



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RM184831

PEMODELAN TRANSPOR SEDIMEN UNTUK PEMELIHARAAN KEDALAMAN PELABUHAN (Studi Kasus: Teluk Lamong, Surabaya)

FRANSISKA WIDIASTUTI
0331164000093

Dosen Pembimbing
Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RM184831

**PEMODELAN TRANSPOR SEDIMEN UNTUK
PEMELIHARAAN KEDALAMAN PELABUHAN
(Studi Kasus: Teluk Lamong, Surabaya)**

FRANSISKA WIDIASTUTI
0331164000093

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

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RM184831

SEDIMENT TRANSPORT MODELING FOR MAINTENANCE OF PORT DEPTH (Case Study: Teluk Lamong, Surabaya)

FRANSISKA WIDIASTUTI
0331164000093

Supervisor
Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D

DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning, and Geo-Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**PEMODELAN TRANSPOR SEDIMEN UNTUK
PEMELIHARAAN KEDALAMAN PELABUHAN (Studi
Kasus: Teluk Lamong, Surabaya)**

Nama Mahasiswa : Fransiska Widiastuti
NRP : 0331164000093
Departemen : Teknik Geomatika, FTSPK-ITS
Dosen Pembimbing : Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D

ABSTRAK

Kota Surabaya memiliki pelabuhan terbesar dan tersibuk kedua di Indonesia setelah Tanjung Priok yaitu Pelabuhan Tanjung Perak. Aktivitas pelabuhan yang padat dan didukung dengan lokasinya yang berdekatan dengan muara sungai, menjadikan pelabuhan ini berpotensi mengalami sedimentasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan perawatan kedalaman secara rutin dan berkala untuk menjaga kedalaman suatu kolam dan alur pelayaran. Dalam penelitian ini dilakukan analisa pemodelan arus dan pola sebaran sedimen di Pelabuhan Tanjung Perak menggunakan metode simulasi numerik dengan beberapa parameter seperti data batimetri, pasang surut air laut, angin, dan *river discharge*. Pada penelitian ini didapatkan nilai kecepatan arus terbesar terjadi pada saat surut purnama dengan kecepatan arus maksimum 0,440 m/s. Sedangkan arah arus yang terjadi bergerak dari arah pesisir perairan Teluk Lamong menuju ke alur pelayaran.

Berdasarkan hasil pola transpor sedimen, nilai sebaran sedimen paling besar terjadi pada saat pasang surut purnama (*spring tide*) dengan nilai erosi lebih dari -0,100 m dan sedimentasi lebih dari 0,800 m. Aktivitas erosi dan sedimentasi terbesar terjadi di Pelabuhan Tanjung Perak dan Pelabuhan Teluk Lamong. Dampak dari pola transport sedimen tersebut menghasilkan aktivitas pendangkalan atau sedimentasi terbesar yang terjadi pada Pelabuhan Terminal Teluk Lamong dengan pendangkalan sebesar 138,675 mm/bulan yang terjadi pada koordinat 685250,000 m; 9204860,000 m. Sedangkan penambahan kedalaman terbesar

terjadi pada Pelabuhan Tanjung Perak dengan penambahan sebesar -0,911 mm/bulan yang terjadi pada koordinat 688800,000 m; 9204100,000 m.

Kata kunci-Arus, Pelabuhan, Pemodelan Hidrodinamika, Sedimentasi

**SEDIMENT TRANSPORT MODELING FOR
MAINTENANCE OF PORT DEPTH (Case Study: Teluk
Lamong, Surabaya)**

Name : Fransiska Widiastuti
ID : 0331164000093
Departement : Geomatics Engineering, FTSPK-ITS
Supervisor : Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D

ABSTRACT

The city of Surabaya has the second largest and busiest port in Indonesia after Tanjung Priok, namely the Port of Tanjung Perak. Dense port activity and supported by its location close to the river mouth, has made this port potential for sedimentation. Therefore, it is necessary to carry out routine and periodic depth maintenance to maintain the depth of a pond and shipping channel. In this research, analysis of current modeling and sediment distribution patterns in Tanjung Perak Port using numerical simulation methods with several parameters such as bathymetry data, tides, wind, and river discharge. In this study, it was known that the greatest current velocity occurs at low tide with a maximum current velocity of 0.440 m/s. While the direction of the current that occurs moves from the coastal direction of the waters of Lamong Bay to the shipping channel.

Based on the results of the sediment transport pattern, the greatest value of sediment distribution occurs during the spring tide with an erosion value of more than -0.100 m and sedimentation of more than 0.800 m. The largest erosion and sedimentation activities occurred at Tanjung Perak Harbor and Teluk Lamong Harbor. The impact of this sediment transport pattern resulted in the largest silting activity or sedimentation that occurred at the Teluk Lamong Terminal Port with silting as much as 138.675 mm/month which occurred at coordinates 685250.000 m;

9204860.000 m. Meanwhile, the largest increase in depth occurred at the Port of Tanjung Perak with an increase of -0.911 mm/month which occurred at coordinates 688800.000 m; 9204100.000 m.

Keywords-*Flow, Ports, Hydrodynamic Modeling, Sedimentation*

LEMBAR PENGESAHAN
PEMODELAN TRANSPOR SEDIMEN UNTUK
PEMELIHARAAN KEDALAMAN PELABUHAN (Studi
Kasus: Teluk Lamong, Surabaya)

TUGAS AKHIR

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

Oleh:
Fransiska Widiastuti
NRP. 0331164000093

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

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



SURABAYA, AGUSTUS 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala kasih dan anugerah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian untuk tugas akhir yang berjudul **“Pemodelan Transpor Sedimen untuk Pemeliharaan Kedalaman Pelabuhan (Studi Kasus: Teluk Lamong, Surabaya)”** dengan lancar. Selama pelaksanaan penelitian untuk tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan baik secara moril dan materil kepada penulis. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kelurga penulis yaitu, Bapak Antonius Budiono, Ibu M. I. Dwi Lestari, dan Veronika Dita P. yang telah memberikan doa dan restu demi kelancaran pada penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Danar Guruh Pratomo, S.T, M.T, Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika ITS dan dosen pembimbing penulis.
3. Ibu Cherie Bhekti, S.T, M.T selaku Dosen Wali penulis.
4. Bapak Ibu Dosen Teknik Geomatika atas bimbingan dan ilmu yang diajarkan selama ini.
5. PT. APBS (Alur Pelayaran Barat Surabaya), BIG (Badan Informasi Geospasial), ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) atas ketersediannya memberikan dan menyediakan data sebagai penunjang dalam pengerjaan penelitian ini.
6. Loly, Rara, Ifa, Dinda, Roro, Syafiqoh, Irena, Desi, Mas Fauzan, Mas Fikri, Mba Nada, Mba Orchid, Mba Chima, Mba Vio, Mas Ody, Haris, Adib dan teman-teman lain yang telah saya repotkan demi terselesaikannya Tugas Akhir ini.

7. Teman-teman Laboratorium Geomarin, yang telah membantu penulis dalam memberikan semangat dan bantuan hingga selesainya penelitian ini.
8. Teman-teman Teknik Geomatika khususnya Angkatan 2016 yang telah membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

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.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
LEMBAR PENGESAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pasang Surut.....	5
2.1.1 Komponen Harmonik Pasang Surut.....	6
2.1.2 Metode <i>Least Square</i>	8
2.2 Arus	11
2.3 Arus Pasang Surut	11
2.4 Sedimentasi	13
2.5 Mekanisme Tranpor Sedimen	14
2.6 Pemodelan Hidrodinamika.....	18
2.6.1 Persamaan Kontinuitas.....	19
2.6.2 Persamaan Momentum.....	20
2.7 Penelitian Terdahulu	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Lokasi Penelitian	23
3.2 Data dan Peralatan.....	23
3.2.1 Data.....	23
3.2.2 Peralatan.....	24
3.3 Metodologi Penelitian.....	24
3.1.1. Tahap Persiapan.....	25
3.1.2. Tahap Pengolahan.....	26

3.1.3.	Tahap Akhir.....	30
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1	Bidang Model.....	31
4.1.1	Pendefinisian Batas dan Kedalaman	31
4.1.2	Desain Model Grid	32
4.1.3	Interpolasi Kedalaman	34
4.2	Pemodelan Arus	35
4.2.1	Data Angin	36
4.2.2	Data Debit Sungai.....	38
4.2.3	Analisis Pasang Surut	39
4.2.4	Analisis Model Arus	48
4.2.5	Perbandingan Nilai Arus Hasil Pemodelan dengan Arus Satelit Altimetri	53
4.3	Pemodelan Pola Sebaran Sedimen	54
4.3.1	Analisa Pola Sebaran Sedimen	55
4.3.2	Analisa Dampak Sedimentasi Terhadap Pelabuhan	59
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA		71
LAMPIRAN		75
BIODATA PENULIS		81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tipe Pasang Surut	6
Gambar 2. 2 Mekanisme Angkut Sedimen	16
Gambar 2. 3 Diagram Hjulstrom	18
Gambar 2. 4 Perbandingan Antara Model 2D dan 3D	19
Gambar 3. 1 Lokasi Teluk Lamong	23
Gambar 3. 2 Diagram Tahapan Penelitian	25
Gambar 3. 3 Diagram Tahapan Pengolahan	26
Gambar 4. 1 <i>Boundary</i> Setelah Tsunami	32
Gambar 4. 2 Model TIN	33
Gambar 4. 3 Bidang Model (<i>Mesh</i>)	35
Gambar 4. 4 Diagram Mawar Kecepatan Angin	38
Gambar 4. 5 Grafik Pasang Surut BIG Stasiun Surabaya	43
Gambar 4. 6 Grafik Pasang Surut Hasil Pemodelan	45
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Pasang Surut terhadap MSL	46
Gambar 4. 8 Model Arus Pasang Purnama	49
Gambar 4. 9 Model Arus Surut Purnama	50
Gambar 4. 10 Model Arus Pasang Perbani	51
Gambar 4. 11 Model Arus Surut Perbani	52
Gambar 4. 12 Perbandingan Kecepatan Arus Satelit Altimetri dan Model	54
Gambar 4. 13 Model Sediment Pasang Purnama	55
Gambar 4. 14 Model Sediment Surut Purnama	56
Gambar 4. 15 Model Sediment Pasang Perbani	57
Gambar 4. 16 Model Sediment Surut Perbani	58
Gambar 4. 17 Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Pertama	61
Gambar 4. 18 Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Kedua	61
Gambar 4. 19 Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Ketiga	62
Gambar 4. 20 Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Keempat	62
Gambar 4. 21 Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Kelima	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komponen Harmonik Pasang Surut yang Umum Digunakan	7
Tabel 2.2 Hubungan Besarnya Bilangan Formzahl dengan Jenis Pasang Surut Air Laut	8
Tabel 2.3 Klasifikasi Sedimen Berdasarkan Ukuran Partikelnya Menurut Skala Wentworth.....	15
Tabel 3.1 Klasifikasi Tingkat Kesalahan RMSE dan MAE	29
Tabel 4.1 Parameter waktu pemodelan	35
Tabel 4.2 Data Angin di Sekitar Teluk Lamong.....	36
Tabel 4.3 Debit Rata-rata Sungai di Sekitar Perairan Teluk Lamong.....	38
Tabel 4.4 Data Pasang Surut BIG Stasiun Surabaya	39
Tabel 4.5 Nilai Konstituen Pasang Surut	40
Tabel 4.6 Referensi Vertikal	41
Tabel 4.7 Data Pasang Surut BIG Terhadap MSL.....	41
Tabel 4.8 Data Pasang Surut Hasil Pemodelan	44
Tabel 4.9 Klasifikasi Tingkat Kesalahan RMSE dan MAE	47
Tabel 4.10 Pemodelan saat Pasang Purnama dan Perbani	48
Tabel 4.11 Koordinat Titik Random Pengamatan Perubahan Kedalaman	60
Tabel 4.12 Perubahan Kedalaman Pelabuhan	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Surabaya secara geografis terletak di pantai utara Pulau Jawa bagian timur dan berhadapan dengan Selat Madura serta Laut Jawa. Kota Surabaya memiliki pelabuhan terbesar dan tersibuk kedua di Indonesia setelah Tanjung Priok yaitu Pelabuhan Tanjung Perak. Pelabuhan Tanjung Perak digunakan sebagai pusat perdagangan dan kolektor serta distributor barang dari dan menuju kawasan timur Indonesia.

Lokasi yang strategis dan fasilitas pendukung yang memadai menjadikan Pelabuhan Tanjung Perak sebagai pelabuhan yang mempunyai lalu lintas laut cukup padat. Dengan memiliki lalu lintas yang padat, perlu dilakukan peningkatan fasilitas keamanan transportasi laut. Salah satunya yaitu perlu dilakukan perawatan dan pemeriksaan kedalaman alur pelayaran dan kolam pelabuhan untuk menjaga keamanan lalu lintas laut. Kondisi perairan yang perlu perawatan kedalaman ini maka sebaiknya dilakukan pemeliharaan secara berkala untuk menjaga kedalaman dari perairan pelabuhan Tanjung Perak.

Salah satu dari penyebab terjadinya pendangkalan pada pelabuhan adalah adanya sedimentasi yang terjadi secara terus-menerus dan mengendap di suatu lokasi. Proses ini dapat menimbulkan permasalahan (Kurniawan dan Pradana 2016). Hal ini dapat disebabkan oleh letak lokasi pelabuhan yang berada di selat dan muara sungai yang dapat mengakibatkan rawan terhadap pengaruh sedimentasi yang dikhawatirkan mempengaruhi kegiatan pendaratan kapal. Mengingat kinerja pelabuhan sangat tergantung dari kedalaman alur pelayaran dan kedalaman kolam labuhnya (Purnomo dkk. 2015). Adanya sedimentasi dalam perairan tersebut akan mempengaruhi kondisi fisik dasar perairan atau topografi dasar perairan tersebut. Transpor sedimen adalah perpindahan material sedimen dari tempat tertentu ke tempat lainnya baik berupa penambahan atau pengurangan material

sedimen. Proses sedimentasi ini juga dipengaruhi oleh pasang surut dan arus laut. Pasang surut merupakan naik dan turunnya muka air laut dikarenakan gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi (Triatmodjo 1999), sedangkan arus adalah pergerakan massa air dari satu tempat ke tempat lainnya yang disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya adalah pergerakan pasang surut. Sirkulasi dari arus dan pasang surut tersebut dapat membawa material sedimen yang terdapat pada perairan tersebut yang akhirnya mempengaruhi pola transpor sedimen.

Salah satu langkah untuk mengatasi pendangkalan adalah dapat dilakukan proses pengerukan terhadap sedimen yang mengendap di daerah tersebut. Oleh sebab itu, agar proses pengerukan berjalan efektif dan kegiatan evaluasi dampak sedimen terhadap daerah pelabuhan diperlukan pengetahuan tentang hidrodinamika air laut dan transpor sedimen di daerah perairan tersebut. Salah satu cara yang lebih efisien dan ekonomis adalah dengan suatu simulasi model numerik.

Pada studi sebelumnya telah dilakukan penelitian menggunakan model matematik serupa menggunakan perangkat lunak pemodelan yang berbeda Hutanti (2018) dan perangkat lunak pemodelan yang sama oleh Pradana (2016). Pada penelitian tersebut, Pradana (2016) 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. Sedangkan Hutanti (2018) menggunakan *river discharge*, pasang surut, dan angin sebagai parameternya. Sehingga menghasilkan pemodelan yang menunjukkan mengalami sedimentasi paling besar adalah kolam pelabuhan, Terminal Teluk Lamong dan daerah sekitar bangunan jetti.

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

Dengan membuat pemodelan sebaran transpor sedimen, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pola arus yang terjadi di perairan Teluk Lamong?
2. Bagaimana pola sebaran sedimen yang terbentuk di perairan Teluk Lamong?
3. Bagaimana evaluasi dampak yang diberikan terhadap pelabuhan di perairan Teluk Lamong akibat perubahan pola sebaran sedimen berdasarkan hasil pemodelan?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Daerah penelitian ini adalah perairan Teluk Lamong.
2. Pembuatan model hidrodinamika dan sedimentasi dengan menggunakan *software* MIKE21.
3. Parameter hidrodinamika yang digunakan untuk penentuan sebaran sedimen adalah data batimetri, *river discharge* pasang surut, dan angin yang diperoleh dari data sekunder.
4. Pemodelan dilakukan pada kurun waktu 10 November-14 Desember 2018.
5. Validasi model dilakukan dengan membandingkan data pasang surut dan data arus observasi dengan hasil pemodelan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk:

1. Menganalisis pola arus di perairan Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong.
2. Menganalisis pola sebaran sedimen di perairan Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong.
3. Menganalisis dampak yang ditimbulkan akibat pola sebaran sedimen terhadap lokasi pelabuhan di perairan Teluk Lamong.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Dapat menghasilkan serta memberikan informasi mengenai pola arus dan penyebaran sedimen yang dapat digunakan untuk pemeliharaan kedalaman perairan Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong.
2. Sebagai acuan untuk simulasi model di daerah lain yang mempunyai karakteristik topografi dan tipe pasang surut yang sama.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasang Surut

Pasang surut laut adalah fenomena naik dan turunnya permukaan air laut secara periodik karena adanya gaya tarik benda langit yaitu bulan dan matahari terhadap massa air laut di bumi (Triatmodjo 2010). Walaupun massa bulan lebih kecil dari matahari, dikarenakan jaraknya yang lebih dekat terhadap bumi, mengakibatkan pengaruh gaya tarik bulan menjadi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari.

Pasang surut air laut menyebabkan perubahan kedalaman perairan dan mengakibatkan arus pusaran yang dikenal sebagai arus pasang, sehingga perkiraan kejadian pasang sangat diperlukan dalam navigasi pantai. Wilayah pantai yang terbenam sewaktu pasang naik dan terpapar sewaktu pasang surut, disebut zona pasang. Panjang periode pasang surut bervariasi antara 12,4 jam atau 24,8 jam (Poerbondono dan Djunasjah 2005). Tinggi pasang surut merupakan selisih jarak vertikal antara tinggi air puncak (maksimal) dan air rendah (minimal) yang berurutan.

Bentuk pasang surut yang terjadi di tiap daerah berbeda-beda. Di suatu daerah dalam satu hari dapat terjadi satu atau dua kali pasang surut. Menurut (Triatmodjo 2010), pasang surut dibedakan dalam empat tipe, yaitu pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), harian ganda (*semi-diurnal tide*) dan dua jenis campuran atau *mixed tide*. Berikut adalah penjelasan dari keempat tipe pasang surut beserta bentuk kurva yang digambarkan pada Gambar 2.1:

- a. Pasang Surut Harian Tunggal (*diurnal tide*)
Dalam satu hari terjadi satu kali pasang dan satu kali air surut.
- b. Pasang Surut Harian Ganda (*semi-diurnal tide*)
Dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan/teratur.

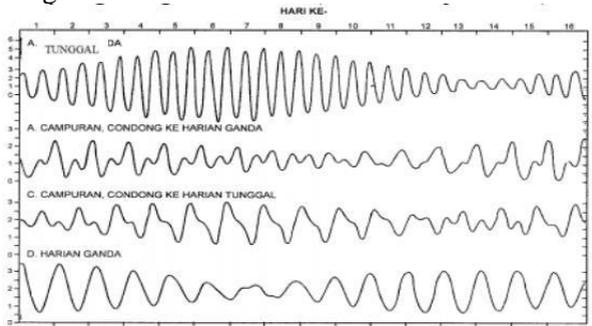
c. Pasang Surut Campuran Condong ke Harian Tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*)

Dalam satu hari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut, tetapi terkadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.

d. Pasang Surut Campuran Condong ke Harian Ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*)

Dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda.

Gambar 2.1 menjelaskan tipe pasang surut dengan menggambarkan periode dari hari pertama hingga hari ke 16. Dari atas ke bawah secara berurutan yaitu tipe tunggal, campuran condong ke harian ganda, campuran condong ke harian tunggal, dan harian ganda.



Gambar 2. 1 Tipe Pasang Surut
(Triatmodjo 2010)

2.1.1 Komponen Harmonik Pasang Surut

Komponen Harmonik Pasang Surut digunakan pada saat melakukan pengolahan pasang surut untuk mendapatkan nilai pasang surut seperti muka air tertinggi atau *High Water Level* (HWL), muka air rerata atau *Mean Sea Level* (MSL), muka air terendah atau *Low Water Level* (LWL) dan lain-lain.

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. Komponen harmonik yang umum digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Komponen Harmonik Pasang Surut yang Umum Digunakan (Zakaria 2012)

Unsur	Periode (jam)	Kec. Sudut (der/jam)	Sifat
M ₂	12,42	28,9841	Harian Ganda
S ₂	12,00	30,0000	Harian Ganda
K ₂	11,97	30,0821	Harian Ganda
N ₂	12,66	28,4397	Harian Ganda
K ₁	23,93	15,0411	Harian Tunggal
O ₁	25,82	13,9430	Harian Tunggal
P ₁	24,07	14,9589	Harian Tunggal
M ₄	6,21	57,9882	Harian Kuartar
MS ₄	6,20	58,9841	Harian Kuartar

Untuk mengetahui jenis pasang surut, dapat diketahui dengan menghitung besarnya bilangan Formzahl (F), (Poerbondono dan Djunasjah 2005):

$$F = \frac{K1+O1}{M2+S2} \quad 2.1$$

Dengan maksud:

- K_1 : amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari
- O_1 : amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
- M_2 : amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
- S_2 : amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

Berdasarkan pada besar bilangan Formzahl, maka jenis pasang surut laut dapat diketahui berdasarkan kriteria seperti dibawah ini:

Tabel 2.2 Hubungan Besarnya Bilangan Formzahl dengan Jenis Pasang Surut Air Laut (Poerbondono dan Djunasjah 2005)

Bilangan Formzahl	Jenis Pasang Surut	Jenis Pasang Surut
$0,00 < F \leq 0,25$	Pasang surut harian ganda beraturan	2x pasang sehari dengan tinggi relatif sama
$0,25 < F \leq 1,50$	Pasang surut campuran condong harian ganda	2x pasang sehari dengan interval berbeda
$1,50 < F \leq 3,00$	Pasang surut campuran condong harian tunggal	1 atau 2 kalo pasang dengan interval beda
$F > 3,00$	Pasang surut harian tunggal beraturan	1x pasang sehari, saat <i>spring</i> bisa terjadi 2x

2.1.2 Metode Least Square

Menurut Ongkosongo (1989), variasi naik turunnya muka air laut adalah hasil penjumlahan (superposisi) dari semua

gelombang komponen harmonik pasut yang terjadi. Dengan demikian tinggi muka air laut dapat dituliskan dalam persamaan rumus berikut:

$$H(t) = A_0 + \sum_1^n A_n \cos[\bar{\omega}_n t_i - g_n]$$

$$a) A_n = \sqrt{a_n^2 b_n^2}$$

$$b) \bar{\omega}_n = \frac{2\pi}{P_n(\text{Periode})}$$

$$c) g_n = \tan^{-1} \left(\frac{b_n}{a_n} \right)$$

$$d) j_n = \frac{g_n}{\omega_n} \quad 2.2$$

Penjelasan :

$H(t)$	= tinggi muka air laut saat t (m)
A_0	= tinggi muka air laut rata-rata (MSL) (m)
A_n	= amplitudo konstanta pasut ke-n (m)
$\bar{\omega}_n$	= kecepatan sudut konstanta pasut ke-n ($^{\circ}$)
g_n	= fase konstanta pasut ke-n ($^{\circ}$)
t_i	= jumlah lama pengamatan
n	= jumlah konstanta pasut
a_n, b_n	= jarak konstanta pasut ke-n
j_n	= waktu air tinggi (jam)

$$F = A.X \quad 2.3$$

dimana, $F(nx1)$ merupakan vektor yang dihasilkan dari data pengamatan tinggi muka air laut. $A(nxu)$ merupakan matriks desain dan $X(ux1)$ merupakan vektor parameter. Dimana, n adalah jumlah pengamatan, sedangkan u adalah jumlah parameter. Sehingga terbentuklah matrik sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} Ht_1 \\ \dots \\ Ht_i \\ \dots \\ Ht_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cos(\bar{\omega}_1 t_1) & \sin(\bar{\omega}_1 t_1) & \dots & \cos(\bar{\omega}_n t_1) & \sin(\bar{\omega}_n t_1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \cos(\bar{\omega}_1 t_i) & \sin(\bar{\omega}_1 t_i) & \dots & \cos(\bar{\omega}_n t_i) & \sin(\bar{\omega}_n t_i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_0 \\ a_1 \\ b_1 \\ a_2 \\ b_2 \\ \dots \\ a_n \\ b_n \end{bmatrix} \quad 2.4$$

Parameter yang ditentukan adalah parameter \bar{x} , A_q dan B_q , yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$X = (A^T \cdot A)^{-1} (A^T \cdot F) \quad 2.5$$

dimana F adalah matriks pengamatan, A = matriks desain dan X = matriks parameter.

Parameter A_q dan B_q pada matriks parameter tersebut digunakan untuk menghitung amplitudo dan beda fase dari komponen-komponen pasut yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$A_q = C_q \cos(\phi_q) \text{ dan } B_q = C_q \sin(\phi_q) \quad 2.6$$

$$A_q^2 + B_q^2 = C_q^2 \cos^2(\phi_q) + B_q^2 = C_q^2 \sin^2(\phi_q) \quad 2.7$$

$$A_q^2 + B_q^2 = C_q^2 (\cos^2(\phi_q) + \sin^2(\phi_q)) \quad 2.8$$

Dimana,

$$\cos^2(\phi_q) + \sin^2(\phi_q) = 1$$

$$A_q^2 + B_q^2 = C_q^2$$

$$C_q = (A_q^2 + B_q^2)^{1/2}$$

$$C_q = \sqrt{A_q^2 + B_q^2} \text{ (komponen amplitudo)} \quad 2.9$$

$$\frac{B_q}{A_q} = \frac{C_q \sin(\phi_q)}{C_q \cos(\phi_q)}$$

$$\frac{B_q}{A_q} = \tan(\phi_q)$$

$$\phi_q = \tan^{-1} \left(\frac{B_q}{A_q} \right) \text{ (komponen keterlambatan fase) } 2.10$$

2.2 Arus

Arus merupakan gerakan horizontal atau vertikal dari suatu massa air sehingga massa air tersebut mencapai kestabilan. Gerakan tersebut merupakan resultan dari beberapa gaya yang bekerja dan beberapa faktor yang mempengaruhinya (Surbakti 2015).

Terdapat dua gaya yang berperan dalam arus yaitu: gaya primer dan gaya sekunder. Gaya primer berperan dalam menggerakkan arus dan menentukan kecepatannya. Gaya primer ini terdiri dari gravitasi, gesekan angin (*wind stress*), gaya dorong ke atas dan ke bawah (*bouyancy*), serta tekanan atmosfer. Gaya sekunder mempengaruhi arah gerakan dan kondisi aliran arus. Gaya ini meliputi gaya Coriolis dan gesekan lapisan air laut itu sendiri (Pond dan Pickard 1983).

Menurut Pond dan Pickard (1983), arus dapat terjadi karena adanya beberapa sebab, sehingga terdapat beberapa jenis arus berdasarkan penyebabnya, sebagai berikut:

a. Angin

Angin merupakan faktor yang membangkitkan arus, arus yang ditimbulkan oleh angin memiliki kecepatan yang berbeda-beda menurut kedalamannya.

b. 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.

2.3 Arus Pasang Surut

Arus pasang surut dalam penelitian ini merupakan salah satu komponen penting yang akan dimodelkan, sehingga dapat

dilakukan tahap analisis terhadap pola transpor sedimen di perairan Teluk Lamong dan dampaknya terhadap pelabuhan yang ada di perairan Teluk Lamong. Hal ini dikarenakan arus pasang surut merupakan salah satu media penggerak partikel sedimen.

Perubahan taraf permukaan air laut akibat pasang surut di beberapa lokasi bumi yang berbeda, mengakibatkan pergerakan air secara horizontal. Perpindahan air di bawah permukaan ini umumnya disebut arus pasang surut (*tidal current/stream*). Arah arus pasang umumnya berlawanan dengan arus surut (Kramadibrata 1985).

Kekuatan arus pasang surut juga berfluktuasi sesuai dengan rentang pasang surut. Pada saat pasang purnama (*spring tide*), arus pasang surut mencapai maksimum. Sementara pada saat pasang perbani (*neap tide*), arus pasang surut mencapai minimum. Arus pasang surut dapat berupa *semi-diurnal*, *diurnal*, atau jenis campuran tergantung pada jenis air pasang surut di suatu tempat (Charlier 1982 dalam Minarrohman 2017).

Pengaruh pasang surut sangat besar pada muara-muara sungai (*estuary*). Jadi bila suatu pelabuhan dibangun pada muara-muara sungai, maka dua hal yang perlu diperhatikan seperti navigasi yang melalui muara harus cukup aman dan pengendapan (sedimentasi) harus cukup kecil. Kedua hal tersebut sangat bertentangan. Pihak keamanan navigasi membutuhkan mulut pelabuhan besar, tetapi hal ini menyebabkan kecepatan arus rendah yang akibatnya mempermudah terjadinya sedimentasi. Sebaliknya mulut pelabuhan yang kecil mengurangi keamanan navigasi, tetapi menghindarkan terjadinya pengendapan. Sehingga perlu dicari besaran antara kedua pokok soal tersebut (Kramadibrata 1985).

Secara umum dapat dijelaskan bahwa sebab-sebab terjadinya sedimentasi diakibatkan oleh beberapa aspek diantaranya: (a) akibat arus, (b) akibat pasang surut, dan (c) akibat berat jenis air laut. Namun yang paling menentukan dalam proses pengendapan adalah akibat arus (Kramadibrata 1985).

2.4 Sedimentasi

Pola persebaran arus akan mempengaruhi pola persebaran sedimen, karena jenis sedimen menentukan seberapa nilai kecepatan arus yang diperlukan untuk membuatnya mengendap ataupun bergerak. Menurut Krumbein dan Sloss (1951) dalam Hermanto (1989), sedimentasi berdasarkan ilmu geologi dan stratigrafi adalah proses-proses yang berperan atas terbentuknya batuan sedimen. Sedimen adalah hasil dari proses erosi baik itu permukaan, parit, atau lainnya yang mengendap di daerah kaki bukit genangan banjir, saluran air, sungai dan lainnya umumnya sedimen adalah bagian tanah atau material organik yang terangkut dari suatu tempat yang terbawa sampai mengendap ke lokasi tertentu (Alimuddin 2012).

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. 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). Proses pengangkutan sedimen dan pengendapannya tidak hanya tergantung dari sifat-sifat sedimen itu sendiri. Sedimentasi terjadi apabila banyaknya sedimen yang terangkut lebih besar daripada kapasitas sedimen yang ada (Alimuddin 2012).

Sedimen yang terdapat dalam dasar perairan, baik terlarut atau tidak terlarut merupakan produk dari pelapukan batuan induk yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan, terutama perubahan iklim. Hasil pelapukan batuan induk tersebut dikenal sebagai partikel-partikel tanah. Oleh karena adanya tranpor sedimen dapat menyebabkan terjadinya pendangkalan dan terbentuknya tanah-tanah baru. Dengan demikian, proses sedimentasi dapat

memberikan dampak yang menguntungkan dan merugikan (Asdak 2001).

2.5 Mekanisme Tranpor Sedimen

Menurut Bambang Triatmodjo (1999) definisi dari tranpor sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya. Tranpor sedimen pantai inilah yang akan menentukan terjadinya sedimentasi atau erosi di daerah pantai.

Tranpor sedimen dapat dibedakan menjadi dua, yaitu tranpor sedimen menuju dan meninggalkan pantai (*onshore-offshore* tranpor) yang memiliki arah rata-rata tegak lurus pantai dan tranpor sepanjang pantai (*longshore* tranpor) yang memiliki arah rata-rata sejajar pantai.

Tranpor sedimen tegak lurus pantai dapat dilihat pada kemiringan pantai dan bentuk dasar lautnya. Proses tranpor sedimen tegak lurus biasanya terjadi pada daerah teluk dan pantai-pantai yang memiliki gelombang yang relatif tenang. Pada saat musim ombak, energi yang terdapat pada gelombang akan menggerus bibir pantai dan menimbulkan erosi yang ditandai dengan adanya dinding pantai.

Tranpor sedimen adalah pergerakan sedimen yang terjadi baik di daerah darat maupun laut yang biasanya dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu gelombang dan arus yang akibatnya adalah merubah topografi darat maupun laut tersebut. Berdasarkan pada jenis sedimentasi dan ukuran partikel-partikel tanah serta komposisi mineral dari bahan induk yang menyusunnya, dikenal bermacam jenis sedimen seperti pasir, liat, dan lain sebagainya. Menurut ukurannya, sedimen dibedakan menjadi beberapa jenis yang diklasifikasikan seperti pada Tabel 2.3:

Tabel 2.3 Klasifikasi Sedimen Berdasarkan Ukuran Partikelnya Menurut Skala Wentworth (Wentworth 1922)

Klasifikasi	Partikel	Ukuran (mm)
Batu	Bongkah	>256
	Krakal	64-256
	Kerikil	4-64
	Butiran	2-4
Pasir	Pasir sangat kasar	1-2
	Pasir kasar	1/2-1
	Pasir sedang	1/4-1
	Pasir halus	1/8-1/4
	Pasir sangat halus	1/16-1/8
Lanau	Lanau kasar	1/16-1/32
	Lanau sedang	1/128-1/64
	Lanau halus	1/256-1/128
Lempung	Lempung kasar	1/640-1/256
	Lempung sedang	1/1024-1/640
	Lempung halus	1/2360-1/1024
	Lempung sangat halus	1/4096-1/2360

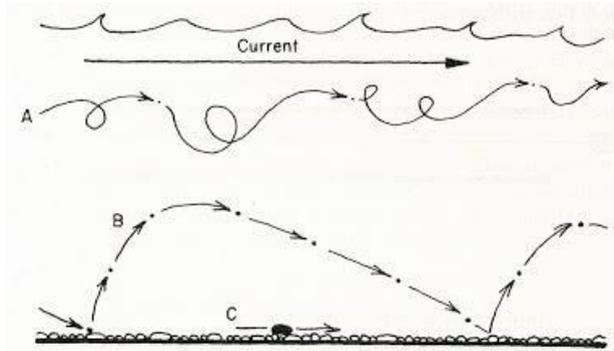
Angkutan sedimen di pantai adalah pergerakan sedimen pada daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus. Angkutan sedimen pantai dapat mengakibatkan perubahan garis pantai baik terjadinya akresi maupun erosi. Angkutan sedimen pantai dapat berupa angkutan sedimen sejajar pantai dan transpor sedimen tegak lurus pantai. Menurut (Graf dan Altinakar 1998), pergerakan sedimen pada perairan dikategorikan menjadi 3 macam, yaitu:

- a. Transpor sedimen dasar (*bed load*). *Bed load* adalah gerak butir sedimen yang selalu berada di dekat dasar saluran atau sungai. Butir sedimen bergerak dengan cara bergeser atau meluncur, mengguling atau dengan lompatan pendek. Transpor dengan cara ini umumnya terjadi pada butir

sedimen yang berukuran relatif besar.

- b. Transpor sedimen suspensi (*suspended solid*). *Suspended solid* adalah gerak butir sedimen yang sekali bersinggungan dengan dasar sungai atau saluran. Butir sedimen bergerak dengan lompatan yang jauh dan tetap didalam aliran. Transpor dengan cara ini umumnya terjadi pada butir sedimen berukuran relatif kecil.
- c. Transpor sedimen (*wash load*). *Wash load* adalah gerak butir sedimen yang hampir tidak pernah bersinggungan dengan dasar sungai atau saluran. Pada *wash load*, butir sedimen bergerak bagaikan digelontorkan oleh aliran dan tidak pernah menyentuh dasar sungai atau saluran. Transpor dengan cara ini umumnya terjadi pada butir sedimen yang berukuran sangat halus.

Pada Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa terdapat beberapa mekanisme yang terjadi pada angkut sedimen. A) *Wash Load*, B) *Suspended Load*, C) *Sliding atau Rolling (Bed Load)*.



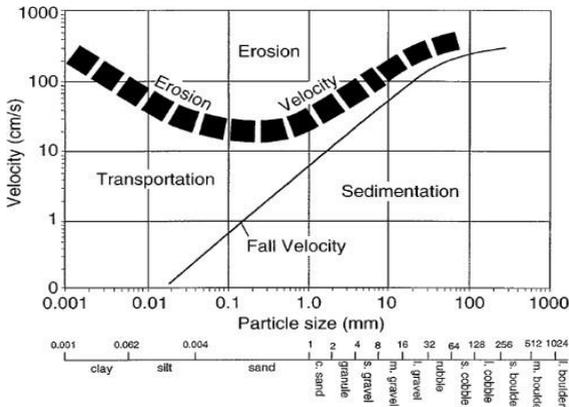
Gambar 2. 2 Mekanisme Angkut Sedimen
(Pratomo 2017)

Mekanisme transpor sedimen dalam hubungannya dengan kecepatan arus dan ukuran butir sedimen dapat direpresentasikan dalam Diagram Hjulstrom (Pratomo 2017). Pada Gambar 2.3 yang

menjelaskan diagram Hjulstrom, kecepatan arus ditunjukkan dalam sumbu y dan ukuran butir sedimen dalam sumbu x. Pada diagram tersebut, apabila diketahui kecepatan arus tertentu, maka dapat dilakukan prediksi terkait dengan mekanisme transport sedimen dengan ukuran butir tertentu. Berikut penjelasan terkait dengan mekanisme transpor sedimen pada diagram Hjulstrom:

- a. Pada area *sedimentation*, maka air dengan kecepatan tersebut tidak dapat membawa material sedimen dan akan mengendap.
- b. Pada area *transporation*, maka air dengan kecepatan tersebut sedikit berpengaruh terhadap material sedimen yaitu diantara mengendap dan terbawa air.
- c. Pada area *erosion*, dengan kecepatan air tersebut material sedimen bisa tererosi dan terbawa air (Krisetyana 2008).

Pada dasarnya, sedimen dalam dua jenis berdasarkan jenis yang ditransportasikan, yaitu kohesif dan non kohesif. Transpor sedimen kohesif sering diistilahkan sebagai suspended load transport karena sifatnya melayang di air. Sedangkan transpor sedimen non kohesif biasa disebut bed load transport. Sedangkan dalam prosesnya, proses transpor sedimen dapat dibagi menjadi tiga tahapan tergantung pada gerakan air dan karakteristik sedimen yang terangkut. Pertama, teraduknya material kohesif dari dasar laut hingga tersuspensi atau lepasnya material non kohesif dari dasar laut. Kedua adalah perpindahan material secara horisontal. Terakhir yaitu pengendapan kembali partikel atau material sedimen tersebut (Pratikto, Armono, dan Suntoyo 1996).



Gambar 2. 3 Diagram Hjulstrom
(Curran dan Sharp 1997)

2.6 Pemodelan Hidrodinamika

Untuk mengetahui pola sebaran sedimen, diperlukan pengetahuan umum terkait dengan pola sebaran arus di area tersebut. Untuk mendapatkan gambaran umum pola sebaran arus di suatu perairan dapat digunakan pemodelan hidrodinamika. Model hidrodinamika adalah simulasi numerik suatu aliran air yang didasarkan pada formulasi persamaan-persamaan matematik yang menggambarkan fenomena fisik aliran, dan penyelesaian persamaan-persamaan tersebut secara numeris. Pada dasarnya, simulasi yang akan dibuat dalam penelitian ini adalah pemodelan terhadap gerak fluida dalam suatu ruangan.

Dalam pemodelan hidrodinamik, model tiga dimensi (3D) jauh lebih baik dibanding model dua dimensi (2D), hal ini disebabkan aliran air tidak konstan terhadap kedalaman. Selain itu, pada model 3D, dapat memberikan gambaran arus di beberapa lapisan, sedangkan pada model 2D hanya dapat memberikan di satu lapisan.



Gambar 2. 4 Perbandingan Antara Model 2D dan 3D
(Cahyana 2005)

Persamaan aliran yang digunakan adalah persamaan Navier Stokes untuk *incompressible fluid* pada perairan. Persamaan ini menyatakan perubahan dalam momentum (percepatan) partikel fluida bergantung pada gaya viskos tekanan eksternal yang bekerja pada fluida dan persamaan kontinuitas, oleh karena itu persamaan Navier-Stokes menjelaskan hubungan kesetimbangan gaya-gaya yang terjadi pada fluida dan memprediksi pergerakan dari suatu fluida (Gunarso 2012). Persamaan kontinuitas dan persamaan momentum digunakan dalam perangkat lunak pemodelan untuk memodelkan arus dan distribusi sedimen.

2.6.1 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas menjelaskan bahwa massa fluida yang masuk ke dalam suatu penampang dan keluar di penampang lain dengan massa yang sama. Debit fluida di seluruh titik penampang adalah sama. Persamaan kontinuitas untuk kedalaman rata-rata diberikan dalam formula dibawah ini:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}\sqrt{G_{\eta\eta}}}} \frac{\partial((d+\zeta)U\sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}\sqrt{G_{\eta\eta}}}} \frac{\partial((d+\zeta)V\sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} = (d + \zeta)Q \quad 2.11$$

Keterangan rumus:

ζ = kedalaman perairan (m)

T = waktu (s)

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

$\sqrt{G_{\eta\eta}}$	= koefisien yang digunakan untuk mentransformasi koordinat kurvilinear ke koordinat kartesian di arah η (m)
d	= kedalaman di bawah referensi permukaan (m)
U	= kecepatan rata-rata kedalaman di arah ξ (m/s)
ξ	= koordinat kurvilinear di arah x
η	= koordinat kurvilinear di arah y
V	= kecepatan aliran di arah η (m/s)
Q	= <i>global source or sink per unit area</i> (debit air = m/s)

$$Q = \int_{-1}^0 (q_{in} - q_{out}) d\sigma + P - E \quad 2.12$$

Keterangan rumus:

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

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

σ = skala koordinat vertikal

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

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

2.6.2 Persamaan Momentum

Persamaan momentum merupakan gaya-gaya yang bekerja pada suatu fluida. Persamaan momentum untuk arah ξ dan η diberikan seperti berikut:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d+\zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} + \\ \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - f v = - \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\xi\xi}}} P_{\xi} + F_{\xi} + \\ \frac{1}{(d+\zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(v v \frac{\partial}{\partial \sigma} \right) + M_{\xi} \end{aligned} \quad 2.13$$

dan

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d+\zeta} \frac{\partial v}{\partial \sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}\sqrt{G_{\eta\eta}}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} - \\ \frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}\sqrt{G_{\eta\eta}}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} + fu = -\frac{1}{\rho_o \sqrt{G_{\eta\eta}}} P_\eta + F_\eta + \\ \frac{1}{(d+\zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(v_v \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + M_\eta \end{aligned} \quad 2.14$$

Keterangan rumus:

v = Kecepatan aliran dalam arah y- atau η - (m/s)

u = Kecepatan aliran dalam arah x atau ξ (m/s)

f = Parameter Coriolis (1/s)

ρ_o = Densitas air (kg/m³)

P = Gradien tekanan hidrostatik di setiap arah (kg/m²s²)

F = Fluks momentum turbulen di setiap arah (m/s²)

M = Momentum *source or sink* di setiap arah (m/s²)

v_v = *Eddy viscosity* (m²/s).

Dalam hal ini, v_v didefinisikan sebagai *vertical eddy viscosity*. P melambangkan gradien tekanan untuk masing-masing arah. Gaya F ada persamaan momentum horizontal. M mewakili kontribusi yang disebabkan oleh *source* atau *sink* eksternal dari momentum (gaya eksternal dari struktur hidraulik, debit atau penarikan air, tekanan gelombang, dan sebagainya). (Rodi 1984 dalam Novico, Astjario, & Bachtiar 2013).

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Hutanti (2018). Penelitian tersebut terletak pada lokasi yang sama yaitu Pelabuhan Tanjung Perak namun menggunakan *software* pemodelan hidrodinamika yang berbeda dan juga tidak menggunakan parameter angin dalam melakukan pemodelan. meneliti tentang analisis pola sebaran sedimen untuk mendukung pemeliharaan kedalaman perairan pelabuhan menggunakan pemodelan hidrodinamika 3D (Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya). Tujuan dari penelitian ini adalah agar 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. Pada penelitian ini data yang digunakan adalah peta laut, peta RBI, data batimetri, pasang surut, *river discharge*, data sampel sedimen, dan perangkat lunak Delft3D untuk melakukan pemodelan hidrodinamika. Hasil dari penelitian ini adalah nilai sebaran sedimen pada kedalaman rata-rata paling besar terjadi pada *spring tide* dan pada daerah perairan Pelabuhan Tanjung Perak yang mengalami sedimentasi paling besar adalah kolam pelabuhan, Terminal Teluk Lamong dan daerah sekitar bangunan jetti.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Pradana (2016). Penelitian tersebut terletak pada lokasi yang sama yaitu Pelabuhan Tanjung Perak dan menggunakan *software* pemodelan hidrodinamika yang sama, namun tidak menggunakan parameter *river discharge*, dan angin dalam melakukan pemodelan. 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 m³/s.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah perairan Teluk Lamong, Surabaya, Jawa Timur. Secara geografis lokasi penelitian ini terletak pada koordinat $7^{\circ}09'59,57''$ LS- $7^{\circ}13'39,66''$ LS dan $112^{\circ}39'28,87''$ BT- $112^{\circ}44'32,62''$ BT, yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Lokasi Teluk Lamong

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini terbagi kedalam data hidro-oseanografi dan data spasial sebagai berikut:

- a. Data hidro-oseanografi yang digunakan dalam penelitian ini:
 - Data batimetri perairan Teluk Lamong, Surabaya,

- Jawa Timur, Indonesia tahun 2018.
 - Data pasang surut air laut Surabaya bulan November dan Desember tahun 2018 yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BIG).
 - Data kecepatan dan arah angin perairan Alur Pelayaran Barat Surabaya bulan November dan Desember tahun 2018 yang didapat dari website ECMWF
 - Data *river discharge* Sungai Kalimas dan sungai-sungai yang bermuara ke Selat Madura/Alur Pelayaran Barat Surabaya dari penelitian sebelumnya
- b. Data spasial yang digunakan dalam penelitian ini:
- Peta Laut Pelabuhan Surabaya dan Gresik dengan skala 1:12500 tahun 2016
 - Peta RBI wilayah Surabaya dengan skala 1:25000 tahun 1999

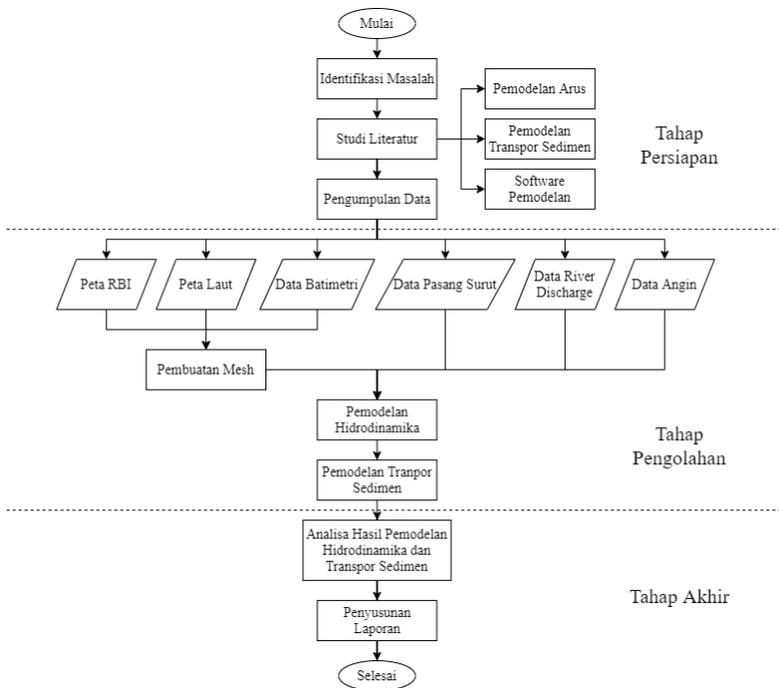
3.2.2 Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya:

- *Software* MIKE21.
Perangkat lunak ini digunakan untuk pemodelan hidrodinamika arus dan sedimen dengan interval waktu 1 jam.
- *Software* ArcGIS 10.5.
Perangkat lunak ini digunakan untuk digitasi data kedalaman dari peta laut dan garis pantai dari peta RBI.
- *Software* Matlab R2014a.
Perangkat lunak ini digunakan untuk pembuatan *script* dalam proses perhitungan konstituen dan plotting data pasang surut.

3.3 Metodologi Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan yaitu:



Gambar 3. 2 Diagram Tahapan Penelitian

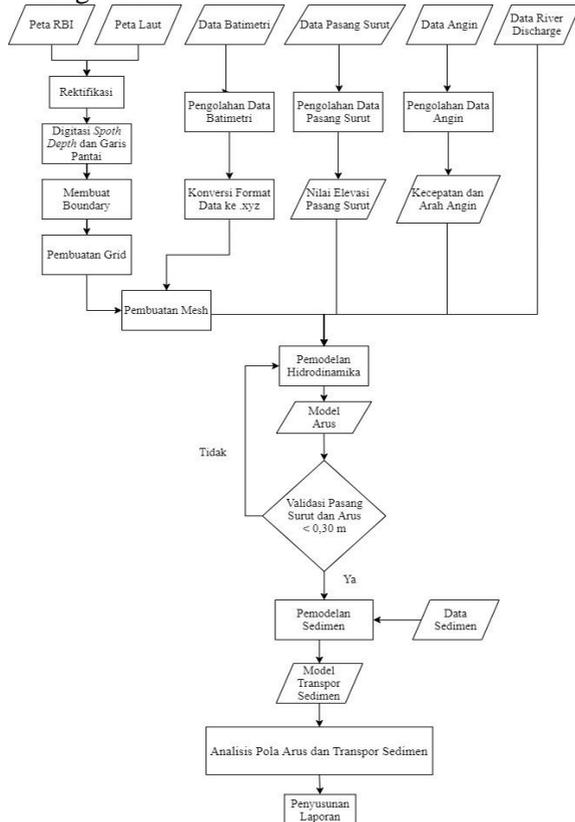
Berikut adalah penjelasan tahapan pada diagram alir pelaksanaan dalam penelitian ini:

3.1.1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan terdiri dari pencarian dan mempelajari berbagai studi literatur yang diperlukan untuk menunjang pelaksanaan penelitian. Pertama mengenai pemodelan arus, dan gelombang, yang kedua mengenai pemodelan tranpor sedimen, yang terakhir adalah perangkat lunak pemodelan. Dalam tahap ini juga dilakukan pengumpulan data sebagai penunjang dalam melakukan pemodelan.

3.1.2. Tahap Pengolahan

Tahap pengolahan data dan analisis terdiri atas beberapa tahapan sebagai berikut:



Gambar 3. 3 Diagram Tahapan Pengolahan

Berikut penjelasan diagram alir di atas:

- Pada penelitian ini diperlukan beberapa data untuk pembuatan model, seperti garis pantai perairan Teluk Lamong, data kedalaman, data angin, data elevasi pasang surut, data sampel sedimen, dan data *river discharge*.

- b. Tahap awal yaitu melakukan digitasi peta RBI wilayah Surabaya. Pada tahap ini diawali dengan melakukan rektifikasi pada peta RBI daerah penelitian untuk mendapatkan file peta yang telah memiliki koordinat yang sesuai. Langkah berikutnya adalah melakukan proses digitasi garis pantai sesuai dengan kenampakan garis pantai pada peta. Data ini nantinya akan digunakan untuk membuat *boundary* pemodelan. Digitasi dilakukan pada perangkat lunak Arcgis. Kemudian garis pantai tersebut di ekspor dalam format *.xyz*.
- c. Tahap kedua yaitu melakukan digitasi *spot depth*. Tujuan dalam proses ini adalah untuk melengkapi data batimetri diluar area pengukuran batimetri di lapangan. Langkah yang dilakukan dalam proses ini tidak jauh berbeda dengan proses digitasi garis pantai. Perbedaan dalam proses ini, digitasi *spot depth* mengacu pada peta laut dan hasil dari proses ini diperoleh informasi titik kedalaman (*spot depth*) berupa koordinat dan informasi kedalaman yang tersimpan dalam format **.shp* dengan *feature class point*. Kemudian garis pantai tersebut di ekspor dalam format *.xyz*.
- d. Tahap Ketiga yaitu pengolahan data pasang surut. Tahap ini dilakukan untuk memperoleh nilai elevasi pasang surut dengan datum vertikal MSL.
- e. Tahap Keempat adalah pengolahan data batimetri. Pada tahap ini dilakukan pengolahan data batimetri untuk memperoleh data kedalaman berupa x, y, dan z dengan datum vertikal MSL yang dikoreksi oleh pasang surut pengukuran. Hasil akhir proses ini berupa data kedalaman yang berisi koordinat dan informasi kedalaman dalam format data XYZ (*.xyz*).
- f. Tahap Kelima pengolahan adalah melakukan pemodelan, yaitu pemodelan hidrodinamika, dan pemodelan sedimen. Proses pemodelan adalah:
 - *Gridding* bertujuan untuk membuat *grid*,

memodifikasi dan mevisualisasikan area pemodelan. Dalam penelitian ini digunakan bentuk berupa *triangular grid* (TIN). Pembuatan TIN dimulai dengan melakukan pemanggilan data batas area pemodelan dan melakukan *Generate Mesh* dan menghasilkan *triangular grid* (TIN). Pada pemodelan ini, boleh juga dilakukan *smoothing* untuk membentuk TIN dengan bentuk segitiga yang lebih seimbang.

- *Mesh Interpolation* yaitu proses memasukan nilai batimetri ke tiap TIN yang sebelumnya sudah dibuat sehingga diperoleh data mesh (TIN dengan informasi kedalaman) untuk keperluan proses selanjutnya.
 - Dengan adanya data *mesh* yang telah dibuat, input parameter pemodelan seperti nilai elevasi pasang surut, data kedalaman berupa x, y, z, data angin, data *river discharge*, dan data.
 - Pemodelan arus dijalankan dengan domain kontur dasar laut perairan teluk lamong dalam format (*mesh*) dengan parameter pasang surut air laut dalam format (.dfs0). Hasil simulasi model berupa kecepatan dan arah arus pada sumbu x dan sumbu y.
 - Pola arus hasil simulasi selanjutnya digunakan untuk memodelkan aliran sedimen dengan tambahan informasi grain size sedimen. Hasil simulasi sedimen berupa nilai *bed level change* yang terjadi di perairan teluk lamong.
- g. Tahap Keenam adalah hasil pemodelan hidrodinamika, pemodelan gelombang dan pemodelan trasnpor sedimen. Hasil pemodelan tersebut berupa model arus, dan model transpor sedimen. Model-model tersebut dapat di dilakukan validasi kualitas. Parameter yang dilakukan validasi kualitas adalah data pasang surut hasil pemodelan dengan data pasang surut dari BIG. Jika kualitas data memenuhi dapat disimpulkan bahwa

algoritma pengolahan data berjalan baik. Validasi data didapat dengan menggunakan RMSE (*Root Mean Square*) dan MAE (*Mean Absolute Error*). Perhitungan (Khotimah 2012) untuk mencari nilai tersebut adalah:

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

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

Dimana:

n: jumlah data

y_i : data lapangan

\bar{y}_i : data hasil pemodelan

Untuk memberikan penafsiran terhadap nilai RMSE dan MAE yang didapatkan, maka diklasifikasikan kedalam Tabel berikut:

Tabel 3.1 Klasifikasi Tingkat Kesalahan RMSE dan MAE
(Khotimah 2012)

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

Jika kualitas data memiliki nilai RMSE dan MAE relatif kecil atau minimum, dapat disimpulkan bahwa algoritma pengolahan data berjalan dengan baik dan sebaliknya.

- h. Tahap Ketujuh adalah dilakukan tahap analisa. Pada tahap ini dilakukan analisa terhadap pola arus dan pola sebaran material sedimen di perairan Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong, Surabaya.

3.1.3. Tahap Akhir

Tahap akhir dari penelitian ini adalah tahap pembuatan laporan dan hasil akhir dari simulasi model transpor sedimen dibuat sebuah video sehingga tersaji lebih menarik.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

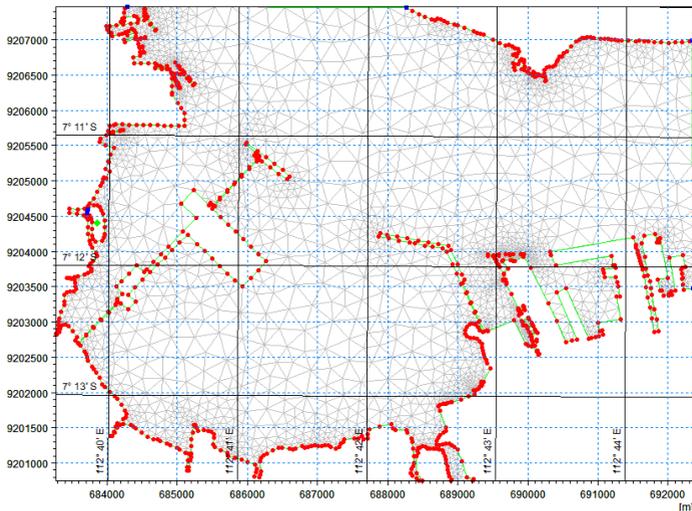
4.1 Bidang Model

4.1.1 Pendefinisian Batas dan Kedalaman

Model domain yang diperoleh merupakan model domain yang telah mencakup wilayah penelitian yaitu perairan Teluk Lamong. Dengan *boundary condition (close boundaries)* mengikuti bentuk garis pantai yang telah didefinisikan melalui *digitasi on screen*. Hasil *mesh* yang telah dianggap baik dan sesuai dengan kebutuhan (tidak terdapat *error*) dijadikan sebagai salah satu masukan data utama dalam pembuatan simulasi model.

Segala bentuk data masukan menggunakan sistem proyeksi UTM-49S. Lokasi penelitian berada pada koordinat $7^{\circ}09'59,57''$ LS- $7^{\circ}13'39,66''$ LS dan $112^{\circ}39'28,87''$ BT- $112^{\circ}44'32,62''$ BT sehingga sistem proyeksi UTM yang digunakan adalah zona 49S. Satuan ukuran yang digunakan untuk menyatakan koordinat (x, y), kedalaman (z), ukuran TIN, dan aspek lain adalah meter (m).

Boundary yang digunakan pada penelitian diambil dari hasil digitasi Peta RBI Surabaya Skala 1:25.000 dengan indeks peta 1608-432. Datum yang digunakan dalam penelitian ini adalah MSL (*Mean Sea Level*) atau muka air rata-rata, sehingga daerah *intertidal* area bisa untuk dilakukan pemodelan. Pada penelitian ini, batas pemodelan dibuat berdasarkan data garis pantai daerah Teluk Lamong dan Pulau Madura dan garis lurus untuk batas perairan.



Gambar 4. 1 *Boundary* Setelah Tsunami

Batas pemodelan tersebut akan digunakan untuk membedakan batas wilayah daratan dengan perairan. Untuk membedakan batas yang berupa garis pantai dan batas laut, maka perlu dilakukan pendefinisian atribut batas.

4.1.2 Desain Model Grid

Setelah mendefinisikan batas model domain, tahap selanjutnya adalah pembuatan *mesh*. *Mesh* adalah sekumpulan titik (*node*) yang saling terhubung hingga membentuk suatu bidang jaring. Pembuatan bidang pemodelan ini dilakukan dengan mendefinisikan batas area yang ingin dimodelkan dengan digitasi garis pantai. Pada penelitian ini, tipe mesh yang digunakan adalah TIN (*Triangular Irregular Network*).

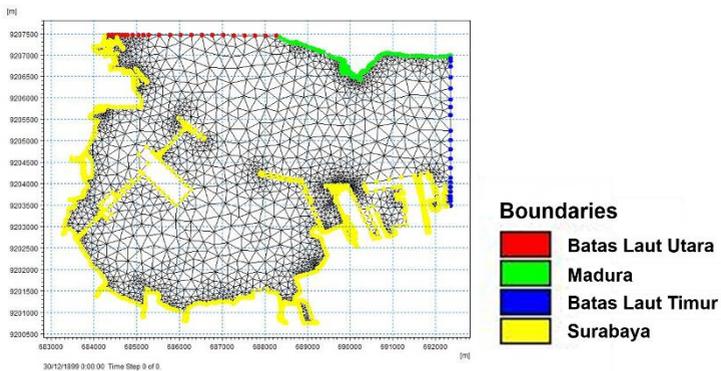
Dalam pembuatan mesh ini, digunakan pengaturan berupa *maximum area*, *minimum angle*, dan *maximum nodes*.

- a) *Maximum area* merupakan besar maksimal tiap model TIN (segitiga) yang akan dibuat. Area maksimum yang

diizinkan dalam meter (m)² atau derajat (°)² sesuai dengan sistem proyeksi yang digunakan. Mesh yang digunakan pada penelitian ini menggunakan unit meter untuk area maksimumnya, karena sistem proyeksi yang digunakan dalam pemodelan ini adalah UTM.

- b) *Minimum angle* merupakan sudut minimal dari tiap model TIN. Parameter ini mengendalikan kecondongan segitiga. Pada pengaturan *minimum angle* ini, memiliki aturan dengan minimal 10° dan maksimal 60°.
- c) *Maximum nodes* adalah banyaknya titik yang akan muncul saat pembuatan model TIN. Jumlah maksimum dari titik yang dihubungkan adalah 100.000 titik.

Hasil proses pembuatan jaring-jaring triangulasi ditampilkan pada Gambar 4.2 sebagai berikut:



Gambar 4. 2 Model TIN

Dalam perairan Teluk Lamong, terdapat dua sisi garis pantai, yaitu pada sisi Pulau Jawa dan Pulau Madura. Titik-titik berwarna kuning adalah garis pantai Pulau Jawa, sedangkan titik-titik berwarna hijau adalah garis pantai Pulau Madura. Setiap titik koordinat dihubungkan dengan garis berwarna merah dan biru yang digunakan sebagai batas bidang model.

Aplikasi pemodelan akan secara otomatis menentukan parameter segitiga yang digunakan berdasarkan dengan data

garis pantai dan pendefinisian batas yang digunakan yaitu sebagai berikut:

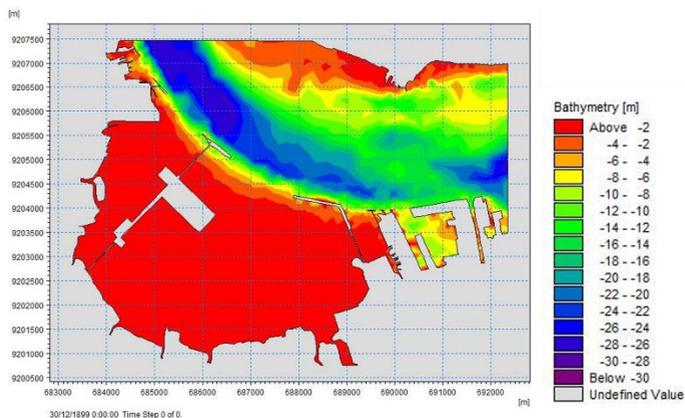
- a) Masing-masing luasan segitiga dalam setiap *mesh* tidak lebih dari 61.000 m².
- b) Masing-masing segitiga dalam setiap *mesh* tidak memiliki sudut yang lebih kecil dari 30°.
- c) Jumlah maksimum dari titik yang dihubungkan adalah 100.000 titik.

Spesifikasi TIN yang dihasilkan pada lokasi penelitian adalah 5.751 jumlah elemen yang terbentuk dari pembuatan TIN, maksud elemen ini adalah jumlah segitiga yang terbentuk pada area pemodelan. Sedangkan 3.541 jumlah titik yang berada dalam tabel adalah jumlah titik-titik yang menghubungkan segitiga-segitiga TIN.

4.1.3 Interpolasi Kedalaman

Data kedalaman merupakan data yang penting dalam pembuatan model domain. Setelah TIN dibentuk, dilakukan pengaturan *smoothing mesh* untuk merapikan triangulasi dalam TIN. Setelah pengaturan triangulasi selesai, data batimetri diinterpolasi dengan cara *natural neighbor* untuk mengisi kekosongan data pada wilayah yang masuk dalam bidang model dengan menggunakan estimasi berdasarkan geometri.

Interpolasi kedalaman dilakukan untuk menentukan kedalaman titik jaring-jaring triangulasi terhadap data kedalaman batimetri. Dalam pembuatan bidang model, interpolasi kedalaman dilakukan untuk mengisi kekosongan data pada wilayah yang masuk dalam bidang model dengan menggunakan estimasi berdasarkan geometri. Hasil interpolasi menunjukkan kedalaman dari bidang model yang ditampilkan pada Gambar 4.3 sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Bidang Model (*Mesh*)

Pada Gambar 4.3 bidang model, kedalaman perairan ditunjukkan dengan kontur warna. Area terdalam dalam perairan adalah daerah alur pelayaran dengan kedalaman diantara 20 m sampai dengan 30 m yang ditunjukkan dengan kontur berwarna biru. Perairan teluk Lamong mempunyai perairan dangkal dibawah 2 m ditunjukkan dengan kontur berwarna merah.

4.2 Pemodelan Arus

Pemodelan Hidrodinamika dilakukan dengan memasukan parameter waktu, angin, pasang surut, *river discharge*, dan kedalam *mesh* yang telah dibentuk. Parameter waktu simulasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Parameter waktu pemodelan

Parameter	Waktu
Waktu simulasi	35 Hari
Warm up time	5 Hari
Time step	960 Time Step
Waktu per time step	1 jam
Tanggal	05 November 2018-14 Desember 2018

Lama waktu simulasi adalah 35 hari dengan jumlah *timestep* 960 dan jarak waktu antar *timestep* adalah satu jam. Tanggal pemodelan dimulai dari tanggal 05-14 Desember 2018 dengan 5 hari awal dari pemodelan digunakan sebagai *warm up* agar model yang dihasilkan memiliki hasil yang stabil.

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

4.2.1 Data Angin

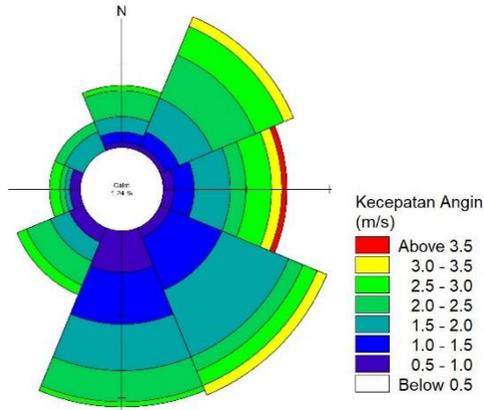
Data angin digunakan sebagai *input* parameter pemodelan arus yang didapatkan dari ECMWF. Data angin diambil pada bulan 5 November-14 Desember 2018 setiap 6 jam. Data angin tersebut ditunjukkan oleh Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Data Angin di Sekitar Teluk Lamong (ECMWF)

Tanggal	Waktu	Kecepatan (m/s)	Arah (<i>Degree</i>)
05/11/2018	00:00:00	1,853	117,768
05/11/2018	06:00:00	3,589	80,404
05/11/2018	12:00:00	3,061	61,578
05/11/2018	18:00:00	1,774	145,012
06/11/2018	00:00:00	1,558	156,942
06/11/2018	06:00:00	2,303	65,950
06/11/2018	12:00:00	2,559	129,201
06/11/2018	18:00:00	2,063	160,292
07/11/2018	00:00:00	1,476	160,815

Tanggal	Waktu	Kecepatan (m/s)	Arah (<i>Degree</i>)
07/11/2018	06:00:00	2,503	44,475
07/11/2018	12:00:00	3,114	98,035
07/11/2018	18:00:00	1,204	163,634
08/11/2018	00:00:00	0,876	128,250
08/11/2018	06:00:00	2,015	19,901
...
14/12/2018	12:00:00	1,929	296,618
14/12/2018	18:00:00	2,028	242,853

Gambaran arah dan kecepatan angin menunjukkan bahwa arah angin setiap 6 jam mayoritas menuju ke arah tenggara dan ke arah selatan (Gambar 4.4). Dari Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa rentang nilai kecepatan angin di Perairan Teluk Lamong selama waktu simulasi (5 November-14 Desember 2018) adalah 0,290 m/s sampai dengan 3,590 m/s. Dengan, kecepatan angin maksimum sebesar 3,590 m/s yang terjadi pada tanggal 5 November 2018 pukul 06:00 WIB. Sedangkan, kecepatan angin minimum terjadi pada tanggal 25 November 2018 pukul 12:00 WIB dengan nilai sebesar 0,290 m/s. Secara keseluruhan, selama simulasi variasi arah angin berkisar dari 0 sampai dengan 360 derajat. Hal ini memiliki arti bahwa variasi arah angin berhembus dari Utara, Timur, Selatan, dan Barat, kemudian bergerak dengan siklus seperti itu secara ajak pada hari-hari tertentu. Dengan mawar angin seperti pada Gambar 4.4, sebagai berikut:



Gambar 4. 4 Diagram Mawar Kecepatan Angin

4.2.2 Data Debit Sungai

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

Pada penelitian (Hutanti 2018) mengenai analisis pola sebaran sedimen untuk mendukung pemeliharaan Pelabuhan Tanjung Perak menyatakan bahwa data yang didapat dari Perum Jasa Tirta I Surabaya adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Debit Rata-rata Sungai di Sekitar Perairan Teluk Lamong

(Perum Jasa Tirta I Surabaya, Hutanti 2018)

No	Nama Sungai	Debit Rata-rata (m ³ /s)
1	Sungai Lamong	19,00
2	Sungai Sememi	4,30
3	Sungai Branjangan	3,60
4	Sungai Manukan	5,80
5	Sungai Greges	3,50
6	Sungai Kalianak	3,50
7	Sungai Kalimas	10,35

Berdasarkan data tersebut, diketahui bahwa sungai yang memiliki debit rata-rata paling tinggi adalah Sungai Lamong dengan nilai 19,00 m³/s, sedangkan sungai dengan debit paling rendah adalah Sungai Greges dan Sungai Kalianak dengan nilai 3,50 m³/s.

4.2.3 Analisis Pasang Surut

Data pengamatan pasang surut dari stasiun Badan Informasi Geospasial (BIG) stasiun Surabaya yang digunakan adalah data pengamatan pasang surut perairan Surabaya mulai tanggal 5 November 2018 sampai dengan tanggal 14 Desember 2018. Sampel data pasang surut BIG stasiun Surabaya pada tanggal 5 November-14 Desember 2018 dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Data Pasang Surut BIG Stasiun Surabaya

Hari	Jam	Elevasi BIG (meter)
05/11/2018	01:00:00	1,410
05/11/2018	02:00:00	1,720
05/11/2018	03:00:00	1,800
05/11/2018	04:00:00	1,700
05/11/2018	05:00:00	1,490
05/11/2018	06:00:00	1,240
05/11/2018	07:00:00	0,940
05/11/2018	08:00:00	0,660
05/11/2018	09:00:00	0,540
05/11/2018	10:00:00	0,590
05/11/2018	11:00:00	0,810
05/11/2018	12:00:00	1,150
05/11/2018	13:00:00	1,570
05/11/2018	14:00:00	1,940

Hari	Jam	Elevasi BIG (meter)
05/11/2018	15:00:00	2,130
05/11/2018	16:00:00	2,130
05/11/2018	17:00:00	1,980
05/11/2018	18:00:00	1,810
05/11/2018	19:00:00	1,480
05/11/2018	20:00:00	1,120
05/11/2018	21:00:00	0,880
05/11/2018	22:00:00	0,740
05/11/2018	23:00:00	0,770
...
14/12/2018	22:00:00	1,340
14/12/2018	23:00:00	1,190

Berdasarkan data pasang surut pada Tabel 4.4 yang kemudian diolah menggunakan metode *Least Square* dengan bantuan perangkat lunak MatlabR2014a hingga diperoleh hasil nilai konstituen sebagai berikut:

Tabel 4.5 Nilai Konstituen Pasang Surut

Konstituen	Amplitudo (m)	<i>Phase</i> (°)
S_0	1,298	
K_1	0,448	-1,872
K_2	0,060	0,629
M_2	0,388	0,754
M_4	0,018	0,407
MS_4	0,013	1,835
N_2	0,064	1,675
O_1	0,236	0,587
P_1	0,155	2,840

Konstituen	Amplitudo (m)	Phase (°)
S ₂	0,253	2,130

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):

Tabel 4.6 Referensi Vertikal

No.	Referensi Tinggi	Formula	Tinggi (m)
1	MSL	S ₀	1,298
2	LWL	S ₀ -(M ₂ +S ₂ +K ₁ +O ₁)	-0,029
3	HWL	S ₀ +(M ₂ +S ₂ +K ₁ +O ₁)	2,624

Selain digunakan untuk menghitung nilai referensi tinggi, nilai konstituen harmonik dapat digunakan untuk mengetahui berbagai informasi mengenai tipe pasang surut di wilayah Perairan Teluk Lamong. Salah satu informasi yang dapat diketahui merupakan tipe pasang surut, dengan perhitungan menggunakan persamaan Formzahl.

Dihasilkan nilai bilangan Formzahl (F) sama dengan 1,066, artinya tipe pasang surut pada perairan Teluk Lamong memiliki tipe campuran condong harian ganda sehingga dalam satu hari bisa terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan ketinggian dan interval yang berbeda (Ulum 2013).

Untuk pemodelan arus dibutuhkan pasang surut yang telah direferensikan pada MSL. Sampel data pasang surut yang direferensikan pada MSL dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7 Data Pasang Surut BIG Terhadap MSL.

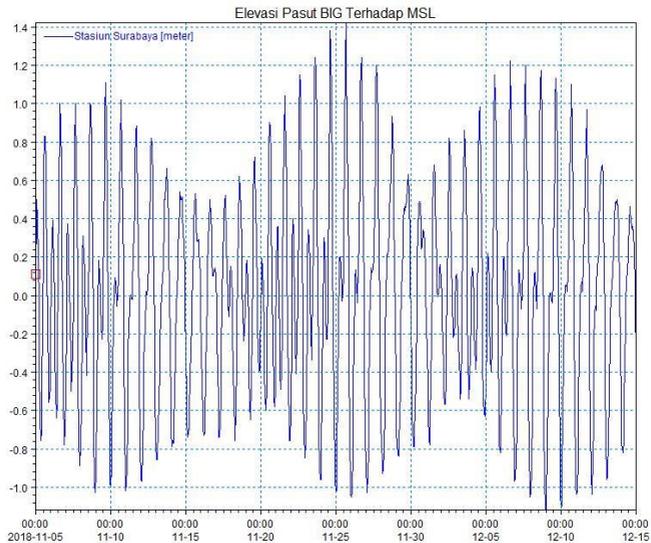
Hari	Jam	Elevasi BIG (meter)
05/11/2018	01:00:00	0,422

Hari	Jam	Elevasi BIG (meter)
05/11/2018	02:00:00	0,502
05/11/2018	03:00:00	0,402
05/11/2018	04:00:00	0,192
05/11/2018	05:00:00	-0,058
05/11/2018	06:00:00	-0,358
05/11/2018	07:00:00	-0,638
05/11/2018	08:00:00	-0,758
05/11/2018	09:00:00	-0,708
05/11/2018	10:00:00	-0,488
05/11/2018	11:00:00	-0,148
05/11/2018	12:00:00	0,272
05/11/2018	13:00:00	0,642
05/11/2018	14:00:00	0,832
05/11/2018	15:00:00	0,832
05/11/2018	16:00:00	0,682
05/11/2018	17:00:00	0,512
05/11/2018	18:00:00	0,182
05/11/2018	19:00:00	-0,178
05/11/2018	20:00:00	-0,418
05/11/2018	21:00:00	-0,558
05/11/2018	22:00:00	-0,528
05/11/2018	23:00:00	-0,478
...
14/12/2018	22:00:00	0,043
14/12/2018	23:00:00	-0,108

Data pengamatan pasang surut dari Badan Informasi Geospasial (BIG) stasiun Surabaya yang digunakan adalah data

pengamatan pasang surut perairan Surabaya yang telah direferensikan Terhadap MSL, mulai tanggal 5 November 2018 sampai dengan tanggal 14 Desember 2018. Dari hasil pengamatan, didapatkan pasang tertinggi terjadi pada tanggal 25 November 2018 pukul 16.00 WIB dengan ketinggian 1,423 m. Sedangkan surut terendah terjadi pada tanggal 09 Desember 2018 pukul 00.00 WIB dengan ketinggian muka air mencapai -1,118 m.

Grafik dari data pengamatan pasang surut dari BIG stasiun Surabaya pada tanggal 5 November 2018 sampai dengan tanggal 14 Desember 2018 ditampilkan pada Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4. 5 Grafik Pasang Surut BIG Stasiun Surabaya

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

digunakan untuk melakukan validasi hasil model. Sampel data pasang surut hasil pemodelan pada tanggal 5 November-14 Desember 2018 dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut:

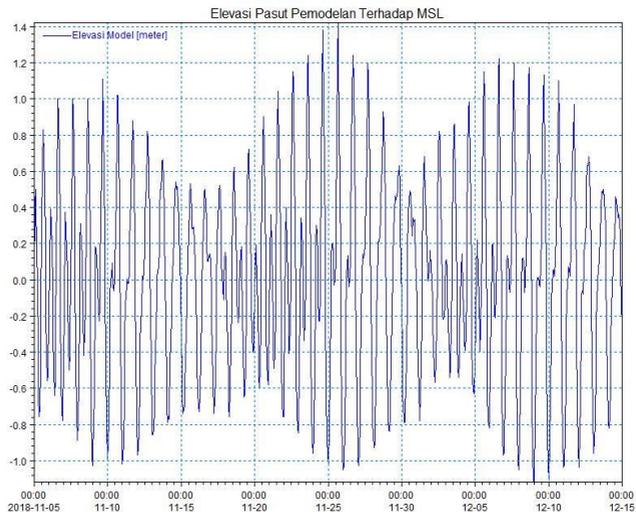
Tabel 4.8 Data Pasang Surut Hasil Pemodelan

Hari	Jam	Elevasi Pemodelan (meter)
05/11/2018	01:00:00	0,422
05/11/2018	02:00:00	0,502
05/11/2018	03:00:00	0,402
05/11/2018	04:00:00	0,192
05/11/2018	05:00:00	-0,058
05/11/2018	06:00:00	-0,358
05/11/2018	07:00:00	-0,638
05/11/2018	08:00:00	-0,758
05/11/2018	09:00:00	-0,708
05/11/2018	10:00:00	-0,488
05/11/2018	11:00:00	-0,148
05/11/2018	12:00:00	0,272
05/11/2018	13:00:00	0,642
05/11/2018	14:00:00	0,832
05/11/2018	15:00:00	0,832
05/11/2018	16:00:00	0,682
05/11/2018	17:00:00	0,512
05/11/2018	18:00:00	0,182
05/11/2018	19:00:00	-0,178
05/11/2018	20:00:00	-0,418
05/11/2018	21:00:00	-0,558
05/11/2018	22:00:00	-0,528

Hari	Jam	Elevasi Pemodelan (meter)
05/11/2018	23:00:00	-0,478
...
14/12/2018	22:00:00	0,042
14/12/2018	23:00:00	-0,108

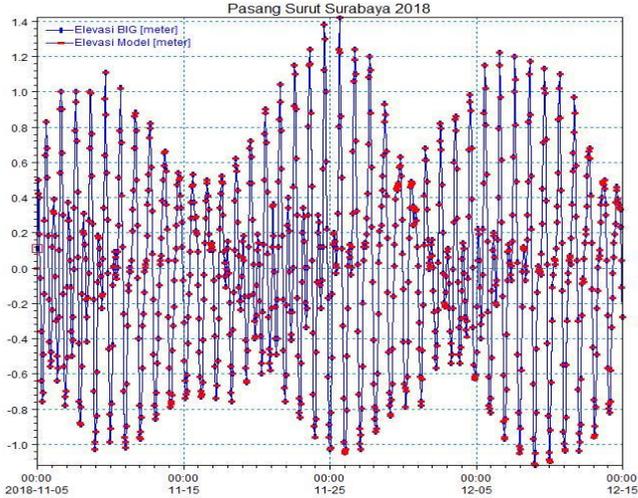
Pada pasang surut pemodelan yang terjadi pada tanggal 5 November 2018 sampai 14 Desember 2018 memiliki pasang tertinggi yang terjadi pada tanggal 25 November 2018 pukul 16.00 WIB dengan ketinggian 1,422 m. Sedangkan surut terendah terjadi pada tanggal 09 Desember 2018 pukul 00.00 WIB dengan ketinggian muka air mencapai -1,118 m.

Grafik dari data pengamatan pasang surut dari hasil pemodelan pada tanggal 5 November 2018 sampai dengan tanggal 14 Desember 2018 ditampilkan pada Gambar 4.6 berikut:



Gambar 4. 6 Grafik Pasang Surut Hasil Pemodelan

Berikut Gambar 4.7 adalah grafik perbandingan pasang surut BIG stasiun Surabaya dengan hasil pasang surut pemodelan menggunakan perangkat lunak Mike21 yang sudah beracuan terhadap MSL.



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Pasang Surut terhadap MSL

Gambar 4.7 menampilkan perbandingan grafik pasang surut BIG dengan pasang surut hasil model yang telah tereferensi muka air laut rata-rata. Terlihat bentuk grafik pasang surut yang terbentuk hampir sama bentuknya.

Dari perbandingan data yang ditunjukkan oleh Gambar 4.7, perlu dilakukan perhitungan validasi dari data hasil pemodelan untuk mengetahui bahwa data yang dihasilkan dapat diterima atau tidak dan mengetahui keakuratan data model yang dihasilkan dengan menggunakan perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE). Khotimah (2012) menyebutkan bahwa, 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. RMSE selalu lebih besar atau sama dengan MAE. Semakin besar beda antara RMSE dan MAE, maka semakin besar pula variasi/perbedaan masing-masing kesalahan pada sampel yang dihitung.

Dalam perhitungan RMSE dan MAE, data yang digunakan untuk melakukan validasi adalah data ukur dengan data model sehingga didapatkan nilai sebesar:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,013}{840}} = 0,004 \text{ m}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}_i| = \frac{1}{840} \times 0,545 = 0,001 \text{ m}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan bahwa nilai *Mean Absolute Error* adalah 0,001 m dan *Root Mean Square Error* adalah 0,004 m yang mendekati nilai 0. Untuk memberikan penafsiran terhadap nilai *Mean Absolute Error* dan *Root Mean Square Error* yang didapatkan, maka digunakan Tabel 4.9:

Tabel 4.9 Klasifikasi Tingkat Kesalahan RMSE dan MAE (Khotimah 2012)

RMSE dan MAE (m)	Tingkat Kesalahan
0,000-0,299	Kecil
0,300-0,599	Sedang
0,600-0,899	Besar
> 0,900	Sangat Besar

Berdasarkan Pedoman Interpretasi RMSE dan MAE di atas, maka nilai tersebut masuk kedalam tingkat kesalahan 0,000 m-0,299 m atau kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa kesesuaian antara data model dengan data validasi dapat dikatakan sangat baik.

Dari grafik yang telah dibuat, dapat diketahui waktu terjadinya pasang surut purnama atau *spring tide* dan pasang

surut perbani atau *neap tide* selama waktu simulasi model seperti pada Tabel 4.10 berikut ini:

Tabel 4.10 Pemodelan saat Pasang Purnama dan Perbani

Keterangan	Tanggal dan Waktu	Tinggi Muka Air (meter)
Pasang Purnama	25/11/2018 16:00	1,422
Surut Purnama	26/11/2018 00:00	-1,048
Pasang Perbani	18/11/2018 00:00	0,152
Surut Perbani	17/11/2018 21:00	-0,108

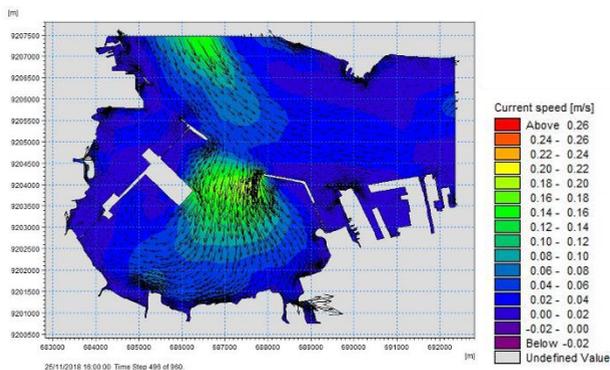
4.2.4 Analisis Model Arus

Analisa pemodelan arus pasang surut dilakukan dalam empat kondisi, yaitu kondisi pasang dan surut disaat *spring tide* dan *neap tide*. *Spring tide* atau pasang surut purnama terjadi pada tanggal 25 dan 26 November 2018 pada pukul 16:00 WIB dan 00:00 WIB untuk masing-masing pasang dan surut. Sementara *neap tide* atau pasang surut perbani terjadi pada tanggal 17 dan 18 November 2018 pada pukul 21:00 WIB untuk surut dan pukul 00:00 WIB untuk pasang. Analisa terhadap hasil pemodelan arus pasang surut dalam masing-masing kondisi adalah sebagai berikut:

- Pasang Surut Purnama

Analisa pemodelan arus pada saat pasang surut purnama (*spring tide*), yaitu tanggal 25-26 November 2018.

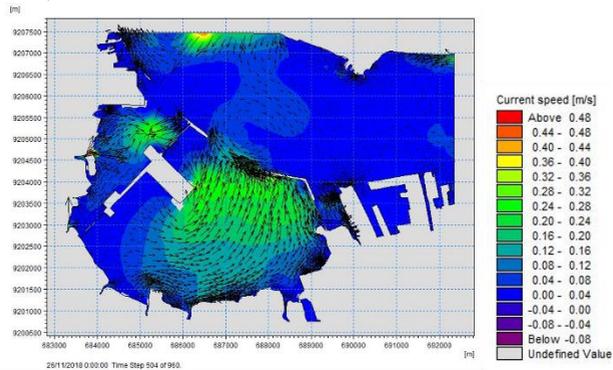
a. Pasang Purnama (25 November 2018 pukul 16:00 WIB)



Gambar 4. 8 Model Arus Pasang Purnama

Dari hasil pemodelan arus saat pasang purnama pada tanggal 25 November 2018 pukul 16:00 WIB, kecepatan arus di perairan Teluk Lamong didapatkan hasil berkisar 0 m/s hingga 0,200 m/s dengan memiliki rata-rata kecepatan sebesar 0,040 m/s. Untuk arah arus pada saat pasang purnama, arah arus yang bergerak dari arah utara menuju ke timur dan masuk kearah pesisir perairan Teluk Lamong. Kecepatan paling tinggi berada pada batas laut utara dan daerah dekat Pelabuhan Tanjung Perak dan Pelabuhan Teluk Lamong. Hal ini dapat disebabkan karena pada batas laut utara merupakan *open boundary* dengan pasang surut sebagai pembangkit dan masuk ke arah Teluk Lamong, kolam pelabuhan dan ke arah timur Selat Madura. Dan ketika masuk kearah pesisir Teluk Lamong, terdapat Pelabuhan Tanjung Perak dan Pelabuhan Teluk Lamong bentuk dermaga menjorok ke perairan sehingga menyebabkan adanya pergerakan arus pada wilayah sekitar Pelabuhan terhalang oleh dermaga.

b. Surut Purnama (26 November 2018 pukul 00:00 WIB)



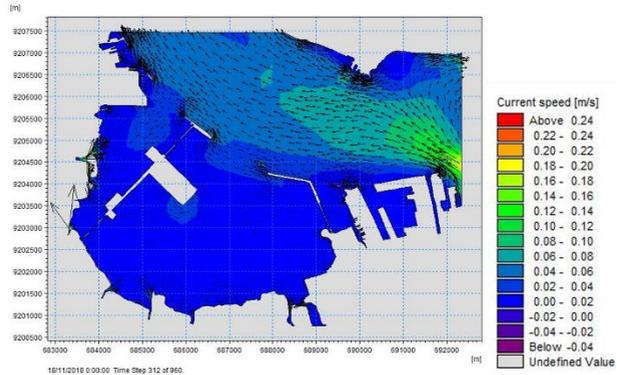
Gambar 4. 9 Model Arus Surut Purnama

Dari hasil pemodelan arus saat surut purnama pada tanggal 26 November 2018 pukul 00:00 WIB, kecepatan arus di perairan Teluk Lamong didapatkan hasil berkisar 0 m/s hingga 0,440 m/s dengan memiliki rata-rata kecepatan sebesar 0,040 m/s. Untuk arah arus pada saat surut purnama, arah arus yang bergerak dari arah pesisir perairan Teluk Lamong menuju ke alur pelayaran. Kecepatan paling tinggi berada pada perbatasan laut bagian utara dan daerah dekat Pelabuhan Tanjung Perak dan Pelabuhan Teluk Lamong. Hal ini dapat disebabkan karena pada batas laut utara merupakan *open boundary* dengan pasang surut sebagai pembangkit. Sedangkan pada daerah dekat Pelabuhan Tanjung Perak dan Pelabuhan Teluk Lamong memiliki kecepatan arus yang tinggi karena arus di daerah pesisir perairan Teluk Lamong berasal dari sumber pembangkit debit sungai-sungai yang bermuara di perairan Teluk Lamong.

- Pasang Surut Perbani

Analisa pemodelan arus pada saat pasang perbani dan surut perbani, yaitu tanggal 17-18 November 2018

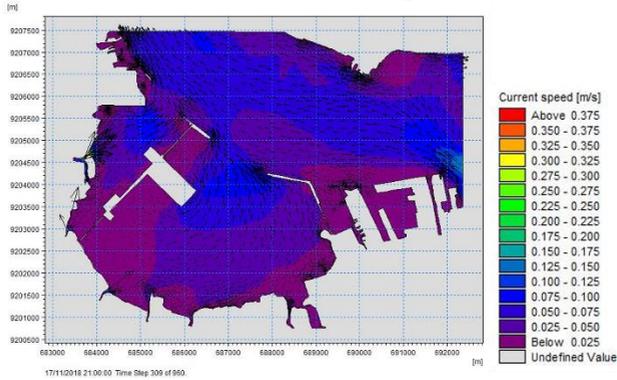
a. Pasang Perbani (18 November 2018 pukul 00:00 WIB)



Gambar 4. 10 Model Arus Pasang Perbani

Dari hasil pemodelan arus saat pasang perbani pada tanggal 18 November 2018 pukul 00:00 WIB, kecepatan arus di perairan Teluk Lamong didapatkan hasil berkisar 0 m/s hingga 0,200 m/s dengan memiliki rata-rata kecepatan sebesar 0,020 m/s. Untuk arah arus pada saat pasang perbani bergerak dari arah timur menuju ke utara. Kecepatan paling tinggi berada pada perbatasan laut bagian selatan. Hal ini dapat disebabkan karena pada batas laut utara merupakan *open boundary* dengan pasang surut sebagai pembangkit. Pada daerah Pelabuhan, khususnya pada bangunan jetti Pelabuhan Tanjung Perak terjadi perputaran arus sehingga hanya sedikit arus yang menuju ke pesisir perairan Teluk Lamong.

b. Surut Perbani (17 November 2018 pukul 21:00 WIB)



Gambar 4. 11 Model Arus Surut Perbani

Dari hasil pemodelan arus saat surut perbani pada tanggal 17 November 2018 pukul 21:00 WIB, kecepatan arus di perairan Teluk Lamong didapatkan hasil berkisar 0 m/s hingga 0,150 m/s dengan memiliki rata-rata kecepatan sebesar 0,025 m/s. Untuk arah arus pada saat surut perbani, arah arus yang bergerak dari arah timur dan juga dari pesisir perairan Teluk Lamong menuju ke utara. Kecepatan paling tinggi berada pada perbatasan laut bagian timur dan daerah alur pelayaran dekat Pelabuhan Tanjung Perak dan Pelabuhan Teluk Lamong. Hal ini dapat disebabkan karena pada batas laut utara merupakan *open boundary* dengan pasang surut sebagai pembangkit. Sedangkan pada daerah dekat Pelabuhan Tanjung Perak dan Pelabuhan Teluk Lamong memiliki kecepatan arus yang tinggi karena arus di daerah pesisir perairan Teluk Lamong berasal dari sumber pembangkit debit sungai-sungai yang bermuara di perairan Teluk Lamong.

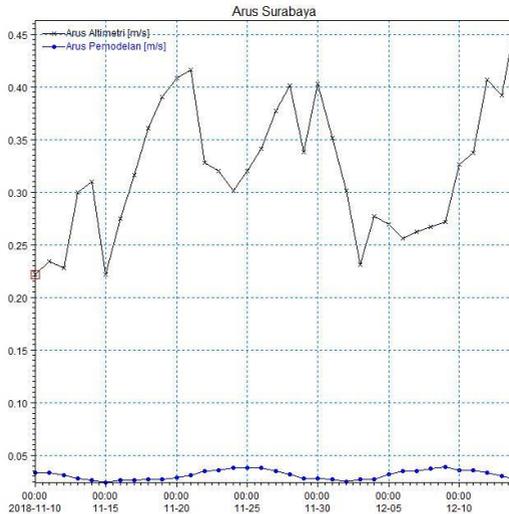
4.2.5 Perbandingan Nilai Arus Hasil Pemodelan dengan Arus Satelit Altimetri

Perbandingan nilai arus satelit altimetri dengan hasil pemodelan digunakan untuk mengetahui perbedaan pada masing-masing metode tersebut. Sama halnya dengan validasi yang dilakukan pada data pasang surut model, proses ini dilakukan untuk mengetahui keakuratan data kecepatan arus yang dihasilkan oleh simulasi model. Sehingga akan diketahui nilai akurasi kecepatan arus model dalam nilai kuantitatif. Berikut adalah perhitungan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE) dari data kecepatan arus:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{n}} = \sqrt{\frac{3,069}{35}} = 0,296 \text{ m/s}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}_i| = \frac{1}{35} \times 10,123 = 0,289 \text{ m/s}$$

Dengan jumlah data sebanyak 35 data kecepatan arus. Dari perhitungan yang telah dilakukan didapatkan nilai MAE dan RMSE sebesar 0,289 m/s dan 0,296 m/s dengan grafik perbandingan nilai kecepatan arus observasi dengan model terlihat pada Gambar 4.12, sebagai berikut:



Gambar 4. 12 Perbandingan Kecepatan Arus Satelit Altimetri dan Model

Perbedaan nilai pengamatan satelit altimetri dengan hasil pemodelan salah satunya disebabkan karena keterbatasan satelit altimetri di wilayah pesisir ataupun perairan yang relatif sempit seperti Teluk Lamong, Surabaya. Selain itu, lintasan satelit altimetri tidak ada yang tepat melalui Teluk Lamong sehingga nilai kecepatan yang diperoleh merupakan hasil dari interpolasi.

4.3 Pemodelan Pola Sebaran Sedimen

Selain parameter yang sudah disebutkan pada sub-bab sebelumnya, parameter lain yang digunakan dalam *input* model adalah ukuran butir sedimen yang didapatkan berdasarkan hasil dari Tugas Akhir Pemodelan Aliran Material Sedimen Akibat Arus Pasang Surut untuk Pemeliharaan Kedalaman Perairan Pelabuhan (Studi Kasus : Pelabuhan Tanjung Perak-Teluk Lamong, Surabaya), bahwa hasil dari analisa ukuran butir sedimen yang dilakukan pada dasar perairan Tanjung Perak memiliki ukuran

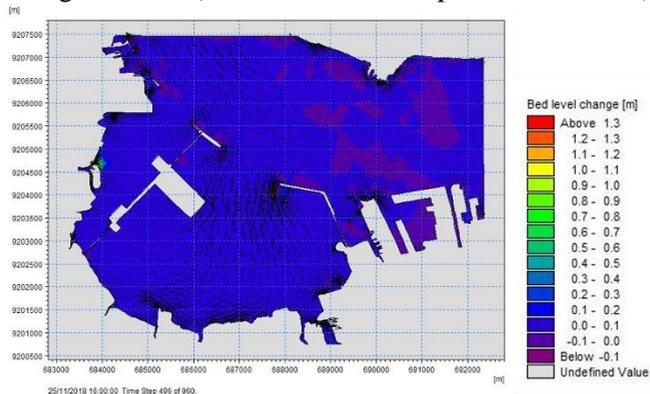
butir sedimen dengan ukuran dominan adalah 0,010-4,000 mm berupa pasir, butiran halus (lanau), dan kerikil.

Simulasi dilakukan selama 35 hari dengan tambahan kondisi *spin up* dan *warming up* selama 5 hari diawal pemodelan seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya sehingga awal pemodelan dimulai pada *time step* 121 dengan interval pemodelan adalah 1 jam dengan jumlah total *time step* sebanyak 960. Jenis sedimen yang dimodelkan adalah sedimen pasir dengan nilai *grain size* 0,200 mm.

4.3.1 Analisa Pola Sebaran Sedimen

Analisa pemodelan sebaran sedimen dilakukan dalam empat kondisi, yaitu kondisi pasang dan surut disaat *spring tide* dan *neap tide*.

- Pasang Purnama (25 November 2018 pukul 16:00 WIB)



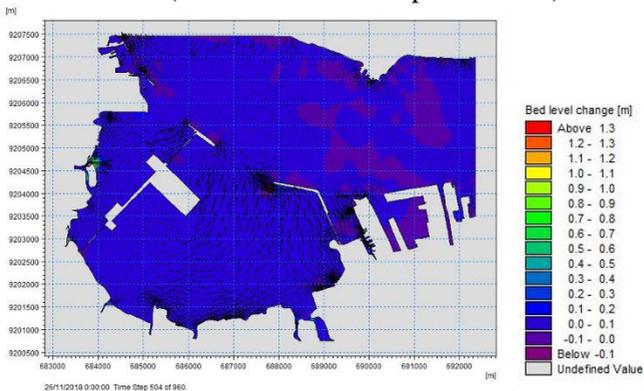
Gambar 4. 13 Model Sediment Pasang Purnama

Pada Gambar 4.13 menunjukkan perubahan dasar laut yang terjadi ketika pasang purnama. Dari hasil pemodelan menunjukkan besar perubahan dasar laut akibat pergerakan sedimen memiliki nilai penurunan hingga lebih dari -0,100 m dan kenaikan hingga lebih dari 0,800 m. Walaupun pada hasil terlihat dominan nilai

penurunan dan kenaikan secara urut adalah $-0,100$ m dan $0,200$ m. Namun dapat dilihat juga kenaikan dan penurunan tersebut terjadi di daerah Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Teluk Lamong, alur pelayaran, dan sungai-sungai yang bermuara ke Teluk Lamong.

Dengan memperhatikan vektor arah yang dibentuk pada Gambar 4.13 dapat diketahui bahwa saat pasang purnama sedimen cenderung bergerak dari arah barat (kiri) yaitu Batas Laut Utara masuk ke perairan Teluk Lamong, menuju ke arah timur (kanan). Terjadinya pasang tertinggi saat pasang purnama dan surut terendah saat surut purnama, menjadi faktor utama penyebab terbentuknya pola arah pergerakan sedimen seperti tersebut.

- Surut Purnama (26 November 2018 pukul 00:00)



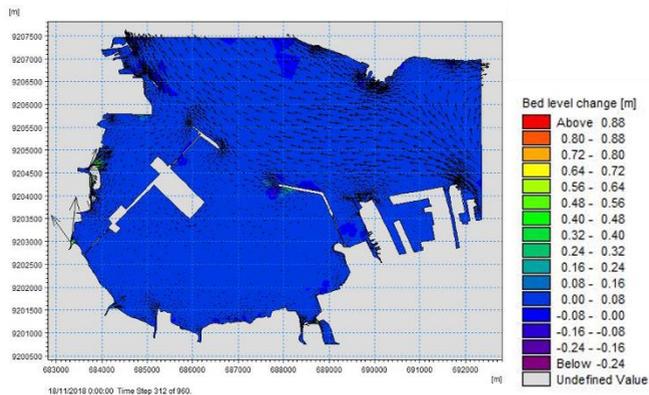
Gambar 4. 14 Model Sediment Surut Purnama

Pada Gambar 4.14 menunjukkan perubahan dasar laut yang terjadi ketika surut purnama. Dari hasil pemodelan menunjukkan besar perubahan dasar laut akibat pergerakan sedimen memiliki nilai penurunan hingga lebih dari $-0,100$ m dan kenaikan hingga lebih dari $0,800$ m. Walaupun pada hasil terlihat dominan nilai penurunan dan kenaikan secara urut adalah $-0,100$ m dan

0,200 m. Namun dapat dilihat juga kenaikan dan penurunan tersebut terjadi di daerah antara Pelabuhan Teluk Lamong, Pelabuhan Tanjung Perak, alur pelayaran, dan Sungai Lamong.

Dengan memperhatikan vektor arah yang dibentuk pada Gambar 4.14 dapat diketahui bahwa pada saat surut purnama sedimen bergerak keluar dari sungai ke pesisir perairan Teluk Lamong, kemudian menuju ke Alur Pelayaran Barat Surabaya. Terjadinya pasang tertinggi saat pasang purnama dan surut terendah saat surut purnama, menjadi faktor utama penyebab terbentuknya pola arah pergerakan sedimen seperti tersebut, dan kondisi kecepatan debit sungai yang besar di Sungai Lamong.

- Pasang Perbani (18 November 2018 pukul 00:00)



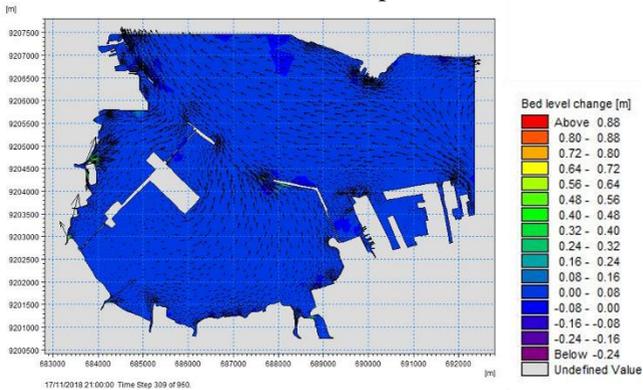
Gambar 4. 15 Model Sediment Pasang Perbani

Pada Gambar 4.15 menunjukkan perubahan dasar laut yang terjadi ketika pasang perbani. Dari hasil pemodelan menunjukkan besar perubahan dasar laut akibat pergerakan sedimen memiliki nilai penurunan hingga lebih dari -0,160 m dan kenaikan hingga lebih dari 0,480 m. Walaupun pada hasil terlihat dominan nilai

penurunan dan kenaikan secara urut adalah $-0,080$ m dan $0,160$ m. Namun dapat dilihat juga kenaikan dan penurunan tersebut terjadi di daerah Pelabuhan Tanjung Perak khususnya pada bangunan jetti.

Dengan memperhatikan vektor arah yang dibentuk pada Gambar 4.15 dapat diketahui bahwa pada saat pasang perbani sedimen bergerak dari arah timur (kanan) yaitu Batas Laut Timur masuk ke perairan Teluk Lamong, menuju ke arah utara (kiri) yaitu Batas Laut Utara.

- Surut Perbani (17 November 2018 pukul 21:00 WIB)



Gambar 4. 16 Model Sediment Surut Perbani

Pada Gambar 4.16 menunjukkan perubahan dasar laut yang terjadi ketika surut perbani. Dari hasil pemodelan menunjukkan besar perubahan dasar laut akibat pergerakan sedimen memiliki nilai penurunan hingga lebih dari $-0,160$ m dan kenaikan hingga lebih dari $0,480$ m. Walaupun pada hasil terlihat dominan nilai penurunan dan kenaikan secara urut adalah $-0,080$ m dan $0,080$ m. Namun dapat dilihat juga kenaikan dan penurunan tersebut terjadi di daerah Pelabuhan Tanjung Perak, sungai lamong, dan sekitar pesisir perairan Teluk Lamong.

Dengan memperhatikan vektor arah yang dibentuk pada Gambar 4.16 dapat diketahui bahwa pada saat surut perbani sedimen bergerak keluar dari sungai ke pesisir perairan Teluk Lamong, kemudian menuju ke Alur Pelayaran Barat Surabaya dan menuju ke Batas Laut Utara. Hal ini dapat di sebabkan karena kondisi kecepatan debit sungai yang besar di Sungai Lamong.

Dari hasil pengamatan pada saat pasang dan surut purnama maupun perbani, nilai sebaran sedimen paling besar terjadi pada saat pasang surut purnama (*spring tide*) dengan memiliki nilai penurunan hingga lebih dari -0,100 m dan kenaikan hingga lebih dari 0,800 m, dengan nilai dominan penurunan dan kenaikan secara urut adalah -0,100 m dan 0,200 m. 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).

4.3.2 Analisa Dampak Sedimentasi Terhadap Pelabuhan

Dari pengamatan pola sebaran sedimen, dapat diketahui bahwa adanya pola sebaran sedimen memberikan juga memberikan dampak yang cukup signifikan terhadap perubahan kedalaman suatu perairan, khususnya terhadap lokasi pelabuhan. Perubahan kedalaman ini diakibatkan berpindahnya material sedimen dari suatu tempat ke tempat lain di dasar perairan. Area dimana terjadi penumpukan material sedimen (sedimentasi) akan mengalami pendangkalan, sedangkan area yang ditinggalkan material sedimen akan bertambah dalam.

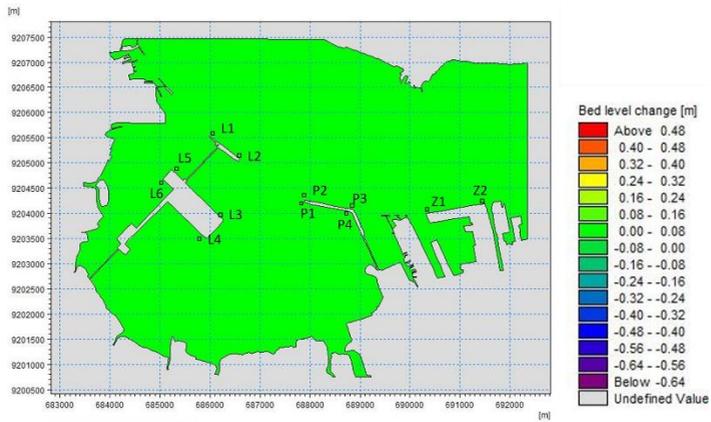
Penentuan area pemeliharaan pelabuhan dilakukan dengan melihat perubahan kedalaman yang terjadi akibat perpindahan material sedimen. Semakin besar perubahan kedalaman, menunjukkan semakin banyak tumpukan material

sedimen di dasar perairan. Sehingga dapat dilakukan analisis dampak yang disebabkan karena adanya pola sebaran sedimen di sekitar Pelabuhan yang ada di perairan Teluk Lamong. Pengamatan dilakukan dengan interval satu minggu, dan dilakukan hingga minggu kelima. Data perubahan kedalaman dilakukan dengan melakukan ekstraksi model pada 12 titik random di daerah pengamatan. Koordinat titik random yang diamati dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut:

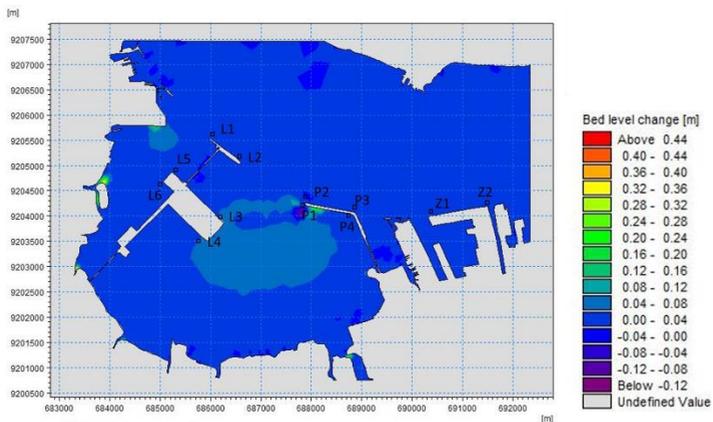
Tabel 4.11 Koordinat Titik Random Pengamatan Perubahan Kedalaman

Pelabuhan	Nama Titik	Koordinat (m)	
		<i>Easting</i>	<i>Northing</i>
Teluk Lamong	L1	685995,000	9205536,000
	L2	686500,000	9205180,000
	L3	686325,600	9203831,000
	L4	686023,600	9203529,000
	L5	685250,000	9204860,000
	L6	685050,000	9204660,000
Tanjung Perak	P1	687772,600	9204254,000
	P2	687791,500	9204353,000
	P3	688800,000	9204100,000
	P4	688775,800	9204021,000
Zamrud	Z1	690400,000	9204050,000
	Z2	691000,000	9204120,000

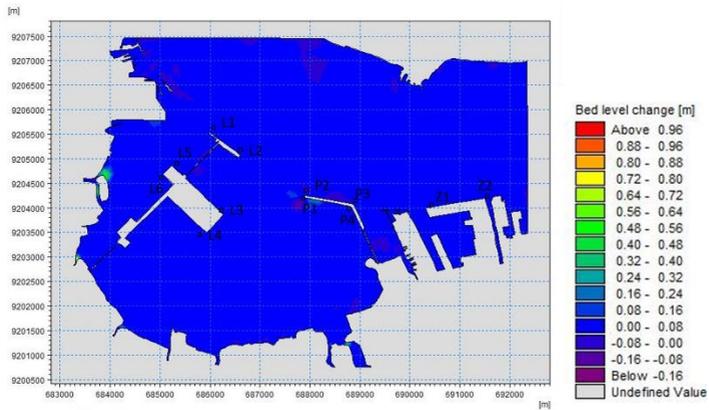
Pola perubahan kedalaman pada titik random pengamatan dapat dilihat pada Gambar 4.17 sampai dengan Gambar 4.21 berikut:



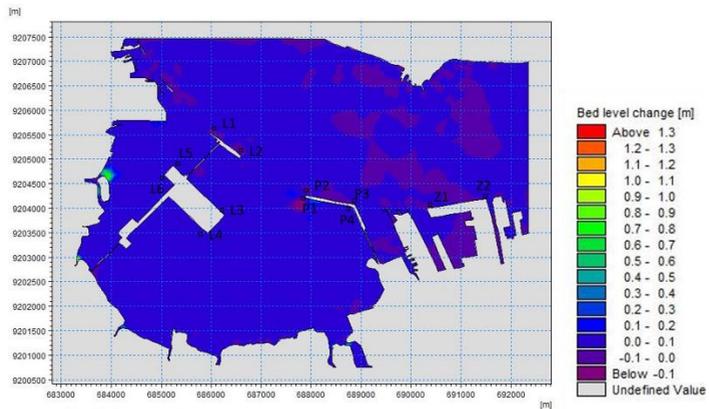
Gambar 4. 17 Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Pertama



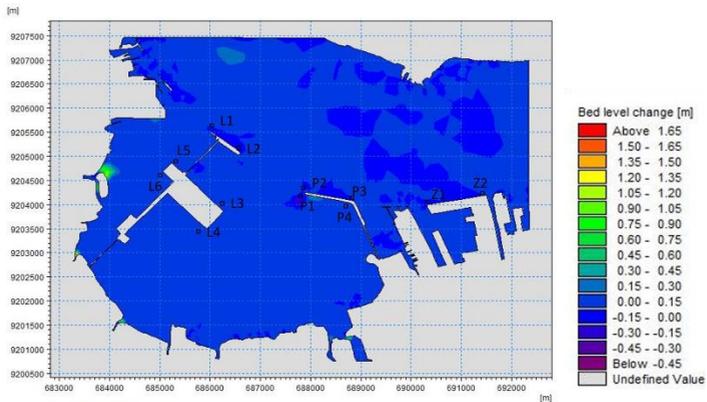
Gambar 4. 18 Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Kedua



Gambar 4. 19 Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Ketiga



Gambar 4. 20 Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Keempat



Gambar 4. 21 Pola Perubahan Kedalaman Perairan Pelabuhan Minggu Kelima

Perubahan kedalaman setiap titik pengamatan dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut:

Tabel 4.12 Perubahan Kedalaman Pelabuhan

Pelabuhan	Nama Titik	Perubahan Kedalaman (mm)				
		Minggu ke-1	Minggu ke-2	Minggu ke-3	Minggu ke-4	Minggu ke-5
Teluk Lamong	L1	0,000	0,000	-0,010	-0,010	-0,010
	L2	0,000	0,000	-0,075	-0,179	-0,179
	L3	47,701	51,494	53,466	69,815	83,395
	L4	42,339	42,113	73,113	98,256	138,634
	L5	21,500	25,707	33,682	105,091	138,675
	L6	16,771	17,774	35,955	85,167	117,283
Tanjung Perak	P1	49,304	54,100	37,061	29,379	40,676
	P2	3,533	4,469	5,454	7,061	11,337
	P3	0,000	-0,026	-0,343	-0,911	-0,911
	P4	2,096	2,175	2,341	2,554	2,726
Zamrud	Z1	0,000	0,000	-0,002	-0,014	-0,014

Pelabuhan	Nama Titik	Perubahan Kedalaman (mm)				
		Minggu ke-1	Minggu ke-2	Minggu ke-3	Minggu ke-4	Minggu ke-5
Zamrud	Z2	0,000	0,000	-0,001	-0,012	-0,012

Pada minggu pertama, tidak terjadi perubahan kedalaman yang signifikan di semua titik. Namun, perubahan kedalaman menunjukkan pendangkalan dan penambahan kedalaman yang bervariasi di semua kolam pelabuhan. Perubahan kedalaman terbesar terjadi di kolam Pelabuhan Tanjung Perak pada titik P1 koordinat 687772,600 m; 9204254,000 m dengan pendangkalan sebesar 49,304 mm. Sedangkan pada titik L1, L2, P3, Z1, dan Z2 tidak mengalami perubahan kedalaman. Hal ini dikarenakan sedimen yang terbawa masuk oleh arus tidak sebanding dengan sedimen yang terbawa ke luar, dan pada Pelabuhan Tanjung Perak khususnya bangunan jetti pergerakan sedimen terlahang sehingga sebagian besar mengendap.

Pada minggu kedua, perubahan kedalaman terhadap kedalaman awal terlihat lebih besar. Perubahan kedalaman terbesar terjadi di kolam Pelabuhan Tanjung Perak pada titik P1 koordinat 687772,600 m; 9204254,000 m dengan pendangkalan sebesar 54,100 mm. Sedangkan perubahan kedalaman terkecil terjadi di kolam Pelabuhan Tanjung Perak pada titik P3 dengan koordinat 688800,000 m; 9204100,000 m dengan penambahan kedalaman sebesar -0,026 mm. Pada titik L1, L2, Z1, dan Z2 masih tidak mengalami perubahan kedalaman. Hal ini terjadi dikarenakan besarnya arus yang berasal dari debit sungai cukup tinggi, sehingga arus yang terbentuk dapat menggerakkan sedimen dan terbawa keluar dari pesisir Teluk Lamong menuju ke alur pelayaran. Karena pada Pelabuhan Tanjung Perak khususnya bangunan jetti memiliki bentuk bangunan menjorok ke perairan sehingga pergerakan sedimen yang terbawa akibat debit air sungai tersebut terlahang, dan sebagian besar mengendap di titik P1.

Pada minggu ketiga, perubahan kedalaman terbesar terjadi di kolam Pelabuhan Teluk Lamong pada titik L4 koordinat 686023,600 m; 9203529,000 m dengan pedangkalan sebesar 73,113 mm. Sedangkan perubahan kedalaman terkecil terjadi di kolam Pelabuhan Zamrud di titik Z2 dengan koordinat 691000,000 m; 9204120,000 m dengan penambahan kedalaman sebesar -0,001 mm. Dari tiap titik dapat dilihat sudah bervariasi memiliki nilai pendangkalan dan penambahan kedalaman pada minggu ketiga ini. Hal ini dikarenakan sedimen yang terbawa masuk oleh arus tidak sebanding dengan sedimen yang terbawa ke luar, dan pada Pelabuhan Teluk Lamong khususnya pada titik L4 pergerakan sedimen mengarah ke daratan Pelabuhan, sehingga sedimen tidak dapat bergerak dan terjadi pengendapan sedimen (sedimentasi).

Pada minggu keempat, perubahan kedalaman terbesar terjadi di kolam Pelabuhan Teluk Lamong pada titik L5 koordinat 685250,000 m; 9204860,000 m dengan pedangkalan sebesar 105,091 mm. Sedangkan perubahan kedalaman terkecil terjadi di kolam Pelabuhan Teluk Lamong pada titik L1 dengan koordinat 685995,000 m; 9205536,000 m dengan penambahan kedalaman sebesar -0,010 mm. Hal ini terjadi dikarenakan besarnya arus yang berasal dari debit sungai cukup tinggi, sehingga arus yang terbentuk dapat menggerakkan sedimen dan terbawa keluar dari pesisir Teluk Lamong menuju ke alur pelayaran. Karena pada Pelabuhan Teluk Lamong memiliki bentuk bangunan menjorok ke perairan dan pada titik L5 pergerakan sedimen mengarah ke daratan Pelabuhan, sehingga pergerakan sedimen tersebut mengarah ke daratan Pelabuhan dan terhalang, dan sebagian besar mengendap di titik L5.

Pada minggu kelima, perubahan kedalaman terbesar terjadi di kolam Pelabuhan Teluk Lamong pada titik L5 dengan koordinat 685250,000 m; 9204860,000 m. Pada titik tersebut mengalami pendangkalan kedalaman sebesar 138,675 mm. Sedangkan perubahan kedalaman terkecil terjadi pada titik L1 dengan koordinat 685995,000 m; 9205536,000 m dengan

penambahan kedalaman sebesar $-0,010$ mm. Hal ini terjadi dikarenakan besarnya arus yang berasal dari debit sungai cukup tinggi, sehingga arus yang terbentuk dapat menggerakkan sedimen dan terbawa keluar dari pesisir Teluk Lamong menuju ke alur pelayaran. Karena pada Pelabuhan Teluk Lamong memiliki bentuk bangunan menjorok ke perairan dan sedimen yang terbawa masuk oleh arus tidak sebanding dengan sedimen yang terbawa ke luar khususnya pada titik L5, sehingga pergerakan sedimen tersebut terlahang dan sebagian besar mengendap di titik L5.

Dari Tabel 4.11 dapat diketahui bahwa aktivitas pendangkalan/penambahan banyak terjadi di sekitar Pelabuhan Teluk Lamong dan Tanjung Perak. Melalui 6 sampel titik pengamatan pendangkalan/penambahan di pelabuhan Teluk Lamong terdapat 4 titik yang mengalami pendangkalan kedalaman, dengan perubahan kedalaman pada minggu kelima simulasi terbesar adalah $138,675$ milimeter pada titik sampel L5. Pada pelabuhan Tanjung Perak, melalui 4 sampel titik pengamatan pendangkalan/penambahan di pelabuhan Teluk Lamong terdapat 3 titik yang mengalami pendangkalan kedalaman, dengan perubahan kedalaman terbesar pada minggu kedua simulasi sebesar $54,100$ milimeter pada titik sampel P1. Sedangkan di pelabuhan Zamrud dominan mengalami aktivitas penambahan kedalaman dari 2 titik sampel, dengan besar perubahan kedalaman dikondisi minggu kelima simulasi sebesar $-0,014$ milimeter.

Evaluasi dampak pola sebaran sedimen terhadap pelabuhan dapat dilihat dari beberapa kondisi yang telah dijelaskan pada pola penambahan/pendangkalan kedalaman serta nilai perubahan kedalaman yang terjadi. Dapat diketahui bahwa pola sebaran sedimen yang terbentuk di Perairan Teluk Lamong ini mempengaruhi keberadaan pelabuhan di perairan tersebut. Dengan memperhatikan aktivitas penambahan/pendangkalan yang terjadi serta besar nilai perubahan kedalaman, diketahui bahwa pola sebaran sedimen

sangat mempengaruhi kondisi morfologi dasar laut, khususnya di sekitar Pelabuhan yang ada di sekitar perairan Teluk Lamong. Pendangkalan atau sedimentasi terbesar terjadi pada Pelabuhan Teluk Lamong dengan pendangkalan sebesar 138,675 mm/bulan yang terjadi pada titik L5 dengan koordinat 685250,000 m; 9204860,000 m. Sedangkan penambahan kedalaman terbesar terjadi pada Pelabuhan Tanjung Perak dengan penambahan sebesar -0,911 mm/bulan yang terjadi pada titik P3 dengan koordinat 688800,000 m; 9204100,000 m.

Tipe pelabuhan Teluk Lamong dan Tanjung Perak merupakan pelabuhan yang menjorok ke laut sehingga sisi depannya berada pada kedalaman yang cukup untuk merapat kapal. Memperhatikan kondisi Pelabuhan Teluk Lamong dan Pelabuhan Tanjung Perak yang mengalami penambahan/pendangkalan kedalaman akan memberikan dampak terhadap morfologi dasar lautnya. Sehingga perlu dilakukan monitoring dan kegiatan pengerukan sedimen secara berkala. Jika hal tersebut tidak dilakukan, dapat menyebabkan terganggunya aktivitas pelayaran di pelabuhan Teluk Lamong dan Tanjung Perak, seperti karamnya kapal.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

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. Pola arus pada saat pasang dan surut mengalami perbedaan baik pada arah dan kecepatan. Kecepatan arus terbesar terjadi pada saat surut purnama dengan kecepatan arus berkisar antara 0 m/s hingga 0,440 m/s dengan arah arus pada saat surut purnama bergerak dari arah pesisir perairan Teluk Lamong menuju ke alur pelayaran. Sedangkan kecepatan arus terkecil terjadi pada saat surut perbani dengan kecepatan arus berkisar 0 m/s hingga 0,150 m/s dengan arah arus yang bergerak dari arah timur dan juga dari pesisir perairan Teluk Lamong menuju ke utara.
2. Pola sebaran sedimen yang ada di Perairan Teluk Lamong menyebabkan adanya aktivitas penambahan/pendangkalan kedalaman, dengan aktivitas terbesar terjadi di wilayah muara sungai dan di sekitar bangunan pelabuhan. Nilai sebaran sedimen pada kedalaman rata-rata paling besar terjadi pada pasang dan surut purnama (*spring tide*). Pada saat pasang dan surut purnama, pergerakan sedimen memiliki nilai hingga lebih dari -0,100 m dan kenaikan hingga lebih dari 0,800 m, dengan memiliki nilai dominan nilai penurunan dan kenaikan secara urut adalah -0,100 m dan 0,200 m.
3. Pola sebaran sedimen yang terbentuk di Perairan Teluk Lamong mempengaruhi keberadaan dermaga kondisi morfologi dasar laut di sekitar pelabuhan, baik itu Pelabuhan Teluk Lamong, Tanjung Perak, maupun Zamrud. Pendangkalan atau sedimentasi terbesar terjadi pada Pelabuhan Teluk Lamong dengan pendangkalan sebesar

138,675 mm/bulan yang terjadi pada titik L5 dengan koordinat 685250,000 m; 9204860,000 m. Sedangkan penambahan kedalaman terbesar terjadi pada Pelabuhan Tanjung Perak dengan penambahan sebesar -0,911 mm/bulan yang terjadi pada titik P3 dengan koordinat 688800,000 m; 9204100,000 m.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis untuk penelitian ke depannya adalah:

1. Untuk menghasilkan model yang lebih terpercaya sebaiknya dilakukan validasi arus dengan arus yang diukur di lapangan.
2. Untuk penelitian pemodelan selanjutnya dapat dilakukan dengan menambah parameter pemodelan seperti suhu, tekanan, dan salinitas sebagai parameter masukan model, agar pemodelan bisa lebih mendekati kondisi lapangan.
3. Pemodelan dapat dibuat dengan dilakukan survei batimetri secara periodik untuk validasi model yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adibhusana, M. N., Hendrawan, I. G., dan Karang, I. W. G. A. 2016. "Model Hidrodinamika Pasang Surut di Perairan Pesisir Barat Kabupaten Badung, Bali." *Journal of Marine and Aquatic Sciences* 2: 54–56.
- Alimuddin, Aisyah. 2012. "Pendugaan Sedimentasi Pada DAS Mamasa Di Kab. Mamasa Propinsi Sulawesi Barat." Universitas Hasanudin Makassar. Universitas Hasanudin Makassar.
- Asdak, Chay. 2001. "Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai". Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Aziz, Muhammad Rinaldi Fauzan. 2019. Optimasi Penggunaan Sedimen Trap Pada Alur Pelayaran Barat Surabaya Menggunakan Pemodelan Tranpor Sedimen (Studi Kasus: Alur Pelayaran Barat Surabaya, Jawa Timur). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Cahyana, Chevy. 2005. "Model Hidrodinamika Laut." *Buletin LIMBAH* 9 (2): 24–31.
- Christina, Joseph. 2014. Studi Perubahan Garis Pantai Selatan Teluk Ambon Luar Dengan Metode Komar dan Bikjer. Maluku: Universitas Kristen Indonesia Maluku (UKIM).
- Curran, Joanna Crowe, and Jack Sharp. 1997. "Hydrogeologic Delineation of Habitats for Endangered Species: The Comal Springs / River System," no. January. <https://doi.org/10.1007/s002540050128>.
- DHI. 2011. *MIKE ZERO-Mesh Generator*. Denmark: DHI. ———. 2014. *MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM Hydrodynamic dan Transport Module*.
- Fajrianto, Irfan Arif, Joko Prihantono, dan Yessi Nirwana Kurniadi. 2018. Pemodelan Hidrodinamika dan Tranpor Sedimen Di Perairan Pesisir Sekitar Tanjung Pontang, Kabupaten Serang-Banten. Jakarta: *Jurnal Kelautan Nasional* Vol. 13, No 2, Agustus 2018, Hal. 75-88.
- Froditus, Nicolody Ofirla Eflal. 2018. Analisis Pola Sebaran Sedimen Terhadap Pendangkalan Dermaga Menggunakan

- Pemodelan Hidrodinamika 3 Dimensi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Graf, W H, and M S Altinakar. 1998. "Transpor of Sediments" II.
- Gunarso, Damianus Bobby Wahyu. 2012. "Pemetaan Arus Dan Pasut Laut Dengan Metode Pemodelan Hidrodinamika Dan Pemanfaatannya Dalam Analisis Perubahan Garis Pantai." Institut Teknologi Bandung.
- Hermanto, Manik J, M, dan Sutorrio. 1989. Karakteristik Pasang Surut Laut di Pulau Jawa. Jurnal Forum Teknik Vol. 28. No.1.
- Hutanti, Krisma. 2018. Analisis Pola Sebaran Sedimen Untuk Mendukung Pemeliharaan Kedalaman Perairan Pelabuhan Menggunakan Pemodelan Hidrodinamika 3D (Studi Kasus: Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- 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". Bandung: Ganeca Exact Bandung.
- Krisetyana, Hari. 2008. "Tingkat Efisiensi Penggelontoran Endapan Sedimen Di Waduk PLTA PB. Sudirman." Universitas Dipenogoro Semarang.
- Kurniawan, Yusak. 2016. Analisa Laju Sedimentasi di Area Jetty BP Tangguh. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Minarrohman, M. G. K. 2017. "Simulasi Arus dan Distribusi Sedimen Secara 3 Dimensi di Pantai Selatan Jawa". Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Novico, Franto, Prijantono Astjario, and Huda Bachtiar. 2013. "Kondisi Arus Pasang Surut Dan Erosi-Sedimentasi Di Sekitar Garis Pantai Depan PLTU Tarahan Lampung Menggunakan Delft3D Versi 3.28." *Geologi Kelautan* 11 (1): 39–54.
- Nugraini, Lysa Dora Ayu. 2019. Analisis Pola Sedimentasi Terhadap Perubahan Garis Pantai Di Pesisir Bagian Barat Pulau Madura Dengan Teknologi Penginderaan Jauh. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ongkosongo. 1989. Pasang Surut. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Poerbondono, and Eka Djunasjah. 2005. Survei Hidrografi. Edited by Rose Herlina. Pertama. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Pond, S., dan Pickard, G.L. 1983. "Introductory Dynamical Oceanography". Oxford: Pergamon Press.
- 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.
- Pratomo, Dinar Guruh. 2017. "Bahan Ajar Fitur Dasar Laut." Surabaya: Teknik Geomatika ITS Surabaya.
- Purnomo, S. N., Widiyanto, W., Pratiwi, T. P. dan Idham Riyando. Moe. 2015. "Analisis Sedimentasi di Pelabuhan Pendaratan Ikan (PPI) Logending." *Dinamika Rekayasa* 11 (1 Februari): 29–37.
- Surbakti, Heron. 2015. "Penuntun Praktikum Oseanografi Fisika". Palembang: Laboratorium Oseanografi.
- Triatmodjo, B. 1991. Teknik Pantai. Universitas Gajah Mada (UGM). Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 2010. Perencanaan Pelabuhan. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta.

- Ulum Miftakhul. 2013. *Perbandingan Akurasi Prediksi Pasang Surut Antara Metode Admiralty dan Least Square*. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wentworth, C.K. 1922. "Wentworth Scale: A Scale of Grade and Class Terms of Clastic Sediments." *The Journal of Geology* 30 (5): 377–92.
- Zakaria, Ahmad. 2012. *Rekayasa Pantai dan Pelabuhan*. Universitas Lampung. Lampung.
- Zevebergen LW, Lagasse PF, dan Edge BL (2004) *Tidal Hydrology, Hydraulics and Scour at Bridges (First Edition)*. Federal Highway Administration.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pasang Surut BIG Terhadap 0 Rambu

Data Pasang Surut BIG																								
5 November - 14 Desember 2018																								
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
0	0,112	-0,238	-0,508	-0,788	-0,928	-0,988	-1,018	-0,958	-0,778	-0,568	-0,308	-0,098	0,102	0,152	0,062	-0,098	1,070	0,690	0,530	0,340				
1	0,422	0,122	-0,108	-0,558	-0,838	-0,908	-0,988	-0,968	-0,858	-0,708	-0,528	-0,288	-0,068	0,112	0,152	0,102	1,420	1,090	0,760	0,440				
2	0,502	0,322	0,272	-0,148	-0,588	-0,768	-0,898	-0,928	-0,858	-0,788	-0,638	-0,478	-0,228	-0,028	0,182	0,192	1,650	1,540	1,220	0,820				
3	0,402	0,392	0,372	0,212	-0,078	-0,438	-0,658	-0,848	-0,828	-0,758	-0,738	-0,618	-0,388	-0,198	0,042	0,142	1,660	1,700	1,500	1,220				
4	0,192	0,312	0,272	0,312	0,182	-0,098	-0,328	-0,568	-0,708	-0,768	-0,718	-0,698	-0,558	-0,378	-0,158	0,022	1,480	1,640	1,640	1,500				
5	-0,058	0,182	0,172	0,192	0,172	0,002	-0,128	-0,328	-0,538	-0,718	-0,698	-0,728	-0,738	-0,558	-0,408	-0,188	1,280	1,510	1,590	1,600				
6	-0,358	-0,048	0,042	0,132	0,112	0,012	-0,098	-0,258	-0,398	-0,468	-0,608	-0,718	-0,738	-0,708	-0,568	-0,388	1,080	1,280	1,450	1,560				
7	-0,638	-0,298	-0,108	0,052	0,022	0,092	-0,018	-0,138	-0,258	-0,328	-0,428	-0,648	-0,668	-0,758	-0,648	-0,538	0,900	1,050	1,300	1,420				
8	-0,758	-0,498	-0,358	-0,178	-0,048	0,062	0,002	-0,018	-0,098	-0,218	-0,278	-0,408	-0,528	-0,598	-0,638	-0,598	0,810	0,890	1,100	1,200				
9	-0,708	-0,638	-0,498	-0,418	-0,158	-0,038	-0,018	0,022	0,022	-0,068	-0,148	-0,178	-0,288	-0,348	-0,468	-0,478	0,900	0,920	0,960	1,070				
10	-0,488	-0,568	-0,408	-0,278	-0,228	-0,058	-0,018	0,002	0,042	0,042	0,042	-0,038	-0,038	-0,048	-0,138	-0,158	1,120	1,050	1,070	1,070				
11	-0,148	-0,278	-0,278	-0,168	-0,148	0,002	0,042	0,042	0,072	0,112	0,092	0,142	0,222	0,102	0,122	0,132	1,420	1,300	1,300	1,230				
12	0,272	0,102	-0,008	-0,028	0,052	0,092	0,212	0,182	0,172	0,242	0,282	0,282	0,342	0,382	0,482	0,502	1,790	1,760	1,600	1,420				
13	0,642	0,542	0,342	0,272	0,342	0,242	0,332	0,362	0,382	0,342	0,372	0,382	0,422	0,582	0,682	0,762	2,140	2,220	2,100	1,860				
14	0,832	0,902	0,782	0,682	0,642	0,512	0,442	0,442	0,502	0,472	0,462	0,482	0,492	0,622	0,722	0,902	2,340	2,450	2,450	2,420				
15	0,832	1,002	1,002	1,002	0,962	0,782	0,682	0,532	0,502	0,542	0,532	0,502	0,522	0,552	0,632	0,882	2,240	2,400	2,540	2,680				
16	0,682	0,902	0,942	0,992	1,112	1,022	0,862	0,742	0,582	0,502	0,472	0,412	0,482	0,442	0,482	0,712	2,080	2,200	2,460	2,600				
17	0,512	0,652	0,722	0,762	0,872	1,022	0,882	0,822	0,652	0,502	0,372	0,332	0,302	0,262	0,272	0,432	1,860	1,920	2,180	2,300				
18	0,182	0,302	0,432	0,522	0,542	0,712	0,782	0,792	0,662	0,512	0,282	0,192	0,092	0,072	0,022	0,082	1,480	1,600	1,760	1,900				
19	-0,178	-0,148	0,062	0,252	0,272	0,412	0,502	0,572	0,552	0,412	0,282	0,102	0,032	-0,108	-0,148	-0,278	1,120	1,130	1,340	1,520				
20	-0,418	-0,558	-0,428	-0,178	-0,028	0,122	0,242	0,322	0,362	0,442	0,292	0,102	-0,048	-0,188	-0,298	-0,458	0,830	0,800	0,930	1,130				
21	-0,558	-0,728	-0,758	-0,698	-0,458	-0,258	-0,058	0,082	0,222	0,262	0,212	0,132	-0,108	-0,238	-0,398	-0,538	0,620	0,560	0,580	0,680				
22	-0,528	-0,778	-0,878	-0,988	-0,828	-0,698	-0,398	-0,178	0,042	0,122	0,192	0,122	-0,008	-0,188	-0,388	-0,578	0,540	0,480	0,400	0,410				
23	-0,478	-0,698	-0,888	-1,028	-0,988	-0,958	-0,778	-0,488	-0,278	-0,068	0,092	0,142	0,112	-0,048	-0,268	-0,488	0,540	0,450	0,340	0,340				

Catatan: Bacaan kedalaman dalam satuan meter (m)

Data Pasang Surut BIG																													
5 November - 14 Desember 2018																													
	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14									
0	0,270	0,260	0,390	0,640	0,820	1,180	1,310	1,370	1,390	1,170	0,820	0,560	0,440	0,270	0,180	0,210	0,300	0,360	0,550	0,730									
1	0,280	0,250	0,300	0,510	0,590	0,880	1,160	1,300	1,410	1,350	1,080	0,790	0,610	0,390	0,250	0,200	0,260	0,260	0,340	0,530									
2	0,480	0,270	0,270	0,440	0,520	0,640	0,990	1,170	1,360	1,440	1,340	1,170	0,920	0,720	0,480	0,380	0,270	0,310	0,350	0,500									
3	0,790	0,490	0,350	0,370	0,470	0,620	0,840	1,050	1,210	1,410	1,520	1,400	1,230	1,080	0,840	0,650	0,450	0,410	0,400	0,480									
4	1,150	0,800	0,500	0,390	0,460	0,510	0,680	0,940	1,070	1,270	1,490	1,480	1,390	1,280	1,160	1,000	0,750	0,670	0,510	0,540									
5	1,430	1,070	0,740	0,490	0,550	0,510	0,540	0,790	0,940	1,110	1,340	1,500	1,430	1,410	1,280	1,190	1,000	0,930	0,810	0,720									
6	1,490	1,310	1,100	0,700	0,640	0,600	0,520	0,730	0,870	1,020	1,190	1,360	1,400	1,420	1,310	1,260	1,220	1,210	1,070	0,960									
7	1,500	1,390	1,340	1,040	0,840	0,680	0,670	0,730	0,760	0,950	0,980	1,200	1,330	1,400	1,310	1,350	1,270	1,240	1,170	1,130									
8	1,450	1,430	1,420	1,330	1,140	0,880	0,830	0,860	0,810	0,910	0,900	1,100	1,260	1,310	1,290	1,350	1,340	1,220	1,300	1,270									
9	1,320	1,360	1,440	1,430	1,310	1,220	1,090	1,060	1,070	1,000	1,030	1,090	1,230	1,230	1,280	1,340	1,370	1,350	1,350	1,360									
10	1,270	1,260	1,420	1,510	1,430	1,470	1,430	1,330	1,290	1,240	1,260	1,230	1,310	1,280	1,260	1,320	1,360	1,440	1,370	1,440									
11	1,300	1,300	1,440	1,510	1,540	1,640	1,710	1,660	1,560	1,590	1,520	1,460	1,450	1,460	1,380	1,410	1,320	1,490	1,400	1,490									
12	1,410	1,420	1,490	1,540	1,690	1,760	1,910	2,020	1,900	1,970	1,780	1,700	1,600	1,600	1,550	1,560	1,470	1,520	1,560	1,550									
13	1,610	1,610	1,580	1,650	1,750	1,770	1,980	2,120	2,140	2,240	2,180	2,090	1,930	1,790	1,750	1,650	1,660	1,650	1,660	1,670									
14	2,100	1,960	1,720	1,740	1,760	1,790	1,910	2,090	2,160	2,280	2,450	2,450	2,300	2,130	2,010	1,840	1,850	1,820	1,700	1,760									
15	2,540	2,360	2,000	1,820	1,740	1,780	1,790	1,970	2,080	2,190	2,320	2,520	2,500	2,400	2,320	2,140	1,950	1,930	1,780	1,740									
16	2,720	2,480	2,380	1,940	1,770	1,650	1,630	1,770	1,860	1,980	1,810	2,270	2,370	2,470	2,480	2,320	2,070	1,930	1,790	1,690									
17	2,540	2,540	2,500	2,130	1,780	1,540	1,460	1,500	1,580	1,690	1,830	1,910	2,110	2,170	2,290	2,400	2,270	1,960	1,770	1,660									
18	2,160	2,400	2,420	2,230	1,870	1,550	1,330	1,270	1,220	1,300	1,450	1,560	1,790	1,820	2,030	2,150	2,180	1,980	1,800	1,640									
19	1,810	2,020	2,180	2,170	1,880	1,640	1,290	1,100	0,960	0,960	1,050	1,140	1,330	1,520	1,680	1,740	1,880	1,920	1,750	1,660									
20	1,410	1,620	1,870	1,960	1,930	1,620	1,310	1,080	0,810	0,750	0,680	0,690	0,810	0,810	0,700	0,440	0,590	0,710	0,660	0,630									
21	0,970	1,320	1,530	1,710	1,820	1,680	1,360	1,090	0,760	0,680	0,520	0,430	0,480	0,640	0,870	1,170	1,340	1,440	1,600	1,530									
22	0,560	0,940	1,220	1,470	1,570	1,570	1,430	1,160	0,850	0,670	0,500	0,330	0,290	0,330	0,460	0,750	1,000	1,180	1,340	1,340									
23	0,310	0,580	0,890	1,160	1,380	1,420	1,460	1,250	1,010	0,690	0,480	0,340	0,250	0,190	0,250	0,370	0,610	0,850	1,030	1,190									

Catatan: Bacaan kedalaman dalam satuan meter (m)

Lampiran 2. Data Pasang Surut BIG Terhadap MSL

Data Pasang Surut BIG																								
5 November - 14 Desember 2018																								
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
0	0.112	-0.238	-0.508	-0.788	-0.928	-0.988	-1.018	-0.958	-0.778	-0.568	-0.308	-0.098	0.102	0.152	0.062	-0.098	-0.228	-0.608	-0.768	-0.958				
1	0.422	0.122	-0.108	-0.558	-0.838	-0.908	-0.988	-0.968	-0.858	-0.708	-0.528	-0.288	-0.068	0.112	0.152	0.102	0.122	-0.208	-0.538	-0.858				
2	0.502	0.322	0.272	-0.148	-0.588	-0.768	-0.898	-0.928	-0.858	-0.788	-0.638	-0.478	-0.228	-0.028	0.182	0.192	0.352	0.242	-0.078	-0.478				
3	0.402	0.392	0.372	0.212	-0.078	-0.438	-0.658	-0.848	-0.828	-0.758	-0.738	-0.618	-0.388	-0.198	0.042	0.142	0.362	0.402	0.202	-0.078				
4	0.192	0.312	0.272	0.312	0.182	-0.098	-0.328	-0.508	-0.708	-0.768	-0.718	-0.698	-0.558	-0.378	-0.158	0.022	0.182	0.342	0.342	0.202				
5	-0.058	0.182	0.172	0.192	0.172	0.002	-0.128	-0.328	-0.538	-0.718	-0.698	-0.728	-0.738	-0.558	-0.408	-0.188	-0.018	0.212	0.292	0.302				
6	-0.358	-0.048	0.042	0.132	0.112	0.012	-0.098	-0.258	-0.398	-0.468	-0.608	-0.718	-0.738	-0.708	-0.568	-0.388	-0.218	-0.018	0.152	0.262				
7	-0.638	-0.298	-0.108	0.052	0.022	0.092	-0.018	-0.138	-0.258	-0.328	-0.428	-0.648	-0.668	-0.758	-0.648	-0.538	-0.398	-0.248	0.002	0.122				
8	-0.758	-0.498	-0.358	-0.178	-0.048	0.062	0.002	-0.018	-0.098	-0.218	-0.278	-0.408	-0.528	-0.598	-0.638	-0.598	-0.488	-0.408	-0.198	-0.098				
9	-0.708	-0.638	-0.498	-0.418	-0.158	-0.038	-0.018	0.022	0.022	0.068	-0.148	-0.178	-0.288	-0.348	-0.468	-0.478	-0.398	-0.378	-0.338	-0.228				
10	-0.488	-0.568	-0.408	-0.278	-0.228	-0.058	-0.018	0.002	0.042	0.042	0.038	-0.038	-0.048	-0.138	-0.158	-0.248	-0.178	-0.248	-0.228	-0.228				
11	-0.148	-0.278	-0.278	-0.168	-0.148	0.002	0.042	0.042	0.072	0.112	0.092	0.142	0.222	0.102	0.122	0.132	0.122	0.002	0.002	-0.068				
12	0.272	0.102	-0.008	-0.028	0.052	0.092	0.212	0.182	0.172	0.242	0.282	0.282	0.342	0.382	0.482	0.502	0.492	0.462	0.302	0.122				
13	0.642	0.542	0.342	0.272	0.342	0.242	0.332	0.362	0.382	0.342	0.372	0.382	0.422	0.582	0.682	0.762	0.842	0.922	0.802	0.562				
14	0.832	0.902	0.782	0.682	0.642	0.512	0.442	0.442	0.502	0.472	0.462	0.482	0.492	0.622	0.722	0.902	1.042	1.152	1.152	1.122				
15	0.832	1.002	1.002	1.002	0.962	0.782	0.682	0.532	0.502	0.542	0.532	0.502	0.522	0.552	0.632	0.882	0.942	1.102	1.242	1.382				
16	0.682	0.902	0.942	0.992	1.112	1.022	0.862	0.742	0.582	0.502	0.472	0.412	0.482	0.442	0.482	0.712	0.782	0.902	1.162	1.302				
17	0.512	0.652	0.722	0.762	0.872	1.022	0.882	0.822	0.652	0.502	0.372	0.332	0.302	0.302	0.272	0.432	0.562	0.622	0.882	1.002				
18	0.182	0.302	0.432	0.522	0.542	0.712	0.782	0.792	0.662	0.512	0.282	0.192	0.092	0.072	0.022	0.082	0.182	0.302	0.462	0.602				
19	-0.178	-0.148	0.062	0.252	0.272	0.412	0.502	0.572	0.552	0.412	0.282	0.102	0.032	-0.108	-0.148	-0.278	-0.178	-0.168	0.042	0.222				
20	-0.418	-0.558	-0.428	-0.178	-0.028	0.122	0.242	0.322	0.362	0.342	0.292	0.102	-0.048	-0.188	-0.298	-0.458	-0.468	-0.498	-0.368	-0.168				
21	-0.558	-0.728	-0.758	-0.698	-0.458	-0.258	-0.082	0.222	0.262	0.212	0.132	-0.108	-0.238	-0.398	-0.398	-0.538	-0.678	-0.738	-0.718	-0.618				
22	-0.528	-0.778	-0.878	-0.988	-0.828	-0.698	-0.398	-0.178	0.042	0.122	0.192	0.122	-0.008	-0.188	-0.388	-0.578	-0.758	-0.818	-0.898	-0.888				
23	-0.478	-0.698	-0.888	-1.028	-0.988	-0.958	-0.778	-0.488	-0.278	-0.068	0.092	0.142	0.112	-0.048	-0.268	-0.488	-0.758	-0.848	-0.958	-0.958				

Catatan: Bacaan kedalaman dalam satuan meter (m)

Data Pasang Surut BIG																				
5 November - 14 Desember 2018																				
	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	-1,028	-1,038	-0,908	-0,658	-0,478	-0,118	0,012	0,072	0,092	-0,128	-0,478	-0,738	-0,858	-1,028	-1,118	-1,088	-0,998	-0,938	-0,748	-0,568
1	-1,018	-1,048	-0,998	-0,788	-0,708	-0,418	-0,138	0,002	0,112	0,052	-0,218	-0,508	-0,688	-0,908	-1,048	-1,098	-1,038	-1,038	-0,958	-0,768
2	-0,818	-1,028	-1,028	-0,858	-0,778	-0,658	-0,308	-0,128	0,062	0,142	0,042	-0,128	-0,378	-0,578	-0,818	-0,918	-1,028	-0,988	-0,948	-0,798
3	-0,508	-0,808	-0,948	-0,928	-0,828	-0,678	-0,458	-0,248	-0,088	0,112	0,222	0,102	-0,068	-0,218	-0,458	-0,648	-0,848	-0,888	-0,898	-0,818
4	-0,148	-0,498	-0,798	-0,908	-0,838	-0,788	-0,618	-0,358	-0,228	-0,028	0,192	0,182	0,092	-0,018	-0,138	-0,298	-0,548	-0,628	-0,788	-0,758
5	0,132	-0,228	-0,558	-0,808	-0,748	-0,788	-0,758	-0,508	-0,358	-0,188	0,042	0,202	0,132	0,112	-0,018	-0,108	-0,298	-0,268	-0,488	-0,578
6	0,192	0,012	-0,198	-0,598	-0,658	-0,698	-0,778	-0,568	-0,428	-0,278	-0,108	0,062	0,102	0,122	0,012	-0,038	-0,078	-0,088	-0,228	-0,338
7	0,202	0,092	0,042	-0,258	-0,458	-0,618	-0,628	-0,568	-0,538	-0,348	-0,318	-0,098	0,032	0,102	0,012	0,052	-0,028	-0,058	-0,128	-0,168
8	0,152	0,132	0,122	0,032	-0,158	-0,418	-0,468	-0,438	-0,488	-0,388	-0,398	-0,198	-0,038	0,012	-0,008	0,052	0,042	-0,078	0,002	-0,028
9	0,022	0,062	0,142	0,132	0,012	-0,078	-0,208	-0,238	-0,228	-0,298	-0,268	-0,208	-0,068	-0,068	-0,018	0,042	0,072	0,052	0,052	0,062
10	-0,028	-0,038	0,122	0,212	0,132	0,172	0,132	0,032	-0,008	-0,058	-0,038	-0,068	0,012	-0,018	-0,038	0,022	0,062	0,142	0,072	0,142
11	0,002	0,002	0,142	0,212	0,242	0,342	0,412	0,362	0,262	0,292	0,222	0,162	0,152	0,162	0,082	0,112	0,022	0,192	0,102	0,192
12	0,112	0,122	0,192	0,242	0,392	0,462	0,612	0,722	0,602	0,672	0,482	0,402	0,302	0,302	0,252	0,262	0,172	0,222	0,262	0,252
13	0,312	0,312	0,282	0,352	0,452	0,472	0,682	0,822	0,842	0,942	0,882	0,792	0,632	0,492	0,452	0,352	0,362	0,352	0,362	0,372
14	0,802	0,662	0,422	0,442	0,462	0,492	0,612	0,792	0,862	0,982	1,152	1,152	1,002	0,832	0,712	0,542	0,552	0,522	0,402	0,462
15	1,242	1,062	0,702	0,522	0,442	0,482	0,492	0,672	0,782	0,892	1,022	1,222	1,202	1,102	1,022	0,842	0,652	0,632	0,482	0,442
16	1,422	1,182	1,082	0,642	0,472	0,352	0,332	0,472	0,562	0,682	0,812	0,972	1,072	1,172	1,132	1,022	0,772	0,632	0,492	0,392
17	1,222	1,242	1,202	0,832	0,482	0,242	0,162	0,202	0,282	0,392	0,532	0,612	0,812	0,872	0,992	1,102	0,972	0,662	0,472	0,362
18	0,862	1,102	1,122	0,932	0,572	0,252	0,032	-0,028	-0,078	0,002	0,152	0,262	0,492	0,522	0,732	0,852	0,882	0,682	0,502	0,342
19	0,512	0,722	0,882	0,872	0,582	0,342	-0,008	-0,198	-0,338	-0,338	-0,248	-0,158	0,032	0,222	0,382	0,442	0,582	0,622	0,452	0,362
20	0,112	0,322	0,572	0,662	0,632	0,322	0,012	-0,218	-0,488	-0,548	-0,618	-0,608	-0,488	-0,228	0,022	0,142	0,292	0,412	0,362	0,332
21	-0,328	0,022	0,232	0,412	0,522	0,332	0,062	-0,208	-0,538	-0,618	-0,778	-0,868	-0,818	-0,658	-0,428	-0,128	0,042	0,142	0,302	0,232
22	-0,738	-0,358	-0,078	0,172	0,272	0,272	0,132	-0,138	-0,448	-0,628	-0,798	-0,968	-1,008	-0,968	-0,838	-0,548	-0,298	-0,118	0,042	0,042
23	-0,988	-0,718	-0,408	-0,138	0,062	0,122	0,162	-0,048	-0,288	-0,608	-0,818	-0,958	-1,048	-1,108	-1,048	-0,928	-0,688	-0,448	-0,268	-0,108

Catatan: Bacaan kedalaman dalam satuan meter (m)

Lampiran 3. Data Angin Per 6 Jam Perairan Teluk Lamong (ECMWF)

Data Angin ECMWF							
(5 November 2018 - 14 Desember 2018)							
Tanggal	Waktu	Kecepatan (m/s)	Arah (derajat)	Tanggal	Waktu	Kecepatan (m/s)	Arah (derajat)
05/11/2018	00:00:00	1,853	117,768	15/11/2018	00:00:00	2,342	188,404
05/11/2018	06:00:00	3,589	80,404	15/11/2018	06:00:00	2,468	78,047
05/11/2018	12:00:00	3,061	61,578	15/11/2018	12:00:00	2,949	141,166
05/11/2018	18:00:00	1,774	145,012	15/11/2018	18:00:00	2,556	191,354
06/11/2018	00:00:00	1,558	156,942	16/11/2018	00:00:00	2,594	156,998
06/11/2018	06:00:00	2,303	65,950	16/11/2018	06:00:00	1,717	76,588
06/11/2018	12:00:00	2,559	129,201	16/11/2018	12:00:00	3,340	103,369
06/11/2018	18:00:00	2,063	160,292	16/11/2018	18:00:00	1,837	169,691
07/11/2018	00:00:00	1,476	160,815	17/11/2018	00:00:00	1,290	180,443
07/11/2018	06:00:00	2,503	44,475	17/11/2018	06:00:00	2,161	74,451
07/11/2018	12:00:00	3,114	98,035	17/11/2018	12:00:00	2,196	59,719
07/11/2018	18:00:00	1,204	163,634	17/11/2018	18:00:00	1,468	120,370
08/11/2018	00:00:00	0,876	128,250	18/11/2018	00:00:00	1,348	179,323
08/11/2018	06:00:00	2,015	19,901	18/11/2018	06:00:00	2,459	45,340
08/11/2018	12:00:00	2,053	30,594	18/11/2018	12:00:00	0,947	100,711
08/11/2018	18:00:00	1,521	168,013	18/11/2018	18:00:00	1,371	172,243
09/11/2018	00:00:00	1,670	125,735	19/11/2018	00:00:00	0,763	260,187
09/11/2018	06:00:00	2,736	61,566	19/11/2018	06:00:00	2,257	357,047
09/11/2018	12:00:00	1,897	121,150	19/11/2018	12:00:00	1,703	317,547
09/11/2018	18:00:00	2,210	162,799	19/11/2018	18:00:00	2,362	223,758
10/11/2018	00:00:00	1,973	127,255	20/11/2018	00:00:00	2,938	255,588
10/11/2018	06:00:00	2,484	60,034	20/11/2018	06:00:00	2,412	293,079
10/11/2018	12:00:00	2,074	12,636	20/11/2018	12:00:00	1,803	226,753
10/11/2018	18:00:00	1,373	150,591	20/11/2018	18:00:00	2,279	246,889
11/11/2018	00:00:00	1,483	106,134	21/11/2018	00:00:00	2,332	239,703
11/11/2018	06:00:00	2,909	52,903	21/11/2018	06:00:00	1,405	359,352
11/11/2018	12:00:00	2,723	33,119	21/11/2018	12:00:00	2,392	311,716
11/11/2018	18:00:00	0,767	265,588	21/11/2018	18:00:00	2,655	287,386
12/11/2018	00:00:00	1,150	168,202	22/11/2018	00:00:00	2,515	209,929
12/11/2018	06:00:00	2,783	45,385	22/11/2018	06:00:00	1,783	98,521
12/11/2018	12:00:00	2,694	82,275	22/11/2018	12:00:00	1,791	166,670
12/11/2018	18:00:00	1,474	162,179	22/11/2018	18:00:00	1,763	197,833
13/11/2018	00:00:00	1,432	118,727	23/11/2018	00:00:00	2,463	181,980
13/11/2018	06:00:00	2,473	51,071	23/11/2018	06:00:00	1,667	55,292
13/11/2018	12:00:00	1,792	96,347	23/11/2018	12:00:00	2,287	56,703
13/11/2018	18:00:00	2,283	160,164	23/11/2018	18:00:00	1,983	168,611
14/11/2018	00:00:00	1,763	129,172	24/11/2018	00:00:00	1,950	179,076
14/11/2018	06:00:00	1,667	67,377	24/11/2018	06:00:00	1,789	29,543
14/11/2018	12:00:00	0,843	350,411	24/11/2018	12:00:00	2,645	84,334
14/11/2018	18:00:00	2,722	238,583	24/11/2018	18:00:00	1,586	169,723

Data Angin ECMWF							
(5 November 2018 - 14 Desember 2018)							
Tanggal	Waktu	Kecepatan (m/s)	Arah (derajat)	Tanggal	Waktu	Kecepatan (m/s)	Arah (derajat)
25/11/2018	00:00:00	0,835	177,779	05/12/2018	00:00:00	1,702	105,056
25/11/2018	06:00:00	1,674	13,823	05/12/2018	06:00:00	2,206	53,366
25/11/2018	12:00:00	0,290	134,464	05/12/2018	12:00:00	1,787	112,903
25/11/2018	18:00:00	2,273	86,265	05/12/2018	18:00:00	2,043	146,852
26/11/2018	00:00:00	1,325	101,061	06/12/2018	00:00:00	0,937	173,054
26/11/2018	06:00:00	2,866	72,233	06/12/2018	06:00:00	1,057	47,395
26/11/2018	12:00:00	1,688	135,767	06/12/2018	12:00:00	1,323	176,057
26/11/2018	18:00:00	0,925	175,640	06/12/2018	18:00:00	0,770	197,810
27/11/2018	00:00:00	1,143	122,761	07/12/2018	00:00:00	1,030	150,555
27/11/2018	06:00:00	2,074	61,035	07/12/2018	06:00:00	1,852	63,255
27/11/2018	12:00:00	1,688	90,781	07/12/2018	12:00:00	0,616	123,423
27/11/2018	18:00:00	1,846	246,325	07/12/2018	18:00:00	1,807	293,839
28/11/2018	00:00:00	0,853	182,039	08/12/2018	00:00:00	1,961	131,342
28/11/2018	06:00:00	1,647	346,053	08/12/2018	06:00:00	1,162	63,907
28/11/2018	12:00:00	1,674	162,728	08/12/2018	12:00:00	1,219	17,640
28/11/2018	18:00:00	1,081	146,265	08/12/2018	18:00:00	1,553	116,892
29/11/2018	00:00:00	1,531	152,027	09/12/2018	00:00:00	0,614	187,349
29/11/2018	06:00:00	1,873	59,147	09/12/2018	06:00:00	1,528	47,738
29/11/2018	12:00:00	1,963	107,835	09/12/2018	12:00:00	1,209	112,930
29/11/2018	18:00:00	0,737	85,951	09/12/2018	18:00:00	1,301	144,162
30/11/2018	00:00:00	1,405	72,988	10/12/2018	00:00:00	0,830	166,806
30/11/2018	06:00:00	2,058	351,998	10/12/2018	06:00:00	1,574	331,903
30/11/2018	12:00:00	0,557	224,104	10/12/2018	12:00:00	0,889	241,432
30/11/2018	18:00:00	1,753	223,451	10/12/2018	18:00:00	1,819	211,669
01/12/2018	00:00:00	2,112	196,441	11/12/2018	00:00:00	0,923	219,701
01/12/2018	06:00:00	0,566	67,002	11/12/2018	06:00:00	1,579	287,250
01/12/2018	12:00:00	1,249	152,215	11/12/2018	12:00:00	1,004	126,432
01/12/2018	18:00:00	1,133	168,482	11/12/2018	18:00:00	1,806	146,321
02/12/2018	00:00:00	1,687	127,894	12/12/2018	00:00:00	1,030	105,487
02/12/2018	06:00:00	2,802	58,603	12/12/2018	06:00:00	2,938	17,455
02/12/2018	12:00:00	2,158	116,876	12/12/2018	12:00:00	3,067	24,836
02/12/2018	18:00:00	0,836	181,188	12/12/2018	18:00:00	1,826	104,660
03/12/2018	00:00:00	1,127	151,579	13/12/2018	00:00:00	1,065	167,516
03/12/2018	06:00:00	1,704	59,159	13/12/2018	06:00:00	2,081	6,413
03/12/2018	12:00:00	3,042	128,841	13/12/2018	12:00:00	2,449	291,073
03/12/2018	18:00:00	2,473	147,110	13/12/2018	18:00:00	1,540	197,657
04/12/2018	00:00:00	3,041	130,700	14/12/2018	00:00:00	0,434	116,992
04/12/2018	06:00:00	2,916	91,337	14/12/2018	06:00:00	1,964	11,236
04/12/2018	12:00:00	2,544	99,300	14/12/2018	12:00:00	1,929	296,618
04/12/2018	18:00:00	1,023	57,194	14/12/2018	18:00:00	2,028	242,853

BIODATA PENULIS



Fransiska Widiastuti, dilahirkan di Jakarta, 12 Agustus 1998. Merupakan anak kedua dari 2 bersaudara dari pasangan A. Budiono dan M. I. Dwi Lestari. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Mardi Yuana Depok, SMP Mardi Yuana Depok dan SMA Kolese Gonzaga Jakarta. Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan studinya di S1 Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur Mandiri

pada tahun 2016. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan di dalam dan luar departemen. Semasa perkuliahan, penulis menjabat sebagai staf Media dan Informasi dan Kepala Departemen Media dan Informasi HIMAGE-ITS (Himpunan Mahasiswa Geomatika ITS). Penulis juga pernah menjabat sebagai staf Komunikasi, Media, dan Informasi KMK (Keluarga Mahasiswa Katolik) ITS. Selain mengikuti berbagai organisasi, penulis juga aktif mengikuti berbagai kepanitiaan baik di dalam dan luar departemen. Beberapa pelatihan *softskill* maupun *hardskill* yang pernah diikuti diantaranya adalah: LKMM Pra-TD, LKMM-TD, *Basic Media Schooling*, PKTI. Penulis telah melaksanakan Kerja Praktik di PT. Bintang Subsea Indonesia, dan sebagai bentuk ketertarikan pada bidang Hidrografi dalam pembuatan Tugas Akhir penulis memilih judul “Pemodelan Transpor Sedimen untuk Pemeliharaan Kedalaman Pelabuhan (Studi Kasus: Teluk Lamong, Surabaya)” sebagai syarat dalam penyelesaian studi di jenjang Strata 1.