



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RG141536

**APLIKASI METODE KINEMATIK-DIFERENSIAL
GLOBAL POSITIONING SYSTEM UNTUK
PENENTUAN TINGGI MUKA AIR LAUT SESAAT
DALAM SURVEI BATHIMETRI**

AHMAD FAWAIZ SAFI'
NRP 3513 100 046

Dosen Pembimbing
Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.
Mokhamad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RG141536

**APLIKASI METODE KINEMATIK-DIFERENSIAL
GLOBAL POSITIONING SYSTEM UNTUK
PENENTUAN TINGGI MUKA AIR LAUT SESAAT
DALAM SURVEI BATHIMETRI**

AHMAD FAWAIZ SAFI'
NRP 3513 100 046

Dosen Pembimbing
Dinar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.
Mokhamad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG141536

**APPLICATION KINEMATIC-DIFFERENTIAL METHOD
OF GLOBAL POSITIONING SYSTEM TO DETERMINE
INSTANTANEOUS WATER LEVEL DURING
BATHYMETRY SURVEY**

AHMAD FAWAIZ SAFI'
NRP 3513 100 046

Advisers
Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.
Mokhamad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**APLIKASI METODE KINEMATIK-DIFERENSIAL
GLOBAL POSITIONING SYSTEM UNTUK PENENTUAN
TINGGI MUKA AIR LAUT SESAAT DALAM SURVEI
BATHIMETRI**

Nama Mahasiswa : Ahmad Fawaiz Safi'
NRP : 3513 100 046
Departemen : Teknik Geomatika
Dosen Pembimbing : 1. Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.
2. Mokhammad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D.

Abstrak

Salah satu komponen penting dalam survei bathimetri adalah pasang surut air laut (pasut) yang digunakan untuk koreksi kedalaman hasil pemeruman. Kedudukan pasut diidentifikasi melalui pengamatan pasut menggunakan palem pasut di pinggir pantai atau dermaga/pelabuhan. Perkembangan teknologi memungkinkan penggunaan GPS (*Global Positioning System*) pada survei bathimetri. Selain posisi horisontal, GPS dapat digunakan untuk menentukan posisi vertikal. Pasut yang didapatkan dengan GPS merupakan tinggi muka air terhadap ellipsoid. Sehingga perlu adanya koreksi agar pasut GPS dapat digunakan untuk koreksi kedalaman.

Dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan pengamatan pasut menggunakan GPS metode kinematik. Pengamatan pasut GPS dilakukan selama survei bathimetri berlangsung. *Post Processed Kinematic* (PPK) digunakan untuk mendapatkan nilai tinggi muka air laut yang diamati menggunakan GPS. Tinggi muka air laut yang didapatkan kemudian direduksi menggunakan geoid (N). Model geoid yang dipakai adalah *Earth Gravitational Model* (EGM2008). Selain data pasut GPS dan model geoid, data lain yang digunakan adalah pengamatan pasut sesaat secara manual yang diamati selama survei bathimetri. Data pengamatan

pasut manual digunakan untuk perbandingan grafik pasang surut yang dihasilkan oleh pasut GPS.

Hasil penelitian ini berupa grafik pasang surut GPS yang telah terkoreksi dengan geoid dan grafik pasang surut pengamatan. Dari kedua grafik tersebut kemudian dibandingkan nilai tinggi yang dihasilkan. Pada dasarnya tinggi yang didapatkan menggunakan GPS merupakan tinggi muka air laut yang mengacu pada bidang ellipsoid. Sehingga, nilai tingginya akan sangat berbeda dengan nilai tinggi pengamatan tinggi muka air laut secara manual. Tetapi, secara grafik yang dihasilkan akan memiliki karakter yang sama. Kuantitas data yang dihasilkan juga sangat berbeda, data pasut GPS akan memiliki jumlah data yang lebih banyak dari pasut pengamatan.

Kata kunci: GPS Kinematik, Pasang Surut Air Laut, Pasut GPS, Survei Bathimetri.

APPLICATION KINEMATIC-DIFFERENTIAL METHOD OF GLOBAL POSITIONING SYSTEM TO DETERMINE INSTANTANEOUS WATER LEVEL DURING BATHYMETRY SURVEY

Student's Name : Ahmad Fawaiz Safi'
Reg. Number : 3513 100 046
Department : Geomatics Engineering
Adviser : 1. Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.
2. Mokhammad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D.

Abstract

An essential part in bathymetry survey is ocean tidal, which is used to reduce sounding observation. The tidal was identified through tides observation in particular location. Development of Global Positioning System (GPS) technology enables in bathymetry survey. GPS could be used not only for horizontal positioning, but also for vertical positioning. High-accuracy GPS for vertical positioning was relatively new to the hydrographic survey. The tidal which could be detected by GPS was surface level with respect to ellipsoid. Therefore, for analysis, GPS-derived vertical information must be translated using some combination data.

In this study would be carried out tidal observation using kinematic GPS. GPS tides observations were done during bathymetry survey. Post Processed Kinematic (PPK) would be used as a processing method of GPS tides data. In this study, we would use data of GPS tides observation, conventional tides observation and Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). Conventional tides observation data was used as a tide graph comparator, whereas EGM2008 was used to reduce the ellipsoid height into orthometric height. The result of this study was a comparison between tide graph to GPS tides and observation tides

graph. The height value and quantity of data which was generated than GPS tides observation and conventional tides observation was very different. However, the resultant tidal graphs had the same characteristics.

Keyword: Tides, GPS Tides, Kinematic GPS, Bathymetry Surveys

**APLIKASI METODE KINEMATIK-DIFERENSIAL
GLOBAL POSITIONING SYSTEM UNTUK PENENTUAN
TINGGI MUKA AIR LAUT SESAAT DALAM SURVEI
BATHIMETRI**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

AHMAD FAWAIZ SAFI'
NRP. 3513 100 046

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19800507 200312 1 001 (Pembimbing I)

2. Mokhammad Nur Cahyadi, S.T., Ph.D.
NIP. 19811223 200501 1 002 (Pembimbing II)



Surabaya, Juli 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Atas dukungan moril dan materi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, maka penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang telah mendukung penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir.
2. Bapak Danar Guruh Pratomo, Ph.D. dan Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, Ph.D. selaku dosen pembimbing penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir.
3. Bapak Akbar Kurniawan, Evasari Aprilia, Kamila Akbar, Indah Lu'lu'atin Mantsuro, dan teman-teman angkatan 2014 Departemen Teknik Geomatika ITS yang telah membantu penulis dalam penyelesaian survei lapangan dan penulisan Laporan Tugas Akhir.
4. Staf dan karyawan tata usaha Departemen Teknik Geomatika yang telah membantu kelancaran berkas Tugas Akhir.
5. Seluruh pihak yang telah membantu dalam kelancaran penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari masih ada kekurangan dalam Laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis berharap untuk kedepannya ada perbaikan dan pengembangan terhadap penelitian ini. Terlepas dari itu semua, semoga Laporan Tugas Akhir yang berjudul "*Aplikasi Metode Kinematik-Diferensial Global Positioning System Untuk Penentuan Tinggi Muka Air Laut Sesaat Dalam Survei Bathimetri*", dapat menambah pengetahuan bagi para pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pasang Surut Air Laut.....	5
2.2 Model Matematika dan Konstanta Harmonik Pasang Surut	6
2.3 Bidang Referensi Vertikal.....	7
2.4 Penentuan Posisi dengan GPS.....	8
2.5 Metode Penentuan Posisi Diferensial	9
2.6 Metode Penentuan Posisi Kinematik	11
2.7 Kesalahan Pengukuran.....	12
2.8 Presisi dan Akurasi	12
2.9 Penelitian Terdahulu	15
BAB III METODOLOGI.....	17
3.1 Lokasi Penelitian	17
3.2 Data dan Peralatan.....	18
3.3 Metodologi Penelitian.....	22
3.4 Pengolahan Data.....	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Hasil Pemrosesan Data	33
4.2 Pembahasan.....	41

BAB KESIMPULAN DAN REKOMENDASI	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Rekomendasi	51
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN A DATA HASIL PENGAMATAN DAN PERHITUNGAN	59
A.1 Data Pengamatan Pasut Sesaat	59
A.2 Data Hasil Perhitungan Pasut GPS	67
A.3 Informasi Tambahan	76
LAMPIRAN B <i>SCRIPT</i> MATLAB PENGOLAHAN DATA	77
LAMPIRAN C GRAFIK PASANG SURUT	85
C.1 Grafik Pasut 11 Mei 2017	85
C.2 Grafik Pasut 12 Mei 2017	86
C.3 Grafik Residual Pasut 11 Mei 2017	87
C.4 Grafik Residual Pasut 12 Mei 2017	88
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kedudukan Pasang Perbani	6
Gambar 2.2 Kedudukan Pasut Mati	6
Gambar 2.3 Referensi Vertikal	8
Gambar 2.4 Metode Penentuan Posisi dengan GPS	9
Gambar 2.5 Penentuan Posisi Secara Absolut	10
Gambar 2.6 Penentuan Posisi Secara Diferensial	10
Gambar 2.7 Contoh Presisi dan Akurasi	14
Gambar 3.1 Peta Kabupaten Malang	17
Gambar 3.2 Lokasi Pelabuhan Perikanan Sendang Biru.....	18
Gambar 3.3 Diagram Alir Tahapan Penelitian	23
Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan Data.....	25
Gambar 3.5 <i>Moving Average Filtering</i>	28
Gambar 3.6 Komponen Vertikal Pasut GPS	29
Gambar 4.1 Grafik Pasut Sesaat 11/05/2017.....	34
Gambar 4.2 Grafik Pasut Sesaat 12/05/2017.....	34
Gambar 4.3 Grafik <i>Raw</i> Pasut GPS 11/05/2017.....	36
Gambar 4.4 Grafik <i>Raw</i> Pasut GPS 12/05/2017.....	36
Gambar 4.5 Grafik <i>Smoothing</i> Pasut GPS 11/05/2017	38
Gambar 4.6 Grafik <i>Smoothing</i> Pasut GPS 12/05/2017	38
Gambar 4.7 Grafik Residu Pasut 11/05/2017.....	40
Gambar 4.8 Grafik Residu Pasut 12/05/2017.....	40
Gambar 4.9 Perbandingan Pasut Pengamatan- <i>Raw</i> Pasut GPS 11/05/2017.....	41
Gambar 4.10 Perbandingan Pasut Pengamatan- <i>Raw</i> Pasut GPS 12/05/2017.....	42
Gambar 4.11 <i>Noise</i> Pasut GPS 11/05/2017.....	43
Gambar 4.12 <i>Noise</i> Pasut GPS 12/05/2017.....	43
Gambar 4.13 Perbandingan <i>Raw</i> dengan <i>Smoothing</i> Pasut GPS 11/05/2017.....	44
Gambar 4.14 Perbandingan <i>Raw</i> dengan <i>Smoothing</i> Pasut GPS 12/05/2017.....	44
Gambar 4.15 Grafik Pasut Sesaat 11/05/2017.....	45
Gambar 4.16 Grafik Pasut Sesaat 12/05/2017.....	45

Gambar C.1 Perbandingan Grafik Pasut 11/05/2017	85
Gambar C.2 Perbandingan Grafik Pasut 12/05/2017	86
Gambar C.3 Grafik Residual Pasut 11/05/2017	87
Gambar C.4 Grafik Residual Pasut 12/05/2017	88

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konstanta Harmonik Pasang Surut.....	7
Tabel 4.1 Pasut Sesaat Sendang Biru	33
Tabel 4.2 <i>Raw</i> Pasut GPS Sendang Biru.....	35
Tabel 4.3 <i>Smoothing and Filtering</i> Pasut GPS.....	37
Tabel 4.4 Residual Pasut.....	38
Tabel 4.5 Residual Pasut.....	46
Tabel 4.6 Standar Deviasi Residual	47
Tabel 4.7 Nilai RMSE Pasut GPS	47
Tabel 5.1 Perbandingan Rata –rata Residual dengan Standar Deviasi Residual	50
Tabel A.1 Data Pengamatan Pasut Sesaat.....	59
Tabel A.2 Hasil Pengolahan pasut GPS	67
Tabel A.3 Informasi Tambahan.....	76

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pasang surut air laut (pasut) adalah suatu fenomena alam yaitu naik-turunnya permukaan air laut secara periodik sebagai akibat dari adanya gaya gravitasi benda-benda langit terutama bulan dan matahari. Pengaruh benda astronomi lainnya dapat diabaikan karena jarak dan ukurannya yang relatif lebih kecil daripada bulan dan matahari. Faktor non astronomi yang mempengaruhi pasut terutama di perairan semi tertutup seperti teluk adalah bentuk garis pantai dan topografi dasar perairan (Stewart, 2008).

Pengamatan pasut pada umumnya dilakukan di pinggir pantai atau dermaga/pelabuhan dengan menggunakan palem pasut atau peralatan pengamatan pasut lainnya. Karakteristik pasut yang diamati di tepi pantai atau dermaga/pelabuhan umumnya hanya valid untuk kawasan dengan radius tertentu dari titik pengamatan. Di luar kawasan tersebut, seperti di lepas pantai, karakteristik pasut biasanya ditentukan secara tidak langsung, yaitu dengan melakukan prediksi menggunakan *cotidal chart* (Abidin, 2007).

Tujuan dari pengamatan pasut adalah untuk mencatat atau merekam gerakan vertikal permukaan air laut yang terjadi secara periodik. Salah satu kegunaan dari pengamatan pasut adalah untuk koreksi kedalaman yang didapatkan dari pengukuran menggunakan *echosounder* dalam survei bathimetri.

Pengamatan pasut dilakukan setiap kali melakukan pemeruman. Kadang-kadang daerah pemeruman dan titik pengamatan pasut tidak saling berdekatan atau pemeruman berada di lepas pantai. Padahal karakteristik pasang surut laut dapat berbeda antar satu daerah dengan daerah lainnya (Haryono & Narni, 2004). Sehingga ada kemungkinan data pasut tersebut tidak valid jika digunakan untuk koreksi pemeruman. Untuk menjawab permasalahan tersebut, penggunaan *Global Positioning System* (GPS) untuk pengamatan pasut dapat menjadi solusinya.

GPS dapat digunakan untuk penentuan posisi dengan ketelitian mencapai millimeter. Untuk mencapai ketelitian yang tinggi menggunakan GPS, dapat digunakan metode kinematik diferensial baik secara *real-time* (RTK) maupun *post-processing* (PPK). Dalam beberapa kasus biasa digunakan *Differential GPS* (DGPS) (Kelompok Keahlian Geodesi ITB, 2007).

Penelitian ini dilakukan untuk membuktikan bahwa pengamatan pasang surut air laut untuk keperluan survei bathimetri dapat dilakukan menggunakan pengamatan GPS secara kinematik di kapal, sehingga untuk keperluan praktis seperti koreksi kedalaman tidak memerlukan pengamatan secara langsung menggunakan palem pasut. Untuk dapat membuktikan itu maka diperlukan data pembanding berupa data pengamatan pasut menggunakan palem pasut atau *tide gauge* lainnya. Dengan adanya data pembanding tersebut diharapkan dapat mengetahui selisih antara data GPS dengan pengamatan palem pasut/peralatan pengamatan pasut lainnya, sehingga dari perbandingan itu dapat ditarik kesimpulan mengenai dapat atau tidaknya pengamatan pasut untuk keperluan pemeruman menggunakan pengamatan GPS secara kinematik.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian tentang pengamatan pasut dengan GPS secara kinematik ini diharapkan dapat menjawab rumusan masalah berikut:

- a. Bagaimana hasil pengamatan pasang surut air laut menggunakan metode GPS kinematik?
- b. Bagaimana perbandingan grafik hasil pengamatan pasang surut air laut menggunakan GPS kinematik dengan hasil pengamatan pasut sesaat?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Data pengamatan pasut GPS yang digunakan dalam penelitian adalah data pengamatan GPS di kapal selama proses pemeruman.
- b. Pengamatan GPS menggunakan metode kinematik-diferensial.
- c. Metode pengolahan GPS adalah *Post-Processing Kinematic* (PPK).
- d. Data perbandingan pasut GPS merupakan data pengamatan pasang surut air laut sesaat menggunakan palem pasut/peralatan lainnya selama pemeruman.
- e. Tinggi ellipsoid yang dihasilkan GPS direduksi menggunakan data undulasi dari model geoid global (EGM2008).
- f. Hasil akhir dari penelitian ini merupakan perbandingan grafik pasang surut air laut menggunakan GPS metode kinematik-diferensial di kapal dengan grafik pengamatan pasut sesaat secara manual.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui hasil pengamatan pasang surut air laut menggunakan GPS metode kinematik-diferensial. Selain itu juga untuk mengetahui perbandingan pola grafik dari pengamatan pasang surut air laut menggunakan GPS metode kinematik-diferensial dengan pengamatan pasut sesaat menggunakan palem pasut.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasang Surut Air Laut

Pasang surut air laut/pasut laut adalah fenomena naik dan turunnya permukaan air laut secara periodik yang disebabkan oleh pengaruh gravitasi benda-benda langit terutama bulan dan matahari, periode rata-rata sekitar 12,4 jam atau 24,8 jam. Pengaruh gravitasi benda-benda langit terhadap bumi tidak hanya menyebabkan pasut laut, tetapi juga menyebabkan perubahan bentuk bumi dan atmosfer.

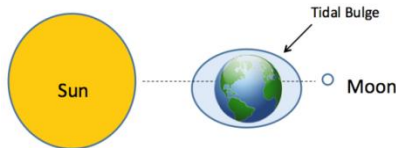
Permukaan air laut dipakai sebagai tinggi nol. Kedalaman suatu titik di dasar perairan atau ketinggian titik di pantai mengacu pada permukaan laut yang dianggap sebagai bidang referensi vertikal. Penentuan tinggi nol harus dilakukan dengan merata-rata data tinggi muka air laut yang diamati pada rentang waktu tertentu. Data tinggi muka air laut pada rentang waktu tertentu berguna untuk peramalan pasut. Analisis data pengamatan tinggi muka air juga akan digunakan untuk mengenali karakter pasut dan fenomena lain yang mempengaruhi tinggi muka air laut.

Fenomena pasut dijelaskan dengan ‘teori pasut setimbang’ yang dikemukakan oleh Sir Isaac Newton pada abad ke-17. Teori ini menganggap bahwa bumi berbentuk bola sempurna dengan dilingkupi air dengan distribusi massa yang seragam. Pembangkitan pasut dijelaskan dengan ‘teori gravitasi universal’ yang menyatakan: pada sistem dua benda dengan massa m_1 dan m_2 akan terjadi gaya tarik menarik sebesar F diantara keduanya yang besarnya sebanding dengan perkalian massanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya.

$$F = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2} \quad (2-1)$$

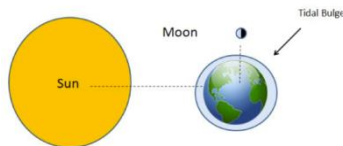
Fenomena pembangkitan pasut menyebabkan perbedaan tinggi permukaan laut pada kondisi kedudukan tertentu dari bumi,

bulan dan matahari. 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. Saat tersebut terjadi ketika bulan baru dan purnama, fenomena demikian disebut dengan pasang perbani (*spring tide*) (Poerbandono; Djunasjah, 2005).



Gambar 2.1 Kedudukan Pasang Perbani (e-education.psu.edu)

Saat kedudukan matahari tegak lurus dengan sumbu bumi-bulan, terjadi pasut minimum pada titik di permukaan bumi yang tegak lurus sumbu bumi-bulan. Saat tersebut terjadi diperempat bulan awal dan akhir, fenomena demikian disebut dengan pasut mati (*neap tide*) (Poerbandono; Djunasjah, 2005).



Gambar 2.2 Kedudukan Pasut Mati (e-education.psu.edu)

2.2 Model Matematika dan Konstanta Harmonik Pasang Surut

Pasut dimodelkan dengan persamaan:

$$y_B = A_B \cos(\omega t + \phi) \quad (2-2)$$

Dengan,

y_B : tinggi muka air saat t

A_B : amplitudo pasut

- ω : kecepatan sudut= $2\pi f$
 t : waktu
 ϕ : keterlambatan fase

Perbandingan amplitudo dan fase akibat atraksi benda-benda langit tertentu pada pola pasut dinyatakan dengan konstanta-konstanta pembandingan dengan simbol dan nilai tertentu untuk menjelaskan akibat atraksi gravitasi bulan atau matahari dengan kedudukan tertentu terhadap tinggi muka air. Konstanta-konstanta tersebut disebut sebagai komponen harmonik.

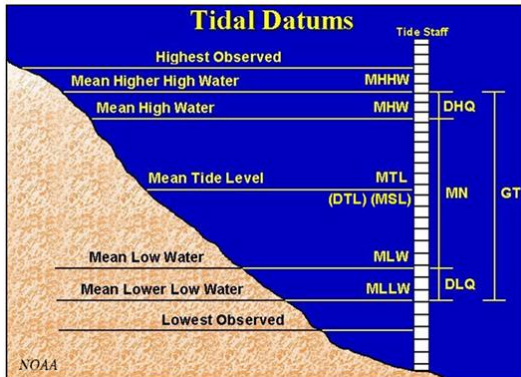
Tabel 2.1 Konstanta Harmonik Pasang Surut
(Poerbandono, 1999)

Nama Konstanta	Simbol	Periode (jam)	Kecepatan (%/jam)	Jenis
<i>Principal lunar</i>	M2	12,42	28,984	<i>Semi diurnal</i>
<i>Principal solar</i>	S2	12,00	30,000	
<i>Larger lunar elliptic</i>	N2	12,66	28,440	
<i>Luni solar semi diurnal</i>	K2	11,98	30,082	
<i>Luni solar diurnal</i>	K1	23,93	15,041	<i>Diurnal</i>
<i>Principal lunar diurnal</i>	O1	25,82	13,943	
<i>Principal solar diurnal</i>	P1	24,07	14,959	
<i>Lunar fortnightly</i>	Mf	327,82	1,009	<i>Long period</i>
<i>Lunar monthly</i>	Mm	661,30	0,544	
<i>Main lunar</i>	M4	6,21	57,968	<i>Shallow water</i>
<i>Main luni-solar</i>	MS4	6,20	58,084	

2.3 Bidang Referensi Vertikal

Bidang referensi vertikal merupakan bidang referensi untuk sistem tinggi ortometris. Datum vertikal digunakan untuk merepresentasikan informasi ketinggian atau kedalaman. Biasanya bidang referensi yang digunakan untuk sistem tinggi

ortometris adalah geoid. Dalam Gambar 2.4 berikut ditunjukkan macam-macam bidang referensi vertikal,

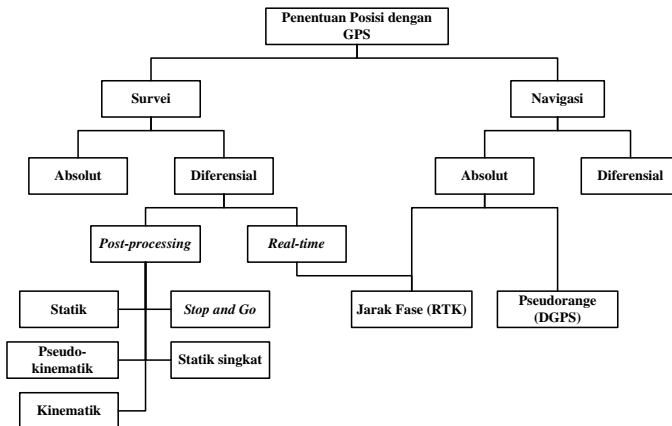


Gambar 2.3 Referensi Vertikal (NOAA, 2017)

Dalam keperluan praktis bidang referensi vertikal mengacu pada tinggi muka air laut. Referensi yang didapatkan dari pengamatan muka air laut misalnya *Mean Higher High Water* (MHHW) atau muka air paling tinggi

2.4 Penentuan Posisi dengan GPS

Pada dasarnya konsep penentuan posisi dengan GPS adalah reseksi (pengikatan kebelakang) dengan jarak, yaitu pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit GPS yang koordinatnya telah diketahui. Pada pengamatan dengan GPS, yang bisa diukur hanyalah jarak antara pengamat dengan satelit dan bukan vektornya. Penentuan posisi pengamatan dilakukan secara simultan dengan mengamati beberapa satelit sekaligus. Dalam praktiknya, penentuan posisi dengan GPS dapat dilakukan melalui beberapa metode penentuan posisi (Abidin, 2007).



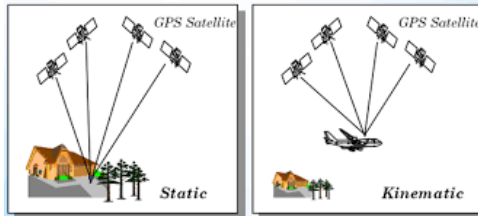
Gambar 2.4 Metode Penentuan Posisi dengan GPS (Abidin, 2007)

Posisi yang diberikan oleh GPS adalah posisi tiga dimensi (X,Y,Z ataupun L,B,h) yang dinyatakan dalam datum WGS (*World Geodetic System*) 1984. Titik yang akan ditentukan posisinya dengan GPS dapat diam (statik) ataupun bergerak (kinematik). Posisi titik dapat ditentukan dengan satu *receiver* secara absolut, ataupun terhadap titik lain yang telah diketahui koordinatnya secara diferensial yang minimal menggunakan dua *receiver* GPS. GPS dapat memberikan posisi secara instan (*real-time*) ataupun sesudah pengamatan setelah data pengamatan diproses lebih ekstensif (*post-processing*) untuk mendapatkan posisi dengan ketelitian yang lebih baik (Abidin, 2007).

2.5 Metode Penentuan Posisi Diferensial

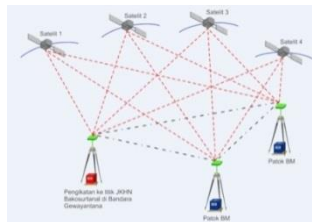
Penentuan posisi secara absolut adalah metode penentuan posisi yang paling mendasar dari GPS. penentuan posisi metode absolut dapat dilakukan per titik tanpa tergantung pada titik lainnya. Untuk penentuan posisi hanya memerlukan satu *receiver* GPS dan tipe *receiver* yang digunakan pada umumnya adalah tipe navigasi atau genggam. Ketelitian posisi yang diperoleh sangat tergantung pada tingkat ketelitian data serta geometri satelit.

Metode ini tidak dimaksudkan untuk penentuan posisi yang teliti (Abidin, 2007).



Gambar 2.5 Penentuan Posisi Secara Absolut (Abidin, 2007)

Ketelitian posisi secara absolut dapat ditingkatkan dengan menggunakan penentuan posisi secara relatif terhadap titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya. Penentuan posisi diferensial dapat dioperasikan baik dalam moda statik maupun kinematik (Abidin, 2007).



Gambar 2.6 Penentuan Posisi Secara Diferensial (Hadi, 2015)

Penentuan posisi secara diferensial dilakukan untuk mendapatkan ketelitian posisi yang relatif tinggi. Ketelitian yang diberikan oleh metode ini berkisar dari level milimeter (dengan data fase) sampai level 1-3 meter (dengan data pseudorange). Dalam penentuan posisi secara diferensial, ada beberapa aplikasi yang menuntut informasi relatif secara instan (*real-time*). Untuk mengakomodasi aplikasi tersebut, saat ini tersedia dua sistem yang umumnya dikenal dengan nama DGPS (*Differential GPS*) dan RTK (*Real-Time Kinematic*) (Abidin, 2007).

2.6 Metode Penentuan Posisi Kinematik

Penentuan posisi metode kinematik adalah penentuan posisi dari titik-titik yang bergerak dan *receiver* GPS tidak dapat atau tidak memiliki kesempatan untuk berhenti pada titik-titik tersebut. Penentuan posisi kinematik dapat dilakukan secara absolut ataupun diferensial dengan menggunakan data pseudorange dan/atau data fase. Hasil penentuan posisi bisa didapatkan saat pengamatan (*real-time*) ataupun sesudah pengamatan (*post-processing*) (Abidin, 2007).

Berdasarkan pada jenis data serta metode penentuan posisi yang digunakan, ketelitian posisi kinematik yang diberikan oleh GPS dapat berkisar dari tingkat rendah (penentuan posisi absolut dengan pseudorange) sampai tingkat tinggi (penentuan posisi diferensial dengan fase). Dari segi aplikasinya, metode kinematik GPS akan bermanfaat untuk navigasi, pemantauan, *guidance*, fotogrametri, *airborne gravimetry*, survei hidrografi dll. (Abidin, 2007).

Penentuan posisi kinematik-diferensial dengan data fase dapat memberikan ketelitian tipikal sekitar 1-5 cm dengan asumsi bahwa ambiguitas fase dapat ditentukan secara benar. Untuk mencapai ketelitian tersebut, ambiguitas fase harus ditentukan dengan menggunakan jumlah data yang terbatas dan juga selagi *receiver* GPS bergerak. Mekanisme penentuan ambiguitas fase yang biasa disebut dengan *on-the-fly ambiguity resolution* ini bukanlah suatu hal yang mudah dilaksanakan. Untuk dapat menentukan ambiguitas fase secara cepat dan benar umumnya diperlukan penggunaan data fase dan pseudorange dua frekuensi, geometri satelit yang relatif baik, algoritma perhitungan yang relatif andal, dan mekanisme eliminasi kesalahan dan bias yang relatif baik dan tepat. Metode ini dapat digunakan untuk penentuan posisi objek-objek yang diam maupun bergerak (Abidin, 2007).

2.7 Kesalahan Pengukuran

Dapat dikatakan bahwa tidak ada pengukuran yang benar, setiap pengukuran terdapat kesalahan, nilai yang benar dari pengukuran tidak diketahui dan nilai sebenarnya dari kesalahan yang ada tidak diketahui. Kesalahan merupakan perbedaan antara nilai yang terukur secara kuantitas dengan nilai yang dianggap benar, atau dalam model matematis dapat dituliskan sebagai (Ghilani dan Wolf, 2011),

$$\varepsilon = y - \mu \quad (2-3)$$

Dimana, ε adalah kesalahan pengukuran, y merupakan nilai yang terukur, dan μ merupakan nilai yang dianggap benar. Terdapat tiga sumber kesalahan, yaitu:

1. Kesalahan alat. Kesalahan ini berasal dari peralatan yang digunakan, seperti ketidaksempurnaan konstruksi alat atau alat rusak.
2. Kesalahan lingkungan. Kesalahan ini berasal dari lingkungan sekitar daerah pengukuran, seperti ekanan atmosfer, suhu, angin, gaya berat bumi, medan magnet.
3. Kesalahan pengamat. Kesalahan ini berasal dari faktor manusia, seperti salah pembacaan skala karena pembacaan dilakukan secara manual.

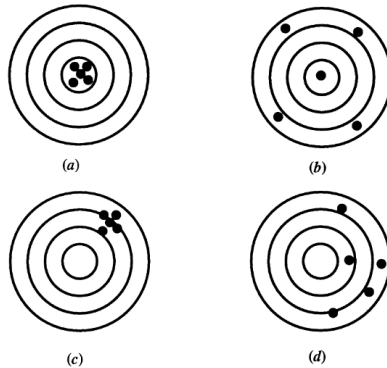
2.8 Presisi dan Akurasi

Kesalahan menimbulkan nilai yang bervariasi dalam pengukuran sebuah data yang sama. Ketidaksesuaian didefinisikan sebagai perbedaan aljabar antara dua data pengukuran yang sama. Ketika ketidaksesuaian kecil ada diantara data pengukuran perulangan, secara umum dipercaya hanya ada kesalahan kecil. Dengan demikian, data tersebut dianggap memiliki kredibilitas yang tinggi dan data tersebut disebut data presisi. Namun, nilai presisi belum tentu nilai yang akurat. Untuk memahami perbedaan presisi dengan akurasi maka akan dijelaskan dalam penjabaran berikut (Ghilani dan Wolf, 2011),

1. Presisi adalah tingkat konsistensi antara pengamatan berdasarkan ukuran ketidakcocokan dalam kumpulan data. Tingkat presisi yang dapat dicapai bergantung pada stabilitas lingkungan selama pengukuran, kualitas peralatan yang digunakan untuk melakukan pengamatan, dan keterampilan pengamatan dengan peralatan serta prosedur pengamatan.
2. Akurasi adalah ukuran dari tingkat kedekatan absolut dari kuantitas yang diukur dengan nilai sebenarnya. Karena nilai sebenarnya dari sebuah kuantitas tidak akan pernah bisa ditentukan, ketepatan/akurasi selalu diketahui.

Ilustrasi yang menjelaskan perbedaan presisi dan akurasi ditunjukkan Gambar 2.6. Ditunjukkan terdapat empat situasi yang mungkin terjadi. Jika akurasi dianggap sebagai kedekatan tembakan ke pusat target dimana penembak itu menembak, dan presisi sebagai kedekatan tembakan satu sama lain, maka (1) data mungkin presisi dan akurat, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6 (a); (2) data dapat menghasilkan rata-rata yang akurat namun tidak presisi, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6 (b); (3) data mungkin presisi tetapi tidak akurat, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6 (c); atau (4) data mungkin tidak presisi dan tidak akurat, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6 (d).

Secara umum, saat melakukan pengukuran, data seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6 (b) dan (d) tidak diinginkan. Sebaliknya, hasil yang ditunjukkan Gambar 2.6 (a) lebih diharapkan. Namun, dalam pengukuran, hasil seperti Gambar 2.6 (c) dapat diterima dengan catatan perlu dilakukan koreksi yang tepat terhadap kesalahan sistematis. Untuk melakukan koreksi maka, (1) jenis kesalahan sistematis yang terjadi dalam pengukuran harus diketahui, dan (2) prosedur yang digunakan untuk memngoreksinya harus dipahami.



Gambar 2.7 Contoh Presisi dan Akurasi

Presisi dan akurasi dapat dinyatakan dalam bentuk numerik/angka, yaitu dengan menghitung nilai standar deviasi (SD) untuk mengetahui tingkat kepresisian data dan menghitung RMSE (*Root Mean Square Error*) untuk mengetahui tingkat keakuratan data pengukuran yang dihasilkan. Secara matematis standar deviasi dapat dituliskan dengan rumus (Ghilani dan Wolf, 2011),

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} \quad (2-4)$$

Dimana, S adalah standar deviasi, $n - 1$ adalah derajat kebebasan jumlah reduksi, dan $\sum_{i=1}^n v_i^2$ adalah jumlah kuadrat dari residual. Dimana residual dapat dituliskan dengan persamaan (Ghilani dan Wolf, 2011),

$$v_i = \bar{y} - y_i \quad (2-5)$$

Dengan v_i adalah residual ke- i , y_i adalah nilai pengukuran ke i , dan \bar{y} adalah nilai yang paling mungkin untuk tidak diketahui. Standar deviasi adalah perkiraan untuk kesalahan standar populasi. Karena kesalahan standar tidak dapat ditentukan,

standar deviasi adalah ekspresi praktis untuk ketepatan sampel kumpulan data.

Sedangkan rumus RMSE dapat ditulis sebagai berikut,

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (2-6)$$

Dimana *RMSE* adalah *Root Mean Square Error*, $\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ adalah jumlah kuadrat nilai ukuran dikurangi nilai yang dianggap benar, dan *n* adalah panjang data.

2.9 Penelitian Terdahulu

Dalam bukunya, Abidin (2007) menyatakan bahwa pengamatan pasut pada umumnya dilakukan menggunakan palem pasut atau peralatan pengamatan pasut lainnya. Dimana data pasut tersebut digunakan untuk keperluan survei bathimetri, dan tak jarang survei dilakukan jauh dilepas pantai. Sedangkan karakter pasut sendiri berbeda-beda disetiap lokasi di laut. Biasanya data pasut hasil pengamatan di pinggir pantai hanya valid pada radius tertentu dari titik pengamatan.

Dengan menggunakan GPS, pengamatan pasut dapat dilakukan secara langsung. Dalam hal ini, satu *receiver* GPS ditempatkan dipelampung yang dijangkarkan ke dasar laut, dan satu *receiver* GPS lainnya ditempatkan di titik referensi di darat. Pada metode yang disebut metode pelampung (*GPS Buoy*), GPS digunakan untuk menentukan beda tinggi antara pelampung dengan titik referensi tersebut dari waktu ke waktu.

Studi kasus pemantauan variasi temporal muka laut dengan metode pelampung GPS dilakukan di Teluk Jakarta, sekitar 10km di lepas pantai kawasan Dadap, Tangerang. Pengamatan dilaksanakan pada periode 15-25 April 2000 menggunakan dua *receiver* GPS tipe geodetik dua frekuensi, yaitu Trimble 4000-SSE dan Trimble 4000-SSI. Dimana satu *receiver* ditempatkan di pelampung dan satu lagi berada di stasiun referensi di halaman Laboratorium Lapangan UPT Baruna Jaya BPPT daerah Dadap.

Dalam pengamatan, kedua *receiver* menggunakan interval data pengamatan sebesar 0,5 detik. Koordinat stasiun referensi ditentukan secara diferensial dari stasiun IGS BAKOSURTANAL di Cibinong, Bogor. Untuk mengecek hasil pengamatan variasi muka laut dengan sistem pelampung GPS, digunakan data pasut dari stasiun pasang surut permanen milik Perum Pelabuhan II yang terletak sekitar 10km dari lokasi pelampung GPS.

Koordinat antenna GPS di pelampung ditentukan secara kinematik epok per epok, relatif terhadap koordinat stasiun referensi di darat. Penentuan koordinat antenna GPS menggunakan data fase yang ambiguitas fasenya ditentukan dengan cara *on-the-fly*. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa informasi pasut yang ditentukan menggunakan pelampung GPS serta pengamatan langsung mempunyai frekuensi yang relatif sama, yaitu masing-masing sekitar 0,04-0,05 cycle/jam serta 21-22 jam. Hasil ini menunjukkan bahwa pasut di Teluk Jakarta secara umum bersifat *diurnal* (harian).

Dengan interval data pengamatan yang lebih rapat yaitu 5 menit, variasi temporal muka laut yang ditentukan dengan GPS mengandung spektrum frekuensi yang lebih luas dibandingkan variasi muka laut hasil pengamatan palem pasut yang berdata interval satu jam. Dinamika pelampung GPS dipengaruhi oleh banyak fenomena, yaitu arus, gelombang, alun, riak dan angin. Oleh sebab itu, variasi temporal muka laut yang teramati pada prinsipnya merupakan variasi temporal yang masih dipengaruhi oleh fenomena tersebut. Sehingga metode pelampung GPS tidak hanya dapat digunakan untuk menentukan karakteristik pasut tetapi juga dapat untuk mengekstrak informasi tentang karakteristik gelombang dan arus laut.

Hasil studi kasus ini menunjukkan bahwa metode pelampung GPS dapat digunakan untuk mengamati karakteristik pasut di lepas pantai. Variasi temporal muka laut dengan tingkat presisi beberapa cm dapat ditentukan dengan metode pelampung GPS.

BAB III METODOLOGI

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian pengamatan pasut menggunakan GPS dilakukan di Pelabuhan Perikanan Sendang Biru, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Secara geografis, lokasi penelitian terletak pada koordinat $8^{\circ}25'46'' - 8^{\circ}26'27''$ LS dan $112^{\circ}40'48'' - 112^{\circ}41'22''$ BT. Pengamatan pasut dilakukan pada tanggal 11-12 Mei 2017, dengan durasi pengamatan 8-9 jam per hari.



Gambar 3.1 Peta Kabupaten Malang (Kementerian PUPR RI, 2016)



Gambar 3.2 Lokasi Pelabuhan Perikanan Sendang Biru (sumber: Google Earth, 2017)

Pengamatan pasut GPS menggunakan dua *receiver* GPS tipe geodetik dual frekuensi, dimana satu *receiver* ditempatkan didarat sebagai titik referensi dan satu berada di kapal sebagai *rover*. Stasiun referensi berada di pinggir dermaga perikanan dekat dengan stasiun pasang surut. Dalam pengamatan GPS, *receiver* stasiun referensi menggunakan interval data pengamatan sebesar 5 detik dan *receiver* kapal menggunakan interval data pengamatan sebesar 10 detik.

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Penelitian pengamatan pasang surut air laut menggunakan GPS kinematik menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan melalui pengukuran langsung di lapangan dan data sekunder didapatkan dari situs web penyedia data.

Data primer yang dimaksud meliputi *raw data*/data mentah pengamatan GPS kinematik. Data pengamatan GPS kinematik meliputi data *base* dan *rover*. Data yang didapatkan dari survei GPS masih berupa data format asli, dimana untuk dapat diolah pada perangkat lunak pengolahan data GPS perlu dikonversi menjadi format *Receiver Independent Exchange Format* (RINEX). Pengambilan data pengamatan GPS dilakukan bersamaan dengan survei bathimetri, sehingga lama pengamatan hanya berkisar antara 8-9 jam per hari dan dilakukan pada 11-12 Mei 2017 dengan interval pengamatan setiap 10 detik.

Selain data pengamatan GPS, data yang didapatkan melalui survei langsung adalah data pengamatan pasut konvensional menggunakan palem pasut. Pengambilan data pasut konvensional dilakukan dengan interval 5 menit tiap pengamatan selama survei bathimetri dilakukan. Data pengamatan pasut konvensional atau kemudian disebut dengan data pasut pengamatan digunakan sebagai pembanding hasil pengamatan pasut menggunakan GPS atau pasut GPS.

Pengolahan data pasang surut memerlukan informasi tambahan, yaitu berupa data sekunder. Data sekunder yang dimaksud meliputi, *GPS Navigation Data* atau data navigasi GPS (*.n). Data navigasi GPS didapatkan dari hasil konversi data mentah GPS. Data navigasi GPS diperlukan untuk menentukan koordinat titik pengamatan di bumi, data ini berisikan informasi tentang koefisien koreksi jam satelit, parameter orbit, almanac satelit, UTC, parameter koreksi ionosfer, serta informasi spesial lainnya seperti konstelasi dan kesehatan satelit (Kuncoro, 2012). Selain data navigasi, informasi tambahan lainnya adalah koreksi orbit (*ephemeris*). Koreksi orbit merupakan informasi tambahan mengenai koreksi orbit satelit. Data ini digunakan agar hasil pengolahan data GPS menjadi lebih teliti. Data koreksi orbit dapat didapatkan di situs penyedia data tambahan untuk pengolahan

data GPS, salah satunya di *sopac.ucsd.edu* dengan format (*.sp3).

Data sekunder lainnya adalah *Earth Gravitational Model 2008* (EGM2008). Data ini digunakan untuk mengetahui nilai undulasi pada tiap titik pengamatan. EGM2008 merupakan model spheris harmonik gaya berat bumi, yang dikembangkan menggunakan metode *least square* dari kombinasi model gravitasi ITG-GRACE03S dan matriks kovarian kesalahan yang terkait, dengan informasi gravitasi yang diperoleh dari kumpulan anomali gaya berat bebas global yang didefinisikan pada grid lima menit. Grid tersebut dibentuk dari penggabungan data *terrestrial*, *altimetry*, dan survei gaya berat udara. Di daerah dimana data gaya berat memiliki resolusi rendah, data gaya beratnya ditambah dengan informasi yang tersirat pada data topografi. Pada daerah dengan kualitas data gaya berat yang tinggi, perbedaan antara undulasi geoid dan nilai GPS/*leveling* independen berada pada orde ± 5 cm sampai ± 10 cm (Pavlis dkk, 2013). Data EGM2008 dapat diunduh di *earth-info.nga.mil*.

3.2.2 Peralatan

Peralatan dalam penelitian tugas akhir ini meliputi perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan diantaranya adalah GPS geodetik tipe Topcon Hyper Pro dual frekuensi. Topcon Hyper Pro merupakan *receiver* GNSS yang dapat digunakan untuk pemetaan, konstruksi, teknik sipil, pertanian, kontrol mesin pertanian, pemetaan fotogrametri, hidrografi dan kegiatan terkait hal-hal tersebut. Topcon Hyper Pro dapat menerima dan memproses sinyal L1 dan L2 untuk meningkatkan keakuratan titik survei. Dalam tugas akhir ini Topcon Hyper Pro digunakan untuk pengamatan posisi di kapal. Pengamatan GPS dilakukan dengan mode kinematik dimana terdiri dari *base* dan *rover* agar dalam pengolahan datanya dapat dilakukan dengan cara diferensial. Dalam pengolahan data menggunakan *notebook*

yang telah terpasang perangkat lunak pengolahan data dan pengolahan kata untuk membuat laporan.

Perangkat lunak yang digunakan dalam tugas akhir ini terdiri dari perangkat lunak pengolahan kata yang digunakan untuk menyajikan hasil pengolahan data dalam bentuk jurnal ilmiah dan laporan tugas akhir serta perangkat lunak pengolahan data. Perangkat lunak pengolahan data yang dimaksud diantaranya perangkat lunak pengolahan data GPS kinematik, yaitu RTKLIB versi 2.4.2. RTKLIB merupakan perangkat lunak yang bebas diunduh dan digunakan oleh siapa saja. Perangkat lunak ini juga dapat melakukan pemrosesan data secara cepat dan dalam pemrosesan datanya dapat diintegrasikan secara *real-time* maupun *post-processing*. Perangkat lunak ini dapat diunduh secara bebas di rtklib.com. Perangkat lunak RTKLIB dapat digunakan untuk pengolahan data GPS secara *single*, *static*, *kinematic*, DGPS/DGNSS, dan *precise point positioning* (PPP). Pada tugas akhir ini, perangkat lunak RTKLIB secara khusus diperuntukan untuk pengolahan data GPS dengan metode penentuan posisinya secara kinematik-diferensial. Data pengamatan GPS diolah secara *post-processed* dengan penambahan informasi pendukung lainnya seperti data navigasi dan orbit sebagai *input* data dalam optimalisasi penggunaan perangkat lunak RTKLIB.

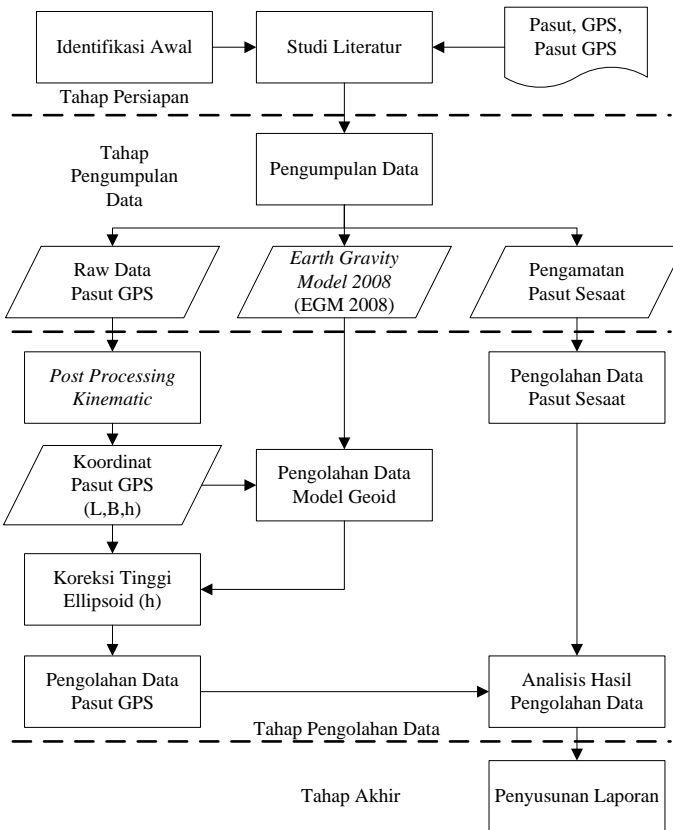
Pengolahan data EGM2008 menggunakan perangkat lunak Force versi 2.0.9p. Perangkat lunak ini merupakan perangkat lunak tidak berbayar dan dapat digunakan oleh siapa saja. Perangkat lunak Force merupakan perangkat lunak pemrograman bahasa C, untuk memproses data EGM2008 digunakan *script* pemrograman yang telah tersedia bersama data EGM2008.

Selanjutnya, untuk proses perhitungan pasut, penggambaran grafik, dan analisisnya menggunakan perangkat lunak Matlab R2013a. Matlab merupakan bahasa tingkat tinggi untuk perhitungan numerik, visualisasi, dan pemrograman.

Matlab dapat digunakan untuk analisis data, mengembangkan algoritma, dan membuat model serta aplikasi. Dengan bahasa, peralatan, dan fungsi yang ada di Matlab memungkinkan untuk mencari solusi lebih cepat daripada menggunakan *spreadsheet* atau bahasa pemrograman tradisional, seperti C/C++ atau Java.

3.3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan empat tahapan besar, yaitu tahap persiapan, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data dan tahap penyajian hasil pengolahan data. Pada Gambar 3.3 ditunjukkan diagram alir tahap penelitian tugas akhir. Tahap pertama merupakan tahap persiapan, dimana merupakan tahap awal dari penelitian untuk mempersiapkan dasar-dasar dalam penelitian. Dalam tahap ini kegiatan yang dilakukan yaitu identifikasi awal, dimana bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan yang akan dicari solusinya. Adapun permasalahan dalam penelitian ini adalah pemanfaatan teknologi GPS dalam bidang hidrografi khususnya untuk penentuan tinggi muka air laut dari waktu ke waktu. Teknologi GPS merupakan teknologi dalam hal penentuan posisi di permukaan bumi dengan memanfaatkan teknologi satelit. Dengan menggunakan GPS akan memudahkan dalam menentukan koordinat suatu titik di bumi. Koordinat tersebut merupakan koordinat yang mengacu pada bidang ellipsoid atau bidang matematis bumi. Sehingga nilai tinggi yang dihasilkan dengan pengamatan GPS merupakan tinggi yang mengacu pada bidang ellipsoid atau lebih dikenal dengan tinggi ellipsoid (h). Kemudian studi literatur, bertujuan untuk mendapatkan referensi yang berkaitan dengan cara pengolahan data pengamatan GPS dan pasang surut serta cara pengamatan pasang surut air laut menggunakan GPS metode kinematik. Referensi didapatkan dari buku-buku teori GPS, pasang surut dan penelitian-penelitian terdahulu mengenai pengamatan pasang surut laut menggunakan GPS dan survei bathimetri pada bidang ellipsoid.



Gambar 3.3 Diagram Alir Tahapan Penelitian

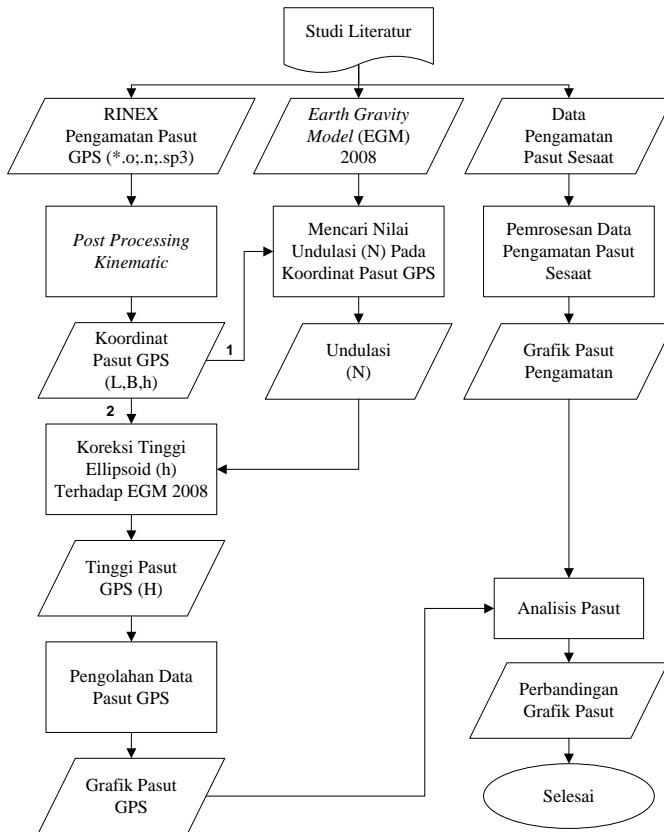
Tahap selanjutnya adalah pengumpulan data, dimana dilakukan untuk mengumpulkan data–data yang diperlukan dalam penelitian. Data tersebut didapatkan dari survei langsung dan dari situs penyedia data. Data primer merupakan data yang didapatkan melalui survei langsung seperti data pengamatan GPS dan pasut sesaat, sedangkan data sekunder merupakan data yang didapat dari situs web tertentu. Data yang diperlukan telah dijelaskan sebelumnya pada sub-bab Data.

Pengolahan data merupakan tahap dimana data yang sudah diperoleh dilakukan pemrosesan untuk mendapatkan nilai tinggi muka air laut dari waktu ke waktu. Dalam tahap pengolahan data terdapat tiga bagian utama pengolahan data, yaitu pengolahan data GPS, pengolahan data pasut sesaat, dan pengolahan data model geoid global. Pengolahan data pasut GPS merupakan turunan dari pengolahan data GPS dan pengolahan data model geoid global. Pengolahan data menggunakan perangkat lunak tertentu yang dijelaskan pada sub-bab Peralatan. Luaran yang dihasilkan dari tahap ini berupa tinggi pasut GPS yang telah direduksi dengan nilai undulasi dan komponen vertikal lainnya, grafik pasut GPS dan pasut pengamatan, nilai reduksi dari pasut GPS dengan pasut pengamatan serta analisisnya. Lebih lengkapnya akan dijelaskan pada sub-bab Pengolahan Data.

Tahap akhir merupakan tahap penyajian hasil penelitian dalam sebuah jurnal ilmiah dan laporan tugas akhir. Penyajian hasil pengolahan data pada dasarnya dapat dilakukan bersamaan dengan tahap pengolahan data berlangsung. Sehingga pada tahap akhir hanya perlu penyempurnaan isi laporan dan jurnal. Luaran dari tahap ini adalah jurnal ilmiah sesuai standar POMITS dan laporan tugas akhir sesuai standar di Departemen Teknik Geomatika.

3.4 Pengolahan Data

Terdapat tiga data utama yang akan diproses dalam penelitian tugas akhir, yaitu data GPS kinematik, data pasut sesaat, dan data model geoid global EGM2008. Sebelum memulai pemrosesan data, hal pertama yang dilakukan adalah mempelajari cara pemrosesan data dari penelitian sebelumnya atau dari buku-buku yang berkaitan dengan tema yang diangkat dalam Tugas Akhir yaitu pengamatan pasut menggunakan GPS. Setelah mempelajari cara pemrosesan data, kemudian dapat melanjutkan untuk memproses data yang telah diperoleh. Berikut merupakan diagram alir pengolahan data,



Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan Data

Data pertama yang diproses yaitu data pengamatan GPS kinematik di kapal yang diproses menggunakan perangkat lunak RTKLIB. Data pengamatan GPS terdiri dari data *base* dan *rover*. Data mentah GPS yang diperoleh dari survei GPS merupakan data dengan dengan format sesuai *receiver* yang digunakan. Untuk dapat diolah menggunakan perangkat lunak RTKLIB, maka data mentah GPS perlu dikonversi menjadi format *Receiver Independent Exchange Format* (RINEX). Data RINEX terdiri dari data observasi (*.o) dan data navigasi satelit (*.n). Informasi

tambahan diperlukan agar dapat diproses secara *post-processed kinematic*, informasi tambahan tersebut adalah koreksi orbit satelit (*.sp3). Koreksi orbit satelit digunakan agar koordinat yang dihasilkan lebih teliti. Dalam Tugas akhir ini, data *ephemeris* yang digunakan adalah jenis *rapid ephemeris*. Akurasi dari *rapid ephemeris* mencapai ~2,5 cm. Periode data *rapid ephemeris* antara 17-41 jam dan data ini akan diperbarui setiap hari pada jam 17.00 UTC dengan sampel interval 15 menit (Dow dkk., 2009). Dengan kata lain jika ingin menggunakan data koreksi orbit ini maka dapat diunduh dua hari setelah pengamatan GPS dilakukan. Misalnya pengamatan GPS dilakukan pada *day of year* (DOY) 131, maka data *rapid ephemeris* ini dapat diunduh pada DOY 133. *Rapid ephemeris* dapat diunduh di situs sopac.ucsd.edu. Luaran dari pengolahan data GPS adalah koordinat lintang, bujur, dan tinggi ellipsoid jalur pemeruman dan koordinat *base station* GPS. Koordinat *base station* ditentukan secara lokal melalui pengolahan *precise point positioning* (PPP) *single*. Koordinat yang dihasilkan merupakan koordinat antenna *receiver*. Maka tinggi ellipsoid yang dihasilkan merupakan tinggi ellipsoid antenna. Sehingga tinggi ellipsoid perlu direduksi dengan tinggi alat/antenna terhadap *benchmark* (BM) untuk tinggi ellipsoid BM dan terhadap permukaan air untuk tinggi ellipsoid permukaan air dari waktu ke waktu. Tinggi antenna diukur sekali pada saat survei GPS dilakukan. Tinggi antenna *rover* dianggap tetap, dalam arti tinggi antenna *rover* tidak berubah walaupun ada pengaruh pergerakan kapal (*pitch*, *roll*, dan *heave*). Koordinat lintang dan bujur diperlukan untuk mendapatkan nilai undulasi pada tiap titik, sedangkan nilai tinggi ellipsoid *rover* digunakan sebagai nilai tinggi pasut GPS.

Nilai undulasi didapatkan dari pengolahan data geoid global EGM2008. Data yang diperlukan untuk mendapatkan nilai undulasi adalah data perhitungan grid undulasi 1×1 menit, dan program untuk interpolasi data grid undulasi 1×1 menit. Program interpolasi tersebut tersedia bersama dengan data geoid global EGM2008. Sebagai data masukan, diperlukan koordinat lintang

dan bujur. Lokasi yang berada di selatan ekuator, koordinat lintang bernilai negatif. Program interpolasi undulasi tersebut dijalankan pada perangkat lunak Force (Pavlis dkk., 2008). Nilai undulasi yang dihasilkan kemudian diperlukan untuk mereduksi nilai tinggi ellipsoid titik *base* dan titik sepanjang jalur pemeruman menjadi tinggi orthometrik yang relatif terhadap model geoid global EGM2008.

Penentuan pasut GPS ditentukan relatif terhadap titik BM *base* GPS. Nilai tinggi ellipsoid *base* dan *rover* yang telah direduksi menjadi tinggi orthometrik kemudian dicari beda tingginya (dH). Beda tinggi yang dihasilkan akan memiliki nilai yang berbeda dengan nilai pasut pengamatan sesaat, tetapi pola grafik yang dihasilkan relatif sama. Untuk dapat menyamakan nilai pasut GPS dengan pasut pengamatan, maka perlu ditentukan beda tinggi antara titik BM *base* dengan nol rambu pasut. Nilai selisih titik *base* dengan nol rambu pasut kemudian ditambahkan dengan nilai dH yang sudah didapatkan sebelumnya. Dalam pengolahan data pasut GPS, hal yang menjadi tantangan adalah jumlah data yang dihasilkan. Interval data yang dihasilkan dari pengamatan pasut GPS dapat mencapai 1Hz, atau dengan kata lain setiap detik akan merekam data pasut. Sedangkan data pengamatan pasut sesaat, interval pengamatan paling cepat hanya 5 menit. Ketimpangan interval tersebut akan berpengaruh pada kualitas data yang dihasilkan. Data pasut yang dihasilkan menggunakan GPS memuat informasi tidak hanya tinggi muka air laut dari waktu ke waktu, tetapi juga tinggi muka air laut yang dipengaruhi oleh gelombang laut, arus, angin, dan pergerakan naik turunnya kapal (*pitch*, *roll*, dan *heave*). Sehingga diperlukan metode penyaringan dan penghalusan data pasut GPS. Metode penyaringan dan penghalusan data menggunakan *Moving Average Filtering*. Metode ini merupakan penyaringan data menggunakan rata-rata data sebelum dan sesudah data yang akan diganti, dimana data sebelum dan sesudahnya ditentukan oleh panjang *span* yang diinginkan. Secara umum metode *Moving Average Filtering* dapat dituliskan dengan rumus (Smith, 1999),

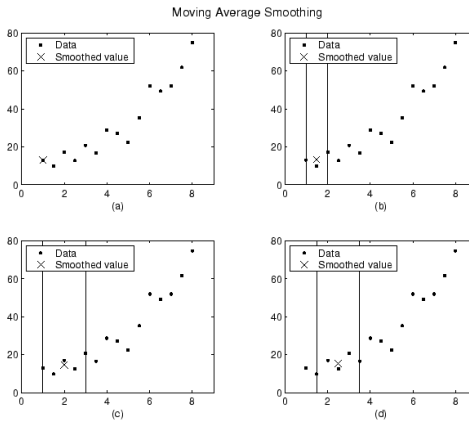
$$y_s(i) = \frac{1}{2N+1} (y(i+N) + y(i+N-1) + \dots + y(i-N)) \quad (3-1)$$

Dimana,

$y_s(i)$: data hasil *moving average filtering* ke i ,

N : jumlah data disamping $y_s(i)$,

$2N + 1$: rentang data.



Gambar 3.5 *Moving Average Filtering*

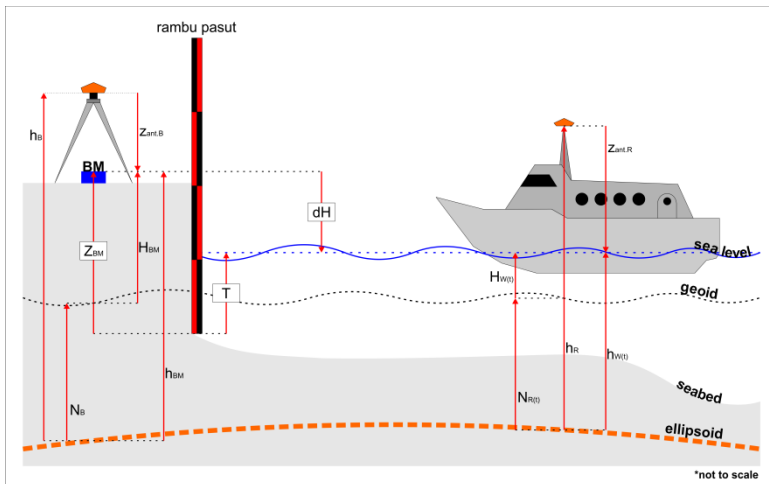
Dalam pendefinisian tinggi muka air laut menggunakan GPS perlu adanya komponen vertikal yang digunakan untuk reduksi nilai tinggi ellipsoid yang didapatkan menggunakan GPS. Komponen vertikal tersebut didapatkan melalui pengukuran langsung di lapangan dan hasil perhitungan data sekunder. Berdasarkan Gambar 3.6, komponen vertikal terbagi menjadi dua bagian, yaitu komponen vertikal di kapal dan komponen vertikal di stasiun *base* GPS. Pada stasiun *base* GPS, sebuah model separasi sederhana dapat didefinisikan dengan menarik rambu pasut menggunakan sipat datar ke titik BM *base*. Model separasi sederhana merupakan selisih antara ellipsoid dengan *chart datum*. Penentuan model separasi sederhana ini umumnya hanya berlaku untuk wilayah lokal saja, karena model separasi yang ditentukan

hanya berada satu titik dengan asumsi nilai variasi geoid dan topografi permukaan laut minimum (Mills dan Dodd, 2014).

$$SEP = h_B - Z_{ant.B} - Z_{BM} \quad (3-2)$$

Dimana, SEP adalah model separasi sederhana, h_B adalah tinggi ellipsoid *base*, $Z_{ant.B}$ adalah tinggi antenna *base* terhadap titik BM, dan Z_{BM} adalah tinggi titik BM terhadap nol rambu pasut (Sanders, 2003).

Dalam penentuan tinggi muka air laut pada penelitian ini dilakukan relatif terhadap titik BM *base*, sehingga model separasi sederhana tidak dipakai dalam perhitungan, tetapi nilai tinggi titik BM *base* terhadap *chart datum* yang dipakai dalam perhitungan. Tinggi BM terhadap nol rambu pasut (Z_{BM}) didapatkan dari pengukuran sipat datar.



Gambar 3.6 Komponen Vertikal Pasut GPS

Tinggi ellipsoid *base* ditentukan secara lokal dengan metode *Precise Point Positioning (PPP) single* menggunakan perangkat lunak RTKLIB. Luarannya berupa koordinat lintang,

bujur, dan tinggi ellipsoid WGS84. Untuk dapat menentukan tinggi ellipsoid titik BM maka perlu mengetahui tinggi antenna pada *base* ($Z_{\text{ant.B}}$). Tinggi antenna diukur manual menggunakan alat ukur panjang. Sehingga tinggi ellipsoid BM dapat dihitung dengan persamaan,

$$h_{\text{BM}} = h_{\text{B}} - z_{\text{ant.B}} \quad (3-3)$$

Dimana,

h_{BM} : tinggi ellipsoid BM,
 h_{B} : tinggi ellipsoid *base*,
 $z_{\text{ant.B}}$: tinggi antenna dari BM.

Sedangkan tinggi ellipsoid *rover* ditentukan relatif terhadap titik *base* dengan metode kinematik-diferensial. Luarnya berupa koordinat lintang, bujur, dan tinggi ellipsoid WGS84 sepanjang jalur pemeruman. Untuk mendapatkan tinggi ellipsoid permukaan air, perlu adanya informasi tinggi antenna dari permukaan air. Tinggi antenna *rover* dari permukaan air diasumsikan tetap, dengan kata lain tidak terpengaruh oleh gerakan kapal dan pengaruh lainnya seperti gelombang air. Sehingga persamaanya adalah,

$$h_{\text{W}(t)} = h_{\text{R}(t)} - z_{\text{ant.R}} \quad (3-4)$$

Dimana,

$h_{\text{w}(t)}$: tinggi ellipsoid muka air pada saat t ,
 $h_{\text{R}(t)}$: tinggi ellipsoid *rover* pada saat t ,
 $z_{\text{ant.R}}$: tinggi antenna dari permukaan air.

Informasi undulasi diperlukan untuk mengubah tinggi ellipsoid menjadi tinggi orthometrik. Nilai undulasi didapatkan dari model geoid global EGM2008, sehingga tinggi orthometrik yang didapatkan merupakan tinggi orthometrik relatif terhadap EGM2008. Pemrosesan data EGM2008 dilakukan di perangkat

lunak Force dengan bantuan program perhitungan undulasi. Koordinat lintang dan bujur diperlukan sebagai masukan data dalam pemrosesan model geoid global EGM2008. Nilai undulasi yang diperlukan meliputi undulasi di titik *base* dan undulasi di tiap titik *rover*. Sehingga untuk menghitung beda tinggi *base* dengan *rover* dapat menggunakan persamaan (Abidin, 2007),

$$dH_{(t)} = dh - dN \quad (3-5)$$

dimana,

$$dh = h_{w(t)} - h_{BM} \quad (3-6)$$

$$dN = N_{R(t)} - N_{BM} \quad (3-7)$$

- $dH_{(t)}$: beda tinggi orthometrik *base* dan *rover* pada saat t ,
 dh : beda tinggi ellipsoid *base* dan *rover*,
 dN : beda undulasi *base* dan *rover*,
 $N_{R(t)}$: undulasi di titik *rover* pada saat t ,
 N_{BM} : undulasi di titik BM.

Beda tinggi (dH) memiliki nilai yang berbeda dengan pasut pengamatan. Acuan dari dH merupakan titik BM/*base* sedangkan acuan pasut pengamatan adalah nol rambu pasut. Maka untuk dapat menyamakan acuan antara pasut GPS dengan pasut pengamatan perlu informasi beda tinggi antara rambu pasut dengan BM (Z_{BM}) atau dengan kata lain tinggi BM terhadap nol rambu pasut. Sehingga pasut GPS relatif terhadap titik *base* dapat dihitung dengan persamaan,

$$T_{(t)} = (h_{w(t)} - h_{BM}) - (N_{(t)} - N_{BM}) + Z_{BM} \quad (3-8)$$

Dimana $T_{(t)}$ adalah tinggi muka air pada saat t dan Z_{BM} didapatkan dari pengukuran sipat datar.

Pemrosesan data pasut GPS dilakukan di perangkat lunak Matlab dengan menggunakan *script* yang dibuat berdasarkan

persamaan diatas. Selain menghitung nilai tinggi muka air laut, dilakukan juga perhitungan nilai residual antara pasut pengamatan dengan pasut GPS. Residual didapatkan dari pengurangan pasut pengamatan dengan pasut GPS. Perbedaan jumlah data antara pasut pengamatan dengan pasut GPS menjadi tantangan tersendiri dalam melakukan perhitungan. Perbedaan jumlah data disebabkan oleh interval pengamatan antara pasut GPS dengan pasut pengamatan yang berbeda, dimana pasut GPS memiliki interval data setiap 10 detik sedangkan pasut pengamatan memiliki interval data setiap 5 menit. Untuk mengatasi ketimpangan jumlah data tersebut maka dilakukan interpolasi data pasut pengamatan menjadi setiap 10 detik. Selain jumlah data yang berbeda, waktu pengamatan pasut GPS dengan pasut pengamatan juga memiliki perbedaan, dimana pasut GPS mengacu pada UTC sedangkan pasut pengamatan mengacu pada waktu lokal, dalam hal ini waktu internet. Walaupun perbedaan waktu hanya berkisar pada detik, tetapi hal tersebut akan sangat berpengaruh pada saat pemrosesan data, terutama ketika akan mencari residual dan penggambaran grafik. Sehingga tidak hanya jumlah data elevasi pasut yang diinterpolasi, tetapi waktu juga perlu untuk diinterpolasi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

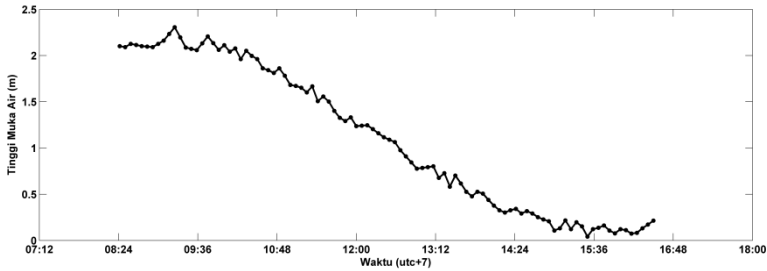
4.1 Hasil Pemrosesan Data

Hasil pemrosesan data berupa angka dan gambar. Data angka meliputi data pasut pengamatan sesaat, data pasut GPS dan nilai residual antara pasut pegamatan sesaat dengan pasut GPS, sedangkan hasil gambar berupa grafik pasang surut. Data pasut pengamatan sesaat berupa tabel angka pasut dengan interval 5 menit dalam satuan meter. Pasut sesaat kemudian digambarkan dalam grafik pasut pengamatan. Pasut pengamatan dilakukan selama dua hari dengan durasi 8 sampai dengan 9 jam per hari. Tabel 4.1 menunjukkan sampel hasil pengamatan pasut sesaat, lebih lengkapnya berada pada Lampiran A.1.

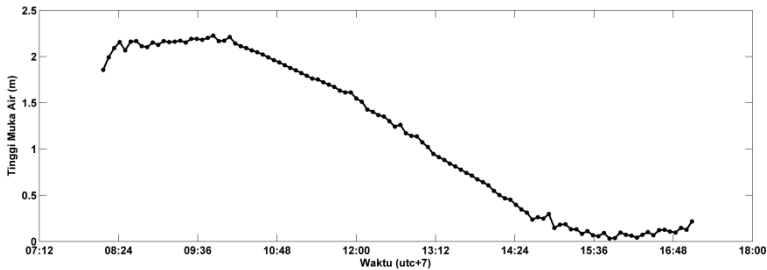
Tabel 4.1 Pasut Sesaat Sendang Biru

Tanggal dan Waktu	Pasut (m)	Tanggal dan Waktu	Pasut (m)
11/May/2017 08:25	2.102	12/May/2017 08:10	1.857
11/May/2017 08:30	2.092	12/May/2017 08:15	1.992
11/May/2017 08:35	2.127	12/May/2017 08:20	2.092
11/May/2017 08:40	2.115	12/May/2017 08:25	2.157
11/May/2017 08:45	2.102	12/May/2017 08:30	2.067
11/May/2017 08:50	2.097	12/May/2017 08:35	2.162
11/May/2017 08:55	2.092	12/May/2017 08:40	2.167
...
11/May/2017 16:10	0.074	12/May/2017 16:45	0.107
11/May/2017 16:15	0.082	12/May/2017 16:50	0.097
11/May/2017 16:20	0.132	12/May/2017 16:55	0.147
11/May/2017 16:25	0.172	12/May/2017 17:00	0.127
11/May/2017 16:30	0.214	12/May/2017 17:05	0.217

Dari pengamatan pasut sesaat yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 diatas, maka dapat dapat digambarkan dalam grafik pasang surut. Pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 akan ditunjukkan grafik pasang surut sesaat.



Gambar 4.1 Grafik Pasut Sesaat 11/05/2017



Gambar 4.2 Grafik Pasut Sesaat 12/05/2017

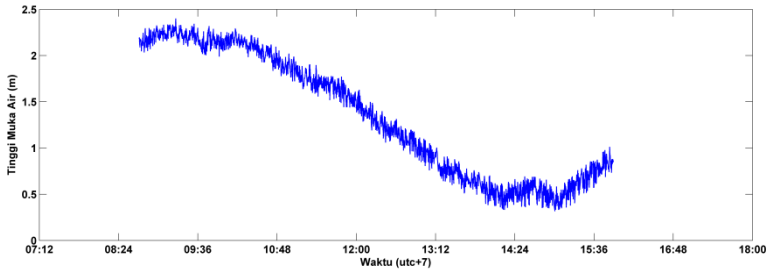
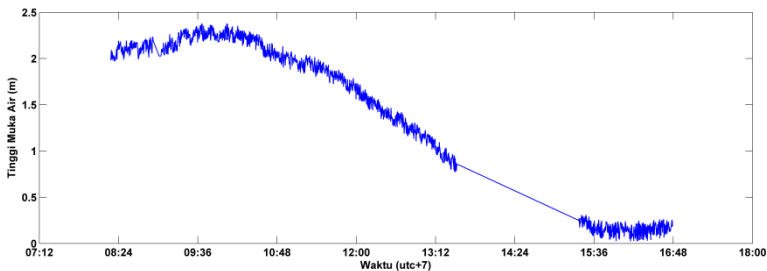
Pemrosesan data RINEX GPS tidak secara langsung menghasilkan tinggi muka air laut terhadap nol rambu pasut, melainkan tinggi *receiver* GPS terhadap ellipsoid. Untuk mendapatkan tinggi muka air laut maka harus melalui proses reduksi tinggi dengan komponen vertikal seperti yang sudah dijelaskan pada sub-bab Pengolahan Data. Komponen vertikal yang dimaksudkan didapatkan melalui pengukuran langsung dan hasil dari pengolahan data sekunder, EGM2008. Pada Tabel 4.2 akan ditunjukkan sampel hasil dari perhitungan pasut GPS dengan interval 10 detik, dimana nilai pasut GPS merupakan hasil dari

reduksi tinggi ellipsoid yang dihasilkan *receiver* GPS dengan komponen vertikal hasil pengukuran dan hasil perhitungan data EGM2008 serta telah dilakukan proses pembersihan dan penyaringan data, sehingga nilai pasut GPS mendekati nilai pasut pengamatan.

Tabel 4.2 *Raw* Pasut GPS Sendang Biru

Tanggal dan Waktu	Pasut GPS (m)	Tanggal dan Waktu	Pasut GPS (m)
11/May/2017 08:42:44	2.1820	12/May/2017 08:13:14	1.3503
11/May/2017 08:42:54	2.1964	12/May/2017 08:13:24	1.4640
11/May/2017 08:43:04	2.1260	12/May/2017 08:13:34	1.5534
11/May/2017 08:43:14	2.1101	12/May/2017 08:13:44	1.5632
11/May/2017 08:43:24	2.0887	12/May/2017 08:13:54	1.6592
11/May/2017 08:43:34	2.1831	12/May/2017 08:14:04	1.6712
11/May/2017 08:43:44	2.1521	12/May/2017 08:14:14	1.7618
11/May/2017 08:43:54	2.1690	12/May/2017 08:14:24	1.6991
11/May/2017 08:44:04	2.1707	12/May/2017 08:14:34	1.6832
11/May/2017 08:44:14	2.1729	12/May/2017 08:14:44	1.6757
...
11/May/2017 15:52:34	0.8280	12/May/2017 16:46:14	0.1819
11/May/2017 15:52:44	0.8287	12/May/2017 16:46:24	0.2028
11/May/2017 15:52:54	0.8793	12/May/2017 16:46:34	0.2347
11/May/2017 15:53:04	0.8783	12/May/2017 16:46:44	0.2563
11/May/2017 15:53:14	0.7323	12/May/2017 16:46:54	0.1813
11/May/2017 15:53:24	0.2306	12/May/2017 16:47:04	0.2445

Dari nilai pasut GPS tersebut digambar grafik pasutnya. Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 akan menunjukkan grafik pasut GPS.

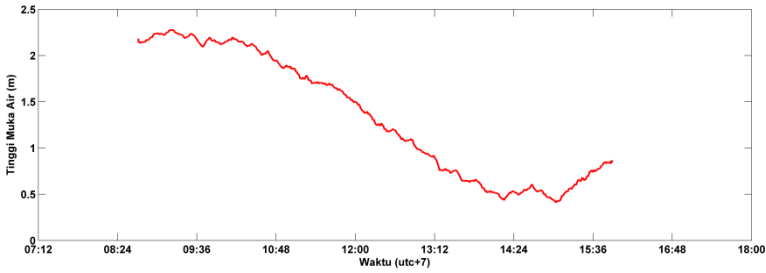
Gambar 4.3 Grafik *Raw* Pasut GPS 11/05/2017Gambar 4.4 Grafik *Raw* Pasut GPS 12/05/2017

Tabel 4.2 merupakan data pasut GPS yang telah melalui proses pembersihan *noise* atau data pasut yang melebihi batas yang telah ditentukan. Walaupun sudah melalui pembersihan data, tetapi data tersebut masih memuat efek pergerakan kapal dan fenomena laut lainnya. Untuk meminimalisir efek dari pergerakan kapal dan fenomen laut lainnya maka data tersebut harus diproses lebih lanjut yaitu penghalusan dan penyaringan data menggunakan metode *Moving Average Filtering*. Pada Tabel 4.3 berikut merupakan data pasut GPS hasil *Moving Average Filtering*.

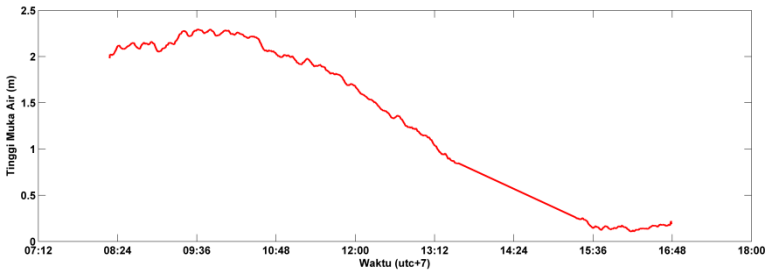
Tabel 4.3 *Smoothing and Filtering* Pasut GPS

Tanggal dan Waktu	Pasut GPS (m)	Tanggal dan Waktu	Pasut GPS (m)
11/May/2017 08:42:44	2.1820	12/May/2017 08:13:14	1.3503
11/May/2017 08:42:54	2.1681	12/May/2017 08:13:24	1.4559
11/May/2017 08:43:04	2.1406	12/May/2017 08:13:34	1.5180
11/May/2017 08:43:14	2.1483	12/May/2017 08:13:44	1.5747
11/May/2017 08:43:24	2.1531	12/May/2017 08:13:54	1.6006
11/May/2017 08:43:34	2.1544	12/May/2017 08:14:04	1.6130
11/May/2017 08:43:44	2.1440	12/May/2017 08:14:14	1.6334
11/May/2017 08:43:54	2.1412	12/May/2017 08:14:24	1.6420
11/May/2017 08:44:04	2.1386	12/May/2017 08:14:34	1.6574
11/May/2017 08:44:14	2.1380	12/May/2017 08:14:44	1.6765
...
11/May/2017 15:52:34	0.7811	12/May/2017 16:46:14	0.1865
11/May/2017 15:52:44	0.7734	12/May/2017 16:46:24	0.1959
11/May/2017 15:52:54	0.7708	12/May/2017 16:46:34	0.2061
11/May/2017 15:53:04	0.7463	12/May/2017 16:46:44	0.2128
11/May/2017 15:53:14	0.7135	12/May/2017 16:46:54	0.2209
11/May/2017 15:53:24	0.6033	12/May/2017 16:47:04	0.2046

Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 menunjukkan hasil *plotting* data pasut GPS yang telah melalui proses *Moving Average Filtering*. Pola grafik yang ditunjukkan tidak jauh berbeda dengan pola grafik pasut pengamatan.



Gambar 4.5 Grafik *Smoothing* Pasut GPS 11/05/2017



Gambar 4.6 Grafik *Smoothing* Pasut GPS 12/05/2017

Dari nilai pasut yang didapatkan, yaitu pasut pengamatan, *raw* pasut GPS, dan *smoothing* pasut GPS kemudian dicari nilai residualnya. Nilai residual merupakan nilai selisih atau perbedaan individu dalam populasi data pasut. Tabel 4.4 menunjukkan nilai residual dari pasut pengamatan dengan *raw* pasut GPS dan pasut pengamatan dengan *smoothing* pasut GPS.

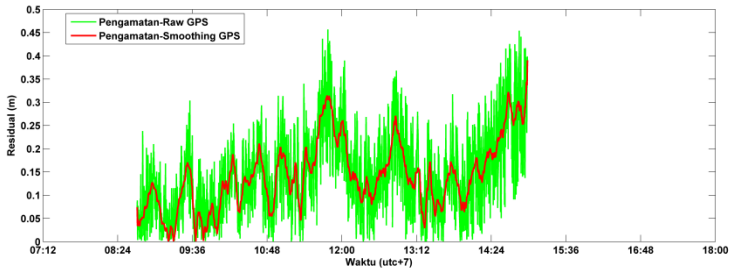
Tabel 4.4 Residual Pasut

Tanggal dan Waktu	Pasut Pengamatan (m)	Raw Pasut GPS (m)	Smoothing Pasut GPS (m)	Residual 1 (m)	Residual 2 (m)
11/May/2017 08:42:44	2.1079	2.1820	2.1820	0.0741	0.0741
11/May/2017 08:42:54	2.1075	2.1964	2.1681	0.0889	0.0607
11/May/2017 08:43:04	2.1070	2.1260	2.1406	0.0190	0.0336
11/May/2017 08:43:14	2.1066	2.1101	2.1483	0.0035	0.0418

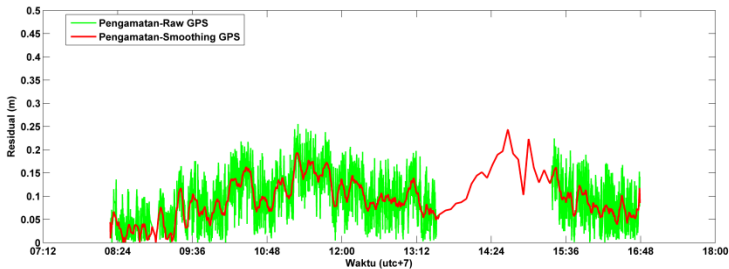
Tanggal dan Waktu	Pasut Pengamatan (m)	Raw Pasut GPS (m)	Smoothing Pasut GPS (m)	Residual 1 (m)	Residual 2 (m)
11/May/2017 08:43:24	2.1062	2.0887	2.1531	0.0175	0.0470
11/May/2017 08:43:34	2.1057	2.1831	2.1544	0.0774	0.0486
11/May/2017 08:43:44	2.1053	2.1521	2.1440	0.0468	0.0387
...
11/May/2017 15:53:14	0.0876	0.7323	0.7135	0.6447	0.6259
11/May/2017 15:53:24	0.0866	0.2306	0.6033	0.1440	0.5167
11/May/2017 15:53:34	0.0856	0.8470	0.8470	0.7614	0.7614
12/May/2017 08:13:14	1.9443	1.3503	1.3503	0.5940	0.5940
12/May/2017 08:13:24	1.9488	1.4640	1.4559	0.4848	0.4929
12/May/2017 08:13:34	1.9533	1.5534	1.5180	0.3999	0.4353
12/May/2017 08:13:44	1.9578	1.5632	1.5747	0.3946	0.3831
12/May/2017 08:13:54	1.9623	1.6592	1.6006	0.3031	0.3617
12/May/2017 08:14:04	1.9668	1.6712	1.6130	0.2956	0.3538
12/May/2017 08:14:14	1.9713	1.7618	1.6334	0.2095	0.3379
...
12/May/2017 16:46:54	0.1032	0.1813	0.2209	0.0781	0.1177
12/May/2017 16:47:04	0.1029	0.2445	0.2046	0.1416	0.1017
12/May/2017 16:47:14	0.1025	0.1880	0.1880	0.0854	0.0854

Residual 1 merupakan selisih antara pasut pengamatan dengan *raw* pasut GPS, sedangkan Residual 2 merupakan selisih antara pasut pengamatan dengan *smoothing* pasut GPS dimana nilai residualnya dinyatakan dengan harga mutlak/absolut sehingga nilainya positif.

Dari nilai residu tersebut dapat digambarkan dalam grafik. Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 menunjukkan grafik residual pasut.



Gambar 4.7 Grafik Residu Pasut 11/05/2017



Gambar 4.8 Grafik Residu Pasut 12/05/2017

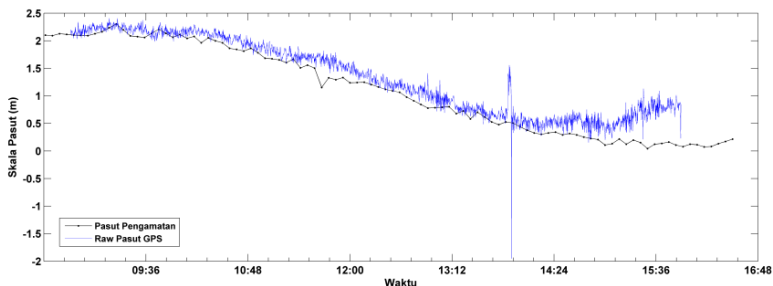
Dalam grafik residual terdapat dua garis grafik, yaitu grafik berwarna hijau adalah grafik Residual 1, dimana merupakan selisih antara pasut pengamatan dengan *raw* pasut GPS dan grafik berwarna merah merupakan selisih antara pasut pengamatan dengan *smoothing* pasut GPS.

4.2 Pembahasan

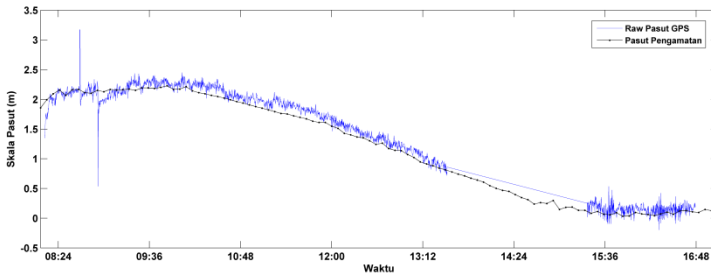
Jika diasumsikan nilai tinggi muka air dari stasiun pasut/pasut pengamatan sebagai nilai tinggi muka air yang benar, maka perbedaan antara tinggi muka air yang dihasilkan melalui pengamatan GPS tidak selalu memberikan solusi pada level sentimeter (cm). Ada kalanya perbedaan nilai tinggi muka air yang dihasilkan dari pengamatan GPS dengan tinggi muka air yang dihasilkan melalui pengamatan palem pasut akan mencapai level desimeter (dm) sampai dengan meter (m). Hal tersebut dapat terjadi karena beberapa faktor (Mills & Dodd, 2014), diantaranya:

1. Kesalahan pada tinggi stasiun *base*,
2. Kesalahan pada pengukuran tinggi antenna *rover*,
3. Kesalahan pada model separasi.

Penting untuk memiliki suatu prosedur mengatasi keadaan tersebut. Salah satunya dengan membandingkan nilai muka air yang didapatkan GPS dengan muka air pengamatan. Dalam Penelitian Tugas Akhir ini dilakukan perbandingan antara data pengamatan pasut menggunakan GPS dengan data pengamatan pasut menggunakan palem pasut. Dari perbandingan grafik pasut, terlihat bahwa pola grafik pasut GPS dengan pasut pengamatan memiliki pola yang relatif sama. Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan grafik pasut pengamatan dengan grafik *raw* pasut GPS.

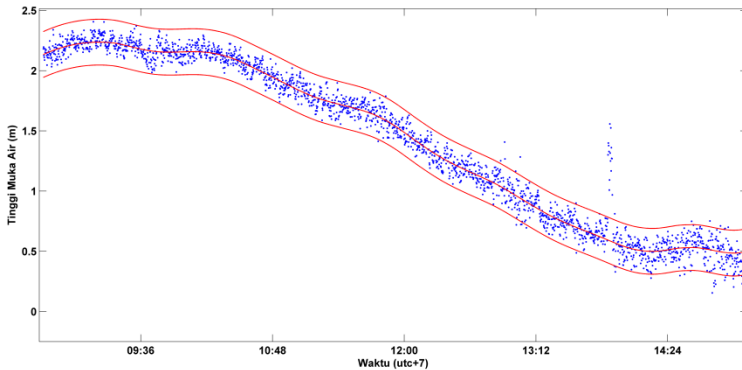
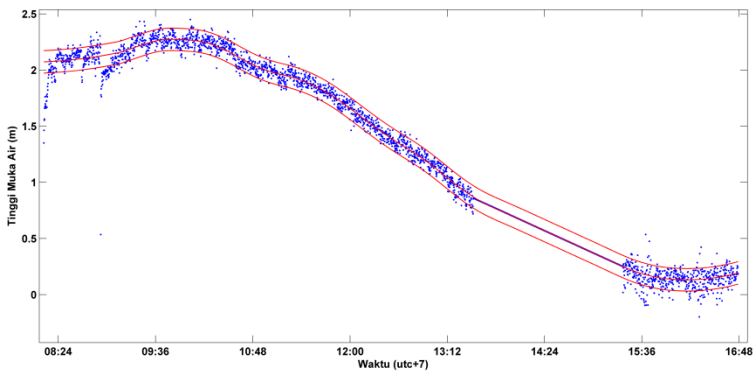


Gambar 4.9 Perbandingan Pasut Pengamatan-*Raw* Pasut GPS
11/05/2017



Gambar 4.10 Perbandingan Pasut Pengamatan-Raw Pasut GPS
12/05/2017

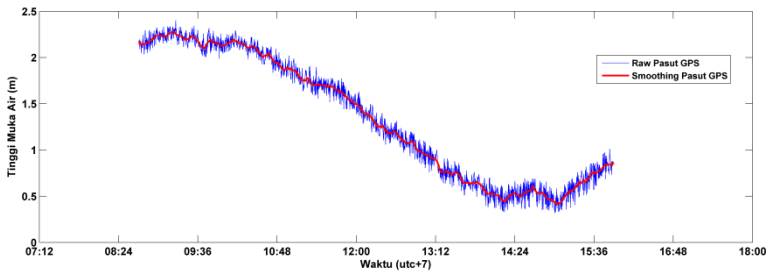
Kuantitas data pasut GPS dengan pasut sesaat memiliki perbedaan yang signifikan. Perbedaan kuantitas data ini terjadi karena adanya perbedaan interval pengamatan, dimana interval pengamatan pasut GPS sangat rapat yaitu 10 detik sedangkan pasut konvensional interval pengamatannya 5 menit. Dengan interval yang rapat, maka informasi tinggi muka air laut yang teramati banyak dipengaruhi oleh dinamika kapal karena dinamika laut. Maka perlu dilakukan pembersihan dan penyaringan data (DeLoach, 1995). Untuk penyaringan data *time series* pasut GPS dapat menggunakan metode *fast fourier transform* atau *moving average filtering* (Maltais, tanpa tahun). Metode penghalusan dan penyaringan data digunakan untuk meminimalisir efek dari dinamika kapal dan dinamika laut pada saat pemeruman. Sehingga tinggi muka air laut yang direkam oleh *receiver* GPS akan memiliki nilai grafik yang halus dan mendekati nilai grafik pasut pengamatan. Tidak semua data pasut yang teramati menggunakan GPS memberikan solusi yang mendekati pasut pengamatan langsung. Adakalanya tinggi pasut yang teramati menggunakan GPS akan memiliki nilai yang tidak masuk akal. Seperti pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12, ditunjukkan nilai tinggi pasut GPS ketimpangan dengan data tinggi pasut sebelum dan sesudahnya. Hal seperti ini disebut dengan *noise* yang harus dihapus, karena akan mengurangi kualitas data pasut GPS.

Gambar 4.11 *Noise* Pasut GPS 11/05/2017Gambar 4.12 *Noise* Pasut GPS 12/05/2017

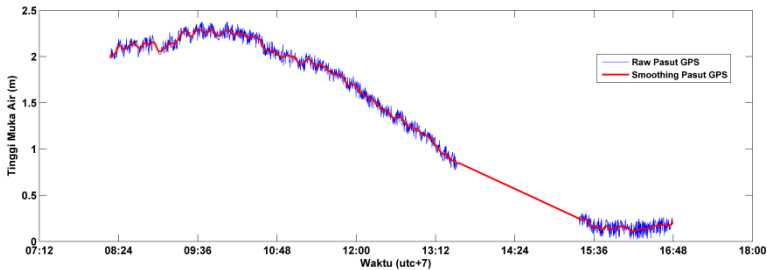
Penghapusan *noise* dilakukan dengan cara menghapus data yang tidak masuk dengan toleransi. Toleransi didapatkan dengan cara mencari nilai tengah dari data *raw* pasut GPS dan nilai standar deviasinya. Untuk mencari rentang nilai yang dianggap benar/toleransi, maka nilai tengah yang didapatkan tadi ditambah dan kurang dengan satu kali nilai standar deviasi, atau disebut dengan batas atas dan batas bawah. Nilai *raw* pasut GPS yang dianggap benar adalah data yang berada diantara batas atas

dan batas bawah, sedangkan yang berada di luar batas toleransi dianggap *noise* dan harus dihapus, lihat Gambar 4.12 dan 4.11.

Dalam tugas akhir ini menggunakan metode penyaringan data *moving average filtering*. *Moving Average Filtering* merupakan metode penyaringan data dengan mengganti pada tiap data dengan rata-rata dari rentang data. Rentang data yang digunakan adalah data selama 5 menit. Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 menunjukkan perbandingan grafik *raw* pasut GPS dengan *smoothing* pasut GPS, dimana data *raw* pasut GPS dilakukan pembersihan data dari *noise* terlebih dahulu.



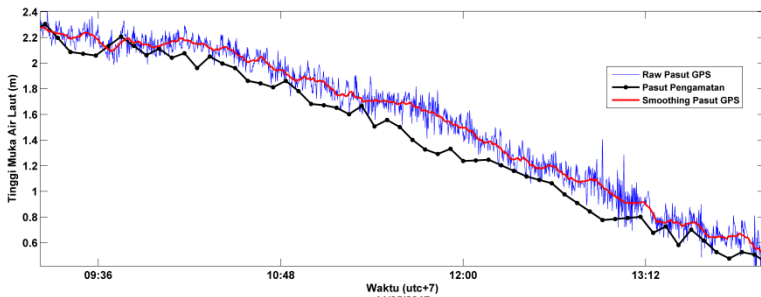
Gambar 4.13 Perbandingan *Raw* dengan *Smoothing* Pasut GPS
11/05/2017



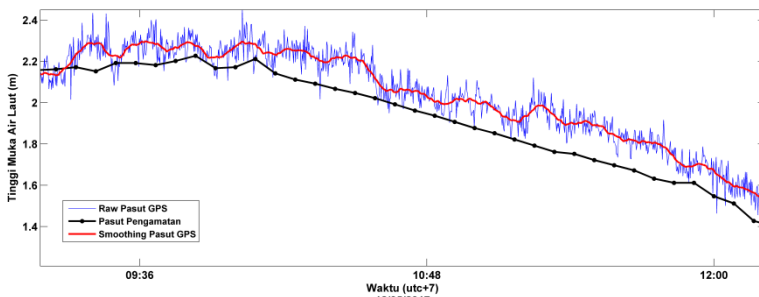
Gambar 4.14 Perbandingan *Raw* dengan *Smoothing* Pasut GPS
12/05/2017

Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 terdapat dua grafik, yaitu grafik berwarna biru menunjukkan grafik *raw* pasut GPS dan

grafik berwarna merah menunjukkan grafik *smoothing* pasut GPS. Grafik tersebut adalah grafik akhir dari pengolahan data pasut GPS. Selanjutnya adalah melakukan perbandingan antara grafik pasut GPS dengan grafik pasut pengamatan.



Gambar 4.15 Grafik Pasut Sesaat 11/05/2017



Gambar 4.16 Grafik Pasut Sesaat 12/05/2017

Perbandingan grafik pasut GPS dengan grafik pasut pengamatan menunjukkan pola pasut yang relatif sama. Perbedaan pasut GPS dengan pasut pengamatan terjadi karena adanya perbedaan interval waktu pengamatan sehingga informasi yang terkandung dalam data pasut juga berbeda.

Dari perbandingan data pasut GPS dengan pasut pengamatan tersebut, dapat dihitung nilai residual dari data pasut

pengamatan dengan pasut GPS. Secara umum dapat dituliskan seperti (DeLoach, 1995),

$$r(t) = h(t)_{obs} - h(t)_{gps} \quad (4-1)$$

Dimana, $r(t)$ merupakan residual pada saat t , $h(t)_{obs}$ merupakan tinggi pasut pengamatan pada saat t , dan $h(t)_{gps}$ merupakan tinggi pasut GPS pada saat t . Tabel 4.5 menunjukkan nilai rata-rata residual.

Tabel 4.5 Residual Pasut

Tanggal	Keterangan	Terbesar (cm)	Terkecil (cm)	Rata-rata Residual (cm)
11/05/2017	Pasut pengamatan-raw pasut GPS	45,68	0	14,55
	Pasut pengamatan-smoothing pasut GPS	39,04	0,07	14,15
12/052017	Pasut pengamatan-raw pasut GPS	25,54	0,02	10,18
	Pasut pengamatan-smoothing pasut GPS	24,35	0,03	9,96

Dari nilai selisih pasut pengamatan dengan pasut GPS secara umum menunjukkan nilai rentang selisih yang cukup besar, baik selisih antara pasut pengamatan dengan *raw* pasut GPS ataupun selisih pasut pengamatan dengan *smoothing* pasut GPS. Rentang terbesar terjadi antara pasut pengamatan dengan *raw* pasut GPS pada tanggal 11 Mei 2017 dengan rentang mencapai hampir 0,5 meter. Sedangkan secara umum rentang terkecil terjadi pada tanggal 12 Mei 2017 dengan rentang 0,25 meter baik antara pasut pengamatan dengan *raw* pasut GPS maupun dengan *smoothing* pasut GPS. Dari nilai residual yang didapatkan, maka dapat dicari nilai standar deviasinya dengan rumus (DeLoach, 1995),

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (r(t) - \bar{r})^2}{(n-1)}} \quad (4-2)$$

Dengan SD adalah standar deviasi, $r(t)$ adalah residual ke t , \bar{r} adalah rata-rata residual, dan n adalah panjang data.

Tabel 4.6 menunjukkan standar deviasi residual pasut. Secara umum standar deviasi pada pengamatan 11 Mei 2017 memiliki nilai yang lebih besar dari pengamatan pada 12 Mei 2017, yaitu mencapai 0,09 meter atau 9 sentimeter. Sedangkan pada pengamatan 12 Mei 2017 nilai standar deviasi terbesar mencapai 0,05 meter atau 5 sentimeter.

Tabel 4.6 Standar Deviasi Residual

Keterangan	Standar Deviasi (cm)
Pasut pengamatan- <i>raw</i> pasut GPS 11/05	9,13
Pasut pengamatan- <i>smoothing</i> pasut GPS 11/05	7,28
Pasut pengamatan- <i>raw</i> pasut GPS 12/05	5,67
Pasut pengamatan- <i>smoothing</i> pasut GPS 12/05	4,77

Merujuk pada rumus (2-6) sebelumnya, hasil pengamatan pasut sesaat menggunakan GPS dapat diketahui tingkat keakurasiannya dengan menganggap nilai pasut pengamatan palem sebagai nilai pasut yang dianggap benar. Dari perhitungan RMSE (*Root Mean Squared Error*) didapatkan nilai seperti pada Tabel 4.7 berikut,

Tabel 4.7 Nilai RMSE Pasut GPS

Keterangan	RMSE (cm)
<i>Raw</i> pasut GPS-Pasut pengamatan 11/05	17,17
<i>Smoothing</i> pasut GPS-Pasut pengamatan 11/05	15,91
<i>Raw</i> pasut GPS-Pasut pengamatan 12/05	11,66
<i>Smoothing</i> pasut GPS-Pasut pengamatan 12/05	11,04

Secara umum nilai RMSE yang dihasilkan berkisar antara 11-17 sentimeter, baik RMSE *raw* pasut GPS terhadap pasut pengamatan maupun *smoothing* pasut GPS terhadap pasut pengamatan. Hal ini mengartikan bahwa kesalahan rata-rata pasut GPS relatif kecil.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

5.1 Kesimpulan

Pada dasarnya pola pasut GPS relatif sama dengan pola pasut pengamatan sesaat, walaupun terdapat perbedaan yang besar. Perbedaan tersebut muncul terkait dengan komponen vertikal yang dipakai, yaitu undulasi dan adanya topografi permukaan laut, dimana topografi permukaan laut merupakan perbedaan muka air laut rata-rata dengan geoid. Namun hal tersebut harus diteliti dengan seksama sebelum dapat ditarik kesimpulan yang tepat. Selisih yang dihasilkan dari pasut pengamatan dengan pasut GPS merupakan hal yang wajar, karena perbedaan lokasi pengamatan. Selain itu interval pengamatan juga menjadi salah satu faktor adanya selisih pasut. Semakin rapat interval pengamatan maka semakin besar dampak dinamika laut dan kapal terhadap nilai pasut yang teramati.

Pembersihan data GPS diperlukan guna mengurangi gangguan terkait tinggi yang dihasilkan menggunakan GPS. Penggunaan sensor gerakan atau *Inertial Motion Unit* (IMU) akan membantu dalam mengurangi gangguan pada penetapan tinggi GPS. Metode penyaringan dan penghalusan data seperti *moving average filtering* juga membantu dalam mengurangi efek dari gangguan dinamika laut yang mempengaruhi tinggi ellipsoid GPS. Tantangan kedepan adalah pengembangan model untuk transformasi tinggi dari ellipsoid ke *chart datum*. Sehingga akan menghasilkan data pasut GPS yang memiliki ketelitian baik. Selain itu metode penyaringan dan penghalusan data *time series* pasut GPS yang lebih baik juga menjadi sebuah pekerjaan rumah kedepannya. Metode *Real Time Kinematic* (RTK) juga perlu untuk dicoba, mengingat dengan metode RTK akan didapatkan posisi lintang, bujur, dan tinggi ellipsoid secara *real time*. Hal yang tidak kalah penting adalah penyamaan sistem waktu antara pasut GPS dengan pasut pengamatan. Perbedaan sistem waktu

akan berpengaruh pada pola pasut yang dihasilkan walaupun perbedaan waktu tersebut hanya berkisar pada detik.

Perhitungan residual menunjukkan selisih pasut pengamatan dengan pasut GPS berkisar antara 0 hingga 0,5 meter dengan rata-rata berkisar antara 9 hingga 15 cm. Dari perhitungan residual dapat dihitung juga nilai standar deviasinya. Standar deviasi merupakan perkiraan kesalahan standar populasi. Karena kesalahan standar tidak dapat ditentukan, standar deviasi adalah ekspresi praktis untuk ketepatan sampel kumpulan data.

Tabel 5.1 Perbandingan Rata-rata Residual dengan Standar Deviasi Residual

Tanggal	Keterangan	Rata-rata Residual (cm)	Standar Deviasi (cm)
11/05/2017	Pasut pengamatan- <i>raw</i> pasut GPS	14,55	9,13
	Pasut pengamatan- <i>smoothing</i> pasut GPS	14,15	7,28
12/05/2017	Pasut pengamatan- <i>raw</i> pasut GPS	10,18	5,67
	Pasut pengamatan- <i>smoothing</i> pasut GPS	9,96	4,77

Nilai standar deviasi lebih kecil daripada nilai rata-ratanya menunjukkan rendahnya variasi residual yang dihasilkan, dengan kata lain tidak ada kesenjangan yang cukup besar antara residual tertinggi dengan terendah.

Perhitungan RMSE menunjukkan nilai yang relatif kecil, yaitu berkisar diantara 11-17 sentimeter. Nilai RMSE ini digunakan untuk mengetahui tingkat keakuratan nilai pasut yang dihasilkan menggunakan GPS. Berdasarkan nilai RMSE yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 sebelumnya, dapat dikatakan bahwa nilai pasut GPS memiliki tingkat akurasi yang relatif tinggi.

Penggunaan GPS untuk penentuan tinggi muka air laut merupakan hal yang baru dan jarang dilakukan. Hal tersebut karena bidang acuan tinggi GPS merupakan bidang ellipsoid, yang merupakan model matematis. Sedangkan untuk keperluan

praktis, bidang acuan tinggi akan lebih baik jika mengacu pada bentuk fisik bumi atau geoid. Untuk dapat digunakan dalam koreksi kedalaman, tinggi muka air laut yang didapatkan menggunakan GPS harus ditransformasikan ke bidang fisik bumi/*chart datum*.

Secara garis besar dari hasil perhitungan dan uraian kesimpulan diatas, pola pasang surut laut sesaat yang dihasilkan dari pengamatan langsung menggunakan palem pasut dengan pengamatan pasut menggunakan GPS metode kinematik-diferensial di kapal pada saat pemeruman menunjukkan pola yang relatif sama. Walaupun terdapat selisih antara pasut pengamatan konvensional dengan pasut GPS. Nilai standar deviasi residual juga menunjukkan bahwa rendahnya variasi dari residual antara pasut pengamatan dengan pasut GPS. Nilai RMSE pasut GPS juga menunjukkan tingkat akurasi yang relatif tinggi. Dari hasil penggambaran perbandingan grafik, nilai standar deviasi residual, dan nilai RMSE pasut GPS, maka penulis dapat menyimpulkan bahwa pasut sesaat yang diperlukan dalam koreksi kedalaman hasil pemeruman dapat diamati menggunakan metode kinematik-diferensial GPS. Walaupun masih perlu adanya studi lebih lanjut mengenai penggunaan pasut GPS.

5.2 Rekomendasi

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, penulis mempunyai beberapa rekomendasi untuk menjadi bahan diskusi dan praktik penelitian kedepan, yaitu:

1. Data pembanding tidak hanya menggunakan data pasut sesaat, tetapi juga menggunakan data prediksi pasut. Selain itu juga menggunakan metode *Real Time Kinematic* (RTK) dalam penentuan posisinya.
2. Data tinggi yang dihasilkan oleh GPS di kapal akan sangat bervariasi. Variasi tersebut terjadi karena efek dari dinamika kapal (*pitch, roll, heave*) dan dinamika laut (ombak, angin), maka perlu menggunakan sensor gerakan/*Inertial Motion Unit* (IMU) untuk mereduksi nilai tinggi yang diperoleh GPS

sehingga nilai tinggi tersebut akan lebih teliti. Serta akan berpengaruh pada nilai pasut GPS yang diperoleh.

3. Pengembangan model separasi antara ellipsoid dengan *chart datum* menjadi hal yang penting dalam penentuan tinggi muka air laut menggunakan GPS. Model separasi antara ellipsoid dengan *chart datum* digunakan untuk mengubah tinggi ellipsoid ke tinggi *chart datum*. Perlu dicatat, *chart datum* tidak sama dengan nol rambu pasut.
4. Perbedaan interval pengamatan antara pasut GPS dengan pasut konvensional akan sangat berpengaruh terhadap jumlah data yang dihasilkan. Selain itu juga akan berpengaruh pada variasi tinggi yang dihasilkan. Tinggi yang dihasilkan GPS akan lebih bervariasi karena interval perekaman data mencapai 1 detik per data, sehingga banyak efek dari dinamika kapal dan laut. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu adanya metode penyaringan data yang lebih baik. Penulis merekomendasikan untuk memakai metode *Fast Fourier Transform* (FFT).
5. Waktu menjadi parameter penting dalam pengamatan pasut. Waktu GPS dengan waktu pengamatan pasut konvensional akan memiliki perbedaan. Perlu adanya metode yang lebih baik untuk menyamakan waktu pasut GPS dengan waktu pasut pengamatan.
6. Dalam pengamatan pasut GPS akan mengalami berbagai gangguan. Gangguan tersebut bisa saja tidak terdeteksi, tetapi berpengaruh pada hasil pengolahan GPS. Salah satunya adalah adanya *spike/noise* data pasut GPS, dimana data tinggi pasut GPS akan melenceng jauh. Maka dari itu perlu metode penghapusan *noise* yang baik.
7. Jika menggunakan metode diferensial, maka diusahakan untuk mendirikan *base* pada titik referensi tetap yang sudah memiliki informasi koordinat fiks.
8. Untuk dapat mengekstrak konstanta harmonik perlu periode pengamatan yang panjang. Dalam hal ini pengamatan pasut

GPS dilakukan tidak hanya di kapal saat pemeruman, tetapi juga diluar waktu pemeruman.

9. Interval pengamatan pasut GPS lebih baik ditingkatkan menjadi per satu detik. Tetapi semakin rapat interval maka semakin besar ruang penyimpanan data GPS yang diperlukan.
10. Konfigurasi vertikal di kapal dan stasiun referensi supaya dilakukan secara cermat, karena konfigurasi tersebut akan mempengaruhi hasil reduksi nilai tinggi yang dihasilkan GPS.
11. Hasil pengamatan pasut GPS perlu untuk diuji dalam perhitungan kedalaman hasil survei bathimetri.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2007). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya* (3rd ed.). Jakarta, Indonesia: PT. Pradnya Paramita.
- Cornel, Sean; Fitzgerald, Duncan; Frey, Nathan; Georgiou, Ioannis; Hanegan, Kevin C.; Hung, Li-San; Kulp, Mark; Maygarden, Diane; Retchless, David; Yarnal, B. (2017). Spring and Neap Tides. Diambil 25 Januari 2017, dari <https://www.e-education.psu.edu/earth107/node/984>
- Deloach, S. R. (1995). *GPS Tides : a Project To Determine Tidal Datums With the Global Positioning System*. New Brunswick, Canada.
- Dodd, D. W. (2010). Application of GPS Heights to Bay of Fundy Multibeam Data.
- Dow, J. M., Neilan, R. E., & Rizos, C. (2009). The International GNSS Service in a Changing Landscape of Global Navigation Satellite Systems. *Journal of Geodesy*, 83(3–4), 191–198. <https://doi.org/10.1007/s00190-008-0300-3>
- Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. (2011). *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis. International Journal of Geographical Information Science* (4 ed., Vol. 25). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1080/13658816.2010.501335>
- Hadi, I. M. S. (2015). Skenario Penentuan Posisi dengan Metode Relatif Statik. Diambil 14 Januari 2017, dari <http://www.madesapta.com/2015/03/skenario-penentuan-posisi-dengan-metode.html>
- Haryono, & Narni, S. (2004). Karakteristik Pasang Surut di Pulau Jawa. *Jurnal Forum Teknik*, 28(I), 1–5.
- Kelompok Keahlian Geodesi ITB. (2007). GPS Buoy System (pengukuran pasut, arus, dll). Diambil 25 Januari 2017, dari <http://geodesy.gd.itb.ac.id/2007/01/05/gps-buoy-system-pengukuran-pasut-arus-dll/>
- Kementerian PUPR RI. (2016). Peta Infrastruktur Kabupaten

- Malang. Diambil 20 Mei 2017, dari <http://loketpeta.pu.go.id/peta-infrastruktur-kabupaten-malang-2014>
- Kuncoro, H. (2012). *Analisis Metode GPS Kinematik Menggunakan Perangkat Lunak RTKLIB*. Bandung, Indonesia: Perpustakaan Digital ITB.
- Maltais, L. (n.d.). GPS Tide Detection: Implementation of a full Integrated solution for hydrographic surveys on the St-Lawrence from data collection to data processing.
- Mills, J., & Dodd, D. (2014). *Ellipsoidally Referenced Surveying for Hydrography*. International Federation of Surveyor (FIG). Helsinki: International Federation of Surveyors. Diambil dari <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub62/Figpub62.pdf>
- National Geospatial-Intelligence Agency. (2013). NGA: EGM2008 - WGS 84 Version. Diambil 13 April 2017, dari http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html
- Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C., & Factor, J. K. (2008). An Earth Gravitational Model to degree 2160: EGM2008. *presented at the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 13-18, 84(1), 2-4*. Diambil dari http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/README_WGS84_2.pdf
- Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C., & Factor, J. K. (2012). The Development and Evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 118(5), 2633*. <https://doi.org/10.1002/jgrb.50167>, 2013
- Poerbandono. (1999). *Hidrografi Dasar*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Poerbandono; Djunasjah, E. (2005). *Survei Hidrografi*. (R.

- Herlina, Ed.) (Cetakan Pe). Bandung, Indonesia: PT. Refika Aditama.
- Sanders, P. (2003). RTK Tide Basics. *Hydro International*, hal. 26-29.
- Scripps Orbit and Permanent Array Center. (2015). GPS Satellite Orbits. Diambil 14 Mei 2017, dari <http://sopac.ucsd.edu/orbits.shtml>
- Smith, S. W. (1999). *Digital Signal Processing*. California Technical Publishing (2 ed.). San Diego, California. <https://doi.org/10.1109/79.826412>
- Stewart, R. H. (2008). *Introduction To Physical Oceanography*. *American Journal of Physics* (Vol. 65). <https://doi.org/10.1119/1.18716>
- Takasu, T., & Yasuda, A. (2013). RTKLIB ver. 2.4.2 Manual, (C), 181. Diambil dari <http://www.rtklib.com/rtklib.htm>

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A
DATA HASIL PENGAMATAN DAN PERHITUNGAN

A.1 Data Pengamatan Pasut Sesaat

Pengamatan pasut sesaat dilakukan pada tanggal 11-12 Mei 2017 dengan interval pengamatan per 5 menit. Berikut merupakan tabel data pengamatan pasut sesaat,

Tabel A.1 Data Pengamatan Pasut Sesaat

No.	Hari dan Jam	Bacaan Pasut (m)
1	11/May/2017 08:25:00	3.650
2	11/May/2017 08:30:00	3.640
3	11/May/2017 08:35:00	3.675
4	11/May/2017 08:40:00	3.663
5	11/May/2017 08:45:00	3.650
6	11/May/2017 08:50:00	3.645
7	11/May/2017 08:55:00	3.640
8	11/May/2017 09:00:00	3.675
9	11/May/2017 09:05:00	3.710
10	11/May/2017 09:10:00	3.782
11	11/May/2017 09:15:00	3.854
12	11/May/2017 09:20:00	3.745
13	11/May/2017 09:25:00	3.635
14	11/May/2017 09:30:00	3.621
15	11/May/2017 09:35:00	3.607
16	11/May/2017 09:40:00	3.681
17	11/May/2017 09:45:00	3.755
18	11/May/2017 09:50:00	3.683
19	11/May/2017 09:55:00	3.610
20	11/May/2017 10:00:00	3.660

No.	Hari dan Jam	Bacaan Pasut (m)
21	11/May/2017 10:05:00	3.590
22	11/May/2017 10:10:00	3.625
23	11/May/2017 10:15:00	3.510
24	11/May/2017 10:20:00	3.600
25	11/May/2017 10:25:00	3.545
26	11/May/2017 10:30:00	3.510
27	11/May/2017 10:35:00	3.410
28	11/May/2017 10:40:00	3.390
29	11/May/2017 10:45:00	3.360
30	11/May/2017 10:50:00	3.410
31	11/May/2017 10:55:00	3.330
32	11/May/2017 11:00:00	3.230
33	11/May/2017 11:05:00	3.220
34	11/May/2017 11:10:00	3.200
35	11/May/2017 11:15:00	3.150
36	11/May/2017 11:20:00	3.215
37	11/May/2017 11:25:00	3.055
38	11/May/2017 11:30:00	3.105
39	11/May/2017 11:35:00	3.050
40	11/May/2017 11:40:00	2.950
41	11/May/2017 11:45:00	2.875
42	11/May/2017 11:50:00	2.840
43	11/May/2017 11:55:00	2.880
44	11/May/2017 12:00:00	2.785
45	11/May/2017 12:05:00	2.790
46	11/May/2017 12:10:00	2.795
47	11/May/2017 12:15:00	2.752

No.	Hari dan Jam	Bacaan Pasut (m)
48	11/May/2017 12:20:00	2.708
49	11/May/2017 12:25:00	2.665
50	11/May/2017 12:30:00	2.638
51	11/May/2017 12:35:00	2.612
52	11/May/2017 12:40:00	2.525
53	11/May/2017 12:45:00	2.458
54	11/May/2017 12:50:00	2.392
55	11/May/2017 12:55:00	2.325
56	11/May/2017 13:00:00	2.333
57	11/May/2017 13:05:00	2.341
58	11/May/2017 13:10:00	2.350
59	11/May/2017 13:15:00	2.225
60	11/May/2017 13:20:00	2.275
61	11/May/2017 13:25:00	2.130
62	11/May/2017 13:30:00	2.250
63	11/May/2017 13:35:00	2.165
64	11/May/2017 13:40:00	2.075
65	11/May/2017 13:45:00	2.025
66	11/May/2017 13:50:00	2.075
67	11/May/2017 13:55:00	2.055
68	11/May/2017 14:00:00	1.987
69	11/May/2017 14:05:00	1.925
70	11/May/2017 14:10:00	1.875
71	11/May/2017 14:15:00	1.850
72	11/May/2017 14:20:00	1.875
73	11/May/2017 14:25:00	1.890
74	11/May/2017 14:30:00	1.840

No.	Hari dan Jam	Bacaan Pasut (m)
75	11/May/2017 14:35:00	1.865
76	11/May/2017 14:40:00	1.840
77	11/May/2017 14:45:00	1.800
78	11/May/2017 14:50:00	1.775
79	11/May/2017 14:55:00	1.755
80	11/May/2017 15:00:00	1.655
81	11/May/2017 15:05:00	1.680
82	11/May/2017 15:10:00	1.765
83	11/May/2017 15:15:00	1.670
84	11/May/2017 15:20:00	1.745
85	11/May/2017 15:25:00	1.700
86	11/May/2017 15:30:00	1.590
87	11/May/2017 15:35:00	1.670
88	11/May/2017 15:40:00	1.685
89	11/May/2017 15:45:00	1.710
90	11/May/2017 15:50:00	1.655
91	11/May/2017 15:55:00	1.625
92	11/May/2017 16:00:00	1.670
93	11/May/2017 16:05:00	1.660
94	11/May/2017 16:10:00	1.622
95	11/May/2017 16:15:00	1.630
96	11/May/2017 16:20:00	1.680
97	11/May/2017 16:25:00	1.720
98	11/May/2017 16:30:00	1.762
99	12/May/2017 08:10:00	3.405
100	12/May/2017 08:15:00	3.540
101	12/May/2017 08:20:00	3.640

No.	Hari dan Jam	Bacaan Pasut (m)
102	12/May/2017 08:25:00	3.705
103	12/May/2017 08:30:00	3.615
104	12/May/2017 08:35:00	3.710
105	12/May/2017 08:40:00	3.715
106	12/May/2017 08:45:00	3.660
107	12/May/2017 08:50:00	3.650
108	12/May/2017 08:55:00	3.700
109	12/May/2017 09:00:00	3.675
110	12/May/2017 09:05:00	3.715
111	12/May/2017 09:10:00	3.705
112	12/May/2017 09:15:00	3.710
113	12/May/2017 09:20:00	3.720
114	12/May/2017 09:25:00	3.700
115	12/May/2017 09:30:00	3.740
116	12/May/2017 09:35:00	3.740
117	12/May/2017 09:40:00	3.730
118	12/May/2017 09:45:00	3.750
119	12/May/2017 09:50:00	3.775
120	12/May/2017 09:55:00	3.715
121	12/May/2017 10:00:00	3.720
122	12/May/2017 10:05:00	3.760
123	12/May/2017 10:10:00	3.690
124	12/May/2017 10:15:00	3.660
125	12/May/2017 10:20:00	3.640
126	12/May/2017 10:25:00	3.615
127	12/May/2017 10:30:00	3.595
128	12/May/2017 10:35:00	3.570

No.	Hari dan Jam	Bacaan Pasut (m)
129	12/May/2017 10:40:00	3.540
130	12/May/2017 10:45:00	3.510
131	12/May/2017 10:50:00	3.485
132	12/May/2017 10:55:00	3.455
133	12/May/2017 11:00:00	3.425
134	12/May/2017 11:05:00	3.400
135	12/May/2017 11:10:00	3.370
136	12/May/2017 11:15:00	3.340
137	12/May/2017 11:20:00	3.310
138	12/May/2017 11:25:00	3.300
139	12/May/2017 11:30:00	3.270
140	12/May/2017 11:35:00	3.245
141	12/May/2017 11:40:00	3.220
142	12/May/2017 11:45:00	3.180
143	12/May/2017 11:50:00	3.160
144	12/May/2017 11:55:00	3.160
145	12/May/2017 12:00:00	3.095
146	12/May/2017 12:05:00	3.060
147	12/May/2017 12:10:00	2.975
148	12/May/2017 12:15:00	2.950
149	12/May/2017 12:20:00	2.915
150	12/May/2017 12:25:00	2.900
151	12/May/2017 12:30:00	2.850
152	12/May/2017 12:35:00	2.790
153	12/May/2017 12:40:00	2.810
154	12/May/2017 12:45:00	2.720
155	12/May/2017 12:50:00	2.690

No.	Hari dan Jam	Bacaan Pasut (m)
156	12/May/2017 12:55:00	2.685
157	12/May/2017 13:00:00	2.620
158	12/May/2017 13:05:00	2.570
159	12/May/2017 13:10:00	2.495
160	12/May/2017 13:15:00	2.460
161	12/May/2017 13:20:00	2.430
162	12/May/2017 13:25:00	2.390
163	12/May/2017 13:30:00	2.360
164	12/May/2017 13:35:00	2.325
165	12/May/2017 13:40:00	2.290
166	12/May/2017 13:45:00	2.260
167	12/May/2017 13:50:00	2.220
168	12/May/2017 13:55:00	2.190
169	12/May/2017 14:00:00	2.155
170	12/May/2017 14:05:00	2.095
171	12/May/2017 14:10:00	2.050
172	12/May/2017 14:15:00	2.015
173	12/May/2017 14:20:00	2.000
174	12/May/2017 14:25:00	1.945
175	12/May/2017 14:30:00	1.895
176	12/May/2017 14:35:00	1.860
177	12/May/2017 14:40:00	1.785
178	12/May/2017 14:45:00	1.810
179	12/May/2017 14:50:00	1.795
180	12/May/2017 14:55:00	1.845
181	12/May/2017 15:00:00	1.695
182	12/May/2017 15:05:00	1.730

No.	Hari dan Jam	Bacaan Pasut (m)
183	12/May/2017 15:10:00	1.735
184	12/May/2017 15:15:00	1.680
185	12/May/2017 15:20:00	1.680
186	12/May/2017 15:25:00	1.630
187	12/May/2017 15:30:00	1.660
188	12/May/2017 15:35:00	1.615
189	12/May/2017 15:40:00	1.605
190	12/May/2017 15:45:00	1.640
191	12/May/2017 15:50:00	1.580
192	12/May/2017 15:55:00	1.585
193	12/May/2017 16:00:00	1.645
194	12/May/2017 16:05:00	1.620
195	12/May/2017 16:10:00	1.610
196	12/May/2017 16:15:00	1.590
197	12/May/2017 16:20:00	1.620
198	12/May/2017 16:25:00	1.650
199	12/May/2017 16:30:00	1.615
200	12/May/2017 16:35:00	1.670
201	12/May/2017 16:40:00	1.675
202	12/May/2017 16:45:00	1.655
203	12/May/2017 16:50:00	1.645
204	12/May/2017 16:55:00	1.695
205	12/May/2017 17:00:00	1.675
206	12/May/2017 17:05:00	1.765

A.2 Data Hasil Perhitungan Pasut GPS

Perhitungan pasut GPS menghasilkan data berupa *raw* pasut GPS, *smoothing* pasut GPS, dan residual. Berikut tabel data hasil perhitungan pasut GPS,

Tabel A.2 Hasil Pengolahan pasut GPS

Tanggal dan Waktu	Pasut Pengamatan (O)	Raw Pasut GPS (R)	Smoothing Pasut GPS (S)	O-R	O-S
11/May/2017 08:42:44	2.108	2.182	2.182	-0.074	-0.074
11/May/2017 08:47:44	2.099	2.089	2.152	0.010	-0.052
11/May/2017 08:52:44	2.094	2.075	2.175	0.019	-0.081
11/May/2017 08:57:44	2.111	2.147	2.238	-0.036	-0.127
11/May/2017 09:02:44	2.146	2.236	2.233	-0.090	-0.087
11/May/2017 09:07:44	2.201	2.161	2.241	0.040	-0.039
11/May/2017 09:12:44	2.273	2.276	2.276	-0.002	-0.002
11/May/2017 09:17:44	2.246	2.166	2.244	0.080	0.003
11/May/2017 09:22:44	2.137	2.205	2.220	-0.068	-0.083
11/May/2017 09:27:44	2.079	2.220	2.208	-0.141	-0.129
11/May/2017 09:32:44	2.065	2.222	2.226	-0.157	-0.161
11/May/2017 09:37:44	2.099	2.101	2.142	-0.001	-0.043
11/May/2017 09:42:44	2.174	2.147	2.109	0.027	0.064
11/May/2017 09:47:44	2.168	2.084	2.194	0.084	-0.027
11/May/2017 09:52:44	2.095	2.123	2.156	-0.028	-0.061
11/May/2017 09:57:44	2.089	2.140	2.119	-0.051	-0.030
11/May/2017 10:02:44	2.074	2.209	2.150	-0.135	-0.076

Tanggal dan Waktu	Pasut Pengamatan (O)	Raw Pasut GPS (R)	Smoothing Pasut GPS (S)	O-R	O-S
11/May/2017 10:07:44	2.061	2.249	2.184	-0.188	-0.123
11/May/2017 10:12:44	2.014	2.201	2.165	-0.187	-0.150
11/May/2017 10:17:44	2.011	2.145	2.148	-0.134	-0.137
11/May/2017 10:22:44	2.022	2.088	2.109	-0.066	-0.087
11/May/2017 10:27:44	1.978	2.179	2.106	-0.201	-0.128
11/May/2017 10:32:44	1.907	2.006	2.049	-0.099	-0.142
11/May/2017 10:37:44	1.851	2.043	2.021	-0.192	-0.170
11/May/2017 10:42:44	1.826	2.088	1.997	-0.262	-0.171
11/May/2017 10:47:44	1.839	1.954	1.947	-0.114	-0.108
11/May/2017 10:52:44	1.818	1.966	1.876	-0.148	-0.058
11/May/2017 10:57:44	1.727	1.799	1.892	-0.072	-0.165
11/May/2017 11:02:44	1.677	1.945	1.859	-0.268	-0.183
11/May/2017 11:07:44	1.661	1.738	1.801	-0.077	-0.140
11/May/2017 11:12:44	1.625	1.739	1.754	-0.114	-0.129
11/May/2017 11:17:44	1.638	1.905	1.731	-0.268	-0.093
11/May/2017 11:22:44	1.579	1.775	1.705	-0.196	-0.126
11/May/2017 11:27:44	1.534	1.692	1.703	-0.157	-0.169
11/May/2017 11:32:44	1.527	1.770	1.695	-0.243	-0.168
11/May/2017 11:37:44	1.447	1.698	1.681	-0.251	-0.234
11/May/2017 11:42:44	1.361	1.677	1.654	-0.316	-0.293
11/May/2017 11:47:44	1.308	1.735	1.623	-0.427	-0.315

Tanggal dan Waktu	Pasut Pengamatan (O)	Raw Pasut GPS (R)	Smoothing Pasut GPS (S)	O-R	O-S
11/May/2017 11:52:44	1.314	1.648	1.550	-0.334	-0.236
11/May/2017 11:57:44	1.280	1.460	1.511	-0.180	-0.231
11/May/2017 12:02:44	1.240	1.556	1.468	-0.317	-0.228
11/May/2017 12:07:44	1.245	1.434	1.392	-0.189	-0.147
11/May/2017 12:12:44	1.223	1.500	1.369	-0.276	-0.146
11/May/2017 12:17:44	1.180	1.195	1.276	-0.015	-0.096
11/May/2017 12:22:44	1.136	1.279	1.245	-0.142	-0.108
11/May/2017 12:27:44	1.102	1.187	1.206	-0.085	-0.104
11/May/2017 12:32:44	1.076	1.146	1.191	-0.070	-0.115
11/May/2017 12:37:44	1.016	1.100	1.156	-0.084	-0.139
11/May/2017 12:42:44	0.940	1.082	1.106	-0.142	-0.166
11/May/2017 12:47:44	0.874	1.027	1.078	-0.153	-0.204
11/May/2017 12:52:44	0.807	1.252	1.088	-0.444	-0.281
11/May/2017 12:57:44	0.781	0.917	0.986	-0.136	-0.205
11/May/2017 13:02:44	0.789	1.085	0.929	-0.296	-0.139
11/May/2017 13:07:44	0.798	0.836	0.909	-0.038	-0.111
11/May/2017 13:12:44	0.734	0.970	0.882	-0.236	-0.149
11/May/2017 13:17:44	0.704	0.791	0.765	-0.087	-0.061
11/May/2017 13:22:44	0.648	0.710	0.757	-0.062	-0.110
11/May/2017 13:27:44	0.648	0.699	0.740	-0.051	-0.093
11/May/2017 13:32:44	0.655	0.684	0.745	-0.029	-0.089

Tanggal dan Waktu	Pasut Pengamatan (O)	Raw Pasut GPS (R)	Smoothing Pasut GPS (S)	O-R	O-S
11/May/2017 13:37:44	0.568	0.567	0.645	0.000	-0.077
11/May/2017 13:42:44	0.500	0.642	0.648	-0.142	-0.148
11/May/2017 13:47:44	0.504	0.646	0.653	-0.142	-0.148
11/May/2017 13:52:44	0.516	0.618	0.632	-0.102	-0.116
11/May/2017 13:57:44	0.470	0.611	0.525	-0.141	-0.056
11/May/2017 14:02:44	0.405	0.623	0.531	-0.218	-0.126
11/May/2017 14:07:44	0.350	0.603	0.509	-0.253	-0.160
11/May/2017 14:12:44	0.313	0.591	0.447	-0.278	-0.134
11/May/2017 14:17:44	0.316	0.534	0.479	-0.219	-0.163
11/May/2017 14:22:44	0.335	0.576	0.533	-0.241	-0.198
11/May/2017 14:27:44	0.315	0.450	0.500	-0.136	-0.186
11/May/2017 14:32:44	0.306	0.516	0.518	-0.210	-0.212
11/May/2017 14:37:44	0.303	0.506	0.568	-0.203	-0.265
11/May/2017 14:42:44	0.270	0.566	0.559	-0.296	-0.289
11/May/2017 14:47:44	0.238	0.623	0.471	-0.385	-0.233
11/May/2017 14:52:44	0.216	0.362	0.500	-0.146	-0.284
11/May/2017 14:57:44	0.152	0.457	0.446	-0.304	-0.294
11/May/2017 15:02:44	0.121	0.410	0.390	-0.289	-0.270
11/May/2017 15:07:44	0.179	0.444	0.485	-0.265	-0.306
11/May/2017 15:12:44	0.165	0.523	0.528	-0.358	-0.363
11/May/2017 15:17:44	0.163	0.554	0.580	-0.391	-0.417

Tanggal dan Waktu	Pasut Pengamatan (O)	Raw Pasut GPS (R)	Smoothing Pasut GPS (S)	O-R	O-S
11/May/2017 15:22:44	0.172	0.506	0.713	-0.333	-0.540
11/May/2017 15:27:44	0.092	0.666	0.705	-0.575	-0.613
11/May/2017 15:32:44	0.086	0.855	0.795	-0.769	-0.709
11/May/2017 15:37:44	0.130	0.716	0.790	-0.586	-0.660
11/May/2017 15:42:44	0.151	0.716	0.788	-0.565	-0.637
11/May/2017 15:47:44	0.132	0.829	0.834	-0.697	-0.702
11/May/2017 15:52:44	0.091	0.829	0.773	-0.738	-0.683
12/May/2017 08:13:14	1.944	1.350	1.350	0.594	0.594
12/May/2017 08:18:14	2.057	1.985	1.972	0.071	0.085
12/May/2017 08:23:14	2.134	2.141	2.076	-0.006	0.058
12/May/2017 08:28:14	2.099	2.026	2.084	0.073	0.015
12/May/2017 08:33:14	2.128	2.122	2.116	0.006	0.012
12/May/2017 08:38:14	2.165	2.186	2.149	-0.020	0.016
12/May/2017 08:43:14	2.131	2.058	2.067	0.073	0.065
12/May/2017 08:48:14	2.106	2.232	2.163	-0.127	-0.058
12/May/2017 08:53:14	2.134	2.199	2.145	-0.065	-0.011
12/May/2017 08:58:14	2.136	1.977	1.993	0.158	0.143
12/May/2017 09:03:14	2.153	1.995	2.029	0.158	0.124
12/May/2017 09:08:14	2.161	2.123	2.114	0.037	0.047
12/May/2017 09:13:14	2.160	2.067	2.137	0.094	0.023
12/May/2017 09:18:14	2.168	2.228	2.184	-0.060	-0.015

Tanggal dan Waktu	Pasut Pengamatan (O)	Raw Pasut GPS (R)	Smoothing Pasut GPS (S)	O-R	O-S
12/May/2017 09:23:14	2.159	2.312	2.289	-0.153	-0.130
12/May/2017 09:28:14	2.178	2.347	2.232	-0.169	-0.054
12/May/2017 09:33:14	2.192	2.241	2.267	-0.049	-0.075
12/May/2017 09:38:14	2.186	2.361	2.292	-0.176	-0.106
12/May/2017 09:43:14	2.195	2.211	2.253	-0.016	-0.058
12/May/2017 09:48:14	2.218	2.363	2.291	-0.145	-0.073
12/May/2017 09:53:14	2.188	2.229	2.219	-0.041	-0.031
12/May/2017 09:58:14	2.170	2.197	2.247	-0.026	-0.077
12/May/2017 10:03:14	2.198	2.277	2.289	-0.079	-0.091
12/May/2017 10:08:14	2.167	2.287	2.244	-0.120	-0.077
12/May/2017 10:13:14	2.123	2.268	2.261	-0.146	-0.139
12/May/2017 10:18:14	2.099	2.236	2.240	-0.137	-0.141
12/May/2017 10:23:14	2.076	2.127	2.196	-0.051	-0.120
12/May/2017 10:28:14	2.054	2.205	2.226	-0.151	-0.172
12/May/2017 10:33:14	2.031	2.172	2.163	-0.142	-0.132
12/May/2017 10:38:14	2.003	1.970	2.059	0.032	-0.056
12/May/2017 10:43:14	1.973	2.165	2.064	-0.193	-0.091
12/May/2017 10:48:14	1.946	2.022	2.024	-0.077	-0.078
12/May/2017 10:53:14	1.918	2.132	1.995	-0.215	-0.077
12/May/2017 10:58:14	1.888	2.044	2.014	-0.157	-0.127
12/May/2017 11:03:14	1.861	1.977	1.997	-0.116	-0.136

Tanggal dan Waktu	Pasut Pengamatan (O)	Raw Pasut GPS (R)	Smoothing Pasut GPS (S)	O-R	O-S
12/May/2017 11:08:14	1.833	1.895	1.928	-0.062	-0.095
12/May/2017 11:13:14	1.803	1.851	1.935	-0.048	-0.133
12/May/2017 11:18:14	1.773	1.901	1.968	-0.129	-0.196
12/May/2017 11:23:14	1.756	1.811	1.896	-0.055	-0.140
12/May/2017 11:28:14	1.733	1.879	1.908	-0.147	-0.175
12/May/2017 11:33:14	1.706	1.911	1.858	-0.205	-0.152
12/May/2017 11:38:14	1.681	1.861	1.818	-0.180	-0.137
12/May/2017 11:43:14	1.646	1.796	1.807	-0.150	-0.161
12/May/2017 11:48:14	1.619	1.752	1.776	-0.133	-0.157
12/May/2017 11:53:14	1.612	1.656	1.690	-0.044	-0.078
12/May/2017 11:58:14	1.570	1.712	1.686	-0.142	-0.116
12/May/2017 12:03:14	1.524	1.609	1.613	-0.085	-0.088
12/May/2017 12:08:14	1.457	1.663	1.580	-0.206	-0.122
12/May/2017 12:13:14	1.411	1.456	1.536	-0.045	-0.125
12/May/2017 12:18:14	1.379	1.454	1.503	-0.075	-0.123
12/May/2017 12:23:14	1.357	1.425	1.432	-0.067	-0.075
12/May/2017 12:28:14	1.320	1.426	1.404	-0.106	-0.085
12/May/2017 12:33:14	1.263	1.347	1.337	-0.084	-0.074
12/May/2017 12:38:14	1.255	1.413	1.366	-0.158	-0.111
12/May/2017 12:43:14	1.204	1.314	1.306	-0.110	-0.103
12/May/2017 12:48:14	1.153	1.178	1.239	-0.026	-0.086

Tanggal dan Waktu	Pasut Pengamatan (O)	Raw Pasut GPS (R)	Smoothing Pasut GPS (S)	O-R	O-S
12/May/2017 12:53:14	1.139	1.246	1.221	-0.108	-0.083
12/May/2017 12:58:14	1.095	1.137	1.175	-0.042	-0.080
12/May/2017 13:03:14	1.040	1.140	1.149	-0.100	-0.110
12/May/2017 13:08:14	0.974	1.072	1.103	-0.098	-0.129
12/May/2017 13:13:14	0.924	0.972	1.028	-0.047	-0.103
12/May/2017 13:18:14	0.893	0.890	0.937	0.003	-0.044
12/May/2017 13:23:14	0.856	0.969	0.916	-0.112	-0.060
12/May/2017 13:28:14	0.823	0.903	0.862	-0.080	-0.039
12/May/2017 13:33:14	0.789	0.849	0.838	-0.059	-0.048
12/May/2017 13:38:14	0.754	0.821	0.821	-0.067	-0.067
12/May/2017 13:43:14	0.723	0.794	0.794	-0.071	-0.071
12/May/2017 13:48:14	0.686	0.766	0.766	-0.080	-0.080
12/May/2017 13:53:14	0.653	0.739	0.739	-0.086	-0.086
12/May/2017 13:58:14	0.619	0.711	0.711	-0.092	-0.092
12/May/2017 14:03:14	0.568	0.684	0.684	-0.115	-0.115
12/May/2017 14:08:14	0.518	0.656	0.656	-0.138	-0.138
12/May/2017 14:13:14	0.479	0.629	0.629	-0.149	-0.149
12/May/2017 14:18:14	0.457	0.601	0.601	-0.144	-0.144
12/May/2017 14:23:14	0.416	0.573	0.573	-0.157	-0.157
12/May/2017 14:28:14	0.365	0.546	0.546	-0.181	-0.181
12/May/2017 14:33:14	0.324	0.518	0.518	-0.194	-0.194

Tanggal dan Waktu	Pasut Pengamatan (O)	Raw Pasut GPS (R)	Smoothing Pasut GPS (S)	O-R	O-S
12/May/2017 14:38:14	0.264	0.491	0.491	-0.227	-0.227
12/May/2017 14:43:14	0.253	0.463	0.463	-0.210	-0.210
12/May/2017 14:48:14	0.252	0.436	0.436	-0.184	-0.184
12/May/2017 14:53:14	0.279	0.408	0.408	-0.129	-0.129
12/May/2017 14:58:14	0.200	0.381	0.381	-0.181	-0.181
12/May/2017 15:03:14	0.170	0.353	0.353	-0.184	-0.184
12/May/2017 15:08:14	0.185	0.326	0.326	-0.141	-0.141
12/May/2017 15:13:14	0.151	0.298	0.298	-0.147	-0.147
12/May/2017 15:18:14	0.132	0.271	0.271	-0.139	-0.139
12/May/2017 15:23:14	0.100	0.246	0.216	-0.147	-0.116
12/May/2017 15:28:14	0.101	0.364	0.239	-0.263	-0.138
12/May/2017 15:33:14	0.083	0.217	0.154	-0.134	-0.071
12/May/2017 15:38:14	0.061	-0.095	0.108	0.155	-0.048
12/May/2017 15:43:14	0.080	0.056	0.143	0.024	-0.063
12/May/2017 15:48:14	0.053	0.118	0.157	-0.065	-0.104
12/May/2017 15:53:14	0.035	0.156	0.127	-0.121	-0.092
12/May/2017 15:58:14	0.076	0.203	0.145	-0.127	-0.070
12/May/2017 16:03:14	0.081	0.122	0.161	-0.042	-0.081
12/May/2017 16:08:14	0.066	0.114	0.131	-0.048	-0.066
12/May/2017 16:13:14	0.049	0.114	0.092	-0.065	-0.043
12/May/2017 16:18:14	0.061	0.074	0.125	-0.013	-0.063

Tanggal dan Waktu	Pasut Pengamatan (O)	Raw Pasut GPS (R)	Smoothing Pasut GPS (S)	O-R	O-S
12/May/2017 16:23:14	0.091	0.172	0.115	-0.081	-0.024
12/May/2017 16:28:14	0.079	0.123	0.154	-0.044	-0.075
12/May/2017 16:33:14	0.103	0.094	0.125	0.008	-0.023
12/May/2017 16:38:14	0.125	0.117	0.174	0.008	-0.049
12/May/2017 16:43:14	0.114	0.196	0.168	-0.082	-0.054

Catatan: data dalam Tabel A.2 diatas merupakan data hasil perhitungan per lima menit. Satuan dalam meter (m), O-R merupakan residual pasut pengamatan dengan *raw* pasut GPS, O-S merupakan residual pasut pengamatan dengan *smoothing* pasut GPS.

A.3 Informasi Tambahan

Informasi tambahan memuat koordinat titik *base*, undulasi, dan tinggi antenna *base-rover*, serta informasi beda tinggi antara rambu pasut BIG dengan rambu pasut tidak tetap dan tinggi titik BM terhadap nol rambu pasut BIG.

Tabel A.3 Informasi Tambahan

Tanggal	Titik	Lat (deg)	Long (deg)	h (m)	Undulasi (m)	z ant (m)
11/05/2017	BM/Base	-8.434	112.6835	31.0871	28.172	1.465
	Rover	0	0	0	0	2.17
12/05/2017	BM/Base	-8.434	112.6835	30.9699	28.172	1.49
	Rover	0	0	0	0	2.4

Beda tinggi rambu pasut : 1,548 m

Tinggi BM terhadap nol pasut : 3,287 m

LAMPIRAN B

SCRIPT MATLAB PENGOLAHAN DATA

Script Matlab ini merupakan proses pengolahan data dari data mentah pasut, kemudian direduksi dengan informasi tambahan dan penggambaran grafik pasut.

```
%TUGAS AKHIR
%APLIKASI METODE KINEMATIK-DIFERENSIAL GLOBAL
POSITIONING SYSTEM UNTUK PENENTUAN TINGGI MUKA
AIR LAUT SESAAT DALAM SURVEI BATHIMETRI
%OLEH: AHMAD F. SAFI' (NRP 3513100046)
%DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA, INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER
%SURABAYA, JAWA TIMUR, INDONESIA
%2017
%safi13@mhs.geodesy.its.ac.id
%=====
=====
% Studi Kasus: PELABUHAN SENDANG BIRU, KAB.
MALANG, PROVINSI JAWA TIMUR
clc
clear all
format shortG
%=====
=====
%data masukan informasi tambahan base dan rover
hB=xlsread('DATA_PENGAMATAN.xlsx',1,'E3:E4');%ti
nggi ellipsoid base
NB=xlsread('DATA_PENGAMATAN.xlsx',1,'F3');%undul
asi di base
zB=xlsread('DATA_PENGAMATAN.xlsx',1,'G3:G4');%ti
nggi alat base
zR=xlsread('DATA_PENGAMATAN.xlsx',1,'G5:G6');%ti
nggi alat rover
%=====
=====
%pemrosesan pasut pengamatan
%data masukan pasut pengamatan sendang biru
```

```

time_obs_sdbbr=xlsread('DATA_PENGAMATAN.xlsx',3,'
C3:C395');%waktu pasut pengamatan

tide_obs_sdbbr=xlsread('DATA_PENGAMATAN.xlsx',3,'
D3:D395');%tinggi pasut pengamatan
%pasut rambu BIG

d_ramb_pasut=xlsread('DATA_PENGAMATAN.xlsx',1,'C
11');%beda tinggi rambu pasut
tide_obs_sdbbr_BIG=tide_obs_sdbbr-
d_ramb_pasut;%pasut pengamatan reduksi beda
tinggi rambu pasut
%pasut pengamatan sesaat doy 131 dan 132
xdt_obs131=time_obs_sdbbr(11:108);%excel number
tanggal dan waktu 11052017
dt_obs131=x2mdate(xdt_obs131);%matlab number
tanggal dan waktu 11052017

int1s_xdt_obs131=xdt_obs131(1):0.000011574074074
0741:xdt_obs131(end);%interpolasi per detik

raw_int1s_xdt_obs131=int1s_xdt_obs131(1065:26915
);

raw_xdt_obs131=raw_int1s_xdt_obs131(1):0.0001157
40740740741:raw_int1s_xdt_obs131(end);%interpola
si 10 detik
tide_obs131=tide_obs_sdbbr_BIG(11:108);%pasut
11052017

int1s_tide_obs131=transpose(interp1(xdt_obs131,t
ide_obs131,int1s_xdt_obs131));%interpolasi per
detik

raw_int1s_tide_obs131=int1s_tide_obs131(1065:269
15);

raw_tide_obs131=transpose(interp1(raw_int1s_xdt_
obs131,raw_int1s_tide_obs131,raw_xdt_obs131));

```

```

xdt_obs132=time_obs_sdbr(173:280);%excel number
tanggal dan waktu 12052017
dt_obs132=x2mdate(xdt_obs132);%matlab number
tanggal dan waktu 12052017

int1s_xdt_obs132=xdt_obs132(1):0.000011574074074
0741:xdt_obs132(end);%interpolasi per detik

raw_int1s_xdt_obs132=int1s_xdt_obs132(195:31044)
;

raw_xdt_obs132=raw_int1s_xdt_obs132(1):0.0001157
40740740741:raw_int1s_xdt_obs132(end);%interpolasi
10 detik
tide_obs132=tide_obs_sdbr_BIG(173:280);%pasut
12052017

int1s_tide_obs132=transpose(interp1(xdt_obs132,t
ide_obs132,int1s_xdt_obs132));%interpolasi per
detik

raw_int1s_tide_obs132=int1s_tide_obs132(195:3104
4);

raw_tide_obs132=transpose(interp1(raw_int1s_xdt_
obs132,raw_int1s_tide_obs132,raw_xdt_obs132));
obs132=raw_tide_obs132(22:end);
%=====
%=====
%pemrosesan pasut gps
%data masukan pasut gps doy 131 dan 132

xdt_gpst131=xlsread('DATA_PENGAMATAN.xlsx',3,'I3
:I2588');%excel number date 11052017
dt_gpst131=x2mdate(xdt_gpst131);%matlab number
date 11052017

tide_gpst131=xlsread('DATA_PENGAMATAN.xlsx',3,'J
3:J2588');

```

```

N_gpst131=xlsread('DATA_PENGAMATAN.xlsx',3,'K3:K
2588');

raw_xdt_gpst132=xlsread('DATA_PENGAMATAN.xlsx',3
,'N3:N2425');%excel number date 12052017

xdt_gpst132=raw_xdt_gpst132(1):0.000115740740740
741:raw_xdt_gpst132(end);%interpolasi waktu

dt_gpst132=transpose(x2mdate(xdt_gpst132));%matl
ab number date

raw_tide_gpst132=xlsread('DATA_PENGAMATAN.xlsx',
3,'O3:O2425');

N_gpst132=xlsread('DATA_PENGAMATAN.xlsx',3,'P3:P
2425');
H_tide_gpst132=raw_tide_gpst132-N_gpst132-
zR(2);%H_tide
%proses data
%raw pasut gps
zBM=xlsread('DATA_PENGAMATAN.xlsx',1,'C12');
T131=(((tide_gpst131-zR(1))-(hB(1)-zB(1)))-
(N_gpst131-NB))+zBM;%raw pasut gps
raw_T132=(H_tide_gpst132-(hB(2)-zB(2)-
NB))+zBM;

T132=transpose(interp1(raw_xdt_gpst132,raw_T132,
xdt_gpst132));%raw pasut gps
%cleaning data raw pasut gps

mid131=smooth(dt_gpst131,T131,0.2,'rloess');%bat
as tengah data 11/05/2017
r131=T131-raw_tide_obs131;
SD_r131=std(r131);
mid131_max=mid131+SD_r131;%batas atas data
11/05/2017
mid131_min=mid131-SD_r131;%batas bawah data
11/05/2017

```

```

mid132=smooth(dt_gpst132,T132,0.2,'rloess');%bat
as tengah data 12/05/2017
    r132=T132-raw_tide_obs132;
    SD_r132=std(r132);
    mid132_max=mid132+SD_r132;%batas atas data
12/05/2017
    mid132_min=mid132-SD_r132;%batas bawah data
12/05/2017
    hold on
    figure(1)
    subplot(2,1,1)

plot(dt_gpst131,T131,'.b',dt_gpst131,mid131_max,
'r',dt_gpst131,mid131,'r',dt_gpst131,mid131_min,
'r')
    xlim([736826.3 736826.75])
    ylim([-2 3.5])
    datetick('x','HH:MM','kepticks','keeplimits')
    subplot(2,1,2)

plot(dt_gpst132,T132,'.b',dt_gpst132,mid132_max,
'r',dt_gpst132,mid132,'r',dt_gpst132,mid132_min,
'r')
    ylim([-2 3.5])
    datetick('x','HH:MM','kepticks','keeplimits')
    %interpolasi per 10s data cleaning
    fileID1=fopen('cleaning131.txt');
    gt1=textscan(fileID1,'%f %f');
    t1=gt1{1};%tanggal dan waktu
    T1=gt1{2};%raw pasut gps

time131=t1(1):0.0001157407:t1(end);%interpolasi
waktu

Tide131=transpose(interp1(t1,T1,time131));%inter
polasi tide

sTide131=smooth(Tide131,31,'moving');%smoothing
pasut gps

```

```

fileID2=fopen('cleaning132.txt');
gt2=textscan(fileID2,'%f %f');
t2=gt2{1};%tanggal dan waktu
T2=gt2{2};%raw pasut gps
tml32=t2(1):0.0001157407:t2(end);%interpolasi
waktu per 10s

Tide132=transpose(interp1(t2,T2,tml32));%interpo
lasi tide
time132=transpose(tml32);%waktu 12/05/2017
sTide132=smooth(Tide132,31,'moving');
fclose all;
%analisis pasut
%residual
raw_tide_obs131_1=raw_tide_obs131(1:2258);
res1_131=abs(raw_tide_obs131_1-
Tide131);%residual pengamatan-raw gps 11/05/2017
res2_131=abs(raw_tide_obs131_1-
sTide131);%residual pengamatan-smooth gps
11/05/2017
res1_132=abs(obs132-Tide132);%residual
pengamatan-raw gps 12/05/2017
res2_132=abs(obs132-sTide132);%residual
pengamatan-smooth gps 12/05/2017
%rata-rata residual
n1=length(res1_131);
n2=length(res1_132);
mean_res1_131=mean(res1_131);
mean_res2_131=mean(res2_131);
mean_res1_132=mean(res1_132);
mean_res2_132=mean(res2_132);
%standar deviasi residual
SD_res1_131=sqrt((sum((res1_131-
mean_res1_131).^2))/(n1-1));%pengamatan-raw gps
11/05/2017
SD_res2_131=sqrt((sum((res2_131-
mean_res2_131).^2))/(n1-1));%pengamatan-
smoothing gps 11/05/2017

```

```

SD_res1_132=sqrt((sum((res1_132-
mean_res1_132).^2))/(n2-1));%pengamatan-raw gps
12/05/2017
SD_res2_132=sqrt((sum((res2_132-
mean_res2_132).^2))/(n2-1));%pengamatan-
smoothing gps 12/05/2017
%Root Mean Square Error (RMSE)
RMSE_131a=sqrt(mean((Tide131-
raw_tide_obs131_1).^2));
RMSE_131b=sqrt(mean((sTide131-
raw_tide_obs131_1).^2));
RMSE_132a=sqrt(mean((Tide132-obs132).^2));
RMSE_132b=sqrt(mean((sTide132-obs132).^2));
%plotting grafik pasut
figure(2)%grafik raw pasut gps, pengamatan,
residu, smoothing gps
subplot(2,1,1)
plot(time131,Tide131,'b-
',dt_obs131,tide_obs131,'.k-
',time131,res1_131,'g-',time131,sTide131,'r-
',time131,res2_131,'r-')
xlim([736826.3 736826.75])
ylim([0 2.5])
datetick('x','HH:MM','kepticks','keeplimits')
subplot(2,1,2)
plot(time132,Tide132,'b-
',dt_obs132,tide_obs132,'.k-
',time132,res1_132,'g-',time132,sTide132,'r-
',time132,res2_132,'r-')
ylim([0 2.5])
datetick('x','HH:MM','kepticks','keeplimits')
figure(3)%grafik raw pasut gps, pengamatan
subplot(2,1,1)
plot(time131,Tide131,'b-
',dt_obs131,tide_obs131,'.k-')
xlim([736826.3 736826.75])
ylim([0 2.5])
datetick('x','HH:MM','kepticks','keeplimits')
subplot(2,1,2)

```

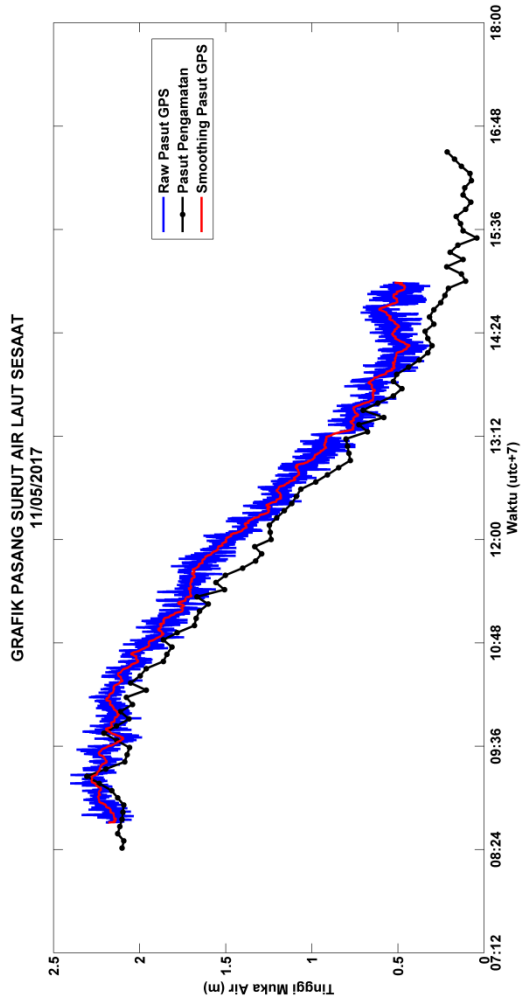
```

plot(time132,Tide132,'b-
',dt_obs132,tide_obs132,'.k-')
ylim([0 2.5])
datetick('x','HH:MM','kepticks','keeplimits')
figure(4)%grafik raw-smoothing pasut gps
subplot(2,1,1)
plot(time131,Tide131,'b-',time131,sTide131,'r-
')
xlim([736826.3 736826.75])
ylim([0 2.5])
datetick('x','HH:MM','kepticks','keeplimits')
subplot(2,1,2)
plot(time132,Tide132,'b-',time132,sTide132,'r-
')
ylim([0 2.5])
datetick('x','HH:MM','kepticks','keeplimits')
figure(5)%grafik residu
subplot(2,1,1)
plot(time131,res1_131,'g-',time131,res2_131,'r-
')
xlim([736826.3 736826.75])
ylim([0 1])
datetick('x','HH:MM','kepticks','keeplimits')
subplot(2,1,2)
plot(time132,res1_132,'g-',time132,res2_132,'r-
')
ylim([0 1])
datetick('x','HH:MM','kepticks','keeplimits')

```

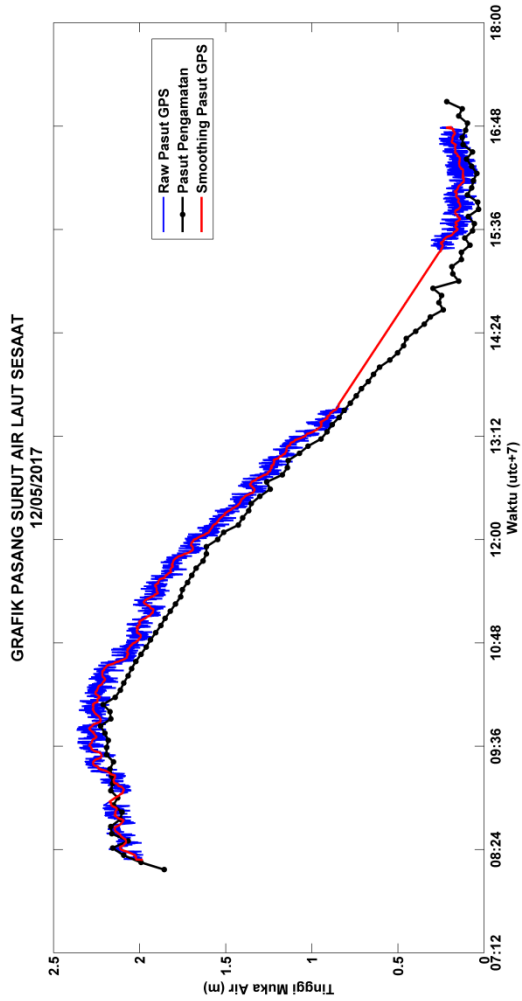

LAMPIRAN C GRAFIK PASANG SURUT

C.1 Grafik Pasut 11 Mei 2017



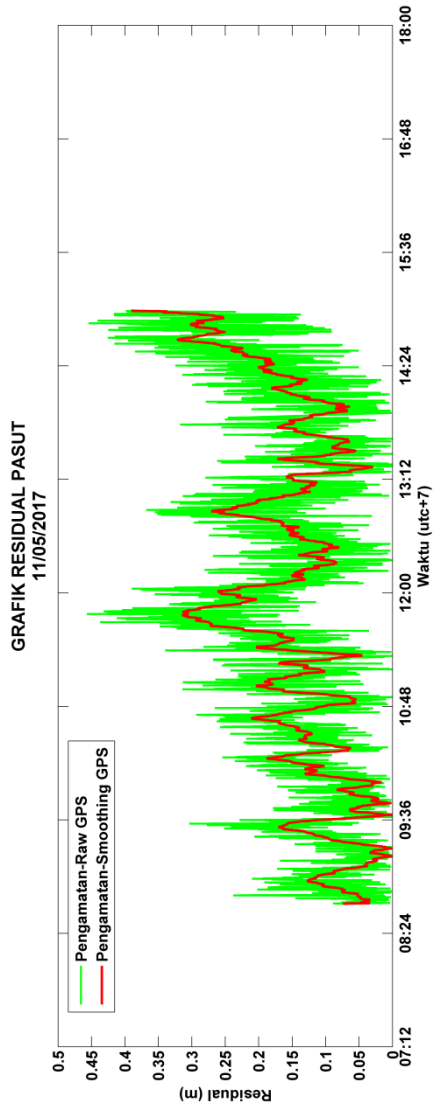
Gambar C.1 Perbandingan Grafik Pasut 11/05/2017

C.2 Grafik Pasut 12 Mei 2017



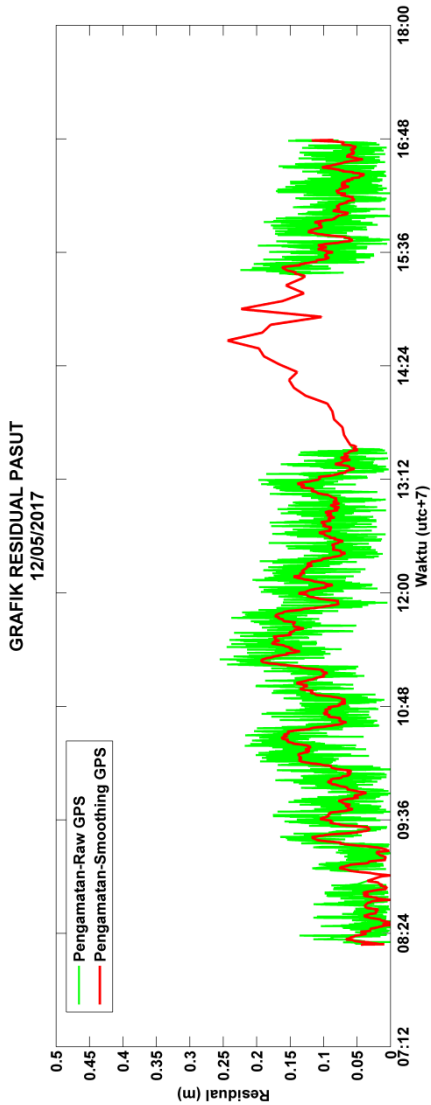
Gambar C.2 Perbandingan Grafik Pasut 12/05/2017

C.3 Grafik Residual Pasut 11 Mei 2017



Gambar C.3 Grafik Residual Pasut 11/05/2017

C.4 Grafik Residual Pasut 12 Mei 2017



Gambar C.4 Grafik Residual Pasut 12/05/201

BIODATA PENULIS



Penulis bernama **Ahmad Fawaiz Safi**, lahir di Madiun pada tanggal 25 Mei 1995, anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri 1 Jiwan, Kab. Madiun pada 2001-2007, SMP Negeri 1 Kota Madiun pada 2007-2010, SMA Negeri 2 Kota Madiun pada 2010-2013. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan ke jenjang Strata-1 Program Studi Teknik Geomatika FTSP-

ITS dan terdaftar dengan NRP 3513100046. Di Teknik Geomatika penulis memilih bidang kajian ilmu Geomarine. Penulis sejak SMA aktif di keorganisasian OSPA dan PAMERAJA SMAN 2 Madiun. Prestasi yang pernah diraih adalah juara tiga tingkat Kota dalam Lomba Gerak Jalan Kreasi Tingkat SMA pada tahun 2011. Penulis juga aktif dalam kegiatan kemanusiaan seperti kegiatan donor darah, reboisasi, dan pelatihan mitigasi bencana pada 2010-2012. Sedangkan di bangku kuliah, penulis tercatat sebagai anggota aktif Unit Kegiatan Mahasiswa Lembaga Pers Mahasiswa 1.0 pada 2013-2014 dan sebagai Reporter di Badan Semi Otonom Vivat Press Badan Eksekutif Mahasiswa ITS periode 2015-2016. Untuk kepanitiaan, pernah mengikuti berbagai kepanitiaan seperti Panitia Pemilihan Umum Presiden BEM ITS tahun 2014 dan Panitia Gerakan ITS Menulis pada 2015. Penulis telah mengikuti Kerja Praktik pada 2016 selama satu bulan di PT. Wijaya Karya pada proyek pembangunan Tol Solo-Kertosono penempatan Nganjuk STA 139+000 – STA 152+000.

