunggang pasut yang sama,

adapun besar tunggang pasut sebagai adalah sebagai berikut:

Tabel 3: Tunggang Pasang Surut pada Titik Pengamatan

Titik Pengamatan	Tunggang Pasang Surut [m]	Keterangan
T1	2,60	Selat Maya
T2	2,57	Selat Maya
T3	2,55	Kolam pelabuhan Teluk Batang
T4	2,65	Alur-pelayaran pelabuhan Teluk Batang
T5	2,69	Alur-pelayaran pelabuhan Teluk Batang
T6	2,72	Alur-pelayaran pelabuhan Teluk Batang

Sumber : Hasil Pengamatan Lapangan, 2020

Kecepatan arus di ke enam titik pengamatan menunjukkan besaran arus yang bervariasi di

masing-masing waktu. Titik T3 sampai dengan T5 memiliki nilai kecepatan arus lebih besar

dibandingkan dengan titik T1, T2 dan T6 yang berada di Selat Maya dan sisi terluar Alur-pelayaran pelabuhan Teluk Batang.

Tabel 4: Kecepatan Arus pada Titik Pengamatan

Titik Pengamatan	Kecepatan Arus Rata-Rata [m/s]	Kecepatan Arus Max [m/s]	Keterangan
T1	0.083	0.227	Selat Maya
T2	0.092	0.204	Selat Maya
T3	0.170	0.456	Kolam pelabuhan Teluk Batang
T4	0.139	0.380	Alur-pelayaran pelabuhan Teluk Batang
T5	0.158	0.477	Alur-pelayaran pelabuhan Teluk Batang
T6	0.115	0.299	Alur-pelayaran pelabuhan Teluk Batang

Sumber : Hasil Pengamatan Lapangan

Kondisi Menuju Pasang dan Pasang Purnama

Elevasi muka air pada saat kondisi menuju pasang purnama berkisar antara +0,64 mLWS sampai dengan +1,76 mLWS, dengan distribusi kecepatan arus berkisar antara 0,08 m/s sampai dengan 1,12 m/s, dimana pola arah arus cenderung bergerak dari selatan menuju perairan Teluk Batang dengan distribusi kecepatan arus tertinggi berada di bagian Selat Maya. Sementara itu, pada saat kondisi pasang purnama terlihat elevasi muka air bagian dalam Teluk Batang berkisar antara +2,115 mLWS sampai dengan +2,325 mLWS, arah arus pada kondisi pasang purnama masih bergerak menuju arah Teluk Batang. Kecepatan arus pada kondisi pasang berkisar antara 0,05 m/s sampai dengan 0,70 m/s, dengan kecepatan arus tertinggi berada lokasi Selat Maya.

Kondisi Menuju Surut dan Surut Purnama

Elevasi muka air pada saat kondisi menuju surut purnama berkisar antara +0,24 mLWS sampai dengan +0,80 mLWS, dengan distribusi

kecepatan arus berkisar antara 0,06 m/s sampai dengan 0,84 m/s, dimana pola arah arus cenderung bergerak dari perairan Teluk Batang menuju selatan, dengan distribusi kecepatan arus tertinggi berada di bagian Selat Maya. Sementara itu, pada saat kondisi surut purnama terlihat elevasi muka air bagian dalam Teluk Batang berkisar antara +0,025 mLWS sampai dengan +0,250 mLWS, arah arus pada kondisi surut purnama masih bergerak dari Teluk Batang menuju arah selatan. Kecepatan arus pada kondisi pasang berkisar antara 0,25 m/s sampai dengan 0,225 m/s, dengan kecepatan arus tertinggi berada lokasi Selat Maya.

Kondisi Menuju Pasang dan Pasang Perbani

Elevasi muka air pada saat kondisi menuju pasang perbani berkisar antara +1,13 mLWS sampai dengan +1,27 mLWS, dengan distribusi kecepatan arus berkisar antara 0,025 m/s sampai dengan 0,375 m/s, dimana pola arah arus cenderung bergerak dari selatan menuju perairan Teluk Batang dengan distribusi kecepatan arus tertinggi berada di bagian Teluk

Batang dan Selat Maya. Sementara itu, pada saat kondisi pasang perbani terlihat elevasi muka air bagian dalam Teluk Batang berkisar antara +1,320 mLWS sampai dengan +1,423 mLWS, arah arus pada kondisi pasang purnama masih bergerak menuju arah Teluk Batang. Kecepatan arus pada kondisi pasang berkisar antara 0,025 m/s sampai dengan 0,375 m/s, dengan kecepatan arus tertinggi berada lokasi Selat Maya.

Kondisi Menuju Surut dan Surut Perbani

Elevasi muka air pada saat kondisi menuju surut perbani berkisar antara +0,660 mLWS sampai dengan +0,870 mLWS, dengan distribusi kecepatan arus berkisar antara 0,04 m/s sampai dengan 0,448 m/s, dimana pola arah arus

cenderung bergerak dari perairan Teluk Batang menuju selatan, dengan distribusi kecepatan arus tertinggi berada di bagian Selat Maya. Sementara itu, pada saat kondisi surut perbani terlihat elevasi muka air bagian dalam Teluk Batang berkisar antara +0,505 mLWS sampai dengan +0,575 mLWS, arah arus pada kondisi surut purnama masih bergerak dari Teluk Batang menuju arah selatan. Kecepatan arus pada kondisi pasang berkisar antara 0,025 m/s sampai dengan 0,300 m/s, dengan kecepatan arus tertinggi berada lokasi Teluk Batang dan Selat Maya.

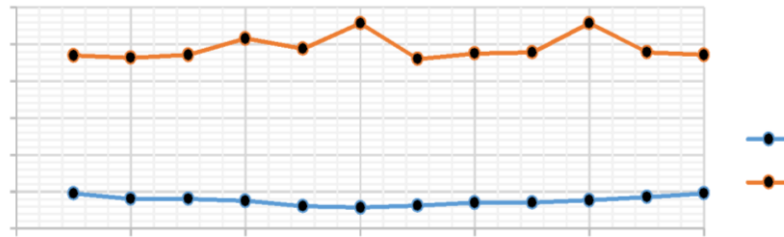
Hasil Analisis Gelombang

Hasil pengamatan tinggi gelombang pada titik tinjau dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 3.

Tabel 5: Data Tinggi Gelombang (*hindcasting*) Maksimum dan Rata – rata di Teluk Batang

Bulan	Data <i>Hindcasting</i> di Teluk Batang	
	H Max [m]	H Rata-Rata [m]
Jan	2,35	0,48
Feb	2,32	0,41
Mar	2,36	0,40
Apr	2,58	0,38
Mei	2,44	0,31
Jun	2,79	0,29
Jul	2,30	0,31
Agu	2,38	0,35
Sep	2,39	0,36
Okt	2,78	0,39
Nop	2,40	0,43
Des	2,36	0,48

Sumber : Hasil Pengolahan Data, 2022

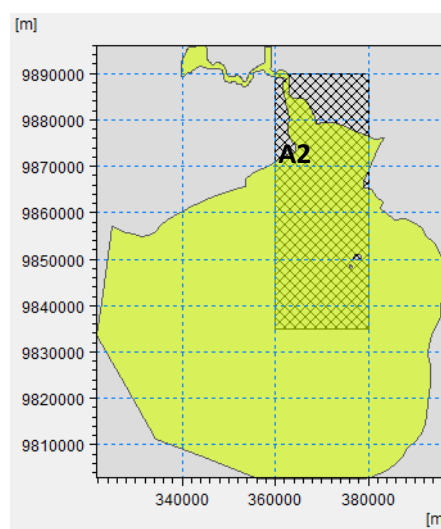


Gambar 3: Grafik Tinggi Gelombang (*Hindcasting*) Maksimum dan Rata – Rata di Teluk Batang

Berdasarkan data gelombang hasil perhitungan *hindcasting* dapat dilihat bahwa pada musim barat yaitu pada Desember, Januari dan Februari, tinggi gelombang rata – rata yaitu 0,41 m – 0,48 m dengan tinggi gelombang maksimum tersebut yaitu 2,32 m – 2,36 m. Pada musim timur yaitu pada bulan Juni, Juli dan Agustus tinggi gelombang rata- rata berkisar antara 0,29 m – 0,31 m dengan tinggi gelombang maksimum yaitu 2,30 m – 2,79 m. Pada musim peralihan I dan musim peralihan II yaitu pada bulan Maret, April & Mei dan September, November & Desember tinggi gelombang rata – rata yaitu 0,31 m – 0,43 m dengan tinggi gelombang maksimum yaitu 2,36 m – 2,78 m.

Hasil Analisis Transportasi Sedimen

Dalam analisis pola sebaran sedimen tersuspensi, spot perubahan kedalaman dan besar volume sedimen menjadi acuan dalam melakukan analisis kejadian transportasi sedimen pada suatu lokasi. Kondisi perubahan batimetri dan volume secara keseluruhan model dapat dihitung dengan menggunakan model MIKE21 ini. Pengamatan digunakan untuk melihat laju perubahan batimetri dan volume pada waktu akhir simulasi dan kondisi di lokasi tinjauan. Area tinjau dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini.

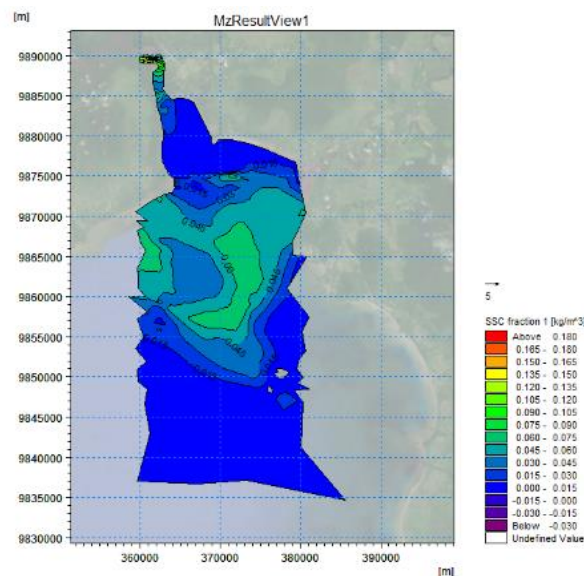


Gambar 4: Area Pengamatan Transportasi Sedimen

Konsentrasi Sedimen Tersuspensi/ *Suspended Sed. Concentration*

Sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi pada lokasi alur pelayaran di akhir simulasi berkisar antara 0.008 kg/m³ – 0.157 kg/m³. Pola sebaran sedimen tersuspensi pada area tersebut cenderung lebih tinggi terkonsentrasi pada area

Selat Maya yang dekat dengan sumber sedimen dari syarat batas Hulu dan pada area ujung alur pelayaran yang merupakan area eksisting. Adapun pola sebaran konsentrasi sedimen pada lokasi alur pelayaran dapat dilihat pada Gambar 5.

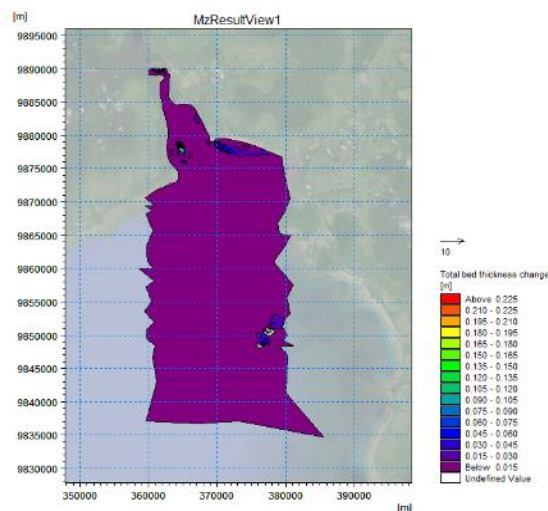


Gambar 5: Pola Sebaran Sedimen Tersuspensi pada Alur Pelayaran Teluk Batang Akhir Simulasi (Step 8784)

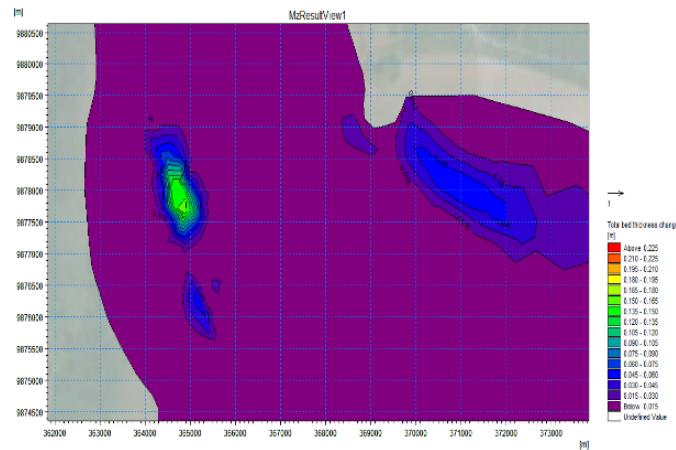
Perubahan Batimetri/ *Bed Level Change*

Pada area alur pelayaran perubahan batimetri pada akhir simulasi berkisar antara 0.015 m – 0,147 m, perubahan kedalaman secara

signifikan cenderung terkonsentrasi pada area sisi terluar alur pelayaran Teluk Batang. Adapun perubahan batimetri pada lokasi dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6: Pola Perubahan Batimetri pada Area Akhir Simulasi (Step 8784)

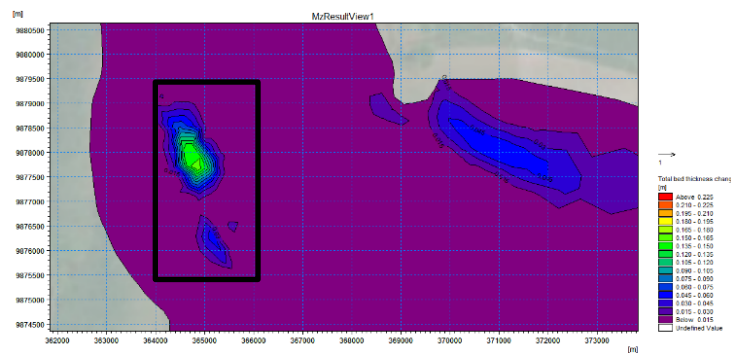


Gambar 7: Spot Sedimentasi pada Area Alur Pelayaran Teluk Batang Akhir Simulasi (Step 8784)

Volume Transportasi Sedimen Pada Lokasi Spot Sedimentasi Area Alur Pelayaran Teluk Batang

Volume transportasi sedimen dihitung dengan mengalikan perubahan batimetri selama simulasi (bed level change) dengan luasan area

tinjauan. Luas area pengamatan pada lokasi yaitu 109.200 m². Sementara itu, berdasarkan hasil perhitungan perubahan batimetri pada lokasi selama waktu simulasi t=8784 s nilai sedimentasi mencapai yaitu 0,147 m/ tahun.



Gambar 8: Area Tinjau Spot Sedimentasi di Alur Pelayaran Teluk Batang

Adapun hasil perhitungan volume transportasi sedimen dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6: Hasil Perhitungan Volume Transportasi Sedimen Selama Simulasi 8639s

Area Pengamatan	Luasan Area Pengamatan [m ²]	Perubahan Batimetri [m]	Volume [m ³]
A	109.200	0,147	16.148,59

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

SIMPULAN

Pada area alur pelayaran terjadi sebaran sedimen tersuspensi tersebar dari syarat batas hulu/ sekitar Selat Maya sampai dengan area

Teluk Batang. Pola sebaran sedimen tersuspensi bervariasi pada setiap area simulasi. Berdasarkan hasil analisis pemodelan sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi pada lokasi

alur pelayaran di akhir simulasi berkisar antara $0,008 \text{ kg/m}^3 - 0,157 \text{ kg/m}^3$. Berdasarkan hasil perhitungan rata – rata nilai perubahan batimetri pada area model alur teluk batang didapatkan nilai laju transportasi sedimen selama 1 tahun simulasi yaitu $0,147 \text{ m/tahun}$ dengan volume transportasi sedimen sebesar $16.148,59 \text{ m}^3$. Pada lokasi Pelabuhan Teluk Batang tidak diperlukan *sediment barrier* karena posisi pelabuhan berada di Selat dan nilai sedimentasi cukup kecil. Tetapi untuk menjaga keselamatan dan keamanan pelayaran perlu dilakukan pengerukan terutama di bagian alur terluar Pelabuhan Teluk Batang karena memiliki kontur eksisting yang dangkal -2 dan -4 mlws.

DAFTAR PUSTAKA

1. Triatmodjo B. Perencanaan Pelabuhan. Yogyakarta: Betta Offset; 2009.
2. Bachtiar H, Setiantoro HE, Prasetyo A, Eliasta L. Pendekatan Model Komputasi Untuk Penanggulangan Sedimentasi Pelabuhan Akibat Pengaruh Muara Sungai: Studi Kasus Pelabuhan Tanjung Mas Semarang Computational Model Approach for Engineering Solution of Port Sedimentation Due To Estuary Inflow ; Case Study . 2020;119–34.
3. Josep AA. Jurnal Penelitian Transportasi Laut Analysis Benefits in Dredging Project A case study in East Surabaya Channel. 2019;21:35–40.
4. Nurzanah W. Penentuan Lokasi Pembuangan Material Keruk. 2019;3814.
5. Pastor A, Larsen J, Mohn C, Saurel C, Petersen JK, Maar M. Sediment transport model quantifies plume length and light conditions from mussel dredging. *Front Mar Sci.* 2020;7(October):1–15.
6. Ismanto A, Zaenuri M, Hutabarat S, Sugianto, D, Nugroho. Widada, S, Wirasatriya A. Sediment Transport Model In Sayung District, Demak. *J Phys Conf Ser.* 2016;755(1):3–9.
7. Rachman HA, Hendrawan IG, Putra IDNN. Studi Transpor Sedimen Di Teluk Benoa Menggunakan Pemodelan Numerik. *J Kelaut Indones J Mar Sci Technol.* 2016;9(2):144.
8. Maharta IPRF, Hendrawan IG, Suteja Y. Prediksi Laju Sedimentasi di Perairan Teluk Benoa Menggunakan Pemodelan Numerik. *J Mar Aquat Sci.* 2018;5(1):44.
9. Mancini G, Briganti R, McCall R, Dodd N, Zhu F. Numerical modelling of intra-wave sediment transport on sandy beaches using a non-hydrostatic, wave-resolving model. *Ocean Dyn.* 2021;71(1):1–20.
10. Morianou GG, Kourgialas NN, Karatzas GP, Nikolaidis NP. Hydraulic and Sediment Transport Simulation of Koiliaris River Using the MIKE 21C Model. *Procedia Eng.* 2016;162:463–70.