

SEDIMENT TRANSPORT CAUSE OF PORT SUPERFICIALITY OF BENGKULU BAAI ISLAND WITH DISKRITISATION MODEL OF OCEANOGRAPHY DYNAMICS

ANGKUTAN SEDIMEN PENYEBAB PENDANGKALAN PELABUHAN PULAU BAAI BENGKULU DENGAN MODEL DISKRITISASI DINAMIKA OSEANOGRAFI

Supiyati¹⁾, Suwarsono²⁾, dan Ichsan Setiawan³⁾

¹⁾Dosen Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Bengkulu

Gedung T FMIPA Universitas Bengkulu, Jalan Raya Kandang Limun Bengkulu;

Email : supiyati_116@yahoo.co.id

²⁾Dosen Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Bengkulu

Gedung T FMIPA Universitas Bengkulu, Jalan Raya Kandang Limun Bengkulu;

Email : suwarsono@unib.ac.id

³⁾Dosen Jurusan Ilmu Kelautan, Koordinator Kelautan dan Perikanan, Universitas Syiah Kuala

Jl. Syekh Abdul Rauf, Darussalam, Banda Aceh 23111;

Email : ichsansetiawan@yahoo.com

ABSTRACT

Pulau Baai Port was located in the west coast of Sumateran island with geographics coordinate $102^{\circ}16'00''$ - $102^{\circ}18'30''$ east longitude and $03^{\circ}53'00''$ - $03^{\circ}55'30''$ - south latitude. To settle a problem so that the exploitation effectively, it needed to know first about hydrodynamics of raise and lessened current and the transport of sediment in that location with the dynamics numeric oceanography model of attempt. In this research, it did modeling and measuring of field with the verification of surface, current velocity and erosion and sedimentation pattern. The result of modeling verification compared to surface elevation and current velocity with the result of measuring in the field showed that the different between them was $\pm 0,06$ m, and $\pm 0,11$ m/s. The simulation of sediment transport model with the total of raise and lessened current generator produced a pattern, was: in the reservoir port, erosion area occured in the eastern and sedimentation occured in the western to southeast. For the channel which occurred erosion in general, the sedimentation occured in the outside nozzle of channel and in the western, the erosion occured in the eastern for the simulation without jetty. Where as the simulation with the jetty showed the same pattern, but it was different only in the sedimentation and erosion percentage.

Keywords: Hydrodynamics model, model of sediment transport, erosion and sedimentation pattern, Port of Bengkulu Baai Island

ABSTRAK

Pelabuhan Pulau Baai terletak di pantai barat Pulau Sumatera dengan koordinat Geographics $102^{\circ}16'00''$ - $102^{\circ}18'30''$ Bujur Timur dan $03^{\circ}53'00''$ - $03^{\circ}55'30''$ - Lintang Selatan. Untuk menyelesaikan masalah yang terjadi secara efektif, maka perlu tahu terlebih dahulu tentang naik-turunnya hidrodinamika arus laut dan pengangkutan sedimen di lokasi dengan bantuan model numerik dinamika oseanografi. Dalam penelitian ini, pemodelan dan pengukuran lapangan dengan verifikasi permukaan, kecepatan arus dan erosi serta pola sedimentasi. Hasil verifikasi pemodelan dibandingkan dengan elevasi permukaan dan kecepatan arus dengan hasil pengukuran di lapangan menunjukkan bahwa perbedaan antara mereka adalah $\pm 0,06$ m, dan $0,11 \pm$ m / s. Simulasi model angkutan sedimen dengan total naik-turunnya arus menghasilkan pola, adalah: di kolam pelabuhan, erosi terjadi di daerah timur dan sedimentasi terjadi di Barat sampai Barat-Laut. Pada umumnya untuk pintu saluran pelabuhan sering terjadi erosi, sedang sedimentasi terjadi di luar mulut saluran dan di bagian barat, untuk simulasi tanpa dermaga pada pelabuhan terjadi erosi di bagian timur. Demikian pula simulasi dengan jetty menunjukkan pola yang sama, akan tetapi hanya berbeda dalam persentase sedimentasi dan erosi.

Keywords: Model hidrodinamik, model angkutan sedimen, erosi dan pola sedimentasi, Pelabuhan pulau Baai Bengkulu

PENDAHULUAN

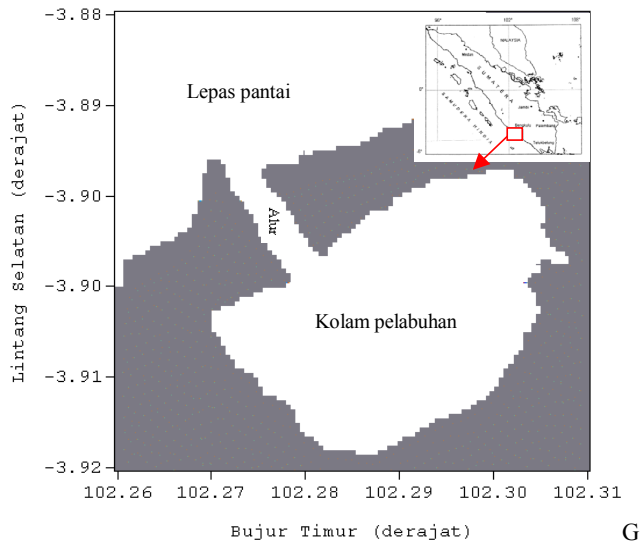
Pelabuhan Pulau Baai terletak di pantai barat Pulau Sumatera dengan koordinat geografis $102^{\circ}16'00''$ - $102^{\circ}18'30''$ Bujur Timur dan $03^{\circ}53'00''$ - $03^{\circ}55'30''$ Lintang Selatan (Gambar 1). Pelabuhan ini merupakan pelabuhan vital yang digunakan sebagai satu-satunya jalur laut pengangkutan beberapa komoditi dan barang kebutuhan pokok baik yang masuk ke Bengkulu maupun yang keluar. Komoditi yang biasanya diekspor dan diimpor diantaranya batubara, Crude Palm Oil (CPO), kopi, jahe, sayur-mayur, karet, cangkang sawit, bahan bakar minyak (BBM), biji besi dan kakao.

Salah satu permasalahan yang dihadapi di pelabuhan Pulau Baai ini adalah proses pendangkalan di kolam dan alur pelabuhan

yang sangat cepat. Kedalaman alurnya saat ini hanya -3,5 LWS (*Low Water Spring*) dan debit sedimen sepanjang pantai mencapai 800.000 m³/tahun (PELINDO, 2009). Untuk mengatasi pendangkalan tersebut setiap tahun dilakukan pengerukan, sehingga diperlukan biaya yang besar mencapai Rp 28 - 30 milyar rupiah pertahun untuk tetap bisa menjaga kesetabilan keberadaan pelabuhan. Untuk mengatasi permasalahan di atas agar pengerukan efektif diperlukan pengetahuan tentang hidrodinamika dan transport sedimen di daerah tersebut. Dalam memahami hidrodinamika dan transport sedimen ini ada beberapa cara, salah satunya adalah dengan suatu model numerik, yang kemudian divalidasi dengan data pengamatan lapangan.

Penelitian di perairan Pulau Baai Bengkulu secara ilmiah (*Scientific*) sampai saat ini belum ada yang dapat mengatasi pen-

dangkalan yang terjadi, sehingga peneliti ingin mengkaji secara mendalam mengenai transpor sedimen yang mengakibatkan perubahan morfologi dasar (sedimentasi dan erosi) di pelabuhan Pulau Baai tersebut.



ambar 1. Peta lokasi daerah penelitian

Seiring dengan semakin berkembangnya daerah Bengkulu, maka praktis meningkat pula peran kawasan perairan pelabuhan Pulau Baai Bengkulu sebagai kawasan keluar masuk barang-barang industri dan jasa. Tentu industri-industri yang akan tumbuh dan berkembang secara langsung ataupun tidak langsung akan memanfaatkan pelabuhan dan kawasan pantai untuk transportasi dan kepentingan lainnya. Pembangunan yang tumbuh dikawasan ini akan memberi dampak terhadap lingkungan dikawasan pantai bila tidak direncanakan dan dikelola dengan baik. Oleh karena itu pengelolaan dan perlindungan daerah perairan pantai pulau Baai Bengkulu perlu diusahakan dengan perencanaan yang matang.

Pengkajian perubahan pantai akibat adanya angkutan sedimen yang disebabkan oleh dinamika gerak air laut secara langsung sangat sulit dilakukan karena kompleksnya proses-proses yang terlibat di dalamnya serta membutuhkan waktu yang relatif lama. Sementara pemodelan secara fisik seperti eksperimen di laboratorium hidrolik membutuhkan biaya yang tinggi dan kesulitan dalam pengambilan skala yang tepat. Seiring dengan semakin berkembangnya kemampuan komputer untuk menghitung, menjadikan model numerik sebagai alternatif yang cukup ekonomis dalam penyelesaian masalah ini dan sebagai data verifikasi adalah melakukan survei lapangan.

METODE PENELITIAN

Studi Literatur

Dalam studi literatur ini dilakukan pengumpulan bahan-bahan literatur yang menunjang penelitian ini, dalam pengukuran data lapangan (cara dan metode yang digunakan), pengolahan data hasil pengukuran, simulasi model yang akan diterapkan dalam penelitian dan analisis hasil simulasi dan hasil pengukuran lapangan.

Pengukuran Lapangan

Dalam riset ini dilakukan survei pengukuran lapangan untuk memperoleh: data pasang surut selama 15 hari, dan data arus laut daerah kajian. Adapun tahap-tahap yang akan dilakukan dalam survei lapangan ini adalah sebagai berikut :

1. Perizinan
2. Persiapan alat
Adapun peralatan yang akan di gunakan dalam survei adalah:
 - a. Satu set alat pengukur pasang surut
 - b. Satu set alat pengukur arus
 - c. GPS
 - d. Kompas Geologi
 - e. Power suplay
 - f. Accu
 - g. Multimeter
 - h. Kabel penghubung
3. Pengukuran pasang surut
Untuk pengukuran pasang surut dilakukan dengan menggunakan alat *sensor optik berbasis PC*. Alat yang digunakan adalah pipa paralon 3 meter dan mouse optik yang dirancang berdasarkan Gambar 2, monitor komputer, bahasa pemrograman Delphi 7.0, dan system operasi *Microsoft windows ME*. peralatan dipasang di dermaga, hal ini dimaksudkan agar pengukuran pasang surut tidak mengalami gangguan baik dari gelombang dan ataupun kapal yang masuk dan keluar pelabuhan, kondisi perairan relati tenang. Pengukuran pasang surut dilakukan selama 15 hari.
4. Pengukuran kecepatan Arus laut
Dalam pengukuran arus di lakukan dengan cara menentukan jarak lintasan dan waktu yang ditempuh sepanjang lintasan tersebut. Adapun peralatan yang digunakan adalah pelampung, *stop watch*, meteran, kompas geologi, dan GPS.
5. Pengolahan data dan analisis hasil

Dalam pengolahan data kecepatan arus setelah dilakukan pengukuran lapangan dilakukan filterisasi terlebih dahulu agar data arus yang diperoleh benar-benar arus pasang surut menggunakan program filterisasi, karena data yang terukur merupakan akumulasi dari semua arus dilapangan. Kemudian dilakukan perhitungan kecepatan arus dan hasilnya digunakan sebagai verifikasi hasil model sirkulasi arus.

Untuk data pasang surut hasil dari pengukuran selama 15 hari di plot terlebih dahulu dalam grafik hubungan elevasi dengan waktu, jika grafik belum smoot maka dilakukan filterisasi. Kemudian data diolah menggunakan metode admiralty dan diperoleh konstanta komponen pasang surut berupa amplitudo dan beda fasa. Dari komponen pasang surut dilakukan perhitungan bilangan Formzal untuk menentukan tipe pasang surut yang ada di perairan Pulau Baai Bengkulu. Hasil pengukuran lapangan elevasi muka air laut ini digunakan juga sebagai verifikasi hasil simulasi model sirkulasi arus.

Model Dinamika Gelombang Panjang (Sirkulasi arus)

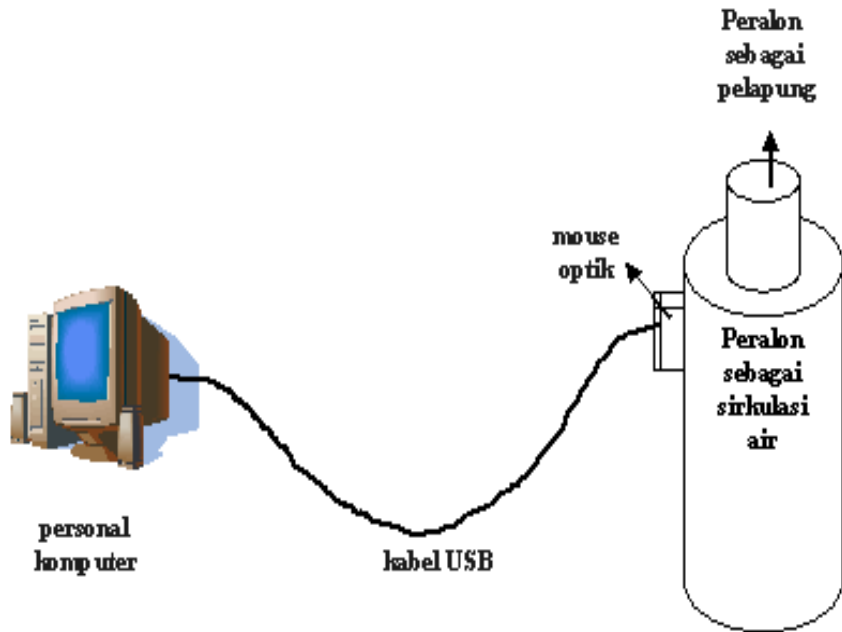
Sirkulasi yang disebabkan oleh gelombang panjang (pasang surut) di perairan pantai digambarkan oleh hukum kekekalan momentum dan massa air. Dalam koordinat kartesian dua dimensi, pergerakan pasang surut di perairan pantai dapat digambarkan oleh persamaan pengatur sebagai berikut (Koutitas, 1988):

Persamaan momentum arah x:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{-\tau_{bx}}{\rho h} + A_h \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

Persamaan momentum arah y:

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{-\tau_{by}}{\rho h} + A_h \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$



Gambar 2. Desain alat pasang surut

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{u}h)}{\partial x} + \frac{\partial(\bar{v}h)}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

dimana \bar{u}, \bar{v} menyatakan kecepatan arus yang dirata-ratakan terhadap kedalaman yang didefinisikan sebagai:

$$\bar{u} = \frac{1}{h} \int_{-h_0}^{\zeta} u dz, \quad \bar{v} = \frac{1}{h} \int_{-h_0}^{\zeta} v dz \quad (4)$$

dan ζ adalah elevasi muka laut, h adalah kedalaman total yang didefinisikan sebagai:

$$h = h_0 + \zeta \quad (5)$$

dimana h_0 adalah kedalaman air rata-rata.

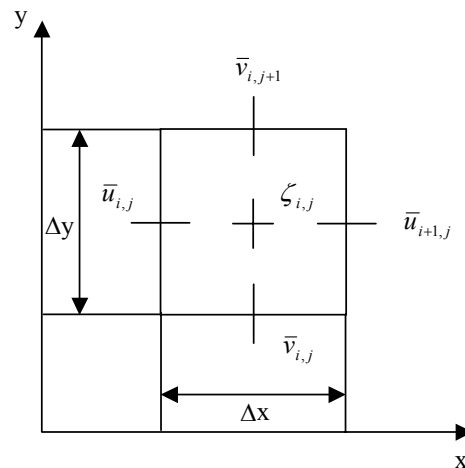
τ_{bx} dan τ_{by} adalah stress dasar ($\text{kg/m}^2/\text{s}^2$) yang didefinisikan:

$$\tau_{bx} = \rho r \bar{u} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2} \quad (6)$$

$$\tau_{by} = \rho r \bar{v} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2} \quad (7)$$

$$\frac{c\Delta t}{\sqrt{(2\Delta x)}} < 1, \quad c = \sqrt{gh} \quad (8)$$

Untuk susunan grid (*staggered grid*) komponen kecepatan \bar{u}, \bar{v} dan ζ metoda ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Staggered grid* untuk elevasi dan kecepatan

Solusi Numerik Persamaan Dinamika Gelombang Panjang

Solusi numerik persamaan hidrodinamika di atas diselesaikan dengan menggunakan metoda eksplisit beda pusat untuk turunan terhadap ruang dan beda maju untuk turunan terhadap waktu. Sedangkan kesetabilan numerik pada metoda ini di tentukan oleh kriteria stabilitas CFL (*Couran-Friedrichs-Lewy*) yang ditunjukkan dalam rumusan (Koutitas, 1988):

Desain Model Dinamika Gelombang Panjang

Syarat awal yang digunakan dalam simulasi ini adalah $t = 0$, ini menyatakan kondisi perairan diasumsikan keadaan tenang tanpa adanya gerakan vertikal maupun horizontal, yang secara matematis dirumuskan:

$$u = v = \zeta = 0 \quad (9)$$

Sedangkan syarat batas yang digunakan ada dua, yaitu:

1. Syarat batas terbuka untuk batas laut adalah:

- a. Syarat batas elevasi menggunakan elevasi dari hasil asimilasi komponen harmonik pasang surut laut (Supiyati et al., 2008).
- b. Syarat batas kecepatan terdiri dari (Chapman, 1985):

- Syarat batas radiasi

$$u_B^{n+1} = u_B^n - \mu(u_B^n - u_{B\pm 1}^n) \quad (10)$$

dengan $\mu = c \frac{\Delta t}{\Delta x}$, $c = (gh)^{\frac{1}{2}}$

$$v_B^{n+1} = v_B^n - \mu(v_B^n - v_{B\pm 1}^n) \quad (11)$$

- Gradien arah normal

$$\frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} = 0 \quad (13)$$

2. Untuk batas tertutup digunakan syarat batas dinding (*wall boundary condition*), kecepatan tegak lurus (arah normal) bidang batas sama dengan nol. Sedangkan kecepatan sejajar (arah tangensial) terhadap bidang batas dihitung, secara matematis dirumuskan:

$$v_n = 0 \text{ dan } v_t \neq 0 \quad (14)$$

Dimana syarat batas ini menggambarkan bahwa kecepatan dengan arah normal terhadap syarat batas tertutup (syarat batas dinding) sama dengan nol.

Model Transport Sedimen dan Perubahan Morfologi Dasar

Dari hubungan matematis penjumlahan $q_s + q_b$ didefinisikan sebagai transport sedimen total, dimana: 's' untuk menyatakan *suspended load* dan 'b' untuk menyatakan *bed load*. Pendekatan matematis dari penjumlahan $q_s + q_b$ adalah (Koutitas, 1988):

$$q_t = 0.05U \frac{\tau_c^2 C}{\rho^2 g^{5/2} \Delta \rho^2 D_{50}} \quad (15)$$

Dimana:

$$\tau_c = \rho g U^2 / C^2 \text{ dan } \Delta \rho = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w.$$

Untuk Perubahan morfologi dasar (transport sedimen) ζ_b tiap waktu diberikan oleh persamaan berikut:

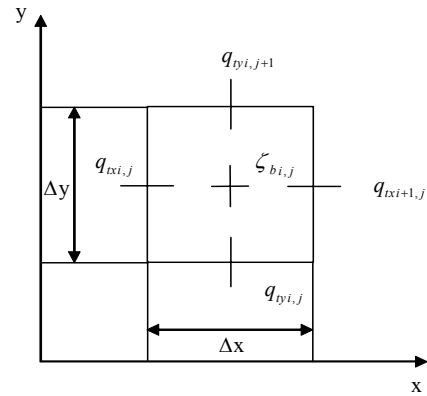
$$\frac{\partial \zeta_b}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(q_{tx}) + \frac{\partial}{\partial y}(q_{ty}) = 0 \quad (16)$$

Solusi Numerik Persamaan Transport Sedimen dan Perubahan Morfologi Dasar

Transport sedimen total yang diakibatkan arus pasang surut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$q_t = 0.05U \frac{\tau_c^2 C}{\rho^2 g^{5/2} \Delta \rho^2 D_{50}} \quad (17)$$

Susunan grid (*staggered grid*) transport sedimen dan perubahan morfologi dasar dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. *Staggered grid* transport sedimen dan perubahan morfologi dasar

Desain Model Transport Sedimen dan Perubahan Morfologi Dasar

Pada awal simulasi ($t = 0$) di anggap belum ada transport sedimen dan perubahan morfologi dasar yang terjadi sehingga $q_{tx} = q_{ty} = 0$, oleh karena itu kedalaman lokal dianggap sama dengan kedalaman awal ($\zeta_b = 0$).

Sedangkan syarat batas yang digunakan dalam model ini adalah:

1. Syarat batas terbuka menggunakan syarat batas radiasi, yang berlaku hubungan:

$$q_{iB}^{n+1} = q_{iB}^n - \mu(q_{iB}^n - q_{iB\pm 1}^n) \quad (18)$$

$$\zeta_{bB}^{n+1} = \zeta_{bB}^n - \mu(\zeta_{bB}^n - \zeta_{bB\pm 1}^n) \quad (19)$$

2. Syarat batas tertutup untuk syarat batas pantai arah normal garis pantai sama dengan nol, sedangkan syarat batas arah tangensial (sejajar) pantai di hitung, secara matematis ditulis:

$$q_m = 0 \text{ dan } q_{tt} \neq 0$$

$$\zeta_{bn} = 0 \text{ dan } \zeta_{bt} \neq 0 \quad (20)$$

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dinamika Gelombang Panjang (Pasang Surut)

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah data pengukurang lapangan elevasi muka air laut dan arus pasang surut. Untuk simulasi model hasil yang telah didapat adalah hasil simulasi dinamika gelombang panjang (pasang surut) yang dicuplik pada kondisi surut menuju pasang, pasang maksimum, pasang menuju surut, surut minimum masing-masing untuk kondisi pasang purnama dan pasang perbani seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 untuk skenario simulasi model tanpa bangunan pantai. Sedangkan skenario dengan bangunan pantai dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 1. Hasil simulasi arus pasang surut total saat perbani tanpa bangunan pantai

No.	Kondisi pasut perbani	Arus maksimum	Arah Arus
1.	Saat pasang maksimum	0,28 m/s	Keluar kolam pelabuhan menuju ke laut lepas
2.	Saat pasang menuju surut (air surut)	0,27 m/s	Keluar kolam pelabuhan menuju ke laut lepas
3.	Saat surut minimum	0,30 m/s	Dari laut lepas masuk ke kolam pelabuhan
4.	Saat surut menuju pasang (air pasang)	0,43 m/s	Dari laut lepas masuk ke kolam pelabuhan

Tabel 2. Hasil simulasi arus pasang surut total saat purnama tanpa bangunan pantai

No.	Kondisi pasut purnama	Arus maksimum	Arah Arus
1.	Saat pasang maksimum	0,56 m/s	Keluar kolam pelabuhan menuju ke laut lepas
2.	Saat pasang menuju surut (air surut)	0,59 m/s	Keluar kolam pelabuhan menuju ke laut lepas
3.	Saat surut minimum	0,66 m/s	Dari laut lepas masuk ke kolam pelabuhan
4.	Saat surut menuju pasang (air pasang)	0,75 m/s	Dari laut lepas masuk ke kolam pelabuhan

Skenario simulasi model dinamika gelombang panjang (pasang surut) tanpa bangunan pantai (*jetty*) kecepatan arus terbesar yang memasuki kolam pelabuhan adalah saat menuju pasang purnama yaitu sebesar 0,75 m/s sedangkan yang terkecil adalah pada saat surut minimum perbani yaitu sebesar 0,30 m/s.

Untuk arus yang keluar kolam pelabuhan terbesar saat pasang menuju surut purnama yaitu sebesar 0,59 m/s sedangkan yang terkecil adalah pada saat pasang menuju surut perbani (air surut) yaitu sebesar 0,27 m/s.

Tabel 3. Hasil simulasi arus pasang surut total saat perbani dengan bangunan pantai (*jetty*)

No.	Kondisi pasut perbani	Arus maksimum	Arah Arus
1.	Saat pasang maksimum	0,32 m/s	Dari laut lepas masuk ke kolam pelabuhan
2.	Saat pasang menuju surut (air surut)	0,24 m/s	Keluar kolam pelabuhan menuju ke laut lepas
3.	Saat surut minimum	0,29 m/s	Dari laut lepas masuk ke kolam pelabuhan
4.	Saat surut menuju pasang (air pasang)	0,38 m/s	Dari laut lepas masuk ke kolam pelabuhan

Tabel 4. Hasil simulasi arus pasang surut total saat purnama dengan bangunan pantai (*jetty*)

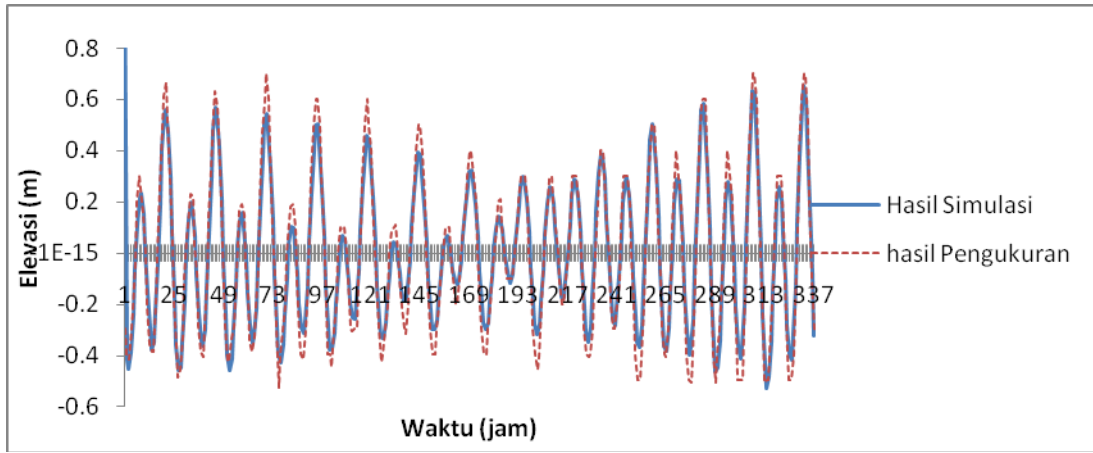
No.	Kondisi pasut purnama	Arus maksimum	Arah Arus
1.	Saat pasang maksimum	0,58 m/s	Dari laut lepas masuk ke kolam pelabuhan
2.	Saat pasang menuju surut (air surut)	0,53 m/s	Keluar kolam pelabuhan menuju ke laut lepas
3.	Saat surut minimum	0,69 m/s	Keluar kolam pelabuhan menuju ke laut lepas
4.	Saat surut menuju pasang (air pasang)	0,49 m/s	Dari laut lepas masuk ke kolam pelabuhan

Simulasi model dinamika gelombang panjang (pasang surut) dengan bangunan pantai (*jetty*) menunjukkan kecepatan arus terbesar yang memasuki kolam pelabuhan adalah saat pasang maksimum purnama yaitu sebesar 0,58 m/s sedangkan yang terkecil adalah pada saat surut menuju pasang purnama yaitu sebesar 0,26 m/s. Untuk arus yang keluar kolam pelabuhan terbesar saat surut minimum purnama yaitu sebesar 0,69 m/s sedangkan yang terkecil adalah pada saat pasang menuju surut perbani yaitu sebesar 0,24 m/s. Jika dibandingkan antara skenario simulasi model tanpa bangunan pantai (*jetty*) dengan menggunakan bangunan pantai ada perbedaan, yaitu kecepatan arus pasut total untuk skenario tanpa bangunan pantai arus yang masuk dari laut lepas menuju kolam pelabuhan lebih besar dari pada yang keluar dari kolam pelabuhan menuju laut lepas.

Sedangkan skenario simulasi model dengan bangunan pantai (*jetty*) adalah sebaliknya

Verifikasi Hasil Simulasi Model

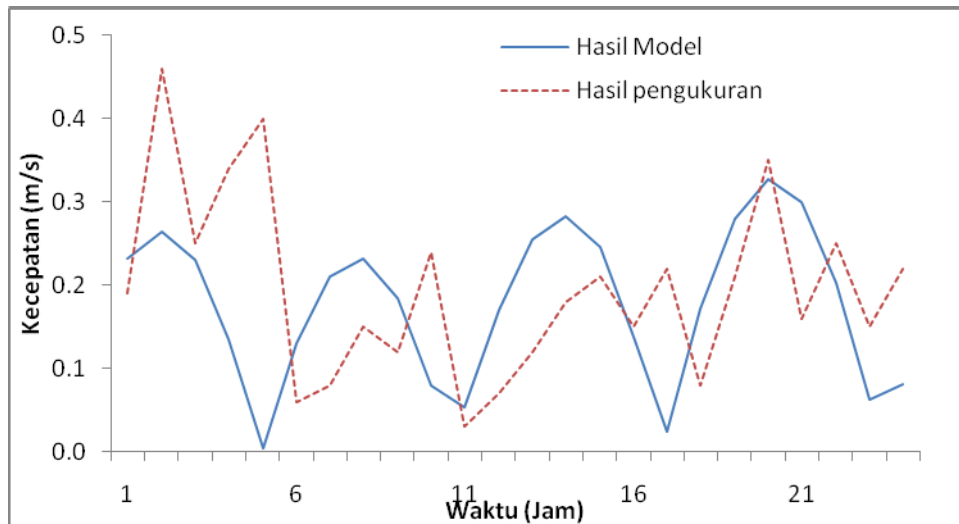
Untuk melihat kelayakan model dilakukan verifikasi elevasi hasil simulasi model dengan data lapangan hasil pengukuran, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5 yang menunjukkan bahwa antara elevasi muka air laut hasil simulasi model dengan hasil pengukuran terjadi kesesuaian fasa yang cukup baik. Untuk amplitudo ada sedikit perbedaan, dimana amplitudo hasil simulasi model lebih kecil dibandingkan dengan amplitudo hasil pengukuran dengan perbedaan rata-rata $\pm 0,06$ m.



Gambar 5. Grafik verifikasi elevasi muka air (26 Juni – 9 Juli 2010)

Pada Gambar 6 dapat dilihat verifikasi arus pasang surut yang menunjukkan kesesuaian pola kecepatan arus pasang surut hasil simulasi model dengan hasil pengukuran yang cukup baik dengan perbedaan rata-rata $\pm 0,11$ m. Perbedaan diatas diakibatkan

karena arus hasil pengukuran tidak beraturan pada beberapa pengamatan. Hal ini kemungkinan di sebabkan oleh adanya gangguan pada saat pengukuran lapangan itu sendiri, misal adanya angin, kapal yang lewat atau lain sebagainya.



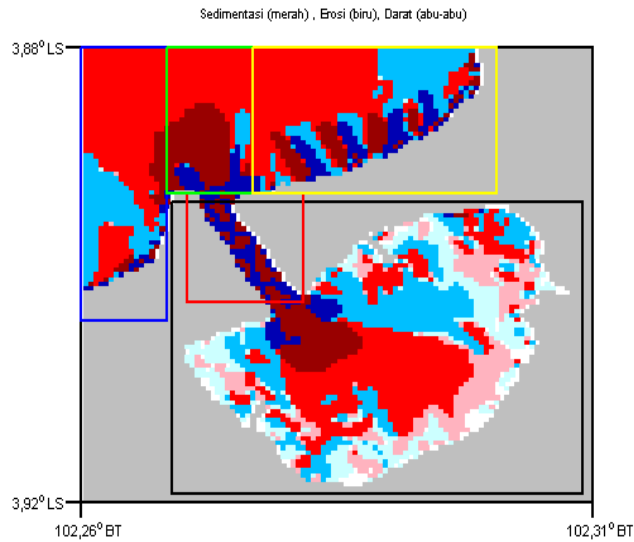
Gambar 6. Grafik verifikasi kecepatan arus pasang surut (28 – 29 Juni 2010)

Transport Sedimen dan Perubahan Morfologi Dasar

Simulasi transport sedimen akibat arus pasang surut total tanpa bangunan pantai dapat dilihat pada Gambar 7, yang menunjukkan di kolam pelabuhan sedimentasi terjadi di sekitar alur pada arah barat daya meluas ke selatan hingga ke tenggara dan erosi terjadi arah timur laut. Secara umum untuk kolam pelabuhan adalah dominan tersedimentasi, begitu juga untuk simulasi dengan skenario adanya bangunan pantai polanya sama (Gambar 8). Hal ini disebabkan pada saat arus dengan kecepatan tinggi dari laut lepas masuk ke dalam kolam pelabuhan membawa sedimen masuk ke kolam pelabuhan. Sedangkan pada saat pasang, arus keluar dari kolam pelabuhan. Kecepatan arus yang keluar lebih kecil, maka sedimen yang masuk tidak ikut terbawa semua ke luar sehingga terjadilah sedimentasi di kolam pelabuhan.

Sedimentasi juga terjadi di luar kolam bagian barat dan mulut alur bagian luar, sedangkan di luar kolam bagian timur tererosi.

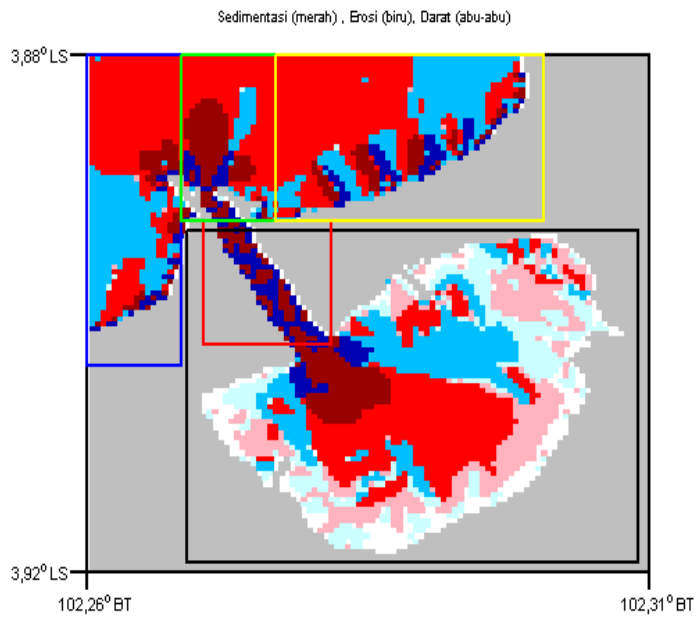
Sedimentasi yang terjadi di mulut alur bagian luar diakibatkan oleh arus yang keluar dari kolam pelabuhan kecepatannya tidak cukup besar untuk membawa sedimen ke laut lepas kembali. Hal ini mengakibatkan sedimen tertahan di mulut alur bagian luar dan terjadi penumpukan. Sedimentasi di mulut alur bagian luar ini akan bertambah terus menerus, sehingga dalam waktu tertentu akan masuk ke alur. Dan jika kecepatan arus di alur tidak mampu lagi untuk membilas membawa sedimen keluar maka akan menyebabkan terjadinya pendangkalan di alur pelabuhan. Hal ini bersesuaian dengan laporan tahun 2002 yang dibuat oleh PELINDO bahwa di mulut alur pelabuhan terjadi sedimentasi hingga *quay wall*. Sedangkan simulasi dengan skenario ada bangunan pantai (*jetty*) di ujung bagian alur memiliki pola sedimentasi dan erosi yang hampir sama dengan tanpa bangunan pantai, hanya presentase jumlah sedimentasi dan erosinya saja yang berbeda. Untuk daerah di luar kolam atau laut lepas sedimentasi dan erosi lebih dominan diakibatkan oleh faktor gelombang pendek (gelombang akibat angin).



Keterangan:

- : $10^{-9} \text{ mm} \leq S < 10^{-7} \text{ mm}$
- : $10^{-7} \text{ mm} \leq S < 10^{-5} \text{ mm}$
- : $S \geq 10^{-5} \text{ mm}$
- : $10^{-9} \text{ mm} \leq E < 10^{-7} \text{ mm}$
- : $10^{-7} \text{ mm} \leq E < 10^{-5} \text{ mm}$
- : $E \geq 10^{-5} \text{ mm}$

Gambar 7. Pola transport sedimen yang disebabkan arus pasut total (1 tahun) tanpa *jetty*



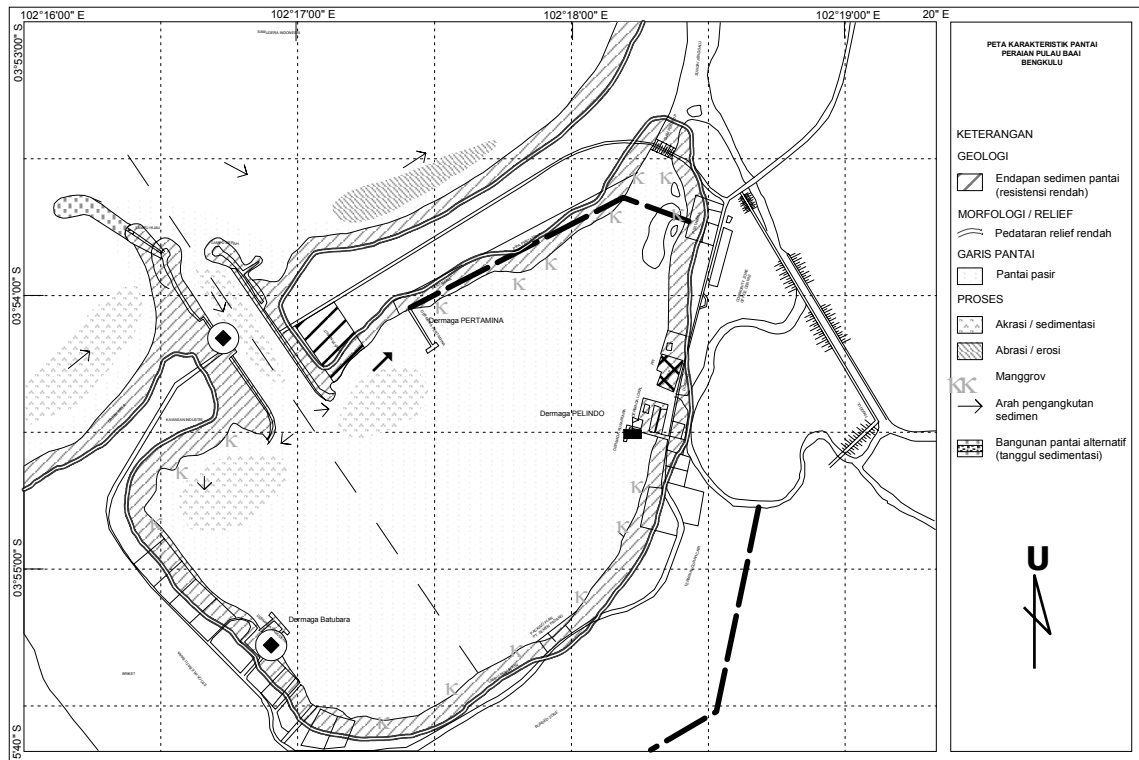
Keterangan:

- : $10^{-9} \text{ mm} \leq S < 10^{-7} \text{ mm}$
- : $10^{-7} \text{ mm} \leq S < 10^{-5} \text{ mm}$
- : $S \geq 10^{-5} \text{ mm}$
- : $10^{-9} \text{ mm} \leq E < 10^{-7} \text{ mm}$
- : $10^{-7} \text{ mm} \leq E < 10^{-5} \text{ mm}$
- : $E \geq 10^{-5} \text{ mm}$

Gambar 8. Pola transport sedimen yang disebabkan arus pasut total (1 tahun) dengan skenario pakai *jetty*

Hasil simulasi model dibandingkan secara kualitatif dengan data pola erosi dan sedimentasi dari pengukuran Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (PPGL) yang dilakukan oleh Arifin et al. (2001) pada umumnya menunjukkan kesesuaian walaupun ada beberapa bagian yang tidak cocok. Gambar 9 menunjukkan bahwa di kolam pelabuhan pada arah timur laut terjadi sedimentasi sedangkan hasil simulasi model menunjukkan erosi, walaupun ada sebagian kecil tersedimentasi. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan karena simulasi model yang dilakukan menggunakan pendekatan persamaan yang merupakan penjumlahan q_s dan q_b sehingga tidak melakukan

kontrol stress geser kritis (τ_{cr}), karena keterbatasan data lapangan yang dimiliki. Kemungkinan lain dari perbedaan ini adalah hasil simulasi model hanya meninjau sedimentasi dan erosi yang murni disebabkan oleh pasang surut, sedangkan di lapangan sendiri banyak faktor lain yang mempengaruhi proses sedimentasi dan erosi itu, terutama bagian luar dari kolam pelabuhan yang berbatasan langsung dengan laut lepas kemungkinan transport sedimen yang disebabkan oleh gelombang pendek (gelombang akibat angin) akan lebih dominan sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut.



Gambar 9. Peta sebaran sedimen di pelabuhan Pulau Baai Bengkulu (Arifin et al., 2001).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Hasil verifikasi model dengan membandingkan elevasi muka air dan kecepatan arus dengan hasil pengukuran lapangan menunjukkan perbedaan masing-masing $\pm 0,06$ m, dan $\pm 0,11$ m/s.
2. Hasil simulasi model transport sedimen secara kualitatif pada umumnya sesuai dengan data pola erosi dan sedimentasi dari Arifin et al. (2001), walaupun ada beberapa bagian yang tidak cocok.
3. Simulasi model transport sedimen dengan pembangkit arus pasang surut total menghasilkan pola, yaitu; Di kolam pelabuhan daerah erosi terjadi pada arah timur laut dan sedimentasi terjadi pada arah barat daya hingga tenggara. Untuk di alur secara umum tererosi, di mulut alur bagian luar dan di bagian baratnya tersedimentasi, dan di bagian timurnya terjadi erosi untuk simulasi tanpa bangunan pantai (*jetty*). Sedangkan simulasi dengan adanya bangunan pantai (*jetty*) menunjukkan hasil pola yang sama, akan tetapi hanya berbeda pada prosentase sedimentasi dan erosinya saja.

Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya perlu diadakan kajian transport sedimen yang meninjau pembangkitnya gelombang pendek yang disebabkan oleh angin terutama untuk daerah model di luar kolam pelabuhan yang berhadapan langsung dengan laut lepas, sehingga secara lengkap diperoleh informasi mengenai transport sedimen yang menyebabkan pendangkalan di alur pelabuhan Pulau Baai, sehingga nantinya diharapkan didapat solusi yang efektif untuk mengatasi pendangkalan yang terjadi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada DP2M DIKTI atas pembiayaan penelitian ini melalui penelitian Hibah Bersaing tahun 2010.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, L., Darlan, Y., Hutagaol, J.P., Hanafi, M. dan Supriadi. (2001). *Kajian Proses Sedimentasi untuk Alur Transportasi Batubara di Pulau Baai, Bengkulu Propinsi Bengkulu*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung.
- Chapman, D. C. (1985). "Numerical Treatment of Cross-Shelf Open Boundaries in a Barotropic Coastal Ocean Model." *Journal of Physical Oceanography*, Volume 15.
- Koutitas, C. G. (1988). *Mathematical Model in Coastal Engineering*, London.
- PT PELINDO II. (2009). *Tak Tuntas Pathaway, Pelindo II Keruk Alur Rakyat Bengkulu*, Bengkulu.
- Supiyati, Suwarsono dan Mayagsari. (2008). *Karakteristik Pasang Surut di Perairan Pulau Baai Bengkulu dengan metode Admiralty*. Universitas Bengkulu, Bengkulu.