



**TUGAS AKHIR - RG 141536**

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

**RAMANDA AJI PRADANA  
NRP 3512100048**

**Dosen Pembimbing  
Dr-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.  
Akbar Kurniawan, S.T., M.T.**

**JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**



FINAL ASSIGNMENT - RG 141536

**MODELLING THE FLOW OF SEDIMENT MATERIAL DUE  
TO A TIDAL CURRENT FOR THE MAINTENANCE OF  
THE DEPTH OF PORT WATERS  
(Case Study : Port of Tanjung Perak -Teluk Lamong,  
Surabaya)**

RAMANDA AJI PRADANA  
NRP 3512100048

Advisors

Dr-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.  
Akbar Kurniawan, S.T., M.T.

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016

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

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Program Studi S-1 Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh  
**Ramanda Aji Pradana**  
NRP. 3512100048

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Dr-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc. ..... (Pembimbing I)  
NIP. 19590819 198502 1 001
2. Akbar Kurniawan, S.T., M.T. ..... (Pembimbing II)  
NIP. 19860518 201212 1 002

**Surabaya, Juni 2016**

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

**Nama Mahasiswa : Ramanda Aji Pradana**  
**NRP : 3512100048**  
**Jurusan : Teknik Geomatika FTSP-ITS**  
**Dosen Pembimbing: Dr-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M. SC.**  
**Akbar Kurniawan S.T., M.T.**

**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***

**MODELLING THE FLOW OF SEDIMENT  
MATERIAL DUE TO A TIDAL CURRENT FOR THE  
MAINTENANCE OF THE DEPTH OF  
PORT WATERS**  
**(Case Study: Port of Tanjung Perak-Teluk Lamong,  
Surabaya)**

**Student Name** : Ramanda Aji Pradana  
**Reg. Number** : 3512100048  
**Department** : Teknik Geomatika FTSP-ITS  
**Advisor** : Dr-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M. SC.  
Akbar Kurniawan S.T., M.T.

**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***

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji syukur ke hadirat Tuhan Yesus Kristus atas kasih dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul:

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

Laporan tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan tahap Strata I pada Jurusan Teknik Geomatika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulusnya kepada:

1. Orang tua penulis, Mama Marsiani atas doa, dukungan, semangat, kasih sayang dan pengorbanannya selama ini.
2. Bapak Dr-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc. selaku dosen wali dan dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis.
3. Bapak Akbar Kurniawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan kepada penulis.
4. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS.
5. Bapak Ibu Dosen Teknik Geomatika atas bimbingan dan ilmu yang diajarkan selama ini.

6. Bapak dan Ibu Tata Usaha, serta seluruh staff dan karyawan Teknik Geomatika yang telah membantu kelancaran proses akademis.
7. Teman-teman Jurusan Teknik Geomatika angkatan 2012 atas bantuan dan kerjasama selama kuliah dan pada saat penyusunan tugas akhir ini.
8. Teman-teman Jurusan Teknik Kelautan. Terima kasih atas bimbingannya pada saat pengolahan data.
9. Teman-teman PMK, Lahai Roi, dan MLB Curch atas dukungan dan doanya.
10. PT. Pelabuhan Indonesia III dan Badan Informasi Geospasial yang membantu dalam proses pengumpulan data.
11. Serta semua pihak yang turut membantu terselesaikannya tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata, kiranya Tuhan Yesus Kristus senantiasa memberkati semua pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Besar harapan penulis tugas akhir ini dapat memberi manfaat bagi pembaca. Sekian dan terima kasih

Surabaya, Juni 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK .....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pasang Surut .....	7
2.2 Faktor Penyebab Pasang Surut .....	8
2.3 Konstanta Harmonik Paang Surut .....	9
2.4 Tipe Pasang Surut.....	11
2.5 Arus Pasang Surut .....	12
2.6 Model Hidrodinamika .....	13
2.7 Sedimen .....	14
2.8 Aliran Sedimen.....	16
2.9 Model Aliran Sedimen .....	17
2.10 <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE) .....	18
2.11 Penelitian Terdahulu.....	19
BAB III METODOLOGI .....	21
3.1 Lokasi Penelitian .....	21
3.2 Data dan Peralatan.....	22
3.2.1 Data.....	22
3.2.2 Peralatan .....	23

3.3 Metodologi Penelitian .....	23
3.4 Tahapan Pengolahan Data .....	25
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>27</b>
4.1 Bidang Model .....	27
4.1.1 Pendefinisian Batas dan kedalaman.....	27
4.1.2 Jaring-jaring Triangulasi.....	28
4.1.3 Interpolasi Kedalaman .....	29
4.2 Pemodelan Arus.....	31
4.2.1 Parameter Pemodelan Arus.....	31
4.2.2 Analisa Pasang Surut .....	31
4.2.3 Analisa Model Arus .....	36
4.3 Pemodelan Aliran Sedimen .....	45
4.3.1 Hasil Uji Sampel Sedimen .....	45
4.3.2 Parameter Pemodelan Sedimen .....	45
4.3.3 Analisa Model Aliran Sedimen.....	46
4.3.4 Penentuan Area Pemeliharaan Kedalaman .....	51
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>59</b>
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengaruh Bulan dan Matahari Terhadap Pasang Surut.....	9
Gambar 2.2	Mekanisme Transportasi Sedimen .....	16
Gambar 3.1	Peta Provinsi Jawa Timur.....	21
Gambar 3.2	Lokasi Penelitian.....	22
Gambar 3.3	Diagram Tahapan Penelitian .....	24
Gambar 3.4	Diagram Pengolahan Data.....	26
Gambar 4.1	Jaring-jaring Triangulasi .....	29
Gambar 4.2	Bidang Model.....	30
Gambar 4.3	Grafik Pasang Surut Bulan September 2014....	33
Gambar 4.4	Grafik Pasang Surut Hasil Pemodelan .....	35
Gambar 4.5	Kondisi Pengamatan Arus Pasang Surut.....	36
Gambar 4.6	Pola Arus Saat Menuju Surut.....	37
Gambar 4.7	Kecepatan Arus Saat Menuju Surut .....	38
Gambar 4.8	Arah Arus Saat Menuju Surut.....	38
Gambar 4.9	Pola Arus Saat Surut Terendah .....	39
Gambar 4.10	Kecepatan Arus Saat Surut Terendah.....	40
Gambar 4.11	Arah Arus Saat Surut Terendah .....	40
Gambar 4.12	Pola Arus Saat Menuju Pasang .....	41
Gambar 4.13	Kecepatan Arus Saat Menuju Pasang.....	42
Gambar 4.14	Arah Arus Saat Menuju Pasang .....	42
Gambar 4.15	Pola Arus Saat Pasang Tertinggi.....	43
Gambar 4.16	Kecepatan Arus Saat Pasang Tertinggi .....	44
Gambar 4.17	Arah Arus Saat Pasang Tertinggi .....	44
Gambar 4.18	Kondisi Pengamatan Aliran Sedimen .....	46
Gambar 4.19	Pola Aliran Sedimen Saat Pasang .....	47
Gambar 4.20	Pola Aliran Sedimen Saat Surut.....	48
Gambar 4.21	Pola Perubahan Kedalaman Muara Kali Semampir Minggu Pertama.....	49
Gambar 4.22	Pola Perubahan Kedalaman Muara Kali Semampir Minggu Kedua .....	50
Gambar 4.23	Pola Perubahan Kedalaman Muara Kali Semampir Minggu Ketiga .....	50

Gambar 4.24	Pola Perubahan Kedalaman Muara Kali Semampir Minggu Keempat.....	51
Gambar 4.25	Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Pertama.....	53
Gambar 4.26	Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Kedua .....	53
Gambar 4.27	Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Ketiga .....	54
Gambar 4.28	Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Keempat .....	54

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1	Konstanta Harmonik Pasang Surut .....	10
Tabel 2.2	Klasifikasi Besar Butir Skala Wentworth .....	15
Tabel 4.1	Pendefinisian Atribut Batas .....	28
Tabel 4.2	Pendefinisian Kondisi Batas .....	31
Tabel 4.3	Data Pasang Surut Bulan September 2014 .....	32
Tabel 4.4	Data Pasang Surut Hasil Pemodelan.....	34
Tabel 4.5	Hasil Uji Sampel Sedimen .....	45
Tabel 4.6	Koordinat Titik Pengamatan .....	52
Tabel 4.7	Perubahan Kedalaman Kolam Pelabuhan.....	55

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sedimen adalah material-material yang terbentuk dari perombakkan batuan tua atau dari proses pengikisan batuan yang terbawa air, udara, dan es, atau material yang diendapkan oleh proses yang terjadi secara alami seperti precipitasi kimia atau sekresi oleh organisme, yang kemudian membentuk suatu lapisan di permukaan bumi (Hutabarat dan Evan 2006). Keberadaan sedimen di dalam perairan akan mempengaruhi kondisi fisik perairan tersebut, hal ini karena pengendapan sedimen di suatu perairan akan mempengaruhi bentuk topografi di dasar perairan tersebut.

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. Secara umum material sedimen yang berukuran kasar akan diendapkan tidak jauh dari sumbernya, sedangkan material sedimen yang berukuran halus akan diendapkan lebih jauh dari sumbernya (Stewart 2002). Perbedaan karakteristik sedimen dan arah serta kecepatan arus inilah yang menyebabkan ada beberapa kelompok populasi sedimen yang menyusun lapisan permukaan di dasar perairan.

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 dan Evan 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 penumpukkan endapan dapat mengurangi kedalaman perairan yang dapat menyebabkan kapal karam jika kedalaman perairan tersebut tidak lagi sesuai dengan draft kapal. Oleh karena itu, pengelola pelabuhan memiliki kewajiban untuk melakukan perawatan terhadap kolam dan alur pelayaran dengan melakukan pengerukan secara rutin. Pengerukan secara rutin diperlukan untuk memelihara kedalaman suatu kolam dan alur pelayaran dari pendangkalan akibat pergerakan dan pengendapan material sedimen (Kramadibrata 1985).

Pelabuhan Tanjung Perak adalah pelabuhan terbesar dan tersibuk di Indonesia setelah Tanjung Priok yang terletak di Surabaya, Jawa Timur. Sebagai pusat perdagangan di Indonesia bagian Timur, Tanjung Perak berfungsi sebagai kolektor dan distributor barang dari dan menuju kawasan timur Indonesia. Selain distribusi barang, Tanjung Perak juga memiliki terminal penumpang kapal laut termewah di Indonesia bernama Gapura Surya Nusantara yang menghubungkan Surabaya dengan kota-kota pelabuhan lain. Kegiatan di Pelabuhan Tanjung Perak juga didukung oleh Terminal Pelabuhan Teluk Lamong yang merupakan salah satu terminal pelabuhan terancang di mana seluruh sistem operasinya otomatis. Pelabuhan Tanjung Perak juga dilengkapi dengan fasilitas dermaga yang dapat melayani kapal pesiar baik dari dalam negeri maupun luar negeri.

Lokasi yang strategis dan fasilitas pendukung yang memadai menjadikan Pelabuhan Tanjung Perak sebagai pelabuhan yang mempunyai lalu lintas laut cukup padat. Karena lalu lintas yang padat, perlu dilakukan peningkatan fasilitas keamanan transportasi laut. Salah satunya yaitu perlu dilakukan perawatan dan pemeriksaan kedalaman alur pelayaran dan kolam pelabuhan untuk menjaga keamanan lalu lintas laut. Kondisi perairan yang perlu perawatan kedalaman ini menjadikan perairan Pelabuhan Tanjung Perak dan Teluk Lamong dipilih sebagai lokasi pemodelan aliran sedimen. Selain itu, morfologi pantai yang berbentuk selat menjadikan perairan ini menarik untuk dikaji.

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

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pola aliran sedimen dari arus pasang surut terhadap penyebaran konsentrasi sedimen di perairan Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong, Surabaya. Secara detail permasalahan yang akan dibahas meliputi:

- a. Bagaimana pola arus pasang surut di perairan Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong?
- b. Bagaimana pola aliran sedimen di perairan Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong?
- c. Bagaimana penentuan area perawatan pelabuhan dari pola aliran sedimen di perairan Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong?

### **1.3 Batasan Masalah**

Dalam pengerjaan penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, antara lain:

- a. Parameter yang digunakan dalam pemodelan ini adalah pasang surut muka air laut perairan Surabaya.
- b. Wilayah penelitian adalah perairan Pelabuhan Tanjung Perak dan Teluk Lamong.
- c. Pemodelan aliran sedimen dilakukan dengan metode pemodelan numerik dengan formula Engelund-Hansen.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

- a. Memodelkan pola arus pasang surut di perairan Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong.
- b. Memodelkan pola aliran sedimen akibat pengaruh arus pasang surut di perairan Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong.
- c. Menentukan area perawatan pelabuhan dari pola aliran sedimen di perairan Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

- a. Simulasi model hasil penelitian akan menghasilkan informasi mengenai pola penyebaran sedimen yang dapat digunakan untuk lokasi pengerukan dalam rangka pemeliharaan kedalaman kolam dan alur pelayaran di perairan Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong, Surabaya.

- b. Sebagai acuan untuk simulasi model di daerah lain yang mempunyai karakteristik topografi dan tipe pasang surut yang sama sehingga dapat digunakan untuk aplikasi pada bidang terkait dengan kelautan, baik untuk kepentingan ilmiah, maupun aplikasi praktis secara luas.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pasang Surut

Pasang surut air laut adalah fenomena naik turunnya muka air laut akibat gaya penggerak pasang surut yang selalu berulang secara periodik. Gaya penggerak pasang surut berasal dari gaya tarik benda-benda langit, terutama bulan dan matahari, serta pengaruh dari rotasi bumi pada sumbunya. Peredaran bulan mengelilingi bumi dan peredaran bumi mengelilingi matahari terjadi secara teratur dengan periode tertentu pada orbitnya memberikan pengaruh pada naik turunnya muka laut secara periodik. Karena pengaruhnya yang sangat kecil, maka gaya tarik dari benda-benda langit selain bulan dan matahari tidak terlalu diperhitungkan.

Setiap daerah mengalami fenomena pasang surut yang berbeda-beda, tergantung dari tipe pasang surut di daerah tersebut. Berdasarkan frekuensi terjadinya, pasang surut dibedakan menjadi 4 (empat) tipe, yaitu pasang surut harian ganda (*semidiurnal tide*), pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), campuran condong harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*), dan campuran condong harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*).

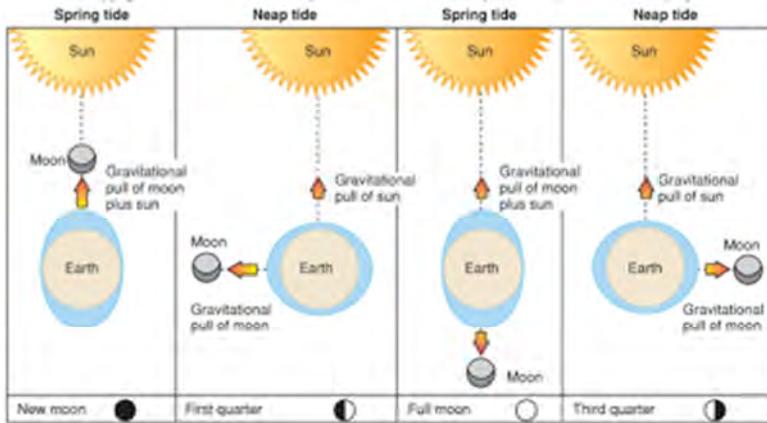
Kedudukan bulan bumi dan matahari sangat besar pengaruhnya pada proses pasang surut. Saat matahari segaris dengan sumbu bumi bulan, maka akan terjadi pasang maksimum pada titik di permukaan bumi yang berada di sumbu kedudukan relatif bumi, bulan, dan matahari. Kondisi ini disebut dengan pasang surut perbani (*spring tide*) yang terjadi ketika bulan baru dan bulan purnama. Pada saat kedudukan matahari tegak lurus terhadap sumbu bumi bulan. Terjadi pasang minimum pada titik di permukaan bumi yang tegak lurus sumbu bumi bulan. Kondisi ini disebut pasang surut mati (*neap tide*) yang terjadi di perempat awal dan akhir bulan (Poerbandono dan Djunarsjah 2005).

## **2.2 Faktor Penyebab Pasang Surut**

Menurut Wyrcki dalam Triatmodjo (1999), faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya pasang surut berdasarkan teori kesetimbangan adalah rotasi bumi pada sumbunya, revolusi bulan terhadap bumi, dan revolusi bumi terhadap matahari. Sedangkan berdasarkan teori dinamis, penyebab pasang surut adalah luas dan kedalaman perairan, pengaruh rotasi bumi, dan gesekan dasar. Selain itu juga terdapat beberapa faktor lokal yang dapat mempengaruhi pasang surut di suatu perairan seperti topografi dasar laut, lebar selat dan bentuk teluk, sehingga setiap perairan memiliki karakteristik pasang surut yang berbeda.

Pasang surut merupakan hasil dari gaya gravitasi dan efek sentrifugal. Efek sentrifugal adalah dorongan ke arah luar pusat rotasi bumi. Sedangkan gaya gravitasi disebabkan oleh benda-benda langit yang mempunyai massa. Gaya gravitasi berbanding lurus dengan massa dan berbanding terbalik terhadap jarak. Meskipun mempunyai massa yang lebih kecil dibandingkan dengan matahari, bulan mempunyai gaya gravitasi lebih besar untuk membangkitkan pasang surut di bumi. Hal ini disebabkan oleh jarak bulan ke bumi yang jauh lebih dekat dengan jarak bumi ke matahari.

Gaya gravitasi menarik air laut ke arah bulan dan matahari menghasilkan dua tonjolan (bulge) pasang surut gravitasional di laut. Posisi dari tonjolan pasang surut ditentukan oleh deklinasi, yaitu sudut antara sumbu rotasi bumi dan bidang orbital bulan dan matahari. Kombinasi dari tonjolan yang diakibatkan oleh gravitasi bulan dan matahari ini menyebabkan perubahan ketinggian pasang dan surut di suatu perairan pada waktu tertentu. Pengaruh kedudukan bulan dan matahari terhadap pasang surut diilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pengaruh Bulan dan Matahari Terhadap Pasang Surut  
(Sumber: Garrison , 1998)

Pengaruh kedudukan bulan dan matahari pada pasang surut menyebabkan perubahan ketinggian pada saat terjadi pasang dan surut. Pada posisi bulan dan matahari segaris, terjadi tonjolan pasang surut paling besar karena pengaruh gaya gravitasi bulan dan matahari berada pada satu arah. Pada kondisi ini, pasang surut yang terjadi adalah pasang surut purnama dimana terjadi pasang paling tinggi dan surut paling rendah. Sedangkan pada posisi bulan dan matahari tegak lurus, tonjolan pasang surut tidak terlalu besar dan lebih condong ke arah bulan. Pada kondisi ini terjadi pasang surut perbani dimana perbedaan tinggi muka air pada saat pasang dan surut tidak terlalu besar.

### **2.3 Konstanta Harmonik Pasang Surut**

Konstanta harmonik pasang surut adalah komponen-komponen yang dapat membangkitkan pasang surut yang bersifat periodik, sesuai dengan gaya-gaya penyebabnya yang juga bersifat periodik. Konstanta harmonik pasang surut terjadi karena adanya gerakan bulan mengelilingi bumi, dan gerakan bumi

bersama-sama dengan bulan mengelilingi matahari. Dalam kaitannya dengan gaya tarik, perubahan posisi akibat proses revolusi bumi dan bulan pada orbitnya menyebabkan perubahan besarnya nilai gaya tarik sehingga berpengaruh terhadap proses pasang surut. Konstanta pasang surut mempunyai nilai amplitudo dan periode yang berbeda-beda, tetapi secara garis besar dapat dikategorikan ke dalam 4 (empat) kelompok (Poerbandono 1999), yaitu:

- Konstanta harmonik periode setengah harian (*semidiurnal period tide*), terdiri dari  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ , dan  $K_2$ .
- Konstanta harmonik periode harian (*diurnal period tide*), terdiri dari  $K_1$ ,  $O_1$ , dan  $P_1$ .
- Konstanta harmonik periode panjang (*long period tide*), terdiri dari  $M_f$  dan  $M_m$ .
- Konstanta harmonik perairan dangkal (*shallow water tide*), terdiri dari  $M_4$  dan  $MS_4$ .

Keterangan konstanta harmonik pasang surut utama dan pasang surut perairan dangkal dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Konstanta Harmonik Pasang Surut  
(Sumber: Poerbandono, 1999)

Nama Konstanta	Simbol	Periode (jam)	Kecepatan ( $^{\circ}$ /jam)	Jenis
<i>Principal lunar</i>	$M_2$	12,42	28,984	<i>Semi-diurnal</i>
<i>Principal solar</i>	$S_2$	12,00	30,000	
<i>Larger lunar elliptic</i>	$N_2$	12,66	28,440	
<i>Luni solar semi diurnal</i>	$K_2$	11,98	30,082	
<i>Luni solar diurnal</i>	$K_1$	23,93	15,041	<i>Diurnal</i>
<i>Principal lunar diurnal</i>	$O_1$	25,82	13,943	
<i>Principal solar diurnal</i>	$P_1$	24,07	14,959	
<i>Lunar fortnightly</i>	$M_f$	327,82	1,098	<i>Long Period</i>
<i>Lunar monthly</i>	$M_m$	661,30	0,544	
<i>Main lunar</i>	$M_4$	6,21	57,968	<i>Shallow Water</i>
<i>Main luni-solar</i>	$MS_4$	6,20	58,084	

## 2.4 Tipe Pasang Surut

Setiap daerah memiliki tipe pasang surut yang berbeda-beda, jika di suatu perairan terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam sehari di perairan lain mungkin saja terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari. Fenomena ini bergantung pada tipe pasang surut di perairan tersebut. Tipe pasang surut di suatu daerah umumnya bersifat tetap. Tipe pasang surut di suatu daerah dapat diketahui dengan menggunakan rumus bilangan *Formzahl* sebagai berikut:

$$F = \frac{AK_1 + AO_1}{AM_2 + AK_2} \dots\dots\dots (2-1)$$

Formula *Formzahl* pada persamaan (2-1) digunakan untuk menentukan tipe pasang surut di suatu perairan berdasarkan nilai bilangan *Formzahl* ( $F$ ), dimana  $AK_1$  adalah Amplitudo *Luni Solar Diurnal*,  $AO_1$  adalah Amplitudo *Principal Lunar Diurnal*,  $AM_2$  adalah Amplitudo *Principal Lunar*,  $AS_2$  adalah Amplitudo *Principal Solar*. Nilai amplitudo dari empat parameter yang digunakan untuk menghitung bilangan *Formzahl* didapatkan dari hitung perataan hasil pengamatan pasang surut. Metode yang umumnya digunakan untuk menghitung nilai parameter amplitudo  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $M_2$ ,  $S_2$  adalah hitung perataan metode *least square* dan *admiralty*.

Tipe pasang surut di suatu perairan ditentukan dari nilai *Fomzahl* ( $F$ ) dengan klasifikasi sebagai berikut:

- a. Pasang surut harian ganda (*semidiurnal*), jika nilai  $F$  berada di antara 0-0,25. Dalam satu hari terjadi dua kali pasang dengan interval dan kenaikan muka air yang sama.
- b. Pasang surut campuran condong harian ganda (*mixed semidiurnal*), jika nilai  $F$  berada di antara 0,25-1,5. Dalam satu hari terjadi dua kali pasang dengan interval dan kenaikan muka air yang berbeda.
- c. Pasang surut campuran condong harian tunggal (*mixed diurnal*), jika nilai  $F$  berada di antara 1,5-2,5. Dalam satu

hari umumnya hanya terjadi satu kali pasang, namun terkadang terjadi dua kali pasang dengan interval dan kenaikan yang berbeda.

- d. Pasang surut harian tunggal (*diurnal*), jika nilai  $F$  berada di antara 2,5-3. Dalam satu hari hanya terjadi sekali pasang dan surut.

## **2.5 Arus Pasang Surut**

Arus air laut adalah pergerakan massa air di seluruh lautan secara vertikal dan horizontal sehingga menuju keseimbangannya (Hutabarat dan Evan 2006). Berdasarkan kedalamannya arus dibedakan menjadi dua, yaitu arus dalam dan arus permukaan. Arus dalam adalah arus yang terjadi di kolom perairan, sedangkan arus permukaan adalah arus yang terjadi di permukaan yang bergerak dengan arah horizontal. Pergerakan arus dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain angin, densitas, pasang surut, tekanan dan gaya koriolis.

Arus pasang surut adalah perpindahan masa air yang dipengaruhi oleh fenomena pasang surut. Gaya tarik dan pergerakan benda-benda langit terhadap perairan di bumi menyebabkan perpindahan massa air laut. Arus pasang surut merupakan arus dalam karena terjadi di kolom perairan. Arus pasang surut cukup dominan pada perairan teluk yang memiliki karakteristik pasang surut seperti pantai, muara atau teluk. Gerakan arus pasang surut dari laut lepas yang merambat ke perairan dangkal akan mengalami perubahan akibat perubahan kedalaman.

Pada perairan dimana arus pasang surut cukup kuat, tarikan gesekan dengan dasar laut dapat menghasilkan potongan vertikal maupun horizontal yang dapat menyebabkan gerakan memutar (*rotating movement*) yang disebut dengan *vortex*. Arus berputar yang muncul dapat berupa *primary vortex* dan *secondary vortex*, sesuai dengan besarnya arus pasang surut yang mempengaruhi. Arus pasang surut merupakan salah satu faktor penyebab proses sedimentasi (Kramadibrata 1985).

## 2.6 Model Hidrodinamika

Pemodelan pergerakan massa air (hidrodinamika) di suatu perairan dapat dilakukan dengan metode pemodelan numerik. Pemodelan numerik mensimulasikan pola sirkulasi arus berdasarkan hukum kekekalan massa (kontinuitas) dan kekekalan momentum.

Persamaan kontinuitas dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \dots\dots\dots (2-2)$$

Persamaan momentum dalam arah x dan y:

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} = f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} + \frac{\partial(hT_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial y} + hu_s S \dots\dots\dots (2-3)$$

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} = f\bar{u}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} + \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{yy})}{\partial y} + hv_s S \dots\dots\dots (2-4)$$

dengan  $\bar{u}$  dan  $\bar{v}$  masing-masing menyatakan kecepatan arus dalam arah x dan y yang dirata-ratakan terhadap kedalaman dengan persamaan:

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz \dots\dots\dots (2-5)$$

dan

$$h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \dots\dots\dots (2-6)$$

dimana  $\eta$  adalah elevasi muka air laut;  $h$  adalah kedalaman total;  $t$  menyatakan waktu;  $f$  adalah parameter koriolis;  $\rho$  adalah densitas fluida;  $S$  adalah *magnitude discharge*.  $T_{ij}$  menyatakan gesekan viskos masing-masing:

$$T_{xx} = 2A \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}; T_{yy} = 2A \frac{\partial \bar{v}}{\partial y}; \text{ dan } T_{xy} = A \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) \dots\dots\dots (2-7)$$

$\tau_{sx}$ ,  $\tau_{sy}$  adalah tegangan (*stress*) yang terjadi di permukaan fluida dalam arah x dan y;  $\tau_{bx}$ ,  $\tau_{by}$  adalah tegangan yang terjadi di dasar fluida dalam arah x dan y. Hasil dari pemodelan hidrodinamika adalah arah dan kecepatan arus yang dinyatakan dalam bentuk vektor.

## **2.7 Sedimen**

Sedimen adalah material atau pecahan dari batuan, mineral dan material organik yang melayang-layang di dalam air, udara, maupun yang terkumpul di dasar laut atau sungai oleh perantara alami lainnya. Pethick (1984) mendefinisikan sedimen sebagai sekumpulan pecahan material (batuan, mineral dan organik) yang mempunyai ukuran butir tertentu. Umumnya, sedimen merupakan bagian tanah atau material organik yang terangkut dari suatu tempat yang tererosi. Material sedimen ini terbawa aliran air dari satu tempat ke tempat lain sampai mengendap pada lokasi tertentu.

Menurut Arsyad (2000) dalam Savitri (2010), sedimen yang diakibatkan oleh proses erosi dan terbawa suatu aliran akan mengendap di area yang kecepatan airnya melambat atau berhenti disebut dengan sedimentasi. Sedimentasi adalah suatu proses pengendapan material yang dibawa oleh media air, angin, es, atau gletser di suatu cekungan. Pada umumnya, pengendapan sedimen pada proses sedimentasi terjadi di bawah bukit, daerah genangan banjir, saluran air, sungai, waduk, muara dan teluk. Delta yang terdapat di muara adalah hasil dari proses sedimentasi material-material yang diangkut oleh sungai. Bukit pasir yang terdapat di gurun dan tepi pantai adalah hasil pengendapan material yang diangkut oleh angin.

Sedimentasi di perairan pantai atau terjadi karena adanya sedimen yang mengendap secara cepat dan terus menerus sehingga mengakibatkan berubahnya bentuk topografi dasar perairan dan garis pantai. Material sedimen bisa berasal dari erosi pantai itu sendiri, atau daratan yang terbawa aliran sungai dan bermuara di pantai (Triatmodjo 1999).

Di dalam menentukan jenis sedimen, sifat dan karakter sedimen sangat penting untuk diketahui. Beberapa jenis sedimen dapat dibedakan berdasarkan ukuran partikel, distribusi butir sedimen, kerapatan, bentuk sedimen, kecepatan endap, berat jenis dan tahanan terhadap erosi (Triatmodjo 1999). Diantara sifat tersebut, ukuran butir adalah yang paling penting. Berdasarkan

ukuran butir, sedimen di perairan pantai diklasifikasikan menjadi pasir, lumpur, lempung, lanau, kerikil, koral dan batu. Klasifikasi jenis sedimen disusun berdasarkan skala Wentworth seperti yang tercantum dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Klasifikasi Besar Butir Skala Wentworth

<b>Ukuran Butir (mm)</b>	<b>Nama Sedimen</b>
>256	<i>Boulder</i> / Bongkah
64 – 256	<i>Couple</i> / Berangkal
4 – 64	<i>Peble</i> / Kerakal
2 – 4	<i>Granule</i> / Kerikil
1 – 2	<i>Very Coarse Sand</i> / Pasir Sangat Kasar
1/2 – 1	<i>Coarse Sand</i> / Pasir Kasar
1/4 - 1/2	<i>Medium Sand</i> / Pasir Sedang
1/8 -1/4	<i>Fine Sand</i> / Pasir Halus
1/16 - 1/8	<i>Very Fine Sand</i> / Pasir Sangat Halus
1/256 - 1/16	<i>Silt</i> / Lanau
<1/256	<i>Clay</i> / Lempung

Proses sedimentasi dapat berdampak positif dalam beberapa hal. Adanya sedimentasi dapat menambah kesuburan pada daerah endapan jika membawa material organik dan unsur hara dari daerah vulkanik. Selain itu, sedimentasi dapat membentuk tanah garapan baru pada daerah endapan. Manfaat lain dari sedimen yang terendap yaitu dapat digunakan sebagai bahan konstruksi, restorasi daerah pesisir dan tempat berkembang biak beberapa spesies air.

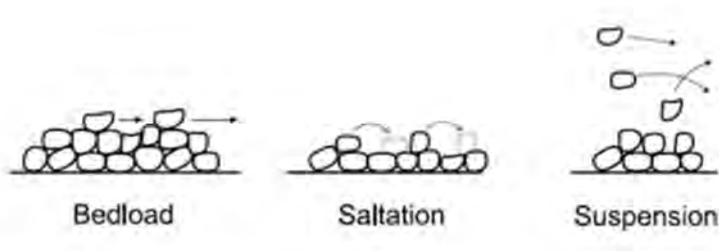
Proses sedimentasi juga dapat berakibat buruk. Material sedimen yang terlarut dalam air dapat menurunkan kualitas perairan sehingga dapat mengancam keberadaan spesies air tertentu. Sedimen yang terlalu banyak dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Selain itu, terkumpulnya sedimen di suatu perairan dapat menyebabkan pendangkalan badan perairan di pelabuhan.

## 2.8 Aliran Sedimen

Aliran sedimen atau transportasi sedimen adalah perpindahan partikel padat (sedimen), akibat kombinasi gravitasi yang bekerja pada sedimen dan atau pergerakan fluida yang membawa sedimen tersebut. Aliran sedimen akibat gaya gravitasi terjadi secara alami dimana material sedimen kasar (batu, kerikil, pasir), lumpur atau lempung bergerak pada fluida sepanjang permukaan miring dimana material itu berada. Aliran sedimen ini tidak melibatkan faktor lain dan murni karena pengaruh gaya gravitasi. Aliran sedimen akibat gerak fluida terjadi di sungai, samudra, laut, danau dan perairan lain. Arus, gelombang dan pasang surut membawa sedimen yang terdapat di dasar perairan tersebut. Aliran sedimen juga dapat terjadi di permukaan darat akibat aliran gletser maupun angin. Contoh pengaruh aliran sedimen yang dibawa oleh angin adalah terjadinya bukit pasir di gurun.

Menurut Paolo (2012), secara umum mekanisme transportasi sedimen pada fluida dibedakan menjadi tiga seperti diilustrasikan pada Gambar 2.1:

- Bedload*, sedimen yang menggelinding atau meluncur di dasar.
- Suspension*, aliran fluida membawa sedimen melayang hingga tidak menyentuh dasar.
- Saltation*, butiran tunggal yang melompat di dasar.



Gambar 2.2 Mekanisme Transportasi Sedimen

Ilmu tentang aliran sedimen ini sangat penting pada aplikasi bidang geologi sedimentasi, geomorfologi, teknik sipil dan lingkungan. Pengetahuan tentang aliran sedimen sering dipelajari untuk menentukan apakah akan terjadi proses erosi dan deposisi, besarnya erosi atau deposisi, waktu dan tempat dimana akan terjadi.

## **2.9 Model Aliran Sedimen**

Analisa aliran sedimen diperlukan dalam berbagai aplikasi untuk mengetahui tingkat sedimentasi di suatu area dan tingkat penyebarannya. Sehingga, beberapa pengembang perangkat lunak mulai membuat aplikasi yang dapat memodelkan pergerakan material sedimen dengan simulasi numerik. Model aliran sedimen dapat dilakukan berdasarkan beberapa formula. Salah satu formula yang digunakan dalam membuat model aliran sedimen adalah formula *Engelund-Hansen*.

Persamaan *Engelund-Hansen* dapat menghitung nilai aliran sedimen (*solid flux*) dalam suatu kolom air. Persamaan ini disiapkan pada kondisi sedimen dengan butiran halus dan sedimentasi yang diakibatkan oleh arus pasang surut (Paolo 2012). Sehingga, persamaan ini dapat digunakan untuk melakukan pemodelan aliran sedimen pada perairan yang dipengaruhi oleh pasang surut dengan sedimen berupa pasir, lumpur, lanau atau lempung.

Persamaan Engelund-Hansen:

$$q = \bar{u} 0,05 C_r \frac{T_{b,c}^2}{(G-1)^2 d_{50} \rho^2 g^{5/2}} \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \varepsilon \frac{\bar{u}_0}{\bar{u}} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (2-8)$$

dengan  $q$  menyatakan aliran sedimen (*solid flux*);  $\bar{u}$  adalah kecepatan rata-rata fluida;  $T_{b,c}$  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;  $\varepsilon$  adalah koefisien redam (*damping coefficient*); dan  $\bar{u}_0$  adalah kecepatan arus pada permukaan fluida.

$C_r$  adalah adalah parameter Chezy/ rasio sedimen dipengaruhi oleh dimensi sedimen yang dinyatakan dalam persamaan:

$$C_r = A_{C_r \theta_T} \exp\left(-\frac{\theta_M}{\theta_{C_r}}\right) \dots\dots\dots (2-9)$$

dimana  $A_{C_r}$  adalah parameter dimensi butiran;  $\theta_T$  tegangan non-dimensional rata-rata; dan  $\theta_M$  adalah tegangan maksimum pada dasar fluida; dan  $\theta_{C_r}$  adalah parameter Shields/ tegangan sesar kritis non-dimensional dan dinyatakan dalam persamaan:

$$\theta_{C_r} = \frac{T_{C_r}}{(\gamma_s - \gamma)d} \dots\dots\dots (2-10)$$

dengan  $T_{C_r}$  menyatakan tegangan sesar kritis;  $\gamma_s$  adalah kelas sedimen spesifik;  $\gamma$  adalah kelas fluida spesifik dan  $d$  adalah diameter butiran (*grain diameter*).

Pada pemodelan aliran sedimen dengan menggunakan formula Engelund-Hansen, hasil pemodelan adalah *solid flux* pada mekanisme transportasi sedimen total (*total load*). Transportasi sedimen total merupakan penjumlahan dari sedimen dasar (*bedload-saltation*) dan sedimen melayang (*suspension*). Kekurangan dari metode ini adalah tidak dapat membedakan aliran sedimen yang berada di dasar perairan dan sedimen yang melayang di kolom perairan.

### **2.10 Root Mean Square Error (RMSE)**

Kesalahan akar kuadrat rata-rata (*root mean square error*) adalah ukuran kesalahan yang didasarkan pada selisih antara dua buah dataset yang bersesuaian. Dalam membuat perhitungan prediksi maupun pemodelan, RMSE merupakan parameter yang menginformasikan tentang ukuran aktual kesalahan (*error*) yang dihasilkan. Parameter ini mengindikasikan pengaruh yang cukup tinggi dalam prediksi atau pemodelan. Nilai kesalahan akar kuadrat rata-rata dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-11) sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{a,i} - x_{b,i})^2}{n}} \dots\dots\dots(2-11)$$

dimana  $x_{a,i}$  menyatakan nilai data hasil observasi/pengamatan yang dianggap benar dan  $x_{b,i}$  adalah nilai data hasil model/prediksi; sedangkan  $n$  adalah banyaknya dataset. Batasan parameter ini adalah 0 sampai dengan  $\infty$ . Performa suatu model/prediksi dapat dikatakan terbaik jika nilai RMSE yang dihasilkan mendekati 0. Sebaliknya, semakin besar nilai RMSE menunjukkan hasil estimasi model/prediksi semakin tidak tepat bila dibandingkan dengan data pengamatan. Indikator RMSE hanya dapat membandingkan sebuah model yang diterapkan pada wilayah studi yang sama.

## **2.11 Penelitian Terdahulu**

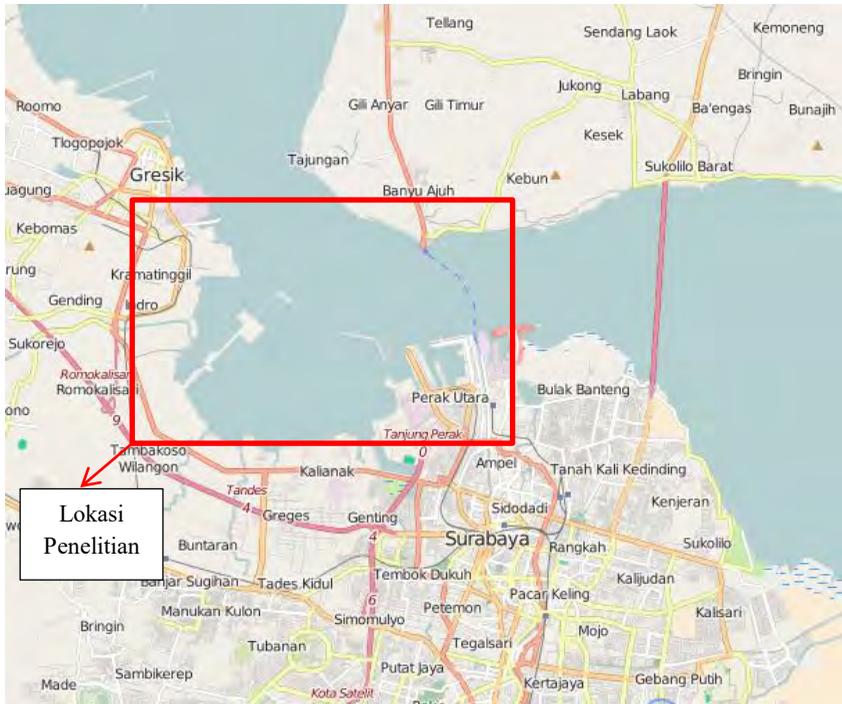
Abdurrahman (2015) meneliti tentang simulasi numeris arus pasang surut pada Perairan Selat Madura, Surabaya. Simulasi arus dilakukan menggunakan pasang surut sebagai gaya pembangkit. Analisa simulasi numeris pasang surut ini digunakan untuk berbagai keperluan rekayasa, perencanaan alur pelayaran, navigasi, dan pengembangan wilayah pantai.

Data yang digunakan pada simulasi arus pasang surut dalam penelitian ini adalah data bathymetri DISHIDROS dan data pasang surut global. Analisa simulasi dilakukan selama 15 hari dengan hasil simulasi menunjukkan bahwa kecepatan arus pada saat surut lebih besar dibandingkan pada saat pasang. Kekuatan arus terbesar berada daerah timur perairan karena berdekatan dengan mulut selat. Sedangkan daerah barat perairan kekuatan arus cenderung melemah karena merupakan daerah pertemuan arus yang berasal dari arah utara dan dari timur.

Witantonono (2015) mensimulasikan pola transportasi material sedimen di Kolam 1 Pelabuhan Tanjung Priok, Jakarta. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola penyebaran transport sedimen tersuspensi dalam mendukung pekerjaan pengerukan di Kolam 1 Pelabuhan Tanjung Priok.

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* hidrodinamika dengan menggunakan data bathymetri, pasang surut, dan sampel sedimen. Simulasi dilakukan selama satu bulan dengan hasil kecepatan arus pada saat pasang lebih besar dibandingkan kecepatan arus pada saat surut. Kecepatan arus paling kuat terletak di mulut kolam. Sesuai dengan kekuatan arus yang membawa sedimen, konsentrasi sedimen tertinggi terjadi pada saat pasang dan terendah pada saat surut.





Gambar 3.2 Lokasi Penelitian  
(Sumber: [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org))

## **3.2 Data dan Peralatan**

### **3.2.1 Data**

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- a. Data bathymetri Alur Pelayaran Barat dan Timur Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya tahun 2014 yang didapatkan dari PT. Pelabuhan Indonesia III
- b. Data pasang surut air laut Surabaya bulan September tahun 2014 yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial

- c. Sampel sedimen yang didapatkan dari pengambilan di lapangan oleh Tim Proyek Alur Pelayaran barat Surabaya, PT. Pelabuhan Indonesia III
- d. Peta Pelabuhan Surabaya dan Gresik Skala 1:12.500 tahun 2013 yang dikeluarkan oleh Dinas Hidro-Oseanografi

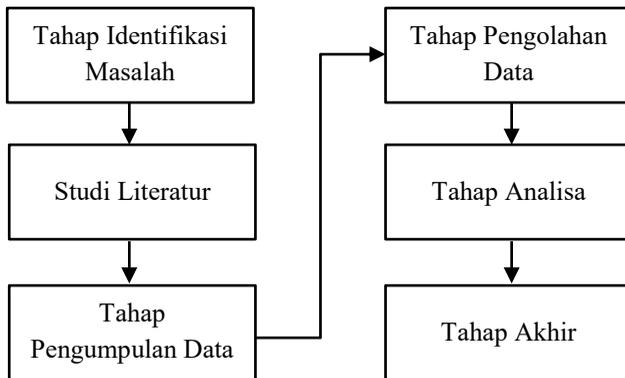
### 3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi

- a. Perangkat Keras
  - *Grab Sampler*  
Digunakan untuk mengambil sampel sedimen dari dasar perairan pelabuhan.
- b. Perangkat Lunak
  - *Software* perancangan  
Perangkat lunak ini digunakan untuk melakukan rektifikasi peta, digitasi garis pantai, *plotting* data ukur dan pembuatan kontur.
  - *Software* pengolah arus dan sedimen  
Perangkat lunak ini digunakan untuk pembuatan model topografi dasar laut, *timeseries* dan grafik pasang surut, melakukan simulasi arus dan simulasi aliran sedimen.
  - *Software* konversi dxf-xyz  
Perangkat lunak ini digunakan untuk mengkonversikan hasil digitasi garis pantai dalam format (*.dxf*) menjadi format (*.xyz*) sehingga dapat dibuka oleh *software* pengolah arus dan sedimen.

### 3.3 Metodologi Penelitian

Secara garis besar tahapan dari penelitian ini adalah seperti dalam diagram alir pada Gambar 3.3 sebagai berikut:



Gambar 3.3 Diagram Tahapan Penelitian

Penjelasan diagram alir di atas adalah sebagai berikut:

a. Tahap Identifikasi Masalah

Dalam memulai penelitian, terlebih dahulu dilakukan identifikasi masalah sebagai latar belakang dilakukannya penelitian. Setelah mengetahui permasalahan yang sedang terjadi, peneliti dapat merumuskan masalah, menetapkan batasan masalah, menentukan tujuan dan manfaat dari penelitian.

Dari tahap identifikasi masalah pada penelitian ini, dirumuskan permasalahan yaitu bagaimana penentuan area perawatan kolam dari pemodelan aliran sedimen dengan parameter pasang surut air laut.

b. Studi Literatur

Tujuan dari studi literatur pada penelitian ini adalah untuk mendapatkan referensi tentang metode, parameter, formula dan data terkait dengan pemodelan arus dan pemodelan aliran sedimen. Literatur yang digunakan untuk mendukung penelitian ini berasal dari buku, tesis, jurnal dan artikel ilmiah.

c. Tahap Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data meliputi pembuatan ijin dan pengambilan data yang dibutuhkan dalam penelitian pada instansi terkait. Data yang dikumpulkan meliputi data bathymetri alur pelayaran barat dan timur Tanjung perak, sampel sedimen, peta pelabuhan Surabaya dan Gresik, serta data pengamatan pasang surut untuk perairan Surabaya tahun 2014.

d. Tahap Pengolahan Data

Tahap pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* pengolah arus dan sedimen dengan menggunakan metode simulasi numerik dengan persamaan kontinuitas, kekekalan momentum dan *formula Engelund-Hansen*. Hasil pengolahan data berupa model arus pasang surut dan model aliran sedimen.

e. Tahap Analisa

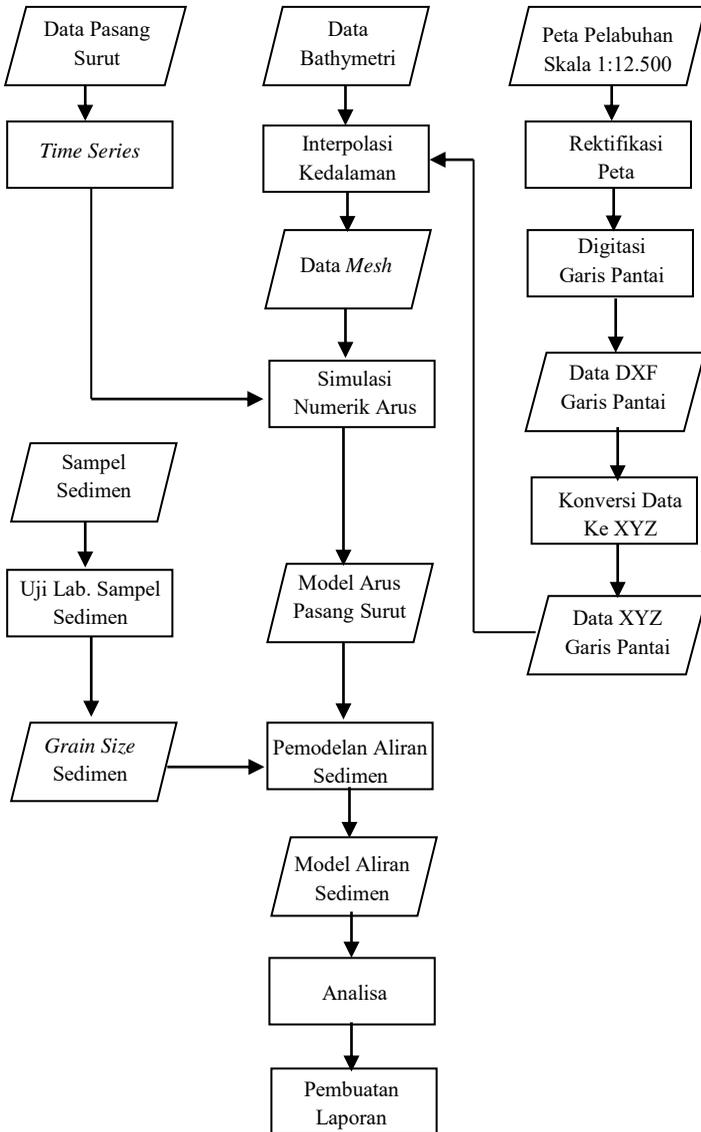
Pada tahap ini, dilakukan analisa terhadap hasil pengolahan data sehingga dapat ditarik kesimpulan untuk menjawab tujuan penelitian. Dalam penelitian ini, analisa dilakukan pada kecepatan arus dan aliran sedimen terhadap perubahan kedalaman kolam pelabuhan sehingga dapat digunakan untuk menentukan area perawatan kedalaman pelabuhan.

f. Tahap Akhir

Tahap akhir ini terdiri dari penulisan seluruh tahapan penelitian berikut dengan hasil analisa dan kesimpulan dalam sebuah laporan penelitian.

### **3.4 Tahapan Pengolahan Data**

Tahapan pengolahan data dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar 3.4 sebagai berikut:



Gambar 3.4 Diagram Pengolahan Data

Penjelasan diagram alir pengolahan data adalah sebagai berikut:

- a. Langkah awal dalam pemodelan arus adalah pembuatan *boundary* atau batas yang membedakan wilayah darat dan laut. Pembuatan *boundary* ini meliputi proses rektifikasi peta, digitasi garis pantai dan konversi file. Rektifikasi adalah proses transformasi dari suatu sistem koordinat ke dalam sistem koordinat lain. Dalam hal ini, rektifikasi dilakukan pada Peta Pelabuhan Surabaya dan Gresik skala 1:12.500 yang berbentuk raster dalam koordinat geografi ke sistem koordinat UTM. Selanjutnya dilakukan digitasi garis pantai sebagai batas pemisah wilayah darat dan perairan. Data vektor hasil digitasi garis pantai selanjutnya dikonversikan ke dalam format (.xyz) untuk digunakan dalam *software* pengolah arus.
- b. Data bathymetri berupa data hasil pengukuran kedalaman dengan atribut koordinat x, y dan z. Atribut x,y menyatakan koordinat horizontal dalam sistem UTM dan z menyatakan kedalaman dengan referensi LLWS. Data bathymetri yang berbentuk data ASCII ini dikonversikan ke dalam format (.xyz).
- c. Data digitasi garis pantai dan data bathymetri selanjutnya diolah pada modul *mesh generator* untuk membuat data *mesh* yang berupa kontur dasar laut dari perairan pelabuhan. Proses *meshing* meliputi pendefinisian batas, input data bathymetri, pembuatan jaring-jaring triangulasi dan interpolasi kedalaman. Pendefinisian batas daratan dan perairan dilakukan dengan menggunakan data digitasi garis pantai. Setelah memasukan data kedalaman dan batas, dilakukan pembuatan jaring-jaring triangulasi. Selanjutnya dilakukan interpolasi kedalaman pada titik-titik triangulasi untuk membentuk kontur dasar laut.

- d. 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)
- e. Pemodelan arus dijalankan dengan *domain* kontur dasar laut perairan pelabuhan dalam format (. mesh) dengan parameter pasang surut air laut dalam format (.dfs0). Pemodelan menggunakan metode simulasi numerik berdasarkan persamaan kekekalan massa (kontinuitas) dan persamaan kekekalan momentum. Hasil simulasi model berupa kecepatan dan arah arus pada sumbu x dan sumbu y.
- f. Pola arus hasil simulasi selanjutnya digunakan untuk memodelkan aliran sedimen dengan tambahan informasi *grain size* hasil uji sampel sedimen. Pemodelan aliran sedimen dilakukan dengan menggunakan persamaan Engelund-Hansen. Hasil simulasi sedimen berupa nilai *solid flux* dan arah aliran sedimen pada sumbu x dan y.
- g. Analisa dilakukan dengan membandingkan pasang surut air laut dengan model arus dan model aliran sedimen. Selanjutnya dilakukan pengamatan terhadap perubahan kedalaman kolam pelabuhan, untuk menentukan area perawatan kedalaman.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Bidang Model**

##### **4.1.1 Pendefinisian Batas dan Kedalaman**

Dalam melakukan proses pemodelan arus, hal yang pertama kali dilakukan adalah pembuatan bidang model (*mesh*). *Mesh* adalah sekumpulan titik (*node*) yang saling terhubung hingga membentuk suatu bidang jaring. Pembuatan bidang pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan batas pemodelan dan data kedalaman hasil pengukuran bathymetri.

Langkah awal pembuatan bidang model adalah membuka data batas dan data kedalaman. Baik data batas dan data kedalaman ditampilkan dalam sistem proyeksi UTM. Lokasi penelitian berada pada koordinat  $7^{\circ}09'50''$  LS -  $7^{\circ}13'30''$  LS dan  $112^{\circ}39'03''$  BT -  $112^{\circ}44'53''$  BT sehingga sistem proyeksi UTM yang digunakan adalah zona 49S. Satuan atau unit yang digunakan untuk menyatakan baik koordinat horizontal (x,y) maupun kedalaman (z) adalah meter (m). Referensi kedalaman yang digunakan dalam pembuatan model ini adalah LLWL, atau kedudukan muka air terendah pada saat surut terendah.

Batas pemodelan yang digunakan berupa digitasi garis pantai untuk batas darat dan garis lurus untuk batas perairan. Untuk membedakan batas yang berupa garis pantai dan batas laut, maka perlu dilakukan pendefinisian atribut batas. Pendefinisian berupa pemberian kode garis busur (*arc*) pada masing-masing batas. Definisi atribut batas ditampilkan pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Pendefinisian Atribut Batas

<b>Titik Awal</b>	<b>Atribut Garis</b>	<b>Titik Akhir</b>	<b>Keterangan</b>
1	1	2	Garis pantai sisi Jawa
2	2	3	Batas laut timur
3	3	4	Garis pantai sisi Madura
4	4	1	Batas laut utara

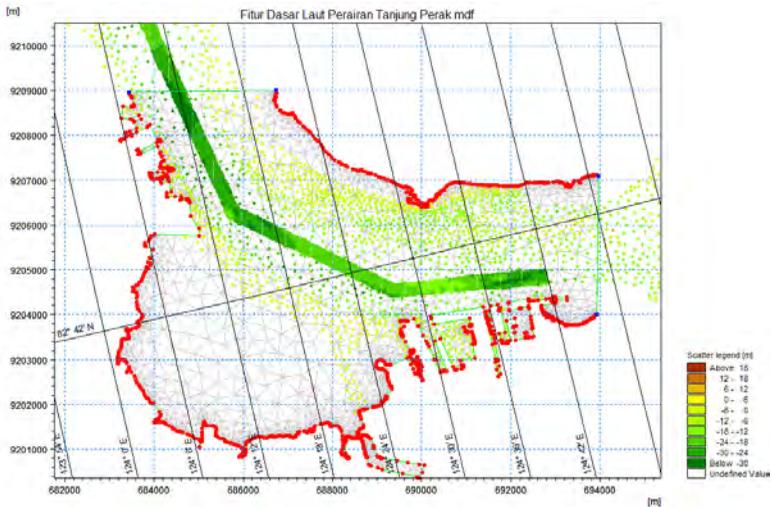
#### 4.1.2 Jaringan-jaring Triangulasi

Setelah pendefinisian batas, langkah selanjutnya dalam pembuatan bidang model adalah pembuatan jaring-jaring triangulasi/ bidang jala. Pembuatan bidang ini dilakukan dengan menghubungkan titik-titik koordinat pengukuran kedalaman yang tersebar dalam area penelitian.

Pembuatan jaring-jaring triangulasi pada bidang model dikendalikan dengan tiga parameter sebagai berikut:

- a. Area terukur maksimum yang diijinkan dalam meter (m)<sup>2</sup> atau derajat (°)<sup>2</sup> sesuai dengan sistem proyeksi yang digunakan. Karena dalam pemodelan ini menggunakan sistem proyeksi UTM, maka area terukur maksimum dinyatakan dalam m<sup>2</sup>. Nilai area terukur maksimum dalam bidang model ini adalah 130.000 m<sup>2</sup>.
- b. Sudut terkecil yang diijinkan antara dua sisi dalam segitiga. Parameter ini mengendalikan kecondongan segitiga. Sudut terkecil antara dua sisi segitiga dalam jaring-jaring triangulasi ini adalah 26°
- c. Jumlah maksimum dari titik yang dihubungkan adalah 100.000 titik.

Hasil proses pembuatan jaring-jaring triangulasi ditampilkan pada Gambar 4.1 sebagai berikut:



Gambar 4.1 Jaringan-jaring Triangulasi

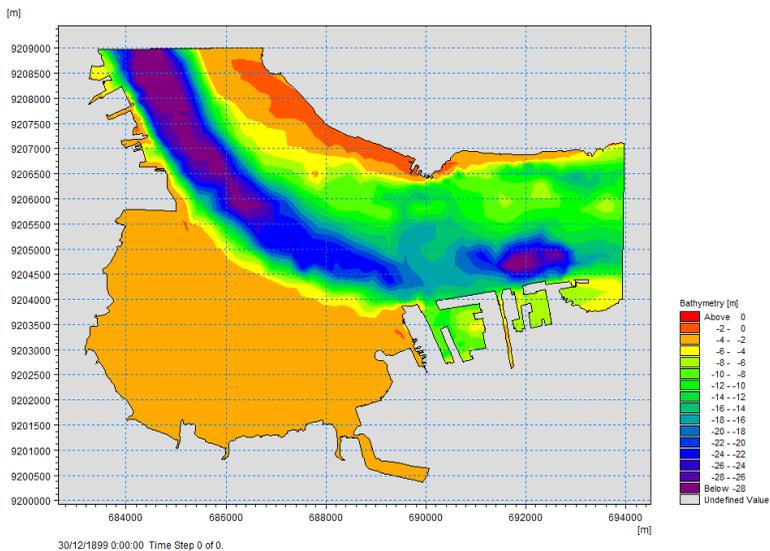
Pada Gambar 4.1 terlihat jaringan-jaring triangulasi yang dihasilkan untuk membuat bidang model. Dalam perairan Tanjung Perak-Teluk Lamong, terdapat dua sisi garis pantai, yaitu pada sisi Pulau Jawa dan Pulau Madura. Titik-titik berwarna merah adalah koordinat garis pantai. Setiap titik koordinat dihubungkan dengan garis berwarna hijau yang digunakan sebagai batas bidang model.

Titik-titik yang tersebar di dalam batas model adalah titik sebaran kedalaman. Kedalaman dari titik sebaran ditunjukkan dengan diagram warna. Area alur pelayaran ditunjukkan dengan titik-titik sebaran yang rapat berwarna hijau.

#### 4.1.3 Interpolasi Kedalaman

Interpolasi kedalaman dilakukan untuk menentukan kedalaman titik jaringan-jaring triangulasi terhadap data kedalaman bathymetri. Dalam pembuatan bidang model, interpolasi

kedalaman dilakukan dengan menggunakan metode *natural neighbour*. Metode *natural neighbour* adalah teknik estimasi geometrik yang menggunakan area alami yang berdekatan dari setiap titik di dalam set data. Area yang berdekatan ditentukan dengan membuat sebuah jaring segitiga tidak beraturan dari data titik sebaran. Hasil interpolasi menunjukkan kedalaman dari bidang model yang ditampilkan pada Gambar 4.2 sebagai berikut:



Gambar 4.2 Bidang Model (*Mesh*)

Pada gambar bidang model, kedalaman perairan ditunjukkan dengan kontur warna. Area terdalam dalam perairan adalah daerah alur pelayaran dengan kedalaman diantara 20 m sampai dengan 30 m yang ditunjukkan dengan kontur berwarna biru. Area perairan selat Madura mempunyai kedalaman 10 m sampai dengan 30 m ditunjukkan dengan kontur berwarna hijau. Perairan teluk Lamong mempunyai perairan dangkal dibawah 2 m ditunjukkan dengan kontur berwarna oranye.

## **4.2 Pemodelan Arus**

### **4.2.1 Parameter Pemodelan Arus**

Pemodelan arus dilakukan dengan menggunakan metode simulasi numerik dengan berdasarkan pada persamaan kontinuitas dan kekekalan momentum. Arus yang dimodelkan adalah arus pasang surut sehingga parameter yang digunakan sebagai pembangkit adalah data pasang surut. Dalam pemodelan ini, perlu dilakukan pendefinisian kondisi batas untuk menentukan batas darat dan batas laut yang terpengaruh oleh pasang surut. Untuk batas garis pantai didefinisikan sebagai *land*, sedangkan batas laut didefinisikan sebagai *specified level*. Pendefinisian kondisi batas ditampilkan pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Pendefinisian Kondisi Batas

<b>Nama Batas</b>	<b>Kode Atribut</b>	<b>Format</b>
Surabaya	1	<i>land</i>
Timur	2	<i>specified level</i>
Madura	3	<i>land</i>
Barat	4	<i>specified level</i>

Simulasi dilakukan selama 29 piantan dengan interval pemodelan 3600 detik, atau dilakukan pemodelan setiap satu jam. Sehingga pemodelan ini menghasilkan 695 model arus. Hasil pemodelan berupa tinggi muka air (pasang surut), kecepatan arus, dan arah arus.

### **4.2.2 Analisa Pasang Surut**

Data pengamatan pasang surut dari stasiun Badan Informasi Geospasial (BIG) yang digunakan adalah data pengamatan pasang surut perairan Surabaya mulai tanggal 1 September 2014 sampai dengan tanggal 29 September 2014. Data pasang surut ditunjukkan pada Tabel 4.3 berikut:

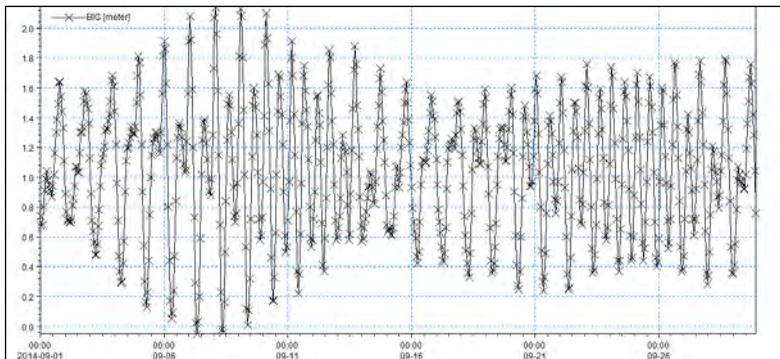
Tabel 4.3 Data Pasang Surut Bulan September 2014  
(Sumber: Badan Informasi Geospasial)

<b>Tanggal</b>	<b>Jam</b>	<b>Bacaan Skala (m)</b>
01/09/2014	01:00:00	0,74
01/09/2014	02:00:00	0,67
01/09/2014	03:00:00	0,68
01/09/2014	04:00:00	0,80
01/09/2014	05:00:00	0,91
01/09/2014	06:00:00	0,99
01/09/2014	07:00:00	1,04
01/09/2014	08:00:00	0,98
01/09/2014	09:00:00	0,95
01/09/2014	10:00:00	0,92
01/09/2014	11:00:00	0,90
01/09/2014	12:00:00	0,87
01/09/2014	13:00:00	0,94
01/09/2014	14:00:00	1,02
01/09/2014	15:00:00	1,16
01/09/2014	16:00:00	1,30
01/09/2014	17:00:00	1,39
01/09/2014	18:00:00	1,49
01/09/2014	19:00:00	1,64
01/09/2014	20:00:00	1,64
01/09/2014	21:00:00	1,54
01/09/2014	22:00:00	1,44
01/09/2014	23:00:00	1,11
02/09/2014	00:00:00	0,89
02/09/2014	01:00:00	0,77
...	...	...
29/09/2014	23:00:00	0,76

Pasang surut perairan Tanjung Perak bertipe campuran condong harian ganda sehingga dalam satu hari bisa terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan ketinggian dan interval yang berbeda (Ulum 2013).

Dari hasil pengamatan, didapatkan pasang tertinggi terjadi pada tanggal 08 September 2014 pukul 03.00 dengan ketinggian 2,14 m. Sedangkan surut terendah terjadi pada tanggal 07 September 2014 pukul 09.00 dengan ketinggian muka air mencapai -0,05 m.

Grafik dari data pengamatan pasang surut dari BIG pada bulan September 2014 ditampilkan pada Gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.3 Grafik Pasang Surut Bulan September 2014

Salah satu hasil yang didapatkan dari pemodelan adalah perubahan muka air atau pasang surut. Pasang surut hasil pemodelan ini menunjukkan kenaikan muka air pada model pada waktu tertentu. Karena arus yang dimodelkan adalah arus pasang surut, maka data pasang surut hasil pemodelan ini dapat digunakan untuk melakukan validasi hasil model.

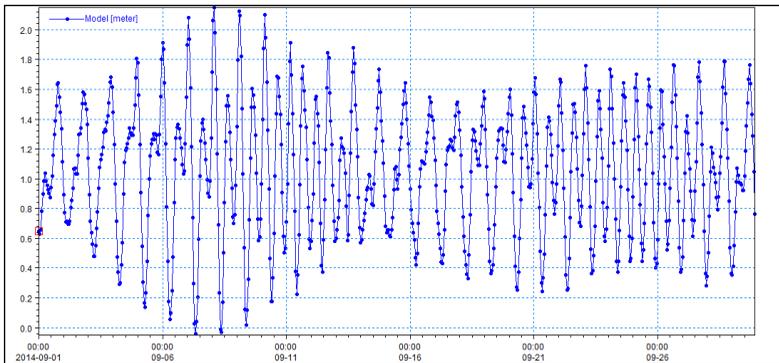
Data pasang surut hasil pemodelan pada bulan September tahun 2014 dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Data Pasang Surut Hasil Pemodelan

<b>Tanggal</b>	<b>Jam</b>	<b>Bacaan Skala (m)</b>
01/09/2014	01:00:00	0,64
01/09/2014	02:00:00	0,63
01/09/2014	03:00:00	0,66
01/09/2014	04:00:00	0,78
01/09/2014	05:00:00	0,90
01/09/2014	06:00:00	0,98
01/09/2014	07:00:00	1,04
01/09/2014	08:00:00	0,98
01/09/2014	09:00:00	0,95
01/09/2014	10:00:00	0,92
01/09/2014	11:00:00	0,90
01/09/2014	12:00:00	0,87
01/09/2014	13:00:00	0,94
01/09/2014	14:00:00	1,02
01/09/2014	15:00:00	1,16
01/09/2014	16:00:00	1,29
01/09/2014	17:00:00	1,39
01/09/2014	18:00:00	1,49
01/09/2014	19:00:00	1,64
01/09/2014	20:00:00	1,64
01/09/2014	21:00:00	1,55
01/09/2014	22:00:00	1,45
01/09/2014	23:00:00	1,33
02/09/2014	00:00:00	1,12
02/09/2014	01:00:00	0,89
...	...	...
29/09/2014	23:00:00	0,77

Dari hasil data pasang surut hasil pemodelan, diketahui terjadinya pasang tertinggi dan surut terendah. Pasang tertinggi terjadi pada tanggal 08 September 2014 pukul 03.00 dengan ketinggian 2,15 m. Sedangkan surut terendah terjadi pada tanggal 07 September 2014 pukul 09.00 dengan ketinggian muka air mencapai -0,04 m. Jika dibandingkan dengan data pasang surut yang digunakan sebagai parameter model, data pasang surut hasil pemodelan ini menunjukkan nilai yang tidak berbeda jauh.

Data pasang surut hasil pemodelan ditampilkan pada Gambar 4.4 berikut:



Gambar 4.4 Grafik Pasang Surut Hasil Pemodelan

Dari data pasang surut dari BIG dan pasang surut hasil model, dapat dilakukan validasi hasil pemodelan. 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. Perbedaan individu dalam populasi disebut dengan residu, dan RMS menyajikan total dari residu menjadi ukuran tunggal dari kekuatan prediksi/model. Nilai *RMSE* pada pemodelan ini dinyatakan dengan persamaan (4-1) berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{a,i} - x_{b,i})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{obs,i} - x_{model,i})^2}{n}} \dots\dots (4-1)$$

dimana  $X_{obs}$  menyatakan nilai observasi/pengamatan pasang surut dan  $X_{model}$  adalah nilai model; sedangkan  $n$  adalah banyaknya pengamatan . Hasil pemodelan dapat dikatakan valid jika nilai  $RMSE$  mendekati 0.

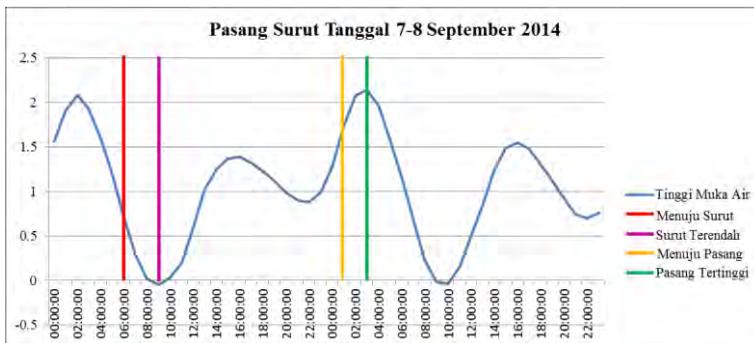
Dalam perhitungan  $RMSE$  untuk menguji validitas pemodelan, nilai observasi yang digunakan adalah data pasang surut BIG sedangkan nilai model menggunakan data pasang surut hasil pemodelan. Dengan jumlah populasi 695 dari banyaknya pengamatan, maka perhitungan nilai  $RMSE$  adalah sebagai berikut:

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

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

### 4.2.3 Analisa Model Arus

Analisa pemodelan arus dilakukan pada saat terjadi *spring tide*, yaitu tanggal 7 – 8 September 2014.

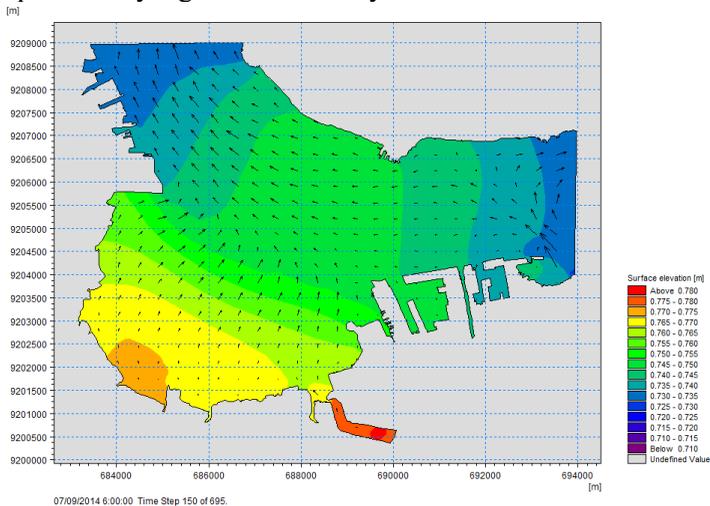


Gambar 4.5 Kondisi Pengamatan Arus Pasang Surut

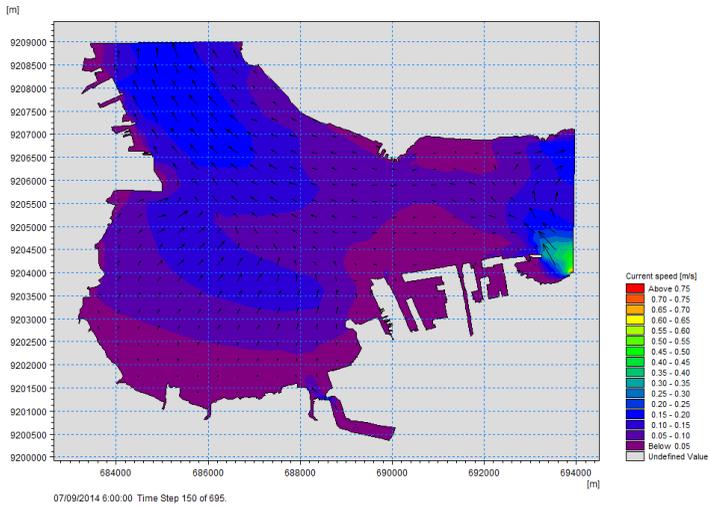
Analisa arus pasang surut dilakukan dalam empat kondisi, yaitu kondisi menuju surut, kondisi surut terendah, saat menuju pasang dan pada saat terjadi pasang tertinggi. Ketinggian muka air dan waktu pengamatan pada Gambar 4.5 ditunjukkan pada garis berwarna. Garis merah menunjukkan kondisi arus menuju surut, garis ungu menunjukkan kondisi surut terendah. Garis kuning menunjukkan kondisi menuju pasang, garis hijau menunjukkan kondisi saat pasang tertinggi. Pengamatan dilakukan pada tiga faktor, yaitu ketinggian muka air, arah, dan kecepatan arus. Analisa terhadap hasil pemodelan arus pasang surut dalam masing-masing kondisi adalah sebagai berikut:

a. Kondisi Menuju Surut

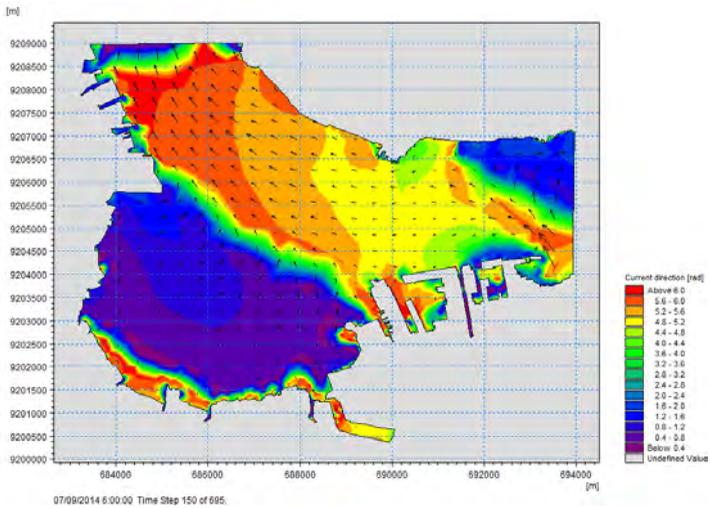
Model pola arus menuju surut pada Gambar 4.6 terjadi pada *timestep* 150 tanggal 7 September 2014 pukul 06.00. Ketinggian permukaan air maksimal pada kondisi ini adalah 0,77 m pada koordinat 684446,828; 9201872,428 pada area yang berwarna oranye.



Gambar 4.6 Pola Arus Saat Menuju Surut



Gambar 4.7 Kecepatan Arus Saat Menuju Surut

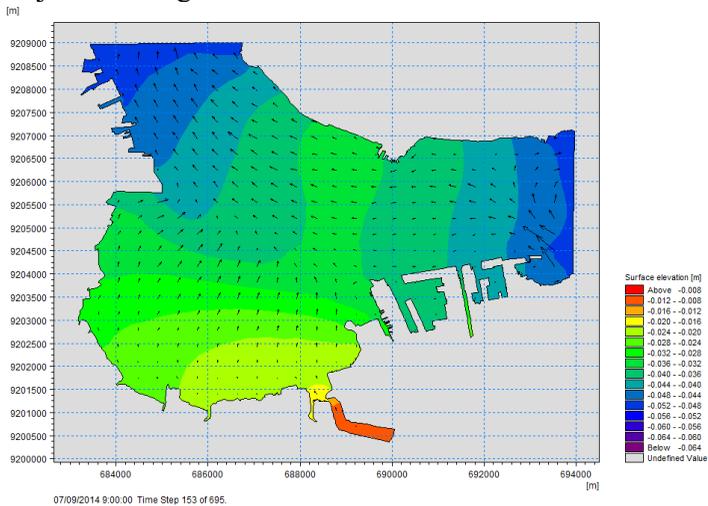


Gambar 4.8 Arah Arus Saat Menuju Surut

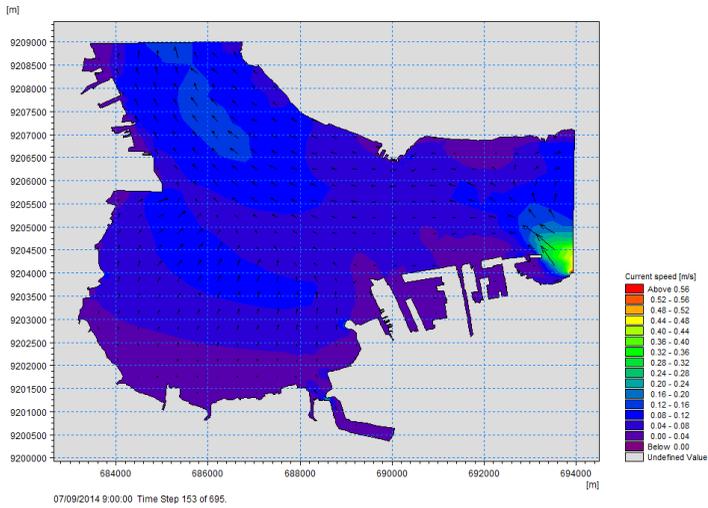
Kecepatan arus saat menuju surut berkisar antara 0,03 - 0,18 m/s ditunjukkan pada area berwarna biru muda dan hijau pada Gambar 4.7. Pada Gambar 4.8 terlihat pada saat menuju surut arus mengalir keluar dari perairan Teluk Lamong dengan arah 0 - 2,4 radian ditunjukkan dengan area berwarna biru. Arus di daerah alur bertabrakan dengan arus dari Teluk Lamong menuju utara dengan arah 4 - 6 radian ditunjukkan dengan area dengan warna kuning dan oranye. Sedangkan arus laut di sisi timur pelabuhan berputar menuju utara dan timur laut dengan arah 0,8 - 2 radian ditunjukkan dengan area berwarna biru.

b. Kondisi Surut Terendah

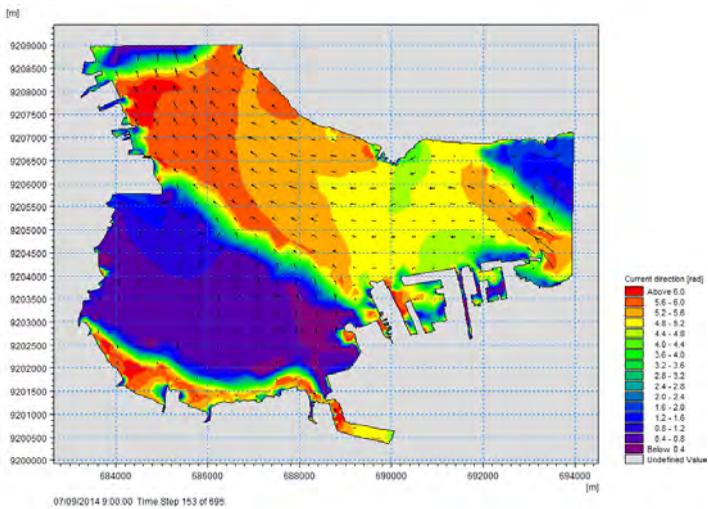
Model pola arus pada saat surut terendah pada Gambar 4.9 terjadi pada *timestep* 153 tanggal 7 September 2014 pada pukul 09.00. Ketinggian air pada saat terjadi surut terendah adalah -0,05 m ditunjukkan dengan area berwarna hijau kekuningan.



Gambar 4.9 Pola Arus Saat Surut Terendah



Gambar 4.10 Kecepatan Arus Saat Surut Terendah

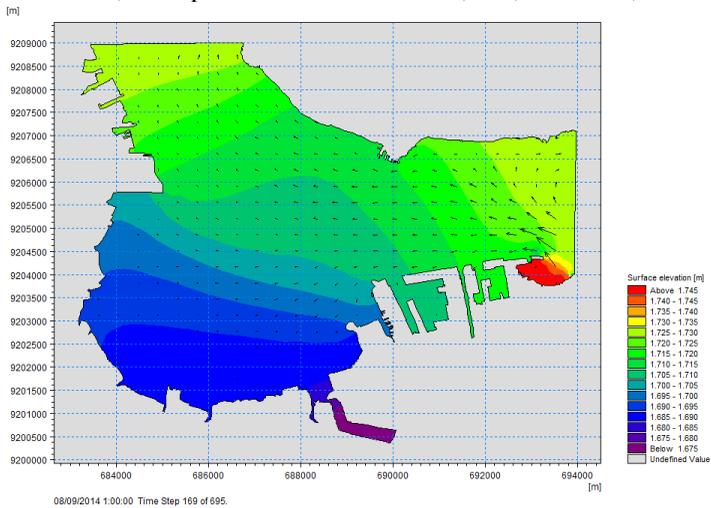


Gambar 4.11 Arah Arus Saat Surut Terendah

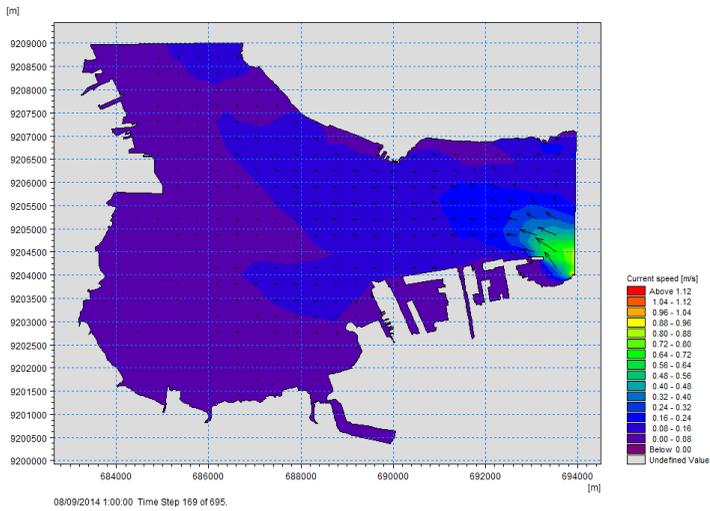
Berdasarkan pola arus yang ditampilkan pada Gambar 4.10, pada saat surut terendah, kecepatan arus mengalami penurunan berkisar antara 0,04 - 0,13 m/s. Penurunan kecepatan ini terjadi karena pada saat surut terendah, air akan berbalik arah dari laut lepas menuju daratan. Pada saat berbalik arah, arus akan berhenti sebelum kembali bergerak ke arah yang berlawanan. Pada Gambar 4.11 arah arus pada saat surut terendah mempunyai arah yang sama dengan pola arus menuju surut, yaitu air mengalir keluar dari perairan Teluk Lamong yang ditunjukkan dengan area berwarna biru. Untuk area alur pelayaran air mengalir ke arah utara ditunjukkan dengan area berwarna oranye.

c. Kondisi Menuju Pasang

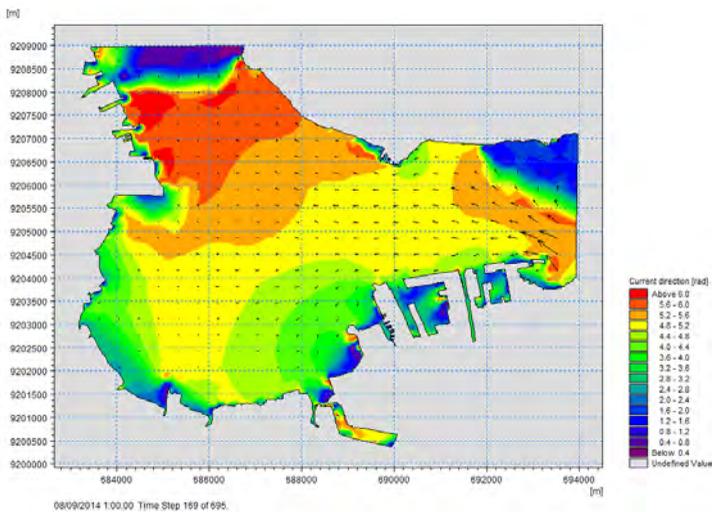
Model pola arus menuju pasang pada Gambar 4.12 terjadi pada *timestep* 169 tanggal 8 September 2014 pukul 01.00. Ketinggian permukaan air maksimal pada kondisi ini adalah 1,74 m pada koordinat 693385,196; 9204029,965.



Gambar 4.12 Pola Arus Saat Menuju Pasang



Gambar 4.13 Kecepatan Arus Saat Menuju Pasang



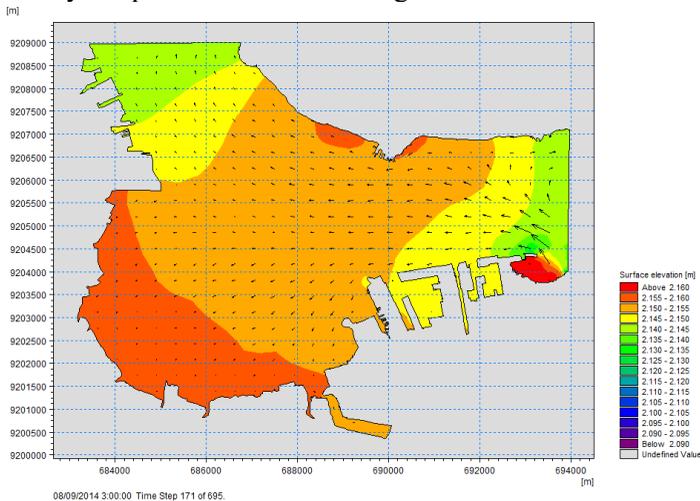
Gambar 4.14 Arah Arus Saat Menuju Pasang

Pada saat menuju pasang, arus mengalir dengan kecepatan berkisar antara 0,05 - 0,19 m/s. Pada Gambar 4.13 terlihat arus yang menuju pasang kecepatannya semakin kecil pada area alur pelayaran ditunjukkan pada area yang berwarna biru tua.

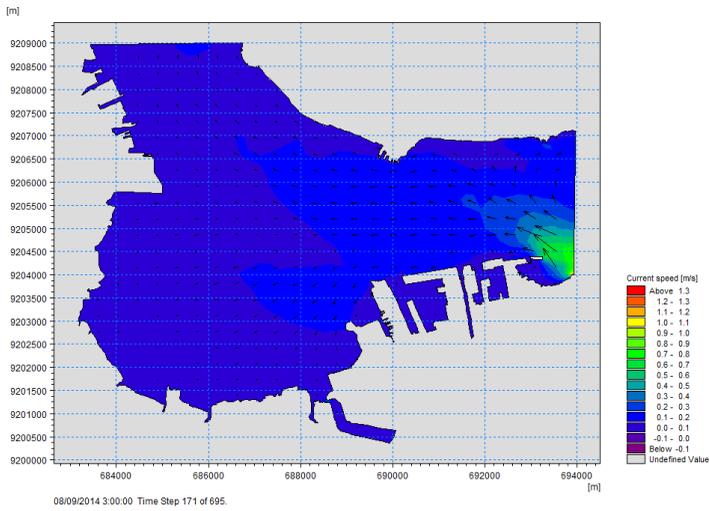
Pada Gambar 4.14 pada saat menuju pasang arus mengalir dari arah timur menuju ke perairan Teluk Lamong dengan arah 2,8 - 5,2 radian, ditunjukkan dengan area berwarna kuning dan hijau. Arus di area alur menuju ke utara dengan arah 5,2 - 6 radian ditunjukkan dengan area yang berwarna oranye.

d. Kondisi Pasang Tertinggi

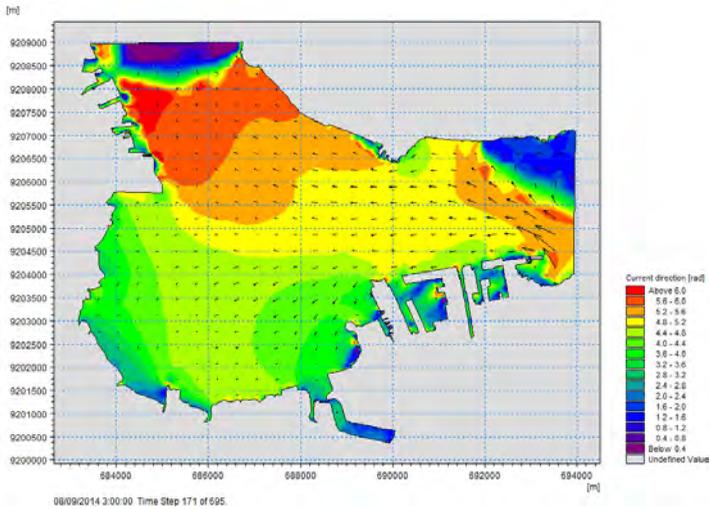
Model pola arus saat pasang tertinggi pada Gambar 4.15 terjadi pada *timestep* 171 tanggal 8 September 2014 pukul 03.00. Ketinggian permukaan air maksimal pada kondisi ini adalah 2,14 m ditunjukkan pada area berwarna oranye di perairan Teluk Lamong.



Gambar 4.15 Pola Arus Saat Pasang Tertinggi



Gambar 4.16 Kecepatan Arus Saat Pasang Tertinggi



Gambar 4.17 Arah Arus Saat Pasang Tertinggi

Kecepatan arus pada kondisi ini berkisar antara 0,07 – 0,20 m/s terlihat di Gambar 4.16 pada area berwarna hijau hingga biru. Pada Gambar 4.17 ditunjukkan 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 dengan arah 3,6 – 5,2 radian ditunjukkan dengan area berwarna hijau. Kondisi ini menunjukkan pada pada kondisi pasang menuju surut atau sebaliknya, diikuti dengan terjadinya perubahan arah arus.

### **4.3 Pemodelan Aliran Sedimen**

#### **4.3.1 Hasil Uji Sampel Sedimen**

Sampel sedimen didapatkan dari PT. Pelabuhan Indonesia III yang bekerja sama dengan Tim Proyek Alur Pelayaran Barat Surabaya. Pengambilan sedimen dilakukan pada dasar perairan Tanjung Perak dengan menggunakan alat *grab sampler* dengan satu titik sampel.

Hasil dari uji sampel sedimen diklasifikasikan jenisnya berdasarkan ukuran butir (*grain size*) menurut skala *Wentworth*. Dari proses klasifikasi menunjukkan bahwa perairan pelabuhan Tanjung Perak didominasi oleh pasir, butiran halus (lanau), dan kerikil. Hasil uji sampel sedimen ditunjukkan pada Tabel 4.5. sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil Uji Sampel Sedimen

<b>No</b>	<b>Jenis Sedimen</b>	<b><i>Grain Size</i></b>
1	Lanau	0,01 - 0,05 mm
2	Pasir	0,10 - 2,00 mm
3	Kerikil	2,00 - 4,00 mm

#### **4.3.2 Parameter Pemodelan Sedimen**

Pemodelan aliran sedimen dilakukan dengan menggunakan metode simulasi numerik berdasarkan pada formula *Engelund-Hansen*. Aliran sedimen yang dimodelkan

adalah *flux* sedimen total, yang nilainya menyatakan jumlah dari aliran sedimen yang dimodelkan sesuai persamaan:

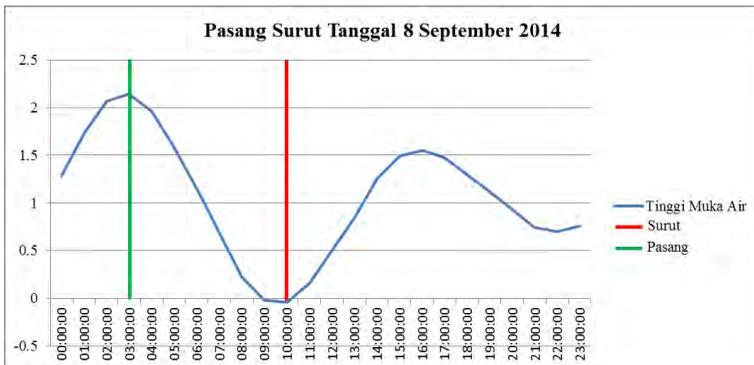
$$q = q_s + q_b \dots\dots\dots(4-2)$$

dimana  $q$  menyatakan aliran sedimen total;  $q_s$  menyatakan aliran sedimen tersuspensi (*suspension*); dan  $q_b$  menyatakan sedimen dasar (*bedload*). Sehingga hasil pemodelan hanya menunjukkan besarnya aliran sedimen secara keseluruhan.

Pemodelan aliran sedimen menggunakan parameter arus murni yang dibangkitkan oleh pasang surut. Jenis sedimen yang dimodelkan adalah sedimen pasir dengan nilai *grain size* 0,2 mm. Simulasi dilakukan selama 29 piantan dengan interval pemodelan 3600 detik, atau dilakukan pemodelan setiap satu jam. Sehingga pemodelan ini menghasilkan 695 model aliran sedimen. Hasil pemodelan berupa *solid flux*, *bed level*, *bed level change*.

#### 4.3.3 Analisa Model Aliran Sedimen

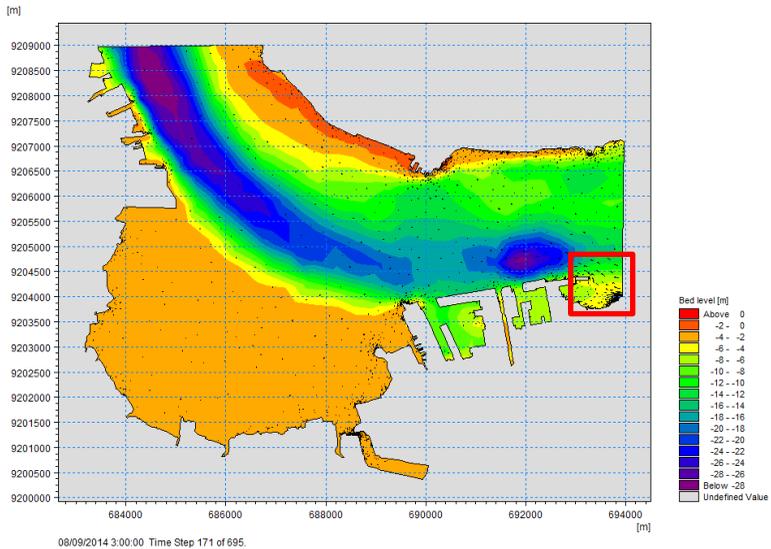
Analisa pemodelan aliran sedimen dilakukan dalam dua kondisi, yaitu pada saat pasang dan surut purnama (*spring tide*) pada tanggal 8 September 2014. Kondisi pengamatan ditunjukkan pada Gambar 4.18 berikut:



Gambar 4.18 Kondisi Pengamatan Aliran Sedimen

Pengamatan dilakukan pada besarnya nilai *solid flux* yang menyatakan banyaknya volume sedimen dalam setiap detiknya pada suatu titik.

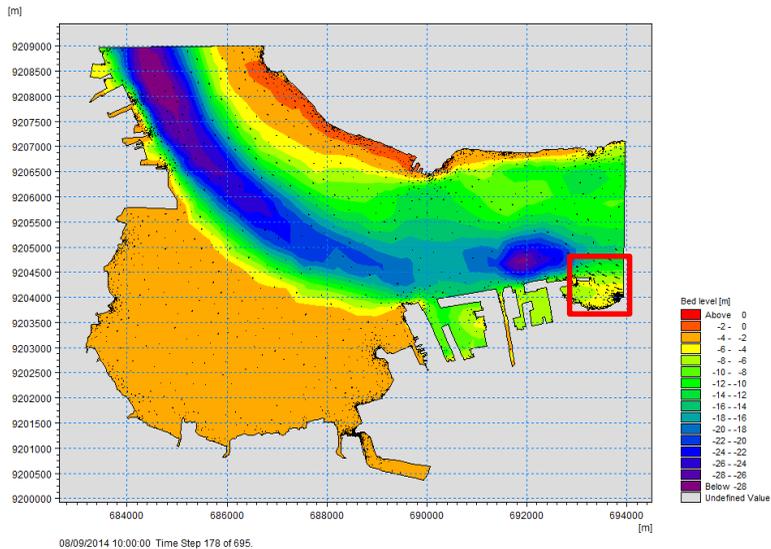
a. Kondisi Pasang



Gambar 4.19 Pola Aliran Sedimen Saat Pasang

Gambar 4.19 menunjukkan pola aliran sedimen saat terjadi pasang. Model ini terjadi pada *timestep* 171 tanggal 08 September 2014 pukul 03.00. Kumpulan sedimen ditunjukkan dengan keberadaan titik-titik hitam yang terlihat di beberapa lokasi di sisi pulau Jawa dan Madura. Nilai *solid flux* maksimal adalah  $0,000584 \text{ m}^3/\text{s}$  pada koordinat 693905,38; 9204010,30 dengan arah 5,2 - 6 radian. Lokasi tersebut berada sisi timur area pelabuhan, tepatnya di muara Kali Semampir yang ditunjukkan oleh garis kotak berwarna merah.

## b. Kondisi Surut

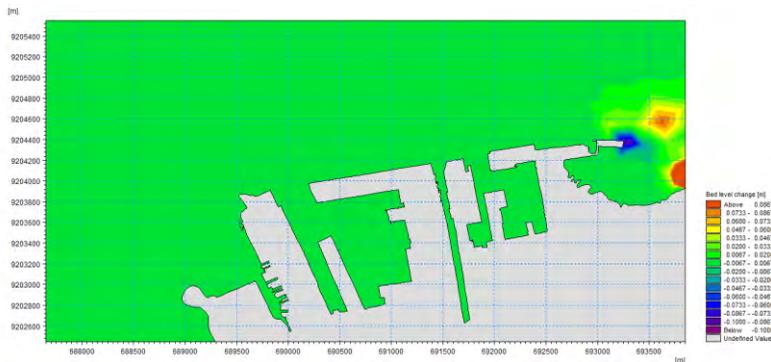


Gambar 4.20 Pola Aliran Sedimen Saat Surut

Pola aliran sedimen pada saat surut ditunjukkan pada Gambar 4.20. Model ini terjadi pada *timestep* 178 tanggal 8 September 2014 pukul 10.00. Pada kondisi ini, nilai *solid flux* maksimal adalah  $0,000020 \text{ m}^3/\text{s}$  terletak pada koordinat 693922,55; 9204021,92 dengan arah 5,2 - 5,6 radian. Koordinat titik ini juga terletak di muara Kali Semampir yang ditunjukkan oleh garis kotak berwarna merah. Sedimentasi juga terlihat beberapa lokasi, seperti di area reklamasi, dermaga Bogasari, dermaga semen, dan dermaga PLTU. Di sisi pulau madura, sedimentasi terjadi di Tanjung Kamal, Batuporon dan wilayah tambak barat.

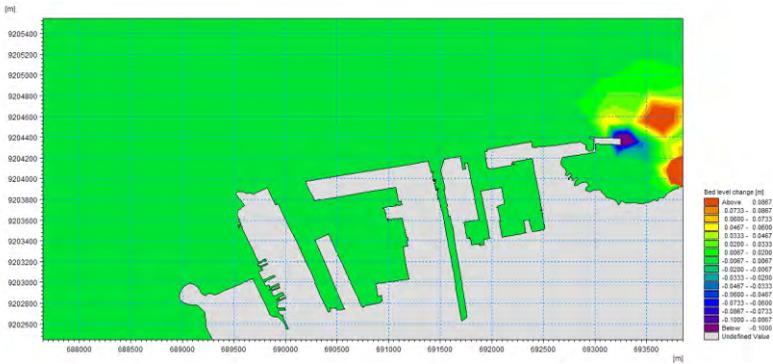
Dari hasil pengamatan pada saat pasang dan surut, nilai aliran sedimen paling besar terjadi pada saat pasang. Faktor penyebabnya adalah kecepatan arus pada saat pasang yang relatif lebih cepat dibandingkan pada saat surut. Hal ini menunjukkan semakin cepat arus, maka sedimen yang terbawa dapat semakin banyak sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Triatmodjo (1999).

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa nilai aliran sedimen terbesar terjadi di area muara Kali Semampir baik pada waktu pasang maupun pada saat surut. Sehingga dilakukan pengamatan pola sebaran sedimen dilihat dari perubahan kedalaman (*bed level change*) yang terjadi di daerah tersebut. Pengamatan dilakukan secara temporal dengan interval pengamatan satu minggu. Perubahan kedalaman yang terjadi di muara Kali Semampir ditunjukkan dengan grafik warna. Area yang berwarna oranye menunjukkan terjadi pendangkalan, sedangkan area yang berwarna biru menunjukkan terjadi pendalaman. Pola perubahan kedalaman muara Kali Semampir adalah sebagai berikut:



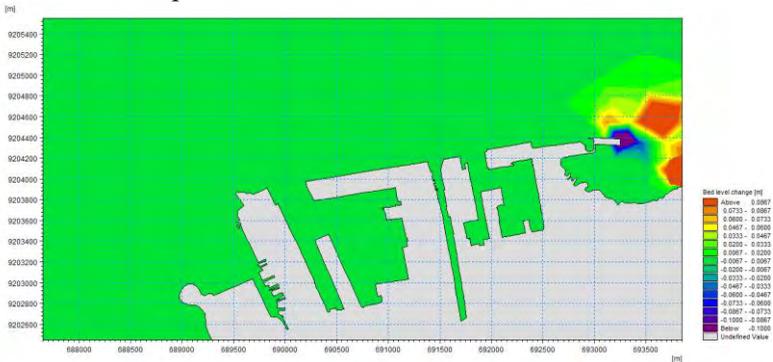
Gambar 4.21 Pola Perubahan Kedalaman Muara Kali Semampir Minggu Pertama

Gambar 4.21 menunjukkan perubahan kedalaman muara Kali Semampir pada minggu pertama. Pendangkalan terbesar adalah 0,45 m, dan penambahan kedalaman terbesar 0,23 m.



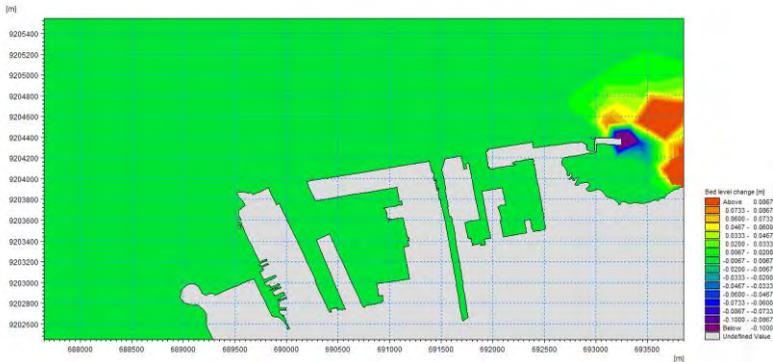
Gambar 4.22 Pola Perubahan Kedalaman Muara Kali Semampir Minggu Kedua

Gambar 4.22 menunjukkan perubahan kedalaman muara Kali Semampir pada minggu kedua. Pendangkalan terbesar adalah 0,69 m, penambahan kedalaman terbesar adalah 0,33 m.



Gambar 4.23 Pola Perubahan Kedalaman Muara Kali Semampir Minggu Ketiga

Gambar 4.23 menunjukkan perubahan kedalaman muara Kali Semampir pada minggu ketiga. Pendangkalan terbesar adalah 0,83 m, sedangkan penambahan kedalaman terbesar adalah 0,39 m.

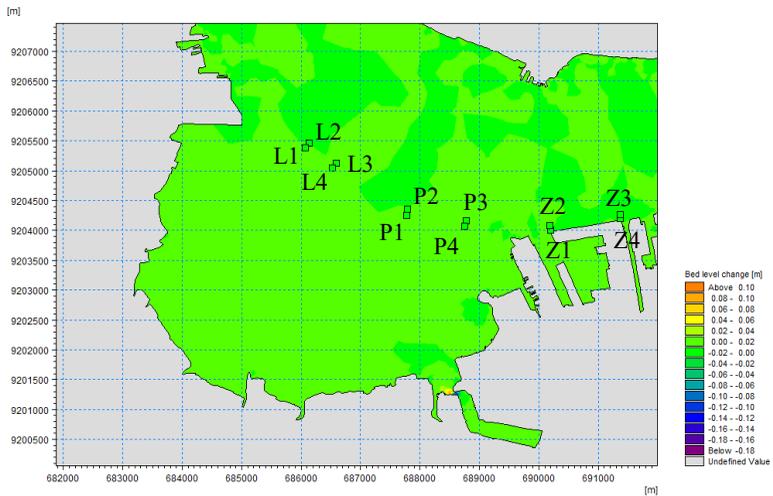


Penentuan area pemeliharaan dilakukan dengan melihat perubahan kedalaman yang terjadi akibat perpindahan material sedimen. Semakin besar perubahan kedalaman, menunjukkan semakin banyak tumpukan material sedimen di dasar perairan. Pengamatan perubahan kedalaman dilakukan pada tiga kolam pelabuhan, yaitu kolam Pelabuhan Teluk Lamong, Pelabuhan Tanjung Perak, dan Dermaga Zamrud. Pengamatan dilakukan secara temporal dengan interval satu minggu, dan dilakukan hingga minggu keempat. Data perubahan kedalaman dilakukan dengan melakukan ekstraksi model pada 12 titik di daerah pengamatan. Koordinat titik yang diamati dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut:

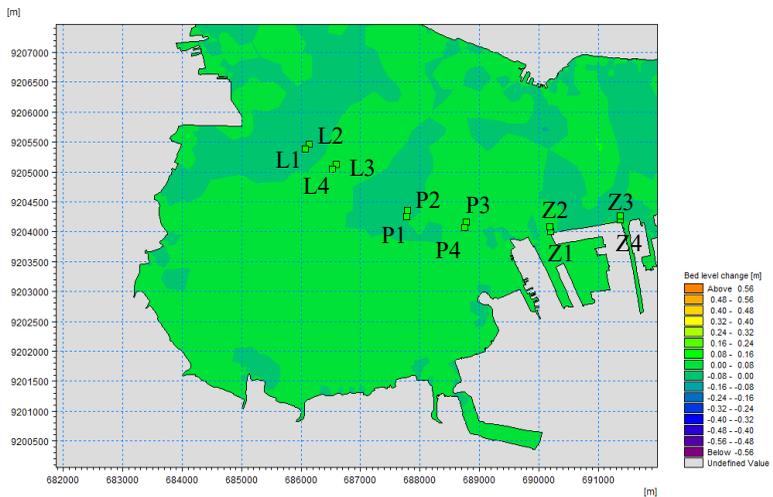
Tabel 4.6 Koordinat Titik Pengamatan

Kolam Pelabuhan	Nama Titik	Koordinat (m)	
		Easting	Northing
Teluk Lamong	L1	686073,73	9205378,57
	L2	686132,65	9205459,37
	L3	686585,13	9205129,42
	L4	686526,21	9205048,62
Tanjung Perak	P1	687772,64	9204254,43
	P2	687791,53	9204353,21
	P3	688773,72	9204165,33
	P4	688754,83	9204066,56
Dermaga Zamrud	Z1	690196,11	9204005,57
	Z2	690184,54	9204077,23
	Z3	691364,10	9204267,65
	Z4	691375,67	9204195,99

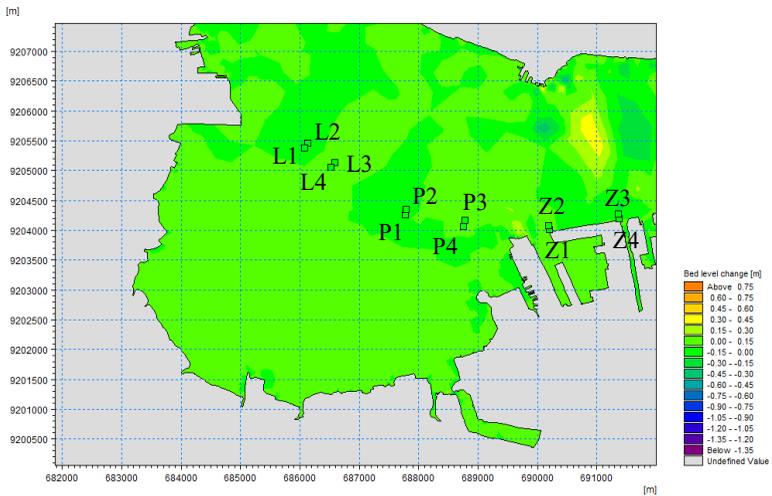
Pola perubahan kedalaman pada titik pengamatan dapat dilihat pada Gambar 4.25 sampai dengan Gambar 4.28 berikut:



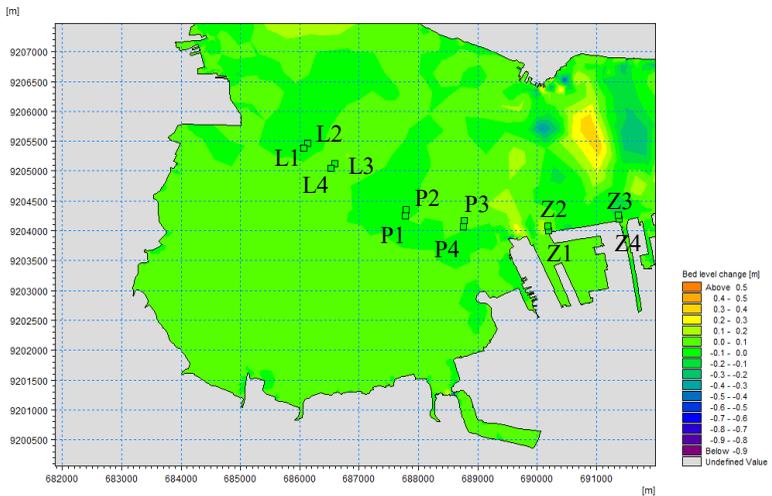
Gambar 4.25 Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Pertama



Gambar 4.26 Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Kedua



Gambar 4.27 Pola perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Ketiga



Gambar 4.28 Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Keempat

Perubahan kedalaman setiap titik pengamatan dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7 Perubahan Kedalaman Kolum Pelabuhan

Kolum Pelabuhan	Nama Titik	Perubahan Kedalaman (m)			
		Minggu ke-1	Minggu ke-2	Minggu ke-3	Minggu ke-4
Teluk Lamong	L1	-0,0004	-0,0132	-0,0029	-0,0017
	L2	-0,0005	-0,0172	-0,0065	-0,0053
	L3	0,0013	0,0461	0,0449	0,0448
	L4	0,0009	0,0270	0,0253	0,0250
Tanjung Perak	P1	-0,0002	-0,0115	-0,0061	-0,0055
	P2	-0,0005	-0,0183	-0,0104	-0,0095
	P3	0,0005	0,0119	0,0089	0,0086
	P4	0,0002	0,0031	-0,0010	-0,0014
Dermaga Zamrud	Z1	0,0023	0,1001	0,0963	0,0959
	Z2	0,0028	0,0911	0,0904	0,0904
	Z3	-0,0046	-0,1013	-0,1083	-0,1092
	Z4	-0,0011	-0,0255	-0,0134	-0,0121

Dari Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa aliran material sedimen menyebabkan perubahan kedalaman di kolum pelabuhan. Pada minggu pertama, tidak terjadi perubahan kedalaman yang signifikan di semua titik. Namun, perubahan kedalaman menunjukkan pendangkalan dan penambahan kedalaman yang bervariasi di semua kolum pelabuhan. Perubahan kedalaman terbesar terjadi di kolum Dermaga Zamrud pada titik Z3 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 titik Z3 dengan penambahan kedalaman sebesar 0,1013 m. Sedangkan perubahan kedalaman terkecil terjadi di kolam Pelabuhan Tanjung Perak titik P4 koordinat 688754,83; 9204066,56 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 titik L3 koordinat 686585,13; 9205129,42 dan di kolam Dermaga Zamrud pada titik Z3. Perubahan kedalaman terbesar terjadi di kolam Dermaga Zamrud dengan pendangkalan sebesar 0,0963 m pada titik Z1 koordinat 690196,11; 9204005,57, serta penambahan kedalaman pada titik Z3 sebesar 0,1083 m.

Pada minggu keempat, pergantian tipe perubahan kedalaman terjadi di kolam Pelabuhan Teluk Lamong pada titik L3. 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. Perubahan kedalaman terbesar masih terjadi di kolam Dermaga Zamrud pada titik Z1 dan Z3. Secara keseluruhan, perubahan terhadap kedalaman awal terbesar terjadi di kolam Dermaga Zamrud.

Berdasarkan Tabel 4.7, 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 memiliki aliran sedimen cukup besar. Oleh karena itu, untuk kepentingan pemeliharaan perlu dilakukan monitoring kedalaman secara rutin untuk kolam Dermaga Zamrud. Jika dalam monitoring kedalaman didapatkan perubahan kedalaman yang sudah tidak lagi sesuai dengan draft kapal, maka perlu dilakukan penanggulangan dengan melakukan pengerukan pada kolam pelabuhan oleh otoritas pelabuhan sebagai pihak yang memelihara fasilitas pelabuhan.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang didapatkan dari pemodelan aliran material sedimen akibat pengaruh arus pasang surut adalah sebagai berikut:

1. 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.
2. 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.
3. 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.

#### **5.2 Saran**

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya pada bidang terkait adalah:

1. 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.

2. 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.
3. 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.
4. Dapat dilakukan pemodelan dengan jangka waktu lebih lama, atau pemodelan pada bulan lain sebagai perbandingan.

**LAMPIRAN I**

**DATA PASANG SURUT**

**Sumber: Badan Informasi Geospasial**

Bulan September Tahun 2014

Jam	Tanggal							
	1	2	3	4	5	6	7	8
00:00:00	0,93	1,11	1,36	1,61	1,81	1,81	1,56	1,28
01:00:00	0,74	0,89	1,13	1,44	1,77	1,91	1,91	1,73
02:00:00	0,67	0,77	0,89	1,22	1,55	1,86	2,08	2,07
03:00:00	0,68	0,71	0,71	0,96	1,22	1,63	1,92	2,14
04:00:00	0,8	0,72	0,64	0,71	0,9	1,22	1,59	1,96
05:00:00	0,91	0,7	0,56	0,47	0,54	0,8	1,2	1,58
06:00:00	0,99	0,7	0,48	0,37	0,3	0,44	0,73	1,15
07:00:00	1,04	0,72	0,48	0,29	0,16	0,17	0,29	0,68
08:00:00	0,98	0,81	0,55	0,3	0,13	0,05	0,02	0,23
09:00:00	0,95	0,86	0,67	0,42	0,23	0,09	-0,05	-0,02
10:00:00	0,92	0,94	0,78	0,57	0,44	0,24	0,03	-0,04
11:00:00	0,9	1,07	0,94	0,9	0,75	0,47	0,2	0,16
12:00:00	0,87	1,07	1,08	1,11	1	0,84	0,59	0,5
13:00:00	0,94	1,03	1,13	1,19	1,15	1,13	1,02	0,84
14:00:00	1,02	1,03	1,16	1,2	1,23	1,27	1,25	1,25
15:00:00	1,16	1,16	1,21	1,23	1,26	1,34	1,37	1,49
16:00:00	1,3	1,3	1,31	1,27	1,3	1,36	1,39	1,55
17:00:00	1,39	1,3	1,33	1,34	1,26	1,33	1,32	1,48
18:00:00	1,49	1,34	1,32	1,3	1,3	1,27	1,23	1,3
19:00:00	1,64	1,51	1,38	1,29	1,29	1,2	1,12	1,12
20:00:00	1,64	1,58	1,42	1,29	1,17	1,09	0,99	0,93
21:00:00	1,54	1,56	1,51	1,34	1,16	1,03	0,9	0,74
22:00:00	1,44	1,5	1,65	1,5	1,3	1,05	0,88	0,7
23:00:00	1,33	1,46	1,68	1,68	1,56	1,24	0,99	0,76

Catatan: Bacaan kedalaman dalam satuan meter (m)

Bulan September Tahun 2014

Jam	Tanggal							
	9	10	11	12	13	14	15	16
00:00:00	0,96	0,73	0,53	0,53	0,58	0,67	0,88	1,08
01:00:00	1,36	0,97	0,71	0,58	0,6	0,57	0,68	0,93
02:00:00	1,81	1,41	0,97	0,72	0,66	0,59	0,64	0,79
03:00:00	2,13	1,89	1,38	0,9	0,74	0,66	0,65	0,7
04:00:00	2,08	2,1	1,8	1,25	0,86	0,72	0,66	0,64
05:00:00	1,8	1,93	1,91	1,54	1,13	0,77	0,62	0,59
06:00:00	1,45	1,63	1,68	1,55	1,28	0,86	0,61	0,47
07:00:00	1,02	1,31	1,42	1,43	1,21	0,93	0,66	0,42
08:00:00	0,53	0,92	1,15	1,35	1,2	0,94	0,74	0,5
09:00:00	0,12	0,46	0,77	1,1	1,17	1,03	0,93	0,7
10:00:00	0,01	0,17	0,37	0,69	1,03	1,02	1,07	0,95
11:00:00	0,11	0,17	0,22	0,41	0,81	0,93	1,08	1,07
12:00:00	0,32	0,33	0,35	0,37	0,58	0,83	0,99	1,12
13:00:00	0,72	0,63	0,62	0,59	0,62	0,82	0,93	1,11
14:00:00	1,14	1,02	0,96	0,86	0,89	0,97	1,03	1,1
15:00:00	1,48	1,44	1,36	1,2	1,18	1,19	1,2	1,1
16:00:00	1,6	1,69	1,68	1,62	1,46	1,34	1,28	1,18
17:00:00	1,55	1,67	1,75	1,85	1,72	1,48	1,37	1,24
18:00:00	1,47	1,54	1,58	1,8	1,88	1,66	1,5	1,31
19:00:00	1,28	1,42	1,45	1,56	1,76	1,73	1,59	1,43
20:00:00	1,03	1,22	1,34	1,38	1,48	1,57	1,64	1,55
21:00:00	0,72	0,9	1,12	1,22	1,32	1,38	1,5	1,51
22:00:00	0,58	0,61	0,8	0,95	1,14	1,25	1,39	1,41
23:00:00	0,61	0,5	0,59	0,71	0,87	1,1	1,23	1,39

Catatan: Bacaan kedalaman dalam satuan meter (m)

Bulan September Tahun 2014

Jam	Tanggal							
	17	18	19	20	21	22	23	24
00:00:00	1,27	1,44	1,59	1,44	1,38	1,23	1,03	0,81
01:00:00	1,12	1,32	1,53	1,55	1,59	1,5	1,31	1,09
02:00:00	0,95	1,15	1,32	1,6	1,68	1,67	1,61	1,48
03:00:00	0,78	0,94	1,07	1,42	1,56	1,64	1,76	1,74
04:00:00	0,7	0,74	0,89	1,16	1,29	1,43	1,6	1,68
05:00:00	0,63	0,61	0,66	0,9	1,03	1,18	1,36	1,46
06:00:00	0,53	0,51	0,44	0,61	0,8	0,93	1,12	1,23
07:00:00	0,44	0,42	0,36	0,41	0,51	0,6	0,8	0,99
08:00:00	0,43	0,36	0,38	0,27	0,3	0,35	0,52	0,72
09:00:00	0,49	0,33	0,42	0,25	0,24	0,25	0,36	0,44
10:00:00	0,66	0,49	0,53	0,37	0,33	0,26	0,38	0,37
11:00:00	0,92	0,76	0,69	0,6	0,49	0,46	0,48	0,44
12:00:00	1,1	1,05	0,95	0,86	0,76	0,74	0,68	0,65
13:00:00	1,19	1,26	1,14	1,14	1,09	1,05	0,99	0,95
14:00:00	1,21	1,33	1,26	1,41	1,35	1,31	1,29	1,26
15:00:00	1,22	1,31	1,32	1,48	1,41	1,5	1,53	1,57
16:00:00	1,26	1,25	1,33	1,4	1,38	1,5	1,59	1,64
17:00:00	1,25	1,18	1,34	1,3	1,29	1,44	1,46	1,54
18:00:00	1,2	1,13	1,33	1,22	1,15	1,27	1,32	1,38
19:00:00	1,19	1,09	1,22	1,07	0,97	1,06	1,13	1,18
20:00:00	1,28	1,09	1,11	0,94	0,85	0,85	0,83	0,92
21:00:00	1,43	1,24	1,11	0,94	0,76	0,7	0,61	0,61
22:00:00	1,5	1,36	1,2	0,97	0,84	0,68	0,58	0,44
23:00:00	1,51	1,49	1,32	1,14	0,97	0,82	0,66	0,46

Catatan: Bacaan kedalaman dalam satuan meter (m)

Bulan September Tahun 2014

Jam	Tanggal				
	25	26	27	28	29
00:00:00	0,6	0,43	0,39	0,28	0,36
01:00:00	0,88	0,59	0,47	0,34	0,35
02:00:00	1,27	0,97	0,72	0,5	0,41
03:00:00	1,62	1,35	1,04	0,75	0,55
04:00:00	1,7	1,6	1,32	1,05	0,78
05:00:00	1,51	1,58	1,42	1,21	0,98
06:00:00	1,27	1,35	1,3	1,17	1,07
07:00:00	1,05	1,14	1,16	1,07	1,02
08:00:00	0,82	0,96	1,06	1,03	0,97
09:00:00	0,56	0,71	0,91	0,97	0,97
10:00:00	0,44	0,52	0,72	0,87	0,96
11:00:00	0,52	0,56	0,61	0,79	0,92
12:00:00	0,7	0,72	0,72	0,88	0,92
13:00:00	0,97	0,94	0,92	1,04	1,02
14:00:00	1,24	1,22	1,12	1,15	1,19
15:00:00	1,5	1,52	1,38	1,38	1,36
16:00:00	1,67	1,77	1,69	1,62	1,51
17:00:00	1,61	1,75	1,78	1,79	1,67
18:00:00	1,47	1,55	1,64	1,78	1,76
19:00:00	1,3	1,34	1,43	1,56	1,63
20:00:00	1,03	1,13	1,22	1,32	1,42
21:00:00	0,7	0,84	0,95	1,13	1,28
22:00:00	0,46	0,53	0,64	0,84	1,04
23:00:00	0,4	0,37	0,36	0,53	0,76

Catatan: Bacaan kedalaman dalam satuan meter (m)

**LAMPIRAN II**  
**DATA PASANG SURUT**  
**HASIL PEMODELAN**

Bulan September Tahun 2014

Jam	Tanggal							
	1	2	3	4	5	6	7	8
00:00:00	0,93	1,12	1,36	1,62	1,81	1,80	1,55	1,27
01:00:00	0,64	0,89	1,14	1,45	1,78	1,91	1,90	1,71
02:00:00	0,63	0,77	0,90	1,23	1,56	1,87	2,08	2,06
03:00:00	0,66	0,71	0,71	0,97	1,23	1,64	1,93	2,15
04:00:00	0,78	0,72	0,64	0,71	0,91	1,23	1,61	1,98
05:00:00	0,90	0,70	0,56	0,47	0,55	0,81	1,21	1,60
06:00:00	0,98	0,70	0,48	0,37	0,30	0,45	0,74	1,17
07:00:00	1,04	0,72	0,48	0,29	0,16	0,17	0,30	0,69
08:00:00	0,98	0,81	0,55	0,30	0,14	0,06	0,03	0,24
09:00:00	0,95	0,86	0,67	0,42	0,24	0,10	-0,04	-0,01
10:00:00	0,92	0,94	0,78	0,57	0,44	0,25	0,04	-0,03
11:00:00	0,90	1,06	0,94	0,90	0,75	0,47	0,21	0,17
12:00:00	0,87	1,07	1,08	1,11	1,00	0,84	0,59	0,50
13:00:00	0,94	1,03	1,13	1,19	1,15	1,13	1,02	0,84
14:00:00	1,02	1,03	1,16	1,20	1,23	1,27	1,25	1,25
15:00:00	1,16	1,16	1,21	1,23	1,26	1,34	1,38	1,49
16:00:00	1,29	1,30	1,31	1,27	1,30	1,36	1,40	1,56
17:00:00	1,39	1,30	1,33	1,34	1,26	1,34	1,33	1,49
18:00:00	1,49	1,34	1,32	1,30	1,30	1,28	1,24	1,31
19:00:00	1,64	1,50	1,38	1,29	1,29	1,20	1,13	1,13
20:00:00	1,64	1,58	1,42	1,29	1,17	1,09	0,99	0,94
21:00:00	1,55	1,56	1,51	1,34	1,16	1,03	0,90	0,74
22:00:00	1,45	1,50	1,65	1,49	1,30	1,05	0,88	0,70
23:00:00	1,33	1,46	1,68	1,67	1,55	1,23	0,99	0,76

Catatan: Bacaan kedalaman dalam satuan meter (m)

Bulan September Tahun 2014

Jam	Tanggal							
	9	10	11	12	13	14	15	16
00:00:00	0,95	0,73	0,53	0,53	0,58	0,67	0,88	1,08
01:00:00	1,35	0,96	0,71	0,58	0,60	0,57	0,68	0,93
02:00:00	1,80	1,40	0,97	0,72	0,66	0,59	0,64	0,79
03:00:00	2,12	1,88	1,37	0,90	0,74	0,66	0,65	0,70
04:00:00	2,09	2,10	1,79	1,24	0,86	0,72	0,66	0,64
05:00:00	1,82	1,95	1,91	1,53	1,12	0,77	0,62	0,59
06:00:00	1,47	1,65	1,70	1,55	1,28	0,86	0,61	0,47
07:00:00	1,03	1,33	1,43	1,44	1,21	0,93	0,66	0,42
08:00:00	0,54	0,93	1,16	1,36	1,20	0,94	0,74	0,50
09:00:00	0,13	0,47	0,78	1,11	1,17	1,03	0,93	0,70
10:00:00	0,02	0,18	0,38	0,70	1,03	1,02	1,07	0,95
11:00:00	0,12	0,18	0,23	0,42	0,82	0,93	1,08	1,07
12:00:00	0,33	0,34	0,36	0,37	0,58	0,83	0,99	1,12
13:00:00	0,72	0,63	0,62	0,59	0,62	0,82	0,93	1,11
14:00:00	1,14	1,02	0,96	0,86	0,89	0,97	1,03	1,10
15:00:00	1,48	1,43	1,35	1,19	1,17	1,18	1,19	1,10
16:00:00	1,61	1,69	1,67	1,61	1,45	1,34	1,28	1,18
17:00:00	1,56	1,68	1,75	1,85	1,71	1,48	1,37	1,24
18:00:00	1,48	1,55	1,59	1,81	1,88	1,66	1,50	1,31
19:00:00	1,29	1,43	1,46	1,57	1,77	1,73	1,59	1,43
20:00:00	1,04	1,23	1,35	1,39	1,49	1,58	1,64	1,55
21:00:00	0,73	0,91	1,13	1,23	1,33	1,39	1,51	1,51
22:00:00	0,58	0,62	0,81	0,96	1,15	1,26	1,40	1,42
23:00:00	0,61	0,50	0,59	0,71	0,88	1,10	1,24	1,39

Catatan: Bacaan kedalaman dalam satuan meter (m)

Bulan September Tahun 2014

Jam	Tanggal							
	17	18	19	20	21	22	23	24
00:00:00	1,27	1,44	1,59	1,43	1,37	1,22	1,02	0,81
01:00:00	1,12	1,33	1,53	1,55	1,58	1,49	1,30	1,08
02:00:00	0,95	1,16	1,33	1,60	1,68	1,67	1,60	1,47
03:00:00	0,78	0,95	1,08	1,43	1,57	1,65	1,76	1,73
04:00:00	0,70	0,74	0,90	1,17	1,30	1,44	1,61	1,69
05:00:00	0,63	0,61	0,66	0,91	1,04	1,19	1,37	1,47
06:00:00	0,53	0,51	0,44	0,62	0,81	0,94	1,13	1,24
07:00:00	0,44	0,42	0,36	0,41	0,51	0,61	0,81	1,00
08:00:00	0,43	0,36	0,38	0,27	0,30	0,35	0,53	0,73
09:00:00	0,49	0,33	0,42	0,25	0,24	0,25	0,36	0,44
10:00:00	0,66	0,49	0,53	0,37	0,33	0,26	0,38	0,37
11:00:00	0,92	0,76	0,69	0,60	0,49	0,46	0,48	0,44
12:00:00	1,10	1,05	0,95	0,86	0,76	0,74	0,68	0,65
13:00:00	1,19	1,26	1,14	1,14	1,09	1,05	0,99	0,95
14:00:00	1,21	1,33	1,26	1,41	1,35	1,31	1,28	1,25
15:00:00	1,22	1,31	1,32	1,48	1,41	1,50	1,52	1,56
16:00:00	1,26	1,26	1,33	1,41	1,39	1,51	1,59	1,64
17:00:00	1,25	1,18	1,34	1,31	1,30	1,45	1,47	1,55
18:00:00	1,20	1,13	1,33	1,23	1,16	1,28	1,33	1,39
19:00:00	1,19	1,09	1,23	1,08	0,98	1,07	1,14	1,19
20:00:00	1,28	1,09	1,11	0,94	0,85	0,86	0,84	0,93
21:00:00	1,42	1,23	1,11	0,94	0,76	0,70	0,61	0,62
22:00:00	1,50	1,35	1,20	0,97	0,84	0,68	0,58	0,44
23:00:00	1,51	1,48	1,31	1,13	0,97	0,82	0,66	0,46

Catatan: Bacaan kedalaman dalam satuan meter (m)

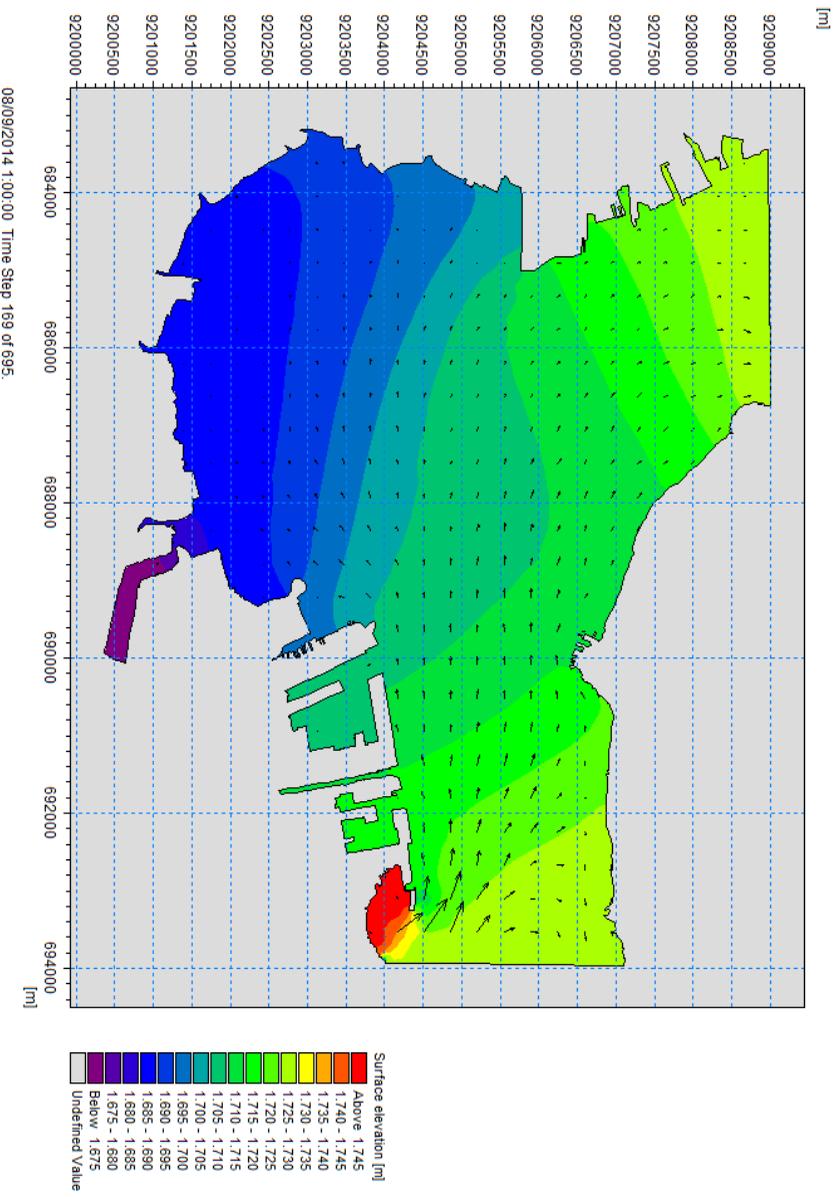
Bulan September Tahun 2014

Jam	Tanggal				
	25	26	27	28	29
00:00:00	0,60	0,43	0,39	0,28	0,36
01:00:00	0,88	0,59	0,47	0,34	0,35
02:00:00	1,26	0,97	0,72	0,50	0,41
03:00:00	1,61	1,34	1,04	0,75	0,55
04:00:00	1,70	1,60	1,31	1,05	0,78
05:00:00	1,52	1,59	1,42	1,21	0,98
06:00:00	1,28	1,36	1,31	1,17	1,07
07:00:00	1,06	1,15	1,17	1,08	1,02
08:00:00	0,83	0,97	1,06	1,03	0,97
09:00:00	0,57	0,72	0,91	0,97	0,97
10:00:00	0,44	0,52	0,72	0,87	0,96
11:00:00	0,52	0,56	0,61	0,79	0,92
12:00:00	0,70	0,72	0,72	0,88	0,92
13:00:00	0,97	0,94	0,92	1,03	1,02
14:00:00	1,23	1,21	1,11	1,15	1,18
15:00:00	1,49	1,51	1,37	1,37	1,35
16:00:00	1,67	1,76	1,68	1,61	1,51
17:00:00	1,62	1,76	1,78	1,79	1,67
18:00:00	1,48	1,56	1,65	1,79	1,76
19:00:00	1,31	1,35	1,44	1,57	1,64
20:00:00	1,04	1,14	1,23	1,33	1,43
21:00:00	0,71	0,85	0,96	1,14	1,29
22:00:00	0,46	0,54	0,65	0,85	1,05
23:00:00	0,40	0,37	0,36	0,53	0,77

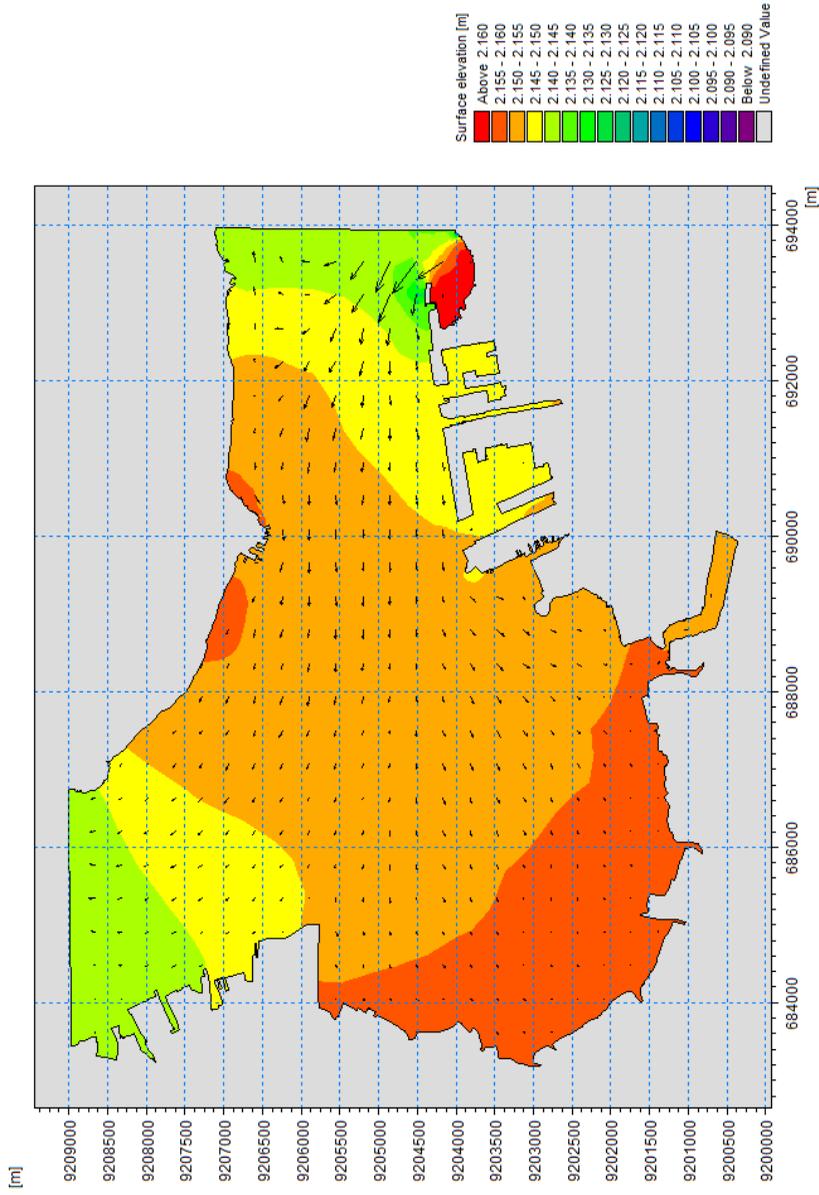
Catatan: Bacaan kedalaman dalam satuan meter (m)

**LAMPIRAN III**  
**HASIL PEMODELAN ARUS**

# Pola Arus Saat Menuju Pasang

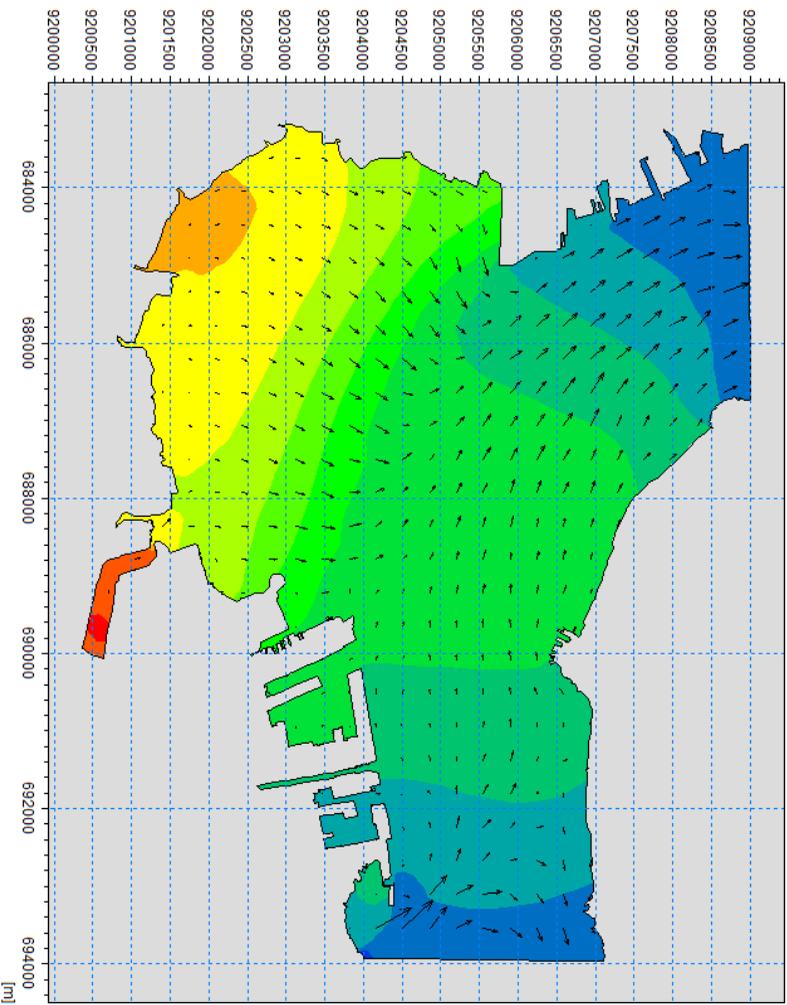


# Pola Arus Saat Pasang Tertinggi

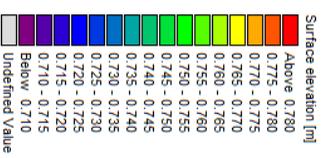


# Pola Arus Saat Menuju Surut

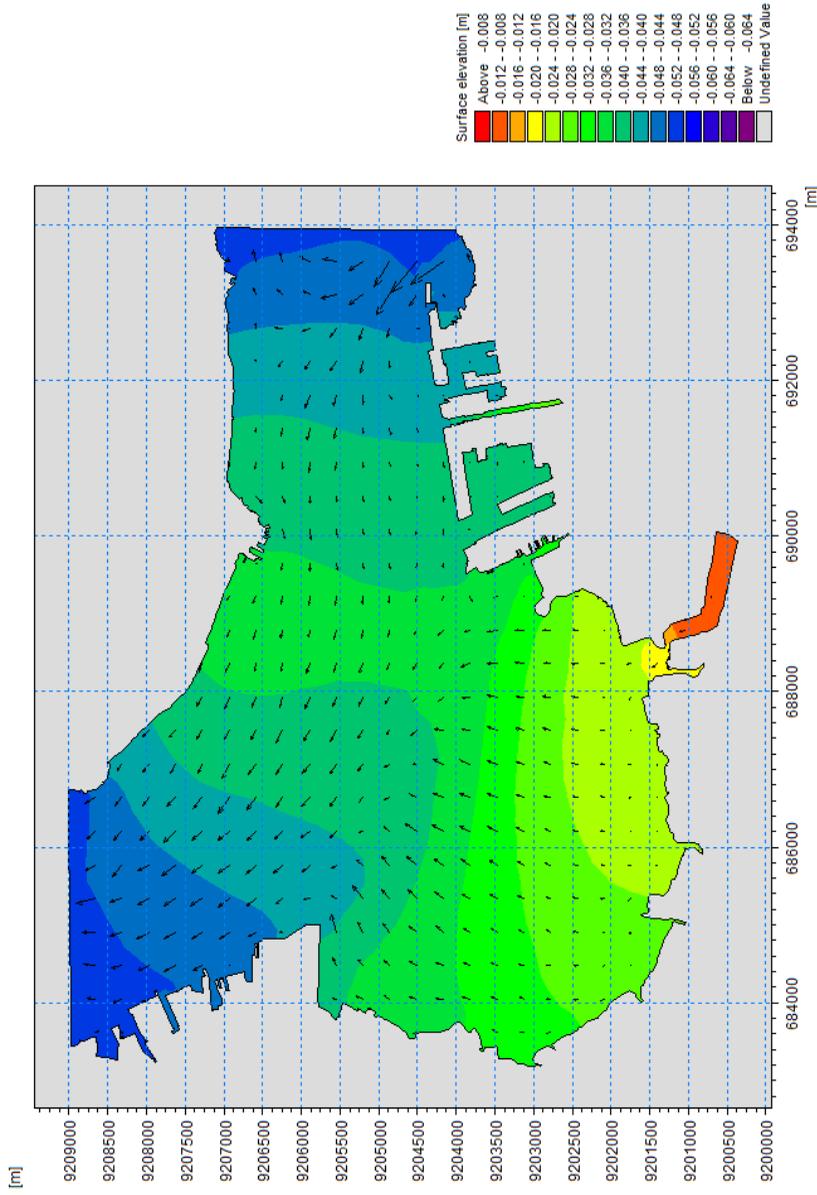
[m]



07/09/2014 6:00:00 Time Step 150 of 695.



# Pola Arus Saat Surut Terendah

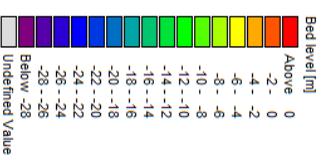
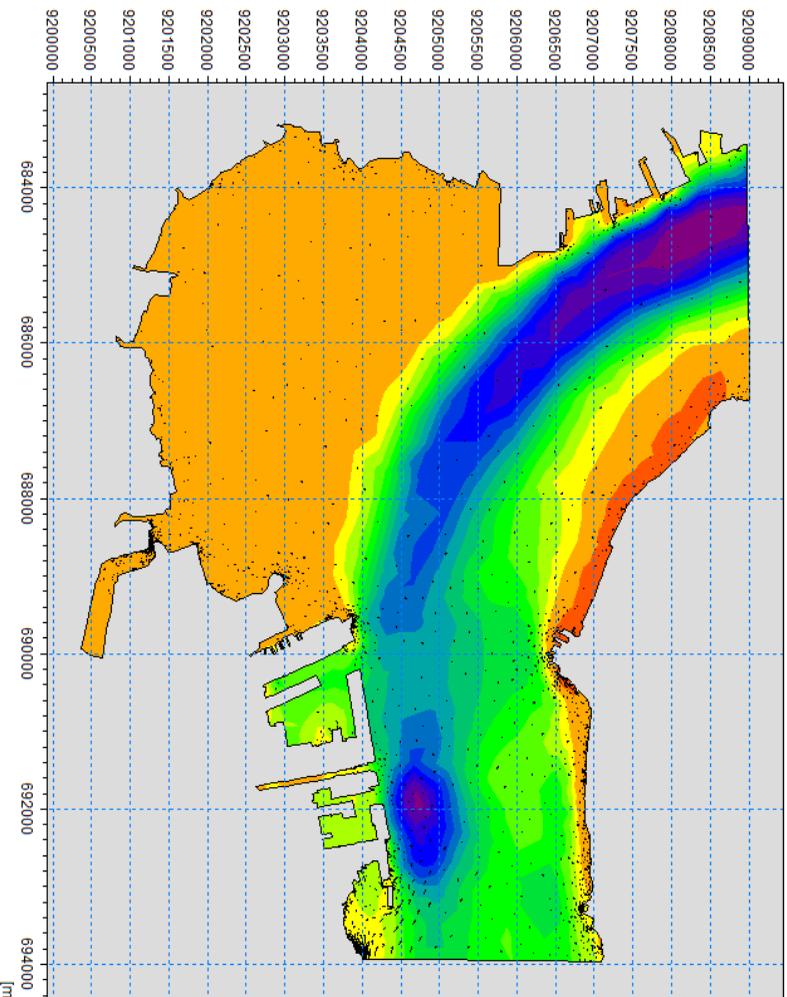


**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

**LAMPIRAN IV**  
**HASIL PEMODELAN ALIRAN SEDIMEN**

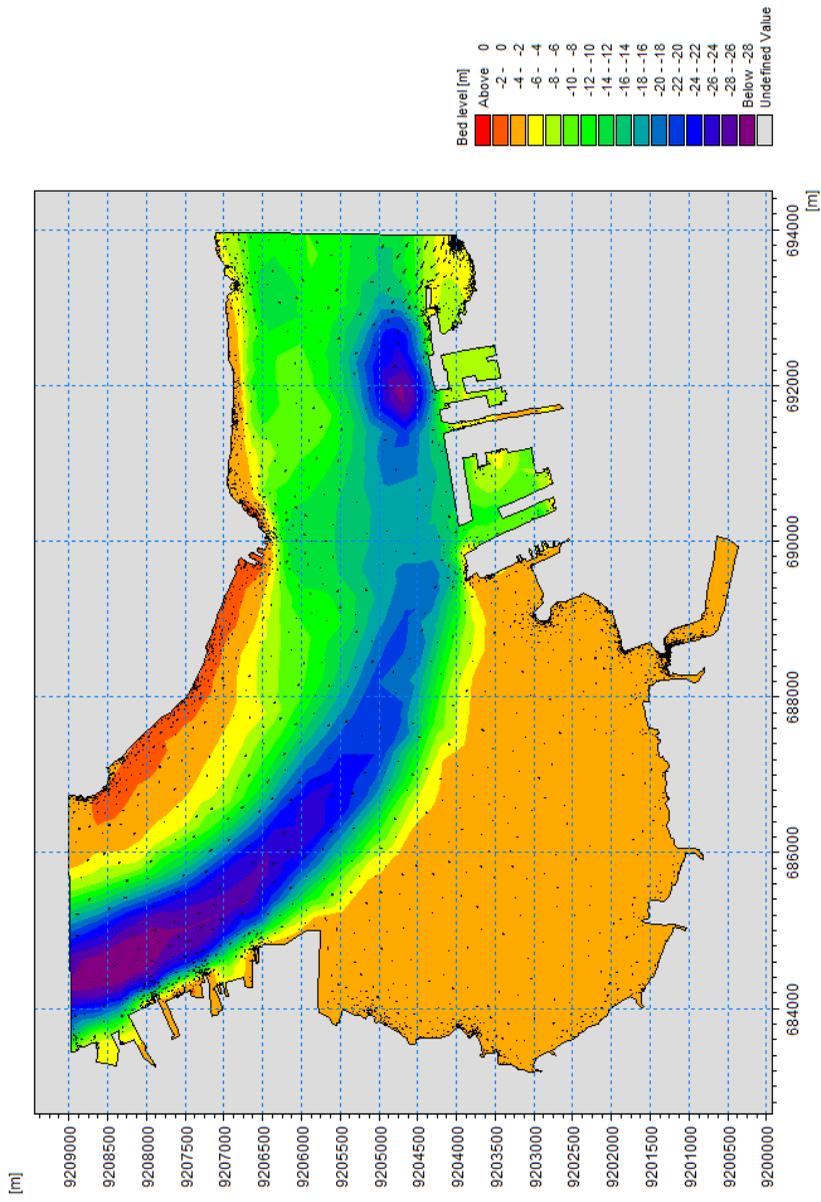
# Pola Aliran Sedimen Saat Pasang

[m]



08/09/2014 3:00:00 Time Step 171 of 695.

# Pola Aliran Sedimen Saat Surut



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

**LAMPIRAN V**  
**SURAT IJIN PENGAMBILAN DATA**  
**PT. PELABUHAN INDONESIA III (Persero)**

Nomor : HM.09/145/P.011 - 2016 Surabaya, 10 Maret 2016  
Klasifikasi : Biasa  
Lampiran : -  
Perihal : Persetujuan Ijin Pengambilan Data Yth. Ketua Jurusan Teknik Geomatika  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

di  
SURABAYA

1. Menunjuk Surat dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Nomor : 186/IT.2.3.1.4/TU.00.09/2016 tanggal 18 Februari 2016 perihal pada pokok surat, atas nama RAMANDA AJI PRADANA (NIM: 3512 100 048), bersama ini disampaikan bahwa permohonan dimaksud pada prinsipnya dapat disetujui.
2. Tersebut butir 1 di atas, dengan penjelasan sebagai berikut :
  - a. Agar yang bersangkutan menghubungi Sub Direktorat Pelayanan SDM PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) Jalan Perak Timur nomor 610 Surabaya (dengan membawa foto copi surat balasan).
  - b. Permohonan Ijin Pengambilan Data dilaksanakan di Direktorat Teknik dan Teknologi Informasi dan Proyek Alur Pelayanan Barat Surabaya Kantor Pusat PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) dengan jadwal pelaksanaan akan diatur dan disesuaikan oleh pembimbing.
  - c. Selama kegiatan berlangsung agar mematuhi aturan dan tata tertib yang berlaku di Kantor Pusat PT Pelabuhan Indonesia III (Persero).
3. Demikian disampaikan atas perhatiannya diucapkan terima kasih.

An. DIREKTUR SDM DAN UMUM  
SENIOR MANAJER PELAYANAN SDM  
ub.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman Musthofa. 2015. *Analisa Simulasi Numeris Arus Pasang Surut menggunakan Perangkat Lunak Hidrodinamika*. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Bambang Ahmadi. 2011. *Studi Dampak Reklamasi di Kawasan Kenjeran dengan Penekanan pada Pola Arus dan Transpor Sedimen*. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Ghipari Azhar. 2012. *Pemodelan Perubahan Morfologi Pantai Akibat Pengaruh Submerged Breakwater Berjenjang*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Hutabarat Sahala dan Evans Stewart M. 2006. *Pengantar Oseanografi*. Jakarta: Universitas Indonesia Press
- Jumarang M. Ishak dkk. 2011. *Pola Sirkulasi Arus dan Salinitas Perairan Estuari Sungai Kapuas Kalimantan Barat*. Pontianak: Universitas Tanjungpura. Positron Vol.1 No.1:36-42
- 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
- Poerbandono. 1999. *Hidrografi Dasar*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Stewart R.H. 2002. *Intoduction to Physical Oceanography*. Texas: 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: Universitas Diponegoro
- Surbakti Heron. 2012. *Pemodelan Pola Arus di Perairan Pesisir Banyuasin Sumatera Selatan*. Maspari Journal 03:9-14
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Yograkarta: Universitas Gajah Mada.
- Ulum Miftakhul. 2013. *Perbandingan Akurasi Prediksi Pasang Surut Antara Metode Admiralty dan Least Square*. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Wicaksono A.R., Subardjo Petrus, Novico Franto. 2013. *Pemodelan Pola Arus pada Tiga Kondisi Musim Berbeda Sebagai Jalur Pelayaran Perairan Teluk Lampung Menggunakan Software Delft 3D*. Semarang: Universitas Diponegoro. Jurnal Oseanografi Vol.2 No.3:280-292
- Witantono A.D. 2015. *Simulasi Model Transpor Material Sedimen untuk Mendukung Perencanaan Pengerukan Kolam Pelabuhan*. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama **Ramanda Aji Pradana**, dilahirkan di Madiun pada tanggal 2 Maret 1994, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Kertobanyon, SMP Negeri 2 Kota Madiun, SMA Negeri 5 Kota Madiun. Setelah lulus SMA pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan S-1 ke perguruan tinggi dengan mengikuti program Bidikmisi jalur SNMPTN Tulis dan diterima di Jurusan Teknik Geomatika FTSP-ITS. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam beberapa organisasi kemahasiswaan, di antaranya sebagai staff Departemen Kewirausahaan Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM FTSP) 2013/2014, Sekretaris Departemen Keilmiah dan Keprofesian Himpunan Mahasiswa Geomatika (HIMAGE-ITS) 2014/2015 dan staff ahli Divisi Doa Pemerhati Persekutuan Mahasiswa Kristen (PMK ITS) 2015/2016. Penulis juga telah mengikuti kerja praktik di beberapa perusahaan, diantaranya terlibat dalam pekerjaan pemeruman kolam Pelabuhan Malahayati di Aceh bersama Tim Survei PT. Pelabuhan Indonesia I, Medan dan pekerjaan pemeruman kolam Dermaga Eks-Presiden bersama dengan Divisi Teknik PT. Pelabuhan Indonesia II, Cab. Tanjung Priok, Jakarta Utara. Penulis mengambil penelitian Tugas Akhir di bidang Hidro-Oceanografi dengan judul “Pemodelan Aliran Material Sedimen Akibat Arus Pasang Surut untuk Pemeliharaan Kedalaman Perairan Pelabuhan”. Dengan lokasi studi kasus di Pelabuhan Tanjung Perak dan Teluk Lamong, yang berada di bawah pengelolaan PT. Pelabuhan Indonesia III, Surabaya.