

**PEMODELAN ALIRAN MATERIAL SEDIMEN AKIBAT ARUS PASANG SURUT UNTUK PEMELIHARAAN KEDALAMAN PERAIRAN PELABUHAN (Studi Kasus :Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong, Surabaya)**

Akbar Kurniawan<sup>1</sup>, Ramanda Aji Pradana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
E-mail: akbar.geodesy@gmail.com

**Abstract**

*Tides is a phenomenon rise and fall of the sea water periodically due to moon and sun gravity. Tides able to raise ocean current is called a tidal current. A tidal current influence the transport of sediment contained in the waters. The process of the deposition of sediment in the waters can affected the shape of topography at the base of waters, one of them is called silting up. The silting up of the sea waters can cause problems if there is in port waters, especially in the ways of shipping and port ponds. The depth of the sea no longer in accordance with the draft of the boats can cause a ship crash. Hence, it needs maintenance the depth of port waters territory by port authority. In this research, done modelling the flow of sediment material due to a tidal current to know the location where happened the largest depth changing in order maintenance the depth in port waters. Modelling the stream and the flow of sediment done in a numerical simulation on tides and grain size parameter. Based on the result of modelling, the largest sediment material flow happened in the estuary of Kali Semampir at coordinate (693905,38; 9204010,30) when the tides is high, with solid flux value 0,000584 m<sup>3</sup>/s. While the greatest of depth waters change in port ponds Zamrud with the change equals 0,9 m, so that it needs waters depth monitoring in this area routinely.*

*Keywords: port, sedimentations, tidal current*

**Abstrak**

Pasang surut air laut merupakan fenomena naik turunnya muka air laut secara periodik akibat pengaruh gaya tarik bulan dan matahari. Pasang surut air laut dapat membangkitkan arus laut yang disebut dengan arus pasang surut. Arus pasang surut mempengaruhi pergerakan sedimen yang terkandung di perairan tersebut. Proses pengendapan sedimen di suatu perairan dapat mempengaruhi bentuk topografi di dasar perairan tersebut, salah satunya adalah pendangkalan. Pendangkalan laut dapat menimbulkan permasalahan jika terjadi di perairan pelabuhan, khususnya untuk wilayah alur pelayaran dan kolam pelabuhan. Kedalaman laut yang tidak sesuai lagi dengan draft kapal dapat menyebabkan kecelakaan kapal. Oleh karena itu, perlu adanya pemeliharaan kedalaman untuk wilayah perairan pelabuhan. Dalam penelitian ini, dilakukan pemodelan aliran sedimen akibat arus pasang surut untuk mengetahui lokasi dimana terjadi perubahan kedalaman terbesar dalam rangka pemeliharaan kedalaman di perairan pelabuhan. Pemodelan arus dan aliran sedimen dilakukan menggunakan metode simulasi numerik dengan parameter pasang surut air laut dan ukuran butir sedimen. Dari hasil pemodelan, aliran material sedimen terbesar terjadi di muara Kali Semampir pada koordinat (693905,38; 9204010,30) saat pasang, dengan nilai solid flux sebesar 0,000584 m<sup>3</sup>/s. Sedangkan perubahan kedalaman perairan terbesar terjadi di kolam pelabuhan Dermaga Zamrud dengan perubahan sebesar 0,9 m, sehingga pada area ini perlu dilakukan pemeriksaan kedalaman secara lebih rutin.

*Kata Kunci: arus pasang surut, pelabuhan, sedimentasi*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Sedimen adalah material - material yang terbentuk dari perombakan batuan tua atau dari proses pengikisan batuan yang terbawa air, udara, dan es yang terjadi secara alami seperti precipitasi kimia atau sekresi oleh organisme, yang kemudian membentuk suatu lapisan di permukaan bumi (Hutabarat, 2006). Pergerakan sedimen di dalam perairan dipengaruhi oleh kecepatan arus dan ukuran butiran sedimen yang terkandung di dalamnya. Semakin besar ukuran butiran sedimen membutuhkan kecepatan arus yang semakin besar untuk mengangkut sedimen tersebut (Triatmodjo, 1999). Sehingga, arah dan kecepatan arus di suatu perairan akan mempengaruhi pola penyebaran transport sedimen di perairan tersebut.

Pasang surut air laut merupakan fenomena naik turunnya muka air laut secara periodik akibat adanya gaya pembangkit pasang surut yang utamanya berasal dari gaya tarik bulan dan matahari (Hutabarat, 2006). Fenomena pasang surut air laut diketahui dapat membangkitkan arus laut yang disebut dengan arus pasang surut (Kramadibrata, 1985). Dalam proses sirkulasi air laut di perairan pantai, arus pasang surut berperan secara dominan. Pada saat pasang, arus pasang surut mengirim air dari laut menuju perairan pantai, sedangkan pada saat surut mengirim air dari perairan pantai menuju ke laut lepas. Sirkulasi air akibat arus pasang surut dapat membawa material sedimen yang terkandung di perairan tersebut, sehingga pola arus pasang surut di suatu perairan akan mempengaruhi pola *transport* sedimen di perairan tersebut.

Proses sedimentasi atau pengendapan di suatu perairan dapat menimbulkan permasalahan, jika proses sedimentasi terjadi di perairan pelabuhan. Hal ini dikarenakan penumpukan endapan dapat mengurangi kedalaman perairan yang dapat menyebabkan kapal karam jika kedalaman perairan tersebut tidak lagi sesuai dengan *draft* kapal. Oleh karena itu, pengelola suatu pelabuhan memiliki kewajiban untuk melakukan perawatan terhadap kolam dan alur pelayaran dengan melakukan pengerukan secara rutin. Pola aliran sedimen dapat menjadi pertimbangan bagi pengelola pelabuhan dalam merencanakan perawatan kedalaman baik di alur pelayaran maupun kolam pelabuhan.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang pola arus pasang surut dan penyebaran aliran material sedimen di perairan pelabuhan, sehingga dapat digunakan sebagai referensi dalam perencanaan pengerukan untuk pemeliharaan kedalaman kolam maupun alur pelayaran pelabuhan.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Data Dan Peralatan

#### - Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data bathymetri Alur Pelayaran Barat dan Timur Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya tahun 2014
2. Data pengamatan pasang surut air laut Surabaya bulan September tahun 2014
3. Sampel sedimen yang didapatkan di perairan Pelabuhan Tanjung Perak
4. Peta Pelabuhan Surabaya dan Gresik Skala 1:12.500 tahun 2013

#### - Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Grab sampler*
2. *Software* perancangan
3. *Software* pengolah arus dan sedimen
4. *Software* konversi dxf-xyz

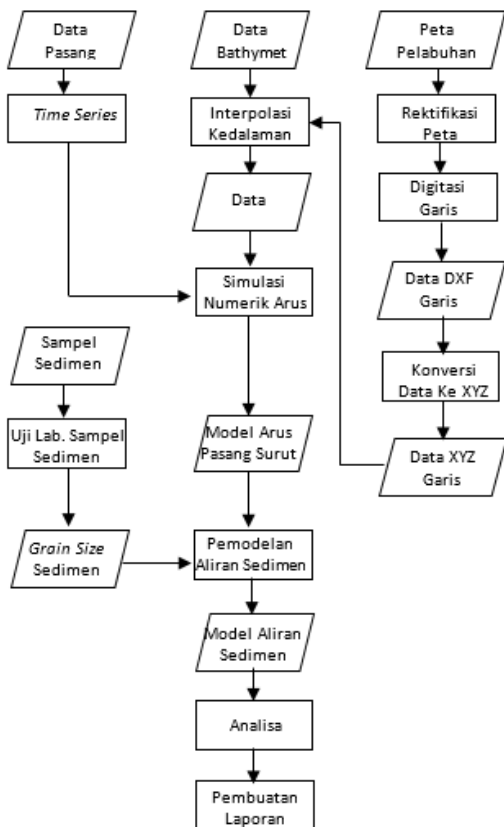
### Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di perairan Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong, Surabaya yang menjadi jalur lalu lintas dan daerah sandar kapal. Perairan ini terletak di area pada koordinat  $7^{\circ}08'17''$  LS -  $7^{\circ}13'38''$  LS dan  $112^{\circ}38'47''$  BT -  $112^{\circ}46'12''$  BT. Perairan Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong dipilih sebagai lokasi penelitian dengan pertimbangan perairan merupakan selat yang arus pasang surutnya menarik untuk dikaji. Selain itu, reklamasi yang dilakukan dalam pembangunan Terminal Pelabuhan Teluk Lamong mempunyai dampak signifikan dalam proses sedimentasi pada alur pelayaran di Selat Madura. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian ([www.eastjava.com/map](http://www.eastjava.com/map))

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan metode simulasi numerik dengan parameter pasang surut air laut. Formula yang digunakan dalam melakukan pemodelan arus pasang surut adalah persamaan kontinuitas dan hukum kekekalan momentum. Sedangkan pemodelan aliran sedimen dilakukan dengan menggunakan formula *Engelund-Hansen*. Secara garis besar, diagram alir dari pengolahan data dalam pemodelan ini ditampilkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data berdasarkan Gambar 2 adalah sebagai berikut:

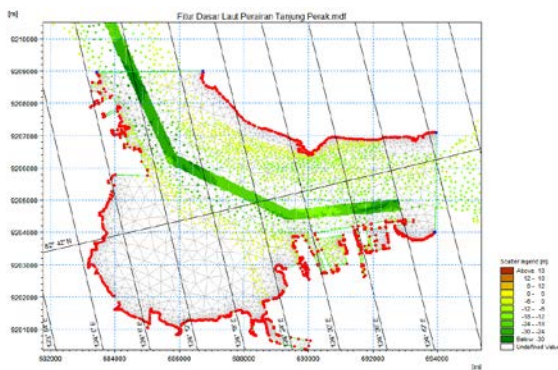
- Langkah awal dalam pemodelan arus adalah pembuatan *boundary* atau batas yang membedakan wilayah darat dan laut. Pembuatan *boundary* ini dilakukan dengan digitasi garis pantai pada Peta Pelabuhan Surabaya dan Gresik skala 1:12.500. Data vektor garis pantai selanjutnya dikonversikan ke dalam format (.xyz).
- Data bathymetri berupa data hasil pengukuran kedalaman dengan atribut koordinat x, y dalam sistem proyeksi UTM dan kedalaman dengan format (.xyz).
- Data *boundary* dan data bathymetri selanjutnya diolah pada modul *mesh generator* untuk membuat data *mesh* yang berupa fitur dasar laut dari perairan pelabuhan.
- Data pasang surut perairan Pelabuhan Tanjung Perak disusun pada modul *Time Series* untuk membuat grafik kenaikan pasang surut terhadap waktu. Grafik ini selanjutnya disimpan dalam format (.dfs0)
- Pemodelan arus dilakukan dengan *domain* fitur dasar laut perairan pelabuhan dalam format (.mesh) dengan parameter pasang surut air laut dalam format (.dfs0). Pemodelan arus berdasarkan pada persamaan kontinuitas dan kekekalan momentum.
- Pola arus hasil simulasi selanjutnya digunakan untuk memodelkan aliran sedimen dengan tambahan informasi *grain size* hasil uji sampel sedimen. Model aliran sedimen dilakukan berdasarkan formula *Engelund-Hansen*. Hasil simulasi sedimen berupa konsentrasi sedimen (*suspended concentration*) dan perubahan fitur dasar laut (*bed level*).
- Analisa dilakukan dengan membandingkan pasang surut air laut dengan model arus dan aliran sedimen. Kemudian dilakukan pengamatan perubahan kedalaman untuk menentukan area pemeliharaan kolam.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pembuatan Bidang Model

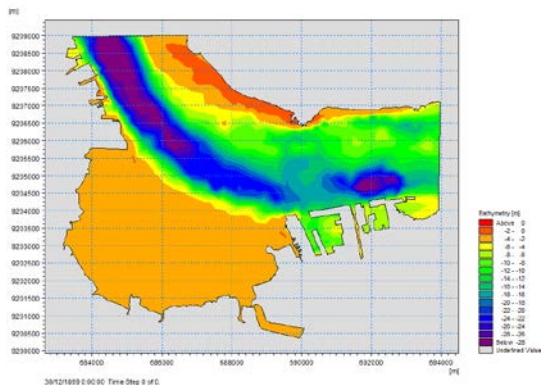
*Area meshing* merupakan proses pembuatan model kedalaman laut perairan yang dengan menggunakan jaring-jaring triangulasi dan interpolasi. Dalam proses *meshing*, langkah pertama adalah pendefinisian atribut garis batas

dan *input* data kedalaman. Garis batas meliputi garis pantai dan garis batas perairan. Garis pantai didapatkan dari digitasi Peta Pelabuhan Surabaya dan Gresik Skala 1:12.500. Koordinat garis batas dan titik-titik kedalaman ditampilkan dalam sistem proyeksi UTM Zona 49S dengan referensi ellipsoid WGS-84. Data kedalaman laut yang digunakan menggunakan referensi kedalaman LLWS. Hasil pendefinisian atribut batas dan *input* data kedalaman ditampilkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Pendefinisian Batas dan Titik Sebaran

Setelah pendefinisian batas dan kedalaman, dilakukan proses *area meshing* untuk memodelkan kedalaman laut perairan. Bidang model perairan ditampilkan pada Gambar 4.



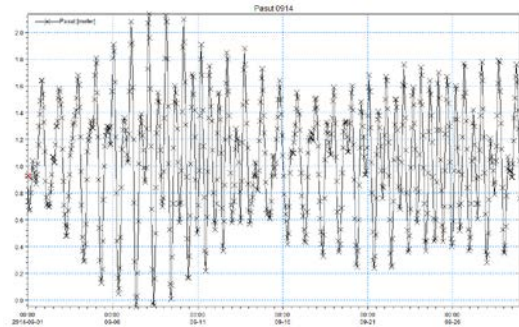
Gambar 4. Hasil Pembuatan Bidang Model

Pada Gambar 4 ditunjukkan hasil interpolasi kedalaman pada bidang model dengan skala warna. Semakin dalam perairan ditunjukkan dengan warna biru, sedangkan warna kuning menunjukkan perairan dangkal.

**Pasang Surut**

Data pengamatan pasang surut yang digunakan adalah data pengamatan pasang selama 29

piantan, dimulai pada tanggal 1 sampai dengan tanggal 29 September 2014. Pasang surut perairan Tanjung Perak bertipe campuran condong harian ganda sehingga dalam satu hari bisa terjadi dua kali pasang dan dua kali surut. Dari hasil pengamatan, didapatkan nilai pasang tertinggi 2,14 m dan nilai surut terendah -0,05m. Grafik pasang surut perairan Tanjung Perak dimodelkan ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Pengamatan Pasang Surut

**Pemodelan Arus Pasang Surut**

Pemodelan arus dilakukan dengan menggunakan parameter pasang surut air laut. Pemodelan dilakukan selama 695 jam dengan rentang waktu pemodelan setiap satu jam, sehingga didapatkan 695 model pola arus. *Input* yang digunakan adalah data bathymetri dan pasang surut. *Output* dari pemodelan ini adalah ketinggian air, kecepatan arus dan arah arus.

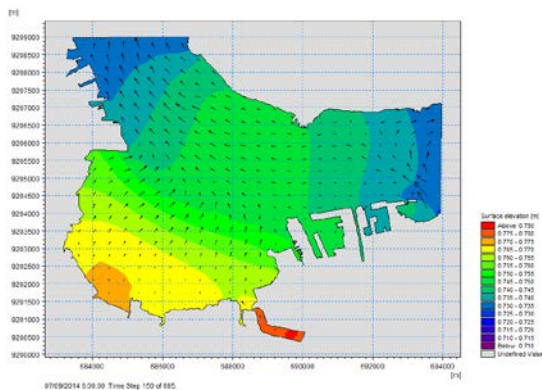
Validasi dilakukan dengan menghitung *Root Mean Square Error (RMS Error)*. *RMSE* merupakan pengukuran yang menyatakan perbandingan perbedaan nilai prediksi atau model dengan nilai hasil observasi yang digunakan untuk pemodelan. Dengan jumlah populasi 695 dari banyaknya pengamatan, maka perhitungan nilai *RMSE* adalah sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{0,037668}{695}} = \sqrt{0,000054} = 0,007$$

Dari perhitungan didapatkan bahwa nilai mendekati 0, sehingga dapat dikatakan bahwa hasil pemodelan yang dijalankan adalah baik dan valid.

Analisa pemodelan arus dilakukan dalam 4 kondisi, yaitu kondisi menuju surut, kondisi surut terendah, saat menuju pasang dan pada saat terjadi pasang tertinggi. Analisa dilakukan pada arah dan kecepatan arus serta ketinggian muka air hasil pemodelan.

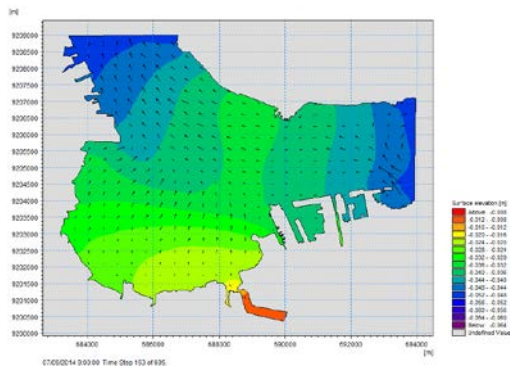




Gambar 6.Pola Arus Menuju Surut

Model pola arus menuju surut pada Gambar 6 terjadi pada *timestep* 150 tanggal 7 September 2014 pukul 06.00. Ketinggian permukaan air maksimal pada kondisi ini adalah 0,77 m pada koordinat 684446,828; 9201872,428. Kecepatan arus saat menuju pasang berkisar antara 0,03 - 0,18 m/s.

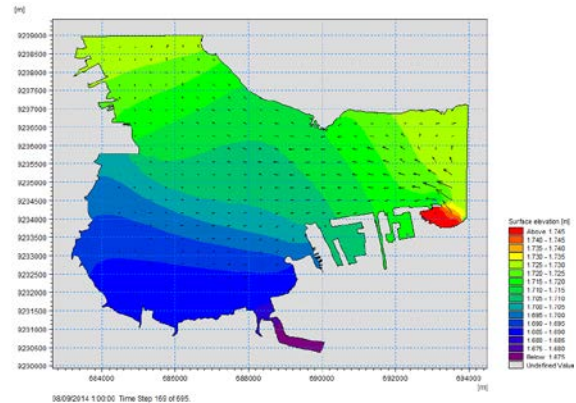
Pada Gambar 6 terlihat pada saat menuju surut arus mengalir keluar dari perairan Teluk Lamong. Arus dari timur bertabrakan dengan arus dari Teluk Lamong ke arah utara menuju Alur Pelayaran Barat. Sedangkan arus laut di sisi timur pelabuhan berputar ke arah utara dan timur laut.



Gambar 7.Pola Arus Menuju Surut

Model pola arus pada saat surut terendah pada Gambar 7 terjadi pada *timestep* 153 tanggal 7 September 2014 pada pukul 09.00. Ketinggian air pada saat terjadi surut terendah adalah -0,05 m. Berdasarkan pola arus yang ditampilkan pada Gambar 7, arah arus pada saat surut terendah mempunyai arah yang sama dengan pola arus menuju surut. Namun pada saat surut terendah, kecepatan arus mengalami penurunan berkisar antara 0,04 – 0,13 m/s. Penurunan kecepatan ini

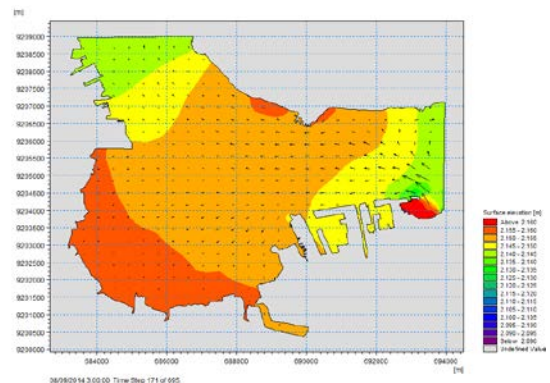
terjadi karena pada saat surut terendah , air akan berbalik arah dari laut lepas menuju daratan. Pada saat berbalik arah, arus akan berhenti sebelum kembali bergerak ke arah yang berlawanan.



Gambar 8.Pola Arus Menuju Pasang

Model pola arus menuju pasang pada Gambar 8 terjadi pada *timestep* 169 tanggal 8 September 2014 pukul 01.00. Ketinggian permukaan air maksimal pada kondisi ini adalah 1,74 m pada koordinat 693385,196; 9204029,965.

Pada Gambar 8 terlihat pada saat menuju pasang arus mengalir dari arah timur menuju ke perairan Teluk Lamong dan ke arah Utara. Pada saat menuju pasang, arus mengalir dengan kecepatan berkisar antara 0,05 – 0,19 m/s.



Gambar 9.Pola Arus Menuju Pasang

Model pola arus saat pasang tertinggi pada Gambar 9 terjadi pada *timestep* 171 tanggal 8 September 2014 pukul 03.00. Ketinggian permukaan air maksimal pada kondisi ini adalah 2,14 m. Kecepatan arus pada kondisi ini berkisar antara 0,07 – 0,20 m/s. Arah arus pada saat pasang tertinggi mempunyai kesamaan dengan arah arus menuju pasang. Namun pada kondisi ini,

arus pada perairan Teluk Lamong mulai berputar untuk berbalik ke sisi barat.

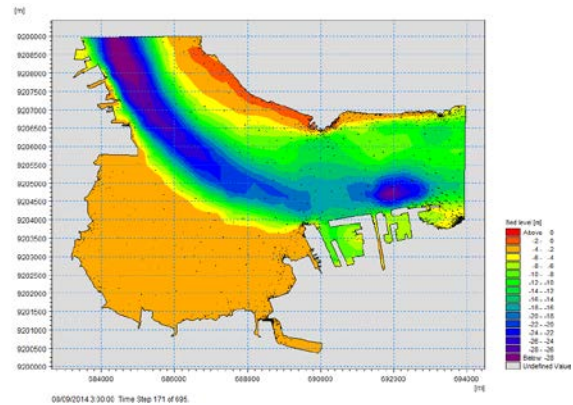
**Pemodelan Aliran Sedimen**

Hasil sampel sedimen didapatkan dari perairan Pelabuhan Tanjung Perak dilakukan dengan dikeruk yang kemudian dilakukan pengujian tanah oleh tim proyek Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) PT. Pelabuhan Indonesia III. Dari sampel sedimen didapatkan bahwa dasar perairan di Pelabuhan Tanjung Perak didominasi oleh lumpur dan pasir dengan *grain size* 0,5 mm. Dengan demikian maka pemodelan yang dilakukan adalah pemodelan aliran sedimen pasir.

Pemodelan aliran sedimen ini dilakukan selama 29 piantan dengan rentang waktu pemodelan setiap 1 jam sehingga didapatkan 696 model. *Input* yang digunakan dalam pemodelan adalah arus pasang surut hasil pemodelan dan *grain size* sedimen. Pemodelan sedimen dilakukan dengan menggunakan formula *Engelund-Hansen* yang ditunjukkan pada Pers(1) sebagai berikut:

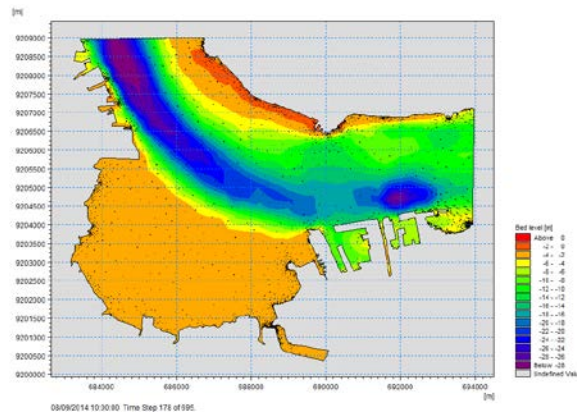
$$q = \bar{u}0,05C_{\tau} \frac{T_{b,c}^2}{(G-1)^2d_{50}\rho^2g^{5/2}} \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \epsilon \frac{u_0}{G} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(1)$$

Formula *Engelund-Hansen* digunakan untuk menghitung aliran sedimen dalam suatu kolom air. Dimana *q* adalah aliran sedimen (*solid flux*),  $\bar{u}$  adalah kecepatan rata-rata fluida,  $C_{\tau}$  adalah parameter *Chezy*/ rasio sedimen yang dipengaruhi oleh dimensi sedimen,  $T_{b,c}$  adalah tegangan geser akibat arus, *G* adalah rasio densitas,  $d_{50}$  adalah koefisien diameter sedimen rata-rata,  $\rho$  adalah densitas fluida, *g* adalah percepatan gravitasi,  $\epsilon$  adalah koefisien redam (*damping coefficient*), dan  $\bar{u}_0$  adalah kecepatan arus pada permukaan fluida. Analisa model aliran sedimen dilakukan dalam dua kondisi, yaitu pada saat kondisi pasang dan pada saat kondisi surut. Pengamatan dilakukan pada nilai aliran sedimen dan arah dari aliran sedimen. Kemudian dilakukan analisa perubahan kedalaman pada kolam pelabuhan dengan mengamati perubahan kedalaman pada dua belas titik dari tiga kolam pelabuhan. Yaitu pada Kolam Pelabuhan Teluk Lamong, Tanjung Perak dan Dermaga Zamrud.



**Gambar 10. Pola Aliran Sedimen Saat Pasang**

Gambar 10 menunjukkan pola aliran sedimen saat terjadi pasang. Model ini terjadi pada *timestep* 171 tanggal 08 September 2014 pukul 03.00. Nilai *solid flux* maksimal adalah 0,000584 m<sup>3</sup>/s pada koordinat 693905,38; 9204010,30 dengan arah 5,2 - 6 radian. Aliran sedimen terlihat di beberapa lokasi di sisi pulau Jawa dan Madura. Di sisi Jawa aliran sedimen terjadi di muara Kali Semampir sisi timur area pelabuhan dan di ujung dermaga Bogasari. Sedangkan di sisi pulau madura aliran sedimen terlihat di daerah Tanjung Kamal.



**Gambar 11. Pola Aliran Sedimen Saat Surut**

Gambar 11 menunjukkan pola aliran sedimen pada saat surut setelah terjadi pasang tertinggi. Model ini terjadi pada *timestep* ke 178 tanggal 8 September 2014 pukul 10.00. Pada kondisi ini, nilai *solid flux* maksimal adalah 0,000020 m<sup>3</sup>/s terletak pada koordinat 693922,55; 9204021,92 dengan arah 5,2 - 5,6 radian. Aliran sedimen pada saat surut terlihat lebih tebal di banding ketika pasang. Hal ini karena pada saat surut arus laut menarik material sedimen ke arah laut. Sedimentasi kembali terjadi di muara Kali Semampir dan dermaga Bogasari, selain itu

sedimentasi juga terlihat di area reklamasi, dermaga semen dan dermaga PLTU. Di sisi pulau madura, sedimentasi terjadi di Tanjung Kamal, Batuporon dan wilayah tambak barat.

**Perubahan Kedalaman**

Aliran material sedimen dapat menyebabkan perubahan kedalaman, baik pendangkalan maupun pendalaman perairan. Analisa perubahan kedalaman dilakukan setiap minggu menggunakan 12 titik dari 3 kolam pelabuhan, yaitu Kolam Dermaga Zamrud, Kolam Pelabuhan Tanjung Perak, dan Kolam Pelabuhan Teluk Lamong. Perubahan kedalaman di setiap titik ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1. Perubahan Kedalaman Kolam Pelabuhan**

Kolam Pelabuhan	Koordinat		Perubahan Kedalaman (m)			
	Easting	Northing	Minggu ke-1	Minggu ke-2	Minggu ke-3	Minggu ke-4
Teluk Lamong	686585.13	9205129.42	0.0013	0.0461	0.0449	0.0448
	686132.65	9205459.37	-0.0005	-0.0172	-0.0065	-0.0053
	686073.73	9205378.57	-0.0004	-0.0132	-0.0029	-0.0017
Tanjung Perak	686526.21	9205048.62	0.0009	0.0270	0.0253	0.0250
	688773.72	9204165.33	0.0005	0.0119	0.0089	0.0086
	688754.83	9204066.56	0.0002	0.0031	-0.001	-0.0014
Dermaga Zamrud	687772.64	9204254.43	-0.0002	-0.0115	-0.0061	-0.0055
	687791.53	9204353.21	-0.0005	-0.0183	-0.0104	-0.0095
	690196.11	9204005.57	0.0023	0.1001	0.0963	0.0959
	690184.54	9204077.23	0.0028	0.0911	0.0904	0.0904
	691375.67	9204195.99	-0.0011	-0.0255	-0.0134	-0.0121
	691364.10	9204267.65	-0.0046	-0.1013	-0.1083	-0.1092

Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa aliran material sedimen menyebabkan perubahan kedalaman di kolam pelabuhan. Pada minggu pertama, tidak terjadi perubahan kedalaman yang signifikan di semua titik. Namun, perubahan kedalaman menunjukkan pendangkalan dan pendalaman yang bervariasi di semua kolam pelabuhan. Perubahan kedalaman terbesar terjadi di Kolam Dermaga Zamrud pada koordinat 691364,10; 9204267,65 dengan penambahan kedalaman sebesar 0,0046 m.

Pada minggu kedua, perubahan kedalaman terhadap kedalaman awal terlihat lebih besar. Sedangkan tipe perubahan kedalaman tetap sama dengan perubahan pada minggu pertama. Perubahan kedalaman tertinggi terjadi di Kolam Dermaga Zamrud pada koordinat 691364,10; 9204267,65 dengan penambahan kedalaman sebesar 0,1013 m. Sedangkan perubahan kedalaman terkecil terjadi di Kolam Pelabuhan Tanjung Perak dengan pendangkalan sebesar 0,0031 m.

Pada minggu ketiga terjadi pergantian tipe perubahan kedalaman. Jika sebelumnya terjadi pendangkalan pada minggu ketiga terjadi penambahan kedalaman, sedangkan jika sebelumnya terjadi penambahan kedalaman, pada minggu ketiga terjadi pendangkalan. Hal ini terjadi di hampir semua titik, kecuali di Kolam Pelabuhan Teluk Lamong pada koordinat 686585,13; 9205129,42 dan di Kolam Dermaga Zamrud pada koordinat 691364,10; 9204267,65. Perubahan Kedalaman terbesar terjadi di Kolam Dermaga Zamrud.

Pada minggu keempat, pergantian tipe perubahan kedalaman terjadi di Kolam Pelabuhan Teluk Lamong pada koordinat 686585,13; 9205129,42. Jika sebelumnya terjadi pendangkalan, pada minggu keempat di titik ini terjadi penambahan kedalaman sebesar 0,0001 m sehingga terhadap kedalaman awal menjadi 0,0448 m. Sedangkan pada titik lain, tipe perubahan kedalaman masih sama dengan minggu ketiga.

Berdasarkan Tabel 1, daerah kolam pelabuhan dengan pengaruh sedimentasi terbesar adalah kolam Dermaga Zamrud. Sedangkan pada Kolam Pelabuhan Teluk Lamong dan Tanjung Perak perubahan kedalamannya relatif lebih kecil. Hal ini akibat lokasi dermaga Zamrud yang paling dekat dengan wilayah muara Kali Semampir yang membawa sedimen tersuspensi cukup besar. Oleh karena itu, untuk kepentingan pemeliharaan perlu dilakukan monitoring kedalaman secara lebih rutin untuk kolam Dermaga Zamrud.

**PENUTUP**

**Kesimpulan**

Kesimpulan yang didapatkan dari pemodelan ini adalah:

- a. Pola arus pada saat menuju pasang dan menuju surut mengalami perbedaan baik pada arah dan kecepatan. Kecepatan arus terbesar terjadi pada saat pasang tertinggi dengan kecepatan arus berkisar antara 0,07-0,20 m/s dengan arah arus di perairan Teluk Lamong berkisar antara 3,6 - 5,2 radian. Sedangkan pada saat surut terendah kecepatan arus berkisar antara 0,04 - 0,13 m/s dengan arah arus di perairan Teluk lamong berkisar antara 0 - 2,4 radian.
- b. Aliran material sedimen akibat arus pasang

surut terbesar terjadi di muara Kali Semampir pada koordinat 693905,38; 9204010,30 saat pasang dengan nilai *solid flux* sebesar 0,000584 m<sup>3</sup>/s dengan arah 5,2 - 6 radian.

- c. Aliran material sedimen mempengaruhi perubahan kedalaman, baik berupa pendangkalan maupun penambahan kedalaman di area kolam pelabuhan. Perubahan kedalaman terbesar terjadi kolam Dermaga Zamrud sehingga perlu dilakukan pemeriksaan kedalaman kolam secara lebih rutin.

### Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya pada bidang terkait adalah:

- Pemodelan arus untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan parameter pembangkit lain seperti angin, densitas, tekanan dan gaya koriolis atau dengan kombinasi dari semua parameter sehingga didapatkan model arus dalam dan arus permukaan.
- Pemodelan aliran sedimen dapat dilakukan dengan menggunakan formula transportasi sedimen lain seperti formula *Engelund-Fredsoe*, *Van Rijn* dan *Meyer-Peter-Muller* atau dapat dilakukan penelitian yang membandingkan model dari formula tersebut.
- Pemodelan aliran sedimen selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan parameter lain yang mempengaruhi sedimentasi seperti gelombang laut dan volume material sedimen yang terbawa oleh aliran sungai.
- Dapat dilakukan pemodelan dengan jangka waktu lebih lama, atau pemodelan pada bulan lain sebagai perbandingan.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis R.A.P. mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing, Bapak Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc. dan Bapak Akbar Kurniawan ST., MT. atas kesediaannya untuk membimbing dalam penelitian ini. Selain itu tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Pelabuhan Indonesia III (Persero) yang telah memberikan ijin untuk melakukan penelitian di lingkungan Pelabuhan Tanjung Perak.

### DAFTAR PUSTAKA

- Hutabarat Sahala dan Evans Stewart M. (2006). Pengantar Oseanografi. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Kramadibrata, Soedjono. (1985). Perencanaan Pelabuhan. Bandung: Ganeca Exact
- Ongkosongo, O. (1989). Pasang Surut. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Paolo, Cinat. (2012). Sediment Transport Models for Shallow Water Equations. Pisa: Universita Degli Studi Di Pisa
- Poerbandono dan Djunarsjah, Eka. (2005). Survey Hidrografi. Bandung: Refika Aditama.
- Stewart, R.H., (2002). Intoduction to Physical Oceanography. Departement of Oceanography. Texas A&M University.
- Savitri, D. (2010). Simulasi Sebaran Sedimen Terhadap Ketinggian Gelombang. Jurnal Teknik Waktu Volume 8 Nomer 2.
- Sugianto, N.D. (2009). Studi Pola Sirkulasi Arus Laut di Perairan Pantai Provinsi Sumatera Barat. Semarang: FPIK UNDIP.
- Triatmodjo, Bambang. (1999). Teknik Pantai. Yograkarta: Universitas Gajah Mada.