



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - RG141536**

**ANALISIS POLA SEBARAN SEDIMEN UNTUK  
MENDUKUNG PEMELIHARAAN KEDALAMAN  
PERAIRAN PELABUHAN MENGGUNAKAN  
PEMODELAN HIDRODINAMIKA 3D  
(Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya)**

**KRISMA HUTANTI**  
NRP 033114 4000 0012

Dosen Pembimbing  
Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.  
Khomsin, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**TUGAS AKHIR - RG141536**

**ANALISIS POLA SEBARAN SEDIMEN UNTUK  
MENDUKUNG PEMELIHARAAN KEDALAMAN  
PERAIRAN PELABUHAN MENGGUNAKAN  
PEMODELAN HIDRODINAMIKA 3D  
(Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya)**

**KRISMA HUTANTI**  
NRP 033114 4000 0012

Dosen Pembimbing  
Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.  
Khomsin, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**FINAL ASSIGNMENT - RG141536**

**ANALYSIS OF SEDIMENT DISTRIBUTION  
PATTERNS TO SUPPORT MAINTENANCE OF  
PORT WATERS DEPTH USING 3D  
HYDRODYNAMIC MODELING  
(Case Study: Tanjung Perak Port, Surabaya)**

**KRISMA HUTANTI  
NRP 033114 4000 0012**

**Supervisor  
Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.  
Khomsin, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING  
Faculty of Civil, Enviromental and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**ANALISIS POLA SEBARAN SEDIMEN UNTUK  
MENDUKUNG PEMELIHARAAN KEDALAMAN  
PERAIRAN PELABUHAN MENGGUNAKAN  
PEMODELAN HIDRODINAMIKA 3D (Studi Kasus:  
Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya)**

**Nama Mahasiswa** : Krisma Hutanti  
**NRP** : 0331144000012  
**Departemen** : Teknik Geomatika FTSLK-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Danar Guruh Pratomo, S.T, M.T, Ph.D  
: Khomsin, S.T, M.T

**Abstrak**

Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya merupakan salah satu pelabuhan di Indonesia yang menjadi pusat distributor barang ke kawasan timur Indonesia. Keberadaan sedimen di dalam perairan akan mempengaruhi kondisi fisik perairan pelabuhan tersebut dikarenakan pengendapan sedimen di suatu perairan akan mempengaruhi bentuk topografi di dasar perairan. Pengerukan secara rutin diperlukan untuk memelihara kedalaman suatu kolam dan alur pelayaran dari pendangkalan akibat pergerakan dan pengendapan material sedimen. Salah satu penyebab dari proses sedimentasi adalah arus dan pasang surut air laut. Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi.

Dalam hal ini dilakukan analisis pola sebaran sedimen menggunakan pemodelan hidrodinamika 3D menggunakan perangkat lunak Delft3D. Pemodelan arus dan sebaran sedimen dilakukan menggunakan metode simulasi numerik dengan parameter data batimetri, pasang surut air laut, *river discharge*, densitas, *dry density* dan konsentrasi sedimen. Dari penelitian ini

didapatkan hasil nilai kecepatan arus paling tinggi saat periode *spring* dan *neap tide* adalah 1,3 m/s. Berdasarkan data kumulatif erosi dan sedimentasi, daerah perairan Pelabuhan Tanjung Perak yang mengalami sedimentasi paling besar adalah kolam pelabuhan, Terminal Teluk Lamong dan daerah sekitar bangunan jetti, sehingga diperlukan monitoring secara rutin di daerah tersebut

*Kata kunci* – Arus, Delft3D, Pelabuhan, Pemodelan Hidrodinamika, Sedimentasi



**ANALYSIS OF SEDIMENT DISTRIBUTION PATTERNS  
TO SUPPORT MAINTENANCE OF PORT WATERS  
DEPTH USING 3D HYDRODYNAMIC MODELING (Case  
Study: Tanjung Perak Port, Surabaya)**

**Name** : Krisma Hutanti  
**NRP** : 0331144000012  
**Department** : Geomatics Engineering FTSLK-ITS  
**Supervisor** : Danar Guruh Pratomo, S.T, M.T, Ph.D  
: Khomsin, S.T, M.T

**Abstract**

*Tanjung Perak Port in Surabaya is one of the biggest ports in Indonesia. This port becomes the center of goods distribution to the eastern region in Indonesia. The presence of sediments at port vicinity area will affect the physical condition of its water. Thus, the sediment deposition alters the seabed topography. Routine dredging is required to maintain the depth of a port basin and the access channel from shoaling due to the movement and deposition of sediment materials. Two of the causes of the sedimentation process are the currents and tides. Tides are sea level fluctuations due to the attraction of objects in the sky, especially the sun and moon to the mass of sea water on earth.*

*In this case, the pattern of sediment distribution analyzed using 3D hydrodynamic modeling with Delft3D software. Current and sediment distribution modeling are performed using numerical simulation method with parameters of bathymetric data, sea tides, river discharge, sediment density, sediment dry density, and sediment concentration. Based on this research, the highest current velocity value during the spring tide and neap tide period is 1.3 m/s. The maximum cumulative erosion and*

*sedimentation in the waters of Tanjung Perak Port is the port basin, Lamong Bay Terminal and the area around the jetty building. Consequently, in these location should be monitored frequently.*

**Keyword** – *Current, Delft3D, Hydrodynamic Model, Port, Sedimentation*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS POLA SEBARAN SEDIMEN UNTUK MENDUKUNG PEMELIHARAAN KEDALAMAN PERAIRAN PELABUHAN MENGGUNAKAN PEMODELAN HIDRODINAMIKA 3D (Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya)

#### TUGAS AKHIR

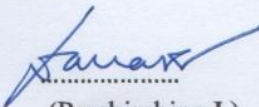
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**KRISMA HUTANTI**  
NRP. 0331144000012

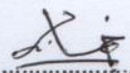
Disetujui oleh pembimbing tugas akhir:

1. Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 19800507 200312 1 001

  
.....  
(Pembimbing I)

2. Khomsin, S.T., MT.  
NIP. 19750705 200012 2 001



  
.....  
(Pembimbing II)

SURABAYA, JULI 2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian untuk tugas akhir yang berjudul “**Analisis Pola Sebaran Sedimen untuk Mendukung Pemeliharaan Kedalaman Perairan Pelabuhan Menggunakan Pemodelan Hidrodinamika 3D**” dengan lancar. Selama pelaksanaan penelitian untuk tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua penulis, Bapak Nyamun dan Ibu Wiwit yang telah memberikan doa dan restu demi kelancaran pada penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Nur Cahyadi, S.T, M.Sc. Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika ITS.
3. Bapak Danar Guruh Pratomo, S.T, M.T, Ph.D selaku dosen pembimbing penulis.
4. Bapak Khomsin, S.T, M.T selaku dosen pembimbing dan dosen wali penulis.
5. PT. Pelabuhan Indonesia III (Persero), PT. Terminal Teluk Lamong dan Perum Jasa Tirta I Surabaya atas ketersediaan pemberian data penunjang Tugas Akhir ini kepada penulis.
6. Lope, Apri, Wulan, Mas Bekti, Rastra, Ody, Khariz, Keke, Hanna, Ojan, Kiki, Hafiz dan teman-teman lain yang telah saya repotkan demi terselesaikannya Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman Teknik Geomatika khususnya Angkatan 2014 yang telah membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis.

Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis untuk penyempurnaan penelitian ini. Harapan penulis atas

Tugas Akhir ini adalah semoga dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dan dapat diterima sebagai sumbangan pemikiran dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Tugas Akhir.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Pelabuhan Tanjung Perak .....	5
2.2 Pasang Surut .....	7
2.3 Komponen Harmonik Pasang Surut .....	9
2.4 Arus .....	10
2.5 Sedimen.....	11
2.6 Angkutan Sedimen .....	12
2.7 Pemodelan Hidrodinamika .....	15
2.8 Penelitian Terdahulu.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	19

3.1 Lokasi Penelitian .....	19
3.2 Data dan Peralatan.....	19
3.2.1 Data .....	19
3.2.2 Peralatan .....	20
3.3 Metodologi Penelitian .....	20
3.3.1 Tahapan Penelitian .....	20
3.3.2 Tahapan Pengolahan Data.....	22
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISA.....</b>	<b>27</b>
4.1 Bidang Model.....	27
4.1.1 Desain Model .....	27
4.1.2 Daerah Pemodelan.....	31
4.1.3 Waktu Pemodelan.....	34
4.2 Pemodelan Arus .....	34
4.2.1 <i>River Discharge</i> .....	34
4.2.2 Analisa Pasang Surut.....	36
4.2.3 Pola Arus di Perairan Pelabuhan Tanjung Perak.....	47
4.3 Pemodelan Sebaran Sedimen .....	53
4.3.1 Parameter Pemodelan Sedimen .....	53
4.3.2 Analisa Model Pola Sebaran Sedimen .....	54
4.3.3 Penentuan Area yang Membutuhkan Pengerukan.....	58
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>67</b>
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>69</b>



LAMPIRAN .....	73
BIODATA PENULIS.....	78

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta Pelabuhan Tanjung Perak.....	6
Gambar 2.2	Kurva Pasang Surut .....	7
Gambar 2.3	Tipe Pasang Surut .....	8
Gambar 2.4	Diagram Hjulström.....	14
Gambar 3.1.	Pelabuhan Tanjung Perak .....	19
Gambar 3.2.	Diagram Alir Tahap Penelitian .....	21
Gambar 3.3.	Diagram Alir Tahap Pengolahan Data .....	23
Gambar 4.1	Grid 20x20m .....	28
Gambar 4.2	Grid 60x60m .....	29
Gambar 4.3	Grid 120x120m.....	31
Gambar 4.4	Grid Pemodelan.....	31
Gambar 4.5	Titik Kedalaman Pemodelan .....	32
Gambar 4.6	Hasil Interpolasi Kedalaman Perairan Pelabuhan Tanjung Perak.....	33
Gambar 4.7	Sungai-sungai di Kawasan Perairan Pelabuhan Tanjung Perak . .....	35
Gambar 4.8	Grafik Pasang Surut Bulan Desember 2017.....	39
Gambar 4.9	Grafik Pasang Surut Dengan Referensi Duduk Muka Air Rata-rata .....	41
Gambar 4.10	Grafik Pasang Surut Hasil Pemodelan .....	44
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Pasang Surut .....	45
Gambar 4.12	Kondisi Pasang Surut saat <i>Spring Tide</i> .....	48
Gambar 4.13	Kondisi Pasang Surut saat <i>Neap Tide</i> .....	48

Gambar 4.14	Pola Arus saat Kondisi Pasang Purnama.....	50
Gambar 4.15	Pola Arus saat Kondisi Surut Purnama .....	51
Gambar 4.16	Pola Arus saat Kondisi Pasang Perbani.....	52
Gambar 4.17	Pola Arus saat Kondisi Surut Perbani .....	53
Gambar 4.18	Sebaran Sedimen saat Pasang Purnama .....	55
Gambar 4.19	Pola Sebaran Sedimen saat Surut Purnama .....	55
Gambar 4.20	Pola Sebaran Sedimen saat Pasang Perbani .....	56
Gambar 4.21	Pola Sebaran Sedimen saat Surut Perbani.....	56
Gambar 4.22	Kumulatif Erosi dan Sedimentasi tanggal 26 November 2017.....	59
Gambar 4.23	Kumulatif Erosi dan Sedimentasi tanggal 1 Desember 2017.....	60
Gambar 4.24	Kumulatif Erosi dan Sedimentasi tanggal 6 Desember 2017.....	60
Gambar 4.25	Kumulatif Erosi dan Sedimentasi tanggal 11 Desember 2017.....	61
Gambar 4.26	Kumulatif Erosi dan Sedimentasi tanggal 16 Desember 2017.....	61
Gambar 4.27	Kumulatif Erosi dan Sedimentasi tanggal 21 Desember 2017.....	62
Gambar 4.28	Kumulatif Erosi dan Sedimentasi tanggal 26 Desember 2017.....	62
Gambar 4.29	Terminal Teluk Lamong.....	63
Gambar 4.30	Bangunan Jetti.....	64
Gambar 4.31	Kolam Pelabuhan .....	64

Gambar 4.32 Penampang Perubahan Kedalaman Sebelum  
dan Setelah Pemodelan.....65

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Daftar Dermaga di Pelabuhan Tanjung Perak .....	6
Tabel 2.2	Komponen harmonik pasang surut yang penting .....	9
Tabel 2.3.	Klasifikasi Ukuran Butir dan Sedimen .....	14
Tabel 4.1	Debit Rata-rata Sungai-Sungai di Perairan Pelabuhan Tanjung Perak.....	35
Tabel 4.2	Sampel Data Pasang Surut Bulan November - Desember 2017.....	36
Tabel 4.3	Nilai Konstituen Pasang Surut .....	37
Tabel 4.4	Sampel Data Pasang Surut Yang Telah direferensikan Terhadap MSL.....	39
Tabel 4.5	Sampel Data Pasang Surut Hasil Pemodelan .....	42
Tabel 4.6	Perbandingan Nilai Pasang Tertinggi dan Surut Terendah Pasut Pengamatan dan Model.....	43
Tabel 4.7	Pedoman Interpretasi RMSE dan MAE .....	47
Tabel 4.8	Waktu Pengamatan Perubahan Morfologi.....	58

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai Negara kepulauan/maritim, peranan pelayaran adalah sangat penting bagi kehidupan sosial, ekonomi, pemerintahan, pertahanan/keamanan, dan sebagainya. Untuk mendukung sarana angkutan laut tersebut diperlukan prasarana yang berupa pelabuhan. Pelabuhan merupakan salah satu simpul dari mata rantai bagi kelancaran angkutan muatan laut dan darat. Pelabuhan harus aman dari badai, ombak, maupun arus, sehingga kapal dapat berputar, melakukan bongkar muat, dan melakukan perpindahan penumpang.

Pelabuhan Tanjung Perak merupakan pelabuhan terbesar kedua di Indonesia yang terletak di Surabaya, Jawa Timur sangat strategis dalam mendukung transportasi laut dari dan ke wilayah bagian timur Indonesia. Pelabuhan Tanjung Perak telah memberikan suatu kontribusi yang cukup besar bagi perkembangan ekonomi dan memiliki peranan yang penting tidak hanya bagi peningkatan lalu lintas perdagangan di Jawa Timur tetapi juga di seluruh Kawasan Timur Indonesia. Dengan semakin meningkatnya kegiatan di Pelabuhan Tanjung Perak, maka sebaiknya dilakukan pemeliharaan secara berkala untuk menjaga kedalaman dari perairan pelabuhan Tanjung Perak.

Salah satu hal yang menyebabkan adanya pendangkalan perairan pelabuhan adalah terjadinya sedimentasi. 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. Transpor sedimen merupakan perpindahan material sedimen dari suatu tempat tertentu ke tempat lainnya. Perpindahan ini berupa penambahan (*inflow*) atau pengurangan material (*outflow*).

Proses sedimentasi atau pengendapan di suatu perairan dapat menimbulkan permasalahan jika terjadi di perairan pelabuhan. Penumpukan endapan dapat menyebabkan kedalaman perairan menjadi berkurang yang bisa berakibat pada karamnya sebuah kapal karena kedalaman perairan yang sudah tidak sesuai lagi dengan draft kapal. Pengerukan secara rutin diperlukan untuk memelihara kedalaman suatu kolam dan alur pelayaran dari pendangkalan akibat pergerakan dan pengendapan material sedimen (Kramadibrata 1985).

Salah satu penyebab dari proses sedimentasi ini adalah arus dan pasang surut air laut. Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi (Triadmodjo 1999). Arus adalah pergerakan suatu massa air dari suatu tempat ke tempat yang lain yang disebabkan oleh tiupan angin atau disebabkan oleh pergerakan pasang surut. Sirkulasi air akibat arus dan pasang surut dapat membawa material sedimen yang terkandung di perairan tersebut, sehingga pola arus dan pasang surut di suatu perairan akan mempengaruhi pola transport sedimen di perairan tersebut.

Pada studi sebelumnya telah dilakukan penelitian menggunakan model matematik serupa menggunakan perangkat lunak pemodelan yang berbeda oleh Pradana (2016). Model matematik (hidraulik) adalah simulasi numerik suatu aliran air yang didasarkan pada formulasi persamaan-persamaan matematik yang menggambarkan prinsip hidraulika, atau yang menggambarkan fenomena fisik aliran, dan penyelesaian persamaan-persamaan tersebut secara numeris. Pemodelan sedimen secara numeris dengan menggunakan perangkat lunak khusus pemodelan hidrodinamika akan dilakukan untuk memperjelas keadaan tersebut

Pada penelitian tersebut menggunakan satu parameter yaitu pasang surut dan dihasilkan pola arus pada saat menuju pasang dan menuju surut yang mengalami perbedaan baik

pada arah dan kecepatan, jumlah aliran material sedimen akibat arus pasang surut terbesar yang terjadi di muara Kali Semampir, dan bahwa perubahan kedalaman terbesar terjadi pada kolam Dermaga Zamrud.

Dengan menggunakan perangkat lunak pemodelan hidrodinamika 3D diharapkan penelitian ini dapat memberikan gambaran tentang pola arus, pasang surut dan penyebaran aliran material sedimen di perairan Pelabuhan Tanjung Perak, sehingga dapat digunakan sebagai referensi dalam perencanaan pengerukan untuk pemeliharaan kedalaman perairan pelabuhan.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka muncul perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pola arus dan pasang surut di perairan Pelabuhan Tanjung Perak?
2. Bagaimana pola sebaran sedimen di perairan Pelabuhan Tanjung Perak?
3. Bagaimana penentuan area yang membutuhkan pengerukan di perairan Pelabuhan Tanjung Perak?

### 1.3 Batasan Masalah

1. Wilayah daerah penelitian yaitu daerah perairan Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.
2. Komponen yang digunakan untuk menentukan sebaran sedimen adalah pasang surut air laut, batimetri, *river discharge* dan sampel sedimen.
3. Menggunakan perangkat lunak pemodelan hidrodinamika 3D untuk pemodelan arus dan sebaran sedimen.
4. Penelitian ini mengasumsikan sedimen yang berada di perairan Pelabuhan Tanjung Perak adalah sama yaitu berjenis lumpur.

#### 1.4 Tujuan Tugas Akhir

Dari perumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pola arus dan pasang surut di perairan Pelabuhan Tanjung Perak.
2. Menganalisis pola sebaran sedimen di perairan Pelabuhan Tanjung Perak.
3. Menganalisis area yang membutuhkan pengerukan di perairan Pelabuhan Tanjung Perak

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Untuk mendukung penelitian, maka dalam bab ini dikemukakan beberapa teori yang diambil dari literatur-literatur yang berhubungan dengan penelitian yang dilaksanakan. Teori-teori yang diuraikan adalah sebagai berikut :

#### 2.1 Pelabuhan Tanjung Perak

Pelabuhan laut di Jawa Timur memegang peranan yang sangat strategis dalam kegiatan perekonomian Jawa Timur dan Nasional. Tanjung Perak merupakan salah satu pintu gerbang Indonesia, yang berfungsi sebagai kolektor dan distributor barang dari dan ke Kawasan Timur Indonesia, termasuk Jawa Timur. Karena letaknya yang strategis dan didukung oleh dataran gigir atau *hinterland* yang potensial maka Tanjung Perak juga merupakan Pusat Pelayaran Interinsuler Kawasan Timur Indonesia. Oleh sebab itu Pelabuhan Tanjung Perak termasuk dalam Kawasan Objek Vital Nasional yang dimana dalam kawasan/instansi tersebut menyangkut hajat hidup orang banyak, kepentingan negara dan pendapatan negara yang bersifat strategis.

Pelabuhan Tanjung Perak dikelola oleh PT. Pelindo III (Persero) dalam peranannya Pelabuhan Tanjung Perak sangat penting dalam keberlangsungan dan kelancaran arus distribusi logistik. Pelindo III menjalankan bisnis inti sebagai penyedia fasilitas jasa kepelabuhan yang memiliki peran kunci guna menjamin kelangsungan dan kelancaran angkutan angkutan laut. Oleh karena itu dari segi fasilitas dan infrastruktur juga perlu mendukung aktivitas kepelabuhan tersebut.



Gambar 2.1 Peta Pelabuhan Tanjung Perak ([www.pelindo.co.id](http://www.pelindo.co.id))

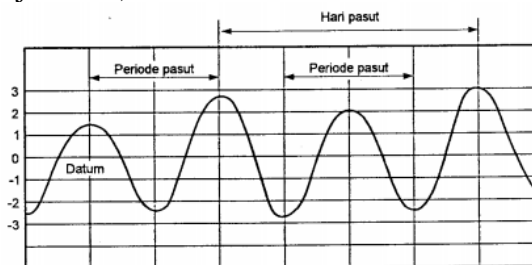
Gambar di atas merupakan gambaran fasilitas kepelabuhan yang dimiliki oleh Pelabuhan Tanjung Perak di Surabaya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada keterangan tabel di bawah.

Tabel 2.1 Daftar Dermaga di Pelabuhan Tanjung Perak ([www.pelindo.co.id](http://www.pelindo.co.id))

Keterangan	Dermaga
A	Dermaga Jamrud Utara
B	Dermaga Jamrud Barat
C	Dermaga Jamrud Selatan
D	Dermaga Kalimas
E	Dermaga Mirah
F	Dermaga Berlian Timur
G	Dermaga Berlian Utara
H	Dermaga Berlian Barat
I	Dermaga Nilam Timur
J	Dermaga Domestik TPS
K	Dermaga Internasional TPS
L	Dermaga Internasional TTL
M	Dermaga Domestik TTL

## 2.2 Pasang Surut

Pada perhitungan batimetri ada beberapa parameter yang mempengaruhi, salah satunya adalah pasang surut. Kejadian pasang surut yang sering juga disebut dengan pasut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Meskipun massa bulan jauh lebih kecil dari massa matahari, tetapi karena jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari. Gaya tarik bulan yang mempengaruhi pasang surut adalah 2,2 kali lebih besar daripada gaya tarik matahari. Pengaruh gravitasi benda-benda langit terhadap bumi tidak hanya menyebabkan pasang surut laut, tetapi juga menyebabkan perubahan bentuk bumi (*bodily tides*) dan atmosfer (*atmospheric tides*) (Poerbandono dan Djunarsjah 2005).



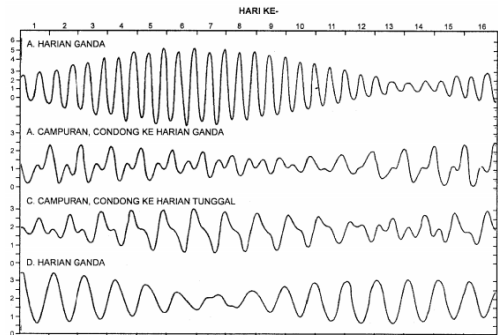
Gambar 2.2 Kurva Pasang Surut (Triadmodjo 2010)

Berikut adalah gambar dari contoh kurva pasang surut. Periode pasang dalam gambar tersebut memperlihatkan terjadinya 1 kali pasang dan 1 kali surut. Sedangkan dalam 1 hari pasang dapat terjadi lebih dari 1 kali pasang maupun 1 kali surut.

Bentuk pasang surut di suatu daerah berbeda-beda. Di suatu daerah dalam satu hari bisa terjadi satu sampai dua kali pasang surut. Tipe pasang surut ditentukan oleh frekuensi air pasang surut setiap hari.

Secara umum pasang surut dapat dibedakan menjadi 4 tipe, yaitu (Triatmodjo 1999):

- a. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*). Pasang surut ini dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali surut dengan tinggi yang hampir sama.
- b. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*). Pada pasang surut ini terjadi satu kali pada satu hari.
- c. Pasang surut campurann yang lebih condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semi diurnal*). Pasang surut ini terjadi satu kali air pasang dan dua kali air surut pada satu hari dengan tinggi dan periode yang berbeda.
- d. Pasang surut campuran yang lebih condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*). Pasang surut ini terjadi satu kali pasang dan satu kali surut , tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.



Gambar 2.3 Tipe Pasang Surut (Nontji 1987 dalam Triatmodjo 2010)

Pengetahuan tentang pasang surut adalah penting untuk pantai maupun pelabuhan. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan terendah (surut) sangat penting untuk bangunan-bangunan



di pantai maupun pelabuhan. Sebagai contoh, kedalaman alur pelayaran/pelabuhan ditentukan oleh muka air surut.

### 2.3 Komponen Harmonik Pasang Surut

Pasang matahari-bumi akan menghasilkan fenomena pasang surut yang mirip dengan fenomena yang diakibatkan oleh bumi-bulan. Oleh karena itu, posisi bulan dan matahari terhadap bumi berubah-ubah, maka resultan gaya pasut yang dihasilkan dari gaya tarik kedua benda angkasa tersebut tidak sesederhana yang diperkirakan. Akan tetapi karena rotasi bumi, revolusi bumi terhadap matahari, dan revolusi bulan terhadap bumi sangat teratur, maka resultan gaya penggerak pasang surut yang rumit ini dapat diuraikan sebagai hasil gabungan sejumlah komponen harmonik pasut (*harmonic constituents*). Komponen harmonik ini dapat dibagi menjadi tiga komponen, yaitu komponen pasang surut tengah harian, pasang surut harian dan pasang surut periode panjang.

Beberapa komponen harmonik yang penting dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini:

Tabel 2.2 Komponen harmonik pasang surut yang penting (Zakaria 2012)

Nama Komponen	Simbol	Frekuensi (deg/jam)	Periode (jam)
Tengah harian ( <i>semi-diurnal</i> ):			
- <i>Principal lunar</i>	$M_2$	28,98	12,42
- <i>Principal solar</i>	$S_2$	30,00	12,00
- <i>Large lunar elliptic</i>	$N_2$	28,44	12,66
- <i>Lunar-solar semi diurnal</i>	$K_2$	30,08	11,97
Harian ( <i>diurnal</i> ):			
- <i>Luni-solar diurnal</i>	$K_1$	15,04	23,94
- <i>Principal lunar diurnal</i>	$O_1$	13,94	25,82
- <i>Principal solar diurnal</i>	$P_1$	14,96	24,06
- <i>Large lunar elliptic</i>	$Q_1$	13,40	26,87

Nama Komponen	Simbol	Frekuensi (deg/jam)	Periode (jam)
Periode panjang ( <i>long-period</i> ):			
- <i>Lunar fortnightly</i>	$M_f$	1,1	327,86
- <i>Lunar monthly</i>	$M_m$	0,54	661,31
- <i>Solar semi-diurnal</i>	$S_{sa}$	0,08	4382,80
Komponen laut dangkal	$M_d$	57,97	6,21
Komponen laut dangkal	$MS_d$	58,98	6,10

## 2.4 Arus

Arus adalah pergerakan suatu massa air dari suatu tempat ke tempat yang lain yang disebabkan oleh tiupan angin atau disebabkan oleh pergerakan pasang surut air laut (Nontji 1993 dalam Hafli 2014). Arus merupakan gerakan horizontal atau vertikal dari massa air menuju kestabilan yang terjadi terus menerus. Gerakan yang terjadi merupakan hasil resultan dari berbagai macam gaya yang bekerja pada permukaan dan dasar perairan. (Pond dan Pickard 1983 dalam Hafli 2014) mengklasifikasi gerakan massa air berdasarkan penyebabnya, yaitu :

### a. Angin

Angin merupakan faktor yang membangkit arus, arus yang ditimbulkan oleh angin mempunyai kecepatan yang berbeda menurut kedalaman.

### b. Arus pasang surut

Arus yang disebabkan oleh gaya tarik menarik antara bumi dan benda di angkasa. Arus pasang surut ini merupakan arus yang gerakannya horizontal.

### c. Turbulensi

Suatu gerakan yang terjadi pada lapisan batas air dan terjadi karena ada gaya gesekan antar lapisan.

Menurut letaknya, arus dibedakan menjadi dua yaitu arus atas dan arus bawah. Arus atas adalah arus yang bergerak pada permukaan laut, arus bawah arus yang bergerak pada dasar permukaan laut. Faktor pembangkit arus adalah angin. Tiupan angin memberikan pengaruh terhadap arus permukaan dari

kecepatan angin tersebut. Kecepatan arus akan berkurang sesuai dengan bertambahnya kedalaman laut. (Bernawis 2000).

## 2.5 Sedimen

Sedimen adalah kepingan material hasil disintegasi batuan dari kulit/kerak bumi (van Rijn 1993 dalam Prakoso 2015). 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), 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 laut 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).

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 satu perairan dapat menyebabkan pendangkalan badan perairan di pelabuhan.

## 2.6 Angkutan Sedimen

Angkutan sedimen di pantai adalah pergerakan sedimen pada daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus. Angkutan sedimen pantai dapat mengakibatkan perubahan garis pantai baik terjadinya akresi maupun erosi. Angkutan sedimen pantai dapat berupa angkutan sedimen sejajar pantai dan transpor sedimen tegak lurus pantai. Pergerakan sedimen pada perairan dikategorikan menjadi 3 macam, yaitu:

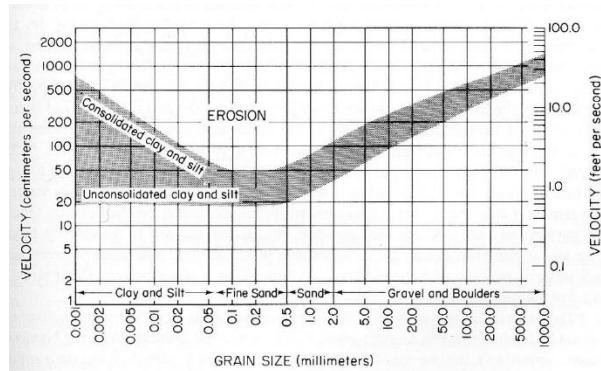
- a. *Bed load* (sedimen dasar). *Bed load* adalah angkutan sedimen yang mengalami kontak terus menerus dengan jenis sedimen yang ditimbulkan selama pergerakannya (*sliding, jumping, and rolling*).
- b. *Suspended load* (sedimen melayang). *Suspended load* adalah gerakannya tidak mengalami kontak yang terus menerus dengan dasar dan ukuran partikelnya kecil (Fredsoe dan Rolf 1993 dalam Widiastuty 2008).
- c. *Wash load*. *Wash load* adalah gerak butir sedimen bergerak bagaikan digelontor oleh aliran dan tidak pernah menyentuh dasar sungai atau saluran. Transpor

dengan cara ini umumnya terjadi pada butir sedimen yang berukuran sangat halus.

Besarnya angkutan sedimen yang dinyatakan dengan berat massa atau volume per satuan waktu dapat ditentukan dari perpindahan tempat netto bahan yang melalui suatu penampang melintang selama periode waktu yang cukup. Besar angkutan sedimen dinyatakan dalam (berat, massa, volume) tiap satuan waktu atau dinyatakan dalam satuan m.k.s (*Georgi*) yaitu Newton/detik atau dalam satuan S.I.U (*Standard International Unit*) yaitu kg/detik (massa) dan m<sup>3</sup>/detik (volume) (Fadlun 2009).

Pergerakan sedimen tersebut akan menyebabkan perubahan morfologi pantai berupa kedalaman dan garis pantai, hal ini dikarenakan material dasar pantai pada umumnya sebagian besar merupakan struktur tanah pasir atau lumpur yang sangat dipengaruhi oleh perilaku gelombang dan arus.

Diagram Hjulström adalah diagram yang menunjukkan hubungan antara kecepatan aliran air dan ukuran butir (Hjulström 1939 dalam Miedema 2013). Ada dua garis utama pada grafik. Garis yang lebih rendah menunjukkan hubungan antara kecepatan aliran dan partikel yang siap akan bergerak. Ini menunjukkan bahwa kerakal akan berhenti di sekitar 20-30 cm/s, butir pasir sedang pada 2-3 cm/s, dan partikel lempung ketika kecepatan aliran adalah secara efektif nol. Oleh karena itu ukuran butir partikel di dalam aliran dapat digunakan sebagai petunjuk kecepatan pada waktu pengendapan sedimen jika terendapkan sebagai partikel-partikel terisolasi.



Gambar 2.4 Diagram Hjulström (Sunborg 1956)

Sedimen yang diangkut di pantai dibedakan berdasarkan ukuran butiran menjadi lempung, lumpur, pasir, kerikil, koral (*pebble*), *cobble*, dan batu (*boulder*). Jenis sedimen terbagi 2 macam, yaitu : sedimen kohesif dan sedimen non-kohesif. Sedimen kohesif adalah butiran – butiran partikel lumpur yang berada di dasar. Sedimen non-kohesif adalah sedimen dengan butiran –butiran partikel yang umumnya berasal dari pasir. Klasifikasi ukuran butir dapat dilihat pada Tabel 2.4:

Tabel 2.3. Klasifikasi Ukuran Butir dan Sedimen (Triatmodjo 2009)

Klasifikasi	Diameter (mm)
Boulders	256 – 4096
Berbatu ( <i>cobbles</i> )	64 – 256
Kerikil ( <i>gravel</i> )	2 – 64
Pasir	
- Sangat kasar	1 – 2
- Kasar	0,5 – 1
- Sedang	0,25 – 0,5
- Halus	0,125 – 0,25
- Sangat halus	0,062 – 0,125
Lumpur	
- Kasar	0,031 – 0,062
- Sedang	0,016 – 0,031
- Halus	0,008 – 0,016

Klasifikasi	Diameter (mm)
- Sangat halus	0,004 – 0,008
Lempung	
- Kasar	0,002 – 0,004
- Sedang	0,001 – 0,002
- Halus	0,0005 – 0,001
- Sangat halus	0,00024 – 0,0005

## 2.7 Pemodelan Hidrodinamika

Model matematik (hidraulik) adalah simulasi numerik suatu aliran air yang didasarkan pada formulasi persamaan-persamaan matematik yang menggambarkan prinsip hidraulika, atau yang menggambarkan fenomena fisik aliran, dan penyelesaian persamaan-persamaan tersebut secara numeris.

Persamaan aliran yang digunakan adalah persamaan *Navier Stokes* untuk *incompressible fluid* pada perairan dangkal. Pada persamaan momentum arah vertikal, percepatan vertikal ditiadakan, yang mengarah ke persamaan tekanan hidrostatik (Novico, Astjario dan Bachtiar 2013). Persamaan *Navier Stokes* merupakan serangkaian persamaan yang menjelaskan pergerakan suatu fluida.

### a. Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas menerangkan kekekalan massa fluida sepanjang aliran. Menjelaskan bahwa massa fluida yang masuk ke dalam suatu penampang lain dengan massa yang sama. Debit fluida di seluruh titik penampang adalah sama. Persamaan kontinuitas kedalaman rata-rata diperoleh dari integrasi persamaan kontinuitas untuk *incompressible fluid* ( $\nabla \cdot \vec{u} = 0$ ) sepanjang total kedalaman, dengan memperhatikan kondisi batas kinematiknya pada permukaan air dan dasar, dan diberikan persamaan:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial ((d+\zeta)U\sqrt{G_{\eta\eta}})}{\partial \zeta} + \frac{1}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial ((d+\zeta)V\sqrt{G_{\eta\eta}})}{\partial \eta} = (d+\zeta)Q \quad (2.1)$$

Keterangan:

$\zeta$  = kedalaman perairan (m)

$t$  = waktu (s)

$\sqrt{G_{\xi\xi}}$  = koefisien yang digunakan untuk mentransformasi koordinat kurvilinear ke koordinat kartesian di arah  $\xi$  (m)

$\sqrt{G_{\eta\eta}}$  = koefisien yang digunakan untuk mentransformasi koordinat kurvilinear ke koordinat kartesian di arah  $\eta$  (m)

$d$  = kedalaman di bawah referensi permukaan (m)

$U$  = kecepatan rata-rata kedalaman di arah  $\xi$  (m/s)

$\xi$  = koordinat kurvilinear di arah x

$\eta$  = koordinat kurvilinear di arah y

$V$  = kecepatan aliran di arah  $\eta$  (m/s)

$Q$  = *global source or sink per unit area* (m/s)

$$Q = \int_{-1}^{\theta} (q_{in} - q_{out}) d\sigma + P - E \quad (2.2)$$

Keterangan:

$q_{in}$  = *local sources* (1/s)

$q_{out}$  = *local sinks* (1/s)

$\sigma$  = skala koordinat vertikal

$P$  = *non-local source term of precipitation* (m/s)

$E$  = *non-local sink term due to evaporation* (m/s)

## b. Persamaan Momentum

Persamaan momentum merupakan gaya-gaya yang bekerja pada suatu fluida. Persamaan momentum untuk arah  $\xi$  dan arah  $\eta$  diberikan seperti berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d+\zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} +$$



$$\frac{uv}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial\sqrt{G_{\zeta\zeta}}}{\partial\eta}-fv=-\frac{1}{\rho_o\sqrt{G_{\zeta\zeta}}}P_{\zeta}+F_{\zeta}+\frac{1}{(d+\zeta)^2}\frac{\partial}{\partial\sigma}\left(vv\frac{\partial u}{\partial\sigma}\right)+M_{\zeta} \quad (2.3)$$

dan

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{u}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}}}\frac{\partial u}{\partial\zeta}+\frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial u}{\partial\eta}+\frac{\omega}{d+\zeta}\frac{\partial u}{\partial\sigma}+\frac{uv}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial\sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial\zeta}-\frac{u^2}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}}\sqrt{G_{\eta\eta}}}\frac{\partial\sqrt{G_{\zeta\zeta}}}{\partial\eta}+fu=-\frac{1}{\rho_o\sqrt{G_{\zeta\zeta}}}P_{\eta}+F_{\eta}+\frac{1}{(d+\zeta)^2}\frac{\partial}{\partial\sigma}\left(vv\frac{\partial u}{\partial\sigma}\right)+M_{\eta} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$v$  = kecepatan aliran dalam arah  $y$ - atau  $\eta$ - (m/s)

$u$  = kecepatan aliran dalam arah  $x$  atau  $\zeta$  (m/s)

$f$  = Parameter Coriolis (frekuensi inersial) (1/s)

$\rho_o$  = densitas air ( $\text{kg/m}^3$ )

$P$  = Gradien tekanan hidrostatik di setiap arah ( $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s}^2)$ )

$F$  = fluks momentum turbulen di setiap arah ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

$M$  = momentum *source or sink* di setiap arah ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

$v_v$  = *vertical eddy viscosity* ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

Dalam hal ini,  $v_v$  didefinisikan sebagai *vertical eddy viscosity*.  $P$  melambangkan gradien tekanan untuk masing-masing arah. Gaya  $F$  pada persamaan momentum horizontal mewakili ketidakseimbangan tekanan Reynolds horizontal.  $M$  mewakili kontribusi yang disebabkan oleh *source* atau *sink* eksternal dari momentum (gaya eksternal dari struktur hidraulik, debit atau penarikan air, tekanan gelombang, dsb). Tekanan Reynolds merupakan model yang digunakan terhadap konsep dari *eddy viscosity* (Rodi 1984 dalam Novico, Astjario dan Bachtiar 2013).

## 2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Pradana (2016). Penelitian tersebut terletak pada lokasi yang sama yaitu Pelabuhan Tanjung Perak namun menggunakan *software* pemodelan hidrodinamika yang berbeda. Pada penelitian tersebut menggunakan parameter pasang surut dan sedimen menghasilkan kesimpulan sebagai berikut: 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. 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.

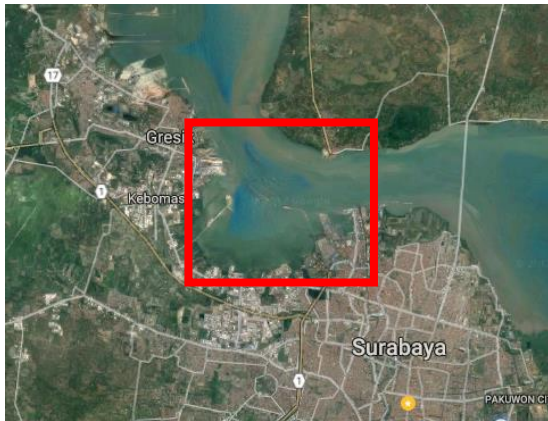
Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Wahyudi dan Jupantara (2004). Penelitian ini memaparkan hasil studi pola sedimentasi dari simulasi dengan *software* SMS 6.0 apabila dilakukan pengembangan di Pelabuhan Tanjung Perak. Pengembangan dilakukan dengan satu rencana awal dan tiga alternatif reklamasi daerah sekitar wilayah teluk Kali Lamong. Data yang digunakan meliputi peta topografi dan batimetri, data pasang surut, data tanah dan debit sungai. Pada penelitian ini berfokus pada area Teluk Lamong sehingga tidak memperhitungkan debit air Sungai Kalimas yang berdekatan dengan kolam pelabuhan. Dari pengolahan data di atas dibuat pemodelan sebaran sedimen yang mengacu pada rencana pengembangan pelabuhan sehingga didapatkan hasil sebagai berikut: penyebaran konsentrasi rata-rata sedimen yang terjadi pada Rencana Awal Pengembangan sebesar 0,11096 kg/m<sup>3</sup>; Alternatif I sebesar 0,10798 kg/m<sup>3</sup>; Alternatif II sebesar 0,10914 kg/m<sup>3</sup> dan Alternatif II sebesar 0,10817 kg/m<sup>3</sup>.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi daerah penelitian berada pada perairan Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya, Jawa Timur dengan koordinat  $7^{\circ}09'50''$  LS -  $7^{\circ}13'30''$  LS dan  $112^{\circ}39'03''$  BT -  $112^{\circ}44'53''$  BT.



Gambar 3.1. Pelabuhan Tanjung Perak (Google Maps 2017)

#### 3.2 Data dan Peralatan

##### 3.2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini meliputi:

- a. Peta Laut Pelabuhan Surabaya dan Gresik dengan skala 1:12500 tahun 2016
- b. Peta RBI wilayah Surabaya dengan skala 1:25000 tahun 1999
- c. Data batimetri perairan Pelabuhan Tanjung Perak

- i. Data batimetri kolam Pelabuhan Tanjung Perak bulan Desember tahun 2017
  - ii. Data batimetri Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) bulan Juli tahun 2017
  - iii. Data batimetri Terminal Teluk Lamong bulan Januari tahun 2018
  - iv. Data batimetri Teluk Lamong bulan Desember tahun 2016
- d. Data pasang surut perairan Pelabuhan Tanjung Perak bulan November - Desember tahun 2017
  - e. Data *river discharge* Sungai Kalimas dan sungai-sungai yang bermuara ke Teluk Lamong yaitu Sungai Kalianak, Sungai Greges, Sungai Lamong, Sungai Sememi, Sungai Branjangan dan Sungai Manukan
  - f. Data sampel sedimen perairan Pelabuhan Tanjung Perak

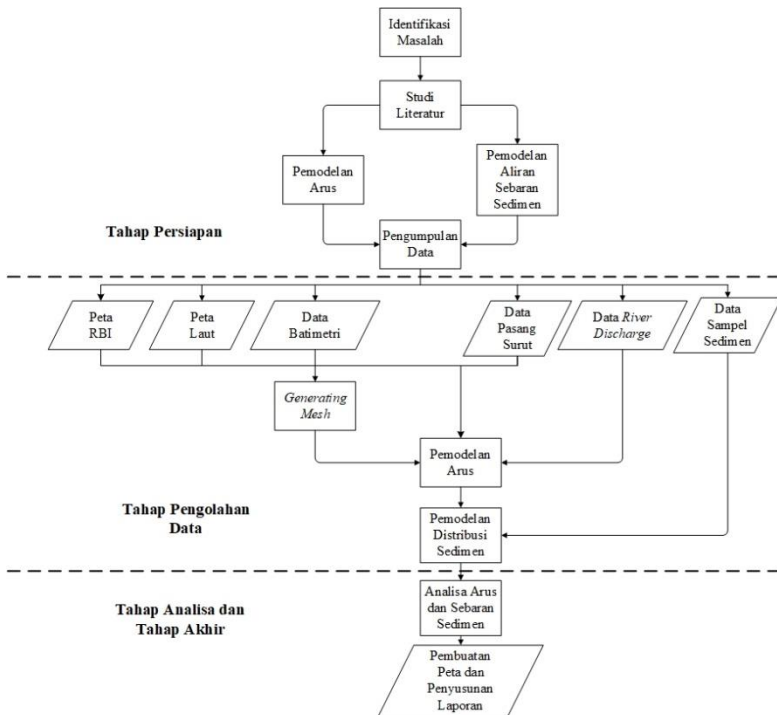
### 3.2.2 Peralatan

- a. Perangkat lunak ArcGis 10.3  
Digunakan untuk digitasi data kedalaman dari peta laut dan garis pantai dari peta RBI
- b. Perangkat lunak Delft3D  
Digunakan untuk melakukan pemodelan hidrodinamika arus dan sedimen
- c. Perangkat lunak Matlab R2014a  
Digunakan untuk mengolah data pasang surut
- d. Perangkat lunak untuk mengkonversi data

## 3.3 Metodologi Penelitian

### 3.3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan pekerjaan yang akan dilaksanakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2. Diagram Alir Tahap Penelitian

Berikut penjelasan diagram alir di atas:

a. Tahap Persiapan

Tahap ini meliputi identifikasi masalah, studi literatur, dan pengumpulan data. Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah peta laut, peta RBI, data batimetri, data pasang surut, data *river discharge* dan data sampel sedimen

b. Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini, data-data yang telah terkumpul kemudian dijadikan input dalam pengolahan data. Beberapa tahapan yang

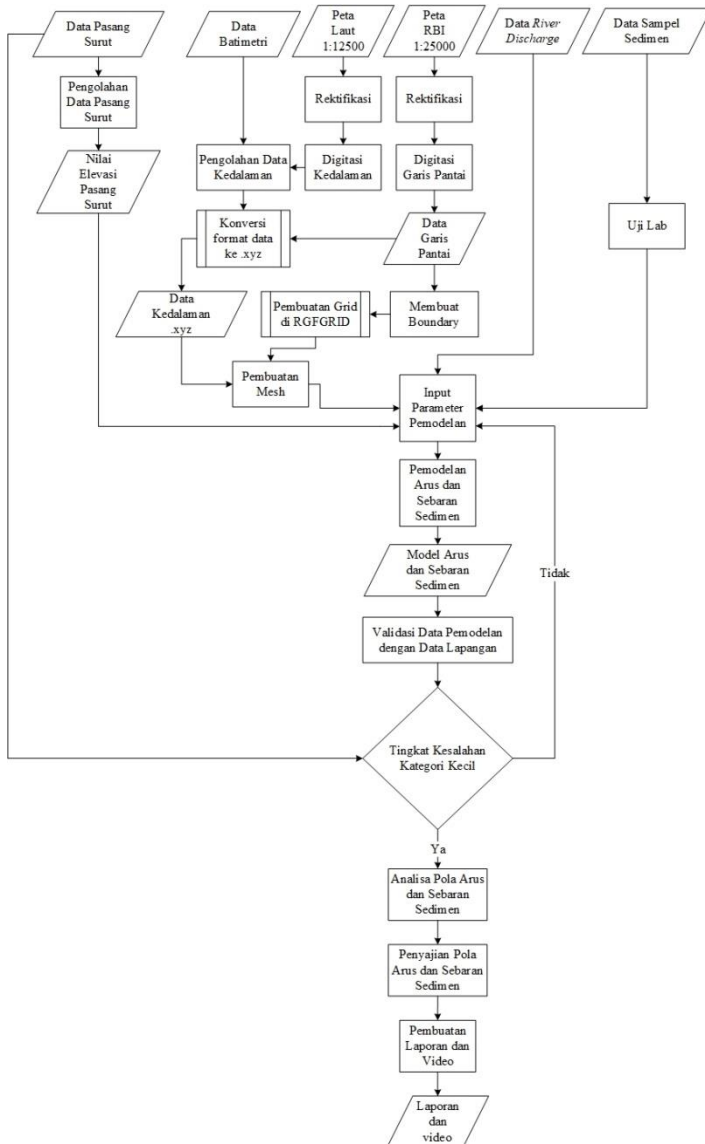
dilakukan dalam pengolahan data diantaranya, pengolahan data kedalaman dan digitasi garis pantai, konversi data menjadi data xyz, pembuatan desain bidang model, pemodelan hidrodinamik, validasi model pasang surut, dan pembuatan simulasi pola sebaran sedimen.

c. Tahap Akhir

Tahap akhir dari penelitian ini adalah melakukan analisa dari hasil simulasi model arus dan pola sebaran sedimen untuk mengetahui daerah yang terjadi sedimentasi, serta menyusun laporan sebagai bentuk pertanggung jawaban atas penelitian yang telah dilakukan.

### 3.3.2 Tahapan Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data yang akan dilaksanakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.3. Diagram Alir Tahap Pengolahan Data

Berikut penjelasan diagram alir di atas:

- a. Langkah awal dalam pemodelan arus adalah pembuatan *boundary* atau batas yang membedakan wilayah darat dan laut. Pembuatan *boundary* ini dilakukan dengan merektifikasi dan mendigitasi Peta RBI untuk mendapatkan data garis pantai. Kemudian mengolah data kedalaman dari acuan LWS ke MSL.
- b. Data *boundary* selanjutnya diolah pada modul RGFGRID untuk pembuatan *grid*. Data batimetri dan data *grid* kemudian diolah di QUICKIN untuk pembuatan *mesh* yang berupa daerah simulasi yang menunjukkan daerah yang dihitung dari perairan Pelabuhan Tanjung Perak.
- c. *Meshing area* yang telah terbentuk dijadikan daerah simulasi untuk membuat pemodelan arus dengan memasukkan data pembangkit pasang surut di *open boundary* dan data *river discharge*.
- d. Simulasi model arus dan sedimen dalam studi ini memasukkan data parameter-parameter dalam Delft3D FLOW → *Flow Input*. Setelah itu memasukkan parameter pada pilihan *Domain, Time Frame, Processes, Initial Condition, Boundary, Physical Parameters, Numerical Parameters* dan *Monitoring*. Parameter untuk memodelkan arus dan sedimen yang dimasukkan adalah data elevasi pasang surut, *river discharge*, konsentrasi sedimen, densitas dan *dry density* sedimen dan batimetri perairan Pelabuhan Tanjung Perak.
- e. Hasil simulasi model arus dan sedimen kemudian diplot menggunakan QUICKPLOT



dan dilakukan validasi kualitas data pasang surut dan arus pengamatan dan hasil pemodelan. Jika kualitas data memenuhi dapat disimpulkan bahwa algoritma pengolahan data berjalan baik.

- f. Validasi data pasang surut hasil simulasi model dengan data pasang surut pengamatan di lapangan dilakukan untuk mengetahui keakuratan secara matematis data hasil pemodelan. Validasi data didapat dengan menggunakan RMSE (*Root Mean Square*) dan MAE (*Mean Absolute Error*). Perhitungan (Khotimah 2012) untuk mencari nilai tersebut adalah:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (3.1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (3.2)$$

Dengan  $n$ ,  $y_i$ , dan  $\hat{y}_i$  berturut-turut adalah jumlah data, data lapangan dan data hasil pemodelan.

- g. Pada tahap analisa dilakukan analisa terhadap pola arus dan pola sebaran material sedimen di perairan Pelabuhan Tanjung Perak.
- h. Langkah akhir yaitu tahap pembuatan laporan dan hasil akhir dari simulasi model *transport* sedimen dibuat sebuah video sehingga tersaji lebih menarik.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB IV**

### **HASIL DAN ANALISA**

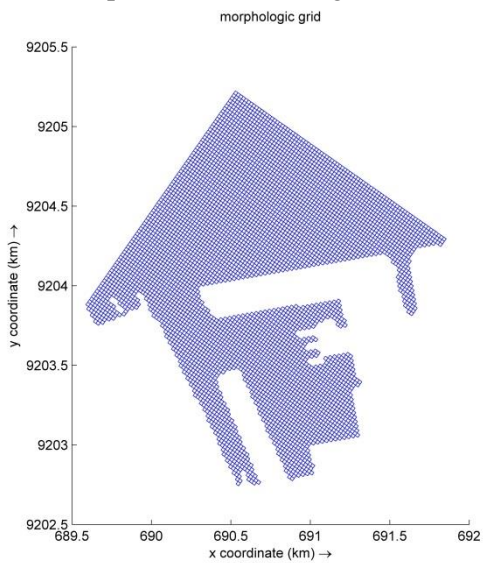
#### 4.1 Bidang Model

##### 4.1.1 Desain Model

Dalam melakukan proses pemodelan arus, hal yang pertama kali dilakukan adalah pembuatan bidang model (*mesh*). *Mesh* adalah jaring dasar pembentuk model. Pembuatan bidang pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan batas pemodelan dan data kedalaman hasil pengukuran batimetri. Batas pemodelan dibuat berdasarkan data garis pantai daerah Teluk Lamong dan Pulau Madura yang berada di wilayah Pelabuhan Tanjung Perak dan garis lurus untuk batas perairan.

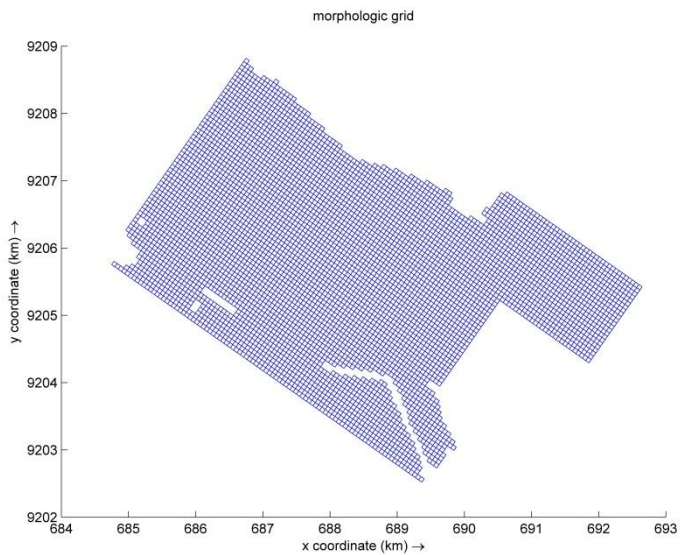
Setelah pendefinisian batas, langkah selanjutnya dalam pembuatan bidang model ini adalah pembuatan grid. Pembuatan grid ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Delft3D dengan RGFGRID dan menggunakan *rectangular grid*. Dalam pembuatan grid ini menggunakan 3 ukuran grid yaitu:

- a. 20x20m untuk grid di wilayah kolam pelabuhan dan Sungai Kalimas



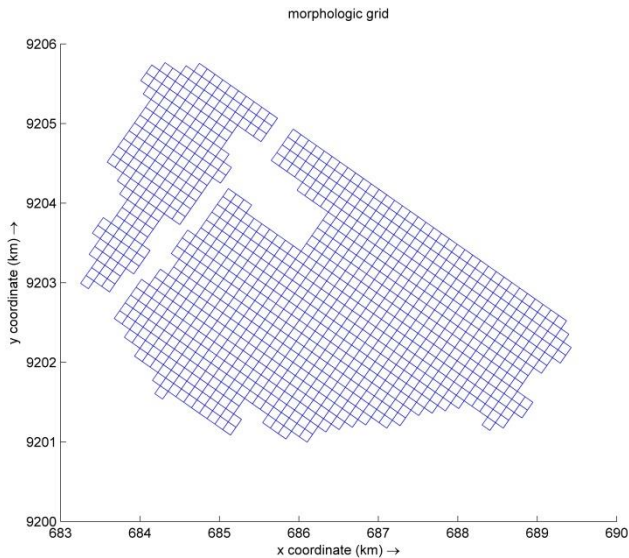
Gambar 4.1 Grid 20x20m

b. 60x60m untuk grid di wilayah Alur Pelayaran Barat Surabaya



Gambar 4.2 Grid 60x60m

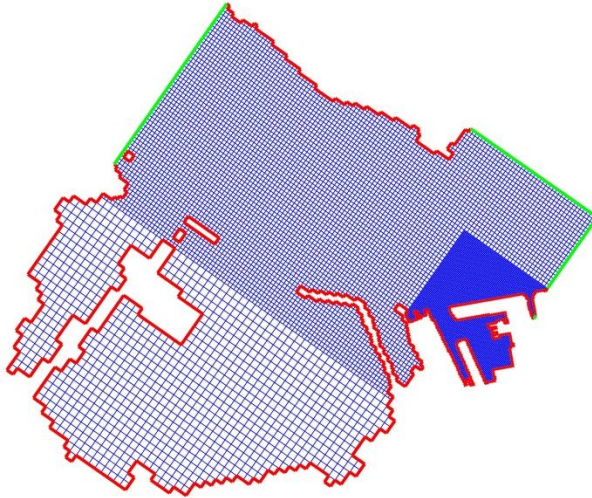
c. 120x120m untuk grid di wilayah Teluk Lamong



Gambar 4.3 120x120m

Ukuran *grid* di wilayah kolam pelabuhan dibuat lebih kecil untuk mendapatkan hasil yang lebih detail. Sedangkan untuk wilayah Teluk Lamong dibuat berukuran besar selain untuk mengurangi waktu komputasi komputer juga karena wilayah yang diteliti lebih berfokus pada Alur Pelayaran Barat Surabaya dan kolam pelabuhan.

Hasil proses pembuatan grid dengan RGFGRID Delft3D ditampilkan pada Gambar 4.4 sebagai berikut:



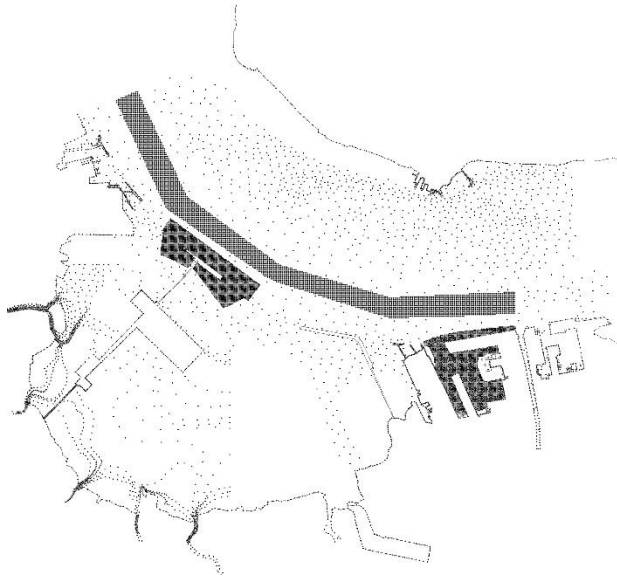
Gambar 4.4 Grid Pemodelan

Pada Gambar 4.4 terlihat grid yang dihasilkan untuk membuat bidang model. Dalam perairan Pelabuhan Tanjung Perak, terdapat 2 sisi garis pantai, yaitu pada sisi Pulau Jawa dan Pulau Madura. Untuk *close boundary* ditandai dengan garis tebal berwarna merah. Juga terdapat garis lurus berwarna hijau pada perairan sebagai tanda batas untuk *open boundary* yang bertindak sebagai batas air virtual. *Open boundary* digunakan untuk mendapatkan area perhitungan yang terbatas dan juga untuk mengurangi usaha komputasi oleh komputer (Deltares 2017).

#### 4.1.2 Daerah Pemodelan

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

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 MSL (*Mean Sea Level*) atau duduk muka air laut rata-rata.



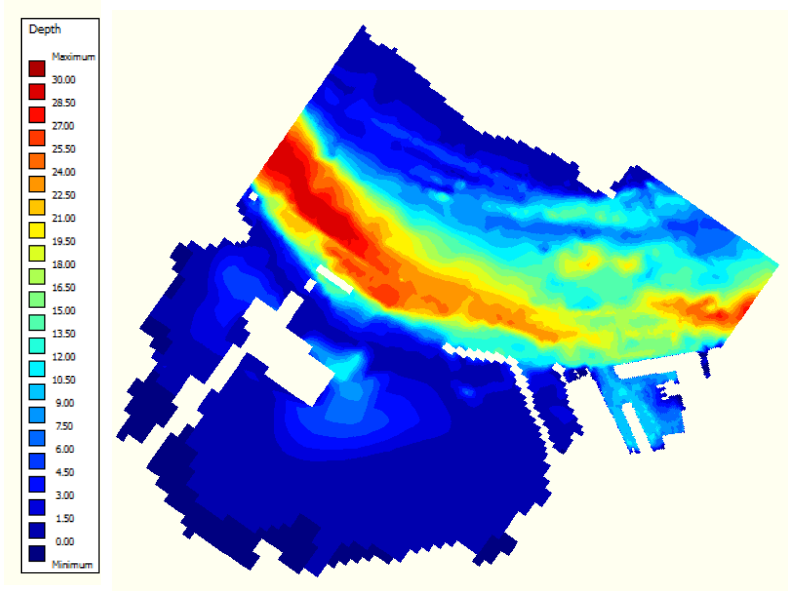
Gambar 4.5 Titik Kedalaman Pemodelan

Data kedalaman pada Gambar 4.5 di atas merupakan titik kedalaman yang didapat dari digitasi Peta Laut yang diperoleh dari Pushidrosal dan data batimetri perairan Pelabuhan Tanjung Perak yang didapat dari PT. Pelindo III.

Titik-titik kedalaman tersebut selanjutnya akan diinterpolasi untuk mendapatkan nilai data batimetri di keseluruhan area yang masih belum memiliki data



kedalaman. Gambar 4.6 merupakan interpolasi dari titik-titik kedalaman yang dilakukan terhadap tiap grid menggunakan metode *Triangular Interpolation* dalam Delft3D QUICKIN.



Gambar 4.6 Hasil Interpolasi Kedalaman Perairan Pelabuhan Tanjung Perak

Dari data kedalaman yang telah diperoleh dapat diketahui bahwa data kedalaman perairan Pelabuhan Tanjung Perak paling dalam sebesar 29,33 m dan kedalaman terdangkal sebesar 0,1 m dengan kedalaman rata-rata sebesar 17,89 m. Data kedalaman (batimetri) telah beracuan terhadap *Mean Sea Level* (MSL) dan disimbolkan dengan tanda positif.

#### 4.1.3 Waktu Pemodelan

Waktu yang digunakan untuk proses simulasi arus dan sedimen adalah berikut:

- a. Tanggal Mulai : 26 November 2017
- b. Tanggal Berakhir : 26 Desember 2017
- c. Lama Simulasi : 1 bulan (30 hari)
- d. *Spin Up Time* : 720 menit
- e. *Warming Up Time* : 4,5 hari
- f. *Time Step* : 0,01 menit

#### 4.2 Pemodelan Arus

Pemodelan arus dilakukan dengan menggunakan metode simulasi numerik dengan berdasarkan pada persamaan kontinuitas dan kekekalan momentum. Arus yang dimodelkan menggunakan pembangkit pasang surut dan debit sungai (*river discharge*).

##### 4.2.1 River Discharge

Data debit sungai (*river discharge*) yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan data yang diperoleh dari Perum Jasa Tirta I Surabaya dan dari penelitian sebelumnya.

Komponen sungai dimasukkan sebagai variabel untuk melihat sebaran debit air dari muara sungai ke perairan Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Pada penelitian ini data debit sungai yang digunakan berasal dari 7 sungai yang bermuara ke perairan Pelabuhan Tanjung Perak dan Teluk Lamong, yaitu menggunakan data Sungai Lamong, Sungai Sememi, Sungai Branjangan, Sungai Manukan, Sungai Greges, Sungai Kalianak dan Sungai Kalimas.



Gambar 4.7 Sungai-sungai di Kawasan Perairan Pelabuhan Tanjung Perak (Google Earth 2018).

Gambar 4.7 di atas memperlihatkan lokasi sungai-sungai yang memberikan pengaruh terhadap arus dan sebaran sedimen yang berada di kawasan perairan Pelabuhan Tanjung Perak. Keterangan sungai-sungai tersebut terdapat pada Tabel 4.1:

Tabel 4.1 Debit Rata-rata Sungai-Sungai di Perairan Pelabuhan Tanjung Perak (Perum Jasa Tirta I Surabaya, Pujiraharjo 2013, PT. Sucofindo 2017)

No	Nama Sungai	Debit Sungai Rata-rata ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
1	Sungai Lamong	19
2	Sungai Sememi	4,3
3	Sungai Branjangan	3,6
4	Sungai Manukan	5,8
5	Sungai Greges	3,5
6	Sungai Kalianak	3,5
7	Sungai Kalimas	10,35

Berdasarkan data tersebut diketahui sungai yang memiliki debit rata-rata paling tinggi adalah Sungai Lamong dengan nilai debit  $19 \text{ m}^3/\text{s}$ , sedangkan sungai dengan debit paling rendah adalah Sungai Greges dan Sungai Kalianak dengan nilai debit  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4.2.2 Analisa Pasang Surut

Data pengamatan pasang surut dari stasiun di perairan Surabaya didapat dari *Sea Level Station Monitoring Facility* dengan koordinat stasiun pengamatan pasang surut adalah  $7^{\circ}11'59,9''$  LS  $112^{\circ}44'26,1''$  BT mulai tanggal 26 November sampai dengan tanggal 26 Desember 2017. Sampel data pasang surut ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Sampel Data Pasang Surut Bulan November - Desember 2017

Hari	Jam	Elevasi (m)
26/11/2017	1	1,211
26/11/2017	2	1,155
26/11/2017	3	1,130
26/11/2017	4	1,216
26/11/2017	5	1,250
26/11/2017	6	1,400
26/11/2017	7	1,649
26/11/2017	8	1,874
26/11/2017	9	1,949
26/11/2017	10	1,962
26/11/2017	11	2,047
26/11/2017	12	2,174

Hari	Jam	Elevasi (m)
26/11/2017	13	2,209
26/11/2017	14	2,284
26/11/2017	15	2,368
26/11/2017	16	2,289
26/11/2017	17	2,117
26/11/2017	18	2,117
26/11/2017	19	2,212
26/11/2017	20	2,181
26/11/2017	21	2,016
...	...	...
26/12/2017	22	1,578

Dari hasil pengamatan pasang surut terhadap 0 rambu, didapatkan pasang tertinggi terjadi pada tanggal 4 Desember 2017 pukul 14.00 dengan ketinggian 3,425 m. Sedangkan surut terendah terjadi pada tanggal 5 Desember 2017 pukul 24.00 dengan ketinggian muka air mencapai 0,699 m.

Berdasarkan data pasang surut pada Tabel 4.2 yang kemudian diolah menggunakan metode *Least Square* dengan bantuan perangkat lunak MatlabR2014a hingga diperoleh hasil nilai konstituen sebagai berikut:

Tabel 4.3 Nilai Konstituen Pasang Surut

Konstituen	Amplitudo (m)	Phase (°)
S0	1,879	
K1	0,147	-156,895
K2	0,227	-51,525
M2	0,366	29,938

Konstituen	Amplitudo (m)	Phase (°)
M4	0,021	78,049
MS4	0,027	-7,691
N2	0,335	-29,152
O1	0,496	66,980
P1	0,099	-144,750
S2	0,088	97,563

Selanjutnya setelah didapatkan nilai komponen harmonik pasang surut maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai referensi tinggi. Berikut adalah formula yang digunakan untuk nilai MSL, HWL dan LWL (ICSM PCTMSL 2011):

$$MSL = S0$$

$$HWL = S0 + M2 + S2 + K1 + O1$$

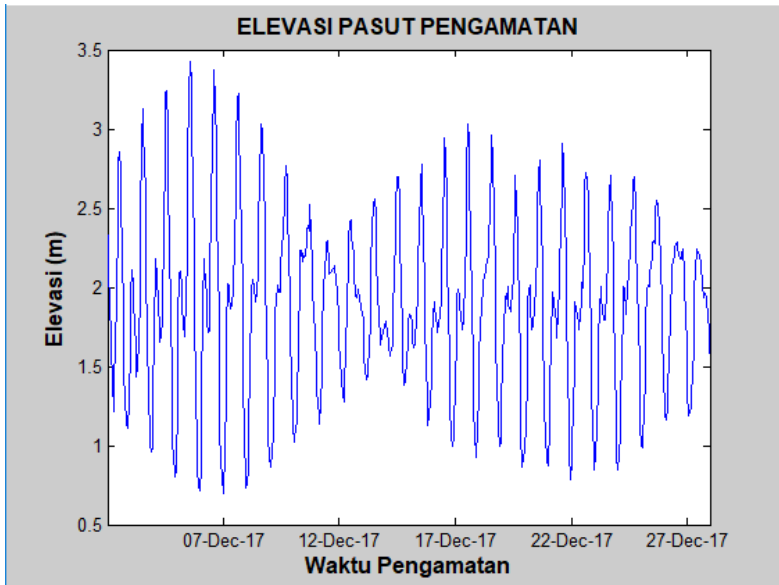
$$LWL = S0 - (M2 + S2 + K1 + O1)$$

Dari perhitungan konstituen pasang surut di perairan Tanjung Perak kemudian didapatkan nilai MSL 1,879 m; HWL 2,980 m; LWL 0,779 m, sementara untuk menghitung nilai Formzahl digunakan rumus berikut:

$$F = \frac{K1 + O1}{M2 + S2}$$

Dihasilkan nilai sebesar 1,413 untuk nilai Formzahl. Nilai Formzahl tersebut menunjukkan pasang surut di daerah Pelabuhan Tanjung Perak memiliki tipe *mixed tides prevailing semi diurnal* atau campuran condong harian ganda sehingga dalam satu hari bisa terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan ketinggian dan interval yang berbeda.

Grafik dari data pengamatan pasang surut di perairan Surabaya pada bulan Desember 2017 ditampilkan pada Gambar 4.8:



Gambar 4.8 Grafik Pasang Surut Bulan Desember 2017

Untuk pemodelan arus dibutuhkan pasang surut yang telah direferensikan pada MSL atau duduk muka air rata-rata. Sampel data pasang surut yang direferensikan pada MSL dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Sampel Data Pasang Surut Yang Telah direferensikan Terhadap MSL.

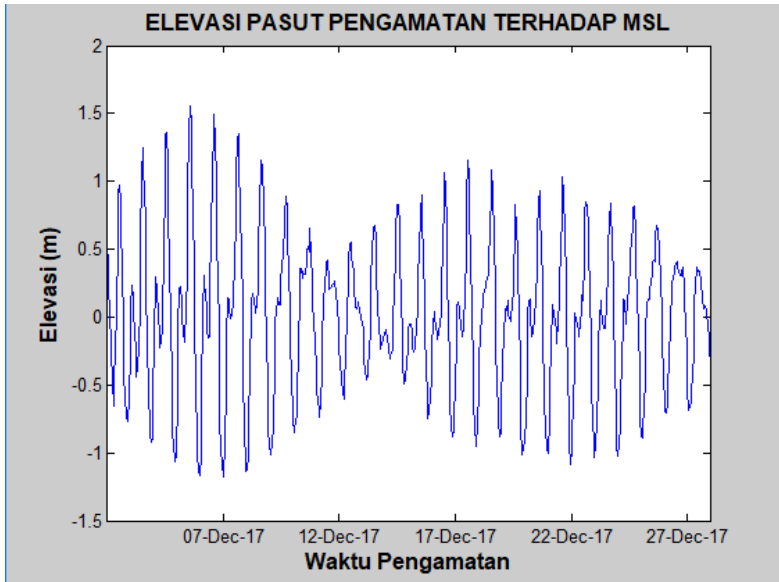
Hari	Jam	Elevasi (m)
26/11/2017	1	-0.664
26/11/2017	2	-0.72
26/11/2017	3	-0.745

Hari	Jam	Elevasi (m)
26/11/2017	4	-0.659
26/11/2017	5	-0.625
26/11/2017	6	-0.475
26/11/2017	7	-0.226
26/11/2017	8	-0.001
26/11/2017	9	0.074
26/11/2017	10	0.087
26/11/2017	11	0.172
26/11/2017	12	0.299
26/11/2017	13	0.334
26/11/2017	14	0.409
26/11/2017	15	0.493
26/11/2017	16	0.414
26/11/2017	17	0.242
26/11/2017	18	0.242
26/11/2017	19	0.337
26/11/2017	20	0.306
26/11/2017	21	0.141
...	...	...
26/12/2017	23	-0.297

Dari data pasang surut pengamatan yang telah direferensikan terhadap duduk muka air rata-rata, diketahui terjadinya pasang tertinggi dan surut terendah. Pasang tertinggi terjadi pada tanggal 4 Desember 2017 pukul 14.00 dengan ketinggian 1,550 m. Sedangkan surut terendah terjadi pada tanggal 5 Desember 2017 pukul 24.00 dengan ketinggian muka air mencapai -1,176 m.



Grafik dari data pengamatan pasang surut di perairan Surabaya yang telah direferensikan pada duduk muka air rata-rata pada bulan Desember 2017 ditampilkan pada Gambar 4.9:



Gambar 4.9 Grafik Pasang Surut Dengan Referensi Duduk Muka Air Rata-rata

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 di waktu tertentu. Karena arus yang dimodelkan dibangkitkan dengan dominasi pasang surut, maka data pasang surut hasil pemodelan ini dapat digunakan untuk melakukan validasi hasil model.

Sampel data pasang surut hasil pemodelan pada bulan November - Desember 2017 dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Sampel Data Pasang Surut Hasil Pemodelan

Hari	Jam	Elevasi (m)
26/11/2017	1	-0.686
26/11/2017	2	-0.718
26/11/2017	3	-0.738
26/11/2017	4	-0.65
26/11/2017	5	-0.624
26/11/2017	6	-0.475
26/11/2017	7	-0.225
26/11/2017	8	-0.001
26/11/2017	9	0.073
26/11/2017	10	0.086
26/11/2017	11	0.171
26/11/2017	12	0.299
26/11/2017	13	0.333
26/11/2017	14	0.408
26/11/2017	15	0.493
26/11/2017	16	0.413
26/11/2017	17	0.241
26/11/2017	18	0.242
26/11/2017	19	0.337
26/11/2017	20	0.305
26/11/2017	21	0.140
...	...	...
26/12/17	23	-0.297

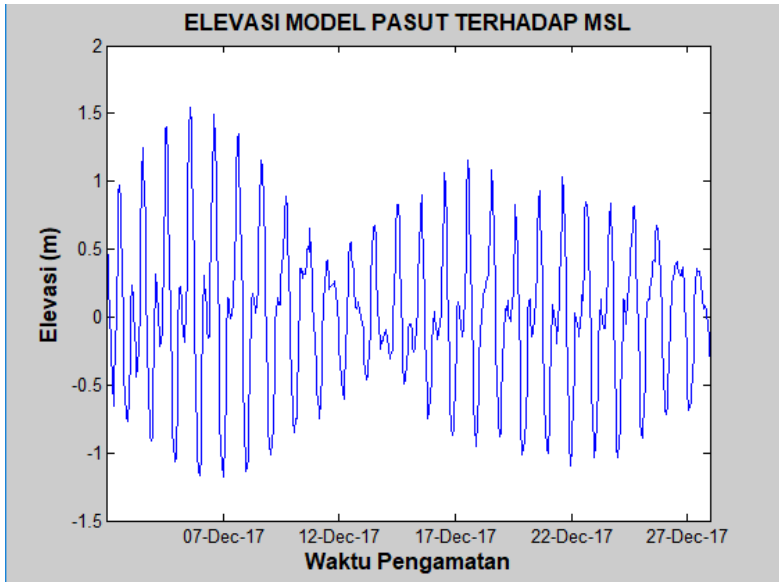
Dari data pasang surut hasil pemodelan, diketahui terjadinya pasang tertinggi dan surut terendah. Pasang tertinggi terjadi pada tanggal 4 Desember 2017 pukul 14.00 dengan ketinggian 1,548 m. Sedangkan surut

terendah terjadi pada tanggal 5 Desember 2017 pukul 24.00 dengan ketinggian muka air mencapai -1.176 m. Jika dibandingkan dengan nilai data pasang surut yang digunakan sebagai parameter pembangkit model, maka nilai yang dihasilkan tidak berbeda jauh diperlihatkan dalam Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Perbandingan Nilai Pasang Tertinggi dan Surut Terendah Pasut Pengamatan dan Model

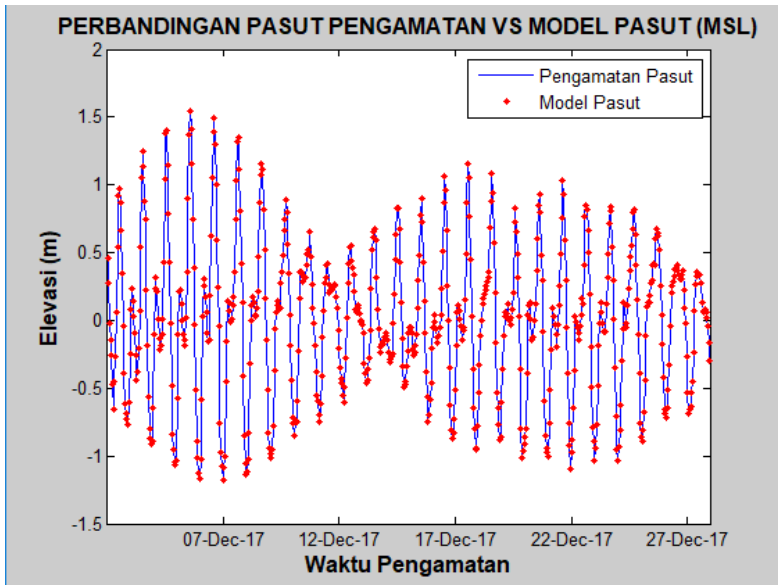
Pasang Surut	Pasang Tertinggi (m)	Surut Terendah (m)
Pengamatan	1,550	-1,176
Pemodelan	1,548	-1,176
Selisih (m)	0,002	0

Grafik pasang surut hasil pemodelan ditampilkan pada Gambar 4.10 berikut:



Gambar 4.10 Grafik Pasang Surut Hasil Pemodelan

Berikut Gambar 4.11 adalah grafik perbandingan pasang surut pengamatan dengan hasil pasang surut pemodelan menggunakan perangkat lunak Delft3D yang sudah beracuan terhadap duduk muka air laut rata-rata.



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Pasang Surut

Dari Gambar 4.11 di atas yaitu grafik perbandingan pasang surut pengamatan dan pasang surut pemodelan yang telah direferensikan terhadap duduk muka air rata-rata atau MSL dapat terlihat bahwa grafik pasang surut yang terbentuk memiliki pola yang hampir sama.

Dari data pasang surut pengamatan dan pasang surut hasil model, dapat dilakukan validasi hasil pemodelan. Validasi dilakukan dengan perhitungan *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Mean Absolute Error (MAE)*. Nilai RMSE merupakan rata-rata besar kesalahan pada suatu sampel data, sedangkan MAE adalah rata-rata besar kesalahan tanpa memperhitungkan arah kesalahannya. Bersama-sama, nilai RMSE dan MAE menunjukkan variasi kesalahan yang terjadi pada sampel

data tersebut. Semakin besar beda antara RMSE dan MAE, maka semakin besar pula variasi/perbedaan masing-masing kesalahan sampel yang dihitung (Khotimah 2012). *Mean Absolute Error* (MAE) merupakan salah satu cara dalam model evaluasi untuk membandingkan data model dan data observasi. MAE cocok untuk menggambarkan kesalahan yang terdistribusi secara merata (Chai dan Draxler 2014). *Mean Absolute Error* merupakan perhitungan yang relatif sederhana. *Mean Absolute Error* diperoleh dengan menjumlahkan nilai absolut dari kesalahan untuk mendapatkan kesalahan total dan kemudian membaginya dengan  $n$  (Willmott dan Matsuura 2005). Nilai *Mean Absolute Error* dan *Root Mean Square Error* pada pemodelan ini dinyatakan dengan persamaan (Khotimah 2012) berikut:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (4.1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (4.2)$$

Dimana  $y_i$  menyatakan nilai observasi atau pengamatan pasang surut dan  $\hat{y}_i$  adalah nilai model, sedangkan  $n$  adalah banyaknya pengamatan.

Dalam perhitungan *Mean Absolute Error* dan *Root Mean Square Error* untuk menguji validitas pemodelan, nilai observasi yang digunakan adalah nilai pasang surut pengamatan. Sedangkan nilai model menggunakan data pasang surut hasil pemodelan. Dengan nilai  $n$  adalah 623 dari banyaknya data pasang surut setelah melewati waktu *spin up* dan *warming up* selama 5 hari yang berarti dimulai dari tanggal 1 Desember 2017,

maka perhitungan nilai *Mean Absolute Error* dan *Root Mean Square Error* adalah sebagai berikut:

$$MAE = \frac{0,7838}{623} = 0,001 \text{ m} \quad (4.3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{0,006}{623}} = 0,003 \text{ m} \quad (4.4)$$

Dari perhitungan di atas didapatkan bahwa nilai *Mean Absolute Error* adalah 0,001 m dan *Root Mean Square Error* adalah 0,003 yang mendekati nilai 0.

Untuk memberikan penafsiran terhadap nilai *Mean Absolute Error* dan *Root Mean Square Error* yang didapatkan, maka digunakan Tabel 4.5:

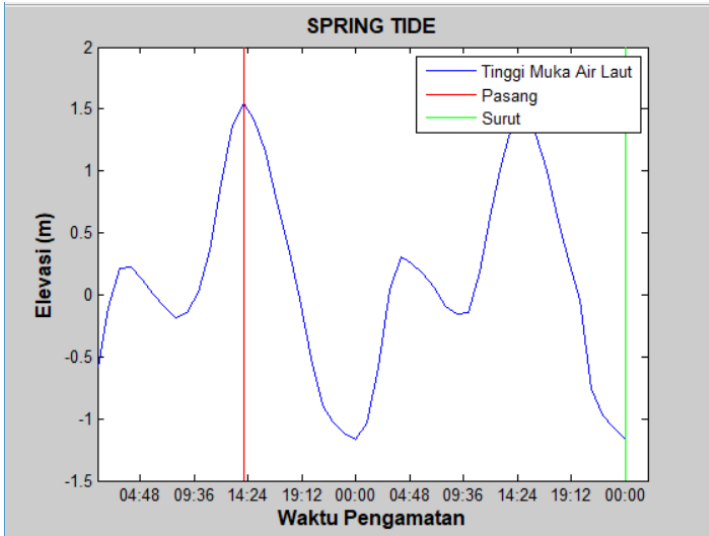
Tabel 4.7 Pedoman Interpretasi RMSE dan MAE (Khotimah 2012)

RMSE atau MAE (m)	Tingkat Kesalahan
0,00 – 0,299	Kecil
0,30 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,899	Besar
> 0,9	Sangat besar

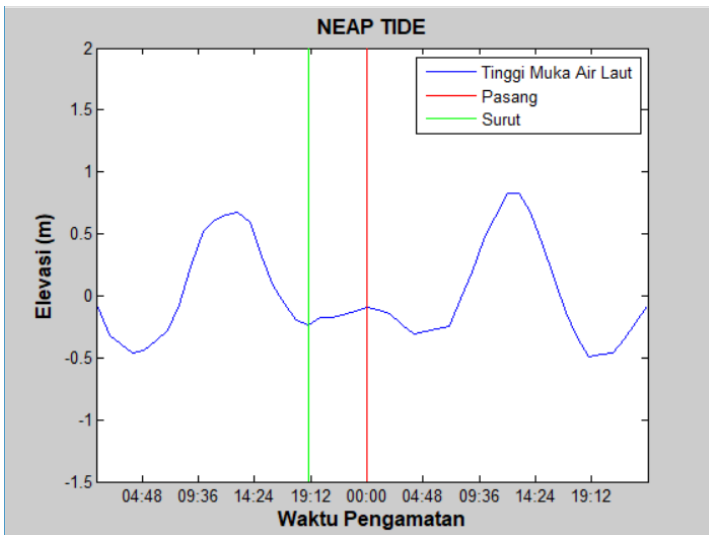
Berdasarkan Pedoman Interpretasi RMSE dan MAE di atas, tingkat kesalahan pada data pasang surut pemodelan ini masuk ke dalam kategori kecil sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa algoritma pemodelan berjalan baik dan data dapat diterima sehingga bisa dilanjutkan ke tahap selanjutnya.

#### 4.2.3 Pola Arus di Perairan Pelabuhan Tanjung Perak

Analisa pemodelan arus dilakukan pada saat terjadi pasang surut purnama atau *spring tide* dan pasang surut perbani atau *neap tide*.



Gambar 4.12 Kondisi Pasang Surut saat *Spring Tide*

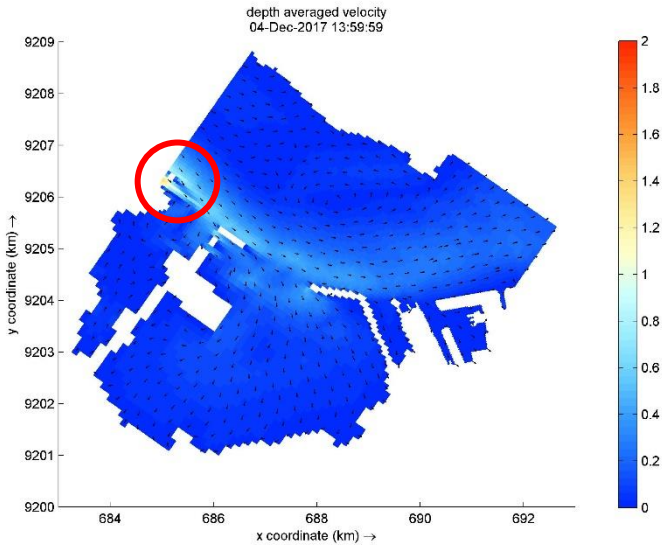


Gambar 4.13 Kondisi Pasang Surut saat *Neap Tide*



Analisa pemodelan arus pasang surut dilakukan dalam empat kondisi, yaitu kondisi pasang dan surut disaat *spring tide* dan *neap tide*. *Spring tide* terjadi pada tanggal 4 dan 5 Desember 2017 pada pukul 13:59 WIB dan 23:59 WIB untuk masing-masing pasang dan surut. Sementara *neap tide* terjadi pada tanggal 12 Desember 2017 pada pukul 18:59 WIB untuk surut dan pukul 23:59 WIB untuk pasang. Analisa terhadap hasil pemodelan arus pasang surut dalam masing-masing kondisi adalah sebagai berikut:

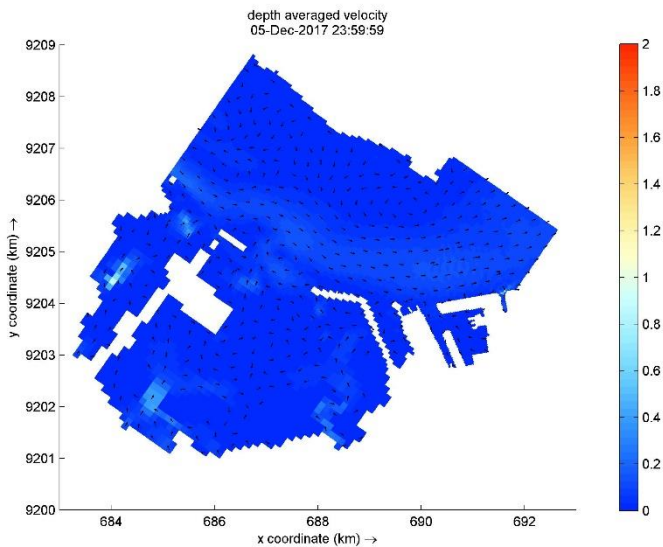
### a. Kondisi Pasang Purnama



Gambar 4.14 Pola Arus saat Kondisi Pasang Purnama

Model pola arus saat kondisi pasang purnama pada Gambar 4.14 terjadi pada tanggal 4 Desember 2017 pukul 13:59 WIB dengan *timestep* 825. Kecepatan arus saat pasang purnama paling tinggi sekitar 1,3 m/s di daerah dekat Pelabuhan Gresik dengan tanda lingkaran merah. Arus kencang bergerak dari arah Pelabuhan Gresik karena merupakan *open boundary* dengan pasang surut sebagai pembangkit dan masuk ke arah Teluk Lamong, kolam pelabuhan dan ke arah timur Selat Madura.

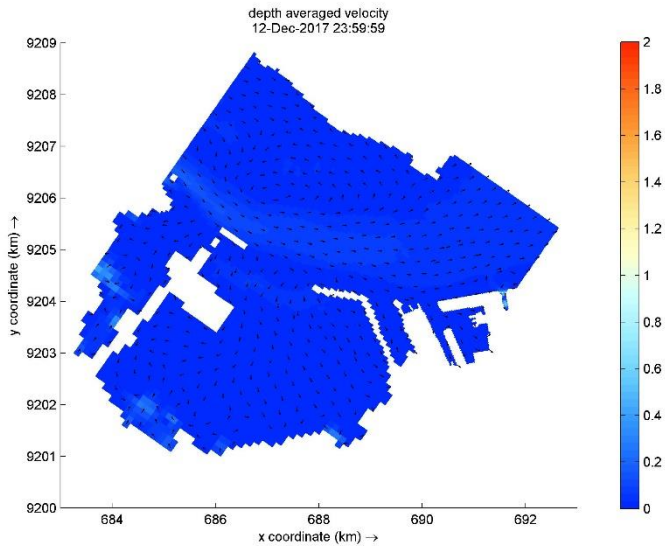
## b. Kondisi Surut Purnama



Gambar 4.15 Pola Arus saat Kondisi Surut Purnama

Model pola arus saat surut purnama pada Gambar 4.15 terjadi pada *time step* 961 tanggal 5 Desember 2017 pukul 23:59 WIB. Arus berasal dari sungai di sekitar Teluk Lamong dan Sungai Kalimas menuju ke Alur Pelayaran Barat Surabaya ke arah timur. Arus juga keluar dari arah kolam pelabuhan. Arus kencang berada di daerah sungai yang dibangkitkan dari *river discharge* dengan kecepatan berkisar 1 m/s.

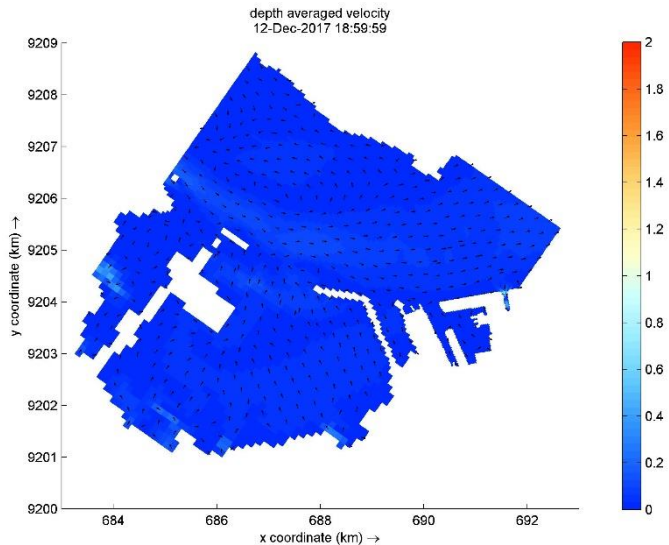
### c. Kondisi Pasang Perbani



Gambar 4.16 Pola Arus saat Kondisi Pasang Perbani

Model pola arus saat pasang perbani pada Gambar 4.16 terjadi pada *time step* 1633 tanggal 12 Desember 2017 pukul 23:59 WIB. Arus berasal dari arah Pelabuhan Gresik menuju ke Teluk Lamong, Alur Pelayaran Barat Surabaya dan kolam pelabuhan menuju terus ke arah timur. Arus berkecepatan tinggi dengan kecepatan berkisar 1 m/s berada di sekitar *open boundary* yang membangkitkan arus menggunakan *river discharge* dan pasang surut air laut.

#### d. Kondisi Surut Perbani



Gambar 4.17 Pola Arus saat Kondisi Surut Perbani

Model pola arus saat surut perbani pada Gambar 4.17 terjadi pada *time step* 1613 tanggal 12 Desember 2017 pukul 18:59 WIB. Arus keluar dari sungai di sepanjang Teluk Lamong, Sungai Kalimas dan dari arah Pelabuhan Gresik menuju Alur Pelayaran Barat Surabaya dan bergerak ke arah timur. Arus kencang terlihat tetap berada di sekitar *open boundary* yang membangkitkan arus dengan *river discharge* dan pasang surut air laut dan kecepatan arus paling rendah sebesar 0 m/s.

### 4.3 Pemodelan Sebaran Sedimen

#### 4.3.1 Parameter Pemodelan Sedimen

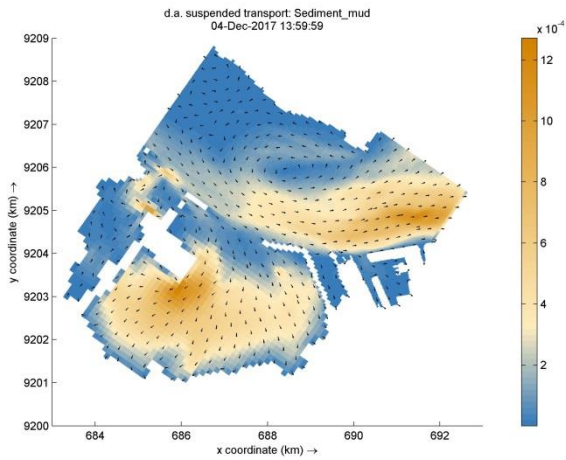
Pemodelan sebaran sedimen dilakukan dengan memasukkan parameter-parameter pada Delft3D Flow.

Pemodelan sebaran sedimen menggunakan parameter arus yang dibangkitkan oleh pasang surut dan debit sungai (*river discharge*). Jenis sedimen yang dimodelkan adalah sedimen kohesif yang berupa butiran – butiran partikel lumpur. Data sampel sedimen diambil dari Sungai Kalimas dengan nilai densitas  $1188 \text{ kg/m}^3$ , *dry density*  $884 \text{ kg/m}^3$  dan konsentrasi sedimen sebesar  $0,0129 \text{ kg/m}^3$ . Simulasi dilakukan selama 30 hari dengan waktu *spin up* dan *warming up* selama 5 hari. Interval pemodelan sebesar 15 menit atau dengan *time step* sebanyak 2973.

#### 4.3.2 Analisa Model Pola Sebaran Sedimen

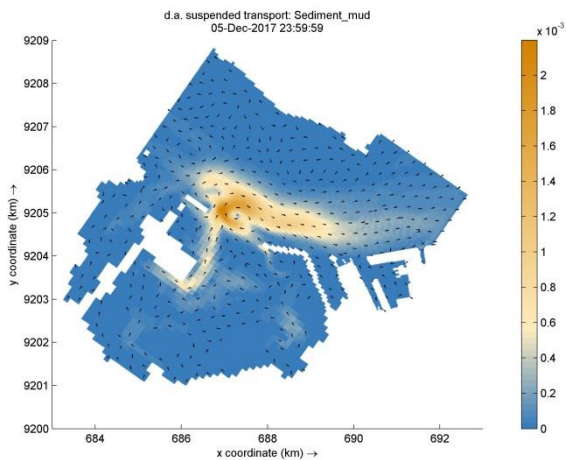
Analisa pemodelan sebaran sedimen dilakukan dalam empat kondisi, yaitu pada saat pasang surut purnama (*spring tide*) pada tanggal 4 dan 5 Desember 2017 dan pasang surut perbani (*neap tide*) pada tanggal 12 Desember 2017. Dalam pemodelan ini menggunakan sedimen lumpur (*mud*) yang merupakan sedimen kohesif. Dimana, dalam perangkat lunak Delft3D mendukung *suspended load transport* untuk sedimen kohesif.

a. Kondisi Pasang (*Spring Tide*)

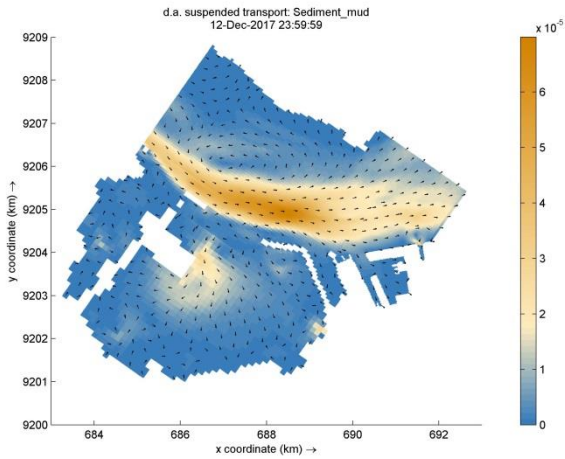


Gambar 4.18 Sebaran Sedimen saat Pasang Purnama

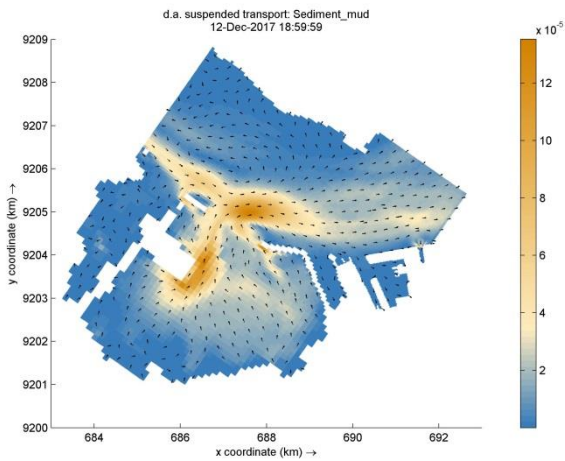
b. Kondisi Surut (*Spring Tide*)



Gambar 4.19 Pola Sebaran Sedimen saat Surut Purnama

c. Kondisi Pasang (*Neap Tide*)

Gambar 4.20 Pola Sebaran Sedimen saat Pasang Perbani

d. Kondisi Surut (*Neap Tide*)

Gambar 4.21 Pola Sebaran Sedimen saat Surut Perbani



Dari hasil pengamatan pada saat pasang dan surut purnama besar *suspended transport* sedimen di kedalaman rata-rata mencapai lebih dari  $2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . Saat pasang purnama sedimen cenderung bergerak dari arah barat (kiri) yaitu Pelabuhan Gresik masuk ke Teluk Lamong arah selatan, menuju ke arah timur (kanan) dan masuk ke dalam kolam pelabuhan. Pada saat surut purnama sedimen bergerak keluar dari sungai di sepanjang Teluk Lamong menuju ke Alur Pelayaran Barat Surabaya, sedimen juga mengarah keluar dari kolam pelabuhan, namun tetap sebagian besar mengarah ke arah timur (kanan). Sementara pada saat pasang surut perbani besar *suspended transport* sedimen di kedalaman rata-rata hanya mencapai maksimal  $12 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  pada pasang maupun surut. Pergerakan utama sedimen tetap berasal dari arah barat yaitu Pelabuhan Gresik menuju ke arah timur (kanan) dan masuk ke kolam pelabuhan. Hanya saja saat surut perbani penyebaran sedimen mengarah ke luar Teluk Lamong. Sedangkan, saat pasang mengarah masuk ke dalam Teluk Lamong walaupun ada sedikit sedimen yang bergerak ke luar dari sungai di sepanjang Teluk Lamong. Setelah dilakukan perhitungan rata-rata besar nilai *depth averaged suspended transport* di perairan Pelabuhan Tanjung Perak pada *spring tide* adalah sebesar  $25,632 \text{ m}^2/\text{hari}$  dan pada *neap tide* sebesar  $7,776 \text{ m}^2/\text{s}$ .

Dari hasil pengamatan pada saat pasang dan surut purnama maupun perbani, nilai sebaran sedimen paling besar terjadi pada saat pasang surut purnama (*spring tide*) terjadi. Faktor penyebabnya adalah kecepatan arus pada saat pasang surut purnama (*spring tide*) yang relatif lebih cepat dibandingkan pada saat

pasang surut perbani (*neap tide*). Hal ini menunjukkan semakin cepat arus, maka sedimen yang terbawa dapat semakin banyak sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Triatmodjo (1999).

#### 4.3.3 Penentuan Area yang Membutuhkan Pengerukan

Dari pengamatan pola sebaran sedimen, didapatkan bahwa adanya sebaran sedimen mempengaruhi perubahan kedalaman dari suatu perairan. Perubahan kedalaman ini diakibatkan berpindahnya material sedimen dari suatu tempat ke tempat lain di dasar perairan. Area yang terjadi penumpukan material sedimen (sedimentasi) akan mengalami pendangkalan, sedangkan area yang ditinggalkan oleh material sedimen (erosi) akan bertambah dalam.

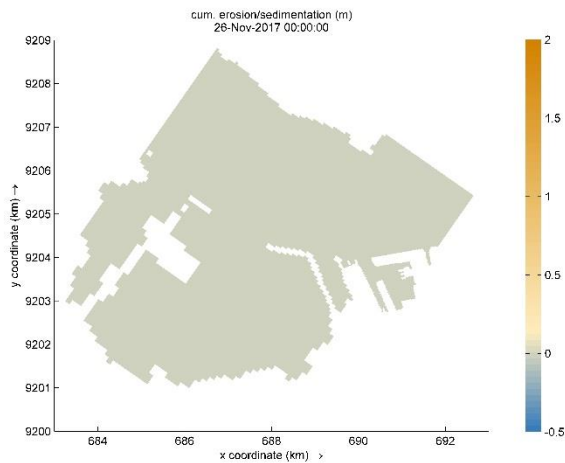
Penentuan area yang membutuhkan pengerukan pada perairan pelabuhan dilakukan dengan melihat perubahan morfologi yang terjadi akibat transport sedimen, erosi dan sedimentasi. Nilai negatif menunjukkan terjadinya erosi sedangkan nilai positif menunjukkan terjadinya sedimentasi pada wilayah tersebut. Pemodelan perubahan morfologi dilakukan sejak tanggal 26 November hingga 26 Desember 2017 dan pengamatan dilakukan setiap 5 hari sekali dan dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut:

Tabel 4.8 Waktu Pengamatan Perubahan Morfologi

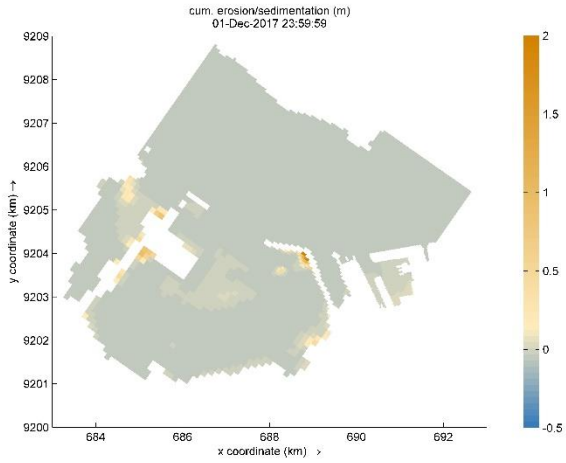
No	Tanggal	<i>Time Step</i>
1	26 November 2017	1
2	1 Desember 2017	577
3	6 Desember 2017	1057
4	11 Desember 2017	1537

No	Tanggal	Time Step
5	16 Desember 2017	2017
6	21 Desember 2017	2497
7	26 Desember 2017	2973

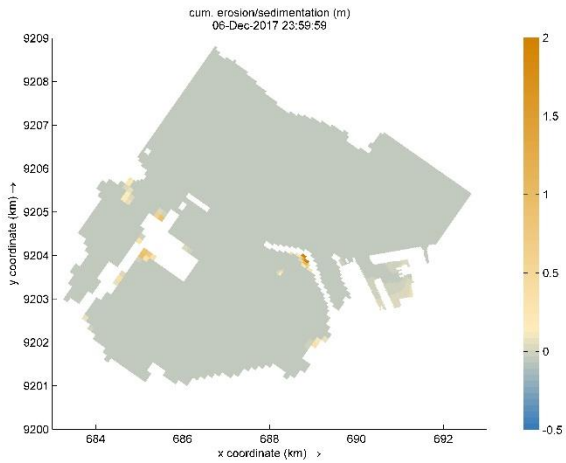
Data perubahan morfologi yang diakibatkan oleh perpindahan material sedimen dapat dilihat pada gambar 4.22 sampai dengan gambar 4.28 berikut:



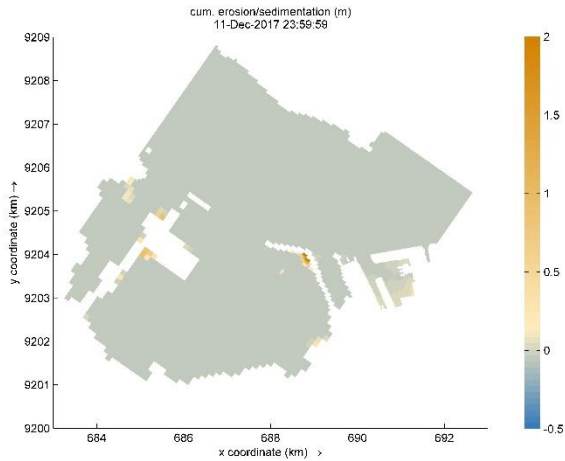
Gambar 4.22 Kumulatif Erosi dan Sedimentasi tanggal 26 November 2017



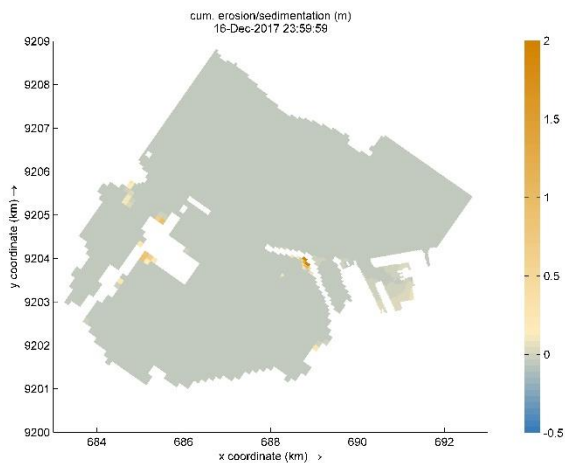
Gambar 4.23 Kumulatif Erosi dan Sedimentasi tanggal 1 Desember 2017



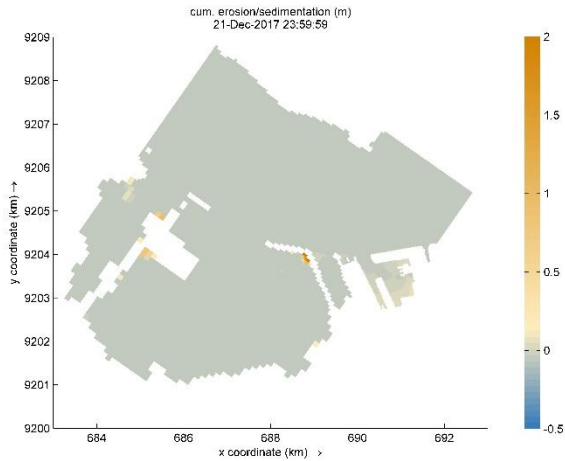
Gambar 4.24 Kumulatif Erosi dan Sedimentasi tanggal 6 Desember 2017



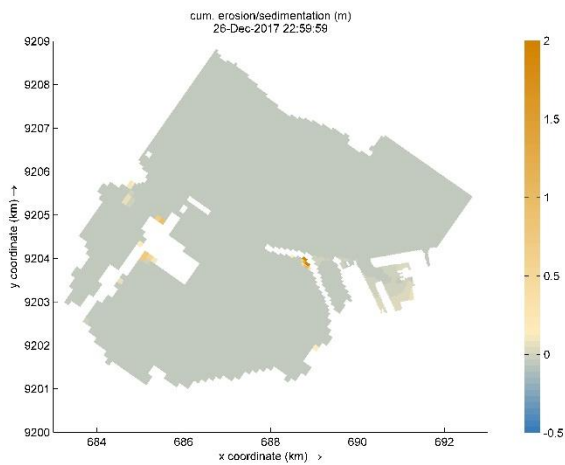
Gambar 4.25 Kumulatif Erosi dan Sedimentasi tanggal 11 Desember 2017



Gambar 4.26 Kumulatif Erosi dan Sedimentasi tanggal 16 Desember 2017

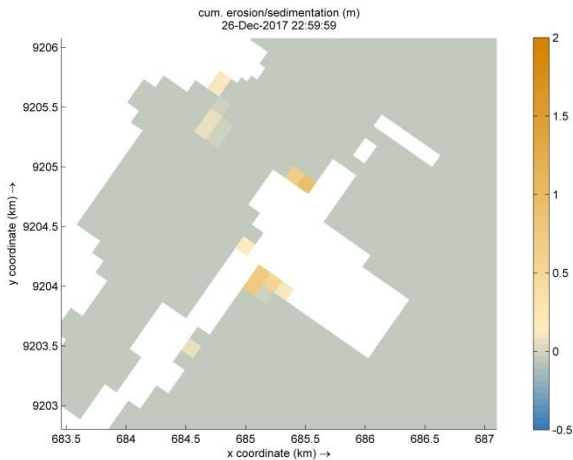


Gambar 4.27 Kumulatif Erosi dan Sedimentasi tanggal 21 Desember 2017

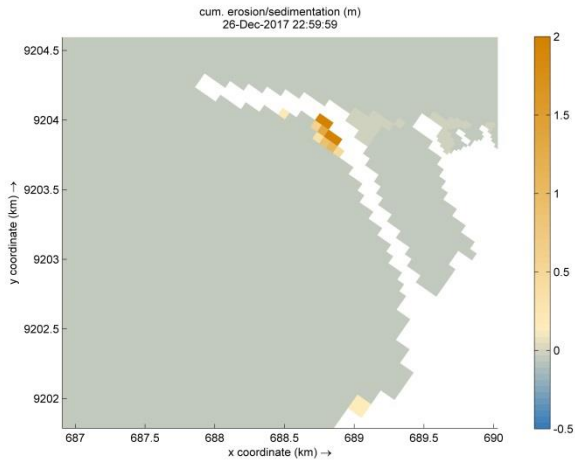


Gambar 4.28 Kumulatif Erosi dan Sedimentasi tanggal 26 Desember 2017

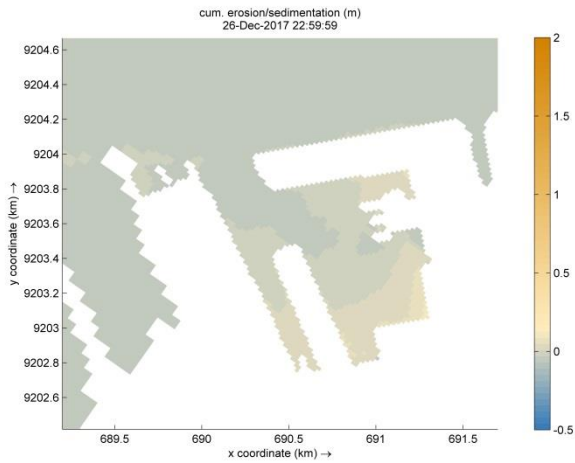
Berdasarkan Gambar 4.22 – 4.28, daerah perairan Pelabuhan Tanjung Perak yang mengalami sedimentasi paling besar adalah Terminal Teluk Lamong, jetti dan kolam pelabuhan. Pada daerah tersebut mengalami perubahan warna dari abu-abu menjadi warna kecoklatan yang menyimbolkan perubahan angka ke arah positif yang berarti telah terjadi sedimentasi. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.29 Terminal Teluk Lamong



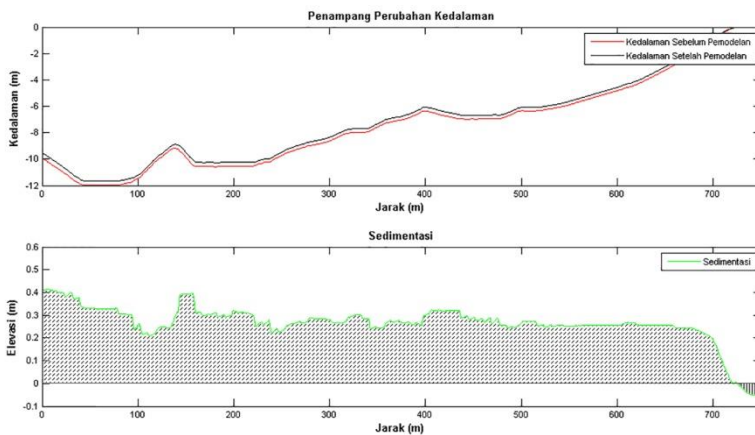
Gambar 4.30 Bangunan Jetti



Gambar 4.31 Kolam Pelabuhan



Hal ini dikarenakan sedimen yang terbawa masuk oleh arus ke dalam kolam pelabuhan tidak sebanding dengan sedimen yang terbawa ke luar. Pada bangunan jetti dan Terminal Teluk Lamong pergerakan sedimen terhalang sehingga sebagian besar mengendap. Sedangkan pada daerah Arus Pelayaran Barat Surabaya perubahan morfologi relatif kecil karena partikel sedimen mengendap dan terbawa oleh arus secara terus menerus.



Gambar 4.32 Penampang Perubahan Kedalaman Sebelum dan Setelah Pemodelan

Perubahan kedalaman dapat terlihat lebih jelas dengan gambar dari penampang di atas. Gambar 4.32 memperlihatkan penampang kedalaman di kolam pelabuhan. Garis merah menunjukkan kedalaman awal pada *time step* 1 tanggal 26 November 2017 sebelum dilakukan pemodelan, sementara garis hitam adalah kedalaman setelah dilakukan pemodelan pada tanggal 26 Desember 2017 dengan *time step* 2973. Terlihat dari kedua garis di atas bahwa telah terjadi perubahan

kedalaman sebelum dan setelah dilakukan pemodelan. Perubahan tersebut terlihat dengan garis hijau yang menunjukkan tingkatan sedimentasi yang terjadi dan menyebabkan kedalaman menjadi lebih dangkal, hal itu membuktikan bahwa setelah dilakukan simulasi selama 1 bulan di lokasi tersebut telah terjadi pengendapan sedimen.

Lokasi Kolam Pelabuhan terletak pada grid berukuran 20x20m dan seluruh area seluas 226,223 ha mengalami sedimentasi sebesar 8020,629 m<sup>3</sup>. Sementara bangunan jetti terletak pada *grid* 60x60m dengan luas keseluruhan area sebesar 2121,455 ha dan sedimentasi yang terjadi adalah sebesar 54285,67 m<sup>3</sup>. Pada area Terminal Teluk Lamong dengan *grid* berukuran 120x120m yang melingkupi area seluas 1524,990 ha mengalami sedimentasi sebesar 61299,48 m<sup>3</sup>. Ketiga area memiliki lebar grid yang berbeda-beda dan menyebabkan hal tersebut berpengaruh pada detail hasil yang didapatkan. Semakin kecil ukuran grid maka semakin detail hasil yang diperoleh.

Oleh karena itu untuk menjaga kedalaman perairan Pelabuhan Tanjung Perak perlu dilakukan monitoring kedalaman secara rutin pada wilayah kolam pelabuhan, Terminal Teluk Lamong dan sekitar bangunan jetti agar dapat diketahui apabila kedalaman sudah tidak lagi sesuai dengan *draft* kapal yang akan berlabuh maupun berlayar melalui daerah tersebut. Jika daerah yang dimaksud sudah mengalami sedimentasi berlebih hingga tidak sesuai dengan ukuran *draft* kapal maka perlu diberi tindakan penanggulangan berupa pengerukan pada daerah perairan oleh PT. Pelindo III selaku pengelola Pelabuhan Tanjung Perak.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian pemodelan pola arus dan sebaran sedimen di perairan Pelabuhan Tanjung Perak ini adalah:

1. Pasang surut di daerah Pelabuhan Tanjung Perak memiliki tipe campuran condong harian ganda. Kecepatan arus paling tinggi di saat *spring tide* yaitu 1,3 m/s dan kecepatan paling rendah saat *neap tide* sebesar 0 m/s.
2. Nilai sebaran sedimen pada kedalaman rata-rata paling besar terjadi pada *spring tide*. Besar *depth averaged suspended transport* sedimen saat *spring tide* mencapai lebih dari  $2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  dan rata-rata 25,632  $\text{m}^2/\text{hari}$ . Pada saat *neap tide* besar *depth averaged suspended transport* sedimen hanya mencapai  $12 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  dan rata-rata 7,776  $\text{m}^2/\text{hari}$ .
3. Pada daerah perairan Pelabuhan Tanjung Perak yang mengalami sedimentasi paling besar adalah kolam pelabuhan, Terminal Teluk Lamong dan daerah sekitar bangunan jetti, sehingga diperlukan monitoring secara rutin di daerah tersebut.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis untuk penelitian ke depannya adalah:

1. Untuk daerah yang memiliki bentuk *boundary* rumit seperti pelabuhan yang memiliki banyak bangunan dermaga maupun kolam pelabuhan dapat digunakan

TIN (*Triangulated Irregular Network*) karena bersifat lebih responsif terhadap bentuk boundary yang tidak teratur dibanding menggunakan *grid*.

2. Pengambilan data sampel sedimen sebaiknya dilakukan di beberapa tempat, khususnya daerah menjadi *open boundary* yaitu tiap-tiap sungai dan batas perairan yang menjadi sumber masuk aliran material sedimen.
3. Untuk penelitian pemodelan selanjutnya dapat dilakukan dengan menambah parameter seperti angin dan salinitas untuk mendapatkan nilai pemodelan arus dan sedimen yang mendekati data di lapangan.
4. Pemodelan dapat dibuat dengan jangka waktu lebih lama untuk hasil simulasi yang lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 2000. Konservasi Tanah dan Air. UPT Produksi Media Informasi. Lembaga Sumberdaya Informasi. Institut Pertanian Bogor, IPB Press, Bogor.
- Bachtiar, Huda. Novico, Franto. Riandini, Fitri. 2011. Model Sederhana 2-Dimensi Arah Pergerakan Sedimen Di Sungai Porong Jawa Timur. *Jurnal Geologi Kelautan*
- Bernawis, Lamona I. 2000. Temperature and Pressure Responses on El-Nino 1997 and La-Nina 1998 in Lombok Strait. Proc. The JSPS-DGHE International Symposium on Fisheries Science in Tropical Area
- Birowo, S. 1993. Pengantar Oseanografi. Hal 123-142 Dalam D. H. Kunarso dan Ruyitno (Eds). Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya. PPOLIP, Jakarta.
- Cahyana, C. 2011. Model Sebaran Panas Air Kanal Pendingin Instalasi Pembangkit Listrik ke Badan Air Laut. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Deltares. 2017. Simulation of Multi-Dimensional Hydrodynamic Flows and Transport Phenomena, Including Sediments. User Manual. The Netherlands
- Fadlun, Mochammad. 2009. Analisis Pengendalian Sedimen di Sungai Deli dengan Model HEC-RAS. Universitas Sumatera Utara. Medan
- Hafli, T. 2014. Simulasi Numerik Perubahan Morfologi Pantai Akibat Konstruksi Jetty Pada Muara Lambada Lhok Aceh Besar Menggunakan Software Delft3D. Universitas Syiah Kuala. Aceh
- ICSM PCTMSL. 2011. Australian Tides Manual Special Publication No 9. Intergovernmental Committee on Surveying & Mapping/Permanent Committee on Tides and Mean Sea Level: Australia

- Khotimah, Mia Khusnul. 2012. Validasi Tinggi Gelombang Sigifikan Model Gelombang WindWave-5 dengan Menggunakan Hasil Pengamatan Satelit Altimetri Multimisi. Universitas Indonesia. Depok
- Kramadibrata, Soedjono. 1985. Perencanaan Pelabuhan. Ganeca Exact. Bandung
- Kurniawan, Yusak. 2016. Analisa Laju Sedimentasi di Area Jetty BP Tangguh. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Miedema, Sape A. 2013. Constructing The Shields Curve Part C: Cohesion by Silt, Hjulstrom, Sundborg. Proceeding of the ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE 2013. Delft University of Technology. Delft. The Netherland
- Novico, Franto. Astjario, Prijantono. Bachtiar, Huda. 2013. Kondisi Arus Pasang Surut dan Erosi-Sedimentasi di Sekitar Garis Pantai Depan PLTU Tarahan Lampung Menggunakan Delft3D versi 3.28. Jurnal Geologi Kelautan
- Poerbandono. Djunarsjah, Eka. 2005. Survei Hidrografi. Refika Aditama. Bandung
- Pradana, Ramanda Aji. 2016. Pemodelan Aliran Material Sedimen Akibat Arus Pasang Surut Untuk Pemeliharaan Kedalaman Perairan Pelabuhan (Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong, Surabaya). Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Prakoso, Andre. 2015. Analisa Laju Sedimentasi pada Alur Pelayaran Timur, Pelabuhan Tanjung Priok. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Pratama, Dias Titis Budi. 2017. Perencanaan Bangunan Pelindung Pantai Untuk Menanggulangi Masalah Erosi di Pantai Lontar, Kota Tangerang. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- PT. Pelindo III. <URL: <https://www.pelindo.co.id/profil-perusahaan/cabang-anak-perusahaan/cabang->

- perusahaan/q/tanjung-perak>. Dikunjungi pada tanggal 27 Oktober 2017
- PT. Sucofindo. 2017. Kajian Survei Batimetri di Lima Muara Sungai Sekitar PT. Terminal Teluk Lamong. Surabaya
- Pujiraharjo, Alwafi. Dkk. 2013. Studi Dampak Rencana Reklamasi di Teluk Lamong Propinsi Jawa Timur Terhadap Pola Arus Pasang Surut dan Angkutan Sedimen. *Jurnal Rekayasa Sipil*. Universitas Brawijaya. Malang
- Sundborg, Åke. 1956. The River Klarälven a Study of Fluvial Processes, *Geografiska Annaler*, 38:2-3, 125-316
- T. Chai, R.R. Draxler. 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7, 1247-1250
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 2009. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 2010. *Perencanaan Pelabuhan*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Wahyudi. Jupantara, Dikor. 2004. Studi Simulasi Sedimentasi Akibat Pengembangan Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. *Jurnal Teknologi Kelautan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Widiastuty, Maria. 2008. *Pemodelan Erosi-Sedimentasi di Perairan Sekitar Lokasi PLTU dan PLTGU Gresik*. Master Theses. Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Wijaya, Made. 2016. *Study On Bottom Shear Stress And Bed Load Sediment Transport Formula For Modelling Of Sea Bed Morphology (Area Of Study In Canal Pltgu Grati)*. Thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Willmott, C., Matsuura, K., 2005. Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) over the Root Mean Square Error

(RMSE) in Assessing Average Model Performance, *Climate Research*, 30, 79-82

Witantono, Adireta Dwi. Khomsin. Pemodelan Aliran Sedimen di Kolam Pelabuhan (Studi Kasus: Kolam 1 Pelabuhan Tanjungpriok Jakarta). *Jurnal. Institut Teknologi Sepuluh Nopember*. Surabaya

Zakaria, Ahmad. 2012. *Rekayasa Pantai dan Pelabuhan*. Universitas Lampung. Lampung



## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Peta Laut Pelabuhan Surabaya dan Gresik

Peta Laut Pelabuhan Surabaya dan Gresik terlampir di laporan ini

### Lampiran 2. Peta RBI wilayah Surabaya lembar 1608-432

Peta RBI wilayah Surabaya lembar 1608-432 terlampir di laporan ini

### Lampiran 3. Sampel Data Batimetri Perairan Pelabuhan Tanjung Perak

No	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	692816	9204400	4,3
2	692674	9204390	4,0
3	692612	9204380	3,8
4	692548	9204390	6,8
5	692526	9204430	13,6
6	692627	9204490	17,0
7	692804	9204510	18,7
8	692585	9204590	19,6
9	692772	9204670	21,8
10	692787	9204850	26,0
11	692507	9204690	19,9
12	692572	9204770	21,9
13	692348	9204720	26,5
14	692448	9204810	27,5
15	692160	9204810	28,0
16	692142	9204690	27,0
17	692255	9204920	26,0
18	692373	9204890	26,5
19	692446	9204990	27,5
20	692554	9204860	23,5
21	692604	9205060	22,5
22	692778	9205000	29,0

No	X (m)	Y (m)	Z (m)
23	692933	9204930	15,3
24	693034	9204810	18,6
25	693021	9205080	12,4
26	692807	9205180	14,5
27	691867	9204850	18,1
28	691708	9204830	18,4
29	691714	9204760	21,1
30	691804	9204730	29,5
31	691974	9204680	25,0
32	691882	9204510	22,5
33	691690	9204590	22,4
34	691646	9204680	26,5
35	691936	9204380	16,8
36	691547	9204470	17,7
37	691545	9204350	14,2
38	691687	9204250	9,2
39	691973	9204180	6,9
40	691941	9204140	6,7
41	691865	9204220	6,9
42	691999	9203880	4,7
43	692020	9203730	5,6
44	692042	9203690	6,0
45	692062	9203580	6,6

No	X (m)	Y (m)	Z (m)
46	691932	9203590	6,7
47	691924	9203530	5,7
48	692000	9203450	6,8

No	X (m)	Y (m)	Z (m)
49	692054	9203460	6,0
50	691619	9204070	4,7

### Lampiran 4. Data Pasang Surut Pengamatan Terhadap 0 Rambu

DATA PASANG SURUT PENGAMATAN (m)																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
26/11/2017	1.211	1.155	1.13	1.216	1.25	1.4	1.649	1.874	1.949	1.962	2.047	2.174	2.209	2.284	2.368	2.289	2.117	2.117	2.212	2.181	2.016	1.878	1.802	1.74
27/11/2017	1.569	1.269	1.251	1.288	1.321	1.288	1.452	1.758	1.973	1.948	2.015	2.138	2.244	2.202	2.243	2.269	2.182	2.072	1.975	1.895	1.956	1.964	1.94	1.903
28/11/2017	1.849	1.622	1.414	1.194	1.176	1.252	1.352	1.584	1.972	2.11	2.228	2.252	2.294	2.256	2.117	2.044	1.959	1.874	1.8	1.688	1.735	1.833	1.897	1.889
29/11/2017	1.851	1.753	1.628	1.402	1.289	1.261	1.285	1.42	1.782	1.228	2.359	2.537	2.515	2.49	2.458	2.21	1.961	1.72	1.631	1.568	1.564	1.606	1.842	2
30/11/2017	2.008	1.97	1.799	1.606	1.454	1.326	1.378	1.472	1.632	1.969	2.365	2.718	2.75	2.571	2.517	2.431	2.147	1.893	1.497	1.427	1.379	1.392	1.538	1.964
01/12/2017	2.333	2.154	1.858	1.734	1.616	1.404	1.217	1.423	1.611	1.939	2.416	2.793	2.851	2.742	2.542	2.221	1.829	1.489	1.265	1.183	1.146	1.109	1.273	1.631
02/12/2017	1.956	2.112	2.022	1.903	1.779	1.614	1.436	1.491	1.673	1.947	2.416	2.932	3.126	3.014	2.755	2.623	2.101	1.693	1.308	1.077	1.005	0.958	0.984	1.232
03/12/2017	1.775	2.104	2.176	2.074	1.893	1.748	1.654	1.699	1.793	1.896	2.331	2.873	3.221	3.237	3.007	2.661	2.252	1.851	1.392	1.031	0.923	0.836	0.807	0.846
04/12/2017	1.296	1.778	2.089	2.101	2.001	1.872	1.773	1.689	1.735	1.896	2.229	2.773	3.245	3.425	3.293	3.032	2.626	2.261	1.842	1.366	0.979	0.857	0.751	0.711
05/12/2017	0.852	1.289	1.911	2.182	2.133	2.051	1.941	1.784	1.717	1.727	2.055	2.502	2.928	3.262	3.369	3.175	2.878	2.466	2.118	1.834	1.113	0.898	0.799	0.699
06/12/2017	0.784	0.869	1.424	1.721	2.018	2.011	1.945	1.861	1.882	1.984	2.053	2.228	2.624	2.911	3.197	3.228	2.992	2.682	2.299	2.003	1.464	1.023	0.825	0.736
07/12/2017	0.753	0.854	1.048	1.549	1.871	1.985	2.044	2.008	1.917	1.909	1.971	2.092	2.346	2.744	2.945	3.031	2.991	2.693	2.396	2.043	1.736	1.359	1.044	0.936
08/12/2017	0.862	0.894	0.922	1.098	1.509	1.815	1.937	1.989	2.015	1.971	1.965	2.153	2.231	2.357	2.537	2.625	2.766	2.676	2.442	2.223	1.918	1.694	1.436	1.156
09/12/2017	1.117	1.026	1.129	1.133	1.279	1.654	2.036	2.232	2.236	2.165	2.213	2.189	2.193	2.283	2.361	2.393	2.354	2.526	2.348	2.136	1.966	1.855	1.695	1.494
10/12/2017	1.326	1.284	1.175	1.136	1.255	1.459	1.753	1.951	2.149	2.188	2.283	2.294	2.143	2.079	2.094	2.104	2.113	2.122	2.130	2.139	2.046	1.969	1.802	1.673
11/12/2017	1.526	1.447	1.417	1.317	1.273	1.379	1.596	1.896	2.154	2.292	2.419	2.426	2.318	2.267	2.212	2.089	1.953	1.938	1.968	1.986	1.927	1.879	1.863	1.847
12/12/2017	1.787	1.555	1.485	1.415	1.438	1.517	1.596	1.806	2.107	2.395	2.491	2.529	2.554	2.465	2.192	1.956	1.818	1.679	1.636	1.695	1.702	1.725	1.754	1.783
13/12/2017	1.760	1.736	1.639	1.564	1.585	1.607	1.628	1.850	2.072	2.328	2.511	2.699	2.701	2.555	2.301	2.008	1.741	1.539	1.383	1.403	1.422	1.532	1.653	1.785
14/12/2017	1.825	1.823	1.784	1.659	1.615	1.642	1.688	1.777	1.969	2.168	2.352	2.656	2.777	2.608	2.303	2.018	1.787	1.496	1.312	1.128	1.177	1.288	1.416	1.662
15/12/2017	1.823	1.912	1.869	1.808	1.747	1.715	1.766	1.825	1.915	2.111	2.385	2.746	2.939	2.841	2.545	2.127	1.874	1.528	1.253	1.066	0.998	1.047	1.144	1.367
16/12/2017	1.693	1.942	1.986	1.941	1.885	1.829	1.734	1.798	1.826	2.023	2.365	2.744	3.032	2.932	2.642	2.322	1.902	1.514	1.233	1.078	0.922	0.933	1.089	1.334
17/12/2017	1.545	1.762	1.876	2.002	2.034	2.067	2.099	2.131	2.163	2.196	2.228	2.556	2.759	2.962	2.819	2.450	2.080	1.711	1.341	1.225	1.109	0.993	1.019	1.266
18/12/2017	1.512	1.759	1.902	1.939	1.924	2.001	1.893	1.870	1.847	1.889	1.953	2.081	2.595	2.705	2.533	2.361	2.189	1.908	1.517	1.079	0.862	0.914	0.967	1.019
19/12/2017	1.071	1.489	1.912	1.991	2.011	1.884	1.734	1.752	1.749	1.871	1.993	2.238	2.483	2.728	2.806	2.679	2.352	2.172	1.796	1.276	1.029	0.939	0.907	0.875
20/12/2017	1.117	1.359	1.664	1.969	1.971	1.906	1.841	1.776	1.684	1.843	1.985	2.127	2.367	2.636	2.905	2.806	2.467	2.166	1.827	1.488	1.118	0.952	0.786	0.894
21/12/2017	1.002	1.235	1.507	1.904	1.864	1.824	1.780	1.736	1.829	1.912	2.033	1.998	2.282	2.638	2.721	2.691	2.541	2.371	2.068	1.678	1.383	1.087	0.979	0.844
22/12/2017	0.930	1.108	1.393	1.698	1.850	2.002	1.938	1.856	1.791	1.791	1.793	1.991	1.888	2.369	2.594	2.709	2.684	2.416	2.174	1.886	1.530	1.173	0.926	0.846
23/12/2017	0.944	1.066	1.251	1.578	1.817	2.006	1.998	1.828	1.855	1.982	2.108	2.241	2.342	2.428	2.553	2.675	2.695	2.513	2.279	2.026	1.772	1.485	1.121	1.005
24/12/2017	0.986	1.066	1.201	1.439	1.766	1.977	2.012	2.003	2.063	2.152	2.168	2.287	2.294	2.279	2.478	2.551	2.523	2.495	2.395	2.129	1.916	1.702	1.451	1.215
25/12/2017	1.190	1.164	1.229	1.358	1.547	1.832	2.081	2.133	2.162	2.198	2.248	2.268	2.287	2.246	2.211	2.181	2.181	2.210	2.239	2.101	1.967	1.852	1.612	1.345
26/12/2017	1.192	1.219	1.245	1.338	1.426	1.639	1.944	2.142	2.204	2.238	2.217	2.208	2.209	2.147	2.009	1.933	1.945	1.961	1.932	1.899	1.834	1.706	1.578	1.453

### Lampiran 5. Data Pasang Surut Pengamatan Terhadap Mean Sea Level

DATA PASANG SURUT PENGAMATAN TERHADAP MSL (m)																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
26/11/2017	-0.66	-0.72	-0.75	-0.66	-0.63	-0.48	-0.23	-0	0.074	0.087	0.172	0.299	0.334	0.409	0.493	0.414	0.242	0.242	0.337	0.306	0.141	0.003	-0.07	-0.13		
27/11/2017	-0.31	-0.61	-0.62	-0.59	-0.55	-0.59	-0.42	-0.12	0.098	0.073	0.14	0.263	0.369	0.327	0.368	0.394	0.307	0.197	0.1	0.02	0.081	0.089	0.065	0.028		
28/11/2017	-0.03	-0.25	-0.46	-0.68	-0.7	-0.62	-0.52	-0.29	0.097	0.235	0.353	0.377	0.419	0.381	0.242	0.169	0.084	-0	-0.08	-0.19	-0.14	-0.04	0.022	0.014		
29/11/2017	-0.02	-0.12	-0.25	-0.47	-0.59	-0.61	-0.59	-0.46	-0.09	0.253	0.484	0.662	0.64	0.615	0.583	0.335	0.086	-0.16	-0.24	-0.31	-0.31	-0.27	-0.03	0.125		
30/11/2017	0.133	0.095	-0.08	-0.27	-0.42	-0.55	-0.5	-0.4	-0.24	0.094	0.49	0.843	0.875	0.696	0.642	0.556	0.272	0.018	-0.38	-0.45	-0.5	-0.48	-0.34	0.089		
01/12/2017	0.458	0.279	-0.02	-0.14	-0.26	-0.47	-0.66	-0.45	-0.26	0.064	0.541	0.918	0.976	0.867	0.667	0.346	-0.05	-0.39	-0.61	-0.69	-0.73	-0.77	-0.6	-0.24		
02/12/2017	0.081	0.237	0.147	0.028	-0.1	-0.26	-0.44	-0.38	-0.2	0.072	0.541	1.057	1.251	1.139	0.88	0.748	0.226	-0.18	-0.57	-0.8	-0.87	-0.92	-0.89	-0.64		
03/12/2017	-0.1	0.229	0.301	0.199	0.018	-0.13	-0.22	-0.18	-0.08	0.021	0.456	0.998	1.346	1.362	1.132	0.786	0.377	-0.02	-0.48	-0.84	-0.95	-1.04	-1.07	-1.03		
04/12/2017	-0.58	-0.1	0.214	0.226	0.126	-0	-0.1	-0.19	-0.14	0.021	0.354	0.898	1.37	1.55	1.418	1.157	0.751	0.386	-0.03	-0.51	-0.9	-1.02	-1.12	-1.16		
05/12/2017	-1.02	-0.59	0.036	0.307	0.258	0.176	0.066	-0.09	-0.16	-0.15	0.18	0.627	1.053	1.387	1.494	1.3	1.003	0.591	0.243	-0.04	-0.76	-0.98	-1.08	-1.18		
06/12/2017	-1.09	-1.01	-0.45	-0.15	0.143	0.136	0.07	-0.01	0.007	0.109	0.178	0.353	0.749	1.036	1.322	1.353	1.117	0.807	0.424	0.128	-0.41	-0.85	-1.05	-1.14		
07/12/2017	-1.12	-1.02	-0.83	-0.33	-0	0.11	0.169	0.133	0.042	0.034	0.096	0.217	0.471	0.869	1.07	1.156	1.116	0.818	0.521	0.168	-0.14	-0.52	-0.83	-0.94		
08/12/2017	-1.01	-0.98	-0.95	-0.78	-0.37	-0.06	0.062	0.114	0.14	0.096	0.09	0.278	0.356	0.482	0.662	0.75	0.891	0.801	0.567	0.348	0.043	-0.18	-0.44	-0.72		
09/12/2017	-0.76	-0.85	-0.75	-0.74	-0.6	-0.22	0.161	0.357	0.361	0.29	0.338	0.314	0.318	0.408	0.486	0.518	0.479	0.651	0.473	0.261	0.091	-0.02	-0.18	-0.38		
10/12/2017	-0.55	-0.59	-0.7	-0.74	-0.62	-0.42	-0.12	0.076	0.274	0.313	0.408	0.419	0.268	0.204	0.219	0.229	0.238	0.247	0.255	0.264	0.171	0.094	-0.07	-0.2		
11/12/2017	-0.35	-0.43	-0.46	-0.56	-0.6	-0.5	-0.28	0.021	0.279	0.417	0.544	0.551	0.443	0.392	0.337	0.214	0.078	0.063	0.093	0.111	0.052	0.004	-0.01	-0.03		
12/12/2017	-0.09	-0.32	-0.39	-0.46	-0.44	-0.36	-0.28	-0.07	0.232	0.52	0.616	0.654	0.679	0.59	0.317	0.081	-0.06	-0.2	-0.24	-0.18	-0.17	-0.15	-0.12	-0.09		
13/12/2017	-0.12	-0.14	-0.24	-0.31	-0.29	-0.27	-0.25	-0.02	0.197	0.453	0.636	0.824	0.826	0.68	0.426	0.133	-0.13	-0.34	-0.49	-0.47	-0.45	-0.34	-0.22	-0.09		
14/12/2017	-0.05	-0.05	-0.09	-0.22	-0.26	-0.23	-0.19	-0.1	0.094	0.293	0.477	0.781	0.902	0.733	0.428	0.143	-0.09	-0.38	-0.56	-0.75	-0.7	-0.59	-0.46	-0.21		
15/12/2017	-0.05	0.037	-0.01	-0.07	-0.13	-0.16	-0.11	-0.05	0.04	0.236	0.51	0.871	1.064	0.966	0.67	0.252	-0	-0.35	-0.62	-0.81	-0.88	-0.83	-0.73	-0.51		
16/12/2017	-0.18	0.067	0.111	0.066	0.01	-0.05	-0.14	-0.08	-0.05	0.148	0.49	0.869	1.157	1.057	0.767	0.447	0.027	-0.36	-0.64	-0.8	-0.95	-0.94	-0.79	-0.54		
17/12/2017	-0.33	-0.11	1E-03	0.127	0.159	0.192	0.224	0.256	0.288	0.321	0.353	0.681	0.884	1.087	0.944	0.575	0.205	-0.16	-0.53	-0.65	-0.77	-0.88	-0.86	-0.61		
18/12/2017	-0.36	-0.12	0.027	0.064	0.049	0.126	0.018	-0	-0.03	0.014	0.078	0.206	0.72	0.83	0.658	0.486	0.314	0.033	-0.36	-0.8	-1.01	-0.96	-0.91	-0.86		
19/12/2017	-0.8	-0.39	0.037	0.116	0.136	0.009	-0.14	-0.12	-0.13	-0	-0.118	0.363	0.608	0.853	0.931	0.804	0.477	0.297	-0.08	-0.6	-0.85	-0.94	-0.97	-1		
20/12/2017	-0.76	-0.52	-0.21	0.094	0.096	0.031	-0.03	-0.1	-0.19	-0.03	0.11	0.252	0.492	0.761	1.03	0.931	0.592	0.291	-0.05	-0.39	-0.76	-0.92	-1.09	-0.98		
21/12/2017	-0.87	-0.64	-0.37	0.029	-0.01	-0.05	-0.1	-0.14	-0.05	0.037	-0.158	0.123	0.407	0.763	0.846	0.816	0.666	0.496	0.193	-0.2	-0.49	-0.79	-0.9	-1.03		
22/12/2017	-0.95	-0.77	-0.48	-0.18	-0.02	0.127	0.063	-0.02	-0.08	-0.08	-0.08	0.158	0.116	0.313	0.494	0.719	0.834	0.809	0.541	0.299	0.011	-0.35	-0.7	-0.95	-1.03	
23/12/2017	-0.93	-0.81	-0.62	-0.3	-0.06	0.131	0.123	-0.05	-0.02	0.107	0.233	0.366	0.467	0.553	0.678	0.8	0.82	0.638	0.404	0.151	-0.1	-0.39	-0.75	-0.87		
24/12/2017	-0.89	-0.81	-0.67	-0.44	-0.11	0.102	0.137	0.128	0.188	0.277	0.293	0.412	0.419	0.404	0.603	0.676	0.648	0.62	0.52	0.254	0.041	-0.17	-0.42	-0.66		
25/12/2017	-0.69	-0.71	-0.65	-0.52	-0.33	-0.04	0.206	0.258	0.287	0.323	0.373	0.393	0.412	0.371	0.336	0.306	0.306	0.335	0.364	0.226	0.092	-0.02	-0.26	-0.53		
26/12/2017	-0.68	-0.66	-0.63	-0.54	-0.45	-0.24	0.069	0.267	0.329	0.363	0.342	0.333	0.334	0.272	0.134	0.058	0.07	0.086	0.057	0.024	-0.04	-0.17	-0.3	-0.42		

## Lampiran 6. Data Pasang Surut Pemodelan Terhadap Mean Sea Level

DATA PASANG SURUT PEMODELAN (m)																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
26/11/2017	-0.69	-0.72	-0.74	-0.66	-0.62	-0.48	-0.23	-0	0.074	0.087	0.172	0.299	0.334	0.409	0.493	0.413	0.241	0.243	0.337	0.305	0.14	0.003	-0.07	-0.13
27/11/2017	-0.31	-0.61	-0.62	-0.59	-0.55	-0.59	-0.42	-0.12	0.097	0.072	0.14	0.263	0.369	0.326	0.368	0.394	0.307	0.197	0.1	0.02	0.081	0.088	0.065	0.028
28/11/2017	-0.03	-0.25	-0.46	-0.68	-0.7	-0.62	-0.52	-0.29	0.097	0.234	0.353	0.376	0.419	0.381	0.241	0.169	0.084	-0	-0.08	-0.19	-0.14	-0.04	0.022	0.014
29/11/2017	-0.02	-0.12	-0.25	-0.47	-0.59	-0.61	-0.59	-0.46	-0.09	0.253	0.483	0.661	0.639	0.614	0.583	0.334	0.086	-0.15	-0.24	-0.31	-0.31	-0.27	-0.03	0.124
30/11/2017	0.133	0.095	-0.08	-0.27	-0.42	-0.55	0.159	-0.06	-0.2	0.081	0.49	0.824	0.873	0.693	0.644	0.557	0.269	0.019	-0.38	-0.45	-0.5	-0.48	-0.34	0.088
01/12/2017	0.457	0.276	-0.02	-0.14	-0.26	-0.47	-0.66	-0.45	-0.26	0.066	0.541	0.917	0.974	0.865	0.666	0.346	-0.05	-0.39	-0.61	-0.69	-0.73	-0.77	-0.6	-0.25
02/12/2017	0.082	0.237	0.146	0.028	-0.1	-0.26	-0.44	-0.38	-0.2	0.072	0.542	1.057	1.249	1.136	0.88	0.749	0.226	-0.18	-0.57	-0.8	-0.87	-0.92	-0.89	-0.64
03/12/2017	-0.1	0.231	0.321	0.213	0.012	-0.13	-0.22	-0.18	-0.1	0.005	0.433	1.043	1.385	1.397	1.144	0.786	0.426	-0.02	-0.48	-0.84	-0.95	-1.04	-1.07	-1.03
04/12/2017	-0.58	-0.1	0.214	0.225	0.125	-0	-0.1	-0.19	-0.14	0.021	0.355	0.899	1.37	1.549	1.416	1.155	0.751	0.386	-0.03	-0.51	-0.89	-1.02	-1.12	-1.17
05/12/2017	-1.02	-0.58	0.034	0.306	0.257	0.176	0.066	-0.09	-0.16	-0.15	0.181	0.628	1.053	1.387	1.493	1.298	1.002	0.591	0.243	-0.04	-0.76	-0.97	-1.08	-1.18
06/12/2017	-1.09	-1.01	-0.45	-0.15	0.144	0.134	0.07	-0.01	0.008	0.109	0.178	0.354	0.75	1.036	1.322	1.352	1.116	0.807	0.423	0.128	-0.41	-0.85	-1.05	-1.14
07/12/2017	-1.12	-1.02	-0.83	-0.32	-0	0.11	0.169	0.132	0.042	0.034	0.096	0.217	0.472	0.87	1.069	1.155	1.115	0.816	0.52	0.168	-0.14	-0.52	-0.83	-0.94
08/12/2017	-1.01	-0.98	-0.95	-0.78	-0.37	-0.06	0.061	0.114	0.14	0.096	0.09	0.279	0.356	0.482	0.662	0.749	0.891	0.8	0.566	0.348	0.043	-0.18	-0.44	-0.72
09/12/2017	-0.76	-0.85	-0.75	-0.74	-0.59	-0.22	0.16	0.356	0.36	0.289	0.338	0.314	0.318	0.409	0.486	0.518	0.478	0.652	0.471	0.261	0.091	-0.02	-0.18	-0.38
10/12/2017	-0.55	-0.59	-0.7	-0.74	-0.61	-0.41	-0.12	0.074	0.275	0.312	0.408	0.419	0.267	0.204	0.219	0.229	0.238	0.247	0.256	0.264	0.171	0.094	-0.07	-0.2
11/12/2017	-0.35	-0.43	-0.46	-0.56	-0.6	-0.49	-0.28	0.019	0.279	0.417	0.544	0.55	0.442	0.392	0.337	0.214	0.078	0.063	0.093	0.111	0.052	0.004	-0.01	-0.03
12/12/2017	-0.09	-0.32	-0.39	-0.46	-0.44	-0.36	-0.28	-0.07	0.232	0.52	0.615	0.653	0.679	0.589	0.316	0.081	-0.06	-0.2	-0.24	-0.18	-0.17	-0.15	-0.12	-0.09
13/12/2017	-0.12	-0.14	-0.24	-0.31	-0.29	-0.27	-0.25	-0.02	0.197	0.453	0.635	0.824	0.825	0.679	0.425	0.133	-0.13	-0.34	-0.49	-0.47	-0.45	-0.34	-0.22	-0.09
14/12/2017	-0.05	-0.05	-0.09	-0.21	-0.26	-0.23	-0.19	-0.1	0.094	0.293	0.477	0.782	0.901	0.731	0.427	0.143	-0.09	-0.38	-0.56	-0.75	-0.7	-0.59	-0.46	-0.21
15/12/2017	-0.05	0.037	-0.01	-0.07	-0.13	-0.16	-0.11	-0.05	0.041	0.236	0.511	0.872	1.063	0.964	0.668	0.251	-0	-0.35	-0.62	-0.81	-0.87	-0.83	-0.73	-0.51
16/12/2017	-0.18	0.065	0.11	0.066	0.01	-0.05	-0.14	-0.08	-0.05	0.149	0.49	0.869	1.157	1.055	0.765	0.446	0.027	-0.36	-0.64	-0.8	-0.95	-0.94	-0.78	-0.54
17/12/2017	-0.33	-0.11	0.002	0.127	0.159	0.192	0.224	0.257	0.289	0.321	0.353	0.683	0.883	1.086	0.942	0.573	0.205	-0.16	-0.53	-0.65	-0.77	-0.88	-0.86	-0.61
18/12/2017	-0.36	-0.11	0.027	0.064	0.049	0.126	0.017	-0	-0.03	0.015	0.078	0.207	0.722	0.827	0.655	0.486	0.314	0.032	-0.36	-0.8	-1.01	-0.96	-0.91	-0.86
19/12/2017	-0.8	-0.39	0.038	0.115	0.136	0.008	-0.14	-0.12	-0.13	-0	0.118	0.364	0.608	0.853	0.93	0.802	0.476	0.298	-0.08	-0.6	-0.85	-0.94	-0.97	-1
20/12/2017	-0.76	-0.51	-0.21	0.094	0.095	0.031	-0.03	-0.1	-0.19	-0.03	0.11	0.252	0.492	0.761	1.03	0.929	0.59	0.291	-0.05	-0.39	-0.76	-0.92	-1.09	-0.98
21/12/2017	-0.88	-0.64	-0.37	0.029	-0.01	-0.05	-0.1	-0.14	-0.05	0.037	0.159	0.122	0.409	0.764	0.844	0.814	0.665	0.496	0.192	-0.2	-0.49	-0.79	-0.89	-1.03
22/12/2017	-0.94	-0.77	-0.48	-0.18	-0.02	0.127	0.062	-0.02	-0.08	-0.08	-0.08	0.117	0.313	0.494	0.719	0.833	0.808	0.54	0.299	0.011	-0.35	-0.7	-0.95	-1.03
23/12/2017	-0.93	-0.81	-0.63	-0.3	-0.06	0.131	0.122	-0.05	-0.02	0.107	0.233	0.366	0.467	0.553	0.678	0.8	0.819	0.637	0.404	0.151	-0.1	-0.39	-0.75	-0.86
24/12/2017	-0.89	-0.81	-0.68	-0.44	-0.11	0.102	0.137	0.128	0.188	0.277	0.293	0.412	0.419	0.404	0.604	0.676	0.647	0.62	0.52	0.253	0.042	-0.17	-0.42	-0.66
25/12/2017	-0.69	-0.71	-0.65	-0.51	-0.33	-0.04	0.205	0.257	0.287	0.323	0.373	0.393	0.412	0.371	0.336	0.306	0.306	0.335	0.364	0.225	0.092	-0.02	-0.26	-0.53
26/12/2017	-0.68	-0.66	-0.63	-0.54	-0.45	-0.24	0.072	0.267	0.328	0.362	0.342	0.333	0.334	0.272	0.134	0.058	0.07	0.086	0.057	0.024	-0.04	-0.17	-0.3	

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Krisma Hutanti, dilahirkan di Ponorogo, 17 Juni 1995. Merupakan anak pertama dari 3 bersaudara dari pasangan Nyamun dan Wiwit. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Kampungdalem 1, SMPN 1 Tulungagung dan SMAN 1 Kedungwaru. Setelah lulus dari SMA penulis memilih melanjutkan kuliah Strata-1 dengan mengikuti program SNMPTN. Penulis diterima di Program Studi Teknik Geomatika

FTSLK-ITS tahun 2014 dan terdaftar sebagai mahasiswa ITS dengan NRP 0331144000012. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Geomatika (HIMAGE-ITS) serta acara-acara yang diselenggarakan baik oleh departemen, fakultas maupun kampus ITS. Penulis telah melakukan magang di BPN Tulungagung dan kerja praktik di P3GL Bandung. Untuk menyelesaikan studi Tugas Akhir, penulis memilih bidang keahlian Geomarine dengan spesifikasi bidang Hidrografi dengan judul “Analisis Pola Sebaran Sedimen untuk Mendukung Pemeliharaan Kedalaman Perairan Pelabuhan Menggunakan Pemodelan Hidrodinamika 3D”.