



TUGAS AKHIR - RM 184831

**ANALISIS TRANSPOR SEDIMEN TERHADAP FENOMENA
SCOURING PADA PILAR JEMBATAN MENGGUNAKAN
PEMODELAN HIDRODINAMIKA 3 DIMENSI (STUDI
KASUS: JEMBATAN MERAH PUTIH, TELUK AMBON)**

FIKRI HADYAN PUTRA

NRP 03311540000017

Dosen Pembimbing

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

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, Dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RM 184831

**ANALISIS TRANSPOR SEDIMEN TERHADAP
FENOMENA *SCOURING* PADA PILAR
JEMBATAN MENGGUNAKAN PEMODELAN
HIDRODINAMIKA 3 DIMENSI (STUDI KASUS:
JEMBATAN MERAH PUTIH, TELUK AMBON)**

FIKRI HADYAN PUTRA

NRP 0331154000017

Dosen Pembimbing

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

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, Dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RM 184831

**ANALYSIS OF SEDIMENT TRANSPORT TO
SCOUR PHENOMENON AROUND BRIDGE PIER
USING 3D HYDRODYNAMIC (CASE STUDY:
MERAH PUTIH BRIDGE, AMBON BAY)**

FIKRI HADYAN PUTRA

NRP 0331154000017

Supervisor

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

DEPARTMENT GEOMATICS ENGINEERING

Faculty of Civil, Enviromental and Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISIS TRANSPOR SEDIMEN TERHADAP
FENOMENA *SCOURING* PADA PILAR JEMBATAN
MENGUNAKAN PEMODELAN HIDRODINAMIKA 3
DIMENSI (Studi Kasus: Jembatan Merah Putih, Teluk
Ambon)**

Nama Mahasiswa : Fikri Hadyan Putra
NRP : 0331154000017
Departemen : Teknik Geomatika FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : Dinar Guruh Pratomo, S.T, M.T, Ph.D

Abstrak

Jembatan Merah Putih pada Teluk Ambon, merupakan sarana transportasi yang menghubungkan dua kawasan yang berseberangan di Teluk Ambon. Jembatan Merah Putih yang merupakan salah satu sarana penting di Kota Ambon, yang menghubungkan Desa Rumah Tiga (Poka) di Kecamatan Sirimau pada sisi utara dan Desa Hative Kecil (Galala) di Kecamatan Teluk Ambon pada sisi selatan. Jembatan Merah Putih sebagai salah satu jembatan terpanjang di Indonesia Timur memberikan kontribusi dalam perkembangan ekonomi dan memiliki peran penting dalam hal transportasi darat di kawasan Teluk Ambon. Posisi pondasi-pondasi jembatan Merah Putih yang terletak di perairan Teluk Ambon, perlu dilakukan pemeliharaan untuk menjaga kualitas pondasi yang berdiri di Teluk Ambon agar jembatan tetap terjaga kondisinya untuk menghindari terjadinya rubuh.

Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam pemeliharaan pondasi jembatan Merah Putih adalah *scouring*. *Scouring* atau

yang dapat diartikan sebagai proses terjadinya gerusan ditandai dengan berpindahnya sedimen yang menutupi pilar jembatan, serta erosi dasar sungai yang terjadi akan mengikuti pola aliran. Salah satu hal yang menyebabkan terjadinya *scouring* yaitu terjadinya transportasi sedimen. Transpor sedimen dan sifat-sifat aliran, pada teluk akan terganggu dengan adanya penahan sedimen yang dibangun melintang sungai.

Dalam hal ini menggunakan perangkat lunak pemodelan hidrodinamika 3D. Parameter pada pemodelan ini yaitu data batimetri, arah dan kecepatan angin, dimensi pilar jembatan, *river discharge*, pasang surut air laut, dan sampel sedimen. Dari penelitian ini didapatkan hasil nilai kecepatan arus paling tinggi saat pasang tertinggi dan surut terendah yaitu 1,2 m/s. Berdasarkan data kumulatif perpindahan sedimen dari hasil model, area sekitar pilar terjadi penumpukan dan erosi sedimen yang berbeda dari - 0,08 m sampai dengan -1,4 m di tiap pilarnya, sehingga kondisinya perlu dijaga untuk mencegah rubuh jembatan.

Kata Kunci - Arus, Pemodelan Hidrodinamika, Pilar Jembatan, Transpor Sedimen

**ANALYSIS OF SEDIMENT TRANSPORT TO SCOUR
PHENOMENON AROUND BRIDGE PIER USING 3D
HYDRODYNAMIC (Case Study: Merah Putih Bridge,
Ambon Bay)**

Name : Fikri Hadyan Putra
NRP : 0331154000017
Department : Geomatics Engineering FTSLK-ITS
Supervisor : Dinar Guruh Pratomo, S.T, M.T,
Ph.D

Abstract

Merah Putih Bridge in Ambon Bay, is a means of transportation that connects the two areas across the Bay of Ambon. Jembatan Merah Putih which is one of the important facilities in Ambon City, which connects Rumah Tiga Village (Poka) in Sirimau District on the north side and Hative Kecil Village (Galala) in Teluk Ambon District on the south side. Merah Putih Bridge as one of the longest bridges in East Indonesia contributes to economic development and has an important role in terms of land transportation in the Ambon Bay region. The position of the Merah Putih bridge found in the Gulf of Ambon waters needs to be maintained to keep the quality of the foundation that stands in Ambon Bay so that the bridge is maintained to avoid collapsing.

One of the things that needs to be considered in maintaining the Merah Putih bridge foundation is scouring. Scouring or which can be interpreted as the process of scouring is characterized by the movement of sediments covering the bridge pillars, and riverbed erosion that occurs will follow the flow pattern. One of

the things that cause scouring is the occurrence of sediment transport. Sediment transport and flow characteristics, at this bay will be disrupted by the presence of sediment retention built across the river.

In this case using 3D hydrodynamic modeling software. The parameters in this modeling are bathymetry data, wind direction and speed, dimensions of bridge pillars, river discharge, tides, and sediment samples. From this research, the highest velocity value when the highest and lowest low tide is 1.2 m/s. Based on the cumulative data of sediment displacement from the model results, the area around the pillar is different sediment accumulation and erosion on each pillar, so the condition needs to be maintained to prevent the bridge from collapsing.

Keyword - Current, Hydrodynamic Model, Bridge Pier, Sediment Transport

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS TRANSPOR SEDIMEN TERHADAP FENOMENA *SCOURING* PADA PILAR JEMBATAN MENGUNAKAN PEMODELAN HIDRODINAMIKA 3 DIMENSI (Studi Kasus: Jembatan Merah Putih, Teluk Ambon)

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

Fikri Hadyan Putra
NRP. 0331154 000 0017

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Danar Guruh Pratomo S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19800507 200212 1 0001

SURABAYA, DEPARTEMEN **JULI 2019**



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Transpor Sedimen Terhadap Fenomena *Scouring* Pada Pilar Jembatan Menggunakan Pemodelan Hidrodinamika 3 Dimensi (Studi Kasus: Jembatan Merah Putih, Teluk Ambon)”** ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar.

Selama pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dorongan secara moral maupun material. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Jasam S.H.dan Ibu Sri Hartini yang telah memberikan doa, restu dan segalanya demi kelancaran tugas akhir ini.
2. Bapak Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika ITS.
3. Bapak Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing dan dosen wali penulis.
4. Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga Balai Pelaksanaan Jalan Nasional XVI Ambon, Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Balai Wilayah Sungai Maluku, PT PLN Pusat Enjiniring Ketenagalistrikan, Distrik Navigasi Kelas II Ambon ,dan Badan Informasi Geospasial atas ketersediannya memberikan data sebagai penunjang dalam pengerjaan tugas akhir ini.
5. Teman-teman satu bimbingan Bapak Danar, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

6. Teman-teman Teknik Geomatika ITS khususnya angkatan G17 yang telah menemani dan mendukung pengerjaan tugas akhir selama ini.
7. Mas Nicolody, Mbak Hanna, Mbak Chima G16 yang telah memberi bantuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
8. Nadi Fatikha Sari yang telah menemani dan memberikan dukungan dalam pengerjaan tugas akhir selama ini.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir 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, semoga dapat memberikan manfaat untuk semua pihak dan dapat diterima sebagai sumbangan pemikiran dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	vii
LEMBAR PENGESAHAN	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pasang Surut	5
2.2 Arus	8
2.3 Arus Pasang Surut	9
2.4 Sedimentasi	10
2.6 Model Hidrodinamika	14
2.7 <i>Scouring</i> (Gerusan)	16
2.8 Penelitian Terdahulu	22
BAB III METODOLOGI	27
3. 1 Lokasi Penelitian	27
3. 2 Data dan Peralatan	28
3.2.1 Data	28
3.2.2 Peralatan	29
3. 3 Metodologi Penelitian	30
3.3.1 Tahap Persiapan	31
3.3.2 Tahap Pengolahan dan Analisis	31

3.3.3 Tahap Penyusunan Laporan.....	35
BAB IV HASIL DAN ANALISA.....	37
4.1 Bidang Model Domain (<i>Mesh</i>)	37
4.1.1 Pendefinisian Batas	37
4.1.2 Desain Model	39
4.1.3 <i>Mesh</i>	40
4.2 Waktu Simulasi Model	44
4.3 Pemodelan Arus.....	45
4.3.1 Debit Air Sungai (<i>River Discharge</i>)	45
4.3.2 Analisa Pasang Surut.....	47
4.3.3 Analisa Arus	53
4.4 Pemodelan Sebaran Sedimen	59
4.4.1 Parameter Pemodelan Sedimen	59
4.4.2 Analisa Model Sebaran Sedimen	59
4.4.3 Analisa <i>Scouring</i>	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN.....	75
BIODATA PENULIS	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva Pasang Surut	7
Gambar 2.2 Tipe Pasang Surut	8
Gambar 2.3 Pergerakan Sedimen Pada Perairan.....	11
Gambar 2.4 Diagram Hjulstrom	13
Gambar 2.5 Pola Arus Disekitar Pilar Jembatan Bulat	21
Gambar 2.6 Sistem Pusaran Telapak Kaki Kuda.....	22
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian di Jembatan Merah Putih Teluk Ambon	27
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.3 Tahap Pengolahan Data	32
Gambar 4.1 Batas Model Garis Pantai Hasil <i>Screen Digitation</i>	38
Gambar 4.2 <i>Boundary Condition</i> Pemodelan Teluk Ambon	39
Gambar 4.3 Hasil Mesh Yang Dibentuk.....	41
Gambar 4.4 Titik Sebaran Data Kedalaman Teluk Ambon	42
Gambar 4.5 Hasil Interpolasi Kedalaman.....	43
Gambar 4.6 Hasil Interpolasi Kedalaman Pada Area Pilar Jembatan	44
Gambar 4.7 Sungai-Sungai di Kawasan Teluk Ambon	46
Gambar 4.8 Grafik Pasang Surut Dengan Referensi Muka Air Laut Rata-rata.....	48
Gambar 4.9 Grafik Pasang Surut Hasil Pemodelan	50
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Pasang Surut	51
Gambar 4.11 Arus Pasang Tertinggi Area Teluk Ambon Luar... ..	54
Gambar 4.12 Arus Pasang Tertinggi Area Pilar Jembatan Merah Putih.....	54
Gambar 4.13 Arus Pasang Tertinggi Area Teluk Ambon Dalam	55
Gambar 4.14 Arus Surut Terendah Area Teluk Ambon Luar	56
Gambar 4.15 Arus Surut Terendah Teluk Ambon Area Pilar	56
Gambar 4.16 Arus Surut Terendah Area Teluk Ambon Dalam	57
Gambar 4.17 <i>Rate of Bed Level</i> Awal Pemodelan	60
Gambar 4.18 <i>Rate of Bed Level</i> Saat Surut Terendah	60

Gambar 4.19 <i>Rate of Bed Level</i> Saat Pasang Tertinggi	61
Gambar 4.20 Pilar Jembatan Pengamatan Perubahan Kedalaman	62
Gambar 4.21 <i>Scouring</i> Pada Pilar 1.....	63
Gambar 4.22 Grafik Perubahan Kedalaman Area <i>Scouring</i> Pilar 1	63
Gambar 4.23 <i>Scouring</i> Pada Pilar 2.....	64
Gambar 4.24 Grafik Perubahan Kedalaman Area <i>Scouring</i> Pilar 2	65
Gambar 4.25 <i>Scouring</i> Pada Pilar 3.....	65
Gambar 4.26 Grafik Perubahan Kedalaman Area <i>Scouring</i> Pilar 3	66
Gambar 4.27 <i>Scouring</i> Pada Pilar 4.....	67
Gambar 4.28 Grafik Perubahan Kedalaman Area <i>Scouring</i> Pilar 4	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe Pasang Surut.....	6
Tabel 2.2 Klasifikasi Ukuran, Butir, dan Sedimen	12
Tabel 2.3 Nilai Koefisien K1.....	20
Tabel 2.4 Nilai Koefisien K2.....	20
Tabel 2.5 Nilai Koefisien K3.....	21
Tabel 3.1 Klasifikasi Tingkat Kesalahan RMSE dan MAE.....	35
Tabel 4.1 Spesifikasi TIN.....	40
Tabel 4.2 Parameter Waktu Pemodelan.....	44
Tabel 4.3 Debit Rata-rata Sungai-sungai di Wilayah Perairan Teluk Ambon	46
Tabel 4.4 Data Pasang Surut tereferensi MSL Bulan Agustus – September 2018	47
Tabel 4.5 Sampel Data Pasang Surut Hasil Pemodelan Bulan Agustus Sampai September.....	49
Tabel 4.6 Perbandingan Nilai Pasang Tertinggi dan Surut Terendah Pasut Pengamatan dan Model	50
Tabel 4.7 Klasifikasi Tingkat Kesalahan RMSE dan MAE.....	53

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Sampel Data Batimetri Perairan Pelabuhan Teluk Ambon.	75
Lampiran 2. Data Pasang Surut Pengamatan Terhadap 0 Rambu	76
Lampiran 3. Data Pasang Surut Pengamatan Terhadap <i>Mean Sea Level</i>	77
Lampiran 4. Data Pasang Surut Hasil Model Terhadap <i>Mean Sea Level</i>	78
Lampiran 5. Data Sampel Sedimen Hasil Uji Laboratorium	79
Lampiran 6: Dimensi Pilar Jembatan Merah Putih	82

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Ambon dengan total luas kawasan laut dan darat 786 km², terbagi atas luas daratan 377 km², sedangkan luas perairan 409 km² (Laimheheriwa 2014). Kawasan pesisir dan perairan Kota Ambon langsung menghadap dengan Laut Banda. Letak Teluk Ambon yang relatif tertutup pada daerah pesisir Ambon menjadikan salah satu daerah yang dijadikan sebagai jalur keluar masuknya transportasi laut di Pulau Ambon. Selain itu, adanya Jembatan Merah Putih pada Teluk Ambon, merupakan sarana transportasi yang menghubungkan dua kawasan yang berseberangan di Teluk Ambon. Jembatan Merah Putih yang merupakan salah satu sarana penting di Kota Ambon, yang menghubungkan Desa Rumah Tiga (Poka) di Kecamatan Sirimau pada sisi utara dan Desa Hative Kecil (Galala) di Kecamatan Teluk Ambon pada sisi selatan (Mandaku, Hanok, dan Ratlalan 2014).

Jembatan Merah Putih sebagai salah satu jembatan terpanjang di Indonesia Timur sangat mendukung transportasi darat dan telah memberikan kontribusi dalam perkembangan ekonomi dan memiliki peran penting dalam hal transportasi darat di kawasan Teluk Ambon. Posisi pondasi-pondasi Jembatan Merah Putih yang terletak di perairan Teluk Ambon, perlu dilakukan pemeliharaan untuk menjaga kualitas pondasi yang berdiri di Teluk Ambon agar jembatan tetap terjaga kondisinya untuk menghindari terjadinya rubuh. Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam pemeliharaan pondasi jembatan Merah Putih adalah *scouring*. *Scouring* atau yang dapat diartikan sebagai proses terjadinya gerusan ditandai dengan berpindahannya sedimen yang menutupi pilar jembatan, serta erosi dasar sungai yang terjadi akan mengikuti pola aliran (Sucipto 2011).

Salah satu hal yang menyebabkan terjadinya *scouring* yaitu terjadinya transportasi sedimen. Transpor sedimen dan sifat-sifat

aliran, pada sungai alam akan terganggu dengan adanya penahan sedimen yang dibangun melintang sungai (Wiyono, Soekarno, dan Egon 2006). Keberadaan sedimen di dalam perairan akan mempengaruhi bentuk topografi dasar pada perairan tersebut. Transpor sedimen merupakan perpindahan material sedimen dari suatu tempat tertentu ke tempat lainnya. Perpindahan sedimen tersebut berpengaruh terhadap pondasi jembatan yang ikut tererosi akibat efek samping dari transpor sedimen. Gerusan akibat transport sedimen ini yang berbahaya pada pondasi bangunan sehingga hasil dari analisis ini untuk keperluan *maintenance* pada pondasi jembatan yang ada di dalam perairan air.

Dengan menggunakan perangkat lunak pemodelan hidrodinamika 3D diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi gambaran mengenai pola arus, pasang surut, sebaran sedimen, trasnpor sedimen, dan besar perubahan kedalaman perairan akibat *scouring* di perairan Teluk Ambon khususnya daerah sekitar pondasi Jembatan Merah Putih, sehingga dapat dijadikan referensi untuk pemeliharaan bangunan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka muncul perumusan masalah yaitu:

- a. Bagaimana pola arus yang terjadi di perairan Teluk Ambon?
- b. Bagaimana sebaran dan pola perpindahan sedimen yang terbentuk di perairan Teluk Ambon dan dampaknya terhadap pilar Jembatan Merah Putih?
- c. Bagaimana terjadinya *scouring* pada pilar Jembatan Merah Putih?
- d. Bagaimana perubahan nilai dasar perairan sekitar pilar Jembatan akibat *scouring*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

- a. Wilayah daerah penelitian yaitu di Teluk Ambon.
- b. Data yang digunakan yaitu data batimetri, arus, pasang surut, dan sampel sedimen yang diambil pada daerah tersebut.
- c. Menggunakan perangkat lunak pemodelan hidrodinamika 3D untuk pemodelan arus dan sebaran sedimen.
- d. Validasi model dilakukan dengan membandingkan data hasil observasi lapangan dengan hasil pemodelan.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu:

- a. Mengetahui pola arus dan sebaran sedimen di Teluk Ambon berdasarkan pemodelan hidrodinamika 3 dimensi.
- b. Mengetahui sebaran dan pola perpindahan sedimen di perairan Teluk Ambon yang berdampak pada pilar Jembatan Merah Putih.
- c. Menganalisis terjadinya *scouring* pada pilar jembatan Merah Putih.
- d. Mengetahui perubahan nilai kedalaman akibat terjadinya *scouring* pada area pilar jembatan.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu:

- a. Menjadi rekomendasi dalam pembuatan pemodelan proses transpor sedimen.
- b. Menjadi rekomendasi dalam upaya pemeliharaan bangunan laut di Jembatan Merah Putih.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Guna mendukung penelitian ini, maka dalam bab ini dijelaskan teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilaksanakan dan teori-teori tersebut diambil dari literatur. Berikut uraian teori-teori tersebut:

2.1 Pasang Surut

Data pasang surut digunakan sebagai data input pada pemodelan arus air di Teluk Ambon, selain itu pasang surut juga sebagai data koreksi pada pengolahan data batimetri yakni sebagai datum vertikal. Data ini pun merupakan salah satu pembangkit arus pada perairan tersebut. Pasang surut adalah fluktuasi (gerakan naik turunnya) muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama bulan dan matahari terhadap massa air laut di bumi. Benda langit itu yaitu: bumi, matahari, dan bulan.

Pasang surut biasanya dikaitkan dengan proses naik turunnya paras laut (*sea level*) secara berkala yang ditimbulkan oleh adanya gaya tarik dari benda-benda angkasa terutama matahari dan bulan, terhadap massa air di bumi. Proses pasang surut ini dapat dilihat di daerah pantai sehingga dapat berguna bagi kegiatan manusia yang hidup di perairan pantai seperti pelayaran dan penangkapan/budidaya sumber daya hayati perairan. Untuk mengetahui jenis pasang surut, maka terlebih dahulu mengetahui besarnya bilangan *Formzal* (Adibrata 2007) yaitu:

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} \quad (2.1)$$

Dimana:

K_1 :komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari.

O_1 :komponen pasang surut tunggal utama yang

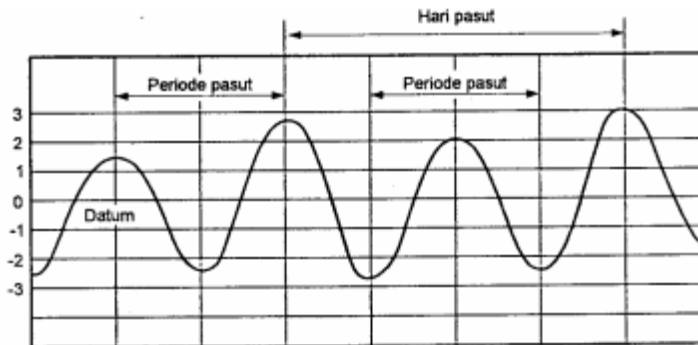
- disebabkan oleh gaya tarik bulan.
- M_2 :komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan.
- S_2 :komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari.

Nilai konstanta ini terdapat nilai amplitudo (A , dalam centimeter) dan nilai fase (θ , dalam derajat). Tipe pasang surut (F) dengan rumus Formzahl ditunjukkan pada Tabel 2.1:

Tabel 2.1 Tipe Pasang Surut (Adibrata 2007)

Tipe Pasang Surut	Bilangan <i>Formzahl</i>
Harian ganda beraturan	$0 < F \leq 0,25$
Campuran cenderung harian ganda	$0,25 < F \leq 1,5$
Campuran cenderung harian tunggal	$1,5 < F \leq 3$
Harian tunggal	$F > 3$

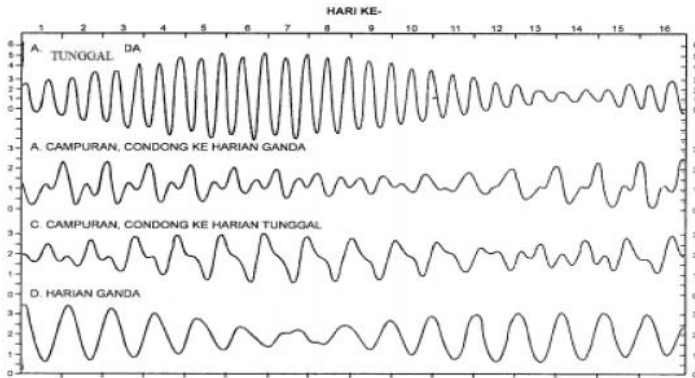
Periode pasang surut terjadi 1 kali pasang dan 1 kali surut. Pasang surut dapat terjadi lebih dari 1 kali pasang dan 1 kali surut, dalam 1 hari. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1 mengenai kurva pasang surut.



Gambar 2.1 Kurva Pasang Surut (Triatmodjo 1999)

Pada setiap daerah, tipe-tipe pasang surut berbeda jenisnya, Bisa terjadi satu sampai dua kali pasang surut tiap harinya. Berikut tipe tipe pasang surut menurut (Triatmodjo 1999) yang ditampilkan juga pada Gambar 2.2 :

- a. Pasang surut harian ganda.
 Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hamper sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur.
- b. Pasang surut harian tunggal.
 Dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut.
- c. Pasang surut campuran condong ke harian ganda.
 Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda.
- d. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal.
 Pada tipe ini dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.



Gambar 2.2 Tipe Pasang Surut (Triatmodjo 1999)

2.2 Arus

Arus laut adalah gerakan massa air dari suatu tempat (posisi) ke tempat yang lain (Azis 2006). Pada hakekatnya, energi yang menggerakkan massa air laut tersebut berasal dari matahari (Azis 2006). Adanya perbedaan pemanasan matahari terhadap permukaan bumi menimbulkan pula perbedaan energi yang diterima permukaan bumi. Perbedaan ini menimbulkan fenomena arus laut dan angin yang menjadi mekanisme untuk menyeimbangkan energi di seluruh muka bumi. Kedua fenomena ini juga saling berkaitan erat satu dengan yang lain. Angin merupakan salah satu gaya utama yang menyebabkan timbulnya arus laut selain gaya yang timbul akibat dari tidak samanya pemanasan dan pendinginan air laut (Azis 2006).

Arus dapat terjadi karena adanya beberapa sebab, sehingga terdapat beberapa jenis arus berdasarkan penyebabnya, sebagai berikut (Pond dkk. 1983):

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 horisontal.

c. Turbulensi

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

Selain jenisnya, terdapat komponen-komponen pada arus. Komponen tersebut adalah (Rahmawitri, Atmadipoera, dan Sukoraharjo 2016):

a. Komponen zonal (u)

Menunjukkan arah arus ke arah timur (positif) dan ke arah barat (negatif).

b. Komponen meridional (v)

Menunjukkan arah arus ke arah utara (positif) dan ke arah selatan (negatif).

c. Kecepatan arus (*Magnitude*)

Besar kecepatan rata-rata arus pada arah tertentu.

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 arus di perairan Teluk Ambon dan dampaknya terhadap pilar Jembatan Merah Putih, selain itu pemodelan arus pasang surut digunakan sebagai bahan masukan dalam pembuatan model pola distribusi sedimen. Hal ini dikarenakan arus pasang surut merupakan salah satu media penggerak partikel sedimen.

Pengaruh pasang surut sangat besar pada muara-muara sungai (*estuary*). Jadi bila suatu jembatan dibangun di atas muara sungai,

maka dua hal yang perlu diperhatikan seperti kekuatan pondasi dan pengendapan (sedimentasi) harus cukup kecil (Froditus 2018).

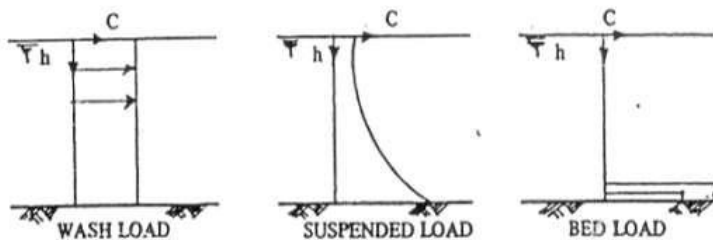
2.4 Sedimentasi

Pengertian sedimen adalah sekumpulan rombakan material: batuan, mineral, dan bahan organik yang mempunyai ukuran butir tertentu (Sanjoto 2012). Kebanyakan sumber dari material sedimen adalah daratan, dimana erosi dan pelapukan batuan berperan terhadap pengikisan daratan dan ditransportasikan ke laut. Sedimen berasal dari tiga sumber, yaitu erosi sungai, erosi pantai, dan erosi dasar laut, dimana pada kenyataannya justru sungai yang memberikan suplai yang relatif besar (kurang lebih 90%) terhadap transpor sedimen yang terjadi di pantai (Sanjoto 2012). Hampir semua keping dan serpihan batu yang merupakan pecahan batu padat permukaan bumi mengendap di suatu tempat sebagai sedimen. Lingkungan pengendap berbeda satu sama lain dan sangat mempengaruhi ciri sedimen yang dihasilkan. Lingkungan tempat pengendapan beragam dari lereng curam pegunungan, lembah sungai, pantai sampai dasar laut dangkal di pinggir pulau dan laut dalam (Sanjoto 2012).

Sedimentasi adalah masuknya muatan sedimen ke dalam suatu lingkungan perairan tertentu melalui media air dan diendapkan di dalam lingkungan tersebut (Rachman 2016). Proses sedimentasi yang terjadi di suatu lokasi sangat dipengaruhi dinamika perairan pesisir. Kondisi hidrodinamika di wilayah pesisir akan menjadi penggerak utama dalam proses transportasi sedimen yang berasal dari aliran sungai atau aktivitas yang terjadi di sekitar teluk. Pengamatan proses sedimentasi di Teluk secara *in situ* membutuhkan banyak waktu serta biaya yang tinggi. Beberapa metode telah diterapkan dalam upaya menekan waktu serta biaya dalam pengamatan distribusi sedimen diantaranya menggunakan teknologi penginderaan jauh dan pemodelan numerik (Rachman 2016).

2.5 Angkutan Sedimen

Angkutan sedimen di pantai adalah pergerakan sedimen pada daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus. Angkutan sedimen pantai dapat mengakibatkan perubahan garis pantai baik terjadinya akresi maupun erosi. Angkutan sedimen pantai dapat berupa angkutan sedimen sejajar pantai dan transpor sedimen tegak lurus pantai (Minarrohman 2017).



Gambar 2.3 Pergerakan Sedimen Pada Perairan (Pristianto 1988)

Pergerakan sedimen pada perairan ditampilkan pada Gambar 2.3, dan dikategorikan menjadi 3 macam, yaitu (Pristianto 1988):

- a. *Bed load* (sedimen dasar).

Bed load adalah angkutan sedimen yang mengalami kontak terus menerus dengan jenis sedimen yang ditimbulkannya (*sliding, jumping, and rolling*).

b. *Suspended load* (sedimen melayang).

Suspended load adalah gerakannya tidak mengalami kontak yang terus menerus dengan dasar dan ukuran partikelnya kecil.

c. *Wash load*.

Wash load adalah gerak butir sedimen bergerak bagaikan digelontor oleh aliran dan tidak pernah menyentuh dasar sungai atau saluran. Transpor dengan cara ini umumnya terjadi pada butir sedimen yang berukuran sangat halus.

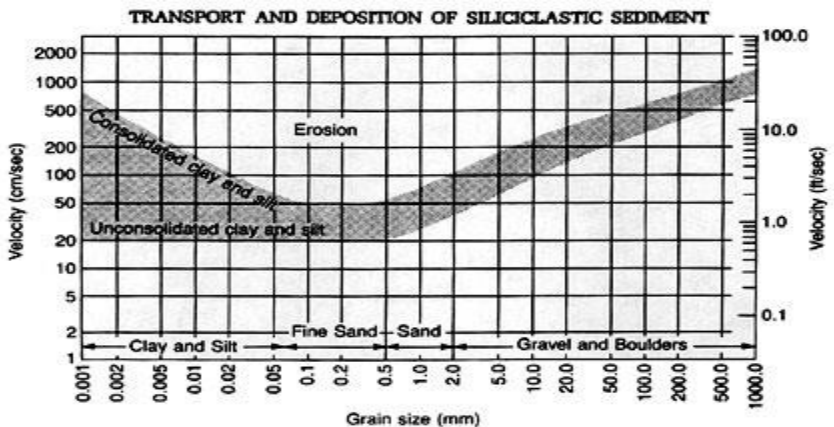
Pada Tabel 2.1 terdapat klasifikasi sedimen menurut jenis dan ukuran sedimen tersebut.

Tabel 2.2 Klasifikasi Ukuran, Butir, dan Sedimen (Minarrohman 2017)

Klasifikasi	Diameter (mm)
<i>Boulders</i>	257 - 4096
Berbatu (<i>cobbles</i>)	65 – 256,9
Kerikil (<i>gravel</i>)	2 – 64,9
Pasir	
- Sangat kasar	1 – 1,9
- Kasar	0,50 - 0,99
- Sedang	0,25 - 0,49
- Halus	0,125 - 0,249
- Sangat halus	0,062 – 0,1249
Lumpur	
- Kasar	0,031 – 0,0619
- Sedang	0,016 – 0,0309
- Halus	0,008 – 0,0159
- Sangat halus	0,004 – 0,0079
Lempung	
- Kasar	0,002 – 0,0039
- Sedang	0,001 – 0,0019
- Halus	0,0005 – 0,0009
- Sangat halus	0,00024 – 0,00049

Diagram Hjulstrom adalah diagram yang menunjukkan hubungan antara kecepatan aliran air dan ukuran butir (Minarrohman 2017). Pada diagram Hjulstrom, kecepatan air adalah sebagai ordinat dan gradasi sedimen sebagai absis. Maka apabila diketahui kecepatan air tertentu, akan didapat gradasi sedimen tertentu dan pengaruh kecepatan terhadap sedimen sebagai berikut:

- Pada area sedimentasi, maka air dengan kecepatan tersebut tidak dapat membawa material sedimen dan akan mengendap.
- Pada area transpor, maka air dengan kecepatan tersebut sedikit berpengaruh terhadap material sedimen yaitu diantara mengendap dan terbawa air.
- Pada area erosi, dengan kecepatan air tersebut material sedimen bisa tererosi dan terbawa air



Gambar 2.4 Diagram Hjulstrom (Minarrohman 2017)

2.6 Model Hidrodinamika

Pemodelan pergerakan massa air (hidrodinamika) di suatu perairan dapat dilakukan dengan metode pemodelan numerik. Pemodelan numerik mensimulasikan pola sirkulasi arus berdasarkan hukum kekekalan massa (kontinuitas) dan kekekalan momentum (Istianto 2009). Model ini didasarkan pada suatu asumsi bahwa tinggi muka air yang terjadi jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan panjang horizontalnya sehingga besaran kecepatan dirata-ratakan terhadap kedalaman. Dengan asumsi ini maka sirkulasi yang terjadi hanya dalam arah horizontal (Hendiarti dkk. 2006). Model hidrodinamika terdiri dari persamaan kekekalan massa atau persamaan kontinuitas dan persamaan kekekalan momentum atau persamaan gerak. Persamaan kontinuitas untuk kedalaman rata-rata dapat dituliskan persamaannya sebagai berikut (Lai 2016):

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}\sqrt{G_{\eta\eta}}}} \frac{\partial [(d+\zeta)U\sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}\sqrt{G_{\eta\eta}}}} \frac{\partial [(d+\zeta)V\sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} = (d + \zeta)Q \quad (2.2)$$

Keterangan:

- ζ = kedalaman perairan (m)
- t = waktu (s)
- $\sqrt{G_{\xi\xi}}$ = koefisien yang digunakan untuk mentransformasi koordinat kurvilinear ke koordinat kartesian arah ξ (m)
- $\sqrt{G_{\eta\eta}}$ = koefisien yang digunakan untuk mentransformasi koordinat kurvilinear ke koordinat kartesian arah η (m)
- d = kedalaman di bawah referensi permukaan (m)
- U = kecepatan rata-rata kedalaman di arah ξ (m/s)
- ξ = koordinat kurvilinier di arah x
- η = koordinat kurvilinier di arah y
- V = kecepatan aliran di arah η (m/s)
- Q = *global source or sink per unit area* (m/s)

Persamaan kontinuitas untuk kedalaman rata-rata didapat dari integral persamaan kontinuitas pada material fluida tak mampat untuk semua kedalaman. Hal ini memperhitungkan kondisi batas kinematik di permukaan dan dasar perairan.

$$Q = \int_{-1}^0 (q_{in} - q_{out}) d\sigma + P - E \quad (2.3)$$

Keterangan:

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

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

σ = skala koordinat vertikal

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

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

Dengan Q mewakili kontribusi debit per unit dan q_{in} dan q_{out} lokal *input* atau *output* air per unit volume (1/s), P mewakili presipitasi dan E merupakan evaporasi.

Persamaan momentum dalam arah ζ dan η , percepatan vertikal ditiadakan, yang kemudian mengarah ke persamaan tekanan hidrostatik. Persamaannya sebagai berikut (Lai 2016):

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}}} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d+\zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \zeta} + \\ \frac{uv}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \eta} - fv = -\frac{1}{\rho_0\sqrt{G_{\zeta\zeta}}} P_{\zeta} + F_{\zeta} + \frac{1}{(d+\zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(v_V \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + \\ M_{\zeta} \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}}} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d+\zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \zeta} + \\ \frac{u^2}{\sqrt{G_{\zeta\zeta}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\zeta\zeta}}}{\partial \eta} + fu = -\frac{1}{\rho_0\sqrt{G_{\zeta\zeta}}} P_{\eta} + F_{\eta} + \frac{1}{(d+\zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(v_V \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + \\ M_{\eta} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Keterangan:

v	= kecepatan aliran dalam arah y atau η (m/s)
u	= kecepatan aliran dalam arah x atau ξ (m/s)
f	= parameter Coriolis (frekuensi inersial) (1/s)
ρ_0	= densitas air (kg/m ³)
P	= gradient tekanan hidrostatik di setiap arah (kg/(m ² s ²))
F	= fluks momentum turbulen di setiap arah (m/s ²)
M	= momentum <i>source or sink</i> di setiap arah (m/s ²)
v_V	= <i>vertical eddy viscosity</i> (m ² /s)

Pada persamaan nomor 2.4, v_V merupakan *vertical eddy viscosity*, P adalah *gradient* tekanan masing masing arah, F adalah gaya dimana pada persamaan momentum adalah gaya tekan Reynold. M adalah pengaruh yang datang dari momentum (gaya eksternal dari struktur hidrolis, *discharge*, tekanan gelombang dan lain-lain). Gaya F pada persamaan momentum horizontal mewakili ketidaksetimbangan tekanan Reynold horizontal. Tekanan Reynold merupakan model yang digunakan terhadap konsep dari *eddy viscosity* (Lai 2016).

2.7 Scouring (Gerusan)

Gerusan merupakan proses semakin dalamnya dasar sungai karena interaksi antara aliran dengan material dasar sungai. Proses penggerusan akan terjadi secara alami, baik karena pengaruh morfologi sungai seperti tikungan sungai atau penyempitan aliran sungai, atau pengaruh bangunan hidraulika yang menghalangi aliran seperti abutmen jembatan (Abdurrosyid 2007).

Gerusan yang terjadi pada struktur bangunan dapat dibagi menjadi beberapa kategori yaitu (Achmadi 2001):

a. Tipe Gerusan

- *General scour* yaitu gerusan yang terjadi pada sebuah sungai atau saluran yang dihasilkan oleh proses alami tanpa adanya pengaruh atau gangguan dari sebuah struktur bangunan.
- *Constriction scour* yaitu jenis gangguan yang terjadi akibat penyempitan saluran.
- *Local scour* atau gerusan lokal, yaitu gerusan yang terjadi bila ada struktur bangunan dalam sebuah saluran pengaliran. Gerusan lokal termasuk tipe gerusan antara gerusan umum dan gerusan yang terjadi akibat penyempitan saluran.
- Gerusan yang terjadi pada abutmen maupun pilar jembatan adalah merupakan gerusan total (*total scour*), yaitu kombinasi antara gerusan lokal (*local scour*) dan gerusan umum (*general scour*). Bisa juga kombinasi antara gerusan lokal, gerusan umum dan gerusan terlokalisir atau penyempitan (*localized scour / constriction scour*).

b. Gerusan pada kondisi yang berbeda dalam proses transportasi sedimen.

- *Clear water-scour* yaitu terjadi jika material-material dasar pada aliran di bagian hulu telah mulai berhenti tergerus. Tegangan geser yang terjadi tidak lebih besar dari kondisi kritis untuk memulai Bergeraknya partikel butiran. Dengan perkataan lain bahwa sedimen yang bergerak dari lobang gerusan (*scour hole*) tidak akan kembali lagi.
- *Live-bed scour* ditunjukkan oleh gerusan yang terjadi dengan disertai transportasi sedimen dari material

dasar, hal ini terjadi ketika kondisi aliran dalam saluran telah menyebabkan bergeraknya material dasar. Hal tersebut menunjukkan bahwa tegangan geser pada dasar saluran sudah lebih besar dari nilai kritiknya. Kesetimbangan kedalaman gerusan tercapai ketika banyaknya material yang telah bergerak dari lobang gerusan sama banyaknya dengan material yang tersuplai ke lubang gerusan.

Degradasi ini berlangsung secara terus menerus hingga dicapai keseimbangan antara suplai dan angkutan sedimen yang saling memperbaiki. Apabila suplai sedimen dari hulu berkurang atau jumlah angkutan sedimen lebih besar daripada suplai sedimen, maka bisa menyebabkan terjadinya kesenjangan yang begitu menyolok antara degradasi dan aggradasi di lokasi dasar jalan air jembatan. Sehingga lubang gerusan (*scour hole*) pada abutmen maupun pilar jembatan akan lebih dalam bila tidak terdapat atau kurangnya suplai sedimen. (Wiyono, Soekarno, dan Egon 2006).

Wiyono, Soekarno, dan Egon (2006) menyebutkan bahwa kedalaman gerusan tergantung dari beberapa variabel, yaitu karakteristik fluida, material dasar, aliran dalam saluran dan bentuk pilar atau abutmen jembatan yang dapat ditulis:

$$d_s = f(\rho, v, g, D_s, \rho_s, d_0, U, b, \alpha, \lambda) \quad (2.6)$$

Dimana:

- ρ = rapat massa fluida,
- v = kekentalan kinematik fluida,
- g = percepatan gravitasi,
- D_s = diameter butiran sediment,
- ρ_s = rapat massa sedimen,
- U = kecepatan aliran rata-rata,
- b = tebal pilar,

α = sudut arah aliran,
 λ = jarak antar pilar

Dimana untuk menghitung kedalaman gerusan menggunakan persamaan dari Colorado State University (CSU) yang direkomendasikan *Federal Highway Administration Departement* Amerika Serikat. Persamaannya yaitu:

$$d_s = 2 y k_1 k_2 k_3 \left(\frac{b}{y}\right)^{0.65} Fr^{0.43} \quad (2.7)$$

Dimana:

Fr = bilangan *Froude*
 d_s = kedalaman gerusan (m)
 y = kedalaman aliran (m)
 k_1 = koefisien pilar (Tabel 2.2)
 k_2 = koefisien terhadap sudut aliran (Tabel 2.3)
 k_3 = koefisien dasar saluran (Tabel 2.4)

Pada rumus 2-7, bilangan *Froude* dihitung dengan:

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{g y}} \quad (2.8)$$

Dimana:

U = kecepatan aliran (m/s)
 g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
 y = kedalaman aliran (m)

Nilai koefisien pilar (k_1) ditunjukkan pada Tabel 2.2, dimana bentuk pilar mempunyai koefisien masing-masing yang berbeda pada tiap bentuknya.

Tabel 2.3 Nilai Koefisien k_1 (Achmadi 2001)

Bentuk Pilar	Nilai Koefisien
Pilar berujung kotak	1,1
Pilar berujung bulat dan silinder	1,0
Pilar berujung runcing	0,9

Nilai koefisien untuk k_2 , yaitu koefisien yang memperhatikan panjang dan lebar pilar jembatan, selain itu juga sudut aliran yang menghadap ke pilar jembatan. Ditampilkan dalam Tabel 2.3 atau dapat menggunakan persamaan berikut:

$$K_2 = \left(\cos \theta + \frac{L}{a} \sin \theta \right)^{0.65} \quad (2-9)$$

Dimana:

θ = sudut arah aliran ($^\circ$)

L = panjang pilar (m)

a = lebar pilar (m)

Tabel 2.4 Nilai Koefisien k_2 (Achmadi 2001)

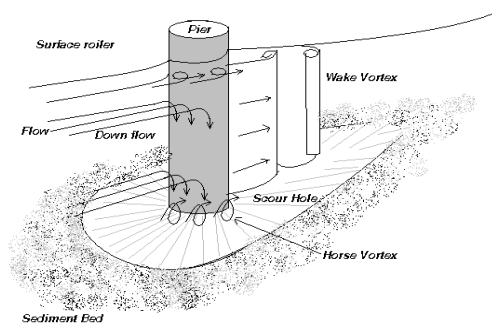
Sudut Aliran ($^\circ$)	$L/a = 4$	$L/a = 8$	$L/a = 12$
0	1,0	1,0	1,0
15	1,0	2,0	2,5
30	2,0	2,5	3,5
45	2,3	3,3	4,3
90	2,5	3,9	5,0

Untuk koefisien k_2 , yaitu parameter yang diperhatikan adalah kondisi saluran disekitar pilar yang menghadap ke arah datangnya aliran, ditampilkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.5 Nilai Koefisien k_3 (Achmadi 2001)

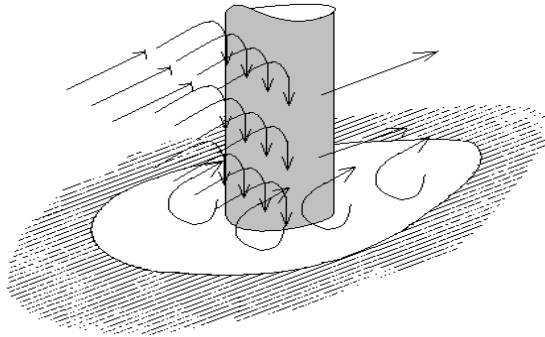
Kondisi saluran	Ukuran (m)	Nilai
<i>Clear water scour</i>	-	1,1
Dasar rata	-	1,1
Gundukan kecil	$0,6 < H < 3$	1,1
Gundukan sedang	$3,1 < H \leq 9,1$	1,1 - 1,2
Gundukan besar	$H > 9,1$	1,3

Mekanisme gerusan aliran sungai pada area sekitar pilar jembatan sangat kompleks. Pilar yang berdiri di aliran dapat menyebabkan sistem pusaran di sekitar bangunan tersebut, yang selanjutnya menyebabkan terjadinya gerusan. Di dekat dasar komponen aliran tersebut akan berbalik arah ke hulu, yang diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral di daerah lobang gerusan (*scour hole*) yang mengakibatkan gerusan dasar sungai di sekitar pilar ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Pola Arus Disekitar Pilar Jembatan Bulat
(Dictanata dan Lutjito 2016)

Proses gerusan di sekitar pilar sangat kompleks karena meliputi aliran tiga dimensi. Pada saat aliran melewati pilar, akan terjadi pemisahan aliran dan pemisahan ini akan meluas ke bagian hilir pilar. Sistem pusaran yang terjadi pada Gambar 2.6 mempunyai bentuk atau karakteristik seperti pusaran sepatu kuda sehingga dinamakan pusaran sepatu kuda (*horseshoe vortex*) (Dictanata dan Lutjito 2016).



Gambar 2.6 Sistem Pusaran Telapak Kaki Kuda (Dictanata dan Lutjito 2016)

2.8 Penelitian Terdahulu

Pada bagian ini, akan dibahas penelitian serupa yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti lain:

- a. Penelitian tentang karakteristik gerusan pada pilar segi empat ujung bulat pada kondisi terjadi penurunan dasar sungai dengan proteksi tirai (Yunar 2006). Penelitian ini lebih ditekankan pada tirai dan pilar yang dapat mengurangi kedalaman gerusan lokal pada saat terjadi penurunan dasar. Sehubungan dengan adanya gerusan lokal yang dapat membahayakan bangunan sungai (pilar, abutment, krib dan sebagainya) berupa keruntuhan pada

bangunan tersebut, sehingga di perlukan upaya pengendalian gerusan lokal maksimum dengan mengadakan penelitian di laboratorium pada pilar, berupa pemasangan tirai yang divariasikan untuk mengetahui kedalaman gerusan yang terjadi di sekitar pilar pada kondisi adanya angkutan sedimen (*live-bed scour*) dan mencari tirai yang paling baik untuk mengendalikan kedalaman gerusan (Yunar 2006). Perbedaan penelitian yang telah dilakukan oleh Yunar pada tahun 2006 yaitu pada penelitian ini menggunakan pemodelan hidrodinamika 3 dimensi, selain itu pada penelitian ini nilai gerusan yang ingin didapatkan yaitu pilar jembatan yang tidak mempunyai pelindung gerusan pada pilarnya.

- b. Kedua yaitu penelitian mengenai mekanisme perilaku gerusan lokal pada pilar tunggal dengan variasi diameter (Qudus dan Agustina 2007). Penelitian ini mempelajari kedalaman gerusan lokal pada pilar tunggal jembatan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Jenis pengujian yang dilakukan adalah pengujian bahan (material dasar) untuk mengetahui spesifikasi bahan yang digunakan serta pengujian aliran untuk mengetahui jenis aliran dan debit. Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium Hidraulika UNNES. Hasil penelitian ini yaitu kedalaman gerusan mengalami tambahan dengan cepat pada menit-menit awal dan perubahan kedalaman semakin mengecil hingga mendekati keseimbangan lalu posisi kedalaman gerusan maksimum pada samping pilar, hal ini terjadi karena dominasi penyempitan aliran, semakin sempit aliran maka kecepatan semakin besar. Selain itu kedalaman gerusan maksimum

yang terjadi pada masing-masing pilar semakin meningkat seiring dengan peningkatan variasi diameter pilar, dalam penelitian ini terjadi dua macam gerusan, yaitu gerusan lokal disekitar model pilar yang terjadi karena pola aliran di sekitar model dan gerusan dilokalisir di alur sungai yang terjadi karena penyempitan alur sungai sehingga aliran menjadi lebih terpusat (Qudus dan Agustina 2007). Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Qudus dan Agustina pada tahun 2007 yaitu dilakukan dengan eksperimen, dimana pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak pemodelan 3 dimensi. Selain itu pada penelitian ini, hasil yang ingin didapatkan yaitu perubahan kedalaman pada area sekitar pilar yang berbetuk kotak, sedangkan pada penelitian Qudus dan Agustina hasil yang ingin didapatkan yaitu jenis aliran, debit air dan perubahan kedalaman pada variasi diameter pilar.

- c. Pada penelitian ketiga mengenai pengaruh debit terhadap pola gerusan di sekitar abutmen jembatan (uji coba laboratorium dengan model Jembatan Megawati) (Halim 2014). Penelitian pola gerusan di sekitar abutmen jembatan ini menggunakan skala model yaitu keadaan di lapangan dibawa ke laboratorium dengan perbandingan skala dan ukuran yang lebih kecil dengan pengaruh variasi debit dan dilakukan di laboratorium. Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah bangunan abutmen pada jembatan Megawati. Sebagai kajian fisik digunakan flume dengan panjang 4 m, tinggi 0,30 m, lebar 0,40 m dengan kondisi aliran seragam dan dimensi abutmen yang digunakan yaitu panjang 10 cm, lebar 1,1 cm dan tinggi 30cm. Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui

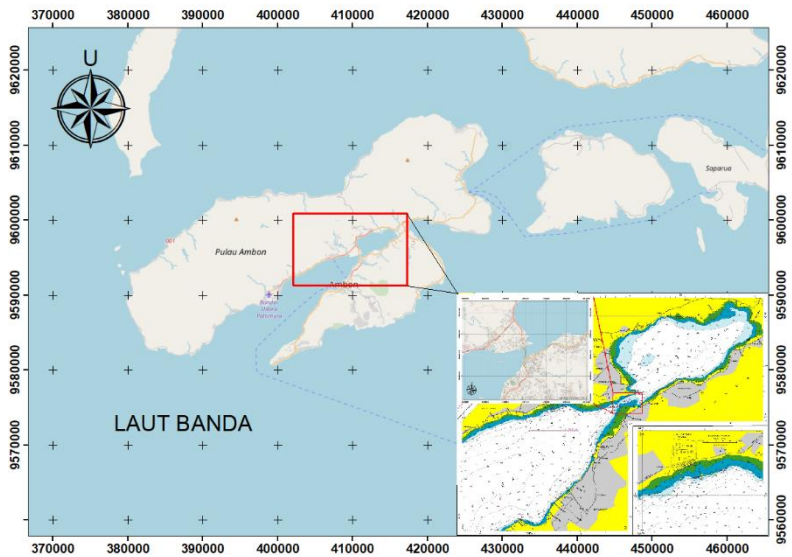
pola gerusan dan kedalaman gerusan yang terjadi disekitar abutmen jembatan akibat pengaruh debit dan mengetahui pengaruh parameter aliran terhadap proses gerusan, serta bentuk hubungan antara parameter-parameter yang berpengaruh tersebut dengan besar gerusan yang terjadi. Sehingga nantinya dapat diketahui pengaruh debit terhadap kedalaman gerusan lokal (Halim 2014). Perbedaan penelitian yang telah dilakukan oleh Halim pada tahun 2014 yaitu pada penelitian ini menggunakan pemodelan hidrodinamika 3 dimensi juga objek yang digunakan yaitu pilar berbentuk kotak, juga parameter yang digunakan yaitu pasang surut, arah dan besar kecepatan angin, debit air sungai, dan sampel sedimen.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kawasan Jembatan Merah Putih di Teluk Ambon, Maluku. Secara geografis jembatan tersebut terletak di $3^{\circ}39'45''$ LS dan $128^{\circ}11'54''$ BT Berikut merupakan gambar lokasi penelitian.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian di Jembatan Merah Putih Teluk Ambon

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Data yang digunakan untuk penelitian ini yaitu:

- a. Data batimetri Teluk Ambon khususnya sekitar Jembatan Merah Putih tahun 2018 yang diperoleh dari Pusenlis dan Distrik Navigasi Kelas II Ambon
- b. Peta RBI dan SHP garis pantai Teluk Ambon skala 1:50.000 yang diperoleh dari BIG.
- c. Peta Laut Teluk Ambon skala 1:25.000 yang diperoleh dari PUSHIDROSAL
- d. Data sampel sedimen disekitar jembatan Merah Putih yang diperoleh dari Pusenlis dan Distrik Navigasi Kelas II Ambon.
- e. Data pasang surut Teluk Ambon yang diperoleh dari Pusenlis dan Distrik Navigasi Kelas II Ambon.
- f. Data pasang surut Real-Time perairan Teluk Ambon tahun 2018 yang didapat dari BIG.
- g. Data arus Teluk Ambon yang diperoleh dari Pusenlis.
- h. Data *river discharge* yang diperoleh dari Kementerian Pekerjaan Umum.
- i. Data dimensi pilar jembatan Merah Putih yang diperoleh dari Kementerian Pekerjaan Umum.
- j. Data angin Teluk Ambon yang diperoleh dari ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecast*).

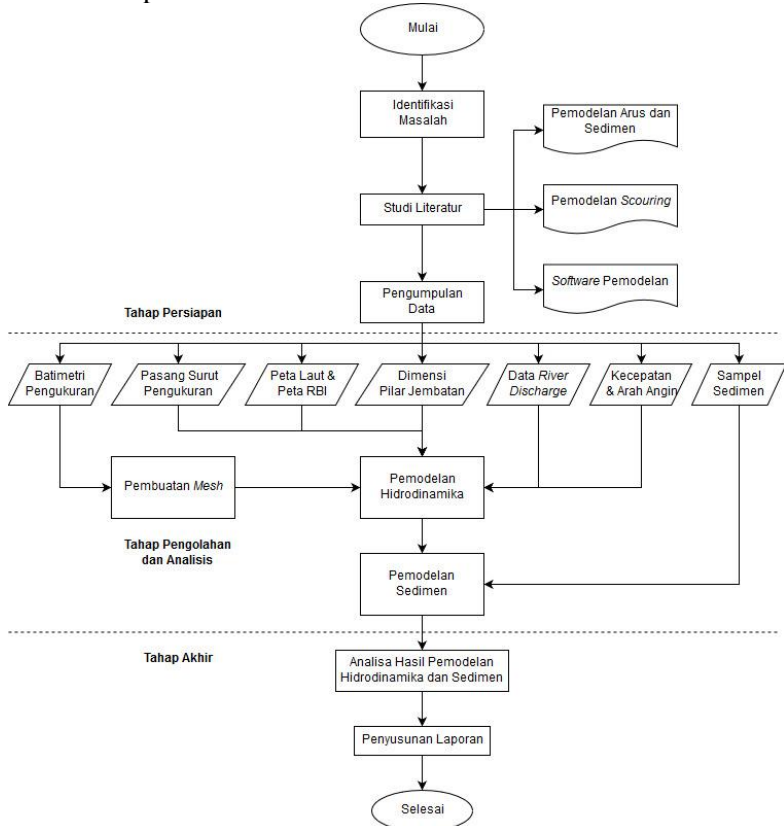
3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Perangkat Lunak Pengolah Pasang Surut
Digunakan untuk mengolah data pasang surut.
- b. Perangkat Lunak Pengolah Batimetri
Digunakan untuk mengolah data batimetri sesuai dengan kondisi yang diinginkan untuk melakukan pemodelan
- c. ArcGIS 10.6.1
Digunakan untuk digitasi data kedalaman dari peta laut Indonesia dan garis pantai.
- d. Perangkat Lunak Pemodelan
Digunakan untuk melakukan pemodelan hidrodinamika arus dan sedimen.

3.3 Metodologi Penelitian

Berikut ini merupakan tahapan yang dilakukan selama melakukan penelitian:



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Tahap Persiapan

a. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan identifikasi awal mengenai kasus yang akan diteliti, baik berupa parumusan masalah, tujuan dan manfaat dari pemodelan arus dan *scouring*.

b. Tahap Studi Literatur

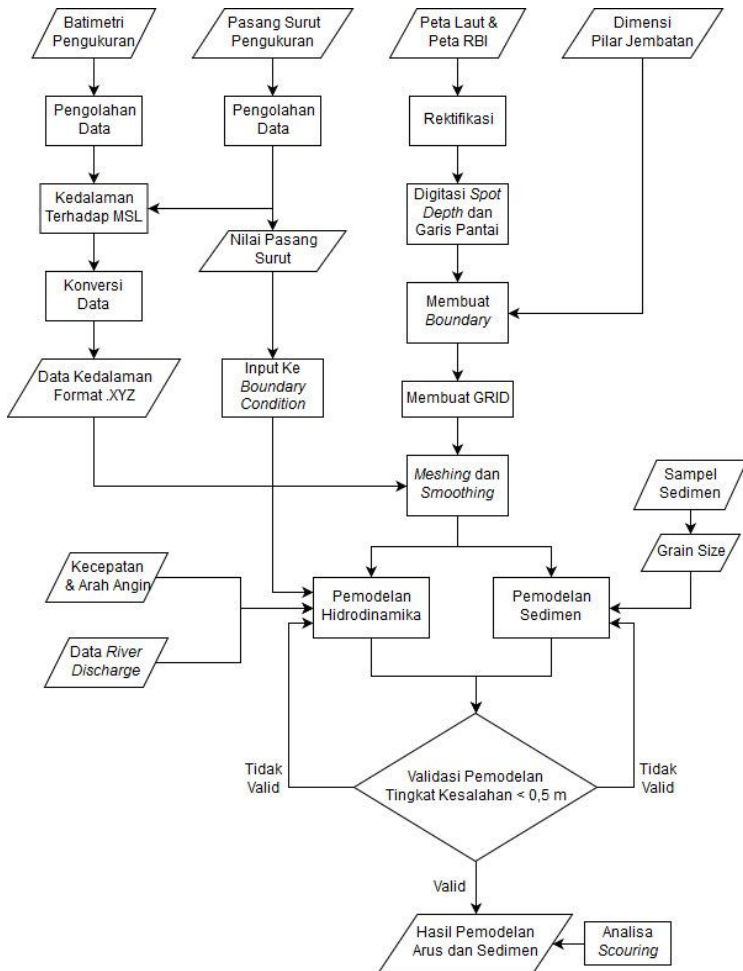
Pada tahap ini dilakukannya pencarian studi literatur sebagai penunjang dalam membantu menyelesaikan penelitian, mendapatkan referensi dan memahami pemodelan arus dan *scouring*.

c. Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan sesuai dengan kebutuhan yaitu data batimetri Teluk Ambon khususnya sekitar jembatan Merah Putih sebelum dan tahun 2018, Data SHP Teluk Ambon, peta laut Teluk Ambon, data sampel sedimen disekitar jembatan Merah Putih, data pasang surut Teluk Ambon, data *river discharge*, data dimensi pilar jembatan Merah Putih, data angin Teluk Ambon.

3.3.2 Tahap Pengolahan dan Analisis

Tahap pengolahan data dan analisis terdiri dari beberapa tahapan seperti yang dijelaskan dengan diagram pada Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3. 3 Tahap Pengolahan Data

Adapun beberapa proses yang dilakukan dalam tahap pengolahan data ini, diantaranya sebagai berikut:

- a. Pengolahan data batimetri
Data Batimetri diolah untuk mengetahui topografi daerah Teluk Ambon, khususnya daerah sekitar jembatan Merah Putih, guna pengolahan data selanjutnya untuk mendapatkan perubahan kedalaman akibat *scouring*.
- b. Pengolahan data pasang surut.
Pasang surut diolah untuk koreksi kedalaman lokasi penelitian, sehingga mendapatkan nilai koreksi topografi dasar laut yang sebenarnya.
- c. Peta laut
Digitasi pada peta laut untuk menentukan titik *spot depth* pada daerah Teluk Ambon yang *vertical reference* nya yaitu MSL.
- d. Peta RBI dan SHP Teluk Ambon
Dibutuhkan untuk digitasi garis pantai guna menghasilkan *grid* yang selanjutnya diinterpolasikan dengan data batimetri dan *spot depth*.
- e. Melakukan *Mesh Interpolation*
Proses memasukan nilai batimetri ke dalam tiap *grid* yang sudah dibuat, sehingga mendapatkan data *mesh* (*grid* dengan informasi kedalaman).
- f. Tahap pemodelan
Pada tahap ini, data data hasil interpolasi, *river discharge*, ukuran pilar jembatan, hasil *grain size*, dan *water level* MSL dimasukan ke dalam parameter pemodelan. Serta dianalisis perubahan topografi disekitar pilar akibat *scouring*.

g. Tahap validasi

Validasi data pasang surut dan arus dilakukan untuk mengetahui secara matematis data hasil pemodelan menggunakan RMSE (*Root Mean Square Error*) dan MAE (*Mean Absolute Error*). Perhitungan untuk mencari nilai tersebut adalah:

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

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

Dengan n , y_i , \bar{y}_i berturut-turut adalah jumlah data, data lapangan dan data hasil pemodelan. RMSE merupakan rata-rata besar kesalahan pada suatu sampel data, sedangkan MAE yaitu rata-rata besar kesalahan tanpa memperhitungkan arah kesalahannya (Khotimah 2012). RMSE digunakan untuk mengumpulkan seberapa eror model yang dihasilkan, berbeda dengan MAE yang digunakan untuk menggambarkan kesalahan yang terdistribusi secara merata dari hasil model yang dihasilkan terhadap data observasi. Dengan nilai RMSE dan MAE bersama-sama menunjukkan variasi kesalahan dalam suatu sampel data, nilai RMSE selalu lebih besar atau sama dengan nilai MAE. 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	Tingkat Kesalahan
0,00 – 0,299	Kecil
0,30 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,899	Besar
> 0,9	Sangat Besar

Dengan nilai MAE, maka diketahui nilai dan tingkat kesalahan ukuran absolut dan hasil model yang menyimpang dari data hasil observasi. Jika kualitas data memiliki nilai RMSE dan MAE relatif kecil atau minimum, dapat disimpulkan bahwa algoritma pengolahan data berjalan dengan baik.

3.3.3 Tahap Penyusunan Laporan

Langkah akhir yaitu pembuatan laporan dan hasil akhir dari simulasi pemodelan sebaran sedimen dan arus yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya mengenai perubahan kedalaman laut akibat terjadinya *scouring* di area sekitar pilar Jembatan Merah Putih di Teluk Ambon.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Bidang Model Domain (*Mesh*)

Model domain yang diperoleh merupakan model domain yang telah mencakup wilayah perairan Teluk Ambon, dengan *boundary condition (close boundaries)* mengikuti bentuk garis pantai Teluk Ambon yang telah didefinisikan melalui digitasi *on screen*. Hasil *mesh* yang sudah baik dan sesuai dengan kebutuhan dijadikan sebagai masukan data utama dalam pembuatan simulasi model.

Semua bentuk data yang digunakan dalam pembuatan *mesh* diatur dalam sistem proyeksi UTM dengan sistem koordinat pilihan pada *software* pemodelan hidrodinamika arus dan sedimen, yakni geografis. Lokasi penelitian berada pada koordinat 404422.931 m Timur dan 9593651.556 m Utara sampai dengan 416074.195 m Timur dan 9597820.513 m Utara, sehingga sistem proyeksi UTM yang digunakan adalah zona 52S. Satuan yang digunakan untuk menyatakan koordinat (x,y), kedalaman (z), ukuran *grid*, dan aspek lain adalah meter (m).

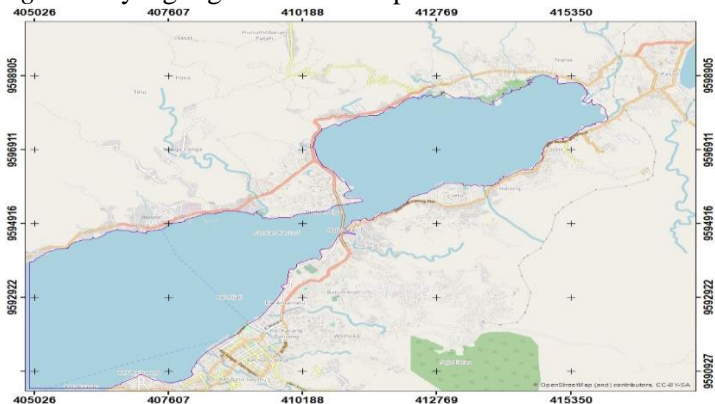
4.1.1 Pendefinisian Batas

Proses awal yang dilakukan dalam pembuatan bidang model domain (*mesh*) yaitu dengan mendefinisikan batas area model yang diwakilkan dengan garis pantai. Dalam penelitian ini datum vertikal yang digunakan dalam pembuatan model adalah MSL (*Mean Sea Level*) atau kedudukan muka air rata-rata. Garis pantai yang digunakan untuk mendefinisikan batas model diperoleh dari proses *digitation on screen* yang mengacu pada peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) dan Peta Laut Teluk Ambon.

Selain garis pantai yang digunakan sebagai batas pemodelan, juga diperlukan kondisi bentuk pilar jembatan

Merah Putih yang berada di Teluk Ambon. Batas model ini diperoleh dari proses *digitation on screen* dengan desain jembatan yang diperoleh yaitu pada pilar 1 dan pilar 4 panjang dan lebar berturut-turut yaitu 20 m dan 6,5 m, untuk pilar 2 dan 3 panjang dan lebar berturut-turut yaitu 30 m dan 11,5 m diperoleh dari Direktorat Jendral Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. Luas area pemodelan pada penelitian ini yaitu 3102,596 hektar. Pendefinisian pilar jembatan ini difokuskan pada empat pilar yang berada di perairan Teluk Ambon.

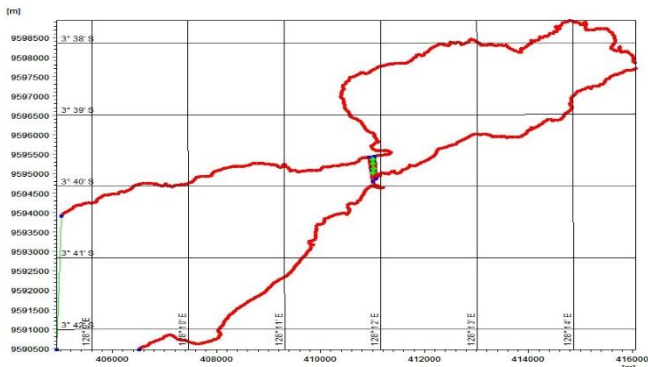
Kedua hasil pendefinisian batas tersebut nantinya akan menjadi fungsi garis yang membedakan daratan dengan wilayah perairan. Untuk dapat digunakan dalam proses selanjutnya, diperlukan penyesuaian format data masukan yang dapat diproses oleh *software* pemodelan hidrodinamika yakni dalam format *.xyz*, yang sebelumnya hasil *screen digitation* dalam format *.shp* dikonversikan terlebih dahulu. Pada Gambar 4.1 ditampilkan batas model hasil *screen digitation* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4.1 Batas Model Garis Pantai Hasil *Screen Digitation*

4.1.2 Desain Model

Dalam pemodelan hidrodinamika, setelah mendapatkan batas area model, batas tersebut harus didefinisikan untuk mengetahui jenis batas tersebut (*boundary*). Pada penelitian ini, batas model terbagi menjadi empat, yaitu batas laut, darat, pilar jembatan, dan daerah fokus. Pada model ini, data pasang surut dan debit air sungai digunakan sebagai gaya penggerak ke dalam simulasi model. Gambar 4.2 menunjukkan pada batas terbuka (*open boundary*) yang berbatasan langsung dengan Laut Banda, pasang surut digunakan sebagai gaya penggerak arus, pada batas jembatan dianggap sebagai daerah kering, sehingga tidak dilewati air pada proses pemodelan. Selanjutnya untuk daerah fokus, digunakan untuk memfokuskan daerah pada jembatan, *boundary* ini tidak dimasukan pasang surut karena gaya penggerak sudah bersumber dari *boundary* laut.



Gambar 4.2 *Boundary Condition* Pemodelan Teluk Ambon

Pada Gambar 4.2 garis merah menunjukkan batas garis pantai pada pemodelan ini, dimana garis merah tersebut berisi kedalaman 0 meter, untuk area berwarna hijau yaitu pilar

jembatan yang juga berisi kedalaman 0 sehingga tidak terpengaruh dengan data kedalaman nantinya, untuk garis berwarna hijau pada kiri bawah area pemodelan merupakan *open boundary* yang berbatasan langsung dengan Laut Banda.

4.1.3 *Mesh*

Pada tahap ini dilakukan pembuatan *mesh* yang berbentuk TIN (*Triangulated Irregular Network*), dikarenakan TIN bersifat lebih fleksibel terhadap bentuk batas garis pantai yang tidak teratur.

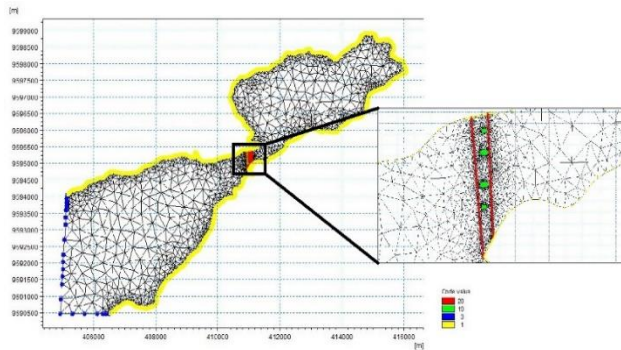
Element mesh terbentuk berdasarkan data garis pantai dan pendefinisian batas dengan memperhatikan sudut terkecil, maksimum luasan elemen tiap *mesh*, dan maksimum jumlah *nodes*. Pada pemodelan ini, *mesh* menggunakan ketentuan minimum sudut kecil 26° , maksimum luasan tiap *mesh* sebesar 200000 m^2 . Berikut spesifikasi TIN yang dihasilkan pada lokasi penelitian:

Tabel 4.1 Spesifikasi TIN

Spesifikasi	Jumlah
Elemen	8560
Titik	4782

Pada Tabel 4.1 ditampilkan jumlah elemen yang terbentuk dari pembuatan *mesh*, maksud elemen ini adalah jumlah segitiga yang terbentuk pada area pemodelan. Sedangkan titik yang berada dalam table adalah jumlah titik-titik yang menghubungkan segitiga-segitiga tersebut. *Mesh* yang telah terbentuk ditampilkan pada Gambar 4.3, dimana

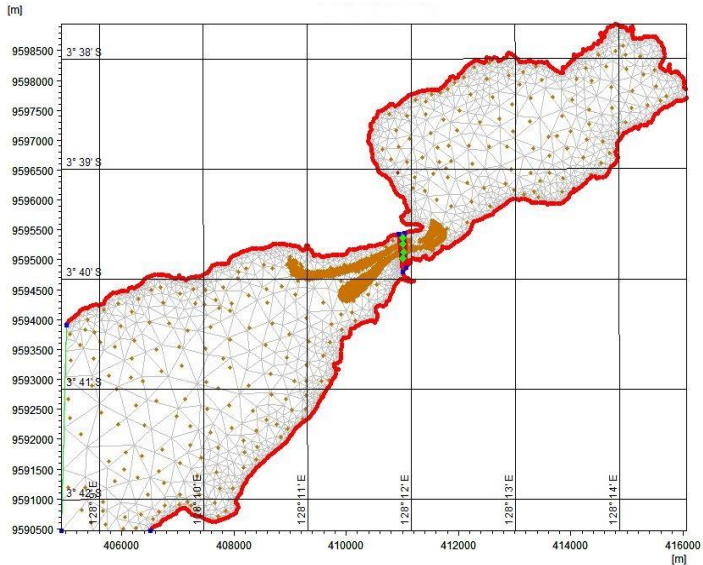
mesh berhasil dibentuk dan telah mengisi seluruh area pemodelan.



Gambar 4.3 Hasil Mesh Yang Dibentuk

Pada Gambar 4.3 hasil *mesh* yang telah dibentuk, dimana hasilnya sudah memenuhi area pemodelan. Juga ditampilkan area fokus pada daerah jembatan, dibuat 2 garis yang menghimpit pilar jembatan agar *mesh* terbentuk lebih banyak sehingga pada area tersebut lebih teliti.

Jika TIN sudah terbentuk, maka selanjutnya memasukan data informasi nilai kedalaman pada perairan wilayah penelitian. Gambar 4.4 menampilkan sebaran titik-titik kedalaman Teluk Ambon yang digunakan dalam penelitian ini.

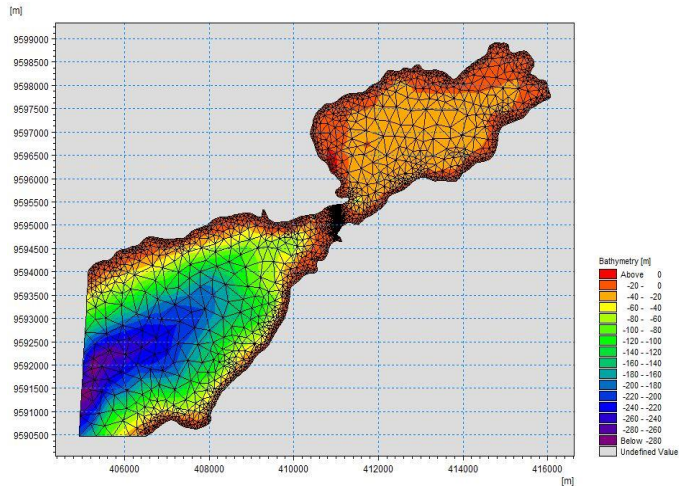


Gambar 4.4 Titik Sebaran Data Kedalaman Teluk Ambon

Pada Gambar 4.4 titik-titik yang tersebar di dalam batas model adalah titik nilai kedalaman yang telah bereferensi pada datum vertikal MSL (*Mean Sea Level*). Area sekitar pilar jembatan yang menjadi fokus dalam penelitian ini ditunjukkan dengan titik-titik sebaran yang lebih rapat. Hal ini dikarenakan pada area tersebut adalah data hasil pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan alat survei batimetri *multibeam echosounder*.

Dengan memasukan data batimetri dengan model TIN yang telah dibentuk, untuk mendapatkan *mesh* yang telah berisi informasi kedalaman atau model domainnya. Interpolasi dilakukan untuk memperoleh kedalaman pada masing-masing *mesh*, hal ini dilakukan karena data batimetri

multibeam dan data digitasi *spot height* yang memiliki kerapatan berbeda. Sehingga kerapatannya, dan informasi menyebar ke masing-masing *mesh* pada seluruh wilayah penelitian ditampilkan pada Gambar 4.5

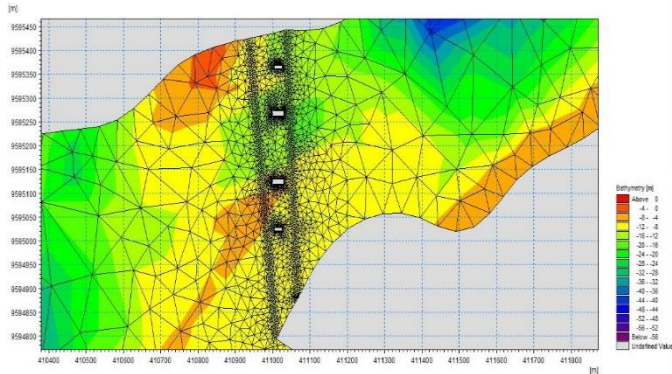


Gambar 4.5 Hasil Interpolasi Kedalaman

Pada Gambar 4.5 merupakan hasil interpolasi kedalaman perairan yang ditunjukkan dengan kontur gradasi warna. Nilai kedalaman yang dihasilkan yaitu dari 0 meter sampai dengan 280 meter. Area terdalam dalam perairan merupakan wilayah yang menuju laut lepas dengan kedalaman antara 240 meter sampai dengan 280 meter yang ditunjukkan dengan kontur berwarna biru sampai ungu. Area perairan Teluk Ambon daerah dalam mempunyai kedalaman 0 meter sampai dengan 40 meter yang ditunjukkan dengan gradasi kontur berwarna merah sampai jingga.

Sedangkan area sekitar pilar jembatan, nilai kedalaman berkisar antara 4 meter sampai dengan 24 meter yang

ditunjukkan dengan gradasi kontur berwarna jingga hingga hijau. Ditunjukkan dengan Gambar 4.6 yang menampilkan hasil interpolasi nilai kedalaman di area sekitar pilar jembatan.



Gambar 4.6 Hasil Interpolasi Kedalaman Pada Area Pilar Jembatan

4.2 Waktu Simulasi Model

Parameter untuk waktu yang digunakan dalam proses pemodelan ini dijelaskan dalam Tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Parameter Waktu Pemodelan

Parameter	Nilai
Lama Simulasi	36 hari
<i>Warming up</i>	4,5 hari
<i>Spin up</i>	0,5 hari
<i>Reference date</i>	14 Agustus 2018
<i>Simulation start time</i>	14 Agustus 2018
<i>Simulation stop time</i>	18 September 2018
<i>Time step</i>	864

Parameter waktu yang digunakan dalam penelitian ini bergantung dengan pembagian *time frame* pemodelan yang dibagi kedalam waktu *warming up*, *spin up*, dan waktu simulasi. Pembagian ini masing-masing memiliki waktu secara berurutan yaitu 4,5 hari; 0,5 hari; dan 29 hari. Sehingga ketika dilakukan proses validasi data hasil pemodelan, hanya digunakan data hasil pemodelan selama 29 hari. Dikarenakan nilai yang dihasilkan pada 5 hari pertama pemodelan merupakan nilai yang belum stabil.

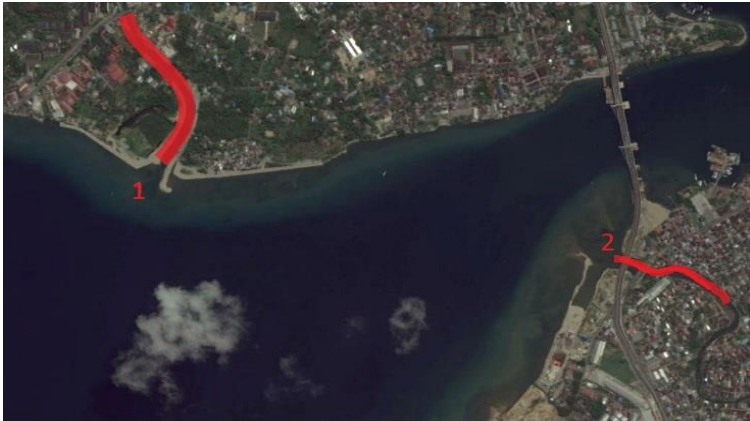
4.3 Pemodelan Arus

Pemodelan arus dilakukan dengan metode simulasi hidrodinamika berdasarkan persamaan kontinuitas dan kekekalan momentum pada perangkat lunak pemodelan hidrodinamika 3 dimensi. Pemodelan arus membutuhkan data pembangkit arus, data tersebut yaitu pasang surut dan debit air sungai (*river discharge*).

4.3.1 Debit Air Sungai (River Discharge)

Data debit sungai yang digunakan untuk pemodelan ini diperoleh dari Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Balai Wilayah Sungai Maluku.

Komponen debit sungai dimasukan sebagai variabel pembangkit arus yang bersumber dari sungai-sungai yang bermuara di Teluk Ambon. Pada penelitian ini data debit sungai yang digunakan yaitu debit sungai Way Lela dan Way Ruhubaru.



Gambar 4.7 Sungai-Sungai di Kawasan Teluk Ambon (Google Earth 2019)

Pada Gambar 4.7 diperlihatkan lokasi sungai-sungai yang debit nya digunakan sebagai pembangkit arus pada pemodelan. Keterangan untuk sungai sungai tersebut dijelaskan pada Tabel 4.3:

Tabel 4.3 Debit Rata-rata Sungai-sungai di Wilayah Perairan Teluk Ambon (Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Balai Wilayah Sungai Maluku)

No	Nama Sungai	Debit Sungai Rata-rata (m^3/s)
1	Way Lela	0,314
2	Way Ruhubaru	0,673

4.3.2 Analisa Pasang Surut

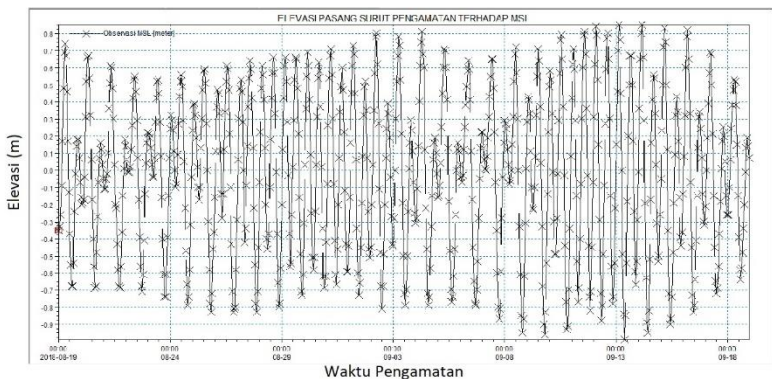
Data pasang surut diperoleh dari stasiun pasang surut Badan Informasi Geospasial di perairan Teluk Ambon didapat dengan pengukuran *real time*. Koordinat stasiun pasang surut yaitu 3°38'20.760" LS 128 ° 11' 60.000" BT mulai tanggal 14 Agustus 2018 sampai 18 September 2018. Pada pemodelan ini, dibutuhkan data pasang surut yang telah direferensikan terhadap MSL (*Mean Sea Level*). ditunjukkan pada Tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.4 Data Pasang Surut tereferensi MSL Bulan Agustus – September 2018

Hari	Jam	Elevasi (m)
19/08/2018	1	-0,328
19/08/2018	2	-0,258
19/08/2018	3	-0,088
19/08/2018	4	0,172
19/08/2018	5	0,482
19/08/2018	6	0,692
19/08/2018	7	0,742
19/08/2018	8	0,672
19/08/2018	9	0,462
19/08/2018	10	0,172
19/08/2018	11	-0,128
19/08/2018	12	-0,368
19/08/2018	13	-0,548
19/08/2018	14	-0,678
...
18/09/2018	23	0,072

Data pasang surut yang telah tereferensi muka air laut rata-rata dijadikan sebagai input parameter pembangkit arus pada area *open boundaries*. Diketahui nilai pasang tertinggi terjadi pada tanggal 13 September 2018 pada pukul 03:00 dengan ketinggian 0,852 m, sedangkan surut terendah terjadi pada tanggal 13 September 2018 pada pukul 09:00 dengan ketinggian -0,988 m.

Pada Gambar 4.8 ditampilkan grafik pasang surut di perairan Teluk Ambon setelah direferensikan terhadap muka air laut rata-rata pada bulan Agustus 2018 sampai dengan September 2018.



Gambar 4.8 Grafik Pasang Surut Dengan Referensi Muka Air Laut Rata-rata

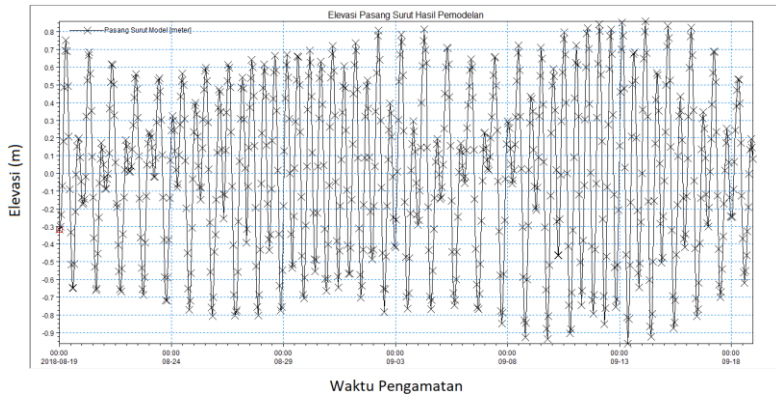
Pemodelan arus juga menghasilkan pasang surut. Hasil pasang surut model menunjukkan kenaikan muka air laut pada model hidrodinamika ini. Hasil pasang surut model bulan Agustus 2018 sampai dengan September 2018 ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Sampel Data Pasang Surut Hasil Pemodelan
Bulan Agustus Sampai September

Hari	Jam	Elevasi (m)
19/08/2018	1	-0,301
19/08/2018	2	-0,234
19/08/2018	3	-0,070
19/08/2018	4	0,183
19/08/2018	5	0,486
19/08/2018	6	0,694
19/08/2018	7	0,752
19/08/2018	8	0,692
19/08/2018	9	0,491
19/08/2018	10	0,207
19/08/2018	11	-0,092
19/08/2018	12	-0,333
19/08/2018	13	-0,515
19/08/2018	14	-0,647
...
18/09/2018	23	0,080

Dari pasang surut hasil pemodelan, diketahui nilai pasang tertinggi terjadi pada tanggal 14 September 2018 pada jam 04:00 dengan ketinggian 0,859 m, sedangkan surut terendah terjadi pada tanggal 13 September 2018 pada jam 09:00 dengan ketinggian -0,962 m.

Pada Gambar 4.9 ditampilkan grafik pasang surut di perairan Teluk Ambon hasil pemodelan hidrodinamika pada bulan Agustus 2018 sampai dengan September 2018



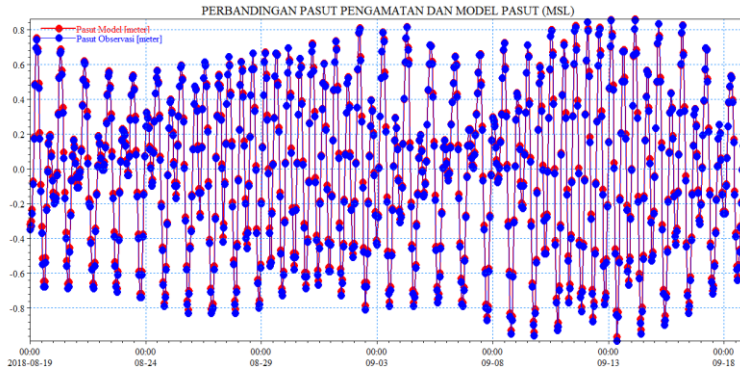
Gambar 4.9 Grafik Pasang Surut Hasil Pemodelan

Nilai pasang surut yang sudah tereferensi dibandingkan dengan nilai pasang surut hasil model untuk mengetahui selisih keduanya, ditunjukkan pada Tabel 4.6 dimana nilai tidak berbeda jauh.

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

Pasang Surut	Pasang Tertinggi (m)	Surut Terendah (m)
Pengamatan	0,852	-0,988
Pemodelan	0,859	-0,962
Selisih (m)	0,007	0,026

Selain itu dibandingkan juga grafik pasang surut antara hasil model dengan pasang surut referensi muka air laut rata-rata pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Pasang Surut

Gambar 4.10 menampilkan perbandingan grafik pasang surut pengamatan dengan pasang surut hasil model yang telah tereferensi muka air laut rata-rata. Terlihat bentuk grafik pasang surut yang terbentuk hampir sama bentuknya.

Proses selanjutnya yaitu memvalidasi hasil model pasang surut. Validasi dilakukan dengan 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.

Perhitungan untuk mencari nilai tersebut adalah:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}{n}} \quad (4.1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}_i| \quad (4.2)$$

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

Dalam perhitungan RMSE dan MAE untuk menguji validitas pemodelan ini, nilai observasi dan nilai pemodelan berturut-turut adalah pasang surut observasi dan pasang surut hasil pemodelan, dengan n adalah jumlah data pasang surut setelah melewati waktu *spin up* dan *warming up* selama 5 hari sehingga nilai n yaitu 744, dimulai dari tanggal 19 Agustus 2018.

Perhitungan sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{0.00029}{744}} = 0,017 \text{ m} \quad (4.3)$$

$$MAE = \frac{10.859}{744} = 0,014 \text{ m} \quad (4.4)$$

Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.7 untuk menentukan tingkat kesalahan pemodelan ini.

Tabel 4.7 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

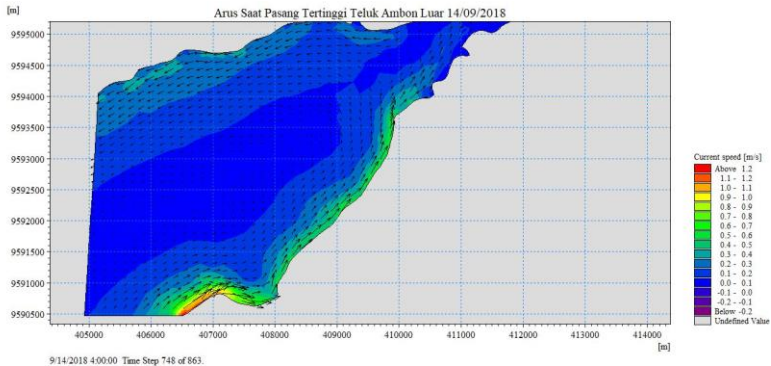
Berdasarkan Tabel 4.7, tingkat kesalahan nilai RMSE dan MAE termasuk pada tingkat kesalahan kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa pemodelan ini berjalan dengan baik dan dapat diterima hasilnya, sehingga dapat masuk ke tahap berikutnya.

4.3.3 Analisa Arus

Analisa arus untuk pemodelan ini dilakukan pada dua kondisi, yaitu saat kondisi pasang tertinggi dan surut terendah serta pada 3 area, yaitu Teluk Ambon bagian luar, area sekitar pilar Jembatan Merah Putih, dan Teluk Ambon bagian dalam.

Untuk pasang tertinggi terjadi pada tanggal 14 September 2018 pada jam 04:00 yaitu pada *timestep* 748, ditunjukkan pada Gambar 4.11-4.13 pada area Teluk Ambon luar sebagai berikut:

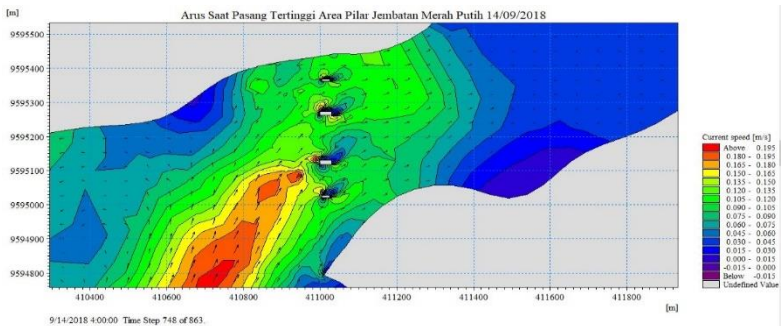
a. Pasang tertinggi area luar



Gambar 4.11 Arus Pasang Tertinggi Area Teluk Ambon Luar

Pada Gambar 4.11, diperlihatkan besar dan arah arus pada pasang tertinggi area Teluk Ambon bagian luar, rata-rata kecepatan arus yaitu 0,2 m/s, arus kencang bergerak dari arah *open boundary* yang berbatasan langsung dengan Laut Banda dimana pasang surut sebagai pembangkit arus pada area tersebut.

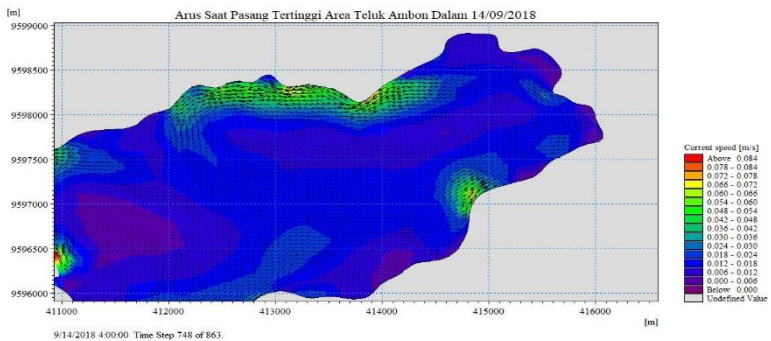
b. Pasang tertinggi area pilar



Gambar 4.12 Arus Pasang Tertinggi Area Pilar Jembatan Merah Putih

Gambar 4.12 menampilkan arus saat pasang tertinggi pada area pilar Jembatan Merah Putih. Arus pada area ini terbagi menjadi dua, pada area bawah yang berasal dari area Teluk Ambon luar menuju ke arah kanan menuju area Teluk Ambon dalam dengan rata-rata kecepatan 0,1 m/s, selain itu menuju lagi kembali ke area Teluk Ambon luar.

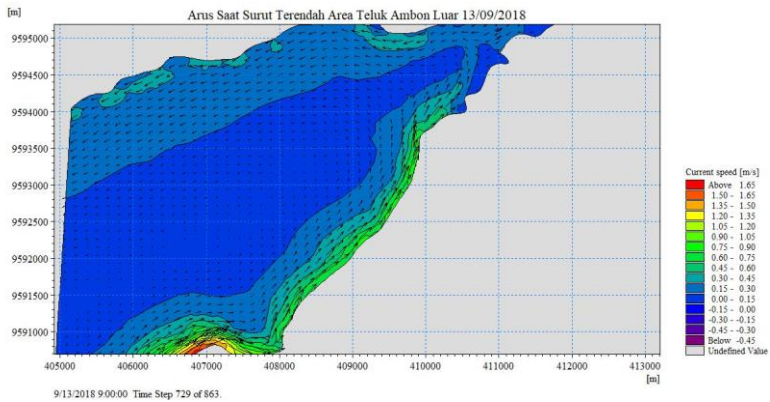
c. Pasang tertinggi area dalam



Gambar 4.13 Arus Pasang Tertinggi Area Teluk Ambon Dalam

Pada Gambar 4.13 menampilkan arus saat pasang tertinggi daerah Teluk Ambon dalam. Pada area dalam kecepatan arus cenderung kecil dengan nilai 0,01 m/s dan arah yang hanya berputar di area tersebut.

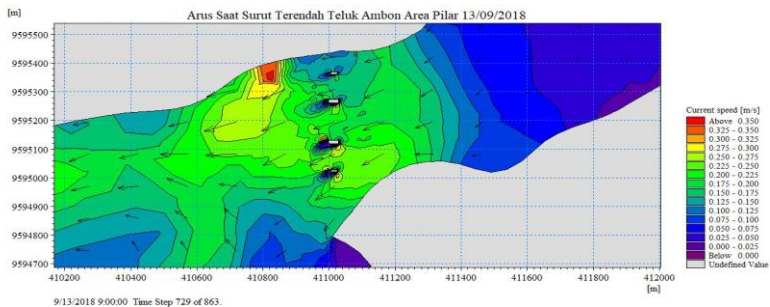
d. Surut terendah area luar



Gambar 4.14 Arus Surut Terendah Area Teluk Ambon Luar

Gambar 4.14 menunjukkan arus saat surut terendah yang terjadi pada 13 September 2018 pada jam 09:00 pada *time step* 729 dengan rata-rata kecepatan 0,45 m/s dengan arah dominan menuju *open boundary* yang berbatasan langsung dengan Laut Banda.

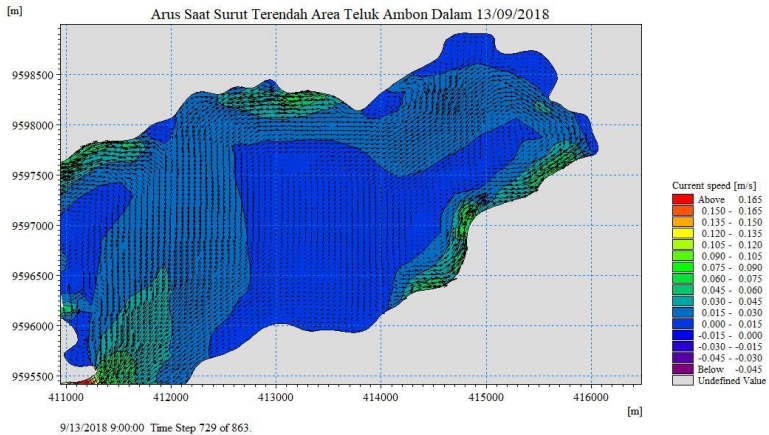
e. Surut terendah area pilar



Gambar 4.15 Arus Surut Terendah Teluk Ambon Area Pilar

Pada Gambar 4.15 menunjukkan arus saat surut terendah area sekitar pilar jembatan Merah Putih. Dengan rata-rata kecepatan yaitu 0,25 m/s dan dominan arah menuju ke area Teluk Ambon luar.

f. Surut terendah area dalam



Gambar 4.16 Arus Surut Terendah Area Teluk Ambon Dalam

Gambar 4.16 menunjukkan arus saat surut terendah pada Teluk Ambon area dalam. Kecepatan arus pada area dalam 0,015 m/s sampai 0,030 m/s dengan arah dominan menuju ke arah keluar teluk.

Validasi arus hasil pemodelan juga dilakukan dengan perhitunga RMSE dan MAE seperti persamaan 4-1 dan 4-2. Dengan data parameter pembangkit arus yaitu komponen zonal (u) Menunjukkan kecepatan dan arah arus ke arah timur (positif) dan ke arah barat (negatif), komponen meridional (v) Menunjukkan kecepatan dan arah arus ke arah utara (positif) dan ke

arah selatan (negatif) (Rahmawitri, Atmadipoera, dan Sukoraharjo 2016). Data yang digunakan yaitu data hasil observasi menggunakan ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) dan hasil model.

Perhitungan validasi komponen zonal (u) sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{0.089}{4}} = 0,149 \text{ m/s} \quad (4.5)$$

$$MAE = \frac{0.500}{4} = 0,125 \text{ m/s} \quad (4.6)$$

Perhitungan validasi komponen meridional (v) sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{0.073}{4}} = 0,136 \text{ m/s} \quad (4.7)$$

$$MAE = \frac{0.502}{4} = 0,126 \text{ m/s} \quad (4.8)$$

Hasil tersebut dapat ditafsirkan dengan Tabel 4.7 mengenai klasifikasi tingkat kesalahan RMSE dan MAE. Dengan hasil seperti pada perhitungan 4-7 dan 4-8, maka dapat disimpulkan hasil termasuk kedalam klasifikasi tingkat kesalahan kecil dan hasil pemodelan dapat diterima.

4.4 Pemodelan Sebaran Sedimen

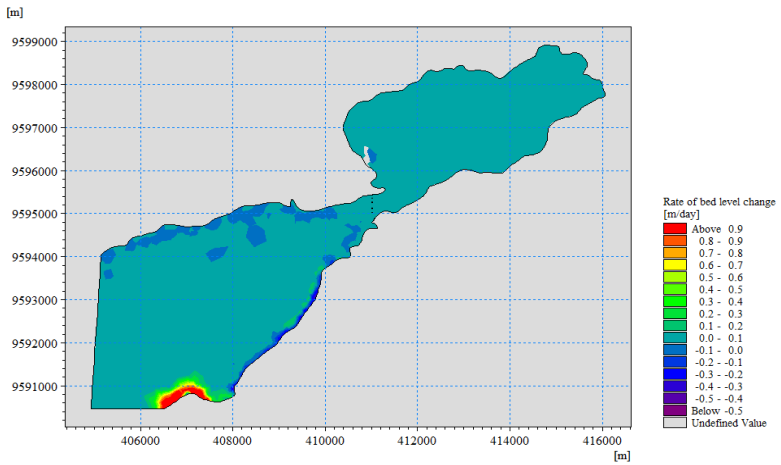
4.4.1 Parameter Pemodelan Sedimen

Pemodelan sedimen dilakukan dengan memasukan beberapa parameter pada *software* pemodelan hidrodinamika, Pemodelan ini menggunakan parameter arus dimana pasang surut dan debit air (*river discharge*) sebagai pembangkitnya. Jenis sedimen pada pemodelan ini yaitu non kohesif berupa butiran pasir. Simulasi dilakukan selama 36 hari dengan waktu *spin up* dan *warming up* 5 hari dan interval pemodelan sebesar 1 jam dengan *time step* 864.

4.4.2 Analisa Model Sebaran Sedimen

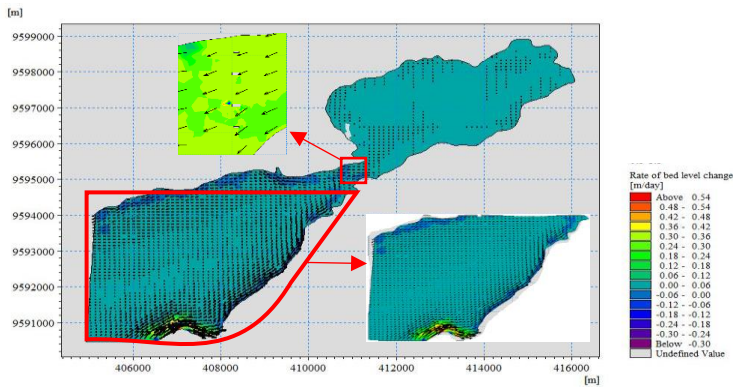
Analisa dilakukan saat dua kondisi, yaitu pada pasang tertinggi dan surut terendah. Pasang tertinggi terjadi pada tanggal 14 September 2018 jam 04:00 pada *timestep* 748 sedangkan surut terendah terjadi pada tanggal 13 September 2018 jam 09:00 pada *timestep* 729. Dalam perangkat lunak pemodelan ini ditampilkan *rate of bed level change* untuk melihat pergerakan sedimen per hari pada setiap kondisi. Berikut adalah *rate of bed level change* awal pemodelan tiap area pada awal pemodelan:

a. Awal Pemodelan



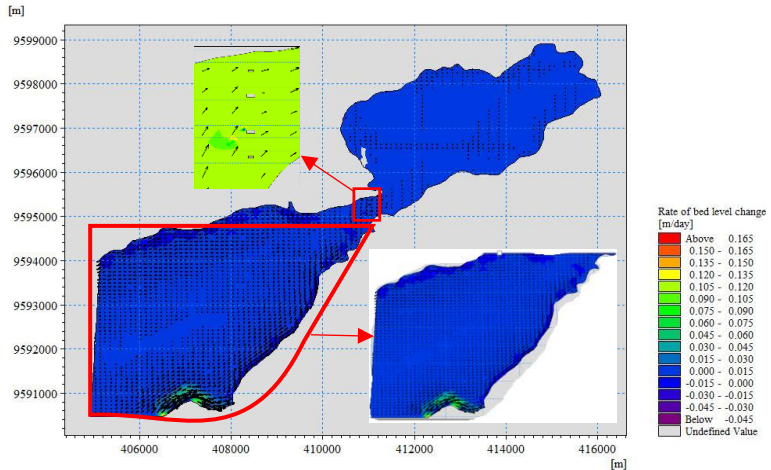
Gambar 4.17 Rate of Bed Level Awal Pemodelan

b. Surut Terendah



Gambar 4.18 Rate of Bed Level Saat Surut Terendah

c. Pasang Tertinggi



Gambar 4.19 *Rate of Bed Level* Saat Pasang Tertinggi

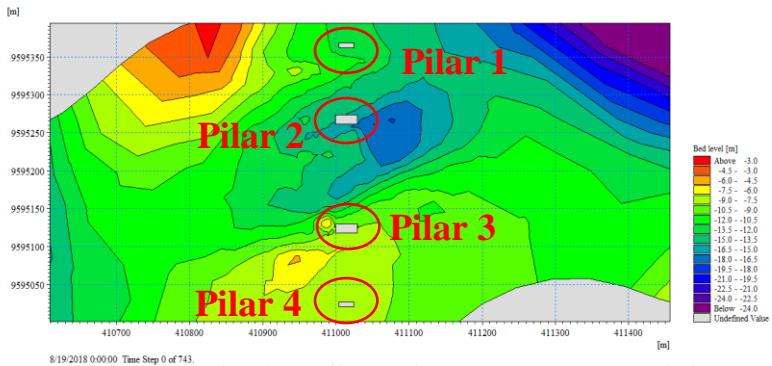
Dari hasil pemodelan pergerakan sedimen pada kondisi pasang tertinggi dan surut terendah, didapatkan hasil transport sedimen pada kedalaman rata-rata pada kondisi awal pemodelan yaitu 0,1 m per harinya, sedangkan saat pasang tertinggi yaitu 0,015m per harinya dengan arah dominan menuju ke dalam Teluk Ambon, pada saat surut terendah transport sedimen menjadi 0,06 m per harinya dengan arah dominan menuju ke luar Teluk Ambon, perubahan arah dan besarnya perpindahan ini dipengaruhi kecepatan dan arus pada kedua kondisi tersebut berbeda besarnya. (Triatmodjo 1999) menyebutkan bahwa semakin cepat arus, maka semakin cepat sedimen akan terbawa.

4.4.3 Analisa Scouring

Dari pengamatan pola sebaran sedimen, diketahui adanya pergerakan sebaran sedimen yang mempengaruhi perubahan kedalaman pada area pilar. Kedalaman ini diakibatkan bergeraknya material sedimen dari suatu tempat ke tempat lain, selain itu pengaruh adanya gerusan pada bangunan pilar karena aktivitas pergerakan sedimen juga mempengaruhi.

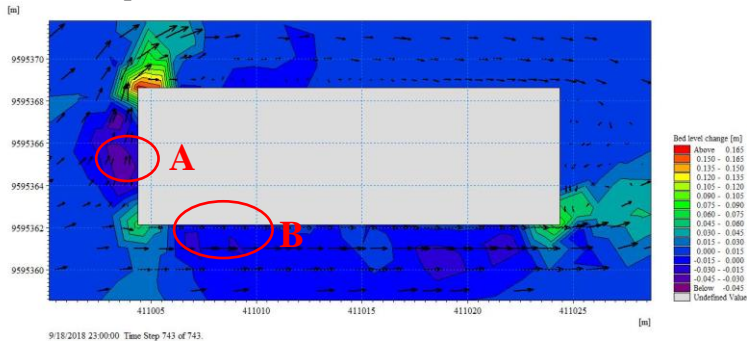
Area yang mengalami penurunan yaitu akibat terjadinya *scouring*. Area yang diamati akibat *scouring* merupakan titik-titik yang mengalami penurunan *bed level*. Pemodelan perubahan kedalaman dimulai pada tanggal 19 Agustus 2018 sampai dengan 18 September 2018.

Perubahan diamati pada pilar-pilar berikut diperlihatkan pada Gambar 4.20.



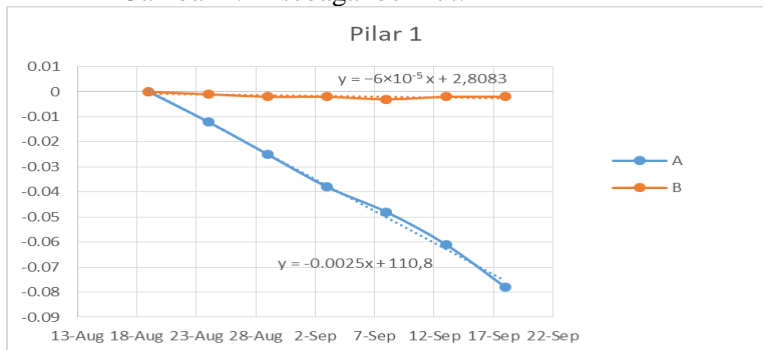
Gambar 4.20 Pilar Jembatan Pengamatan Perubahan Kedalaman

Pada pilar 1, terjadinya area *scouring* ditunjukkan pada Gambar 4.21



Gambar 4.21 *Scouring* Pada Pilar 1

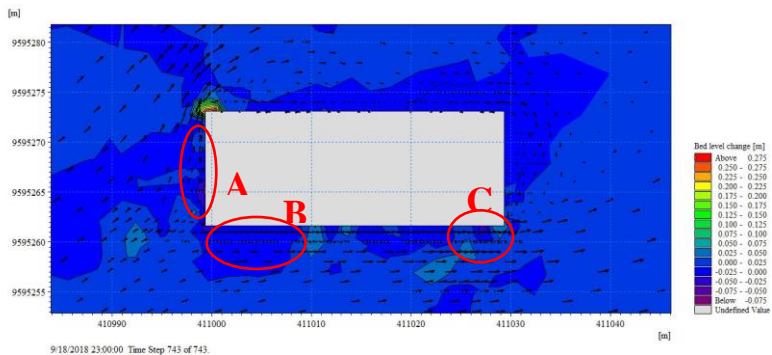
Pada Gambar 4.21 dapat dilihat area yang mengalami perubahan kedalaman akibat *scouring* pada area yang dilingkari dan merupakan area yang berbenturan dengan arah arus. Area tersebut mengalami perubahan kedalaman yang besarnya dapat dilihat pada Gambar 4.22 sebagai berikut:



Gambar 4.22 Grafik Perubahan Kedalaman Area *Scouring* Pilar 1

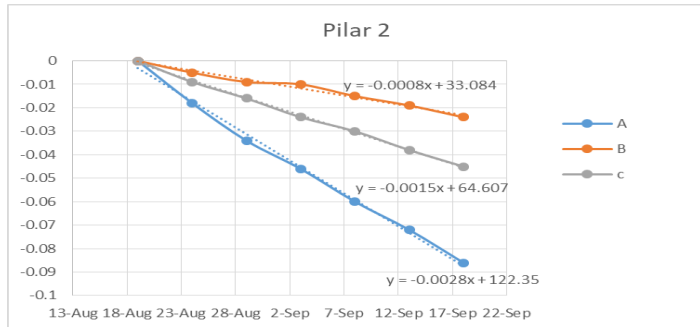
Dapat dilihat pada Gambar 4.22 bahwa area A perubahan kedalamannya mencapai $-0,08$ m dan area B berubah sangat kecil juga grafik tidak terus kebawah melainkan ada beberapa waktu grafik naik menandakan pada area B juga terjadi endapan sedimen. Selain itu juga ditampilkan persamaan garis liniernya untuk mengetahui perubahan kedalaman perharinya.

Pada pilar 2 area *scouring* ditunjukkan pada Gambar 4.23 sebagai berikut:



Gambar 4.23 *Scouring* Pada Pilar 2

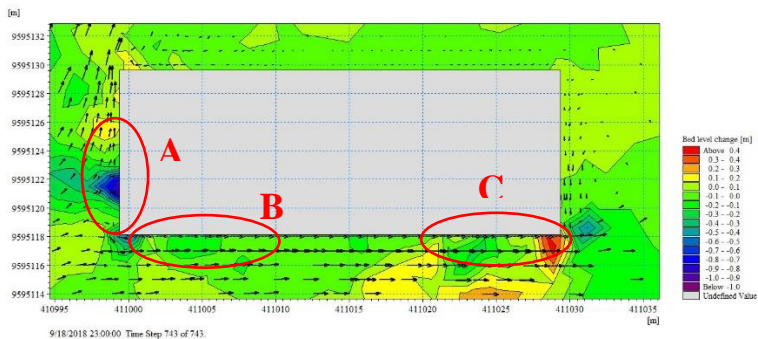
Gambar 4.23 memperlihatkan area *scouring* pada pilar 2. Terdapat 3 area yang mengalami perubahan kedalaman yang cukup signifikan akibat tumbukan antara arus dengan pilar tersebut, ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 4.24 sebagai berikut:



Gambar 4.24 Grafik Perubahan Kedalaman Area *Scouring* Pilar 2

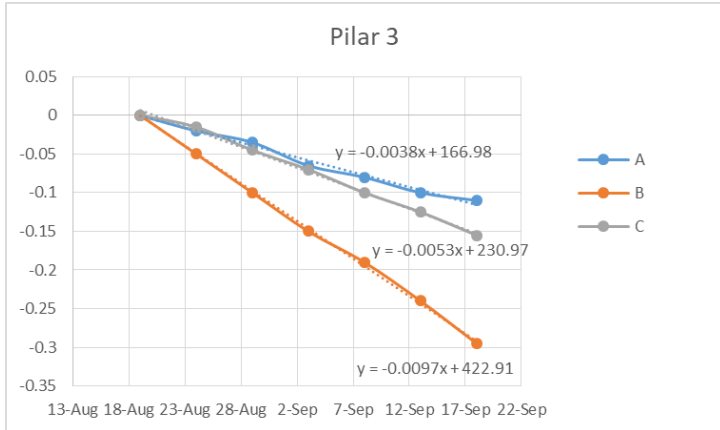
Dari 3 area yang dibuat grafik pada Gambar 4.24, perubahan kedalamannya, dihasilkan area A, B, dan C berturut-turut perubahan kedalaman mencapai -0,084 m, -0,022 m, dan -0,046 m. Pada grafik diberikan persamaan garis linier dengan tujuan untuk mendapatkan nilai perubahan kedalaman perharinya.

Pada pilar 3 area *scouring* ditunjukkan pada Gambar 4.25 sebagai berikut:



Gambar 4.25 *Scouring* Pada Pilar 3

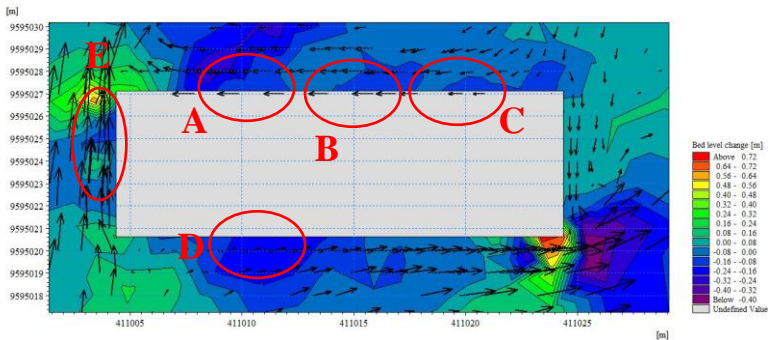
Pada Gambar 4.25 terdapat 3 area *scouring* dimana perubahan kedalaman terjadi cukup signifikan, perubahan kedalaman ditampilkan pada Gambar 4.26 sebagai berikut:



Gambar 4.26 Grafik Perubahan Kedalaman Area *Scouring*
Pilar 3

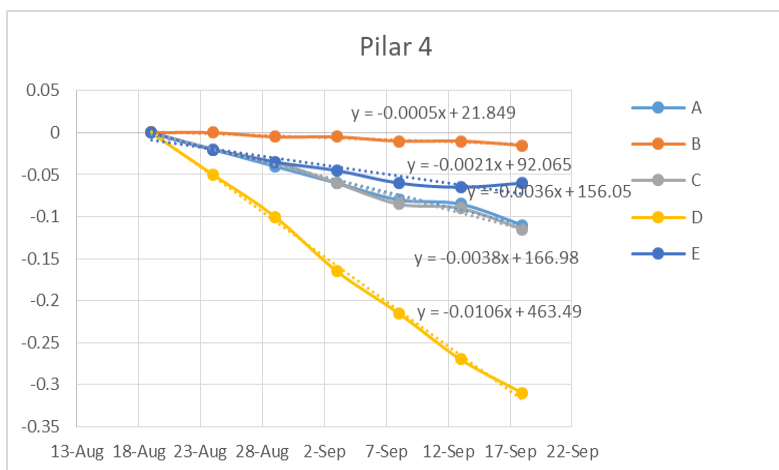
Gambar 4.26 memperlihatkan grafik perubahan kedalaman pada area Pilar 3. Perubahan pada area A mencapai -0,11 m, untuk area B yaitu -0,3 m dan untuk area C hanya mencapai -0,16 m.

Untuk pilar 4 area terjadi *scouring* dilihatkan pada Gambar 4.27 sebagai berikut:



Gambar 4.27 Scouring Pada Pilar 4

Pada Gambar 4.27 terdapat 5 area yang terjadi *scouring* cukup signifikan. Perubahan kedalaman diperlihatkan pada Gambar 4.28 untuk memberi informasi perbedaannya sebagai berikut:



Gambar 4.28 Grafik Perubahan Kedalaman Area Scouring Pilar 4

Gambar 4.28 menampilkan grafik perubahan kedalaman pada area sekitar pilar 4. Area D mengalami perubahan paling besar pada pilar 4 yaitu mencapai -0,30 m, sedangkan area B menjadi yang terkecil yaitu -0,02 m. Untuk area A, C, dan E berturut-turut yaitu -0,11 m, -0,12 m, dan -0,06 m.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian pemodelan arus dan persebaran sedimen di perairan Teluk Ambon ini adalah:

- a. Kecepatan arus pasang tertinggi dan surut terendah pada perairan Teluk Ambon pada kedalaman rata-rata berturut-turut yaitu 0,0089 m/s dan 0,05 m/s.
- b. Nilai sebaran sedimen pada kedalaman rata-rata saat kondisi pasang tertinggi yaitu 0,015 m per harinya dengan arah dominan menuju ke dalam Teluk Ambon, pada saat surut terendah transport sedimen menjadi 0,06 m per harinya dengan arah dominan menuju ke luar Teluk Ambon.
- c. Perubahan kedalaman pada area sekitar pilar akibat adanya gerusan antara sedimen transport terhadap pilar jembatan dipengaruhi oleh arah arus dan juga besar kecepatan arus.
- d. Pada area sekitar pilar *scouring* pada pilar 1 area A dan B berturut-turut sebesar -0,08 m dan -0,001 m. Pilar 2 area A, B, dan C nilainya berturut-turut sebesar -0,084 m, -0,022 m, dan -0,046 m. Pilar 3 area A, B, dan C berturut-turut nilainya yaitu -0,11 m, -0,3 m, dan -0,16 m. Untuk Pilar 4 pada area A, B, C, D, dan E berturut-turut yaitu -0,11 m, -0,02 m, -0,12 m, -0,30 m, dan -0,06 m. Nilai terbesar terjadi pada pilar tiga area B dan pilar empat area D dengan perubahan kedalaman mencapai -0,30 m, untuk daerah terkecil yaitu pilar satu area B yaitu -0,001 m.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis untuk penelitian kedepannya adalah:

- a. Untuk penelitian pemodelan selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan parameter seperti salinitas dan suhu kedalaman perairan untuk mendapatkan nilai pemodelan yang mendekati data di lapangan,
- b. Menggunakan data debit air sungai yang terbaru, karena debit sungai merupakan salah satu pembangkit pada pemodelan arus.
- c. Menggunakan perangkat lunak *hydraulic hydrodynamic* jika ingin membuat pemodelan pada perairan yang terdapat objek bangunan pada area perairannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, Tri. 2001. "Model Hidraulik Gerusan Pada Pilar Jembatan." Universitas Diponegoro.
- Adibrata, Sudirman. 2007. "Analisis Pasang Surut Di Pulau Karampuang, Provinsi Sulawesi Barat." *Sumberdaya Perairan 1* (April): 1–6.
- Azis, M.Furqon. 2006. "Gerak Air Dilaut." *Oseanografi Lipi 50* (3): 205.
- Dictanata, Andy, dan Lutjito. 2016. "Pengaruh Penempatan Tirai Satu Baris Pada Pilar Jembatan Terhadap Kedalaman Gerusan." *Jurusan Pendidikan Teknik Sipil Dan Perencanaan FT UNY*, 125–32.
- Froditus, Nicolody Ofirla Efla. 2018. "Analisis Pola Sebaran Sedimen Terhadap Pendangkalan Dermaga Menggunakan Pemodelan Hidrodinamika 3 Dimensi." Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Halim, Fuad. 2014. "Pengaruh Debit Terhadap Pola Gerusan Di Sekitar Abutmen Jembatan (Uji Laboratorium Dengan Skala Model Jembatan Megawati)." *Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.4 No.1, Maret 2014 (32-40) ISSN: 2087-9334* 4 (1).
- Hendiarti, Saldy N, Frederik M.C.G, A Andrastuti, dan A Silaiman. 2006. *Riset Dan Teknologi Pemantauan Dinamika Laut Indonesia*. Jakarta.
- Istiarto. 2009. "Model Hidrodinamika CFD Di Bidang Hidraulika Saluran Terbuka." *Fakultas Teknik Sipil Dan Lingkungan. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.*, 1–

22.

- Khotimah, Mia Khusnul. 2012. "Validasi Tinggi Gelombang Signifikan Model Gelombang Windwave-5 Dengan Menggunakan Hasil Pengamatan Satelit Altimetri Multimisi." Universitas Indonesia.
- Lai, Yong. 2016. "Final Report for S & T Project X5772 : Quantitative Modeling Tools of Scour and Morphological Impact Due to Large Wood Debris and Other In-Stream Structures." West Valley.
- Laimeheriwa, Bruri. 2014. "(Seandainya Saya Adalah Walikota Ambon) PEMIKIRAN STRATEGIS & INOVATIF."
- Mandaku, Hanok, dan Roberth Ratlalan. 2014. "Dampak Pengoperasian Jembatan Merah Putih Terhadap Operasional Kapal Ferry Pada Lintasan Galala-Poka." *ARIKA* 8.
- Minarrohman, Muhammad Ghilman. 2017. "Simulasi Arus Dan Distribusi Sedimen Secara 3 Dimensi Di Pantai Selatan Jawa," 1–138. its.ac.id.
- Pond, Stephen, George L. Pickard, Stephen Pond, George L. Pickard, Carol M. Lalli, dan Timothy Richard Parsons. 1983. *Fundamentos Da Oceanografia - Tom Garrison (PT-BR).Pdf. Introductory Dynamical Oceanography.*
- Pristianto, Hendrik. 1988. "Teori Aliran Sedimen Dalam Pipa." Sorong.

- Qudus, Nur, dan Asih Suprapti Agustina. 2007. "Mekanisme Gerusan Lokal Pada Pilar Silinder Tunggal Dengan Variasi Diameter." *Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang (UNNES) Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang*, no. 1.
- Rachman, Herlambang Aulia. 2016. "Studi Transpor Sedimen Di Teluk Benoa Menggunakan Pemodelan Numerik".
- Rahmawitri, Herwi, Agus Atmadipoera, dan Sri Sukoraharjo. 2016. "Pola Sirkulasi Dan Variabilitas Arus Di Perairan Selat Sunda." *JURNAL KELAUTAN NASIONAL* 11: 141–57.
- Sanjoto, Tjaturahono Budi. 2012. "Perubahan Spasial Delta Sungai Bodri Sebagai Basis Zonasi Tata Ruang Pesisir Kabupaten Kendal." *Universitas Diponegoro, Semarang*. Semarang.
- Sucipto. 2011. "Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Gerusan Lokal Pada Pilar Jembatan Dengan Perlindungan Groundsill." *Jurnal Teknik Sipil DanPerencanaan*, no. 024: 51–60.
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta.
- Wiyono, Agung, Indratmo Soekarno, dan Andi Egon. 2006. "Perbandingan Beberapa Formula Perhitungan Gerusan Di Sekitar Pilar (Kajian Laboratorium)." *Januari* 1 (1): 1–10.

Yunar, Alifi. 2006. "Karakteristik Gerusan Pilar Segi Empat Ujung Bulat Pada Kondisi Terjadi Penurunan Dasar Sungai Dengan Proteksi Tirai." *Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu.*

LAMPIRAN

Lampiran 1. Sampel Data Batimetri Perairan Pelabuhan Teluk Ambon.

No	X	Y	Z
1	411638.8	9595396	-27.401
2	411639	9595396	-27.405
3	411639.2	9595396	-27.405
4	411639.4	9595396	-27.409
5	411639.6	9595395	-27.409
6	411639.8	9595395	-27.411
7	411640	9595395	-27.413
8	411640.2	9595394	-27.415
9	411640.4	9595394	-27.413
10	411640.7	9595394	-27.413
11	411640.9	9595394	-27.410
12	411641.1	9595393	-27.410
13	411641.4	9595393	-27.415
14	411641.6	9595393	-27.423
15	411641.9	9595392	-27.427
16	411642.2	9595392	-27.434
17	411642.4	9595392	-28.372
18	411642.7	9595391	-28.421
19	411643	9595391	-28.349
20	411643.3	9595391	-28.352
21	411643.6	9595390	-28.358
22	411643.9	9595390	-28.362
23	411644.2	9595390	-28.366
24	411644.5	9595389	-28.370
25	411644.9	9595389	-28.377
26	411645.2	9595388	-28.384
27	411645.6	9595388	-28.389
28	411646	9595387	-28.397
29	411646.3	9595387	-28.400
30	411646.7	9595386	-28.404
31	411647.1	9595386	-28.405
32	411647.5	9595385	-28.408
33	411647.9	9595385	-28.413
34	411648.4	9595384	-28.420
35	411648.8	9595384	-28.423
36	411649.3	9595383	-28.428
37	411649.9	9595383	-29.349
38	411650.6	9595382	-29.371

39	411651.2	9595381	-29.391
40	411651.8	9595380	-29.409
41	411652.4	9595380	-29.401
42	411652.9	9595379	-29.391
43	411653.4	9595378	-29.380
44	411653.9	9595378	-29.366
45	411654.3	9595377	-28.432
46	411654.7	9595377	-28.399
47	411655.1	9595376	-28.364
48	411655.5	9595376	-27.429
49	411656	9595375	-27.389
50	411656.4	9595374	-27.349

Lampiran 2. Data Pasang Surut Pengamatan Terhadap 0 Rambu

Tanggal	DATA PASANG SURUT PENGAMATAN (m)																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
14-Aug-18	1.437	1.909	2.339	2.647	2.684	2.567	2.385	1.936	1.538	1.321	1.286	1.489	1.867	2.293	2.632	2.794	2.766	2.657	2.277	1.894	1.445	1.087	0.983	1.084
15-Aug-18	1.248	1.696	2.167	2.482	2.668	2.676	2.548	2.187	1.765	1.428	1.183	1.196	1.543	1.887	2.245	2.547	2.664	2.686	2.518	2.187	1.838	1.448	1.156	1.087
16-Aug-18	1.217	1.583	1.924	2.305	2.583	2.703	2.667	2.426	2.065	1.626	1.272	1.147	1.218	1.423	1.787	2.138	2.391	2.583	2.613	2.386	2.067	1.697	1.400	1.317
17-Aug-18	1.327	1.443	1.783	2.314	2.632	2.742	2.758	2.637	2.321	1.926	1.532	1.263	1.182	1.273	1.424	1.716	2.063	2.324	2.468	2.391	2.237	1.976	1.628	1.442
18-Aug-18	1.433	1.501	1.702	2.027	2.453	2.629	2.778	2.717	2.494	2.198	1.845	1.535	1.301	1.228	1.249	1.419	1.602	2.001	2.227	2.386	2.246	2.066	1.875	1.683
19-Aug-18	1.576	1.628	1.724	1.876	2.254	2.426	2.693	2.682	2.489	2.319	2.086	1.785	1.463	1.326	1.201	1.259	1.398	1.628	1.918	2.101	2.123	2.168	2.001	1.876
20-Aug-18	1.727	1.694	1.756	1.957	2.146	2.368	2.486	1.617	2.593	2.394	2.293	1.995	1.758	1.442	1.386	1.205	1.219	1.440	1.683	1.863	2.018	2.080	2.048	1.978
21-Aug-18	1.867	1.818	1.806	1.887	1.948	2.066	2.187	2.468	2.546	2.505	2.385	2.208	1.956	1.637	1.497	1.347	1.238	1.226	1.385	1.585	1.795	1.925	2.087	2.118
22-Aug-18	1.978	1.988	1.947	1.942	1.885	1.994	2.058	2.169	2.375	2.445	2.498	2.442	2.189	1.941	1.865	1.581	1.367	1.216	1.228	1.342	1.548	1.778	1.976	2.104
23-Aug-18	2.148	2.152	2.132	2.074	2.017	1.983	1.937	2.026	2.228	2.346	2.473	2.488	2.337	2.183	1.998	1.778	1.487	1.274	1.186	1.205	1.376	1.567	1.805	2.018
24-Aug-18	2.204	2.257	2.214	2.158	2.078	1.916	1.849	1.827	2.038	2.219	2.365	2.437	2.465	2.397	2.226	1.948	1.687	1.458	1.246	1.148	1.206	1.388	1.637	1.919
25-Aug-18	2.148	2.318	2.319	2.237	2.147	1.948	1.803	1.768	1.857	2.046	2.244	2.375	2.497	2.597	2.413	2.129	1.878	1.603	1.337	1.143	1.114	1.255	1.419	1.804
26-Aug-18	2.078	2.237	2.417	2.376	2.238	2.017	1.808	1.657	1.678	1.817	2.056	2.257	2.493	2.538	2.526	2.384	2.116	1.818	1.466	1.204	1.117	1.128	1.386	1.658
27-Aug-18	2.007	2.279	2.413	2.458	2.383	2.182	2.058	1.605	1.508	1.543	1.740	2.033	2.338	2.467	2.545	2.518	2.327	2.037	1.678	1.352	1.146	1.098	1.238	1.518
28-Aug-18	1.856	2.157	2.418	2.539	2.474	2.327	2.062	1.719	1.516	1.642	1.527	1.854	2.187	2.368	2.426	2.582	2.407	2.243	1.885	1.516	1.272	1.017	1.163	1.378
29-Aug-18	1.687	1.951	2.232	2.384	2.557	2.432	2.205	1.818	1.486	1.414	1.347	1.778	1.937	2.265	2.476	2.598	2.607	2.398	2.109	1.715	1.378	1.217	1.198	1.744
30-Aug-18	1.617	2.018	2.327	2.514	2.623	2.519	2.326	2.017	1.805	1.403	1.348	1.536	1.716	1.767	2.387	2.593	2.637	2.516	2.296	1.975	1.569	1.307	1.244	1.336
31-Aug-18	1.517	1.879	2.236	2.517	2.623	2.684	2.487	2.143	1.967	1.624	1.484	1.262	1.523	1.796	2.076	2.268	2.437	2.526	2.425	2.139	1.975	1.437	1.358	1.364
1-Sep-18	1.503	1.794	2.126	2.443	2.579	2.692	2.568	2.294	1.985	1.583	1.337	1.249	1.269	1.498	1.815	2.014	2.256	2.414	2.398	2.219	2.005	1.638	1.486	1.417
2-Sep-18	1.508	1.757	2.086	2.317	2.483	2.698	2.685	2.263	2.147	1.758	1.437	1.248	1.145	1.285	1.534	1.757	2.008	2.145	2.289	2.249	2.075	1.876	1.631	1.517
3-Sep-18	1.496	1.678	1.983	2.216	2.454	2.648	2.738	2.662	2.316	1.825	1.605	1.401	1.220	1.145	1.332	1.547	1.718	1.937	2.148	2.284	2.115	1.932	1.821	1.821
4-Sep-18	1.637	1.664	1.868	2.128	2.346	2.548	2.636	2.748	2.538	2.376	2.135	1.621	1.319	1.175	1.139	1.220	1.414	1.618	1.775	2.023	2.166	2.109	2.018	1.894
5-Sep-18	1.782	1.576	1.834	2.063	2.273	2.516	2.693	2.768	2.636	2.467	2.226	1.987	1.754	1.474	1.198	1.135	1.208	1.417	1.542	1.626	1.974	2.057	2.046	2.013
6-Sep-18	1.943	1.887	1.862	1.876	2.087	2.364	2.516	2.653	2.787	2.618	2.486	2.246	2.056	1.778	1.498	1.275	1.124	1.176	1.237	1.416	1.724	1.889	2.074	2.158
7-Sep-18	2.146	2.078	1.998	1.898	1.926	2.038	1.937	2.264	2.346	2.519	2.621	2.589	2.432	2.146	1.817	1.534	1.284	1.147	1.066	1.267	1.368	1.714	1.906	2.114
8-Sep-18	2.278	2.213	2.172	2.058	1.898	1.846	1.957	2.037	2.186	2.298	2.478	2.598	2.585	2.428	2.198	1.867	1.537	1.287	1.048	0.998	1.007	1.298	1.696	1.978
9-Sep-18	2.246	2.338	2.354	2.196	2.037	1.967	1.824	1.715	1.845	2.067	2.383	2.534	2.647	2.674	2.538	2.342	1.937	1.549	1.137	1.018	0.969	1.173	1.386	1.767
10-Sep-18	2.187	2.436	2.518	2.426	2.254	1.898	1.664	1.456	1.519	1.723	2.025	2.228	2.522	2.721	2.622	2.583	2.328	1.925	1.428	1.129	0.978	1.064	1.237	1.648
11-Sep-18	2.016	2.374	2.587	2.616	2.518	2.087	1.732	1.437	1.198	1.225	1.531	1.931	2.232	2.531	2.724	2.718	2.522	2.298	1.798	1.429	1.067	1.116	1.234	1.576
12-Sep-18	1.898	2.217	2.589	2.776	2.682	2.487	2.016	1.537	1.215	1.226	1.115	1.495	2.018	2.218	2.618	2.786	2.734	2.563	2.216	1.518	1.459	1.178	1.234	1.416
13-Sep-18	0.672	0.524	0.665	0.973	1.335	1.715	2.013	2.185	2.186	2.017	1.683	1.274	0.925	0.846	0.983	1.226	1.553	1.776	2.164	2.315	2.366	2.173	1.843	1.325
14-Sep-18	0.883	0.625	0.563	0.692	0.997	1.348	1.673	1.926	2.077	2.057	1.847	1.541	1.223	0.984	1.017	1.251	1.469	1.743	2.011	2.333	2.427	2.168	2.010	1.399
15-Sep-18	1.162	0.794	0.614	0.646	0.777	1.033	1.323	1.645	1.837	1.946	1.853	1.688	1.358	1.125	1.078	1.159	1.379	1.596	1.834	2.114	2.297	2.331	2.162	1.844
16-Sep-18	1.445	1.066	0.784	0.684	0.725	0.877	1.134	1.366	1.646	1.823	1.855	1.756	1.587	1.376	1.214	1.192	1.343	1.515	1.754	1.974	2.083	2.265	2.197	1.015
17-Sep-18	1.724	1.367	1.068	0.86	0.795	0.824	0.958	1.149	1.336	1.528	1.683	1.762	1.711	1.564	1.364	1.256	1.257	1.413	1.572	1.751	1.895	1.984	2.041	2.035
18-Sep-18	1.891	1.665	1.366	1.126	0.937	0.876	0.944	1.036	1.177	1.318	1.556	1.642	1.731	1.653	1.584	1.435	1.347	1.434	1.563	1.654	1.756	1.873	1.893	1.953


Lampiran 3. Data Pasang Surut Pengamatan Terhadap Mean Sea Level

Tanggal	DATA PASANG SURUT PENGAMATAN TERHADAP MSL (m)																										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23			
14.Aug-18	-0.508	-0.048	0.382	0.652	0.752	0.622	0.372	0.008	-0.368	-0.648	-0.628	-0.418	-0.018	0.332	0.662	0.862	0.822	0.702	0.372	-0.028	-0.468	-0.818	-0.968	-0.898			
15.Aug-18	-0.758	-0.668	-0.238	0.192	0.552	0.752	0.772	0.612	0.282	-0.128	-0.718	-0.668	-0.418	-0.078	0.302	0.622	0.772	0.752	0.592	0.292	-0.078	-0.478	-0.758	-0.798			
16.Aug-18	-0.738	-0.678	-0.418	-0.038	0.362	0.632	0.782	0.732	0.522	0.172	-0.638	-0.788	-0.708	-0.488	-0.178	0.212	0.462	0.652	0.682	0.502	0.152	-0.198	-0.508	-0.608			
17.Aug-18	-0.608	-0.498	-0.208	0.192	0.522	0.752	0.812	0.722	0.412	0.022	-0.368	-0.648	-0.758	-0.698	-0.538	-0.218	0.102	0.392	0.502	0.502	0.342	0.042	-0.238	-0.448			
18.Aug-18	-0.488	-0.438	-0.258	0.012	0.352	0.662	0.832	0.802	0.602	0.282	-0.068	-0.398	-0.628	-0.678	-0.678	-0.498	-0.268	0.102	0.312	0.362	0.352	0.142	-0.048	-0.248			
19.Aug-18	-0.348	-0.328	-0.258	-0.088	0.172	0.482	0.692	0.742	0.672	0.462	0.172	-0.128	-0.368	-0.548	-0.678	-0.678	-0.538	-0.238	-0.018	0.142	0.182	0.182	0.072	-0.068			
20.Aug-18	-0.158	-0.198	-0.188	-0.168	-0.038	0.312	0.522	0.662	0.672	0.542	0.322	0.062	-0.168	-0.398	-0.558	-0.688	-0.678	-0.478	-0.268	-0.068	0.072	0.162	0.122	0.032			
21.Aug-18	-0.048	-0.108	-0.108	-0.048	-0.018	0.102	0.362	0.512	0.612	0.602	0.482	0.302	0.032	-0.200	-0.218	-0.428	-0.578	-0.678	-0.688	-0.558	-0.358	-0.148	0.012	0.182			
22.Aug-18	0.142	0.062	0.002	-0.008	-0.008	0.022	0.122	0.262	0.422	0.532	0.552	0.462	0.292	0.072	-0.168	-0.388	-0.558	-0.678	-0.708	-0.608	-0.408	-0.138	0.042	0.162			
23.Aug-18	0.222	0.212	0.192	0.132	0.032	-0.038	-0.038	0.072	0.282	0.422	0.522	0.532	0.452	0.282	0.082	-0.158	-0.398	-0.608	-0.738	-0.738	-0.608	-0.388	-0.148	0.072			
24.Aug-18	0.242	0.322	0.292	0.232	0.112	0.002	-0.098	-0.078	0.092	0.272	0.432	0.522	0.562	0.492	0.292	0.052	-0.218	-0.468	-0.668	-0.788	-0.738	-0.578	-0.318	-0.038			
25.Aug-18	0.232	0.382	0.392	0.322	0.192	0.022	-0.098	-0.168	-0.098	0.132	0.302	0.472	0.582	0.592	0.512	0.272	0.002	-0.298	-0.578	-0.778	-0.828	-0.718	-0.458	-0.358			
26.Aug-18	-0.158	0.112	0.372	0.472	0.452	0.332	0.112	-0.138	-0.278	-0.138	0.122	0.342	0.522	0.612	0.592	0.472	0.212	-0.098	-0.428	-0.708	-0.828	-0.808	-0.798	-0.578			
27.Aug-18	-0.288	0.062	0.302	0.482	0.532	0.462	0.282	0.002	-0.418	-0.338	-0.088	0.142	0.372	0.542	0.642	0.592	0.422	0.132	-0.218	-0.548	-0.778	-0.828	-0.708	-0.448			
28.Aug-18	-0.068	0.222	0.482	0.612	0.562	0.412	0.132	-0.198	-0.398	-0.458	-0.368	-0.098	0.182	0.422	0.572	0.662	0.572	0.332	-0.008	-0.368	-0.658	-0.798	-0.778	-0.568			
29.Aug-18	-0.198	0.122	0.422	0.612	0.662	0.522	0.282	-0.028	-0.368	-0.558	-0.538	-0.258	0.022	0.292	0.532	0.662	0.652	0.482	0.212	-0.158	-0.488	-0.708	-0.728	-0.608			
30.Aug-18	-0.308	0.032	0.362	0.552	0.692	0.612	0.412	0.092	-0.248	-0.508	-0.758	-0.508	-0.238	0.032	0.312	0.542	0.632	0.582	0.372	0.022	-0.338	-0.618	-0.688	-0.618			
31.Aug-18	-0.418	-0.078	0.262	0.542	0.672	0.712	0.562	0.302	-0.078	-0.408	-0.608	-0.668	-0.458	-0.198	0.072	0.342	0.492	0.602	0.472	0.222	-0.118	-0.428	-0.588	-0.588			
1.Sep-18	-0.438	-0.158	0.162	0.452	0.612	0.732	0.682	0.452	0.062	-0.338	-0.598	-0.728	-0.658	-0.448	-0.188	0.082	0.322	0.492	0.522	0.352	0.072	-0.238	-0.458	-0.508			
2.Sep-18	-0.448	-0.198	0.032	0.352	0.572	0.782	0.802	0.622	0.272	-0.108	-0.478	-0.678	-0.808	-0.678	-0.488	-0.198	0.072	0.242	0.392	0.322	0.192	-0.338	-0.268	-0.428			
3.Sep-18	-0.438	-0.278	0.002	0.302	0.522	0.672	0.782	0.732	0.532	0.212	-0.188	-0.498	-0.718	-0.788	-0.698	-0.498	-0.238	0.012	0.162	0.292	0.322	0.112	-0.068	-0.248			
4.Sep-18	-0.308	-0.278	-0.108	0.142	0.402	0.612	0.752	0.812	0.682	0.602	0.122	-0.218	-0.458	-0.718	-0.788	-0.738	-0.568	-0.328	-0.148	0.062	0.162	0.192	0.102	-0.018			
5.Sep-18	-0.158	-0.148	-0.088	0.042	0.252	0.452	0.602	0.712	0.702	0.602	0.412	0.132	-0.178	-0.468	-0.698	-0.768	-0.738	-0.618	-0.458	-0.258	0.002	0.122	0.162	0.112			
6.Sep-18	0.032	-0.038	-0.068	-0.028	0.122	0.252	0.382	0.492	0.582	0.642	0.592	0.412	0.112	-0.168	-0.448	-0.648	-0.778	-0.788	-0.698	-0.528	-0.278	-0.048	0.132	0.222			
7.Sep-18	0.222	0.132	0.062	0.012	0.002	0.082	0.192	0.312	0.432	0.552	0.652	0.652	0.482	0.222	-0.068	-0.348	-0.598	-0.798	-0.868	-0.808	-0.588	-0.278	-0.038	0.162			
8.Sep-18	0.292	0.272	0.242	0.122	0.032	-0.078	-0.058	0.002	0.152	0.312	0.522	0.662	0.722	0.572	0.302	0.002	-0.328	-0.608	-0.848	-0.868	-0.618	-0.308	0.012	0.122			
9.Sep-18	0.282	0.432	0.412	0.332	0.112	-0.098	-0.218	-0.228	-0.098	0.082	0.322	0.552	0.712	0.642	0.372	0.042	-0.328	-0.678	-0.898	-0.958	-0.828	-0.538	-0.138	0.222			
10.Sep-18	0.492	0.582	0.532	0.332	-0.008	-0.298	-0.488	-0.488	-0.278	-0.018	0.292	0.572	0.762	0.792	0.652	0.372	-0.028	-0.438	-0.748	-0.928	-0.908	-0.698	-0.338	0.082			
11.Sep-18	0.422	0.622	0.712	0.592	0.292	-0.148	-0.528	-0.768	-0.688	-0.398	-0.078	0.302	0.602	0.792	0.812	0.682	0.362	-0.028	-0.438	-0.738	-0.818	-0.708	-0.448	-0.068			
12.Sep-18	0.312	0.622	0.842	0.792	0.532	0.152	-0.288	-0.718	-0.878	-0.788	-0.488	-0.088	0.272	0.592	0.772	0.802	0.652	0.302	-0.148	-0.558	-0.778	-0.738	-0.538	-0.218			
13.Sep-18	0.152	0.462	0.702	0.852	0.762	0.452	0.002	-0.488	-0.838	-0.988	-0.848	-0.538	-0.178	0.202	0.502	0.672	0.672	0.502	0.172	-0.238	-0.588	-0.668	-0.528	-0.288			
14.Sep-18	-0.008	0.362	0.652	0.802	0.852	0.662	0.292	-0.188	-0.628	-0.888	-0.948	-0.818	-0.518	-0.168	0.162	0.412	0.562	0.542	0.332	0.022	-0.308	-0.528	-0.498	-0.258			
15.Sep-18	-0.048	0.232	0.502	0.722	0.832	0.752	0.502	0.122	-0.348	-0.718	-0.898	-0.868	-0.738	-0.478	-0.188	0.092	0.322	0.432	0.342	0.172	-0.158	-0.388	-0.438	-0.358			
16.Sep-18	-0.138	0.082	0.322	0.602	0.782	0.822	0.652	0.332	-0.068	-0.448	-0.728	-0.828	-0.788	-0.638	-0.418	0.132	0.312	0.342	0.242	0.072	-0.138	-0.328	-0.318	-0.138			
17.Sep-18	-0.208	0.002	0.192	0.392	0.572	0.692	0.682	0.502	0.212	-0.148	-0.448	-0.648	-0.718	-0.688	-0.558	-0.368	-0.178	0.012	0.172	0.252	0.202	0.052	-0.148	-0.258			
18.Sep-18	-0.258	-0.258	-0.098	0.062	0.242	0.382	0.472	0.532	0.522	0.382	0.152	-0.148	-0.388	-0.578	-0.638	-0.568	-0.478	-0.338	-0.198	-0.008	0.132	0.192	0.142	0.072			

Lampiran 4. Data Pasang Surut Hasil Model Terhadap *Mean Sea Level*

Tanggal	DATA PASANG SURUT HASIL MODEL TERHADAP MSL (m)																									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
14-Aug-18	-0.513	0.203	0.549	0.706	0.809	0.682	0.419	0.032	-0.335	-0.621	-0.603	-0.399	-0.008	0.334	0.660	0.862	0.835	0.727	0.405	0.006	-0.438	-0.791	-0.940	-0.869		
15-Aug-18	-0.732	-0.644	-0.219	0.202	0.558	0.762	0.793	0.645	0.321	-0.089	-0.684	-0.633	-0.391	-0.062	0.310	0.625	0.779	0.769	0.620	0.327	-0.042	-0.444	-0.725	-0.763		
16-Aug-18	-0.704	-0.647	-0.392	-0.021	0.370	0.639	0.794	0.755	0.556	0.212	-0.598	-0.743	-0.665	-0.455	-0.155	0.224	0.470	0.660	0.697	0.528	0.186	-0.162	-0.473	-0.573		
17-Aug-18	-0.575	-0.469	-0.186	0.203	0.527	0.757	0.826	0.747	0.448	0.062	-0.330	-0.611	-0.722	-0.663	-0.508	-0.197	0.115	0.399	0.512	0.519	0.367	0.073	-0.204	-0.415		
18-Aug-18	-0.455	-0.408	-0.234	0.028	0.360	0.665	0.838	0.820	0.633	0.320	-0.028	-0.360	-0.591	-0.642	-0.644	-0.469	-0.246	0.115	0.321	0.375	0.369	0.166	0.020	-0.219		
19-Aug-18	-0.319	-0.301	-0.234	-0.070	0.183	0.486	0.694	0.752	0.692	0.491	0.207	-0.092	-0.333	-0.515	-0.647	-0.648	-0.511	-0.219	-0.005	0.152	0.194	0.196	0.090	-0.046		
20-Aug-18	-0.134	-0.174	-0.166	-0.147	-0.021	0.321	0.527	0.669	0.685	0.565	0.352	0.095	-0.135	-0.367	-0.528	-0.660	-0.651	-0.455	-0.251	-0.056	0.081	0.171	0.134	0.048		
21-Aug-18	-0.030	-0.089	-0.089	-0.031	-0.003	0.115	0.368	0.516	0.618	0.613	0.501	0.327	0.061	-0.171	-0.191	-0.405	-0.555	-0.656	-0.667	-0.539	-0.343	-0.137	0.020	0.188		
22-Aug-18	0.151	0.076	0.019	0.009	0.010	0.039	0.136	0.272	0.429	0.538	0.562	0.478	0.314	0.097	-0.142	-0.363	-0.534	-0.656	-0.687	-0.588	-0.392	-0.128	0.048	0.168		
23-Aug-18	0.229	0.222	0.205	0.148	0.050	-0.018	-0.019	0.087	0.290	0.427	0.526	0.539	0.465	0.301	0.104	-0.135	-0.376	-0.587	-0.718	-0.718	-0.590	-0.375	-0.140	0.076		
24-Aug-18	0.244	0.325	0.300	0.244	0.127	0.020	-0.079	-0.060	0.103	0.277	0.433	0.523	0.565	0.501	0.307	0.071	-0.198	-0.449	-0.650	-0.770	-0.720	-0.562	-0.307	-0.033		
25-Aug-18	0.233	0.383	0.398	0.334	0.208	0.041	-0.078	-0.148	-0.081	0.141	0.306	0.472	0.582	0.595	0.522	0.289	0.023	-0.277	-0.559	-0.759	-0.808	-0.699	-0.443	-0.347		
26-Aug-18	-0.149	0.115	0.371	0.473	0.460	0.347	0.132	-0.116	-0.256	-0.121	0.130	0.344	0.521	0.612	0.598	0.486	0.233	-0.075	-0.405	-0.686	-0.805	-0.785	-0.776	-0.558		
27-Aug-18	-0.274	0.070	0.307	0.487	0.542	0.479	0.306	0.028	-0.393	-0.314	-0.074	0.147	0.372	0.540	0.641	0.599	0.438	0.154	-0.194	-0.525	-0.756	-0.805	-0.686	-0.431		
28-Aug-18	-0.058	0.226	0.484	0.617	0.576	0.434	0.159	-0.171	-0.372	-0.434	-0.348	-0.086	0.186	0.421	0.571	0.664	0.583	0.352	0.016	-0.345	-0.636	-0.776	-0.756	-0.548		
29-Aug-18	-0.185	0.128	0.424	0.614	0.671	0.541	0.308	0.000	-0.342	-0.534	-0.515	-0.242	0.029	0.293	0.530	0.661	0.659	0.499	0.235	-0.134	-0.466	-0.687	-0.707	-0.589		
30-Aug-18	-0.295	0.038	0.362	0.552	0.695	0.624	0.434	0.118	-0.223	-0.485	-0.555	-0.488	-0.224	0.038	0.312	0.539	0.633	0.591	0.390	0.045	-0.315	-0.597	-0.666	-0.598		
31-Aug-18	-0.402	-0.069	0.264	0.540	0.674	0.721	0.582	0.329	-0.050	-0.381	-0.583	-0.644	-0.437	-0.185	0.079	0.344	0.493	0.605	0.484	0.243	-0.095	-0.406	-0.566	-0.567		
1-Sep-18	-0.421	-0.148	0.165	0.450	0.611	0.735	0.694	0.474	0.089	-0.312	-0.574	-0.705	-0.636	-0.431	-0.177	0.087	0.323	0.492	0.527	0.366	0.092	-0.217	-0.437	-0.488		
2-Sep-18	-0.430	-0.186	0.038	0.352	0.569	0.779	0.808	0.641	0.300	-0.079	-0.452	-0.653	-0.784	-0.655	-0.470	-0.186	0.078	0.246	0.395	0.341	0.207	-0.019	-0.248	-0.409		
3-Sep-18	-0.419	-0.263	0.009	0.303	0.520	0.672	0.785	0.744	0.554	0.239	-0.161	-0.474	-0.696	-0.766	-0.677	-0.481	-0.227	0.017	0.165	0.294	0.238	0.123	-0.054	-0.233		
4-Sep-18	-0.292	-0.264	-0.099	0.145	0.399	0.607	0.749	0.814	0.696	0.622	0.148	-0.192	-0.435	-0.698	-0.767	-0.717	-0.550	-0.316	-0.140	0.096	0.165	0.196	0.110	-0.006		
5-Sep-18	-0.145	-0.135	-0.077	0.049	0.254	0.450	0.599	0.710	0.707	0.615	0.432	0.156	-0.154	-0.446	-0.677	-0.747	-0.717	-0.600	-0.443	-0.247	0.007	0.125	0.167	0.120		
6-Sep-18	0.043	-0.025	-0.054	-0.015	0.131	0.257	0.385	0.494	0.584	0.646	0.601	0.429	0.134	-0.145	-0.427	-0.628	-0.759	-0.769	-0.680	-0.513	-0.268	-0.042	0.135	0.226		
7-Sep-18	0.229	0.143	0.076	0.027	0.017	0.059	0.202	0.319	0.436	0.554	0.654	0.658	0.497	0.244	-0.045	-0.326	-0.577	-0.778	-0.848	-0.788	-0.570	-0.266	-0.031	0.167		
8-Sep-18	0.297	0.281	0.255	0.138	0.051	-0.095	-0.039	0.017	0.162	0.317	0.522	0.680	0.724	0.584	0.323	0.025	-0.306	-0.587	-0.829	-0.928	-0.847	-0.600	-0.296	0.018		
9-Sep-18	0.284	0.435	0.422	0.349	0.133	-0.074	-0.195	-0.206	-0.081	0.092	0.325	0.550	0.709	0.649	0.391	0.065	-0.305	-0.657	-0.777	-0.936	-0.806	-0.519	-0.127	0.227		
10-Sep-18	0.295	0.590	0.549	0.397	0.020	-0.271	-0.463	-0.465	-0.261	-0.009	0.294	0.569	0.760	0.798	0.700	0.399	0.001	-0.412	-0.744	-0.904	-0.883	-0.675	-0.321	0.090		
11-Sep-18	0.425	0.627	0.723	0.614	0.321	-0.118	-0.502	-0.744	-0.664	-0.380	-0.069	0.304	0.600	0.792	0.822	0.703	0.391	0.002	-0.412	-0.715	-0.794	-0.686	-0.431	-0.059		
12-Sep-18	0.313	0.620	0.842	0.804	0.558	0.182	-0.260	-0.582	-0.763	-0.468	-0.078	0.275	0.592	0.774	0.814	0.675	0.332	-0.118	-0.532	-0.754	-0.714	-0.518	-0.206	-0.274		
13-Sep-18	0.156	0.461	0.700	0.854	0.777	0.479	0.032	-0.461	-0.814	-0.963	-0.822	-0.517	-0.165	0.207	0.503	0.676	0.685	0.525	0.200	-0.211	-0.564	-0.644	-0.508	-0.274		
14-Sep-18	-0.001	0.361	0.647	0.801	0.859	0.682	0.321	-0.159	-0.603	-0.864	-0.923	-0.793	-0.498	-0.156	0.167	0.415	0.566	0.554	0.352	0.056	-0.285	-0.567	-0.748	-0.244		
15-Sep-18	-0.041	0.234	0.499	0.717	0.832	0.764	0.525	0.150	-0.322	-0.649	-0.875	-0.844	-0.716	-0.461	-0.177	0.098	0.324	0.436	0.353	0.189	-0.138	-0.368	-0.419	-0.342		
16-Sep-18	-0.128	0.086	0.321	0.596	0.776	0.824	0.668	0.357	-0.042	-0.425	-0.707	-0.807	-0.767	-0.619	-0.394	-0.140	0.135	0.313	0.366	0.252	0.087	-0.121	-0.281	-0.302		
17-Sep-18	-0.195	0.009	0.194	0.390	0.568	0.689	0.686	0.516	0.233	-0.126	-0.428	-0.629	-0.699	-0.670	-0.542	-0.357	-0.171	0.015	0.173	0.253	0.207	0.062	-0.135	-0.244		
18-Sep-18	-0.245	-0.247	-0.090	0.066	0.242	0.381	0.471	0.533	0.528	0.395	0.171	-0.128	-0.368	-0.559	-0.620	-0.551	-0.464	-0.327	-0.191	-0.005	0.133	0.193	0.147	0.080		

Lampiran 5. Data Sampel Sedimen Hasil Uji Laboratorium



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER


KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA
 TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA TOTAL SUSPENDED SOLID (TSS)

Pengirim : Bapak Komsin
 Dikirim Tanggal : 31 Agustus 2018
 Sampel : Air Laut di Teluk Ambon

No	Kode Lokasi	Total Suspended Solid (mg/L)	Metoda Analisa
1	I	14,00	Gravimetri
2	II	Pasir	
3	III	Pasir	

Surabaya, 07 September 2018
 Kepala Laboratorium Teknologi Lingkungan
 Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS



Prof. Dr. Ir. Nieke Kamaningroem, MSc
 NIP. 195501281985032001

Catatan :
Laporan ini dibuat untuk contoh air yang diterima laboratorium kami.



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLOLO SURABAYA
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

DATA ANALISA TOTAL SUSPENDED SOLID (TSS)

Pengirim : Bapak Komsin
Dikirim Tanggal : 31 Agustus 2018 .
Sampel : Pasir Laut di Teluk Ambon

No	Kode Lokasi	Kadar Pasir (%)	Metoda Analisa
2	II	73,19	Gravimetri
3	III	76,68	

Surabaya, 07 September 2018
Kepala Laboratorium Teknologi Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS

Catatan :
*Laporan ini dibuat untuk contoh air yang
diterima laboratorium kami.*

Prof. Dr. Ir. Nieke Kamaningroem, MSc
NIP. 195501281985032001


LABORATORIUM MEKANIKA TANAH DAN BATUAN

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK - ITS

Kampus ITS, Keputih, Sukolilo Surabaya (60111)

Telp. : 031-5928601, 5994251 - 85 psw. 1140 Fax. 031-5928601

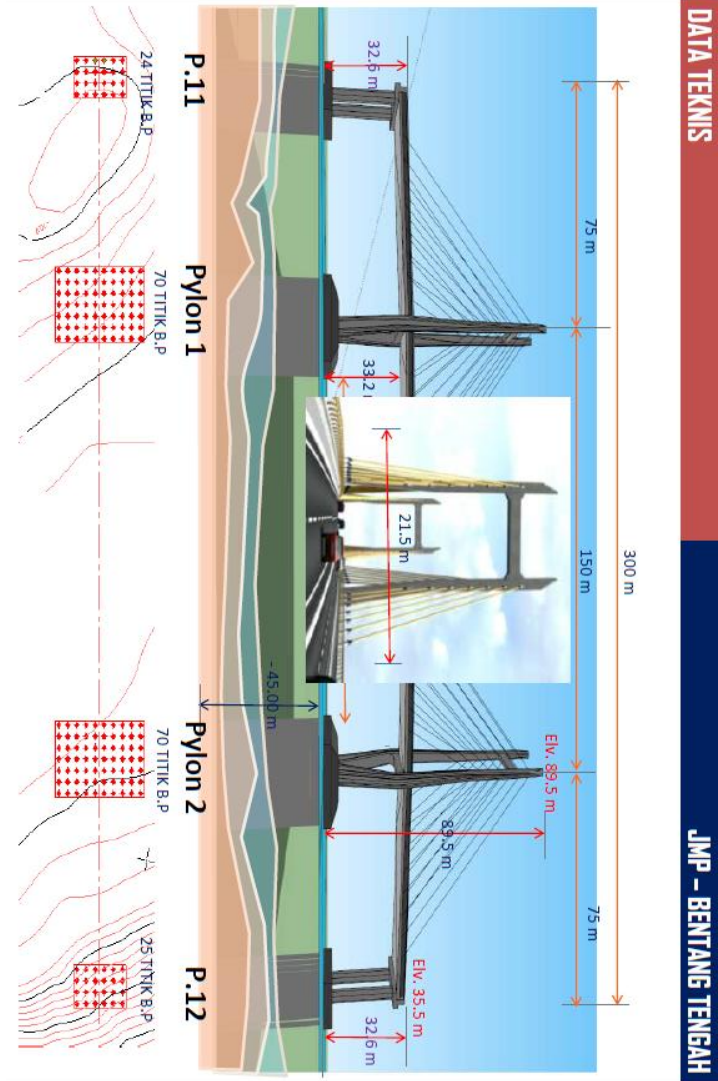
ANALISA PEMBAGIAN BUTIR
 ASTM D 421-90; ASTM D422-90; SNI 63-3423-1990

PEMOHON	: Bp. KHOMSIN	Tanggal Uji	: 04 Sept. 2018
PEKERJAAN	: PENELITIAN JARINGAN LISTRIK TELUK AMBON.	Ditaji oleh	: Endro S. Cs.
LOKASI		Diperiksa oleh	: Ir. Gani, MT.
QUARRY MATERIAL	: MATERIAL SEDIMEN DARI TELUK AMBON.		
JENIS MATERIAL	: LEMPIUNG LANAU WARNA COKLAT.		

Sample No :				Kerikil		Pasir			Butiran halus		
Berat tanah kering : 200 gr				Kasar		Medium	Halus	Lanas		Lempung	
Berat mangkuk : 26,94 gr				0,17%		22,57%			30,59%		46,66%
φ (mm)	# SEIVE	Berat Tertahan (gr)	% Tertahan	% Lolos							
90	2"			100							
25,4	1"			100,00							
19,25	3/4"			100,00							
8,4	3/8"			100,00							
4,75	4	27,29	0,3	0,17	99,83						
2	10	27,46	0,5	0,27	99,66						
0,85	20	26,33	1,6	0,80	98,76						
0,425	40	20,28	4,1	1,41	97,88						
0,125	100	42,24	15,3	7,65	89,91						
0,075	200	52,24	26,3	12,65	77,26						
0,060				51,27							
0,050				49,43							
0,040				47,59							
0,030				45,74							
0,020				43,90							
0,010				42,06							

Diameter Butiran, (mm)

Lampiran 6: Dimensi Pilar Jembatan Merah Putih



BIODATA PENULIS



Fikri Hadyan Putra, lahir di Jakarta, 21 Januari 1997. Merupakan anak kedua dari 2 bersaudara dari pasangan Jasam S.H. dan Sri Hartini. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN 010 Pagi Jakarta, SMPN 252 Jakarta dan SMAN 71 Jakarta. Setelah lulus dari SMA penulis memilih melanjutkan kuliah Strata-1 dengan mengikuti program SNMPTN. Penulis diterima di Program Studi Teknik Geomatika

FTSLK-ITS tahun 2015 dan terdaftar sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Geomatika (HIMAGE-ITS) pernah menjabat sebagai staff Departemen Dalam Negeri, *Steering Commite*, dan Wakil Ketua Himpunan. Serta acara-acara yang diadakan baik oleh departemen, fakultas maupun kampus ITS. Penulis telah melakukan kerja praktik di P3GL Bandung. Untuk menyelesaikan studi Tugas Akhir, penulis memilih bidang keahlian Geomarine dengan spesifikasi bidang Hidrografi dengan judul “Analisis Transpor Sedimen Terhadap Fenomena Scouring Pada Pilar Jembatan Menggunakan Pemodelan Hidrodinamika 3 Dimensi.

