



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RM184831

ANALISIS PERUBAHAN TOPOGRAFI DASAR LAUT DAN ARUS LAUT PRA DAN PASCA TSUNAMI DI TELUK PALU, SULAWESI TENGAH

LEVIANA ORCHID FISKARINI SUSANTO
NRP 0331154000088

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

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RM184831

**ANALISIS PERUBAHAN TOPOGRAFI DASAR LAUT
DAN ARUS LAUT PRA DAN PASCA TSUNAMI
DI TELUK PALU, SULAWESI TENGAH**

LEVIANA ORCHID FISKARINI SUSANTO
NRP 0331154000088

Dosen Pembimbing
Khomsin, S.T., M.T.
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 - RM184831

**ANALYSIS OF SEAFLOOR TOPOGRAPHY
AND SEA CURRENT CHANGED PRE AND POST-TSUNAMI
IN PALU BAY, CENTRAL SULAWESI**

Leviana Orchid Fiskarini Susanto
NRP 0331154000088

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

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISIS PERUBAHAN TOPOGRAFI DASAR LAUT DAN ARUS LAUT PRA DAN PASCA TSUNAMI DI TELUK PALU, SULAWESI TENGAH

Nama Mahasiswa : Leviana Orchid Fiskarini Susanto
NRP : 0331154000088
Departemen : Teknik Geomatika FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing: Khomsin, S.T., M.T.
Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D

Abstrak

Teluk Palu merupakan daerah yang rentan terhadap gempa bumi. Pada September 2018 terjadi gempa bumi tektonik di Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah yang mengakibatkan tsunami akibat longsor dasar laut. Dalam rekonstruksi pasca bencana, diperlukan studi lebih lanjut mengenai kondisi pasang surut, topografi dasar laut dan arus laut di perairan Teluk Palu untuk pemulihan fungsi prasarana dan sarana vital.

Simulasi pemodelan arus menggunakan beberapa parameter seperti data batimetri, data pasang surut, data garis pantai, dan data debit air sungai. Simulasi dilakukan menggunakan dua skenario, pra tsunami pada tahun 2012 dan pasca tsunami pada tahun 2018. Perubahan topografi dasar laut diamati dengan menganalisis perubahan kontur dan volume longsor bawah laut. Pasca terjadi tsunami tidak terjadi perubahan karakteristik pasang surut pada Teluk Palu dan ditemukan timbunan volume longsor bawah laut sebesar 12.466.252,630 m³ di Perairan Wani. Kecepatan rata-rata arus pasca tsunami pada area model 1, 2 dan 4 mengalami penurunan sebesar 0,01 m/s sedangkan pada area 3 terjadi penurunan kecepatan arus rata-rata sebesar 0,06 m/s. Pada saat pasang tertinggi, kecepatan arus rata-rata pra tsunami pada area model 1, 2 dan 3 mengalami penambahan kecepatan arus sebesar 0,01 m/s dan tidak terjadi perubahan kecepatan arus rata-rata pada area 4.

Kata Kunci: Topografi Dasar Laut, Arus, Tsunami, Pemodelan Hidrodinamika

ANALYSIS OF SEAFLOOR TOPOGRAPHY AND CURRENT CHANGE PRE AND POST-TSUNAMI IN PALU BAY, CENTRAL SULAWESI

Name : Leviana Orchid Fiskarini Susanto
NRP : 0331154000088
Department : Geomatics Engineering FTSLK-ITS
Supervisor : Khomsin, S.T., M.T.
Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D

Abstract

Palu Bay is an earthquake-prone area. In September 2018 tectonic earthquake occurred in Donggala District, Central Sulawesi, which caused tsunami due to underwater landslides. In post-disaster reconstruction, further studies regarding changes in tidal characteristic, seafloor topography and ocean currents of Palu Bay are needed to restore the functions of vital infrastructure and facilities condition in affected areas.

Simulation of current model uses several parameters such as bathymetry data, tide data, coastline data, and river water discharge data. Simulation conducted using two scenarios, pre-tsunami in 2012 and post-tsunami in 2018. seabed topography observed by analyzing changes in contour and the volume of underwater landslides. there was no tidal characteristics change in the Palu bay after the tsunami, and Wani water's underwater landslide volume was $12,466,252.630\text{m}^3$. At the lowest tide, the post-tsunami average current velocity in areas 1, 2 and 4 decreased by 0.01 m/s, while in area 3, the average current velocity decreased by 0.06 m/s. At the highest tide, the pre-tsunami average current velocity in the area of 1, 2 and 3 has an increased by 0.01 m/s and constant in area 4.

Keywords: *Seabed Topography, Flow, Tsunami, Hydrodynamic Model*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISIS PERUBAHAN TOPOGRAFI DASAR LAUT
DAN ARUS LAUT PRA DAN PASCA TSUNAMI
DI TELUK PALU, SULAWESI TENGAH**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

LEVIANA ORCHID FISKARINI SUSANTO
NRP. 0331154000088

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Khomsin, S.T, M.T
NIP. 19750705 200012 1 001

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



SURABAYA, JULI 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis haturkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Perubahan Topografi Dasar Laut dan Arus Laut Pra dan Pasca Tsunami di Teluk Palu, Sulawesi Tengah**” dengan lancar dan tepat pada waktunya.

Tersusunnya laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil kerja keras penulis serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara moral maupun material. Atas bantuan dan dukungan tersebut penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak Susanto dan Ibu Juliana Letelay, serta adik-adik penulis, yaitu Aurelia dan Eidel yang selalu memberikan doa, dukungan, motivasi, dan semangat kepada penulis.
2. Bapak Nur Cahyadi, S.T, M.Sc. Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika ITS atas dukungan dan bantuan yang telah Bapak berikan
3. Bapak Khomsin, S.T, M.T dan Bapak Dinar Guruh Pratomo, S.T, M.T, Ph.D selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan dan saran.
4. Pusat Hidro-Oseanografi TNI AL yang telah berkenan memberikan data dan arahan untuk penelitian ini.
5. Teman-teman G17 selaku teman seangkatan atas persahabatan yang diberikan kepada penulis selama belajar di Departemen Teknik Geomatika ITS.
6. Teman-teman Laboratorium *Geomarine*. Nada, Bram, Thina, Happy, Ayus, Axel, Fikri, Fauzan dan Farras atas segala dukungan yang diberikan kepada penulis
7. Teman-teman SONIC dan HQQ. Hani, Vicky, Pahol, Handis, Elmi, Giri, Danik dan Yudha selaku teman dekat penulis atas segala dukungan yang diberikan kepada penulis selama tergabung dalam PSMITS

8. Mbak Evasari Aprilia yang berkenan memberi dukungan kepada penulis.
9. Pihak-pihak yang telah membantu penulis, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dari laporan Tugas Akhir ini, baik dari materi maupun teknik penyajiannya, mengingat kurangnya pengetahuan dan pengalaman. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih, semoga hasil laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat, terutama bagi mahasiswa Departemen Teknik Geomatika ITS.

Surabaya, 25 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Abstrak	v
<i>Abstract</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Topografi Dasar Laut	5
2.2 Arus Laut.....	5
2.3 Pasang Surut	6
2.3.1 Tipe Pasang Surut.....	8
2.3.2 Komponen Pasang Surut	9
2.3.3 Analisis Harmonik Pasang Surut.....	10
2.4 Debit Air Sungai.....	14
2.5 Model Hidrodinamika	14
2.6 <i>Mesh</i>	16
2.7 Perhitungan Volume	17
2.8 Penelitian Terdahulu.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Lokasi Penelitian	21
3.2 Data dan Peralatan.....	22
3.2.1 Data	22
3.2.2 Peralatan	22
3.3 Metodologi Penelitian	23
3.3.1 Tahap Identifikasi Masalah	23

3.3.2 Tahap Studi Literatur.....	23
3.3.3 Tahap Pengumpulan Data.....	23
3.3.4 Tahap Pengolahan Data.....	23
3.3.5 Tahap Analisis.....	26
3.3.6 Tahap Penyusunan Laporan.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Hasil <i>Editing Mesh</i>	27
4.3.1 Desain Model.....	27
4.3.2 Daerah Model.....	30
4.3.3 Waktu Pemodelan.....	31
4.2 Analisis Perubahan Topografi Dasar Laut.....	32
4.3 Analisis Karakteristik Pasang Surut	35
4.4 Validasi Model	38
4.5 Hasil Pemodelan Arus	45
4.5.1 Area 1	45
4.5.2 Area 2	50
4.5.3 Area 3	55
4.5.4 Area 4	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA.....	67
LAMPIRAN	71
BIODATA PENULIS.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pasang Surut Perbani dan Purnama	7
Gambar 2.2 Konsep perhitungan volume	18
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian	21
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengolahan Data.....	24
Gambar 4.1 <i>Boundary Condition</i> Pra Tsunami	28
Gambar 4.2 <i>Boundary Condition</i> Pasca Tsunami	28
Gambar 4.3 <i>Mesh</i> Pra Tsunami	29
Gambar 4.4 <i>Mesh</i> Pasca Tsunami	30
Gambar 4.5 Area Sampel Pemodelan.....	31
Gambar 4.6 Pertampalan Kontur Perairan Wani.....	32
Gambar 4.7 Model 3D Perairan Wani.....	33
Gambar 4.8 Selisih Topografi 2018 terhadap 2012.....	34
Gambar 4.9 Grafik Pasang Surut Pengamatan BIG 2012	39
Gambar 4.10 Grafik Pasang Surut Pemodelan 2012 (Pantoloan).....	39
Gambar 4.11 Grafik Selisih Pasut Model dan Stasiun Pantoloan 2012	40
Gambar 4.12 Grafik Pasang Surut Pengamatan BIG 2018	41
Gambar 4.13 Grafik Pasang Surut Pemodelan 2018	41
Gambar 4.14 Grafik Selisih Pasut Model dan Stasiun Pantoloan 2018	42
Gambar 4.15 Grafik Pasang Surut Pengamatan PUSHIDROSAL 2018.....	43
Gambar 4.16 Grafik Pasang Surut Pemodelan 2018	43
Gambar 4.17 Grafik Selisih Pasut Model dan Stasiun Palu 2018	44
Gambar 4.18 Kondisi Arus Area 1 Saat Pasang Tertinggi (Pra Tsunami)	45
Gambar 4.19 Kondisi Arus Area 1 Saat Surut Terendah (Pra Tsunami)	46
Gambar 4.20 Kondisi Arus Area 1 Saat Pasang Tertinggi (Pasca Tsunami).....	46

Gambar 4.21 Kondisi Arus Area 1 Saat Surut Terendah (Pasca Tsunami).....	47
Gambar 4.22 Perbandingan Arus Area 1 Saat Pasang Tertinggi.....	48
Gambar 4.23 Perbandingan Arus Area 1 Saat Surut Terendah	49
Gambar 4.24 Kondisi Arus Area 2 Saat Pasang Tertinggi (Pra Tsunami).....	50
Gambar 4.25 Kondisi Arus Area 2 Saat Surut Terendah (Pra Tsunami).....	51
Gambar 4.26 Kondisi Arus Area 2 Saat Pasang Tertinggi (Pasca Tsunami).....	51
Gambar 4.27 Kondisi Arus Area 2 Saat Surut Terendah (Pasca Tsunami).....	52
Gambar 4.28 Perbandingan Arus Area 2 Saat Pasang Tertinggi.....	53
Gambar 4.29 Perbandingan Arus Area 2 Saat Surut Terendah	54
Gambar 4.30 Kondisi Arus Area 3 Saat Pasang Tertinggi (Pra Tsunami).....	55
Gambar 4.31 Kondisi Arus Area 3 Saat Surut Terendah (Pra Tsunami).....	55
Gambar 4.32 Kondisi Arus Area 3 Saat Pasang Tertinggi (Pasca Tsunami).....	56
Gambar 4.33 Kondisi Arus Area 3 Saat Surut Terendah (Pasca Tsunami).....	56
Gambar 4.34 Perbandingan Arus Area 3 Saat Pasang Tertinggi.....	57
Gambar 4.35 Perbandingan Arus Area 3 Saat Surut Terendah	58
Gambar 4.36 Kondisi Arus Area 4 Saat Pasang Tertinggi (Pra Tsunami).....	59
Gambar 4.37 Kondisi Arus Area 4 Saat Surut Terendah (Pra Tsunami).....	59

Gambar 4.38 Kondisi Arus Area 4 Saat Pasang Tertinggi (Pasca Tsunami).....	60
Gambar 4.39 Kondisi Arus Area 4 Saat Surut Terendah (Pasca Tsunami).....	60
Gambar 4.40 Perbandingan Arus Area 4 Saat Pasang Tertinggi	61
Gambar 4.41 Perbandingan Arus Area 4 Saat Surut Terendah	62
Gambar 4.2 Penampang Melintang Area 4	63

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komponen-Komponen Pasut	10
Tabel 4.1 Spesifikasi TIN.....	29
Tabel 4.2 Penjelasan titik sampel model	30
Tabel 4.3 Nilai volume <i>cut and fill</i>	34
Tabel 4.4 Sampel Data Pasang Surut Pantoloan Tahun 2012 ..	35
Tabel 4.5 Sampel Data Pasang Surut Pantoloan Tahun 2018 ..	36
Tabel 4.6 Nilai Konstituen Pasang Surut Teluk Palu 2012	37
Tabel 4.7 Nilai Konstituen Pasang Surut Teluk Palu 2018	37
Tabel 4.8 Hasil Pengolahan Pasang Surut.....	37
Tabel 4.9 Hasil Pengolahan Pasang Surut.....	38

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pasang Surut Pelabuhan Pantoloan	71
Lampiran 2. Data Pasang Surut Pelabuhan Palu	75
Lampiran 3. Data Debit Sungai Palu.....	76

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teluk Palu adalah sebuah teluk yang berada di Propinsi Sulawesi Tengah. Palu merupakan daerah yang rentan terhadap gempa bumi, hal ini disebabkan karena adanya sesar aktif Palu Koro yang memiliki aktifitas seismik yang cukup tinggi. Kota Palu dan sekitarnya memiliki potensi tsunami yang cukup besar dan telah terjadi empat kali kejadian tsunami yang dipicu oleh gempa bumi di Teluk Palu dan sekitarnya, yaitu pada 1 Desember 1927 (Palu), 20 Mei 1938 (Parigi), 14 Agustus 1968 (Tambu) dan 20 Oktober 1996 (Toli-toli) (Mudin dan Pramana 2015).

Menurut Bidang Seismologi Teknik – BMKG (2018) pada 28 September 2018 terjadi gempa bumi tektonik bertipe mendatar dengan magnitudo 7.4 SR di Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah yang mengakibatkan tsunami akibat longsor dasar laut (Latief 2018). Menurut Pusat Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut (PUSHIDROSAL) longsor bawah laut yang menyebabkan tsunami di Teluk Palu berada di perairan Tanjung Labuan, Perairan Wani, Sulawesi Tengah (Retaduari 2018). Salah satu dampak yang mungkin diakibatkan oleh tsunami adalah perubahan batimetri, rusaknya prasarana dan sarana vital di wilayah pesisir dan terbawanya material dari daratan. Batimetri sebagai petunjuk tinggi rendahnya dasar laut mempengaruhi besarnya arus dan transpor sedimen yang terjadi pada suatu dasar laut. Semakin tinggi kemiringan batimetri pada dasar laut, semakin besar pula kecepatan arus yang terjadi (Widyanto dkk 2014).

Dalam rekonstruksi pasca bencana diperlukan studi lebih lanjut mengenai kondisi wilayah terdampak. Pada penelitian ini, studi mengenai dinamika wilayah Perairan Teluk Palu dilakukan dengan menganalisis karakteristik pasang surut, perubahan batimetri dan arus laut di perairan

tersebut. Perubahan karakteristik pasang surut diamati melalui perubahan nilai bilangan formzahl (bilangan untuk menentukan tipe pasang surut), perubahan topografi dasar laut yang diamati adalah perubahan kontur dasar laut dan volume longsor bawah laut. Pendekatan yang dilakukan untuk mengetahui pola arus adalah dengan pendekatan model numerik. Melalui model ini dapat dibangun beberapa skenario simulasi sehingga karakteristik arus laut di Teluk Palu dapat diprediksi sehingga lebih efisien dari segi waktu, biaya, dan tenaga (Ramming dan Kowalik 1980 dalam Aprilia & Pratomo 2017).

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana topografi dasar laut pra dan pasca tsunami 2018 di Perairan Wani, Teluk Palu?
- b. Bagaimana karakteristik pasang surut pra dan pasca tsunami 2018 di Teluk Palu?
- c. Bagaimana pola arus yang terbentuk pra dan pasca tsunami di Teluk Palu?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Wilayah penelitian ini meliputi Teluk Palu yang berada di Provinsi Sulawesi Tengah.
- b. Pembuatan model arus dengan menggunakan perangkat lunak pemodelan hidrodinamika.
- c. Volume yang dihitung merupakan volume longsor dasar laut di Perairan Wani, Teluk Palu.
- d. Penentuan pola arus berdasarkan data batimetri, data garis pantai, data debit air sungai, dan data pasang surut air laut.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah:

- a. Menganalisis perubahan topografi dasar laut dasar laut di Perairan Wani, Teluk Palu.
- b. Menganalisis karakteristik pasang surut pra dan pasca tsunami 2018 di Teluk Palu.
- c. Menganalisis perubahan model arus di Teluk Palu pra dan pasca tsunami menggunakan perangkat lunak pemodelan hidrodinamika.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

- a. Memberikan Informasi kepada masyarakat umum mengenai kondisi Perairan Teluk Palu pasca bencana tsunami 2018
- b. Sebagai studi pasca bencana yang selanjutnya dapat digunakan dalam aplikasi bidang yang terkait dengan kelautan, baik untuk kepentingan ilmiah, maupun aplikasi praktis secara luas

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II **TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Topografi Dasar Laut (Batimetri)

Topografi dasar laut merupakan salah satu komponen utama dalam pembuatan model hidrodinamika karena sangat mempengaruhi sirkulasi laut seperti proses pembentukan arus dan gelombang. Arus laut tidak dapat melewati punggung laut atau gunung laut, oleh karena itu pada perairan dalam arus mengalir ke daerah yang cenderung datar. Selain itu, khususnya di garis lintang tinggi di mana permukaan dan air dalam memiliki kepadatan yang serupa (barotropik) arus di dekat permukaan laut cenderung mengikuti kontur kedalaman konstan.

Topografi dasar laut tidak hanya mengarahkan aliran laut, tetapi juga mencegah pencampuran air dari berbagai daerah. Pada zona patahan sempit di lautan batimetri memainkan peran penting dalam menahan aliran air tetap berada pada daerah tertentu. Tingkat kekasaran topografi dasar laut suatu daerah juga mempengaruhi arah dan kecepatan arus. Pasang surut membawa air bergerak bolak-balik melintasi batimetri yang kasar, energi yang terkait dengan gerakan horisontal diubah menjadi gelombang internal yang merambat secara vertikal. Gelombang-gelombang vertikal tersebut membawa energi ke permukaan air melalui kolom air yang menyebabkan pencampuran air secara vertikal (Gille 2003).

2.2 Arus Laut

Pada penelitian ini arus merupakan salah satu komponen yang akan dianalisis. Arus merupakan gerakan mengalir suatu massa air yang dapat disebabkan oleh adanya radiasi matahari, tiupan angin, pasang surut air laut, hempasan gelombang, dan adanya perbedaan densitas air laut (Opa 2011). Gerakan arus merupakan hasil resultan dari berbagai macam gaya yang bekerja pada permukaan dan dasar perairan.

Gerakan massa air dapat dipengaruhi oleh:

a. Temperatur dan salinitas

Air yang hangat mengandung lebih sedikit garam daripada air dingin sehingga memiliki densitas yang lebih kecil dari air dingin yang mendorong air naik ke permukaan lautan. Ketika dingin, air akan memiliki densitas yang lebih tinggi kemudian air akan mengandung lebih banyak garam dan tenggelam (Balasubramanian 2016).

b. Pasang surut

Permukaan air laut senantiasa berubah-ubah setiap saat karena gerakan pasut, keadaan ini juga terjadi pada tempat-tempat sempit seperti teluk dan selat, sehingga menimbulkan arus pasang surut (Aprilia dan Pratomo 2017).

c. Batimetri

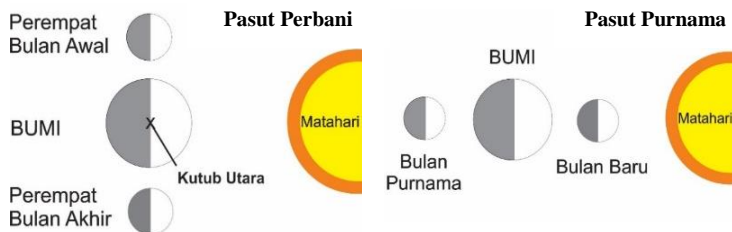
Topografi dasar laut mempengaruhi arus permukaan laut, prosesnya terlihat ketika energi arus laut melewati dasar laut kasar dan diubah dari arus horizontal menjadi gelombang vertikal (Noei, Hasanlou, dan Sharifi 2018)

2.3 Pasang Surut

Data pasang surut digunakan pada penelitian ini sebagai pembangkit model hidrodinamika. Permukaan air laut senantiasa berubah-ubah setiap saat karena gerakan pasang surut air laut, gerakan pasang surut mengakibatkan gerakan mendatar yang dirasakan terutama pada daerah yang sempit, seperti selat dan danau, gerakan ini dikenal sebagai arus pasang surut (Abdurrahman 2015). Pada penelitian ini pasang surut digunakan untuk memperoleh komponen harmonik pasang surut dan sebagai validasi hasil model.

Kejadian pasang surut yang sering juga disebut dengan pasut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Meskipun massa bulan jauh

lebih kecil dari massa matahari, tetapi karena jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari. Gaya tarik bulan yang mempengaruhi pasang surut adalah 2 kali lebih besar daripada gaya tarik matahari. Pengaruh gravitasi benda-benda langit terhadap bumi tidak hanya menyebabkan pasang surut laut, tetapi juga menyebabkan perubahan bentuk bumi (*bodily tides*) dan atmosfer (*atmospheric tides*) (Poerbandono dan Djunarsjah 2005).



Gambar 2.1 Pasang Surut Perbani dan Purnama
(Poerbandono dan Djunarsjah 2005)

Pada Gambar 2.1 saat pasut purnama (*spring*), yaitu saat kedudukan matahari segaris dengan sumbu bumi-bulan, maka terjadi pasang maksimum pada titik di permukaan bumi yang berada di sumbu kedudukan relatif bumi, bulan, dan matahari. Kondisi tersebut terjadi ketika bulan baru dan bulan purnama. Saat pasut perbani (*neap*), yaitu saat kedudukan matahari tegak lurus dengan sumbu bumi-bulan, terjadi pasut minimum pada titik di permukaan bumi yang tegak lurus sumbu bumi-bulan. Kondisi tersebut terjadi di perempat bulan awal dan perempat bulan akhir. Fenomena pasut pada kedudukan demikian disebut dengan *neap tide* atau pasut perbani. Tunggang pasut (jarak vertikal kedudukan permukaan air tertinggi dan terendah) saat spring lebih besar dibanding saat *neap* (Poerbandono dan Djunarsjah 2005)

2.3.1 Tipe Pasang Surut

Bentuk (tipe) dari pasang surut yang timbul berbeda-beda tergantung pada tempat dimana pasut tersebut terjadi, pada penelitian ini akan dianalisis tipe pasang surut sebelum dan sesudah tsunami. Tipe pasang surut ditentukan oleh frekuensi air pasang surut setiap hari (Triatmodjo 1999) dan dapat diklasifikasikan dengan mencari nilai bilangan formzahl (F). Formzahl adalah bilangan untuk menentukan tipe pasang surut (Fadilah, Suripin, dan Sasongko 2014). Menurut Abdurrahman (2015) bilangan formzahl menggunakan empat nilai konstanta (M_2 , S_2 , K_1 dan O_1) melalui persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan:

- F = Nilai Formzahl
- K_1 = Amplitudo Komponen Pasang Surut Tunggal Utama Yang Disebabkan Oleh Gaya Tarik Bulan Dan Matahari (meter)
- O_1 = Amplitudo Komponen Pasang Surut Tunggal Utama Yang Disebabkan Oleh Gaya Tarik Bulan (meter)
- M_2 = Amplitudo Komponen Pasang Surut Ganda Utama Yang Disebabkan Oleh Gaya Tarik Bulan (meter)
- S_2 = Amplitudo Komponen Pasang Surut Ganda Utama Yang Disebabkan Oleh Gaya Tarik Matahari (meter)

Menurut Triatmodjo (2010) dilihat dari pola gerakan muka laut dan nilai Formzahl, pasang surut dapat dibagi menjadi empat jenis yaitu:

- a. $F \leq 0,25$, *semi diurnal tide* atau pasut harian ganda (dua kali pasang dan dua kali surut dalam 24 jam),

- Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit;
- b. $0,25 < F \leq 1,5$, pasang surut campuran condong harian ganda (*mixed tide, prevailing semi diurnal*) merupakan pasang surut yang terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari tetapi terkadang terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dengan memiliki tinggi dan waktu yang berbeda;
 - c. $1,5 < F \leq 3$, pasang surut campuran condong harian tunggal (*mixed tide, prevailing diurnal*) merupakan pasang surut yang tiap harinya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut tetapi terkadang dengan dua kali pasang dan dua kali surut yang sangat berbeda dalam tinggi dan waktu;
 - d. $F > 3$, diurnal *tide* atau pasang surut harian tunggal (satu kali pasang dan satu kali surut dalam 24 jam). Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit.

2.3.2 Komponen Pasang Surut

Pasang surut merupakan fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Fenomena pasang surut yang kita amati di perairan merupakan superposisi dari komponen-komponen pasang surut yang disebabkan gaya tarik bulan, matahari, pengaruh batimetri, serta geometri pantai. Komponen-komponen pasang surut tersebut mempunyai amplitudo dan frekuensi yang berbeda satu dengan yang lainnya (Abdurrahman 2015).

Komponen harmonik ini dapat dibagi menjadi tiga komponen, yaitu komponen pasang surut *semidiurnal*, *diurnal* dan pasang surut periode panjang (Hutanti, Pratomo, dan Khomsin 2018). Beberapa komponen harmonik yang penting dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komponen-Komponen Pasut
(Poerbandono dan Djunarsjah 2005)

Nama		Periode (Jam)	Fenomena
Diurnal	K ₁	23.93	Deklinasi sistem bulan dan matahari
	O ₁	25.82	Deklinasi bulan
	P ₁	24.07	Deklinasi matahari
Semi - Diurnal	M ₂	12.42	Gravitasi bulan dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi
	S ₂	12.00	Gravitasi matahari dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi
	N ₂	12.66	Perubahan jarak bulan ke bumi akibat lintasan yang berbentuk elips
	K ₂	11.97	Perubahan jarak matahari ke bumi akibat lintasan yang elips
Periode Panjang	M _f	327.86	Variasi setengah bulanan
	M _m	661.30	Variasi bulanan
	S _{sa}	2191.43	Variasi semi tahunan

2.3.3 Analisis Harmonik Pasang Surut

Analisis harmonik pasang surut bertujuan untuk menghitung amplitudo hasil respon dari kondisi laut setempat terhadap pasut setimbang dan beda fase dari gelombang tiap komponen terhadap keadaan pasut setimbang, dengan menggunakan proses yang disebut analisis harmonik, berbagai pola gelombang pasang dapat dipecah menjadi serangkaian gelombang yang jauh lebih sederhana yang disebut harmonik pasang surut. Setiap harmonik (secara matematis dikenal sebagai gelombang sinus) memiliki frekuensi yang sangat spesifik berkaitan dengan pergerakan Bumi, Bulan dan Matahari, namun amplitude dari masing-

masing komponen dan fase unik untuk setiap lokasi. Dengan menggabungkan komponen pasang surut ini, pasang surut dapat dihitung untuk setiap titik maju atau mundur dalam waktu asalkan kondisi lokal, seperti bentuk garis pantai tidak berubah (National Oceanography Centre 2017).

Analisa pasang surut dapat menggunakan berbagai metode, salah satunya yaitu metode *least square* yaitu jumlah data lebih banyak daripada jumlah parameter yang dihitung. Amplitudo dan fase komponen dari persamaan harmonik pasut dihitung berdasarkan data pengamatan terhadap kedudukan muka air dalam jangka waktu tertentu, dengan menggunakan komponen yang diketahui periodenya. Metode *least square* adalah salah satu metode yang paling populer dalam menyelesaikan masalah hitungan perataan (Setyadi 2005).

Variasi naik turunnya muka air laut adalah hasil penjumlahan (superposisi) dari semua gelombang komponen harmonik pasut yang terjadi. Dengan demikian tinggi muka air laut dapat dituliskan dalam persamaan rumus berikut (Ongkosongo 1989):

$$x(t_n) = \bar{x} + \sum_{q=1}^M C_q \cos(2\pi f_q t_n - \phi_q) \quad (2.2)$$

Keterangan:

- \bar{x} = Rata-rata data pengamatan (meter)
- M = Jumlah konstanta harmonik pasang surut
- C_q = Besar amplitude (meter)
- t_n = waktu pengamatan (Jam)
- f_q = frekuensi (Hz)
- ϕ_q = fase dari konstanta pasut ke-q (°/detik)

Penyelesaian secara *least square* memerlukan linierisasi dari persamaan (2.2), karena nilai $\cos(a - b) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)$, maka:

$$x(t_n) = \bar{x} + \sum_{q=1}^M C_q \cos(2\pi f_q t_n) \cos(\phi_q) + \sin(2\pi f_q t_n) \sin(\phi_q) \quad (2.3)$$

Dengan

$$A_q = C_q \cos(\phi_q) \text{ dan } B_q = C_q \sin(\phi_q) \quad (2.4)$$

maka persamannya menjadi:

$$x(t_n) = \bar{x} + \sum_{q=1}^M A_q \cos(2\pi f_q t_n) + \sum_{q=1}^M B_q \cos(2\pi f_q t_n) \quad (2.5)$$

Persamaan (2.4) dapat dibuat dilakukan dalam bentuk matriks menjadi:

$$F = A \cdot X \quad (2.6)$$

Keterangan:

F = vektor data pengamatan tinggi muka laut (n x 1)

A = Matriks desain (n x u)

X = vektor parameter (u x 1)

$$F = \begin{bmatrix} x(t_1) \\ \dots \\ x(t_n) \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \cos(2\pi f_1 t_1) & \sin(2\pi f_1 t_1) & \dots & \cos(2\pi f_1 t_1) & \sin(2\pi f_1 t_1) \\ 1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \cos(2\pi f_1 t_n) & \sin(2\pi f_1 t_n) & \dots & \cos(2\pi f_M t_n) & \sin(2\pi f_M t_n) \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$X = \begin{bmatrix} \bar{x} \\ A_1 \\ B_1 \\ \dots \\ \dots \\ A_M \\ B_M \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Parameter yang ditentukan adalah \bar{x} , A_q dan B_q , yang dapat dihitung dengan *inverse* matriks (2.6) sehingga persamaan menjadi sebagai berikut:

$$X = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot (A^T \cdot F) \quad (2.10)$$

Parameter A_q dan B_q (2.4) pada matriks parameter tersebut digunakan untuk menghitung amplitudo dan fase dari komponen komponen pasut yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$A_q^2 + B_q^2 = C_q^2 \cos^2(\phi_q) + C_q^2 \sin^2(\phi_q) \quad (2.11)$$

$$A_q^2 + B_q^2 = C_q^2 (\cos^2(\phi_q) + \sin^2(\phi_q)) \quad (2.12)$$

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

$$A_q^2 + B_q^2 = C_q^2 \quad (2.13)$$

$$C_q = \sqrt{A_q^2 + B_q^2} \quad (2.14)$$

$$\frac{B_q}{A_q} = \frac{C_q \sin(\phi_q)}{C_q \cos(\phi_q)} \quad (2.15)$$

$$\frac{B_q}{A_q} = \tan(\phi_q) \quad (2.16)$$

$$\phi_q = \tan^{-1} \left(\frac{B_q}{A_q} \right) \quad (2.177)$$

2.4 Debit Air Sungai

Debit air merupakan salah satu tenaga pembangkit model hidrodinamika pada penelitian ini. Debit adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Besarnya debit ditentukan oleh luas penampang air dan kecepatan alirannya. Dalam sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/dt), volume debit berkorelasi dengan daerah drainase hulu dan rata-rata limpasan hulu. DAS yang lebih besar dan cekungan basah biasanya memiliki tingkat debit yang lebih tinggi (Arsyad 2006).

2.5 Model Hidrodinamika

Pada penelitian ini arus yang akan dianalisis merupakan hasil dari pemodelan hidrodinamika menggunakan perangkat lunak pemodelan hidrografi dengan metode pemodelan numerik. Pemodelan numerik menggunakan seperangkat persamaan untuk menggambarkan evolusi variabel dalam suatu sistem dari waktu ke waktu. Variabel-variabel tersebut dapat berupa arus pasang surut, suhu air, salinitas (kadar garam), pergerakan sedimen, salah satu dari banyak sifat kimia atau biologis (National Oceanography Centre 2017). Model pola arus dibangun dengan menggunakan persamaan kontinuitas dan persamaan momentum dengan perata-rataan kedalaman. Adapun

persamaan yang digunakan oleh perangkat pemodelan adalah sebagai berikut (DHI 2014):

a. Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas menerangkan kekekalan massa fluida sepanjang aliran. Menjelaskan bahwa massa fluida yang masuk ke dalam suatu penampang lain dengan massa yang sama (Hutanti, Pratomo, dan Khomsin 2018). Dalam pemodelan yang akan dilakukan persamaan kontinuitas yang digunakan adalah:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad (2.18)$$

b. Persamaan Gerak

Persamaan gerak dikenal sebagai persamaan kekekalan momentum. Persamaan ini menjelaskan aliran fluida yang mengikuti hukum kedua Newton (Furqon, Ismail, dan Taofiqurohman 2012). Persamaan momentum untuk arah x dan arah y diberikan seperti berikut (DHI 2014):

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = f v - g \frac{\partial \eta}{\partial x} + -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \\ \frac{g}{\rho_o} \int_z^n \frac{\partial p_a}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_o h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \\ u_s S \end{aligned} \quad (2.19)$$

dan

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wv}{\partial z} = fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} + -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_o} \int_z^\eta \frac{\partial p_a}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_o h} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + v_s S$$

(2.20)

Keterangan:

- v = kecepatan aliran dalam arah y atau η (m/s)
- u = kecepatan aliran dalam arah x atau ξ (m/s)
- t = Waktu (s)
- d = Ketinggian air tetap (m)
- η = Elevasi Permukaan (m)
- h = $\eta + d$
- g = gravitasi (m/s)
- f = Parameter *Coriolis* (frekuensi inersial) (1/s)
- ρ_o = densitas air (kg/m³)
- p_a = Tekanan udara (Pa)
- F = fluks momentum turbulen setiap arah (m/s²)
- S = Besaran debit (m³/s)
- s = komponen *radiation stress tensor*
- u_s, v_s = kecepatan debit air (m/s)
- v_t = *vertical eddy viscosity* (m²/s)

2.6 Mesh

Tahap awal dari pembuatan model hidrodinamika adalah pembuatan *mesh*. *Mesh* yang digunakan dalam penelitian ini berupa segitiga tidak beraturan / TIN (*Triangulated irregular network*) karena bersifat lebih responsif terhadap bentuk garis pantai yang tidak teratur dibandingkan dengan menggunakan bentuk *grid*, lebih akurat dalam menyajikan data permukaan bumi, dan dapat lebih baik dalam memodelkan data kedalaman.

Dalam menyiapkan *mesh* mencakup pemilihan area yang sesuai untuk dimodelkan, bidang batimetri, aliran, angin,

gelombang dan pendefinisian kode. Dalam pembuatan *mesh*, batas wilayah model di definisikan oleh kode untuk membedakan batas terbuka (*open boundary*) dan batas tertutup (*closed boundary*). Batas tertutup atau *closed boundary* adalah garis batas yang memisahkan tanah dari air. Saat menggunakan *mesh* dalam simulasi, perangkat lunak secara implisit mendefinisikan kondisi batas kecepatan nol yang tegak lurus terhadap batas air. Batas terbuka atau *open boundary* adalah garis batas yang dapat kita definisikan sendiri sebagai batas yang memiliki tenaga pembangkit atau batas keluarnya air dari model (DHI 2011).

2.7 Perhitungan Volume

Perhitungan volume dilakukan untuk mengetahui perubahan batimetri yang terjadi akibat tsunami. Prinsip perhitungan volume pada penelitian ini adalah menghitung volume *cut and fill* dari dua data kedalaman menggunakan metode penampang melintang. Luas potongan melintang A1 dan A2 pada kedua ujung diukur dan dengan menganggap bahwa perubahan luas potongan melintang antara kedua ujung itu sebanding dengan jaraknya, luas A1 dan A2 tersebut dirata-rata dan dikalikan dengan jarak kedua ujung. Dalam perhitungan ini, volume dihitung berdasarkan data kedalaman pasca tsunami terhadap data kedalaman pra tsunami. Dalam mengetahui besarnya volume *cut* dan *fill* menggunakan rumus sebagai berikut (Muda 2008):

$$\text{Volume} = \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \times L \quad (2.22)$$

Keterangan:

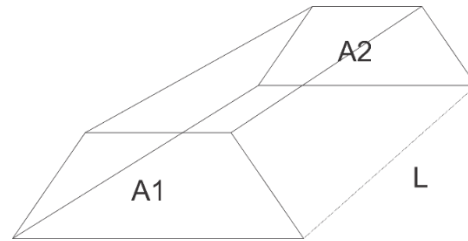
A₁ = Luas penampang 1 (m²)

A₂ = Luas penampang 2 (m²)

L = Jarak antar penampang (m)

Gambar 2.2 merupakan gambaran konsep

perhitungan volume yang akan dilakukan.



Gambar 2.2 Konsep perhitungan volume

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya yang terkait dengan pemodelan arus yang dilakukan oleh Furqon, Ismail, dan Taofiqurohman (2012) berjudul Simulasi Numeris Arus Pasang Surut Di Perairan Cirebon. Menggunakan Model hidrodinamika tiga-dimensi MOHID Simulasi numeris dilakukan selama 14 hari dan hanya menggunakan pasang surut sebagai satu-satunya gaya pembangkit arus laut. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kecepatan arus berkisar dari 0,04 m/s – 0,99 m/s dengan kecepatan pada saat surut relatif lebih besar dibandingkan pada saat pasang. Penelitian selanjutnya terkait model hidrodinamika dan karakteristik pasang surut adalah penelitian Surbakti, Purba, dan Nurjaya (2011) yang berjudul Karakteristik Pasang Surut dan Pola Arus di Muara Sungai Musi, Sumatera Selatan, Analisis data pasang surut dilakukan dengan menggunakan Metode *Admiralty* untuk memperoleh nilai konstanta harmonik pasang surut hasil penelitian menunjukkan bahwa tipe pasang surut di lokasi penelitian bersifat tunggal. Berdasarkan hasil analisis data terlihat bahwa saat pasang, arus cenderung bergerak ke arah darat (sungai) sedangkan saat surut, arus bergerak ke arah laut (Selat Bangka). Arus di lokasi penelitian lebih didominasi oleh arus pasang surut dengan nilai besaran rata-rata arus pasang surut adalah $19,3 \text{ cm s}^{-1}$, sedangkan rata-rata kecepatan arus residu sebesar $10,1 \text{ cm s}^{-1}$. Pada penelitian

Rizal dkk (2009) yang berjudul Simulasi Pola Arus Baroklinik di Perairan Indonesia Timur dengan Model Numerik Tiga-dimensi, mengkaji pola arus Indonesia Timur dengan menggunakan persamaan *Navier-Stokes*. Pola arus tersebut disimulasikan dengan *Hamburg Shelf Ocean Model* (HAMSOM). Data yang digunakan adalah data sekunder salinitas, temperatur meterologi. Pada penelitian ini arah kedalaman (z) didiskritisasi sebanyak 11 lapis sehingga didapatkan hasil pemodelan berupa pola sirkulasi arus perairan Indonesia Timur di lapisan 100 – 200 m. Pada monsun barat yang melalui Selat Makassar terbagi menjadi dua arah arus, yakni dari Laut Bali mengarah ke utara dan dari Samudera Pasifik mengarah ke selatan, sedangkan yang terjadi pada monsun timur arus yang melewati di Selat Makassar hanya mengalir menuju ke Samudera Pasifik.

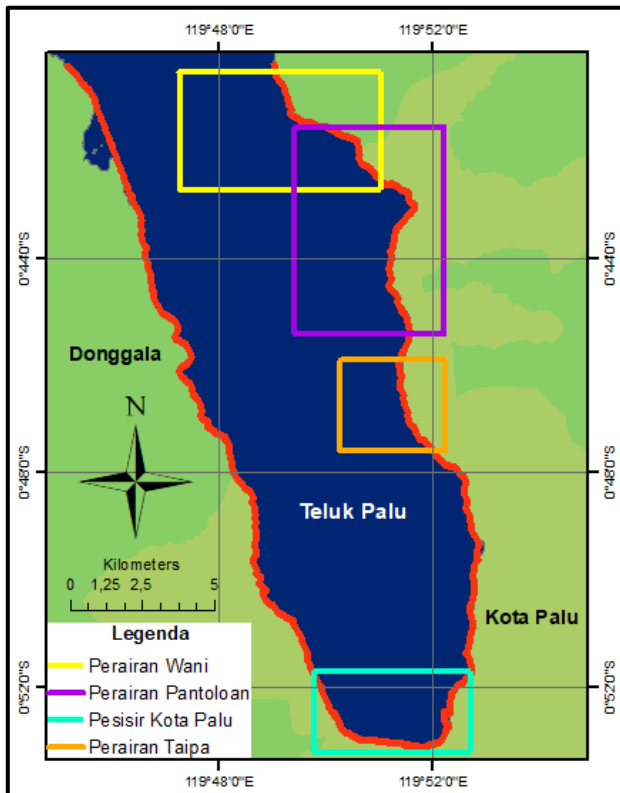
Perbedaan penelitian ini dari penelitian sebelumnya yaitu menganalisis perubahan karakteristik perairan pasca bencana dari topografi dasar laut, karakteristik pasang surut dan model arus. Karakteristik pasang surut dianalisis dengan metode *least square* dan model arus terbentuk menggunakan pasang surut dan debit air sungai sebagai pembangkit arus, model arus yang dibentuk adalah arus pra dan pasca bencana tsunami.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi yang dijadikan studi kasus pada penelitian ini dibagi menjadi beberapa area yaitu Perairan Wani, Perairan Pantoloan, Pesisir Kota Palu dan Perairan Taipa di Teluk Palu, Provinsi Sulawesi Tengah, Indonesia.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.2 Data dan Peralatan

Bagian ini menjelaskan mengenai data dan peralatan yang akan digunakan dalam melaksanakan penelitian.

3.2.1 Data

Pada penelitian ini, dibutuhkan beberapa data penunjang. Data yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini meliputi:

1. Peta RBI skala 1:25.000 Sulawesi Tengah Tahun 2013 diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG).
2. Citra Satelit Sentinel-2A Sulawesi Tengah Tahun 2019 dari *European Space Agency* (ESA).
3. Data batimetri skala 1:25.000 Teluk Palu Tahun 2012 dan 2018 diperoleh dari Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI AL.
4. Data batimetri skala 1:10.000 Perairan Wani, Teluk Palu Tahun 2012 dan 2018 diperoleh dari Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI AL.
5. Data debit air Sungai Palu Tahun 2017 dan 2018 diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi III Kementerian Pekerjaan Umum Provinsi Sulawesi Tengah.
6. Data pasang surut Teluk Palu Tahun 2012 dan 2018 diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG).
7. Data pasang surut Teluk Palu Tahun 2012 dan 2018 diperoleh dari Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI AL (PUSHIDROSAL).

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa perangkat lunak:

1. Perangkat lunak ArcGIS
2. Perangkat lunak Mike Zero
3. Perangkat lunak Matlab
4. Perangkat lunak Pengolah data spasial
5. Perangkat lunak Perancangan

3.3 Metodologi Penelitian bpn

Penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan metode penelitian yang dijelaskan pada uraian berikut.

3.3.1 Tahap Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi masalah bertujuan untuk pengidentifikasi atau memfokuskan permasalahan yang akan diteliti, sehingga peneliti dapat melakukan perumusan permasalahan dan penentuan batasan masalah serta menentukan tujuan diadakannya penelitian tersebut. Pada penelitian ini dilakukan identifikasi perubahan yang terjadi pra dan pasca tsunami di Teluk Palu terkait perubahan topografi permukaan dasar laut, karakteristik pasang surut dan pola arus.

3.3.2 Tahap Studi Literatur

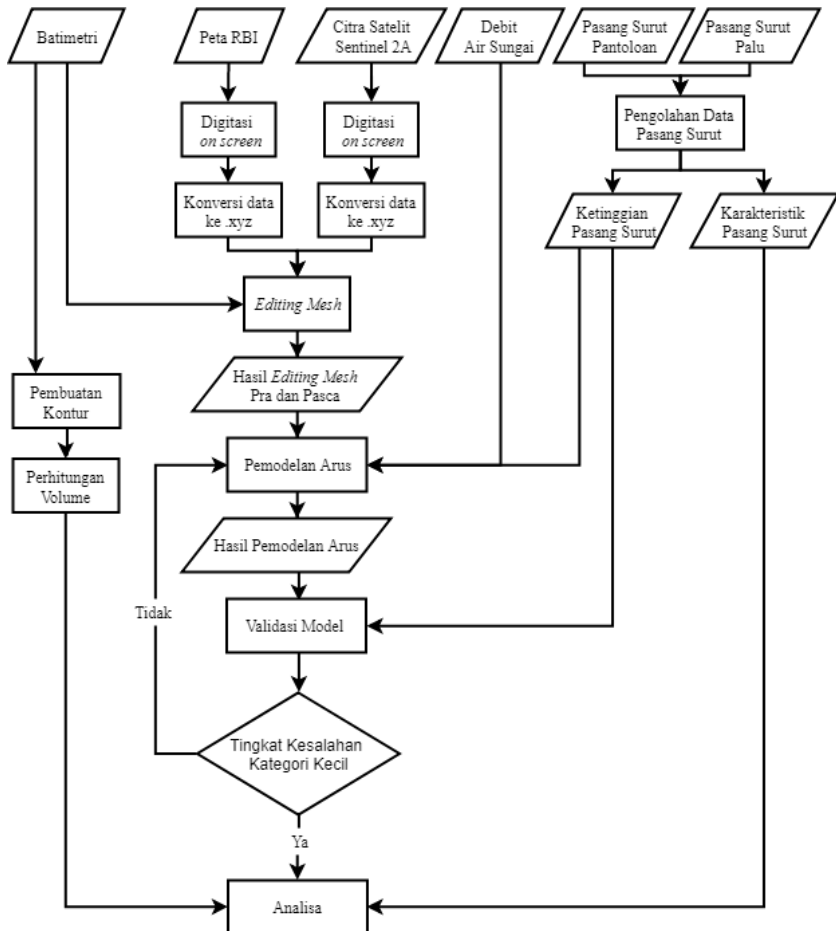
Tahap studi literatur ini dilakukan untuk mendapatkan referensi dan memahami materi untuk mendukung pengerjaan penelitian. Literatur yang digunakan berasal dari buku, jurnal, internet, dan sumber terpercaya lainnya.

3.3.3 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data meliputi proses pembuatan ijin dan pengambilan data di instansi untuk mendukung pengerjaan data Tugas Akhir, seperti data batimetri, RBI Teluk Palu, citra satelit sentinel 2A, data debit sungai dan data pasang surut stasiun Pantoloan dan Palu.

3.3.4 Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data seperti pada diagram alir (Gambar 3.2).



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengolahan Data

Berikut ini merupakan penjelasan pengolahan data:

a. Pembuatan Kontur

Pembuatan kontur dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan topografi dasar laut yang terjadi menggunakan data batimetri perairan wani dengan skala 1:10.000 Tahun 2012 dan 2018

- b. Perhitungan Volume
Dari hasil perbandingan kontur akan diketahui daerah yang diduga sebagai daerah terjadinya longsor bawah laut, kemudian dilakukan perhitungan volume perubahan batimetri tersebut menggunakan perangkat lunak perancangan.
- c. Pengolahan data pasang surut
Data pasang surut diolah dengan menggunakan metode *least square* untuk mendapatkan ketinggian MSL (*Mean Sea Level*), dan konstituen pasutnya sehingga dapat dihitung perubahan nilai bilangan formzahl dari pasang surut sebelum dan sesudah tsunami.
- d. *Editing Mesh*
Proses awal yang penting dalam pemodelan numerik adalah pembangunan *mesh* dan *editing mesh*, pada penelitian ini pembangunan *mesh* dan *editing mesh* menggunakan perangkat lunak yang sama dengan perangkat lunak untuk pemodelan. Pada tahapan *editing mesh* diperlukan beberapa tahapan untuk memperoleh *mesh* yang siap untuk dilanjutkan pada tahap pemodelan. Data batas laut selanjutnya diolah untuk pembuatan *mesh* berupa segitiga tidak beraturan /TIN (*Triangulated irregular network*) pada area pemodelan. Data batimetri kemudian di interpolasi kedalam *grid* untuk pembuatan *mesh*. *Meshing area* yang telah terbentuk dijadikan daerah simulasi untuk membuat pemodelan arus dengan memasukkan data pembangkit berupa pasang surut dan debit air sungai di *open boundary*.
- e. Pemodelan Arus
Dilakukan perbandingan antara hasil model arus pra dan pasca tsunami. Pemodelan arus menggunakan perangkat lunak MIKE Zero, dan asumsi yang dipakai adalah pendekatan barotropik. Barotropik merupakan

situasi dimana densitas memiliki tekanan yang sama atau sejajar dengan permukaan laut.

f. **Validasi Model**

Validasi dilakukan pada luaran model yaitu data pasang surut hasil simulasi model dengan data pasang surut pengamatan di lapangan dilakukan untuk mengetahui keakuratan secara matematis data hasil pemodelan. Validasi data didapat dengan menggunakan RMSE (*Root Mean Square Error*). Perhitungan untuk mencari nilai tersebut adalah (Cahyo 2012):

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

Keterangan:

y_i = nilai observasi pasang surut

\hat{y}_i = nilai model

n = banyaknya pengamatan

3.3.5 Tahap Analisis

Pada tahap analisa dilakukan analisa terhadap perubahan kontur batimetri termasuk volume longsor yang terjadi, perubahan karakteristik pasang surut pra dan pasca tsunami dan hasil pemodelan arus pasca tsunami.

3.3.6 Tahap Penyusunan Laporan

Tahap terakhir dari penelitian ini adalah penyusunan laporan dari hasil analisis penelitian yang disajikan dalam bentuk laporan Tugas Akhir.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

4.1 Hasil *Editing Mesh*

Mesh dibuat dalam 2 skenario, yaitu *mesh* pra tsunami dan pasca tsunami. Hasil *mesh* merupakan sebagai salah satu masukan data utama pada model hidrodinamika.

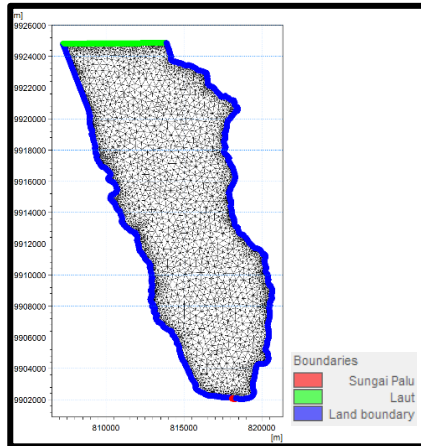
4.3.1 Desain Model

Model arus dibentuk menggunakan modul hidrodinamika perangkat lunak Mike Zero. Salah satu hal yang penting dilakukan dalam desain model adalah pendefinisian batas (*boundary*), pembuatan *mesh* dan pendefinisian batas dilakukan dalam modul *mesh generator* pada. Batas model terdiri dari batas terbuka (*open boundary*) dan batas tertutup (*closed boundary*), pada model pasang surut dan debit air sungai digunakan sebagai gaya penggerak yang dimasukkan ke batas terbuka dalam simulasi model. Pada batas terbuka yang berbatasan langsung dengan selat makasar pasang surut digunakan sebagai gaya penggerak, sedangkan debit air sungai yang digunakan sebagai gaya penggerak adalah debit air Sungai Palu.

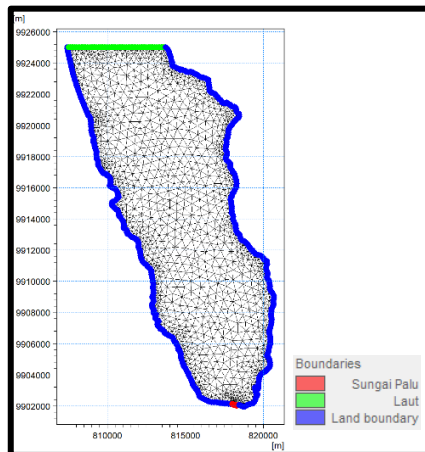
Selain pendefinisian batas (*boundary*), pada tahap desain model dilakukan pembuatan *mesh* yang berbentuk TIN (*Triangulated Irregular Network*) karena bersifat lebih responsif terhadap bentuk garis pantai yang tidak teratur dibandingkan dengan menggunakan bentuk *grid*, lebih akurat dalam menyajikan data permukaan bumi, dan dapat lebih baik dalam memodelkan data kedalaman.

Element mesh secara otomatis terbentuk berdasarkan data garis pantai dan pendefinisian batas dengan mempertimbangkan minimum sudut terkecil, maksimum luasan elemen *mesh*, dan maksimum jumlah *nodes*. Pada penelitian ini, dalam *editing mesh* menggunakan kriteria: (1)

minimum sudut terkecil untuk masing-masing *mesh* sebesar 30° (2) maksimum luasan untuk masing-masing *mesh* sebesar 100000 m². Bentuk *mesh* yang digunakan dan kode batas model digambarkan pada Gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 *Boundary Condition* Pra Tsunami



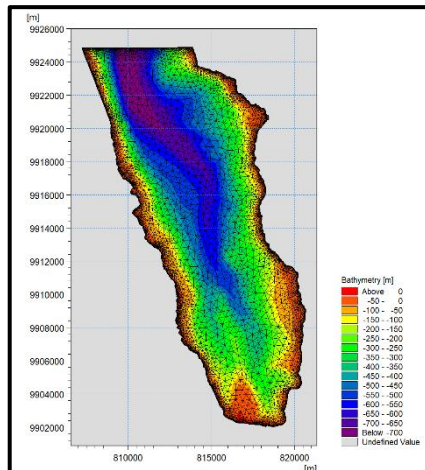
Gambar 4.2 *Boundary Condition* Pasca Tsunami

Dengan spesifikasi TIN yang dihasilkan pada lokasi penelitian adalah sebagai berikut:

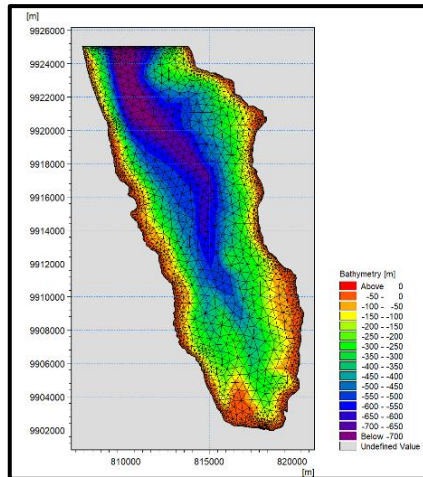
Tabel 4.1 Spesifikasi TIN

Keterangan	Jumlah Elemen	Jumlah Titik
Pra Tsunami	4138	2399
Pasca Tsunami	4159	2416

Ketika keseluruhan proses *editing* telah dilakukan, maka dilanjutkan dengan penambahan data batimetri pada *mesh* yang telah berhasil dibentuk. Berikut pada Gambar 4.3 dan 4.4 ditampilkan hasil *editing mesh* baik pra maupun pasca tsunami.



Gambar 4.3 *Mesh* Pra Tsunami



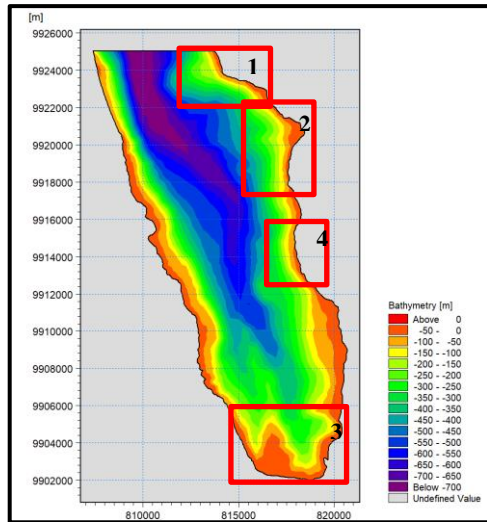
Gambar 4.4 *Mesh* Pasca Tsunami

4.3.2 Daerah Model

Data batimetri yang diperoleh dari PUSHIDROSAL menunjukkan bahwa kedalaman Teluk Palu baik Tahun 2012 dan 2018 berkisar antara 0 sampai 700 meter. Daerah yang akan di modelkan berada di zona UTM 50S dengan area yang menjadi sample dalam pemodelan ini ditunjukkan pada Gambar 4.5 dengan penjelasan ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Penjelasan titik sampel model

Nomor Area	Nama Area
1	Perairan Wani
2	Pelabuhan Pantoloan
3	Pesisir Kota Palu
4	Pelabuhan Taipa



Gambar 4.5 Area Sampel Pemodelan

4.3.3 Waktu Pemodelan

Waktu yang digunakan untuk proses simulasi arus adalah sebagai berikut :

1. Pra Tsunami (2012)

Lama Simulasi : 36 hari (5 Oktober – 5 November)

Warming up : 5 hari (30 September – 4 Oktober)

Time Step : 3600 detik

Total *Time Step*: 864 *time step*

2. Pasca Tsunami (2018)

Lama Simulasi : 36 hari (5 Oktober – 5 November)

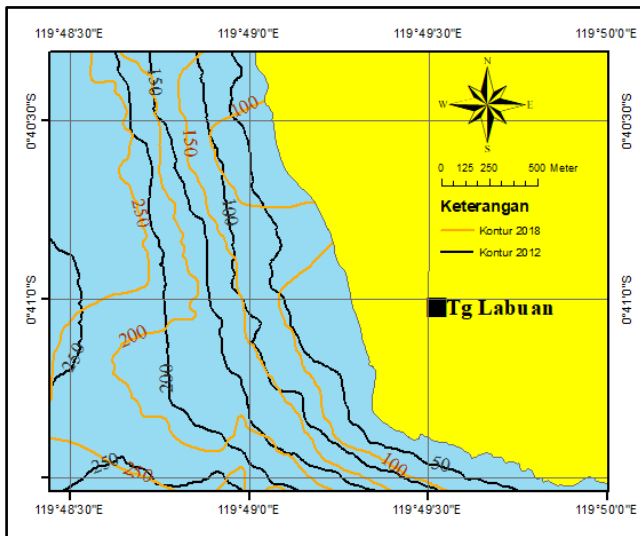
Warming up : 5 hari (30 September – 4 Oktober)

Time Step : 3600 detik

Total *Time Step*: 864 *timestep*

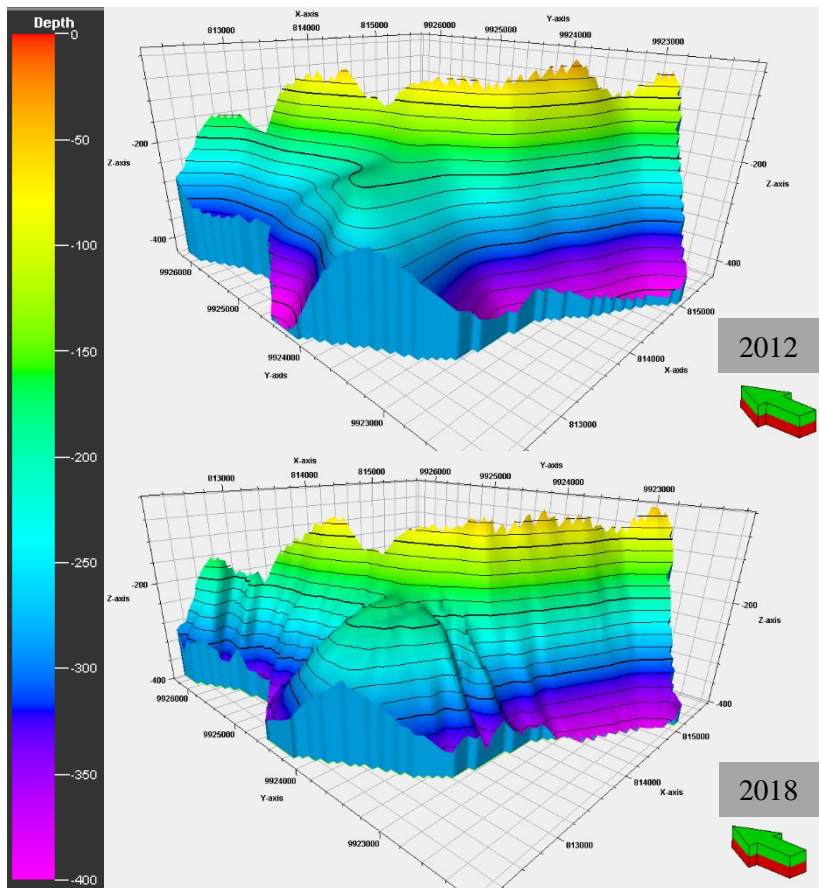
4.2 Analisis Perubahan Topografi Dasar Laut

Tahapan pertama dalam mengidentifikasi lokasi longsor bawah laut di Perairan Wani adalah membandingkan kontur topografi dasar laut, untuk itu dibutuhkan dua data kontur yaitu kontur batimetri pra dan kontur batimetri pasca tsunami. Kontur pra dan pasca tsunami masing-masing dibentuk dari data x y z perairan teluk palu Tahun 2012 dan 2018 dengan skala 1:10.000. Hasil kontur yang terbentuk dari batimetri perairan Wani pra dan pasca tsunami seperti pada Gambar 4.6

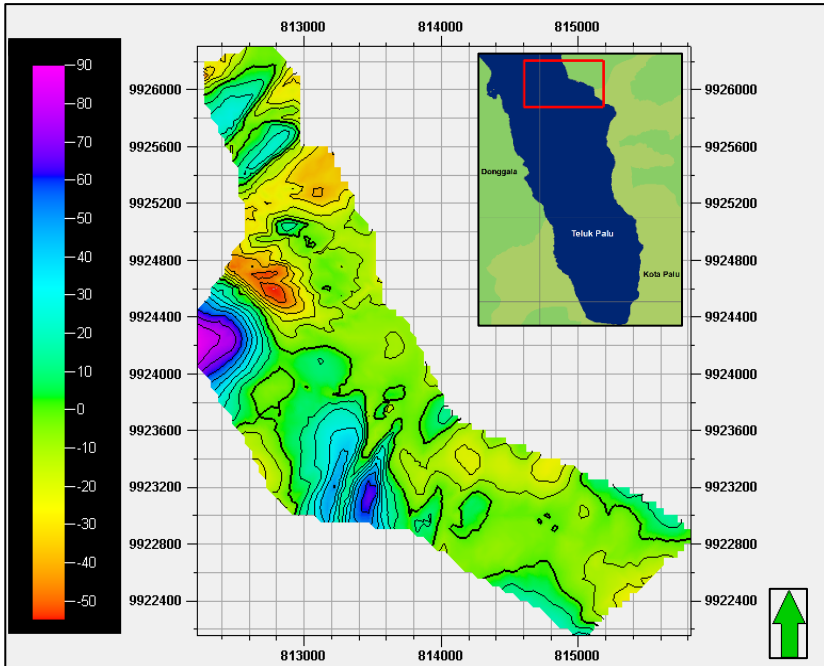


Gambar 4.6 Pertampalan Kontur Perairan Wani

Dari Gambar 4.6 diketahui bahwa terjadi perubahan kontur topografi yang signifikan pada Perairan Wani yang mengindikasikan terjadinya longsor bawah laut pada didaerah tersebut. Dari hasil plot tiga dimensi pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa pasca tsunami terdapat timbunan material di beberapa tempat dan terjadi penambahan kedalaman pada pesisir Perairan Wani.



Gambar 4.7 Model 3D Tanjung Labuan, Perairan Wani



Gambar 4.8 Selisih Topografi 2018 terhadap 2012

Hasil pertampalan topografi dasar laut Perairan Wani Tahun 2012 dan 2018 pada Gambar 4.8 menunjukkan terjadi timbunan akibat longsor bawah laut mencapai 90 meter. Setelah diketahui lokasi longsor selanjutnya akan dihitung volume longsor, untuk mengetahui volume longsor dilakukan perhitungan volume *cut and fill* dari data kedalaman pra dan pasca tsunami dengan menggunakan metode penampang melintang. Dari hasil perhitungan volume antara dua *surface* kedalaman didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Nilai volume *cut and fill*

Luas Area (m ²)	<i>Cut</i> (m ³)	<i>Fill</i> (m ³)
2.918.449,089	59.512.720,790	12.466.252,63

Hasil perhitungan volume pada Tabel 4.3 menunjukkan volume material dasar laut yang hilang sebesar 59.512.720,790 m³, dan terjadi timbunan material sebesar 12.466.252,630 m³. Selisih volume material yang cukup besar dapat diakibatkan material longsor tersebut tertimbun di daerah dengan kedalaman lebih dari 350 meter atau luar area pengamatan.

4.3 Analisis Karakteristik Pasang Surut

Data pengamatan pasang surut Teluk Palu didapatkan dari *Sea Level Station Monitoring Facility* Badan Informasi Geospasial di Pelabuhan Pantoloan, Sulawesi Tengah. Data pasang surut yang digunakan adalah pasang surut pada Bulan Oktober sampai Desember Tahun 2012 untuk pasang surut pra tsunami dan Tahun 2018 untuk pasang surut pasca tsunami. Data pasang surut Pelabuhan Pantoloan selanjutnya akan digunakan sebagai data masukan untuk model arus. Sampel data pasang surut ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 sebagai berikut, data lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.4 Sampel Data Pasang Surut Pantoloan Tahun 2012

Tanggal	Jam	Elevasi (m)
1/10/2012	0:00:00	0,28
1/10/2012	1:00:00	0,60
1/10/2012	2:00:00	1,05
1/10/2012	3:00:00	1,50
1/10/2012	4:00:00	1,84
1/10/2012	5:00:00	2,04
1/10/2012	6:00:00	1,97
1/10/2012	7:00:00	1,75
1/10/2012	8:00:00	1,29
1/10/2012	9:00:00	0,84
1/10/2012	10:00:00	0,44
...
31/12/2018	23:00:00	0,85

Tabel 4.5 Sampel Data Pasang Surut Pantoloan Tahun 2018

Tanggal	Jam	Elevasi (m)
1/10/2018	0:00:00	1,41
1/10/2018	1:00:00	1,09
1/10/2018	2:00:00	0,91
1/10/2018	3:00:00	0,78
1/10/2018	4:00:00	0,90
1/10/2018	5:00:00	1,12
1/10/2018	6:00:00	1,38
1/10/2018	7:00:00	1,64
1/10/2018	8:00:00	1,76
1/10/2018	9:00:00	1,75
1/10/2018	10:00:00	1,58
...
31/12/2018	23:00:00	1,11

Dari hasil pengamatan pasang surut terhadap 0 rambu, didapatkan pasang tertinggi pengamatan pada Tahun 2012 terjadi pada tanggal 16 Oktober pukul 17:00 WITA dengan ketinggian muka air 2,54 meter dan pada tahun 2018 terjadi pada tanggal 11 Oktober 2018 pukul 18:00 WITA dengan ketinggian muka air 2,75 meter. Sedangkan surut terendah pada Tahun 2012 terjadi pada tanggal 17 Oktober pukul 0:00 WITA dengan ketinggian muka air 0,13 meter dan pada tahun 2018 terjadi pada tanggal 10 Oktober pukul 11:00 WITA dengan ketinggian muka air 0,29 meter.

Berdasarkan data pasang surut pada Tabel 4.4 dan 4.5 yang kemudian diolah menggunakan metode *Least square* dengan bantuan perangkat lunak Matlab diperoleh hasil nilai konstituen pasang surut yang dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan 4.7.

Tabel 4.6 Nilai Amplitudo Konstituen Pasang Surut Teluk Palu

Konstituen	Amplitudo 2012 (cm)	Amplitudo 2018 (cm)
M ₂	55,195	54,466
S ₂	34,178	37,928
K ₁	15,983	25,399
O ₁	12,273	9,377
N ₂	9,0655	6,604
K ₂	55,195	9,234

Tabel 4.7 Nilai Fase Konstituen Pasang Surut Teluk Palu

Konstituen	Fase 2012 (°)	Fase 2018 (°)
M ₂	-1,849	1,406
S ₂	-2,582	2,722
K ₁	1,323	0,381
O ₁	-2,992	1,414
N ₂	2,644	2,530
K ₂	-1,849	2,772

Pada hasil nilai amplitudo didapatkan perubahan yang kecil pada amplitudo pasang surut M₂, S₂, K₁, O₁, N₂. Namun, pada konstituen K₂ ditemukan selisih yang cukup besar, hal ini dikarenakan pada awal bulan oktober 2012 adalah bulan purnama dan deviasi nilai konstituen K₂ lebih besar saat pengolahan data pasang surut dimulai pada fase purnama (Salnuddin dkk 2015). Setelah didapatkan nilai konstituen pasang surut maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai referensi tinggi dan karakteristik pasang surut sebagai berikut:

Tabel 4.8 Hasil Pengolahan Pasang Surut

Lokasi	Tahun	MSL (meter)	Nilai Formzahl
Pantoloan	2012	1,26	0,316
	2018	1,34	0,378

Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.8, nilai MSL stasiun pasang surut Pantoloan Tahun 2012 adalah sebesar

1,26 meter dengan nilai Formzahl 0,316. Hasil perhitungan terhadap pasang surut tahun 2018 menunjukkan nilai MSL sebesar 1,34 meter dengan nilai Formzahl 0,378. Nilai Formzahl hasil perhitungan pasang surut Tahun 2012 dan 2018 menunjukkan bahwa Teluk Palu memiliki tipe pasang surut yaitu *mixed tides prevailing semi diurnal*. Dari hasil pengolahan data pasang surut pra dan pasca tsunami dapat disimpulkan bahwa terjadi perubahan pada nilai bilangan formzahl. Namun, tidak terjadi perubahan karakteristik pasang surut pada Teluk Palu.

4.4 Validasi Model

Data pasang surut yang digunakan sebagai masukan model hidrodinamika adalah data pasang surut bulan Oktober sampai September 2012 (untuk simulasi pra tsunami) dan data bulan Oktober sampai September 2018 (untuk simulasi pasca tsunami). Data yang akan di validasi berasal dari 2 stasiun pengamatan yaitu pada stasiun pasang surut Pantoloan dan stasiun pasang surut Palu. Validasi dilakukan dengan menghitung *root mean-square error* (RMSE), RMSE sangat baik dalam mengukur akurasi untuk mengetahui perbedaan antara nilai prediksi dari model atau estimator dan nilai yang sebenarnya dari observasi yang dimodelkan atau diestimasi (Cahyo 2012).

Dalam penafsiran nilai RMSE yang didapatkan, maka digunakan Tabel 4.9 sebagai berikut (Khotimah 2012):

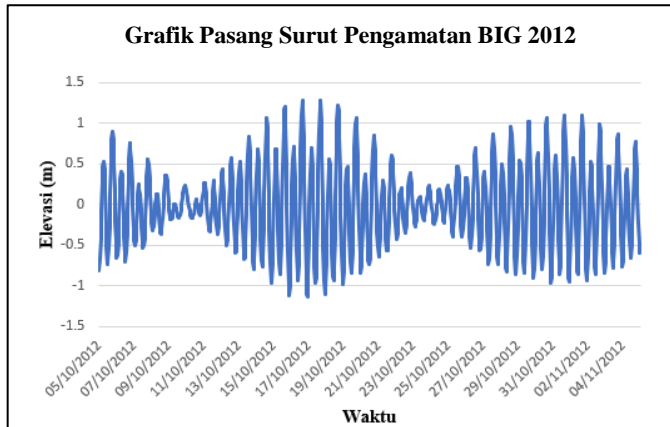
Tabel 4.9 Hasil Pengolahan Pasang Surut

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

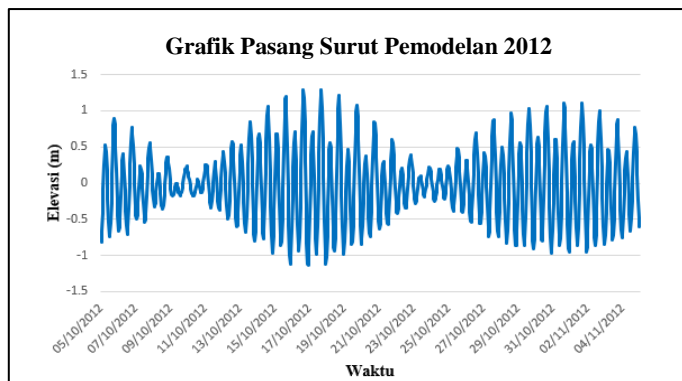
4.4.1. Validasi Model Pra Tsunami

a. Stasiun Pasang Surut Pantoloan 2012

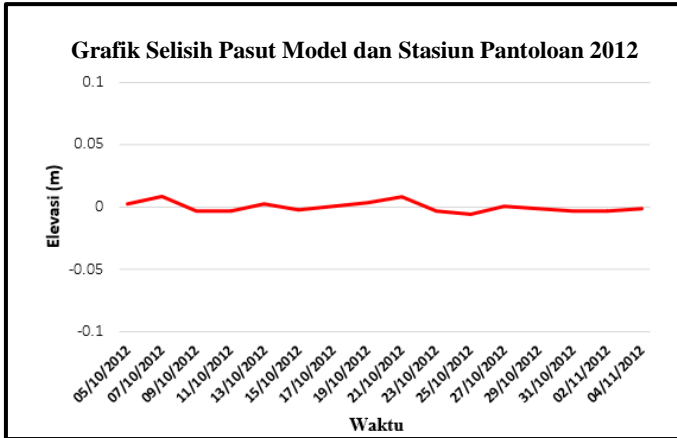
Grafik hasil pengolahan pasang surut dari data yang diperoleh dari stasiun pengamatan BIG dan pasang surut yang diperoleh dari hasil pemodelan pada stasiun pasang surut Pantoloan 2012 ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 4.9 Grafik Pasang Surut Pengamatan BIG 2012



Gambar 4.10 Grafik Pasang Surut Pemodelan 2012 (Pantoloan)



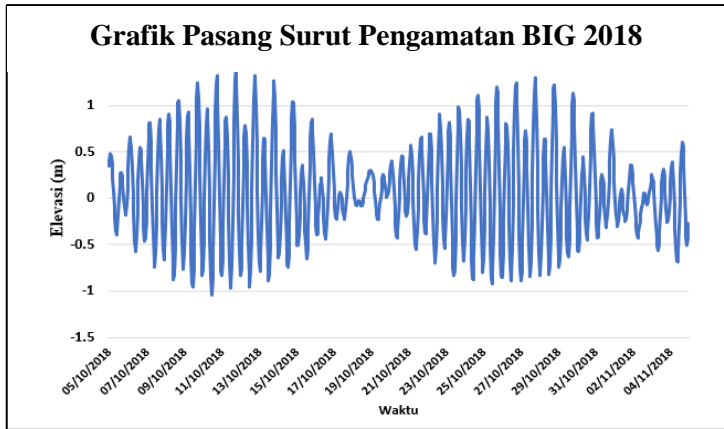
Gambar 4.11 Grafik Selisih Pasut Model dan Stasiun Pantoloan 2012

Pemodelan pada Tahun 2012 dilakukan selama satu bulan yaitu dimulai dari tanggal 5 Oktober sampai 5 November 2012. Validasi model dilakukan dengan membandingkan data BIG pada waktu yang sama dengan data hasil pemodelan. Pada Gambar 4.11 terlihat bahwa selisih antara pasang surut pemodelan dan pengamatan tergolong kecil. Dari hasil perhitungan RMSE didapatkan hasil sebesar 0,003 meter dan termasuk dalam tingkat kesalahan kecil. Sehingga, dapat dikatakan hasil pemodelan dianggap baik.

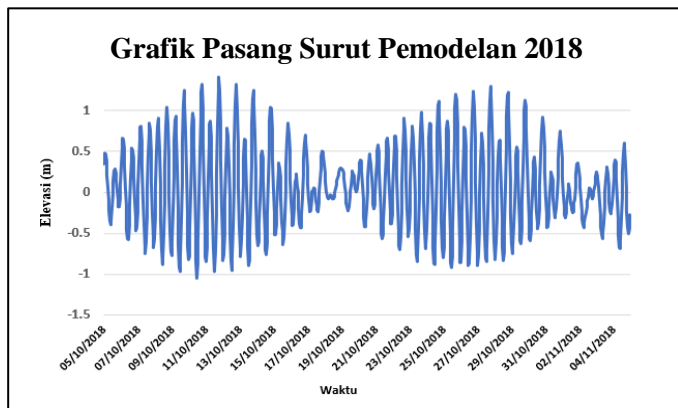
4.4.2. Validasi Model Pasca Tsunami

a. Stasiun Pasang Surut Pantoloan 2018

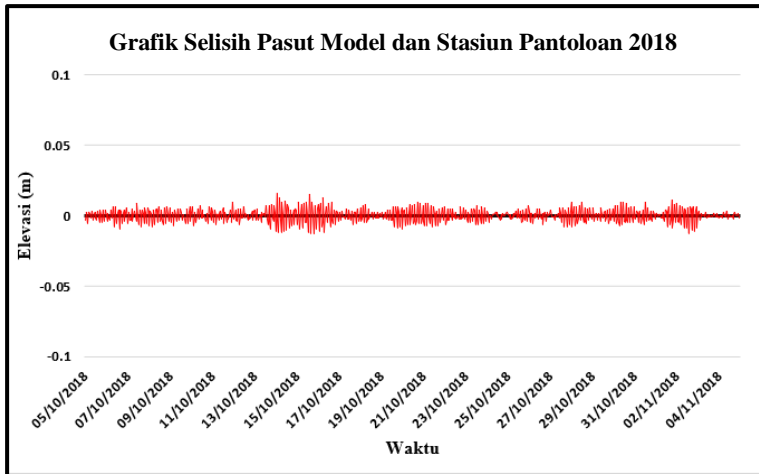
Pasang surut dari data yang diperoleh dari pengamatan BIG dan pasang surut yang diperoleh dari hasil pemodelan pada stasiun pasang surut Pantoloan 2018 ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 4.12 Grafik Pasang Surut Pengamatan BIG 2018



Gambar 4.13 Grafik Pasang Surut Pemodelan 2018

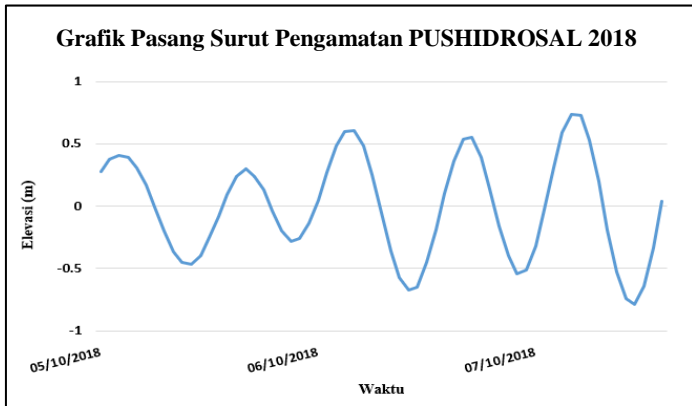


Gambar 4.14 Grafik Selisih Pasut Model dan Stasiun Pantoloan 2018

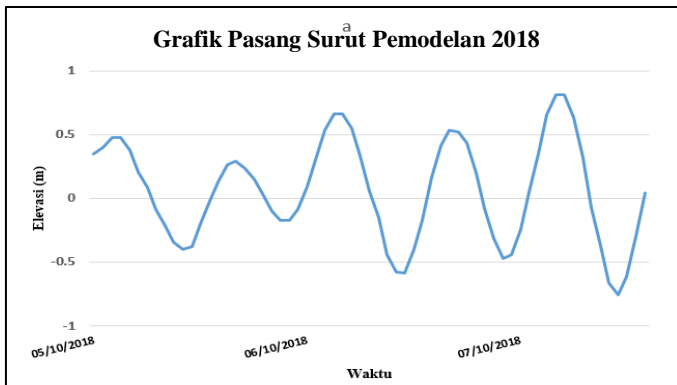
Pemodelan pada Tahun 2018 dilakukan selama satu bulan yaitu dimulai dari tanggal 5 Oktober sampai 5 November 2012. Validasi model dilakukan dengan membandingkan data BIG pada waktu yang sama dengan data hasil pemodelan. Grafik selisih hasil pasang surut BIG dengan hasil pemodelan pada Gambar 4.14 menunjukkan selisih antara kedua data tergolong kecil. Validasi model menghasilkan nilai RMSE sebesar 0,004 meter dan termasuk dalam tingkat kesalahan kecil. Sehingga, dapat dikatakan hasil pemodelan dianggap baik.

b. Stasiun Pasang Surut Palu 2018

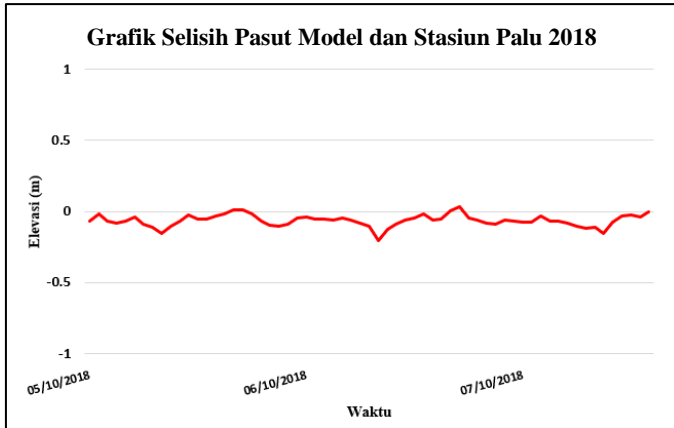
Pasang surut dari data yang diperoleh dari pengamatan PUSHIDROSAL dan pasang surut yang diperoleh dari hasil pemodelan pada stasiun pasang surut Palu 2018 ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 4.15 Grafik Pasang Surut Pengamatan PUSHIDROSAL 2018



Gambar 4.16 Grafik Pasang Surut Pemodelan 2018



Gambar 4.17 Grafik Selisih Pasut Model dan Stasiun Palu 2018

Validasi model dilakukan dengan membandingkan data pasang surut PUSHIDROSAL pada waktu yang sama dengan data hasil pemodelan selama 3 hari yaitu pada tanggal 5 Oktober sampai 7 Oktober 2018. Gambar 4.17 menunjukkan grafik selisih pasang surut pemodelan dan pengamatan tergolong kecil. Validasi model dengan nilai RMSE menunjukkan nilai sebesar 0,077 m dan masuk dalam kategori kesalahan kecil. Sehingga, hasil pemodelan dapat dikatakan baik

Berdasarkan Pedoman Interpretasi RMSE pada Tabel 4.8, tingkat kesalahan pada empat data pasang surut pemodelan masuk ke dalam kategori kecil dan sedang sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa berjalan baik dan data dapat diterima sehingga bisa dilanjutkan ke tahap selanjutnya.

4.5 Hasil Pemodelan Arus

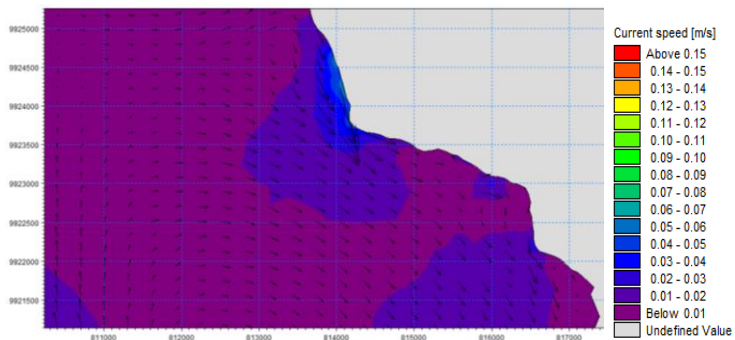
Pada analisa arus dilakukan dalam 2 kondisi yaitu saat kondisi pasang dan kondisi surut (baik pra maupun pasca tsunami). Pada kondisi pra tsunami Tahun 2012 pasang tertinggi terjadi pada tanggal 16 Oktober pukul 17.00 WITA pada timestep ke 281 dan surut terendah terjadi pada tanggal 17 Oktober pukul 00.00 WITA pada timestep 288.

Pada kondisi pasca tsunami tahun 2018 pasang tertinggi terjadi pada tanggal 11 Oktober pukul 18.00 WITA tepatnya pada *time step* ke 162 dan surut terendah terjadi pada tanggal 10 Oktober pukul 11.00 WITA pada *time step* 131.

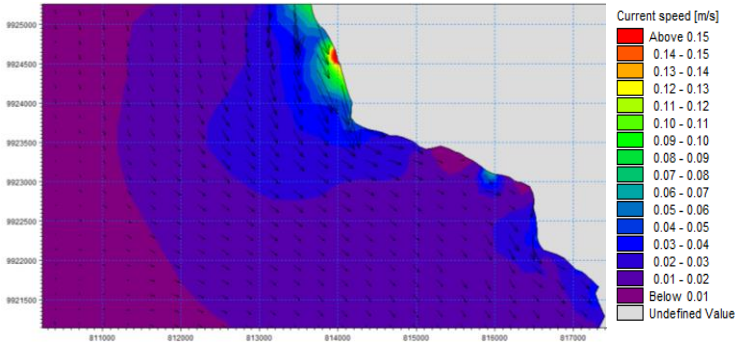
4.5.1 Area 1

Pada saat kondisi pasang tertinggi pra tsunami pada wilayah Perairan Wani, kecepatan arus berkisar antara kecepatan 0 m/s – 0,06 m/s dan rata-rata kecepatan arus 0,01 m/s. Arah arus yang terbentuk cenderung berputar dan keluar Teluk.

Saat kondisi surut terendah, arus di area penelitian berkisar antara 0 m/s – 0,20 m/s dan rata-rata kecepatan arus 0,02 m/s. Arah arus yang terbentuk cenderung menuju kedalam teluk.

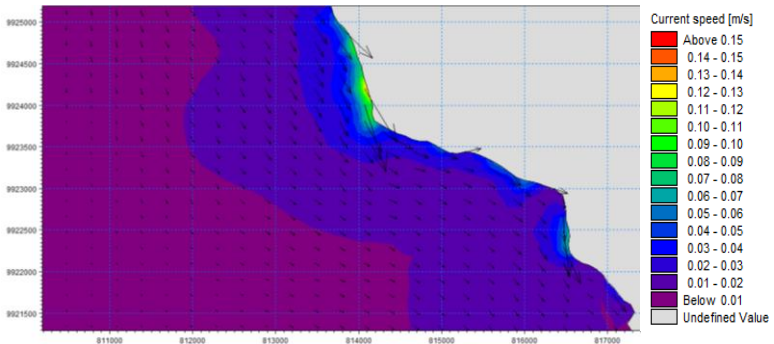


Gambar 4.18 Kondisi Arus Area 1 Saat Pasang Tertinggi (Pra Tsunami)

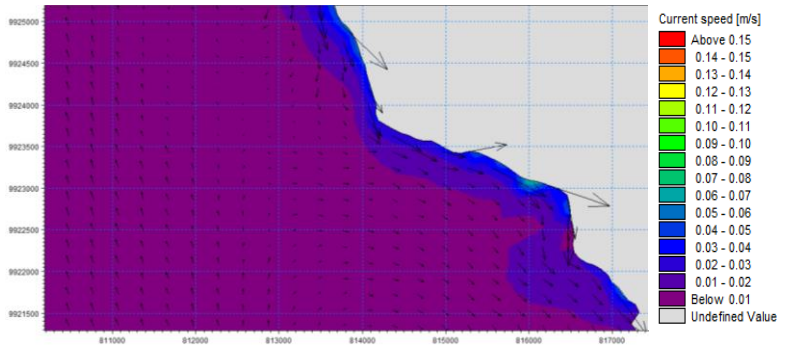


Gambar 4.19 Kondisi Arus Area 1 Saat Surut Terendah (Pra Tsunami)

Pada saat kondisi pasang tertinggi pasca tsunami, kecepatan arus berkisar antara kecepatan 0 m/s – 0,15 m/s dan rata-rata kecepatan arus 0,02 m/s dengan arah arus cenderung menuju teluk. Sedangkan saat kondisi surut terendah, rata-rata kecepatan arus sebesar 0,01 m/s dan arus di area penelitian berkisar antara 0 m/s – 0,08 m/s dengan arah arus cenderung keluar teluk.



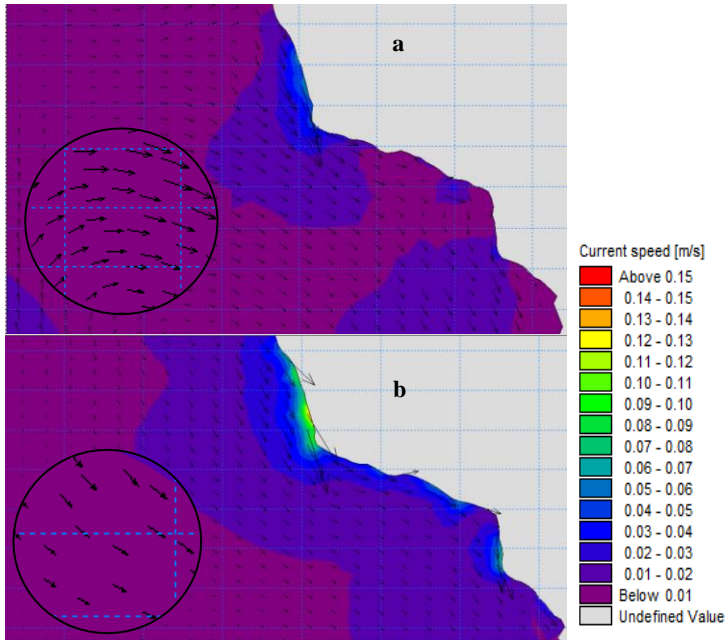
Gambar 4.20 Kondisi Arus Area 1 Saat Pasang Tertinggi (Pasca Tsunami)



Gambar 4.21 Kondisi Arus Area 1 Saat Surut Terendah (Pasca Tsunami)

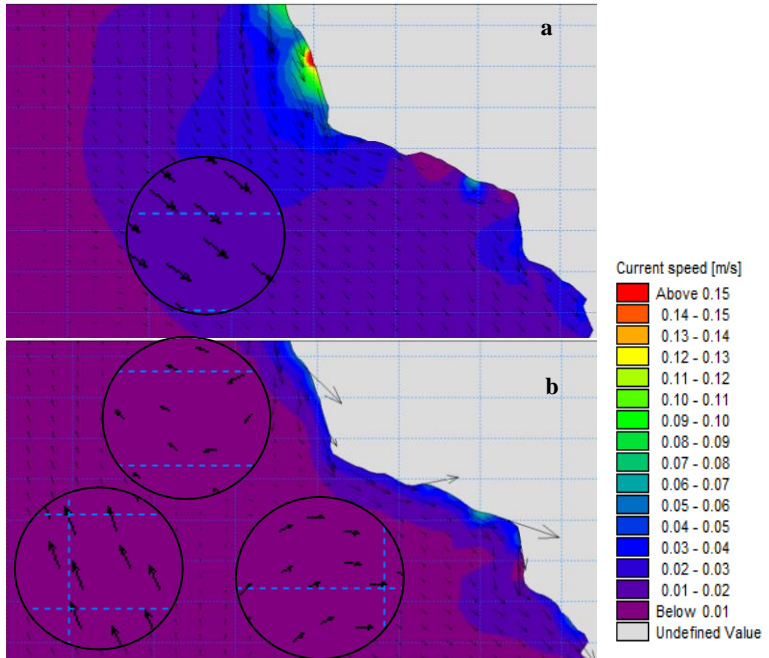
Perubahan arus dapat terlihat dari kecepatan dan arah arus hasil pemodelan. Secara umum saat pasang tertinggi pasca terjadi tsunami pada perairan Wani terjadi peningkatan kecepatan dan perubahan arah. Saat surut terendah terjadi penurunan kecepatan arus dengan arah arus yang cenderung sama.

Saat kondisi pasang tertinggi pra tsunami yang terlihat pada Gambar 4.22 kecepatan arus cenderung lebih lambat pada bagian utara dan barat perairan akibat arus dari dalam teluk, kondisi arah arus dominan memutar ke arah selatan dari dalam teluk. Saat kondisi pasca tsunami pada Gambar 4.22 terjadi peningkatan kecepatan arus rata-rata di sekitar area 1 sebesar 0,01 m/s. Namun, terjadi penurunan kecepatan arus sebesar 0,09 m/s.



Gambar 4.22 Perbandingan Arus Area 1 Saat Pasang Tertinggi:
a) pra tsunami b) pasca tsunami

Pada Gambar 4.23 terlihat kondisi surut terendah pasca tsunami berbelok ke arah selatan dan arah utara sedangkan arus pra tsunami mengarah ke selatan teluk. Kecepatan arus pasca tsunami mengalami penurunan kecepatan sebesar 0,12 m/s pada saerah pesisir Perairan Wani akibat penambahan kedalaman dan penurunan arus rata-rata sekitar area 1 sebesar 0,01 m/s.

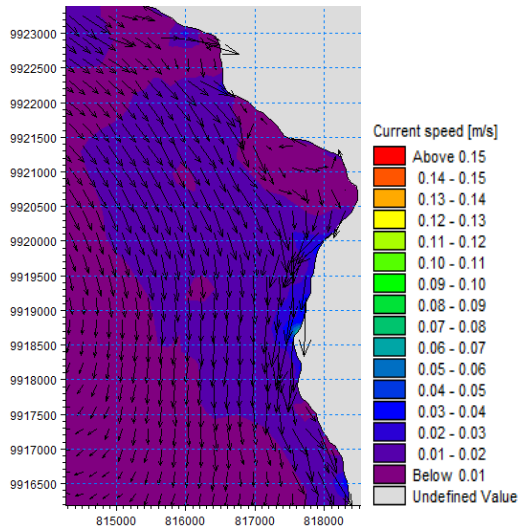


Gambar 4.23 Perbandingan Arus Area 1 Saat Surut Terendah:
a) pra tsunami b) pasca tsunami

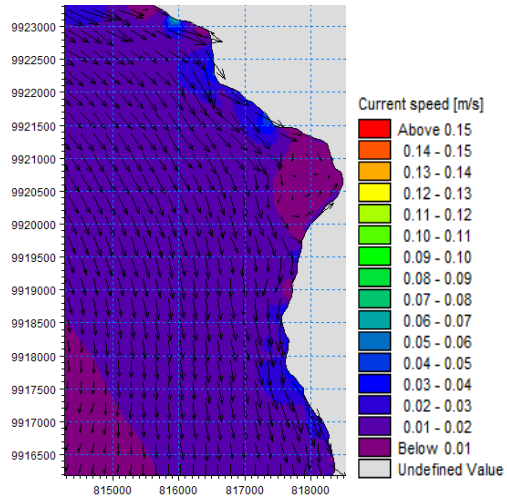
4.5.2 Area 2

Saat kondisi pasang tertinggi pra tsunami pada wilayah Pantoloan, kecepatan arus berkisar antara kecepatan 0 m/s – 0,08 m/s dan rata rata kecepatan arus sebesar 0,01 m/s dengan arah arus cenderung menuju selatan teluk. Sedangkan saat kondisi surut terendah, arus di area penelitian berkisar antara 0 m/s – 0,10 m/s dan arah arus cenderung menuju selatan teluk.

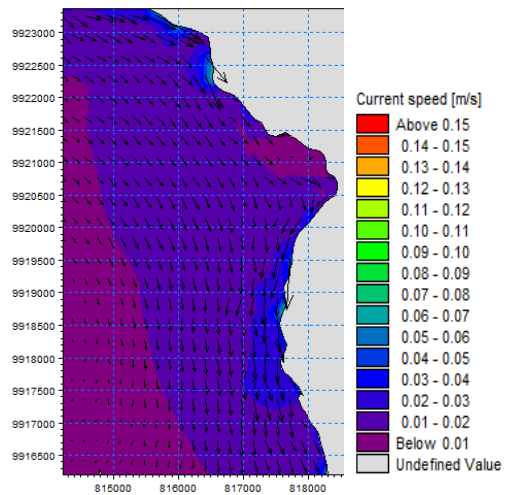
Pada saat kondisi pasang tertinggi pasca tsunami, kecepatan arus berkisar antara kecepatan 0 m/s – 0,08 m/s dan rata rata kecepatan arus sebesar 0,02 m/s dengan arah arus cenderung menuju selatan teluk. Saat kondisi surut terendah, arus di area penelitian berkisar antara 0 m/s – 0,08 m/s dan rata rata kecepatan arus sebesar 0,01 m/s dengan arah arus cenderung menuju selatan teluk.



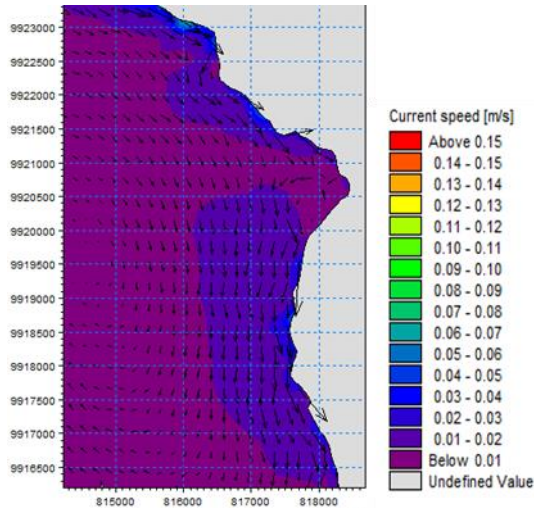
Gambar 4.24 Kondisi Arus Area 2 Saat Pasang Tertinggi (Pra Tsunami)



Gambar 4.25 Kondisi Arus Area 2 Saat Surut Terendah
(Pra Tsunami)



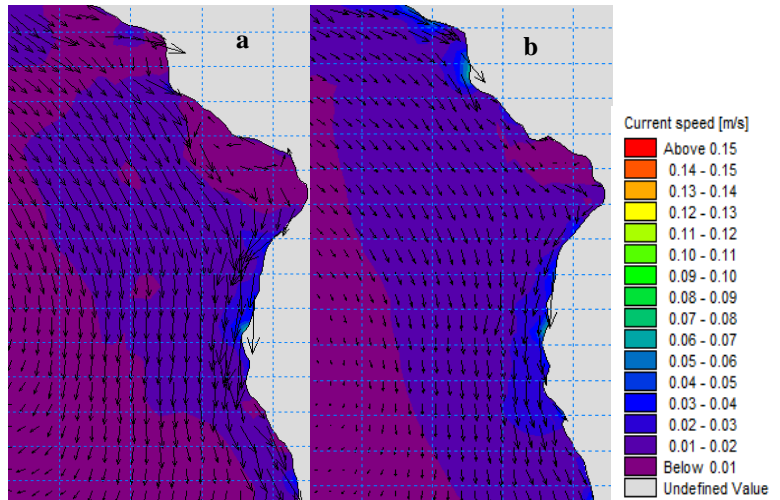
Gambar 4.26 Kondisi Arus Area 2 Saat Pasang Tertinggi
(Pasca Tsunami)



Gambar 4.27 Kondisi Arus Area 2 Saat Surut Terendah (Pasca Tsunami)

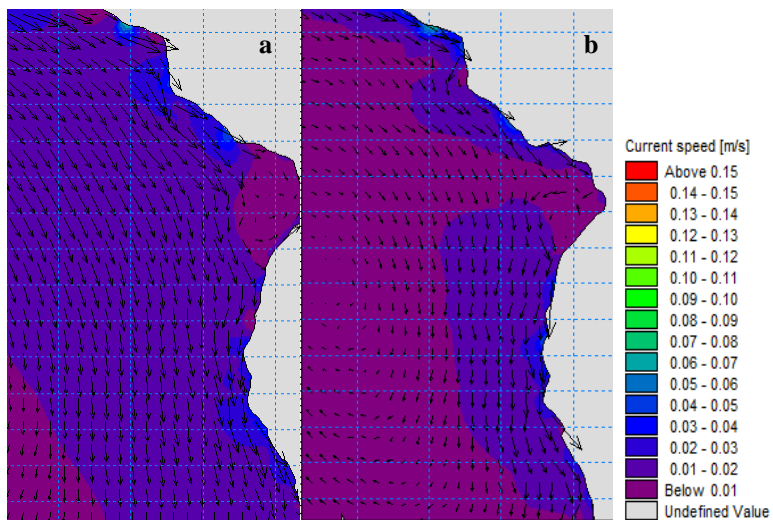
Secara umum saat pasang tertinggi maupun surut terendah pasca tsunami pada perairan sekitar Pelabuhan Pantoloan terjadi peningkatan kecepatan arus dan perubahan arah arus pada daerah pesisir.

Kondisi arus pra dan pasca tsunami pada pasang tertinggi memiliki arah yang sama dengan arus yang mengarah ke tenggara area dan berputar selatan area model. Saat kondisi pasang tertinggi pasca tsunami pada Gambar 4.28 arus yang memasuki area model lebih kencang sehingga terjadi peningkatan kecepatan arus rata-rata sebesar 0,01 m/s di sekitar area 2.



Gambar 4.28 Perbandingan Arus Area 2 Saat Pasang Tertinggi:
a) pra tsunami b) pasca tsunami

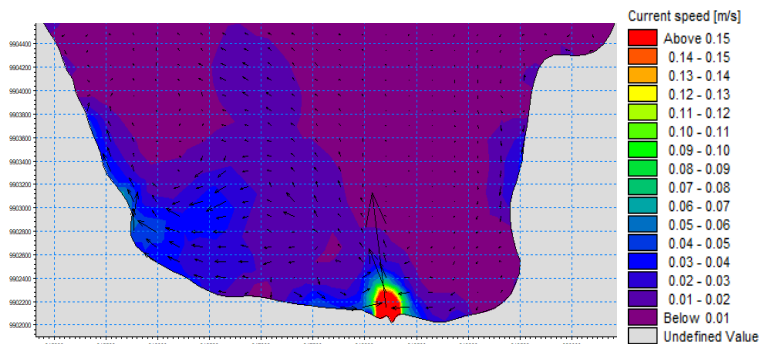
Pada Gambar 4.29 kecepatan arus pasca tsunami mengalami penurunan kecepatan pada daerah barat dan selatan perairan Pantoloan dengan penurunan kecepatan rata-rata sebesar 0,01 m/s akibat penurunan kecepatan arus yang memasuki model. Kondisi arus pada surut terendah pra tsunami mengarah ke selatan teluk sedangkan pada pra tsunami arus berputar ke arah barat laut model akibat topografi yang curam.



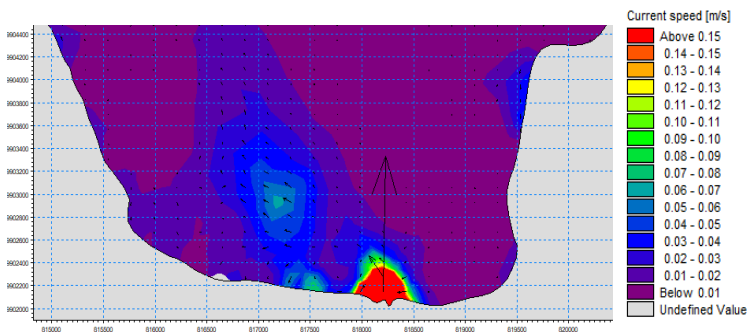
Gambar 4.29 Perbandingan Arus Area 2 Saat Surut Terendah:
a) pra tsunami b) pasca tsunami

4.5.3 Area 3

Pada saat kondisi pasang tertinggi pra tsunami pada wilayah Pesisir Kota Palu, kecepatan arus berkisar antara kecepatan 0 m/s – 0,36 m/s dan rata-rata kecepatan arus sebesar 0,04 m/s dengan arah arus menuju pesisir dan menuju utara teluk. Sedangkan saat kondisi surut terendah, arus di area penelitian berkisar antara 0 m/s – 1,53 m/s dan kecepatan arus rata-rata sebesar 0,10 m/s dengan arah arus cenderung menuju pesisir dan utara teluk.

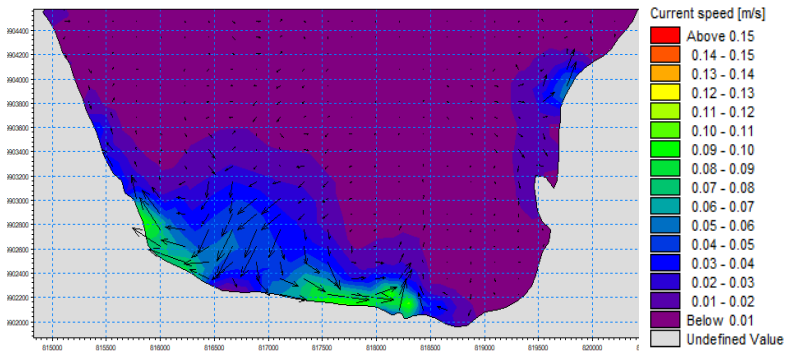


Gambar 4.30 Kondisi Arus Area 3 Saat Pasang Tertinggi (Pra Tsunami)

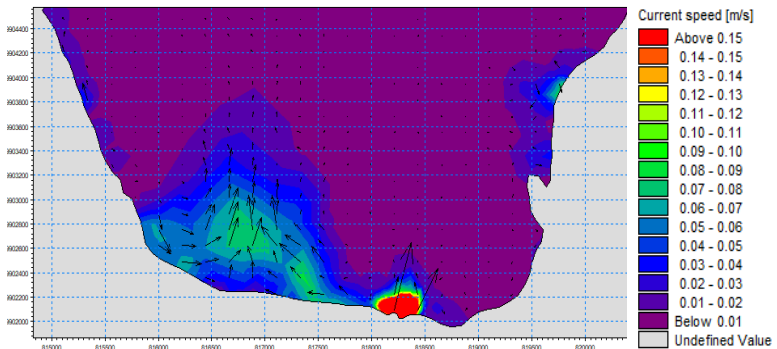


Gambar 4.31 Kondisi Arus Area 3 Saat Surut Terendah (Pra Tsunami)

Pada saat kondisi pasang tertinggi pasca tsunami, kecepatan arus berkisar antara kecepatan 0 m/s – 0,12 m/s dan rata-rata kecepatan arus sebesar 0,03 m/s dengan arah arus menuju pesisir dan menuju utara teluk. Sedangkan saat kondisi surut terendah, arus di area penelitian berkisar antara 0 m/s – 0,57 m/s dan rata-rata kecepatan arus sebesar 0,04 m/s dengan arah arus cenderung menuju utara teluk.



Gambar 4.32 Kondisi Arus Area 3 Saat Pasang Tertinggi (Pasca Tsunami)

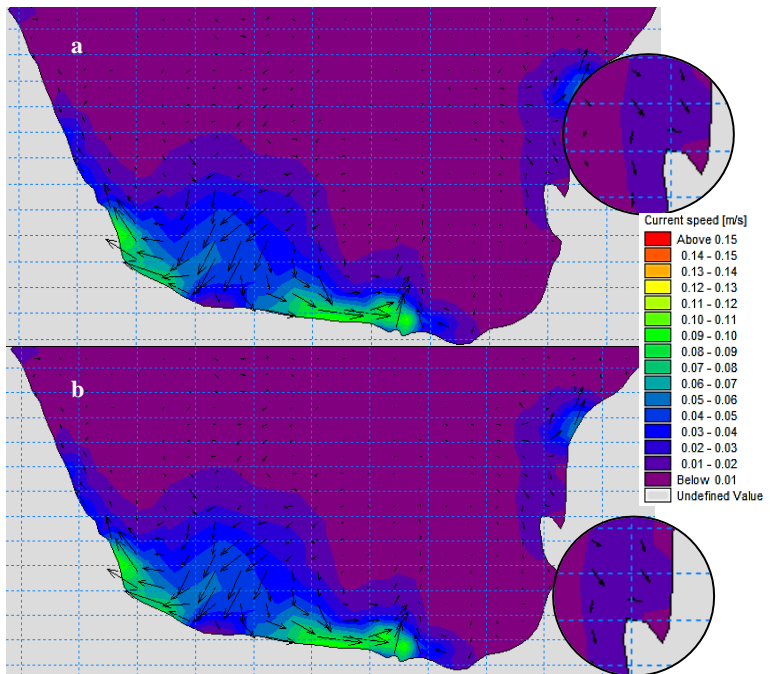


Gambar 4.33 Kondisi Arus Area 3 Saat Surut Terendah (Pasca Tsunami)

Secara umum saat pasang tertinggi maupun surut terendah pasca tsunami pada perairan sekitar Pesisir Kota Palu

terjadi peningkatan kecepatan arus dan perubahan arah arus pada daerah pesisir.

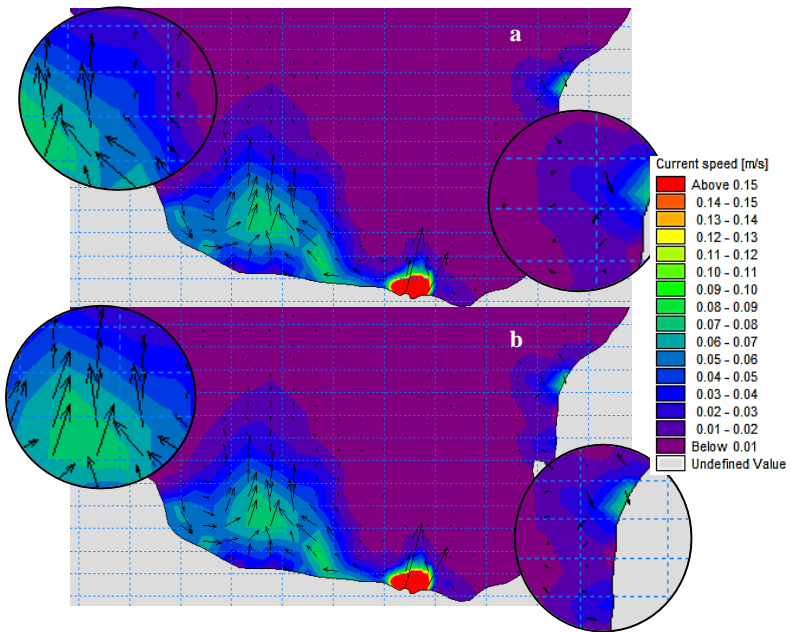
Saat kondisi pasang tertinggi pasca tsunami Gambar 4.34 terjadi peningkatan kecepatan pada barat daya area 3. Namun, pada daerah Sungai Palu terjadi penurunan kecepatan arus sebesar 0,25 m/s akibat penurunan debit air sungai pasca tsunami dan pendangkalan pada pesisir barat Sungai Palu. Perubahan garis pantai pasca tsunami mengakibatkan terjadi perubahan arah arus pada pesisir timur perairan.



Gambar 4.34 Perbandingan Arus Area 3 Saat Pasang Tertinggi:
a) pra tsunami b) pasca tsunami

Saat kondisi surut terendah pasca tsunami pada Gambar 4.35 terjadi penurunan kecepatan arus sebesar 0,05

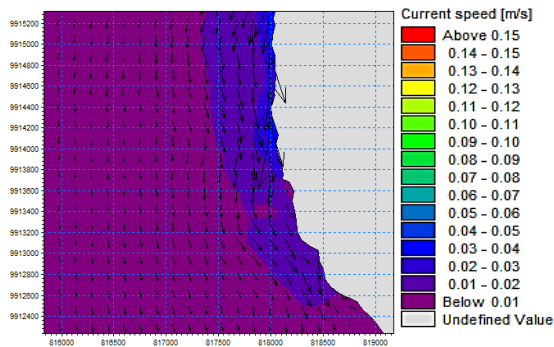
m/s dan pada daerah Sungai Palu terjadi penurunan kecepatan arus sebesar 0,96 m/s akibat penurunan debit air sungai pasca tsunami dan pendangkalan pada pesisir barat Sungai Palu. Perubahan arah arus terlihat pada barat daya area 3. Pada kondisi pra tsunami arus pada barat daya area bergerak dari Sungai Palu menuju ke arah barat, pada kondisi pasca tsunami arus pada barat daya area bergerak menuju utara area model.



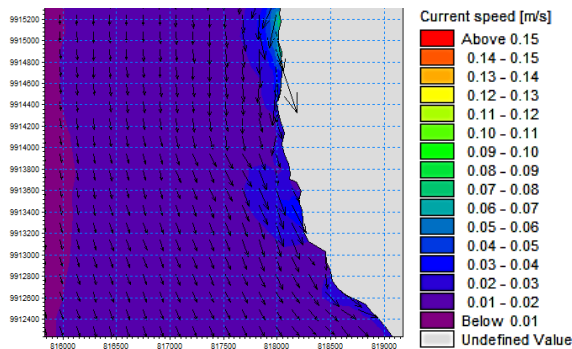
Gambar 4.35 Perbandingan Arus Area 3 Saat Surut Terendah:
a) pra tsunami b) pasca tsunami

4.5.4 Area 4

Pada saat kondisi pasang tertinggi pra tsunami pada wilayah Pelabuhan Taipa, kecepatan arus berkisar antara kecepatan 0 m/s – 0,04 m/s dengan rata-rata kecepatan arus sebesar 0,01 m/s. Sedangkan saat kondisi surut terendah, arus di area penelitian berkisar antara 0 m/s – 0,08 m/s dengan kecepatan arus rata-rata sebesar 0,02 m/s. Arah arus yang terbentuk pada pra dan pasca tsunami cenderung sama yaitu menuju ke selatan teluk mengikuti garis pantai.

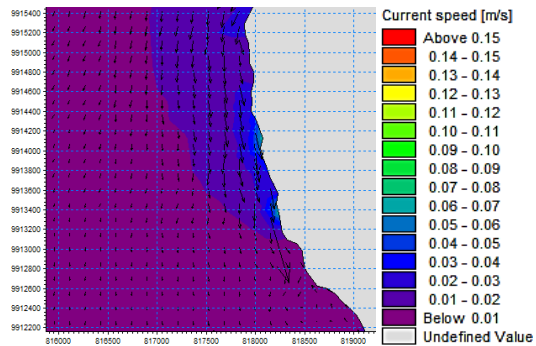


Gambar 4.36 Kondisi Arus Area 4 Saat Pasang Tertinggi (Pra Tsunami)

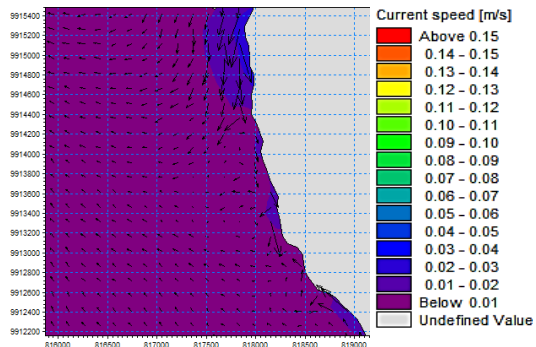


Gambar 4.37 Kondisi Arus Area 4 Saat Surut Terendah (Pra Tsunami)

Pada saat kondisi Pasang tertinggi pasca tsunami, kecepatan arus berkisar antara kecepatan 0 m/s – 0,08 m/s dengan kecepatan rata-rata arus sebesar 0,01 m/s. Sedangkan saat kondisi surut terendah, arus di area penelitian berkisar antara 0 m/s – 0,03 m/s dengan kecepatan rata-rata arus sebesar 0,01 m/s. Arah arus yang terbentuk pada kondisi pra dan pasca tsunami cenderung sama yaitu menuju ke arah selatan teluk mengikuti bentuk pesisir.



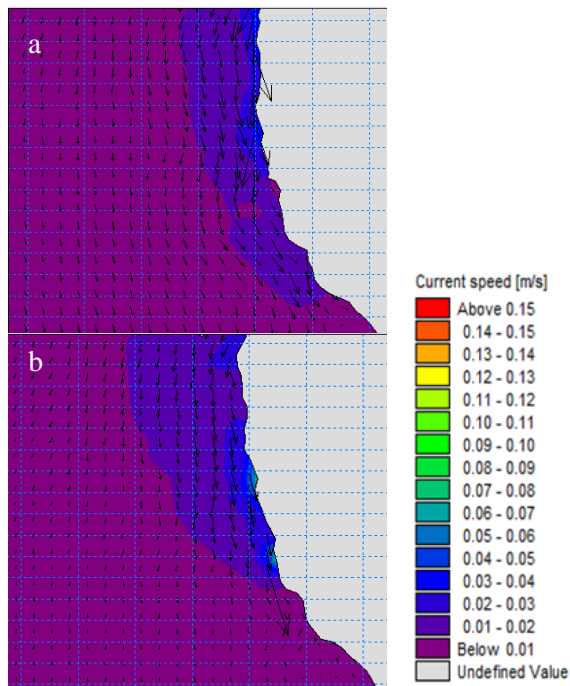
Gambar 4.38 Kondisi Arus Area 4 Saat Pasang Tertinggi (Pasca Tsunami)



Gambar 4.39 Kondisi Arus Area 4 Saat Surut Terendah (Pasca Tsunami)

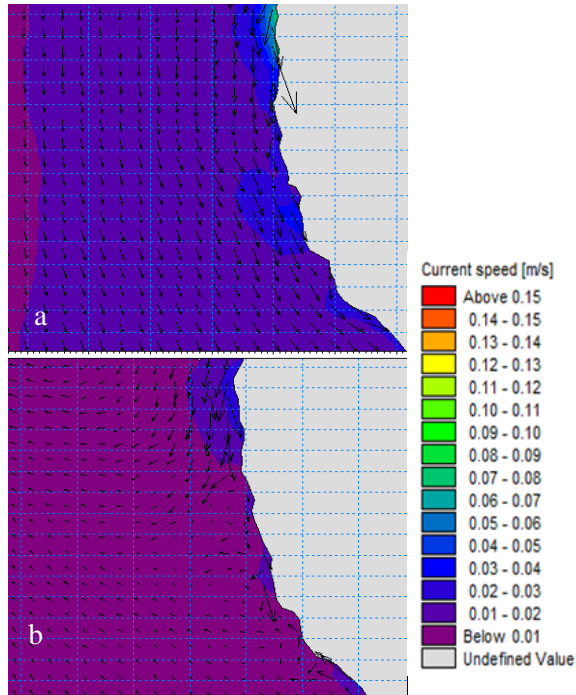
Secara umum saat pasang tertinggi pasca tsunami pada Perairan Taipa, terjadi peningkatan kecepatan dengan arah arus yang sama dengan kondisi pra tsunami.

Saat kondisi pasang tertinggi pasca tsunami Gambar 4.40 arus rata-rata pra dan pasca tsunami memiliki kecepatan yang sama dengan kondisi arus pra dan pasca tsunami arus mengarah menuju selatan mengikuti bentuk pantai.



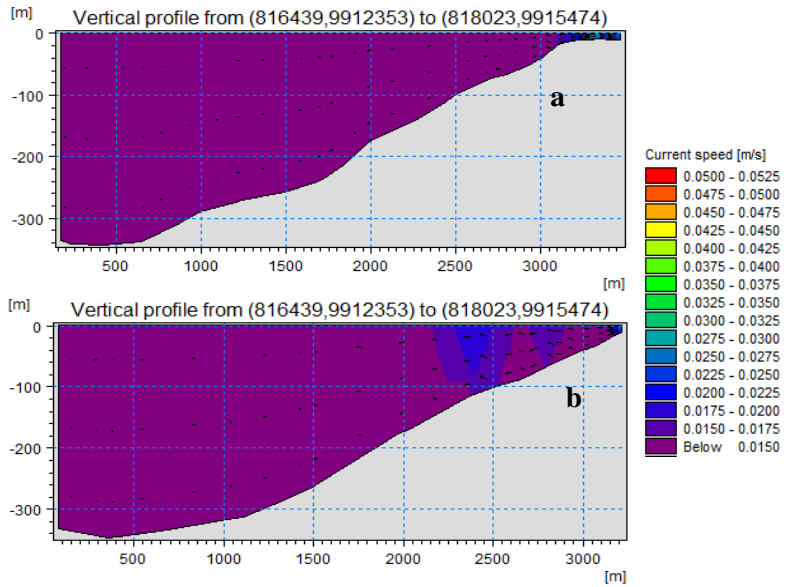
Gambar 4.40 Perbandingan Arus Area 4 Saat Pasang Tertinggi:
a) pra tsunami b) pasca tsunami

Saat kondisi surut terendah pasca tsunami pada Gambar 4.41 terjadi penurunan kecepatan sebesar 0,01 m/s dengan kondisi arus pra dan pasca tsunami arus mengarah menuju selatan mengikuti bentuk pantai.



Gambar 4.41 Perbandingan Arus Area 4 Saat Surut Terendah:
a) pra tsunami b) pasca tsunami

Dari penampang melintang pada Gambar 4.42 diketahui bahwa kondisi topografi dasar laut pasca tsunami pada area 4 lebih dalam di daerah pesisir dan lebih halus dari kondisi topografi pra tsunami hal ini menyebabkan arus yang terbentuk pada kondisi pasca tsunami lebih lambat dari kondisi pra tsunami.



Gambar 4.2 Penampang Melintang Area 4:
a) pra tsunami b) pasca tsunami

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa perubahan topografi dasar laut dan arus laut pra dan pasca tsunami di Teluk Palu, Sulawesi Tengah, yaitu

1. Topografi dasar laut pada Perairan Wani pasca tsunami mengalami penambahan kedalaman dengan topografi yang lebih landai. Longsor bawah laut dengan volume timbunan longsor hasil perhitungan antara dua *surface* kedalaman adalah 12.466.252,630 m³ dan volume material yang longsor sebesar 59.512.720,790 m³.
2. Nilai formzahl hasil perhitungan pasang surut tahun 2012 dan 2018 menunjukkan bahwa terjadi perubahan nilai bilangan formzahl perhitungan pasang surut pasca tsunami di Teluk Palu. Namun, tidak terjadi perubahan karakteristik pasang surut pada kedua stasiun pasang surut.
3. Pada saat surut terendah, kecepatan rata-rata arus pasca tsunami pada area Perairan Wani, Pantoloan dan Taipa mengalami penurunan sebesar 0,01 m/s sedangkan pada area pesisir Kota Palu terjadi penurunan kecepatan arus rata-rata sebesar 0,06 m/s. Pada saat pasang tertinggi, kecepatan arus rata-rata pra tsunami pada area model Perairan Wani, Pantoloan dan pesisir Kota Palu mengalami penambahan kecepatan arus sebesar 0,01 m/s dan tidak terjadi perubahan kecepatan arus rata-rata pada area Perairan Taipa. Perubahan kecepatan arah arus yang terjadi merupakan dampak dari perubahan arus pasang surut, kecepatan debit air sungai, perubahan kemiringan dan bentuk dasar perairan.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya, antara lain sebagai berikut:

1. Diperlukan validasi lapangan secara langsung dengan menggunakan *current meter* atau *ADCP* agar hasil arus tervalidasi lebih baik lagi.
2. Diperlukan data batimetri dengan skala yang yang lebih besar agar mendapatkan hasil perhitungan volume longsor dan model arus yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, Musthofa. 2015. “Analisa Simulasi Numeris Arus Pasang Surut Menggunakan Perangkat Lunak Hidrodinamika (Studi Kasus : Perairan Selat Madura).” Surabaya.
- Aprilia, Evasari, dan Dinar Guruh Pratomo. 2017. “Analisis Pola Arus Dan Sedimen Kohesif Sebelum Dan Sesudah Reklamasi Teluk Jakarta Melalui Pendekatan Simulasi Hidrodinamika 3-Dimensi” 6 no2: 5. <https://doi.org/2337-3520>.
- Arsyad, Sitanala. 2006. *Konservasi Tanah Dan Air*. Bandung: IPB Press.
- Balasubramanian, A. 2016. “The Ocean Currents.”
- Bidang Seismologi Teknik – BMKG. 2018. “Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempabumi Donggala 28 September 2018.”
- Cahyo, Tri Nur. 2012. “Hidrodinamika Dan Sebaran Materi Padatan Tersuspensi Di Perairan Pelawangan Barat, Segara Anakan Cilacap.”
- DHI. 2011. *MIKE ZERO - Mesh Generator*. Denmark: DHI.
- . 2014. *MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM Hydrodynamic dan Transport Module*.
- Fadilah, Suripin, dan Dwi P Sasongko. 2014. “Menentukan Tipe Pasang Surut Dan Muka Air Rencana Perairan Laut Kabupaten Bengkulu Tengah Menggunakan Metode Admiralty.” *Maspari* 6 (1): 1–12.
- Furqon, M., Azis Ismail, dan Aniq Taofiqurohman S. 2012. “Simulasi Numeris Arus Pasang Surut Di Perairan Cirebon” *III* (1): 1–10.
- Hutanti, Krisma, Dinar Guruh Pratomo, dan Khomsin. 2018. “Perairan Pelabuhan Menggunakan Pemodelan Hidrodinamika 3D 3D (Studi Kasus : Pelabuhan Tanjung Perak , Surabaya).”
- Khotimah, Mia Khusnul. 2012. “Validasi Tinggi Gelombang Signifikan Model Gelombang Windwave-5 Dengan Menggunakan Hasil Pengamatan Satelit Altimetri Multimisi.” Universitas Indonesia.

- Latief, Hamzah. 2018. "Pakar ITB Pastikan Tsunami Palu Akibat Longsoran Endapan." *Tempo.Co*. 2018.
- Muda, Iskandar. 2008. *Teknik Survei Dan Pemetaan*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- Mudin, Yutdam, dan I Wayanjihan Pramana. 2015. "Pemetaan Tingkat Risiko Bencana Tsunami Berbasis Spasial Di Kota Palu" 14 (2): 7–17.
- National Oceanography Centre. 2017. "An Introduction to Tidal Numerical Modelling." Liverpool: National Oceanography Centre.
- Noei, Emad Ghaleh, Mahdi Hasanlou, dan Mohammad Ali Sharifi. 2018. "Investigating Effects of Seafloor Topography on Sea Surface Currents in the Caspian Sea and Northern Indian Ocean." *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 46 (12): 2093–2106. <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0886-8>.
- Ongkosongo. 1989. *Pasang Surut*. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Opa, Esry Tommy. 2011. "Perubahan Garis Pantai Desa Bentenan Kecamatan Pusomaen, Minahasa Tenggara." *Jurnal Perikanan Dan Kelautan Tropis* VII-3: 109–14.
- Poerbandono, dan Djunarsjah. 2005. *Survei Hidrografi*. Edited by Rose Herlina S.Si. *Aditama, Bandung*. Bandung: PT Refika Editama.
- Retaduari, Elza Astari. 2018. "KRI Spica Temukan Longsoran Dasar Laut Di Teluk Palu," 2018. <https://news.detik.com/berita/d-4254983/kri-spica-temukan-longsoran-dasar-laut-di-teluk-palu>.
- Rizal, Syamsul, Ichsan Setiawan, Muhammad, Taufiq Iskandar, dan Mulyadi A. Wahid. 2009. "Simulasi Pola Arus Baroklinik Di Perairan Indonesia Timur." *Jurnal Matematika Dan Sains* 14: 113–19.
- Salnuddin, I Wayan Nurjaya, Indra Jaya, dan Nyoman M N Natih. 2015. "Amplitude Variations of Tidal Harmonic Constituents in Bitung Station (Variasi Amplitudo Konstituen Harmonik

- Pasang Surut Utama Di Stasiun Bitung).” *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences* 20 (2): 73. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.20.2.73-86>.
- Setyadi, B. 2005. *Hitung Perataan Kuadrat Terkecil*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Widyanto, Patar, Muslim, Heny Suseno, dan Murdahayu Makmur. 2014. “Pengaruh Batimetri Perairan Terhadap Distribusi Plutnium-239/240 (239/240Pu) Dalam Sedimen Di Perairan Gresik.” *Jurnal Oseanografi* 3: 448–53.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pasang Surut Pelabuhan Pantoloan

Data Pengamatan Elevasi Pasang Surut BIG (cm)																								
Tanggal	Jam																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
01/10/2018	141	109	91	78	90	112	138	164	176	175	158	133	107	90	71	69	88	121	158	194	214	219	209	190
02/10/2018	162	134	110	95	98	107	124	143	155	155	152	137	122	107	88	83	95	111	141	167	185	197	204	192
03/10/2018	178	160	139	123	120	118	121	131	136	138	134	133	128	122	111	104	103	112	128	140	154	167	174	179
04/10/2018	181	176	164	151	140	131	127	124	119	113	116	122	127	132	131	133	130	131	128	131	134	137	144	154
05/10/2018	168	174	182	180	172	155	142	125	113	99	94	97	114	131	147	160	162	158	149	136	125	117	116	126
06/10/2018	143	166	188	200	199	189	167	139	120	88	78	76	93	117	151	173	188	186	176	154	127	102	87	91
07/10/2018	109	139	169	199	214	216	196	166	127	97	67	60	73	103	139	178	206	219	211	183	146	109	79	67
08/10/2018	76	102	141	182	213	225	217	187	145	100	65	46	51	79	120	166	212	237	239	220	180	132	88	61
09/10/2018	57	74	108	153	196	222	227	207	167	116	71	42	38	56	97	146	195	240	258	244	212	163	110	70
10/10/2018	51	56	86	128	176	212	230	222	191	144	91	51	29	47	76	125	178	226	256	266	238	195	139	89
11/10/2018	56	50	66	103	148	191	218	221	201	161	113	66	37	38	60	106	157	213	259	275	260	222	175	116
12/10/2018	77	50	57	83	124	163	200	212	204	171	129	84	53	38	55	88	140	192	239	265	266	237	195	141
13/10/2018	94	65	55	74	103	144	176	199	198	180	139	102	69	45	51	80	118	167	216	248	260	243	209	162
14/10/2018	125	80	70	74	94	125	155	178	185	176	149	114	83	63	59	72	106	147	187	220	238	237	211	177
15/10/2018	140	109	83	83	93	114	139	161	170	165	152	127	99	86	69	79	101	135	167	197	216	219	207	185
16/10/2018	151	125	104	94	95	113	126	148	151	156	143	134	115	97	91	90	107	126	155	175	194	203	199	184
17/10/2018	164	144	126	113	111	111	123	135	136	140	138	133	124	117	113	111	122	133	148	163	178	184	184	179
18/10/2018	168	158	147	135	130	128	126	128	128	131	129	126	130	126	129	133	138	143	148	151	155	158	162	164
19/10/2018	164	162	162	158	151	141	132	121	117	111	111	117	128	134	142	155	159	157	154	146	139	135	137	140
20/10/2018	151	160	170	174	172	161	145	125	104	93	91	98	113	133	151	170	180	178	170	152	134	121	114	118
21/10/2018	131	154	171	186	191	182	162	134	107	84	78	81	98	121	153	178	197	200	187	163	136	111	96	95
22/10/2018	106	133	163	190	203	203	186	154	119	87	69	64	79	109	144	182	211	225	211	186	149	114	90	80
23/10/2018	88	111	146	181	205	215	201	172	132	91	59	50	55	88	127	172	210	232	229	206	169	126	88	66
24/10/2018	67	88	122	164	200	219	217	194	152	106	67	47	46	70	109	162	207	240	245	230	193	147	101	66
25/10/2018	54	66	100	140	182	211	221	209	174	128	84	48	42	55	90	143	197	237	254	248	217	170	121	75
26/10/2018	49	48	73	111	154	192	214	212	192	151	108	66	45	47	77	125	184	227	255	258	239	200	147	98
27/10/2018	60	45	55	88	128	169	196	207	195	167	129	82	53	49	64	105	158	209	245	264	255	221	174	124
28/10/2018	77	55	51	71	103	144	177	197	197	177	143	104	68	52	60	91	137	185	227	253	256	236	196	149
29/10/2018	108	71	60	66	91	119	153	178	189	185	158	125	92	75	71	89	122	159	201	233	247	240	212	174
30/10/2018	135	100	77	76	88	107	131	158	171	178	162	138	112	96	89	96	113	142	177	207	225	226	214	189
31/10/2018	160	128	107	91	92	102	116	135	152	159	155	149	127	115	102	105	115	130	152	174	196	208	206	193

Data Pengamatan Elevasi Pasang Surut BIG (cm)

Tanggal	Jam																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
01/11/2018	176	153	131	116	107	103	109	120	129	138	144	137	122	117	113	109	111	120	124	141	154	168	170	170
02/11/2018	161	152	140	127	112	102	94	91	97	103	109	117	123	128	139	138	139	135	130	127	130	134	140	145
03/11/2018	152	159	155	151	142	124	106	92	83	77	84	96	115	133	149	161	165	158	142	123	111	108	110	119
04/11/2018	134	152	167	173	171	152	128	102	82	66	65	75	101	129	159	181	194	190	170	140	112	92	83	90
05/11/2018	107	132	157	178	186	179	153	122	89	62	52	58	82	114	157	191	218	219	202	169	128	93	71	65
06/11/2018	79	105	137	167	188	192	176	143	105	68	45	40	57	91	136	181	221	240	233	202	157	111	72	54
07/11/2018	55	77	111	151	182	199	193	166	127	85	50	35	44	72	117	167	215	246	250	229	186	135	86	51
08/11/2018	39	52	81	122	162	189	197	182	146	106	68	40	31	55	94	151	204	244	260	249	215	162	109	64
09/11/2018	38	38	59	93	137	171	191	188	165	128	87	55	36	46	79	129	183	228	253	253	226	185	131	80
10/11/2018	48	36	44	73	113	153	180	188	175	145	105	71	44	48	66	109	155	209	239	252	235	200	150	101
11/11/2018	60	43	40	61	92	132	163	182	177	152	123	83	59	49	66	91	137	180	217	237	232	207	167	125
12/11/2018	80	61	50	56	79	111	148	174	177	166	136	107	78	64	69	84	122	158	194	217	224	210	179	141
13/11/2018	104	75	62	61	78	102	131	157	170	165	147	120	98	82	77	91	112	142	177	197	207	201	185	154
14/11/2018	119	91	77	70	80	97	114	133	153	158	151	132	113	92	93	96	114	135	159	181	192	194	184	165
15/11/2018	137	110	91	85	84	93	106	116	130	145	144	139	124	111	103	105	114	128	144	159	169	173	170	159
16/11/2018	143	124	107	96	94	93	99	103	115	120	131	128	130	124	121	121	122	127	134	145	152	156	153	152
17/11/2018	146	138	127	117	105	102	95	98	97	104	108	119	128	137	142	144	145	140	138	136	134	134	133	136
18/11/2018	142	145	143	139	130	117	106	97	90	91	100	111	123	141	158	168	167	163	147	135	126	117	114	117
19/11/2018	129	139	153	159	151	138	120	101	87	78	79	92	112	140	167	185	190	185	169	142	117	100	91	94
20/11/2018	106	127	147	164	166	158	138	113	88	70	66	75	98	131	167	198	213	210	193	163	127	95	76	72
21/11/2018	81	104	133	162	177	176	158	128	94	68	52	57	77	110	153	196	227	232	221	191	148	106	75	58
22/11/2018	62	84	112	144	174	185	177	151	114	76	51	45	58	92	136	185	228	251	242	216	170	120	76	50
23/11/2018	43	56	84	119	156	183	187	169	134	94	59	49	50	77	118	170	220	256	262	240	199	146	96	57
24/11/2018	36	36	58	92	131	165	185	180	154	116	79	52	45	58	94	145	202	243	260	256	223	175	122	73
25/11/2018	40	30	40	70	109	147	177	187	175	144	104	72	52	52	73	114	169	217	248	255	239	201	153	100
26/11/2018	56	32	33	53	88	124	157	176	175	155	123	88	62	49	60	90	136	184	224	245	245	219	181	133
27/11/2018	88	55	44	58	73	107	135	163	176	170	144	114	85	65	67	79	111	150	194	222	236	221	195	157
28/11/2018	118	80	61	59	73	93	122	140	161	166	156	133	107	85	81	83	102	126	164	190	211	211	198	171
29/11/2018	139	107	82	68	73	82	99	119	139	153	153	140	126	112	103	96	99	113	137	158	178	187	188	174
30/11/2018	155	129	107	88	80	87	98	110	120	136	151	156	151	139	128	125	118	122	125	137	149	161	165	164

Data Pengamatan Elevasi Pasang Surut BIG (cm)																								
Tanggal	Jam																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
01/10/2012	28	60	105	150	184	204	197	175	129	84	44	29	42	78	125	175	211	234	231	197	156	102	57	23
02/10/2012	22	42	83	126	168	192	196	185	145	99	58	32	33	58	102	151	197	228	232	211	178	121	75	34
03/10/2012	23	30	64	103	148	179	188	177	156	110	71	42	34	51	84	131	180	216	233	225	189	150	104	62
04/10/2012	35	35	55	91	131	166	183	183	166	131	93	57	40	44	73	112	160	198	220	223	205	165	129	84
05/10/2012	57	45	59	84	119	152	172	179	170	143	104	73	52	55	71	99	139	177	207	215	207	176	146	105
06/10/2012	82	60	64	77	108	136	157	166	163	138	116	87	67	56	66	90	120	153	182	202	194	180	153	123
07/10/2012	96	82	76	81	101	118	139	151	145	139	120	99	81	72	76	84	107	136	160	174	182	175	159	139
08/10/2012	117	103	94	95	98	114	126	134	139	139	121	112	95	91	90	95	108	124	139	154	161	162	155	146
09/10/2012	131	118	111	108	108	110	117	121	126	122	119	113	111	109	113	111	113	119	126	134	140	145	147	150
10/10/2012	144	141	134	131	124	118	112	110	109	109	113	114	121	126	132	128	127	121	115	113	113	117	127	135
11/10/2012	115	126	142	156	147	134	113	100	91	90	99	115	133	152	165	169	157	141	117	95	80	76	81	101
12/10/2012	133	152	165	169	157	141	117	95	80	76	81	101	127	150	174	183	179	158	130	101	78	66	68	86
13/10/2012	113	141	165	179	175	156	127	99	70	59	60	80	114	152	187	209	210	193	161	122	82	56	47	58
14/10/2012	86	124	160	187	194	181	154	119	84	57	49	62	96	139	185	219	232	222	190	143	94	54	30	31
15/10/2012	53	88	132	171	194	194	174	137	96	56	40	45	75	120	171	217	243	246	223	178	121	68	26	14
16/10/2012	25	59	104	149	182	197	188	158	114	70	40	33	51	92	144	196	236	254	244	210	156	96	44	15
17/10/2012	13	39	80	124	164	191	196	174	136	87	49	29	36	66	116	168	216	247	254	230	188	134	74	33
18/10/2012	15	23	52	94	135	172	182	175	148	107	66	37	33	50	83	136	189	228	248	242	208	169	109	66
19/10/2012	35	28	44	77	114	149	170	172	155	125	91	55	42	45	66	107	155	195	225	233	218	186	145	97
20/10/2012	67	42	49	66	98	126	152	163	160	139	108	78	57	52	59	86	123	160	193	211	208	192	162	126
21/10/2012	92	74	62	69	85	113	135	153	156	146	126	102	84	70	69	78	104	133	158	176	186	182	165	143
22/10/2012	119	101	85	84	90	105	121	139	142	147	137	124	110	98	91	92	100	117	134	148	159	165	162	152
23/10/2012	140	122	111	104	98	101	107	118	131	133	134	136	129	124	117	110	107	111	118	122	132	138	146	149
24/10/2012	147	141	132	122	114	104	102	104	107	114	125	130	144	145	145	138	130	123	114	106	104	111	120	134
25/10/2012	145	149	147	144	132	117	105	92	86	96	109	128	149	164	173	173	162	142	124	100	87	86	96	112
26/10/2012	130	147	158	158	147	128	110	86	74	72	87	108	138	165	186	195	188	167	140	110	83	70	71	85
27/10/2012	110	137	158	167	164	148	121	95	66	53	59	87	121	159	191	212	213	195	165	125	86	61	52	62
28/10/2012	86	117	150	172	176	165	139	105	73	48	43	60	97	141	182	211	222	213	184	143	101	62	40	40
29/10/2012	62	96	136	166	181	177	160	127	91	56	41	48	79	123	168	208	228	228	206	169	121	78	46	36
30/10/2012	47	79	119	155	180	189	177	151	110	73	48	46	62	103	151	195	224	232	221	187	143	92	51	30
31/10/2012	36	59	98	137	169	186	186	160	124	84	55	40	49	82	130	178	215	236	230	204	162	113	69	36

Data Pengamatan Elevasi Pasang Surut BIG (cm)

Tanggal	Jam																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
01/11/2012	31	46	83	121	158	180	183	170	134	101	64	43	40	63	111	159	203	229	236	215	179	132	85	47
02/11/2012	32	37	62	103	141	169	179	174	146	116	76	50	40	55	91	137	178	211	225	217	188	148	105	67
03/11/2012	44	42	54	85	124	155	172	172	153	127	92	66	48	55	75	114	153	191	207	213	192	162	120	89
04/11/2012	62	50	56	80	110	144	161	169	162	138	111	82	62	60	76	100	134	168	194	203	194	170	138	103
05/11/2012	78	66	65	75	98	126	149	159	157	145	124	99	79	70	78	95	122	150	175	189	190	174	151	120
06/11/2012	95	78	73	78	93	114	133	145	148	144	133	119	96	88	86	99	116	132	151	163	169	166	153	130
07/11/2012	109	93	86	84	89	103	115	131	137	137	137	131	120	111	107	106	114	124	135	146	152	152	149	138
08/11/2012	124	113	107	96	96	97	106	113	123	129	138	142	144	141	133	130	124	125	123	124	126	130	134	138
09/11/2012	137	132	128	120	110	103	98	101	105	115	128	144	157	163	165	157	146	130	118	108	105	108	116	130
10/11/2012	140	145	144	137	125	110	94	84	82	89	106	128	155	178	187	186	172	151	126	101	87	83	89	106
11/11/2012	126	146	156	156	146	125	103	82	69	69	84	112	146	182	206	214	204	180	147	110	79	62	61	77
12/11/2012	102	131	154	166	163	146	117	83	60	50	56	83	121	166	208	232	234	214	179	135	89	58	44	51
13/11/2012	75	109	144	167	175	165	139	103	70	46	43	59	94	144	194	233	249	241	210	164	110	61	32	25
14/11/2012	41	72	113	149	172	177	161	127	88	55	39	43	70	117	174	221	254	262	242	201	147	96	48	26
15/11/2012	25	51	88	129	162	178	174	149	113	75	46	34	47	84	136	189	235	259	254	225	178	124	74	35
16/11/2012	18	28	60	102	142	167	174	164	135	97	60	38	40	64	104	153	204	238	251	237	202	152	103	58
17/11/2012	32	22	40	73	114	151	168	168	150	121	85	54	41	47	77	116	161	204	228	233	212	177	131	89
18/11/2012	57	38	41	58	96	135	160	171	166	143	115	83	60	56	69	97	133	171	203	220	215	191	155	119
19/11/2012	86	61	53	61	81	114	146	163	170	156	139	115	88	74	72	89	113	140	168	190	196	187	167	139
20/11/2012	110	85	66	67	76	102	130	147	161	158	154	136	118	99	89	94	106	125	143	161	171	171	164	145
21/11/2012	123	104	84	77	74	90	107	128	140	153	155	153	145	133	121	109	116	120	128	136	147	153	154	148
22/11/2012	136	117	101	90	87	84	95	106	120	143	154	162	161	160	152	138	128	121	115	112	118	125	133	138
23/11/2012	138	131	122	108	99	88	87	91	99	117	140	158	170	176	174	165	153	133	115	105	96	100	106	116
24/11/2012	128	134	134	127	119	104	92	83	83	94	115	139	163	181	190	188	174	152	125	104	86	83	83	97
25/11/2012	113	132	142	145	138	122	105	88	75	75	93	121	152	180	200	207	202	182	147	116	84	67	66	76
26/11/2012	92	115	138	153	154	142	120	94	75	61	70	96	130	168	198	217	215	198	170	132	92	60	48	53
27/11/2012	73	102	130	151	161	158	141	110	82	62	57	75	106	148	188	215	222	212	186	149	105	67	41	38
28/11/2012	50	80	112	144	163	168	155	130	99	69	55	60	86	127	170	206	227	227	205	167	126	81	48	32
29/11/2012	39	63	102	135	163	175	175	149	116	79	56	56	72	106	149	190	220	231	220	187	142	101	61	39
30/11/2012	34	48	82	122	155	172	175	163	133	98	67	52	62	81	123	168	207	228	227	205	166	123	84	50

Lampiran 3. Data Debit Sungai Palu

Data Debit Sungai Palu 2017											
Jarak Titik	Rai	Lebar	Kedalaman		Dasar	Putaran		Nilai n	Kecepatan	Luas	Debit
		(m)	(cm)	(m)	(m)	Bawah	Atas		(m/s)	(m ²)	(m ³ /s)
0	0	0	0	0	0		0				
2.500	2.500	2.500	150	1.500	-1.500	68.000	120.000	2.350	0,618	3.750	2.318
2.500	5.000	2.500	178	1.780	-1.780	122.000	254.000	4.700	1.230	4.450	5.475
2.500	7.500	2.500	178	1.780	-1.780	158.000	270.000	5.350	1.400	4.450	6.228
2.500	10.000	2.500	164	1.640	-1.640	110.000	290.000	5.000	1.308	4.100	5.364
2.500	12.500	2.500	168	1.680	-1.680	232.000	340.000	7.150	1.868	4.200	7.848
2.500	15.000	2.500	160	1.600	-1.600	266.000	336.000	7.525	1.966	4.000	7.865
2.500	17.500	2.500	182	1.820	-1.820	266.000	382.000	8.100	2.116	4.550	9.628
2.500	20.000	2.500	180	1.800	-1.800	272.000	394.000	8.325	2.175	4.500	9.786
2.500	22.500	2.500	174	1.740	-1.740	282.000	348.000	7.875	2.057	4.350	8.949
2.500	25.000	2.500	172	1.720	-1.720	306.000	382.000	8.600	2.246	4.300	9.659
2.500	27.500	2.500	176	1.760	-1.760	204.000	336.000	6.750	1.764	4.400	7.763
2.500	30.000	2.500	162	1.620	-1.620	160.000	238.000	4.975	1.302	4.050	5.273
2.500	32.500	2.500	150	1.500	-1.500	190.000	224.000	5.175	1.354	3.750	5.077
2.500	35.000	2.500	138	1.380	-1.380	256.000	394.000	8.125	2.122	3.450	7.322
2.500	37.500	2.500	142	1.420	-1.420	88.000	326.000	5.175	1.354	3.550	4.807
2.500	40.000	2.500	126	1.260	-1.260	276.000	362.000	7.975	2.083	3.150	6.563
2.500	42.500	2.500	128	1.280	-1.280	298.000	320.000	7.725	2.018	3.200	6.458
2.500	45.000	2.500	128	1.280	-1.280	250.000	364.000	7.675	2.005	3.200	6.417
2.500	47.500	2.500	120	1.200	-1.200	202.000	262.000	5.800	1.517	3.000	4.550
2.500	50.000	2.500	110	1.100	-1.100	112.000	354.000	5.825	1.523	2.750	4.189
2.500	52.500	2.500	104	1.040	-1.040	218.000	258.000	5.950	1.556	2.600	4.045
2.500	55.000	2.500	98	0,98	-0,98	200.000	298.000	6.225	1.628	2.450	3.987
2.500	57.500	2.500	86	0,86	-0,86	234.000	308.000	6.775	1.771	2.150	3.807
2.500	60.000	2.000	92	0,92	-0,92	276.000	292.000	7.100	1.855	1.840	3.414
1.500	61.500	1.500	84	0,84	-0,84	228.000	238.000	5.825	1.523	1.260	1.919
1.500	63.000	1.500	78	0,78	-0,78	144.000	188.000	4.150	1.087	1.170	1.272
1.500	64.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J U M L A H										88.620	149.983

Keterangan : Titik awal pengukuran dari Kanan sungai

Data Debit Sungai Palu 2018

Jarak Titik	Rai	Lebar (m)	Kedalaman		Dasar (m)	Putaran		Nilai n	Kecepatan (m/s)	Luas (m ²)	Debit (m ³ /s)
			(cm)	(m)		Bawah	Atas				
0	0	0	0	0	0	0	0				
2.000	2.000	2.500	120	1.200	-1.200	152.000	182.000	4.175	1.093	3.000	3.280
3.000	5.000	3.000	86	0,86	-0,86	236.000	251.000	6.088	1.592	2.580	4.107
3.000	8.000	3.000	94	0,94	-0,94	273.000	276.000	6.863	1.794	2.820	5.058
3.000	11.000	3.000	109	1.090	-1.090	264.000	278.000	6.775	1.771	3.270	5.790
3.000	14.000	3.000	112	1.120	-1.120	247.000	264.000	6.388	1.670	3.360	5.611
3.000	17.000	3.000	111	1.110	-1.110	298.000	284.000	7.275	1.901	3.330	6.330
3.000	20.000	3.000	120	1.200	-1.200	249.000	328.000	7.213	1.885	3.600	6.785
3.000	23.000	3.000	118	1.180	-1.180	203.000	312.000	6.438	1.683	3.540	5.957
3.000	26.000	3.000	104	1.040	-1.040	245.000	294.000	6.738	1.761	3.120	5.494
3.000	29.000	3.000	89	0.890	-0.890	254.000	293.000	6.838	1.787	2.670	4.771
3.000	32.000	3.000	76	0.760	-0.760	235.000	236.000	5.888	1.540	2.280	3.510
3.000	35.000	3.000	74	0.740	-0.740	223.000	243.000	5.825	1.523	2.220	3.382
3.000	38.000	3.000	72	0.720	-0.720	248.000	248.000	6.200	1.621	2.160	3.501
3.000	41.000	3.000	60	0.600	-0.600	222.000	222.000	5.550	1.452	1.800	2.613
3.000	44.000	3.000	52	0.520	-0.520	197.000	197.000	4.925	1.289	1.560	2.011
3.000	47.000	3.000	56	0.560	-0.560	223.000	223.000	5.575	1.458	1.680	2.450
3.000	50.000	3.000	30	0.300	-0.300	145.000	145.000	3.625	0.950	0.900	0.855
3.000	53.000	3.000	28	0.280	-0.280	142.000	142.000	3.550	0.931	0.840	0.782
3.000	56.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J U M L A H										44.730	72.289

Keterangan : Titik awal pengukuran dari Kanan sungai

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Madiun, 3 November 1997, merupakan anak pertama dari pasangan Susanto dan Juliana Letelay. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Tugu Selatan 03 Jakarta, SD Negeri Kaliabang Tengah 07 Bekasi, SMP Negeri 5 Bekasi, dan SMA Negeri 13 Jakarta. Setelah lulus SMA, melanjutkan studi di Departemen Teknik Geomatika ITS pada tahun 2015. Penulis tergabung dalam angkatan G17 dan aktif berorganisasi selama masa perkuliahan. Pada tahun 2016-2017, penulis menjadi staf Hubungan Luar Paduan Suara Mahasiswa-ITS. Pada tahun 2017-2019 penulis menjabat sebagai Bendaha Lembaga Minat Bakat-ITS sekaligus Kepala Biro *Job Managing* Departemen Hubungan Luar Paduan Suara Mahasiswa-ITS. Selain itu, penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan kampus, seperti kepanitiaan dan pelatihan. Kegiatan kepanitiaan yang pernah diikuti yaitu *Geolympic* dan *Geoicon* Teknik Geomatika 2016 dan mengikuti beberapa pelatihan, diantaranya LKMM Pra-TD, Karya Tulis Ilmiah, LKMW TD, LKMW TM, jurnalistik, dan *Basic Organisation Training*. Penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktik di Pusat Hidro-Oseanografi TNI AL pada tahun 2018. Penulis berharap segala sesuatu yang ingin disampaikan, baik mengenai Tugas Akhir maupun saran dapat disampaikan kepada penulis melalui *e-mail* chidchidorchid@gmail.com.