



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RG 141536

STUDI FENOMENA PERUBAHAN MUKA AIR LAUT MENGUNAKAN DATA SATELIT ALTIMETRI JASON-2 PERIODE TAHUN 2013-2016 (STUDI KASUS: PERAIRAN INDONESIA)

CRISTIAN FEBRIANTO
NRP 3513100051

Dosen Pembimbing
Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR - RG 141536

**STUDI FENOMENA PERUBAHAN MUKA AIR LAUT
MENGUNAKAN DATA SATELIT ALTIMETRI
JASON-2 PERIODE TAHUN 2013-2016 (STUDI
KASUS: PERAIRAN INDONESIA)**

CRISTIAN FEBRIANTO
NRP 3513100051

Dosen Pembimbing
Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS - RG 141536

**STUDY OF SEA LEVEL CHANGE PHENOMENON
USING SATELLITE ALTIMETRY JASON-2 DATA
DURING PERIOD OF 2013 AND 2016 (CASE
STUDY: INDONESIA SEAS)**

CRISTIAN FEBRIANTO
NRP 3513100051

Supervisor
Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**STUDI FENOMENA PERUBAHAN MUKA AIR LAUT
MENGUNAKAN DATA SATELIT ALTIMETRI JASON-2
PERIODE TAHUN 2013 – 2016
(STUDI KASUS: PERAIRAN INDONESIA)**

Nama Mahasiswa : Cristian Febrianto
NRP : 3513 100 051
Departemen : Teknik Geomatika FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : Ira M. Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.

ABSTRAK

Salah satu dampak dari perubahan iklim global adalah perubahan muka air laut. Kenaikan muka air laut (sea level rise) didefinisikan sebagai peningkatan volume air laut yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti fluktuasi curah hujan yang tinggi serta meningkatnya suhu air laut. Perubahan muka air laut dalam waktu yang cukup lama dengan nilai perubahan yang tinggi dapat memberi dampak yang destruktif pada populasi manusia yang bermukim di pesisir atau dekat pantai.

Studi perubahan muka air laut dapat diamati menggunakan teknologi satelit altimetri seperti misi Satelit Altimetri Jason-2. Dalam penelitian ini pemantauan perubahan muka air laut dilakukan pada 20 titik di Perairan Indonesia yang lokasinya disebar secara merata sehingga dapat mewakili keseluruhan dari perairan Indonesia tersebut selama 4 tahun (2013-2016).

Dalam proses analisa ditambahkan lagi 7 titik pengamatan yang lokasinya berdekatan dengan stasiun pasang surut dengan tujuan untuk analisa validasi menggunakan analisa korelasi antara data perubahan muka air laut dengan data pasang surut. Adapun hasil dari analisa korelasi antara nilai SLA di 7 titik pengamatan dengan data pasang surut yang tersedia di sekitar 7 titik pengamatan tersebut menghasilkan nilai korelasi di atas 0,5 yang menyatakan bahwa tingkat hubungan antara kedua data adalah kuat.

Pada penelitian ini juga dilakukan pengolahan nilai curah hujan dari Satelit TRMM dimana nilai curah hujan bulanan ini juga digunakan untuk analisa korelasi antara nilai SLA di 20 titik pengamatan dengan nilai curah hujan bulanan. Adapun hasil dari analisa korelasi tersebut menghasilkan nilai korelasi yang bervariasi antara 0,0635 – 0,7380 yang menyatakan tingkat hubungan antara kedua data sangat lemah hingga kuat. Untuk analisa tren perubahan muka air laut dilakukan menggunakan regresi linier. Hasil dari perhitungan tren linier ini, 7 lokasi pengamatan mengalami tren positif dengan kenaikan muka air laut tertinggi sebesar 23,5 mm/ Tahun dan 13 lokasi pengamatan mengalami tren negatif dengan penurunan muka air laut tertinggi sebesar 36,4 mm/ Tahun.

Kata Kunci—Altimetri, Analisa Korelasi, Jason-2, Perubahan Muka Air Laut, Tren Linier

**STUDY OF SEA LEVEL CHANGE PHENOMENON
USING SATELLITE ALTIMETRY JASON-2 DATA
DURING PERIOD OF 2013 AND 2016
(CASE STUDY: INDONESIA SEAS)**

Name : Cristian Febrianto
ID No. : 3513 100 051
Department : Geomatics Engineering FTSP-ITS
Supervisor : Ira M. Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.

ABSTRACT

One of the impacts that comes from global climate change is sea level change, especially sea level rise. Sea level rise is defined as the increasing of sea water volume caused by several factors such as the high fluctuations of precipitation and also the increasing of sea water temperature. Sea level change with the high value of changing in a long term, can give destructive impacts to coastal population especially for Indonesia as a maritime country.

Nowadays, study of sea level change can be observed by using satellite altimetry technology. One of the satellite altimetry missions that can be used for this study is Satellite Altimetry Jason-2. Monitoring of sea level change in this research is conducted in 20 locations of Indonesia Seas which are spread equally so that can represent of Indonesia Seas. The period of observation is four years from 2013 to 2016.

For further analysis and validation, 7 additional locations that close to tide station are added. The result shows that the correlation between the value of Sea Level Anomaly (SLA) and the tide data is greater than 0.5 which means that the linear relationship between those data is strong.

In this research, data from Satellite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) is also used to obtain the value of precipitation in Indonesia Oceans. The data then used to analyze the correlation between the value of SLA in the 20 locations and

the precipitation during the period of this study. The result shows that the correlation between those data varies from 0.0635 to 0.7380 that are very weak to strong. From the linear regression analysis, it is found that 7 locations experienced the positive trend with the highest value reached 23.5 mm/ year in East Mentawai and the 13 locations experienced the negative trend with the lowest value reached 36.4 mm/ year in Arafura Sea.

Keywords—Altimetry, Correlation Analysis, Jason-2, Linear Trend, Sea Level Change

**STUDI FENOMENA PERUBAHAN MUKA AIR LAUT
MENGUNAKAN DATA SATELIT ALTIMETRI JASON-2
PERIODE TAHUN 2013-2016
(STUDI KASUS: PERAIRAN INDONESIA)**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:
CRISTIAN FEBRIANTO
NRP. 3513 100 051

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.P., Ph.D.
NIP 19781231 200212 2001



Surabaya, Juli 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

To God Be the Glory! Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas Berkat dan Kasih-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “*Studi Fenomena Perubahan Muka Air Laut Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-2 Periode Tahun 2013-2016 (Studi Kasus: Perairan Indonesia)*”.

Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar sarjana di Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu, mendukung, dan memberikan kontribusi hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, yaitu kepada:

1. Bapak Heru Prasetyo dan Ibu Sumarmi selaku orang tua penulis, serta Hermawan Cahya Setiaji dan keluarga penulis yang lainnya yang selalu memberi dukungan dalam doa dan semangat dalam penyelesaian studi dan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika FTSP-ITS Surabaya.
3. Bapak Yanto Budisusanto, S.T., M.Eng. selaku koordinator Mata Kuliah Tugas Akhir Tahun 2016-2017.
4. Ibu Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak membantu mengarahkan dan memberikan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini sekaligus Dosen Wali yang telah mendampingi masa studi penulis di Departemen Teknik Geomatika FTSP-ITS Surabaya.
5. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Pengajar di Departemen Teknik Geomatika ITS atas ilmu yang telah disampaikan dalam pengajaran.

6. Seluruh jajaran dan staff Bidang Jaring Kontrol Gaya Berat dan Pasang Surut Badan Informasi Geospasial (BIG) atas kerja sama yang diberikan dalam perolehan data pasang surut.
7. Seluruh rekan seperjuangan angkatan 2013 (G15) yang telah senantiasa membantu dan berjuang bersama-sama selama 4 tahun ini.
8. Keluarga besar Paduan Suara Mahasiswa (PSM) ITS angkatan Latihan Alam 2014 (khususnya teman-teman Grup Barocca). Terima kasih untuk segala pengalaman, canda dan tawa, serta pelajaran hidup yang berharga yang sudah kita lalui bersama.
9. Teman-teman Beswan Djarum Surabaya 2015-2016 “Brotherhood 31” atas segala pengalaman berharga yang kita lalui dari status sebagai penerima beasiswa hingga alumni.
10. Semua pihak yang telah membantu pelaksanaan dan pelaporan dari Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Semoga semua hal baik itu mendapat balasan yang terbaik dari Tuhan Yang Maha Esa.

Penulis menyadari segala kekurangan pada penulisan Tugas Akhir ini, oleh karena itu kritik dan saran sangat penulis harapkan untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini ke depannya.

Akhir kata penulis menyampaikan terima kasih atas semua kesempatan yang telah diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Satelit Altimetri	5
2.1.1 Pengertian Satelit Altimetri	5
2.1.2 Prinsip Dasar Satelit Altimetri.....	5
2.1.3 Geometri Pengamatan Satelit Altimetri.....	7
2.1.4 Satelit Altimetri <i>Jason-2</i>	8
2.2 <i>Sea Surface Height</i> (SSH)	10
2.3 <i>Mean Sea Surface</i> (MSS)	11
2.4 <i>Sea Level Anomaly</i> (SLA)	11
2.5 <i>Sea Level Rise</i>	13
2.6 Pasang Surut Air Laut	13
2.7 Satelit TRMM (<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>)	15
2.8 Analisis Data	17
2.8.1 Perhitungan Pasang Surut Metode <i>Least Square</i>	17
2.8.2 Analisis Statistik.....	18
2.8.3 Analisa Korelasi	22
2.8.4 Interpolasi <i>Inverse Distance Weighted</i> (IDW)	23

2.9 Software Pengolah Data	25
2.9.1 BRAT (<i>Basic Radar Altimetry Toolbox</i>)	25
2.9.2 GMT (<i>Generic Mapping Tools</i>)	26
2.10 Penelitian Terdahulu.....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Lokasi Penelitian	31
3.2 Data dan Peralatan.....	33
3.2.1 Data	33
3.2.2 Peralatan	34
3.3 Metodologi Penelitian	35
3.3.1 Tahapan Penelitian	35
3.3.2 Tahapan Pengolahan Data	37
3.3.2.1 Pengolahan Data Satelit Altimetri <i>Jason-2</i>	37
3.3.2.2 Pengolahan Data Pasang Surut.....	40
3.3.2.3 Pengolahan Data Satelit TRMM	42
3.3.2.4 Pengolahan Data.....	43
BAB IV HASIL DAN ANALISA	47
4.1 Pengecekan Data SLA.....	47
4.2 Perhitungan Nilai SLA	47
4.3 Perhitungan Nilai Pasang Surut.....	66
4.4 Pengolahan Nilai Curah Hujan Satelit TRMM	72
4.5 Analisa Validasi Nilai Pasang Surut dengan Nilai SLA.....	74
4.6 Analisa Validasi Nilai Curah Hujan dengan Nilai SLA	75
4.7 Analisa Perubahan Muka Air Laut.....	77
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	83
5.1 Kesimpulan.....	83
5.2 Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA.....	87
LAMPIRAN.....	91
BIODATA PENULIS.....	129

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Satelit Altimetri.....	6
Gambar 2.2 Geometri Pengamatan Satelit Altimetri.....	8
Gambar 2.3 Satelit <i>Jason-2</i> / OSTM (AVISO, 2015)	9
Gambar 2.4 Hubungan Antara SSH dan Komponen-Komponen Pembentukannya (Gunadi, 1999)	10
Gambar 2.5 Mekanisme Pembentukan Pasut (Azis, 2006)	15
Gambar 2.6 Instrumen Satelit TRMM.....	16
Gambar 2.7 Ilustrasi Interpolasi IDW	24
Gambar 2.8 Ikon Software GMT	26
Gambar 2.9 Kenaikan Muka Air Laut Global Abad ke 20 dan 21 (Nicholls dan Cazenave, 2010)	28
Gambar 3.1 Lokasi Perencanaan Titik Pengamatan	31
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Penelitian.....	36
Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data GDR Satelit <i>Jason-2</i>	38
Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan Data Pasang Surut.....	41
Gambar 3.5 Diagram Alir Pengolahan Data Satelit TRMM	42
Gambar 3.6 Diagram Alir Pengolahan Data.....	44
Gambar 4.1 SLA Bulan Februari 2013.....	50
Gambar 4.2 SLA Bulan Februari 2014.....	50
Gambar 4.3 SLA Bulan Februari 2015.....	51
Gambar 4.4 SLA Bulan Februari 2016.....	52
Gambar 4.5 SLA Bulan Februari 2013 Hasil Pemodelan di GMT	53
Gambar 4.6 SLA Bulan Februari 2014 Hasil Pemodelan di GMT	53
Gambar 4.7 SLA Bulan Februari 2015 Hasil Pemodelan di GMT	54
Gambar 4.8 SLA Bulan Februari 2016 Hasil Pemodelan di GMT	54
Gambar 4.9 Grafik SLA Titik 1 Tahun 2013-2016.....	56

Gambar 4.10 Grafik SLA Titik 3 Tahun 2013-2016.....	57
Gambar 4.11 Grafik SLA Titik Validasi di Perairan Selatan Banten Tahun 2013-2016.....	62
Gambar 4.12 Grafik SLA Titik Validasi di Perairan Seram Tahun 2013-2016.....	63
Gambar 4.13 Grafik SLA Titik Validasi di Perairan Lombok Timur 2013-2016.....	63
Gambar 4.14 Grafik SLA Titik Validasi di Perairan Manokwari Tahun 2013-2016.....	64
Gambar 4. 15 Grafik SLA Titik Validasi di Perairan Toli-Toli Tahun 2013-2016.....	64
Gambar 4.16 Grafik SLA Titik Validasi di Perairan Mentawai Tahun 2013-2016.....	65
Gambar 4.17 Grafik SLA Titik Validasi di Perairan Belawan Tahun 2013-2016.....	65
Gambar 4.18 Grafik Tren SLA Titik 1 Tahun 2013-2016	77
Gambar 4.19 Grafik Tren SLA Titik 3 Tahun 2013-2016	78
Gambar 4.20 Grafik Tren SLA Titik 5 Tahun 2013-2016	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Informasi Produk Satelit Altimetri	7
Tabel 2.2 Karakteristik Satelit <i>Jason-2</i> (AVISO, 2015)	9
Tabel 2.3 Interpretasi Koefisien Korelasi Nilai ρ	22
Tabel 3.1 Koordinat Lokasi Titik Pengamatan.....	32
Tabel 3.2 Koordinat Lokasi Perairan untuk Validasi dengan Data Pasut.....	33
Tabel 3.3 Kriteria Data Satelit <i>Jason-2</i>	39
Tabel 4.1 Nilai SLA Titik 1 (Perairan Barat Laut P. Simeulue) Tahun 2013-2016 dalam Meter (M)	55
Tabel 4.2 Nilai SLA Titik 3 (Perairan Selatan DIY) Tahun 2013-2016 dalam Meter (M)	56
Tabel 4.3 Koordinat Titik Sampel Validasi Nilai SLA dengan Nilai MSL Pasut.....	57
Tabel 4.4 Nilai SLA Titik Validasi 1 (Perairan Pelabuhan Ratu) Tahun 2013-2016 dalam Meter (M)	58
Tabel 4.5 Nilai SLA Titik Validasi 2 (Perairan Bula, Seram) Tahun 2013-2016 dalam Meter (M)	58
Tabel 4.6 Nilai SLA Titik Validasi 3 (Perairan Tanjung Luar, Lombok Timur) Tahun 2013-2016 dalam Meter (M)..	59
Tabel 4.7 Nilai SLA Titik Validasi 4 (Perairan Manokwari) Tahun 2013-2016 dalam Meter (M)	59
Tabel 4.8 Nilai SLA Titik Validasi 5 (Perairan Toli-Toli) Tahun 2013-2016 dalam Meter (M).....	60
Tabel 4.9 Nilai SLA Titik Validasi 6 (Perairan Mentawai) Tahun 2013-2016 dalam Meter (M).....	61
Tabel 4.10 Nilai SLA Titik Validasi 7 (Perairan Belawan) Tahun 2013-2016 dalam Meter (M).....	61
Tabel 4.11 Nilai Tinggi Muka Air Laut Rata-Rata Stasiun Pasang Surut Pelabuhan Ratu (M)	66
Tabel 4.12 Nilai Tinggi Muka Air Laut Rata-Rata Stasiun Pasang Surut Bula (M)	67

Tabel 4.13 Nilai Tinggi Muka Air Laut Rata-Rata Stasiun Pasang Surut Tanjung Luar (M).....	68
Tabel 4.14 Nilai Tinggi Muka Air Laut Rata-Rata Stasiun Pasang Surut Manokwari (M)	68
Tabel 4.15 Nilai Tinggi Muka Air Laut Rata-Rata Stasiun Pasang Surut Toli-Toli (M).....	69
Tabel 4.16 Nilai Tinggi Muka Air Laut Rata-Rata Stasiun Pasang Surut Maillepet (M)	70
Tabel 4.17 Nilai Tinggi Muka Air Laut Rata-Rata Stasiun Pasang Surut Belawan (M).....	70
Tabel 4.18 Nilai Curah Hujan Titik 1 (Perairan Barat Laut P. Simeulue) Tahun 2013-2016 (mm/ bulan).....	73
Tabel 4.19 Nilai Curah Hujan Titik 3 (Perairan Selatan DIY) Tahun 2013-2016 (mm/ bulan)	73
Tabel 4.20 Nilai Korelasi antara Nilai Pasang Surut (MSL) dengan Nilai SLA	74
Tabel 4.21 Nilai Korelasi antara Nilai Curah Hujan Bulanan (Satelit TRMM) dengan Nilai SLA	76
Tabel 4.22 Hasil Persamaan Tren Linier Tiap Titik Pengamatan	80

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Grafik Nilai SLA di 20 Titik Pengamatan

Lampiran 2 Grafik Tren Nilai SLA di 20 Titik Pengamatan

Lampiran 3 Grafik Nilai Curah Hujan Bulanan di 20 Titik
Pengamatan

Lampiran 4 Hasil *Gridding* dan Interpolasi SLA di GMT

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan 17.504 pulau dan luas perairan laut 5,8 juta km² (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2015). Dengan luasnya perairan ini Indonesia memiliki potensi laut yang sangat besar dalam bidang sumber daya perikanan dan energi. Di samping potensi yang besar, lautan Indonesia juga dapat memberikan ancaman bahaya terhadap wilayah di sekitarnya. Salah satunya adalah fenomena kenaikan muka air laut atau *sea level rise* sebagai akibat dari adanya perubahan iklim global.

Dalam publikasi dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) ekspansi termal di lautan dan mencairnya es di kutub telah menjadi faktor dominan dari meningkatnya muka air global (*Global Mean Sea Level Rise*) di abad ke 20. Penelitian yang telah dilakukan sejak tahun 1971 menunjukkan bahwa ekspansi termal laut dan mencairnya es menjelaskan 75% dari objek yang diamati tersebut mengalami kenaikan. Kenaikan muka air laut global karena ekspansi termal lautan kira-kira sebanding dengan peningkatan kadar panas di lautan. Secara singkat kenaikan muka air laut (*sea level rise*) didefinisikan sebagai peningkatan volume air laut yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti fluktuasi curah hujan yang tinggi serta meningkatnya suhu air laut (IPCC, 2001). Beberapa faktor tersebut diduga terjadi karena adanya perubahan iklim secara global. Perubahan muka air laut dalam waktu yang cukup lama dengan nilai perubahan yang tinggi dapat memberi dampak yang destruktif pada populasi manusia yang bermukim di pesisir atau dekat pantai. Hal ini dikarenakan pemuai air laut yang akan meningkatkan intensitas dan frekuensi banjir yang dapat menggenangi wilayah daratan.

Untuk itu diperlukan studi lanjut untuk mempelajari fenomena kenaikan muka air laut di Indonesia. Seiring dengan berkembangnya teknologi satelit, kini perubahan muka air laut dapat diteliti salah satunya dengan menggunakan satelit altimetri.

Dengan luas perairan yang sangat besar maka penggunaan teknologi satelit altimetri ini dapat menjadi salah satu alternatif yang tepat untuk mengamati fenomena kenaikan muka air laut secara efektif dan efisien. Salah satu satelit yang berperan dalam pengamatan kenaikan muka air laut adalah Satelit *Jason-2*. Melalui penggunaan data Satelit *Jason-2* diharapkan mampu untuk mengetahui fenomena *Sea Level Rise* di perairan Indonesia pada periode tahun 2013-2016. Hasil akhir dari perhitungan *Sea Level Rise* adalah dalam bentuk tren untuk mengetahui kecenderungan perubahan muka air laut.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana tren kenaikan muka air laut di wilayah perairan Indonesia berdasarkan hasil pengamatan Satelit Altimetri *Jason-2*?
- b. Bagaimana korelasi kenaikan muka air laut terhadap beberapa data pembandingan seperti data curah hujan dan pasang surut air laut?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diangkat dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Analisa *Sea Level Rise* di 20 titik perairan Indonesia.
- b. Data yang digunakan adalah data Satelit Altimetri *Jason-2* periode tahun 2013-2016.
- c. Data tambahan yang digunakan untuk perhitungan korelasi adalah data curah hujan dan data pasang surut air laut.
- d. Analisa *Sea Level Rise* dengan data pasang surut air laut dilakukan di 7 titik tambahan perairan Indonesia yang jaraknya dekat dengan stasiun pasang surut.
- e. Proses pengolahan data satelit menggunakan *software* BRAT (*Basic Radar Altimetry Toolbox*).
- f. Proses pemodelan data menggunakan *software* BRAT dan GMT (*Generic Mapping Tools*).

- g. Data pasang surut yang digunakan berasal dari data stasiun pasang surut BIG (Badan Informasi Geospasial) yang terletak di sekitar daerah lokasi penelitian.
- h. Data curah hujan yang digunakan berasal dari data Satelit TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

- a. Menentukan nilai *Sea Level Anomaly* (SLA) di titik perairan Indonesia yang diamati.
- b. Menganalisa *Sea Level Rise* di titik pengamatan untuk mengetahui tren perubahan dan kecenderungan kenaikan muka laut.
- c. Menganalisa korelasi antara curah hujan dan pengaruh pasang surut air laut terhadap kenaikan muka air laut di titik pengamatan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan informasi terkait tren perubahan dan kecenderungan kenaikan muka air laut selama periode tahun 2013-2016 di 20 titik pengamatan perairan Indonesia kemudian dilakukan analisa untuk mengetahui korelasi antara data kenaikan muka air laut dengan data curah hujan serta data pasang surut. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu pemerintah atau instansi terkait untuk mengantisipasi dampak kenaikan muka air laut pada daerah terdampak serta penanggulangannya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Satelit Altimetri

2.1.1 Pengertian Satelit Altimetri

Sistem satelit altimetri berkembang sejak tahun 1975 saat diluncurkannya sistem satelit Geos-3. Pada saat ini secara umum sistem satelit altimetri mempunyai tiga objektif ilmiah jangka panjang, yaitu:

- Mengamati sirkulasi lautan global
- Memantau volume dari lempengan es kutub
- Mengamati perubahan muka laut rata-rata (MSL) global

Dalam konteks geodesi, objektif terakhir dari misi satelit altimetri tersebut adalah yang paling menjadi perhatian. Dengan kemampuannya untuk mengamati topografi dan dinamika dari perubahan laut secara kontinyu, maka satelit altimetri tidak hanya bermanfaat untuk pemantauan perubahan MSL global, tetapi juga akan bermanfaat untuk beberapa aplikasi geodetik dan oseanografi lainnya seperti (Seeber, 1993):

- Penentuan topografi permukaan laut (*Sea Surface Topography/SST*)
- Penentuan topografi muka es
- Penentuan geoid di wilayah lautan
- Penentuan karakteristik arus dan *eddies*
- Penentuan tinggi (signifikan) dan panjang (dominan) gelombang
- Studi pasang surut di lepas pantai
- Penentuan kecepatan angin di atas permukaan laut
- Penentuan batas wilayah laut dan es
- Studi fenomena El Nino
- Unifikasi datum tinggi antar pulau

2.1.2 Prinsip Dasar Satelit Altimetri

Prinsip dasar satelit altimetri sangat sederhana. Satelit ini digunakan sebagai *platform* yang bergerak untuk sensor yang

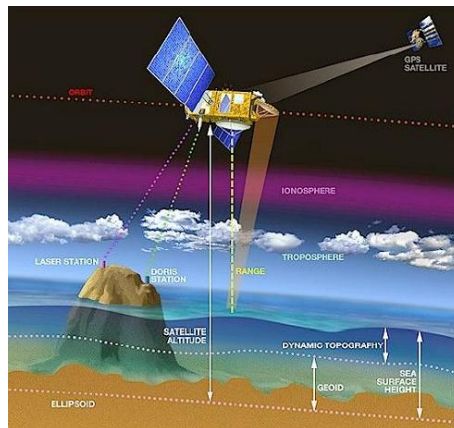
mentransmisikan pulsa gelombang mikro dalam domain frekuensi radar ke permukaan bumi, dan menerima sinyal yang kembali setelah terjadi pemantulan pada permukaan bumi (Seeber, 2003). Ketinggian satelit di atas permukaan laut (a) dapat diturunkan sebagai aproksimasi pertama dari waktu tempuh (Δt) dari pulsa radar yang dikirimkan ke permukaan laut dan dipantulkan kembali ke satelit dengan persamaan 2.1:

$$a = c \frac{\Delta t}{2} \quad (2.1)$$

dimana:

- a : ketinggian satelit (m)
 c : cepat rambat sinyal (m/s)
 Δt : waktu tempuh (s)

Menurut Abidin (2001) satelit altimetri diperengkapi dengan pemancar pulsa radar (*transmitter*), penerima pulsa radar yang sensitif (*receiver*), serta jam berakurasi tinggi. Pada sistem ini, radar altimeter yang dibawa oleh satelit memancarkan pulsa-pulsa gelombang elektromagnetik (radar) ke permukaan laut. Pulsa-pulsa tersebut dipantulkan balik oleh permukaan laut dan diterima kembali oleh satelit.



Gambar 2.1 Prinsip Satelit Altimetri

Perlu dicatat bahwa untuk mengeliminasi efek dari gelombang serta gerakan muka laut berfrekuensi tinggi lainnya, jarak ukuran adalah jarak rata-rata dalam *footprint*. Dari data rekaman waktu tempuh sinyal, serta amplitude, dan bentuk muka sinyal setelah dipantulkan oleh permukaan laut, beberapa karakteristik muka laut dapat diestimasi seperti yang diberikan pada tabel 2.1:

Tabel 2.1 Informasi Produk Satelit Altimetri
(Seeber, 1993; SRSRA, 2001)

Dari data waktu tempuh sinyal	Dari data bentuk dan struktur muka gelombang pantul
<ul style="list-style-type: none"> • Posisi vertikal permukaan laut • Topografi muka laut (SST) • Undulasi geoid • Topografi es • Lokasi dan kecepatan arus laut 	<ul style="list-style-type: none"> • Tinggi gelombang • Panjang gelombang dominan • Informasi termoklin • Kemiringan lapisan es
Dari data amplitudo gelombang pantul	
<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan angin permukaan sepanjang <i>ground-track</i> satelit • Batas laut/ es 	

2.1.3 Geometri Pengamatan Satelit Altimetri

Geometri pengamatan satelit altimetri direpresentasikan secara matematis sebagai berikut:

$$h = N + H + \Delta H + a + d \quad (2.2)$$

dimana:

h : tinggi ellipsoid dari satelit altimeter (dihitung dari informasi orbit)

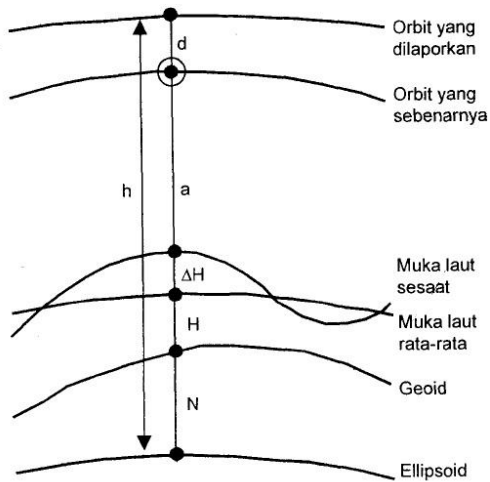
N : undulasi geoid

H : *sea surface topography* (SST)

ΔH : efek pasut *instantaneous*

a : hasil ukuran altimeter

d : kesalahan orbit

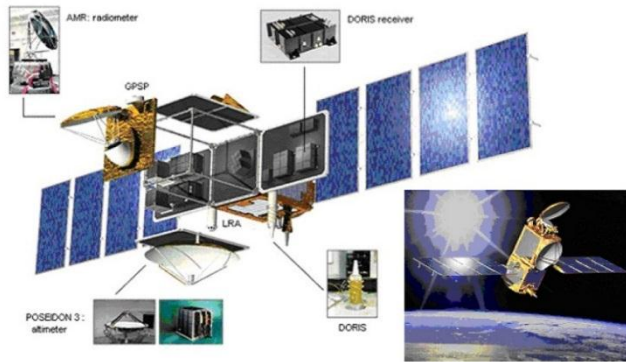


Gambar 2.2 Geometri Pengamatan Satelit Altimetri
(Seeber, 1993)

Hasil ukuran altimeter (a) pada persamaan di atas merupakan hasil ukuran yang sudah dikoreksi dengan kesalahan-kesalahan akibat refraksi ionosfer dan troposfer, serta kesalahan dan bias yang terkait dengan sensor altimeter serta dinamika muka laut.

2.1.4 Satelit Altimetri Jason-2

Satelit *Jason-2/ OSTM (Ocean Surface Topography Mission)* merupakan satelit misi lanjutan dari satelit *TOPEX/ Poseidon* dan *Jason-1*. Apabila satelit *TOPEX/ Poseidon* dan *Jason-1* adalah misi satelit di bawah kerja sama dari *French Space Agency "Centre National d'Etudes Spatiales"* (CNES) dan *United States National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, *Jason-2/ OSTM* melibatkan CNES, NASA, dan dua partner baru yaitu *The European Organisation for The Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT)* dan *The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* dalam upaya untuk memfasilitasi peralihan pada misi operasional altimetri secara penuh, dapat memenuhi aktualitas dan realibilitas data yang dibutuhkan untuk operasional aplikasi.



Gambar 2.3 Satelit *Jason-2/ OSTM* (AVISO, 2015)

Tabel 2.2 Karakteristik Satelit *Jason-2* (AVISO, 2015)

Berat satelit	525 kg
Kekuatan satelit	511 W
Kendaraan peluncur	Delta II (7320)
Eksentrisitas	0,000095
Inklinasi	66,04 derajat
Tinggi referensi (dari ellipsoid)	1.336 km
Jarak antar lintasan	315 km
Kecepatan orbit	72,5 km/ s
Kecepatan saat <i>tracking</i>	5,8 km/ s
Periode pengulangan	9,9156 hari

Misi Satelit *Jason-2/ OSTM* merupakan misi lanjutan dari dua satelit pendahulunya yaitu T/P dan *Jason-1* dengan dua misi utama yaitu:

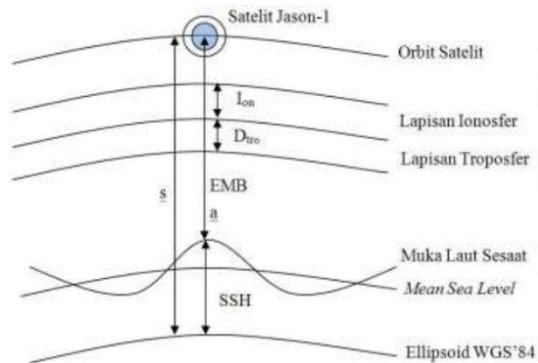
- Memastikan kelanjutan dari pengukuran dengan kualitas tinggi untuk ilmu kelautan.
- Menyediakan produk operasional untuk aplikasi perpaduan dan peramalan.

2.2 Sea Surface Height (SSH)

Menurut AVISO (2015) *Sea Surface Height* (SSH) adalah tinggi permukaan laut di atas ellipsoid referensi. Nilai SSH dihitung dengan cara mengurangkan tinggi satelit dengan pengukuran altimeter yang telah dikoreksi melalui persamaan 2.3:

$$\text{Sea Surface Height} = \text{Altitude} - \text{Corrected Range} \quad (2.3)$$

Hubungan antara *Sea Surface Height* (SSH) dan komponen pembentukannya diilustrasikan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.4 Hubungan Antara SSH dan Komponen-Komponen Pembentukannya (Gunadi, 1999)

Dari ilustrasi tersebut, secara umum pencarian nilai SSH dapat dirumuskan seperti pada persamaan 2.4 (Gunadi, 1999 dalam Alfian, 2013):

$$SSH = s - (a + W_{\text{trop}} + D_{\text{trop}} + I_{\text{ono}} + EMB) \quad (2.4)$$

Dimana:

SSH : tinggi permukaan laut di atas ellipsoid referensi WGS 84 (mm)

s : tinggi satelit di atas ellipsoid referensi WGS 84 (mm)

a : jarak dari antenna altimeter satelit ke permukaan laut sesaat (mm)

- W_{trop} : koreksi troposfer basah (mm)
 D_{trop} : koreksi troposfer kering (mm)
 I_{ono} : koreksi ionosfer (mm)
 EMB : *Electromagnetic Bias*/ bias elektromagnetik (mm) yaitu perbedaan antara muka laut rata-rata dengan muka pantulan rata-rata yang disebabkan oleh tingkat kekasaran permukaan laut yang tidak homogen secara spasial (Abidin, 2001).

2.3 Mean Sea Surface (MSS)

Menurut AVISO (2015) *Mean Sea Surface* merepresentasikan posisi permukaan air laut rata-rata pada suatu periode waktu tertentu untuk menghilangkan sinyal *sea surface height* (SSH) tahunan, setengah tahun, musiman, dan sinyal palsu. *Mean Sea Surface* diberikan sebagai sebuah *grid* dengan dengan jarak *grid* yang konsisten dari data *altimeter* dan data lain yang digunakan untuk mendapatkan turunan nilai *grid*. *Grid Mean Sea Surface* dapat bermanfaat untuk mengedit data, menghitung jalur *track* dan gradien silang *track* geoid, menentukan permukaan dari topografi muka laut, menghitung nilai *grid* dari anomali gaya berat, untuk studi geofisika, untuk referensi permukaan yang mana data *sea surface height* dapat direduksi dari berbagai misi satelit altimetri yang berbeda.

2.4 Sea Level Anomaly (SLA)

Menurut AVISO (2015) *Sea Level Anomaly* (SLA) adalah tinggi permukaan laut dikurangi dengan permukaan laut rata-rata dan efek geofisik yang diketahui, yaitu pasang surut dan *inverse barometer* (pengaruh tekanan atmosfer). Di dalam SLA efek geofisik tersebut sudah dihilangkan. Efek pasang surut mencakup *Solid Earth Tide* (SET), *Earth Ocean Tide* (EOT), dan *Pole Tide* (PT) (Benada, 1997 dalam Hakim, 2016). Nilai SLA didapatkan dengan menggunakan persamaan 2.5:

$$SLA = SSH - \text{Bidang Geoid} - \text{Koreksi Nois} \quad (2.5)$$

Koreksi nois terdiri dari:

$$\text{Koreksi Nois} = \varepsilon^{\text{ion}} + \varepsilon^{\text{tro (wet)}} + \varepsilon^{\text{tro (dry)}} + \varepsilon_{\text{SSB}} + \varepsilon^{\text{ot}} + \varepsilon^{\text{et}} + \varepsilon^{\text{pt}} + \varepsilon^{\text{IB}} + \varepsilon^{\text{L}} + \varepsilon_{\text{GH/MSS}} \quad (2.6)$$

Dimana:

ε^{ion}	: koreksi ionosfer (mm)
$\varepsilon^{\text{tro (wet)}}$: koreksi troposfer basah (mm)
$\varepsilon^{\text{tro (dry)}}$: koreksi troposfer kering (mm)
ε_{SSB}	: koreksi gelombang permukaan (mm)
ε^{ot}	: koreksi efek pasang surut laut (mm)
ε^{et}	: koreksi efek pasang surut bumi (mm)
ε^{pt}	: koreksi efek pasang surut kutub (mm)
ε^{IB}	: koreksi efek <i>inverse barometer</i> (mm)
ε^{L}	: koreksi efek <i>ocean loading</i> (mm)
$\varepsilon_{\text{GH/MSS}}$: reduksi tinggi geoid atau <i>mean sea surface</i> (mm)

SLA mengandung informasi tentang (*AVISO and PODAAC User Handbook. IGDR and Jason Product*):

- Perubahan yang secara nyata terjadi pada topografi laut yang terkait dengan arus laut.
- Respon dinamis terhadap tekanan atmosferik.
- Perbedaan antara pasang surut dan model pasang surut.
- Perbedaan antara model *Mean Sea Surface* dan *Mean Sea Surface* yang sebenarnya terjadi pada lokasi orbit *Jason-2/OSTM*.
- Efek pengukuran *unmodeled* atau *mismodel* (seperti kemiringan, bias elektromagnetik, kesalahan altimeter, koreksi troposfer, koreksi ionosfer, dan lain-lain).
- Kesalahan orbit.

2.5 Sea Level Rise

Sea Level Rise atau kenaikan muka air laut merupakan peningkatan volume air laut yang disebabkan oleh faktor-faktor yang kompleks. *Sea Level Rise* pada mulanya merupakan rangkaian dari proses pasang surut air laut. Namun saat ini semakin tingginya muka air laut bukan lagi hanya karena proses pasang surut, tetapi juga akibat pengaruh perubahan iklim global. Berdasarkan hasil publikasi yang dilakukan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* atau IPCC (2001), salah satu penyebab terbesar terjadinya *sea level rise* adalah peningkatan temperatur air laut. Hal tersebut terjadi karena temperatur kedalaman laut berubah secara perlahan sehingga kenaikan temperatur akan terus berlanjut sampai beberapa abad ke depan walaupun konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer stabil. Mencairnya glasier pegunungan dan tutupan es juga diprediksikan menjadi penyebab utama perubahan kenaikan muka air laut.

Menurut Nurmaulia dkk (2005), *sea level rise* adalah fenomena naiknya muka air laut yang disebabkan oleh adanya peningkatan volume air laut sebagai akibat dari pemuaiian ataupun mencairnya es di kutub. Mencairnya es di kutub sebagian besar disebabkan oleh efek rumah kaca (*greenhouse effect*). Efek rumah kaca yang berlebihan karena komposisi lapisan gas rumah kaca di atmosfer terganggu memicu naiknya suhu rata-rata di permukaan bumi, maka terjadilah pemanasan global.

Penggunaan teknologi satelit altimetri telah digunakan secara langsung untuk mengukur *sea level rise* global sejak dari awal tahun 1990 (*L. Fenoglio-Marc et al., 2012*) Satelit altimetri menyediakan berbagai fungsi yang sangat berguna untuk menentukan tingkat dan penyebab perubahan muka air laut.

2.6 Pasang Surut Air Laut

Pasang surut adalah perubahan gerak relatif dari materi suatu planet, bintang, dan benda angkasa lainnya yang diakibatkan aksi gravitasi benda-benda angkasa di luar materi itu berada. Sehingga

pasang surut yang terjadi di bumi terdapat dalam tiga bentuk (GROSS, 1997 dalam Azis, 2006) yaitu:

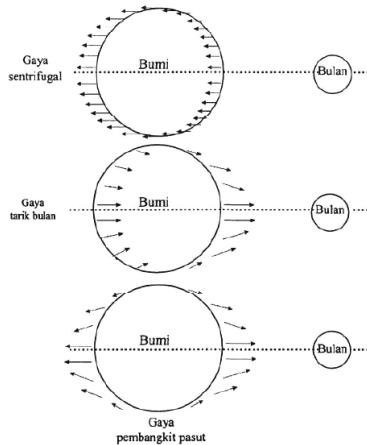
1. Pasang surut atmosfer (*atmospheric tide*)
2. Pasang surut laut (*ocean tide*)
3. Pasang surut bumi (*body tide*)

Pasang surut air laut merupakan fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi, dan bulan (Dronkers, 1964). Pengaruh benda angkasa lainnya dapat diabaikan karena jaraknya lebih jauh atau ukurannya lebih kecil.

Gaya yang menimbulkan pasang surut merupakan resultan gaya sentrifugal dan gaya tarik benda langit (bulan dan matahari). Revolusi bulan mengelilingi bumi menimbulkan gaya sentrifugal yang arahnya menjauhi bulan dan besarnya sama setiap titik di permukaan bumi. Sebaliknya gaya tarik bulan bergantung pada jarak dari titik-titik di permukaan bumi terhadap bulan. Makin dekat jarak tersebut, makin besar gaya tarik bulan. Resultan gaya sentrifugal dan gaya tarik bulan ini menghasilkan gaya pembangkit yang bertanggung jawab terhadap timbulnya pasang surut di laut. Matahari juga melakukan gaya tarik terhadap air laut meskipun massa matahari jauh lebih besar daripada massa bulan, akan tetapi gaya tariknya lebih kecil daripada gaya tarik bulan karena jarak matahari-bumi jauh lebih besar daripada jarak bumi-bulan.

Puncak gelombang disebut pasang tinggi dan lembah gelombang disebut pasang rendah. Perbedaan vertikal antara pasang tinggi dan pasang rendah disebut rentang pasang surut (*tidal range*). Ada tiga tipe pasang surut, yaitu:

1. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tides*) yaitu jika suatu perairan mengalami satu kali pasang surut dan satu kali surut dalam satu hari.



Gambar 2.5 Mekanisme Pembentukan Pasut (Azis, 2006)

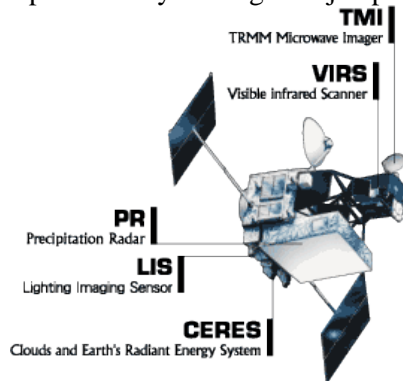
2. Pasang surut harian ganda (*semidiurnal tides*) yaitu jika terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam satu hari.
3. Pasang surut tipe campuran (*mixed tides*) yaitu peralihan antara tipe tunggal dan ganda dan tipe pasut ini digolongkan menjadi dua bagian yaitu tipe campuran dominasi ganda dan tipe campuran dominasi tunggal.

2.7 Satelit TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*)

TRMM merupakan singkatan dari *Tropical Rainfall Measuring Mission* yang merupakan misi kerja sama satelit antara NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) dan JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) untuk melakukan pemantauan dan studi curah hujan di daerah tropis (NASDA, 2001). Satelit ini diluncurkan pada tanggal 27 November 1997 dari Tagashima Space Center di Tanageshima, Jepang.

Satelit TRMM dirancang khusus untuk mengukur curah hujan di daerah tropis dan subtropis, serta memberikan informasi tentang ketinggian atmosfer dimana pemanasan dan pendinginan yang terkait dengan hujan berlangsung. TRMM memberikan laporan bulanan curah hujan total yang jatuh di suatu daerah.

Terdapat dua misi dari satelit TRMM, yaitu mengukur curah hujan dari antariksa baik distribusi horizontalnya maupun profil vertikalnya dan untuk mengukur curah hujan sepanjang wilayah tropis dimana merupakan wilayah dengan hujan paling banyak.



Gambar 2.6 Instrumen Satelit TRMM

TRMM memiliki lima sensor yang digunakan untuk pengamatan curah hujan di daerah tropis. Kelima sensor tersebut adalah:

1. *Precipitation Radar (PR)*

PR adalah radar pemindai elektronis yang beroperasi pada 13,8 GHz. PR memiliki resolusi horizontal sebesar 4,3 km dengan jarak resolusi 250 M dan lebar petak pemindaian sebesar 220 km. objektif utama dari instrument PR adalah (NASDA, 2001):

- a. Menyediakan struktur curah hujan secara tiga dimensi.
- b. Mendapatkan pengukuran kuantitatif dari curah hujan baik di daratan maupun lautan.

Secara lebih rinci, instrumen PR akan menjelaskan kedalaman lapisan curah hujan dan memberikan informasi tentang curah hujan yang menyentuh permukaan.

2. *TRMM Microwave Imager (TMI)*

TMI adalah *radiometer* gelombang mikro pasif dual polarisasi dengan banyak saluran. TMI memanfaatkan 9 saluran dengan operasi frekuensi yang digunakan 10,65 GHz, 19,35 GHz, 21,3

GHz, 37 GHz, dan 85,5 GHz. Instrument TMI akan menyediakan data yang terkait dengan curah hujan di atas lautan, tetapi kurang dapat diandalkan untuk pengukuran di daratan.

3. *Visible Infrared Scanners (VIRS)*

VIRS adalah sebuah *radiometer* pemindai yang bekerja secara bersilangan (*cross-track*) yang mengukur data di dalam lima kanal spektral. *Radiometer* dari lima kanal spektral tersebut beroperasi pada 0,63; 1,6; 3,75; 10,80; dan 12 mikron. VIRS mengambil data cakupan awan, tipe awan, dan suhu puncak awan dalam resolusi yang sangat tinggi.

4. *Lightning Imaging Sensor (LIS)*

LIS dirancang untuk menyelidiki kejadian petir atau halilintar secara global, mengamati distribusi kejadian dan variabilitasnya di seluruh dunia. Penggunaan secara bersama-sama dengan PR, TMI, dan VIRS dapat melihat hubungan yang terjadi antara kejadian petir dan hujan. LIS adalah sensor optik yang telah dikalibrasi dan bekerja pada 0,7774 mikron. LIS memiliki resolusi horizontal 5 km pada titik nadir dan lebar pemindaian 590 km.

5. *Clouds and Earth's Radiant Energy (CERES)*

CERES digunakan untuk mengurangi ketidakpastian utama dalam memprediksi perubahan iklim bumi dalam jangka yang panjang. CERES dirancang khusus untuk mengukur radiasi matahari yang dipancarkan atau dipantulkan oleh permukaan bumi dan gas-gas yang terdapat pada atmosfer seperti awan dan aerosol. CERES adalah pemindai *radiometer* berbasis *broadband* yang bekerja pada 0,3-0,5 mikron pada gelombang pendek dan 8-12 mikron pada gelombang jauh.

2.8 Analisis Data

2.8.1 Perhitungan Pasang Surut Metode *Least Square*

Salah satu metode perhitungan nilai pasang surut adalah dengan menggunakan metode *least square*. Perhitungan pasang surut metode *least square* merupakan metode perhitungan pasang surut dimana metode ini berusaha membuat garis yang mempunyai

jumlah selisih (jarak vertikal) antara data dengan regresi yang terkecil. Pada prinsipnya metode *least square* meminimumkan persamaan elevasi pasang surut, sehingga diperoleh persamaan simultan. Kemudian persamaan simultan tersebut diselesaikan dengan metode numerik sehingga diperoleh konstanta pasang surut (Ali et.al, 1994 dalam Dualembang, 2015).

Persamaan numerik pasang surut secara umum adalah sebagai berikut:

$$ht_i = Z_0 + \sum_1^n H_n \cos[\omega_n t_i + g_n] \quad (2.7)$$

$$ht_i = Z_0 + \sum_1^n H_n [\cos(\omega_n t_i) \cos(g_n) - \sin(\omega_n t_i) \sin(g_n)] \quad (2.8)$$

$$ht_i = Z_0 + \sum_1^n A_n \cos(\omega_n t_i) - \sum_1^n B_n \sin(\omega_n t_i) \quad (2.9)$$

$$H_n = \sqrt{A^2 n + B^2 n} \quad (2.10)$$

$$g_n = \arctg \left(\frac{B_n}{A_n} \right) \quad (2.11)$$

Dimana:

- ht_i : elevasi muka air jam ke – i (satuan meter)
- H_n : amplitudo komponen ke – n (satuan meter)
- ω_n : kecepatan sudut ($2\pi/ T_n$) (satuan derajat/ jam)
- $A^2 n$: $H_n \cos(g_n)$
- $B^2 n$: $H_n \sin(g_n)$

2.8.2 Analisis Statistik

Dalam analisis statistik untuk penelitian ini dapat digunakan beberapa metode analisis. Berikut akan dijelaskan beberapa metode analisis statistik yang dapat digunakan.

2.8.2.1 Regresi Linier

Regresi linier adalah metode yang digunakan untuk membentuk model hubungan antara variabel terikat dengan satu atau lebih variabel bebas. Apabila terdapat satu variabel bebas

disebut sebagai regresi linier sederhana, jika variabel bebas lebih dari satu maka disebut sebagai regresi linier berganda.

Regresi mampu mendeskripsikan fenomena data melalui terbentuknya suatu hubungan model hubungan yang bersifat numerik. Regresi juga dapat digunakan untuk melakukan pengendalian (kontrol) terhadap suatu kasus atau hal-hal yang sedang diamati melalui penggunaan model regresi yang diperoleh. Selain itu, model regresi juga dapat dimanfaatkan untuk melakukan prediksi untuk variabel terikat. Secara umum bentuk persamaan dari regresi linier dapat dilihat pada persamaan 2.12 (Sarwono, 2006 dalam Hakim, 2016):

$$y = mx + c \quad (2.12)$$

Dimana:

y : variabel dependen atau tak bebas yang dicari; dalam hal ini yang dicari adalah tren kenaikan muka air laut.

x : variabel independen atau bebas yang menyatakan waktu; dalam hal ini adalah jumlah bulan

m : koefisien regresi yang menyatakan ukuran kemiringan garis (*slope*)

c : titik perpotongan garis dengan sumbu Y

nilai m dan c didapat dari persamaan di bawah ini:

$$m = \frac{N \sum_{n=1}^N x_n y_n - (\sum_{n=1}^N x_n)(\sum_{n=1}^N y_n)}{N \sum_{n=1}^N x_n^2 - (\sum_{n=1}^N x_n)^2} \quad (2.13)$$

$$c = \frac{\sum_{n=1}^N y_n}{N} - m \frac{\sum_{n=1}^N x_n}{N} \quad (2.14)$$

2.8.2.2 Regresi Polinomial

Regresi polinomial merupakan model regresi linier yang dibentuk dengan menjumlahkan pengaruh masing-masing variabel prediktor (X) yang dipangkatkan meningkat sampai orde ke- k .

Secara umum model regresi polinomial ditulis dalam bentuk persamaan seperti berikut:

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + \dots + b_kX^k + \varepsilon \quad (2.15)$$

Dimana:

Y : variabel respons
 b_0 : intersep/ titik perpotongan
 b_1, b_2, \dots, b_k : koefisien regresi
 X : variabel predictor
 ε : faktor pengganggu yang tidak dapat dijelaskan oleh model regresi

Jika $x_j = x^j, j = 1, 2, \dots, k$, maka model polinomial adalah model regresi linier berganda dalam variabel penjelas k x_1, x_2, \dots, x_k . Sehingga model regresi linier $y = Xb + \varepsilon$ termasuk model regresi polinomial. Dengan demikian teknik untuk mencocokkan (*fitting*) model regresi linier dapat digunakan untuk mencocokkan model regresi polinomial.

Sebagai contoh:

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + \varepsilon \quad (2.16)$$

atau

$$E(y) = b_0 + b_1X + b_2X^2 \quad (2.17)$$

Merupakan model regresi polinomial dalam satu variabel dan disebut sebagai model polinomial orde dua atau model kuadratik. Sedangkan koefisien b_1 dan b_2 masing-masing disebut parameter efek linier dan parameter efek kuadratik.

2.8.2.3 Konsep Time Series

Menurut Wei (2006) analisis *time series* dapat diartikan sebagai serangkaian pengamatan terhadap suatu variabel yang diambil dari waktu ke waktu dan dicatat secara berurutan menurut urutan waktu kejadian dengan interval waktu yang tetap dimana setiap pengamatan dinyatakan sebagai variabel *random* Y_t . Secara

umum tujuan dari analisis *time series* adalah untuk menentukan bentuk pola dari data di masa lalu dan melakukan peramalan terhadap sifat-sifat dari data di masa yang akan datang. Pada saat $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ pengamatan suatu deret berkala membentuk suatu deret dan mempunyai variabel *random* $Y_{t_1}, Y_{t_2}, Y_{t_3}, \dots, Y_{t_n}$ dengan fungsi distribusi bersama yaitu $F(Y_{t_1}, Y_{t_2}, Y_{t_3}, \dots, Y_{t_n})$.

2.8.2.4 Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)

ARIMA merupakan salah satu model yang sering digunakan dalam peramalan (*forecasting*) data *time series*. Peramalan ARIMA terbagi menjadi empat yaitu *Autoregressive* (AR), *Moving Average* (MA), *Autoregressive Moving Average* (ARMA), dan *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA). Model *Autoregressive* (AR) merupakan suatu model yang menunjukkan adanya keterkaitan suatu nilai pada waktu sekarang (Y_t) dengan nilai pada waktu sebelumnya (Y_{t-k}), ditambah dengan suatu nilai acak a_t yang *white noise* dan berdistribusi normal $(0, \sigma^2)$. Model *Moving Average* (MA) menunjukkan adanya keterkaitan antara nilai pada waktu sekarang (Y_t) dengan nilai residual pada waktu sebelumnya (a_{t-k} dengan $k = 1, 2, 3, \dots$). Gabungan dari model *Autoregressive* (AR) dan *Moving Average* (MA) akan membentuk model *Autoregressive Moving Average* (ARMA), sedangkan ARIMA(p, d, q) merupakan model ARMA(p, q) yang memperoleh *differencing* sebanyak d . Bentuk umum dari model ARIMA(p, d, q) adalah:

$$\phi_p(B)(1 - B)^d Y_t = \theta_q(B) a_t \quad (2.18)$$

dengan p adalah orde model AR, q adalah orde model MA, d adalah orde *differencing*, dan

$$\phi_p(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) \quad (2.19)$$

$$\theta_q(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) \quad (2.20)$$

Generalisasi dari model ARIMA untuk data yang memiliki pola musiman ditulis dengan ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)^s dan dirumuskan sebagai berikut:

$$\phi_p(B)\Phi_p(B)^s(1-B)^d(1-B^s)^D Y_t = \theta_q(B)\Theta_q(B^s)a_t \quad (2.21)$$

dengan s merupakan periode musiman, dan

$$\phi_p(B^s) = (1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \dots - \Phi_p B^{ps}) \quad (2.22)$$

$$\Theta_p(B^s) = (1 - \theta_1 B^s - \theta_2 B^{2s} - \dots - \theta_q B^{qs}) \quad (2.23)$$

Pada penelitian ini analisis statistik yang digunakan adalah regresi linier. Untuk regresi polynomial dan penggunaan konsep *time series* dan peramalan (*forecasting*) dapat dilakukan di penelitian selanjutnya untuk menguji model mana yang lebih cocok untuk digunakan dalam kasus seperti dalam penelitian ini.

2.8.3 Analisa Korelasi

Analisa korelasi adalah metode statistik yang digunakan untuk mengukur besarnya hubungan linier antara dua variabel atau lebih. Nilai korelasi populasi (ρ) berkisar pada interval $-1 \leq \rho \leq 1$. Jika korelasi bernilai positif, maka hubungan antara dua variabel searah. Sebaliknya, jika korelasi bernilai negatif, maka hubungan antara dua variabel bersifat berlawanan arah. Apabila nilai $\rho = -1$ artinya korelasi negatif sempurna; $\rho = 0$ artinya tidak ada korelasi; dan $\rho = 1$ artinya korelasi sangat kuat.

Tabel 2.3 Interpretasi Koefisien Korelasi Nilai ρ
(Sudjana, 2002 dalam Hakim, 2016)

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,800 - 1,000	Sangat Kuat
0,600 - 0,799	Kuat
0,400 - 0,599	Cukup Kuat
0,200 - 0,399	Lemah
0,000 - 0,199	Sangat Lemah

Rumus korelasi sederhana adalah (Sudjana, 2002 dalam Hakim, 2016):

$$r_{xy} = \frac{n\Sigma xy - (\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt{(n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2)(n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2)}} \quad (2.24)$$

Dimana:

- r_{xy} : koefisien korelasi
- n : jumlah sampel
- x : skor variabel x
- y : skor variabel y
- Σx : jumlah skor variabel x
- Σy : jumlah skor variabel y
- Σx^2 : jumlah kuadrat skor variabel x
- Σy^2 : jumlah kuadrat skor variabel y

2.8.4 Interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW)

Interpolasi adalah metode untuk mendapatkan data berdasarkan beberapa data yang telah diketahui. Dalam pemetaan, interpolasi adalah proses estimasi nilai pada wilayah yang tidak disampel atau diukur, sehingga terbentuk peta atau sebaran nilai pada seluruh wilayah. Beberapa metode yang bisa digunakan untuk melakukan interpolasi diantaranya *Trend*, *Spline*, *Inverse Distance Weighted* (IDW), dan *Kriging*. Dalam pengolahan data di penelitian ini metode yang digunakan adalah *Inverse Distance Weighted* (IDW).

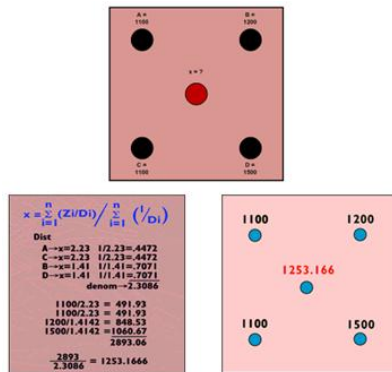
Metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) adalah metode deterministik yang sederhana dengan mempertimbangkan titik di sekitarnya (Hartkamp, D., et al, 1999 dalam Hanggoro, W., 2012). Asumsi dari metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih mirip pada data sampel yang dekat daripada yang lebih jauh. Bobot (*weight*) akan berubah secara linier sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Bobot ini tidak akan dipengaruhi oleh letak dari data sampel.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Z_i}{D_i} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{D_i} \right)} \quad (2.25)$$

Dimana:

- x : nilai yang diinterpolasi
 Z_i : nilai data, sejumlah data n pada lingkungan Z
 D_i : jarak antara x dan tiap data

Kelebihan dari metode IDW ini adalah karakteristik interpolasi dapat dikontrol dengan membatasi titik-titik masukan yang digunakan dalam proses interpolasi. Titik-titik yang terletak jauh dari titik sampel dan yang diperkirakan memiliki korelasi spasial yang kecil atau bahkan tidak memiliki korelasi spasial dapat dihapus dari perhitungan. Titik-titik yang digunakan dapat ditentukan secara langsung, atau ditentukan berdasarkan jarak yang ingin diinterpolasi.



Gambar 2.7 Ilustrasi Interpolasi IDW

Sedangkan kelemahan dari interpolasi IDW adalah tidak dapat mengestimasi nilai di atas nilai maksimum dan di bawah nilai minimum dari titik-titik sampel (Pramono, 2008 dalam Pasaribu, 2012).

2.9 Software Pengolah Data

2.9.1 BRAT (*Basic Radar Altimetry Toolbox*)

Basic Radar Altimetry Toolbox (BRAT) merupakan sebuah perangkat lunak yang didesain untuk memfasilitasi pemrosesan dan pengolahan data radar altimetri (ESA dan CNES, 2016). BRAT didesain untuk membaca data satelit altimetri seperti data yang berasal dari satelit ERS-1, ERS-2, TOPEX/ POSEIDON, *Jason-1*, *Jason-2*, Envisat, dan Cryosat. Secara garis besar, BRAT memiliki fungsi sebagai berikut:

- **Data Import and Quick Look;** peralatan dasar yang berfungsi untuk mengekstrak data dari format standard an menghasilkan gambar dengan cepat.
- **Data Export;** menghasilkan data dalam bentuk biner netCDF, ASCII *text files*, GeoTiff+GoogleEarth, dan dapat menyimpan dalam bentuk raster (PNG, JPEG, BMP, TIFF, PNM).
- **Statistics;** kalkulasi nilai parameter dari data statistik.
- **Combinations;** perhitungan formula termasuk kombinasi dari data lapangan (dan menyimpan formula-formula tersebut).
- **Resampling;** penarikan contoh dari data, *data binning*.
- **Data Editing;** menyeleksi data menggunakan kriteria yang sederhana, atau kombinasi dari kriteria (yang juga dapat disimpan).
- **Exchanges;** mengedit data dan mengombinasikan yang dapat ditukar dengan para pengguna.
- **Data Visualization;** menampilkan hasil dengan pendefinisian oleh pengguna.

BRAT didesain dalam bentuk *Graphical User Interface* (GUI) yang memungkinkan pengguna dapat dengan mudah memproses parameter-parameter yang dibutuhkan. BRAT merupakan perangkat lunak *open source* sehingga dapat diunduh secara gratis di internet. Pada GUI BRAT terdapat *workspace* untuk mengolah data satelit altimetri. Dalam *workspace* tersebut berisi:

a. Dataset

Dataset merupakan sebuah ruang yang digunakan untuk memasukkan, menambahkan, dan menyimpan data satelit altimetri yang dipilih untuk diproses.

b. Operation

Operation adalah ruang yang berfungsi untuk memilih, membaca, dan mengolah data dari suatu *dataset*.

c. Views

Views adalah sebuah ruang yang dapat digunakan untuk melakukan pemodelan dari hasil pengolahan satu atau lebih data.

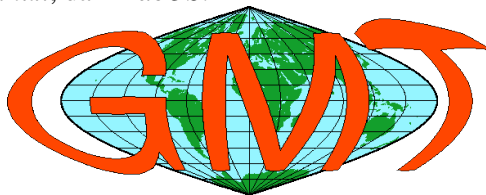
d. Logs

Logs adalah sebuah ruang yang menampilkan laporan hasil dari pengolahan data, apakah proses pengolahan data yang dilakukan terdapat kesalahan atau tidak.

2.9.2 GMT (*Generic Mapping Tools*)

GMT atau *Generic Mapping Tools* merupakan *software open source* yang mengandung 80 alat perintah untuk melakukan pengolahan data geografis (termasuk penyeleksian, analisa tren, *gridding*, dan juga sistem proyeksi). *Software* GMT mendukung lebih dari 30 jenis proyeksi peta dan transformasi.

GMT dikembangkan dan dikelola oleh Paul Wessel, Walter H. G. Smith, Remko Scharroo, Joaquim Luis dan Florian Wobbe, dengan bantuan dan dukungan dari National Science Foundation pada tahun 1989. Dalam *software* GMT terdapat beberapa versi dan dapat digunakan dalam beberapa sistem operasi antara lain *Windows*, *Linux*, dan *MacOS*.



Generic Mapping Tools Graphics

Gambar 2.8 Ikon *Software* GMT

Dalam proses pengolahan data, hasil pengolahan menggunakan *software* GMT akan disimpan dalam format eps (*encapsulated postscript*). Dengan *postscript*, beberapa *file* dapat dengan mudah ditentukan untuk menciptakan gambar yang dapat disesuaikan dengan keinginan dalam bentuk derajat keabuan atau warna 24-bit. Dalam *software* ini juga tersimpan *database* garis pantai, sungai, batas negara dan lain lain.

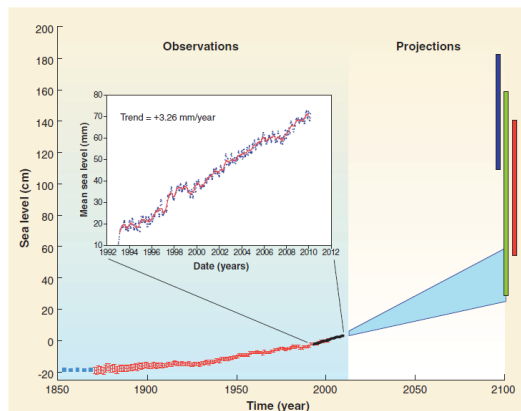
2.10 Penelitian Terdahulu

Alfian (2013) melakukan penelitian terkait *sea level rise* pada 20 titik perairan Indonesia menggunakan data satelit *Jason-2* dalam kurun waktu 2009 sampai 2012. Dalam penelitian ini juga dilakukan analisa *sea level rise* di perairan Indonesia sehingga bisa diketahui perubahan serta kecenderungan kenaikan muka air laut selama kurun waktu 2009-2012. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai SLA tertinggi terjadi pada bulan Januari 2011 sebesar 0,229 m dan nilai SLA terendah pada bulan September 2011 sebesar -0,030 m. Kenaikan muka air laut terbesar berada di daerah sebelah utara Papua Barat tepatnya di Samudra Pasifik dengan koordinat lintang $2^{\circ}0'0''$ dan bujur $131^{\circ}40'0''$, dengan kenaikan mencapai 12 mm/ tahun. Sedangkan untuk daerah yang mengalami kenaikan terkecil berada di perairan Selat Makassar pada koordinat lintang $-0^{\circ}40'0''$ dan bujur $118^{\circ}40'0''$ dengan kenaikan sebesar 0,587 mm/ tahun. Dan titik yang mengalami penurunan muka air laut terbesar berada di perairan sebelah utara Pulau Sumbawa dengan penurunan sebesar 7,05 mm/ tahun pada periode tahun 2009-2012.

Hakim (2016) melakukan penelitian terkait analisa hubungan perubahan muka air laut dan perubahan volume es di Kutub Selatan dengan area studi kasus di Selatan Pulau Jawa tahun 2011-2014. Di dalam penelitian ini didapatkan nilai perhitungan SLA menggunakan data satelit altimetri di wilayah perairan selatan Pulau Jawa yang tertinggi terjadi pada bulan Januari 2011 yaitu sebesar 0,2761 m. Sedangkan untuk nilai SLA paling rendah terjadi

pada bulan September 2011 dengan nilai $-0,1360$ m. Di dalam penelitian ini juga dilakukan uji korelasi dan validasi data SLA dengan data pasang surut sehingga didapatkan nilai korelasi sebesar 0,5. Hal ini menunjukkan hubungan dari kedua data kuat.

Menurut Nicholls dan Cazenave (2010) dua faktor utama yang berkontribusi pada terjadinya kenaikan muka air laut adalah ekspansi termal di lautan akibat pemanasan yang terjadi di lautan sebagai akibat dari perubahan iklim. Yang kedua adalah karena adanya penambahan massa air yang berasal dari es yang mencair dan reservoir air yang berada di daratan. Data terkait suhu lautan yang dikumpulkan dari beberapa dekade lalu menunjukkan bahwa ekspansi termal lautan secara signifikan meningkat sepanjang paruh kedua di abad 20. Ekspansi termal berkisar 25% dari kenaikan muka air laut yang telah diamati dari tahun 1960, dan naik menjadi 50% dari pengamatan di tahun 1993-2003. Sejak dari awal tahun 1990, kenaikan muka air laut telah diukur secara rutin menggunakan satelit altimetri dengan presisi yang tinggi. Dari tahun 1993 sampai 2009, rata-rata kenaikan muka air laut berkisar $3,3 \pm 0,4$ mm/ tahun. Pada gambar di bawah ini memperlihatkan bahwa kenaikan muka air laut dari tahun ke tahun mengalami kenaikan.



Gambar 2.9 Kenaikan Muka Air Laut Global Abad ke 20 dan 21 (Nicholls dan Cazenave, 2010)

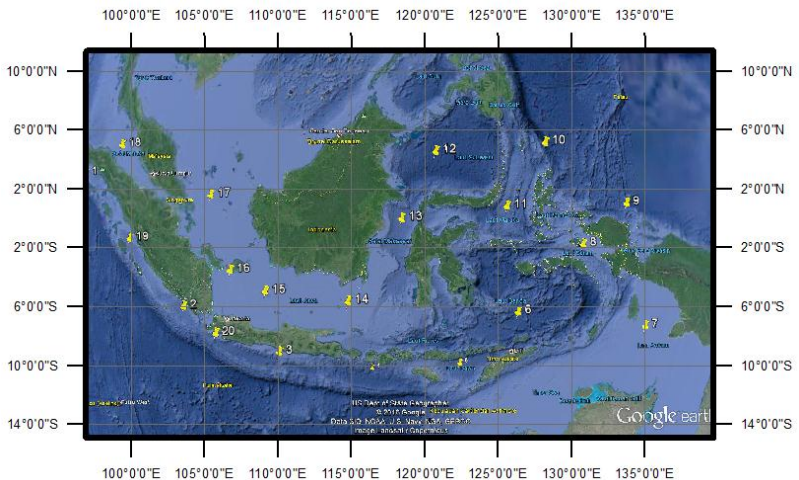
Berdasarkan pengamatan menggunakan satelit altimetri, kenaikan muka air laut tidaklah meningkat secara seragam. Di beberapa daerah seperti barat Pasifik, kenaikan muka air laut meningkat tiga kali lebih cepat dibandingkan dengan data kenaikan muka air laut rata-rata global pada tahun 1993. Pola spasial di dalam tren kenaikan muka air laut utamanya berasal dari pemanasan yang tidak seragam di lautan dan variasi salinitas, meskipun faktor-faktor lain juga berkontribusi seperti respon bumi pada deglasiasi (pencairan es) dan efek gravitasi serta perubahan sirkulasi di lautan sebagai akibat dari mencairnya es dan masuknya air tawar ke lautan. Dampak fisik yang akan ditimbulkan dari adanya kenaikan muka air laut telah diketahui. Dampak yang dapat terjadi dengan segera adalah perendaman dan peningkatan intensitas banjir di daerah pesisir, sama seperti terjadinya intrusi air laut ke permukaan dan mencemari air tanah yang terkandung di dalamnya. Untuk jangka waktu yang lebih lama juga akan menimbulkan peningkatan jumlah erosi dan intrusi air laut ke dalam air tanah.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada 20 titik di wilayah perairan Indonesia yang terletak pada posisi geografis 6° LU – 11° LS dan 95° BT – 141° BT. Titik-titik pengamatan ditempatkan pada jalur lintasan (*pass*) satelit *Jason-2* yang melewati wilayah Indonesia. Lokasi titik disebar secara merata sehingga bisa mewakili seluruh wilayah perairan Indonesia. Titik-titik pengamatan tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.1 Lokasi Perencanaan Titik Pengamatan
(*Google Earth*, 2016)

Adapun rincian dari titik pengamatan dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Koordinat Lokasi Titik Pengamatan

Titik	Koordinat		Lokasi
	Lintang	Bujur	
1	3°15'00"	95°22'30"	Barat Laut Pulau Simeulue
2	-5°48'45"	103°30'00"	Selatan Bandar Lampung
3	-8°41'15"	110°7'30"	Selatan DIY
4	-9°33'45"	116°18'45"	Selatan NTT
5	-9°26'15"	122°00'00"	Laut Sawu
6	-6°33'45"	125°56'15"	Laut Banda
7	-7°48'45"	135°18'45"	Laut Arafura
8	-2°26'15"	130°33'45"	Laut Seram
9	0°7'30"	133°58'30"	Utara Papua
10	3°52'30"	128°18'45"	Utara Pulau Maluku
11	-0°41'15"	125°26'15"	Laut Maluku
12	3°22'30"	120°56'15"	Laut Sulawesi
13	-0°41'15"	118°33'45"	Selat Makassar
14	-5°37'30"	114°56'15"	Timur Pulau Masalembu
15	-4°52'30"	109°30'00"	Laut Jawa
16	-3°33'45"	107°7'30"	Barat Daya Pulau Belitung
17	1°11'15"	106°00'00"	Utara Kepulauan Riau
18	4°56'15"	98°52'30"	Selat Malaka
19	-1°18'45"	99°26'15"	Timur Kep. Mentawai
20	-7°30'00"	105°45'00"	Selatan Provinsi Banten

Keterangan:

Tanda (-) pada koordinat Lintang menunjukkan daerah lokasi penelitian berada pada Lintang Selatan.

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data *Geophysical Data Record* (GDR) satelit *Jason-2* yang melewati wilayah Indonesia, yaitu *pass* 1, 12, 14, 25, 27, 38, 49, 51, 62, 64, 75, 77, 80, 90, 101, 103, 114, 125, 127, 138, 140, 151, 153, 164, 166, 177, 179, 190, 192, 203, 216, 227, 229, 240, 242, 253 dengan lama pengamatan dari bulan Januari 2013 sampai bulan Desember 2016. Data ini dapat diperoleh dari *server* penyedia data NOAA yaitu: <http://data.nodc.noaa.gov/jason2/gdr/>. *Geophysical Data Record* (GDR) merupakan produk data yang sudah *valid*, dimana data ini sudah menampilkan *ground retracking* dari *altimeter* dan orbit satelitnya sudah tepat. Data GDR dapat tersedia dalam waktu yang relatif lebih lama yaitu 30 hari. Data GDR digunakan untuk mengolah parameter-parameter yang dibutuhkan seperti untuk mendapatkan nilai *Sea Surface Height* dan *Sea Level Anomaly*.
2. Data pasang surut dari BIG di beberapa stasiun yang dekat dengan rencana lokasi penelitian. Pada penelitian ini digunakan 7 titik yang dijadikan lokasi *sample* untuk validasi nilai *Sea*

Tabel 3.2 Koordinat Lokasi Perairan untuk Validasi dengan Data Pasut

Titik <i>Sample</i>	Koordinat Perairan		Stasiun Pasut Terdekat
	Lintang	Bujur	
1A	-7°00'00"	106°30'00"	Pelabuhan Ratu
2A	-3°3'45"	130°33'45"	Bula
3A	-8°48'45"	116°33'45"	Tanjung Luar
4A	-0°56'15"	134°7'25"	Manokwari
5A	1°2'56"	120°48'26"	Toli-Toli
6A	-1°34'42"	99°21'18"	Maillepet
7A	3°52'30"	98°45'00"	Belawan

Level Anomaly dengan nilai muka air laut rata-rata (MSL) pasang surut dengan lama pengamatan dari tahun 2013-2016. Adapun 7 lokasi yang dijadikan sebagai titik *sample* dapat dilihat pada tabel 3.2.

3. Data curah hujan yang diperoleh dari satelit TRMM 3B43 dengan format .nc yang diproduksi oleh NASA tahun 2013-2016.

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Perangkat keras
 - Laptop/ *Personal Computer* dengan Sistem Operasi Windows untuk pengolahan data altimetri dan pengerjaan laporan, serta Sistem Operasi Ubuntu untuk pengolahan data dengan *software* GMT.
 - Printer
2. Perangkat lunak
 - *Software* BRAT (*Basic Radar Altimetry Toolbox*). *Software* ini digunakan untuk melakukan pemrosesan dan pengolahan data radar altimetri. Data radar altimetri yang diolah di dalam penelitian ini berupa data anomali muka air laut atau *Sea Level Anomaly*.
 - *Software* GMT (*Generic Mapping Tools*). *Software* ini digunakan untuk melakukan pengolahan data geografis (*plotting* data). Di dalam penelitian ini visualisasi dari hasil pengolahan nilai *Sea Level Anomaly* diolah menggunakan *software* ini.
 - *Microsoft Office 2016*. *Software* ini digunakan untuk pengerjaan laporan tugas akhir dan pengolah data statistik.

3.3 Metodologi Penelitian

3.3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan dari penelitian tugas akhir ini digambarkan dalam diagram alir seperti pada gambar 3.2. Berikut adalah penjelasan diagram alir tahapan penelitian:

i. Identifikasi awal

Identifikasi awal merupakan tahap awal untuk mengidentifikasi permasalahan terkait yang diangkat pada daerah cakupan penelitian.

ii. Perumusan masalah

Dalam perumusan masalah terdapat tujuan untuk merumuskan masalah yang terjadi pada daerah penelitian. Dalam penelitian ini permasalahan yang ada adalah untuk mengetahui nilai perubahan kenaikan muka air laut di perairan Indonesia dalam periode waktu empat tahun dari tahun 2013 sampai 2016 serta kecenderungan/ tren dari kenaikan muka air laut tersebut menggunakan data satelit altimetri *Jason-2*.

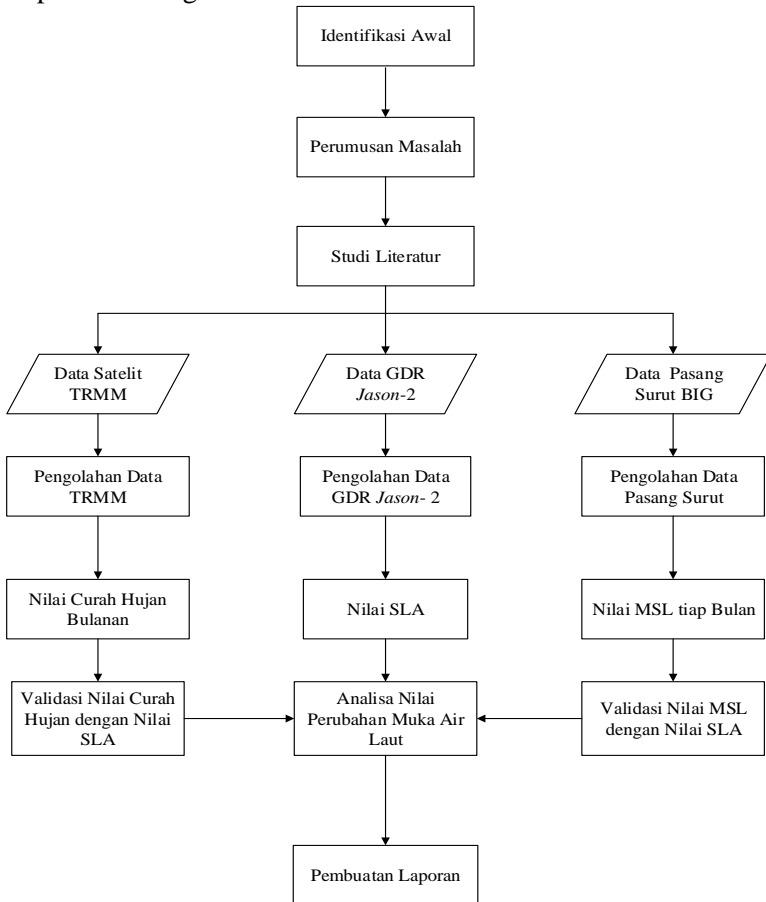
iii. Studi literatur

Dalam studi literatur dilakukan proses mendapatkan referensi yang berhubungan dengan permasalahan yang diangkat dalam penulisan tugas akhir ini. Dalam penelitian ini referensi yang digunakan adalah referensi yang terkait di bidang satelit altimetri khususnya dalam pemanfaatannya dalam studi perubahan muka air laut, penelitian-penelitian terdahulu terkait perubahan muka air laut, penggunaan dan pengolahan data satelit altimetri *Jason-2*, penggunaan dan pengolahan data Satelit TRMM, penggunaan dan pengolahan data pasang surut, serta analisa secara statistik terkait perubahan muka air laut dari tahun ke tahun.

iv. Pengumpulan data

Pengumpulan data adalah tahap mengumpulkan sejumlah data yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Adapun data yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah data GDR Satelit *Jason-2* dengan format .nc, data Satelit TRMM untuk mengetahui nilai curah hujan dengan format .nc, dan data

pasang surut dari tujuh stasiun pasang surut yang dipilih berdasarkan ketersediaan data yang ada yaitu di stasiun pasang surut Pelabuhan Ratu, Bula, Tanjung Luar, Manokwari, Toli-Toli, Maillepet, dan Belawan. Data yang dihimpun merupakan data selama empat tahun mulai dari tahun 2013 sampai tahun 2016 berdasarkan batasan masalah yang diangkat pada penelitian tugas akhir ini.



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Penelitian

- v. Pengolahan data
Tahapan pengolahan data dibedakan menjadi tiga yaitu pengolahan data utama yaitu data GDR *Jason-2* untuk mengetahui nilai SLA titik pengamatan, pengolahan data Satelit TRMM, dan pengolahan data pasang surut. Tahapan pengolahan data akan dijelaskan lebih rinci pada Sub BAB 3.3.2.
- vi. Analisa nilai perubahan muka air laut
Analisa nilai perubahan muka air laut menggunakan metode analisa korelasi antara satu variabel dengan variabel lainnya. Pada penelitian ini digunakan data curah hujan dari Satelit TRMM dan data pasang surut sebagai data pembanding untuk mengetahui hubungan (korelasi) dengan nilai perubahan muka air laut.
- vii. Pembuatan laporan
Pembuatan laporan menjadi tahap terakhir dari penelitian. Pada tahap ini akan dilakukan penulisan laporan sebagai hasil akhir dari penelitian.

3.3.2 Tahapan Pengolahan Data

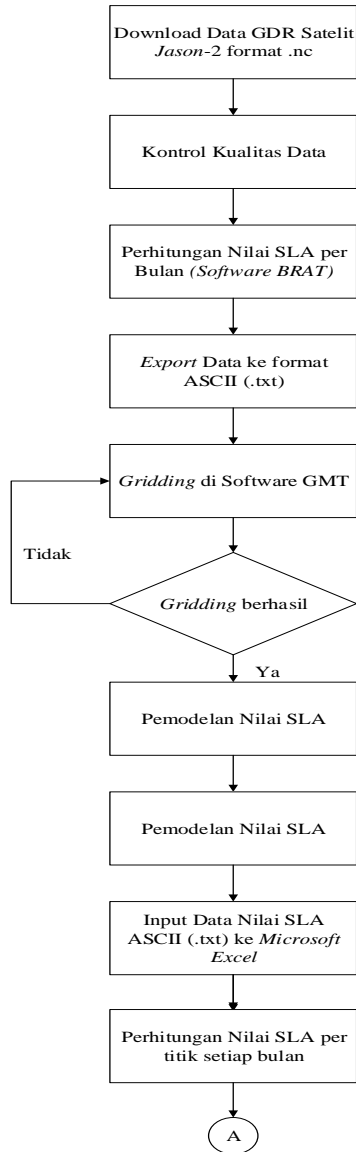
3.3.2.1 Pengolahan Data Satelit Altimetri *Jason-2*

Tahapan pertama yang dilakukan adalah pengolahan data GDR Satelit *Jason-2*. Proses pengolahan data dapat dilihat pada gambar 3.3.

Penjelasan dari diagram alir pengolahan data GDR Satelit *Jason-2* adalah sebagai berikut:

- i. *Download data*

Download data merupakan tahap pengunduhan data Satelit *Jason-2*. Data ini diperoleh dengan mengunduh dari situs penyedia data Satelit *Jason-2* yaitu <http://data.nodc.noaa.gov/jason2/gdr/>. Data yang diunduh disesuaikan dengan nomor lintasan (*pass*) satelit *Jason-2* yang melalui wilayah perairan Indonesia.



Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data GDR Satelit *Jason-2*

ii. Kontrol kualitas data

Kontrol kualitas data merupakan tahap untuk mendapatkan data dengan kualitas yang baik. Kriteria data dapat dilihat pada *handbook* Satelit *Jason-2*. Kriteria data Satelit *Jason-2* dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Kriteria Data Satelit *Jason-2*

Parameter	Kriteria Data
range_numval_ku	$10 \leq x$
range_rms_ku	$0 \leq x \text{ (mm)} \leq 200$
altitude -range_ku	$-130.000 \leq x \text{ (mm)} \leq 100.000$
model_dry_tropo_corr	$-2.500 \leq x \text{ (mm)} \leq -1.900$
rad_wet_tropo_corr	$-500 \leq x \text{ (mm)} \leq -1$
iono_corr_alt_ku	$-400 \leq x \text{ (mm)} \leq 40$
sea_state_bias_ku	$-500 \leq x \text{ (mm)} \leq 0$
ocean_tide_sol1	$-5.000 \leq x \text{ (mm)} \leq 5.000$
solid_earth_tide	$-1.000 \leq x \text{ (mm)} \leq 1.000$
pole_tide	$-150 \leq x \text{ (mm)} \leq 150$
swh_ku	$0 \leq x \text{ (mm)} \leq 11.000$
sig0_ku	$7 \leq x \text{ (dB)} \leq 30$
wind_speed_alt	$-0 \leq x \text{ (m/s)} \leq 30$
off_nadir_angle_wf_ku	$-0,2 \leq x \text{ (deg}^2\text{)} \leq 0,64$
sig0_rms_ku	$x \text{ (dB)} \leq 1$
sig0_numval_ku	$10 < x$

iii. Perhitungan Nilai SLA per Bulan

Perhitungan nilai SLA dilakukan dengan menggunakan *software* BRAT dan rumus yang digunakan juga berdasarkan rumus yang terdapat pada *software* tersebut. Nilai SLA yang didapatkan adalah tinggi permukaan laut dikurangi dengan permukaan laut rata-rata dan efek geofisik yang diketahui, yaitu

pasang surut dan *inverse barometer* (pengaruh tekanan atmosfer).

iv. *Export* data ke format ASCII

Export data merupakan tahap mengubah format data hasil pengolahan data menjadi format .txt. Data dengan format .txt akan digunakan untuk pemodelan di *software* GMT.

v. *Gridding* di *software* GMT

Proses *gridding* di *software* GMT bertujuan untuk melakukan proses interpolasi dengan metode *Inverse Distance Weighted*. Hasil dari proses *gridding* adalah berupa hasil pemodelan untuk sebaran nilai SLA di Perairan Indonesia.

vi. Perhitungan Nilai SLA per titik Setiap Bulan

Perhitungan nilai SLA dilakukan untuk menganalisa garis tren (*trendline*) dari perubahan muka air laut di Perairan Indonesia dengan menggunakan metode regresi linier.

3.3.2.2 Pengolahan Data Pasang Surut

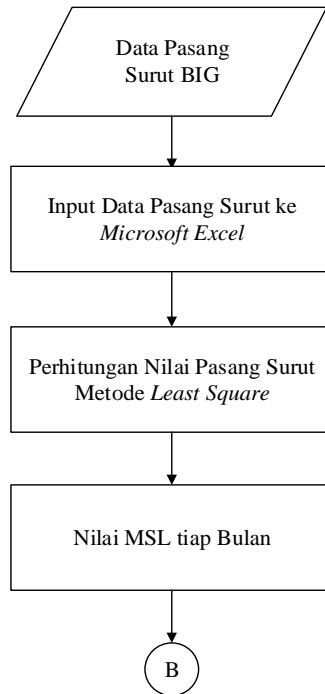
Pengolahan data pasang surut dilakukan untuk mendapatkan nilai muka air laut rata-rata (MSL) tiap bulan dari tujuh stasiun yang digunakan. Proses pengolahan data pasang surut dapat dilihat pada gambar 3.4.

i. Data Pasang Surut

Data pasang surut merupakan data kedudukan muka air laut dalam waktu tertentu yang dicatat secara periodik. Data pasang surut yang digunakan berasal dari instansi penyedia yaitu Badan Informasi Geospasial. Data pasang surut dari BIG merupakan data perekaman muka air laut setiap jam mulai dari jam 00.00 hingga 23.00.

ii. Input Data Pasut ke Program di *Microsoft Excel*

Dalam tahap ini dilakukan input data pasang surut setiap jam ke program perhitungan dalam *Microsoft Excel*.



Gambar 3.4 Diagram Alir Pengolahan Data Pasang Surut

iii. Perhitungan Pasut Metode *Least Square*

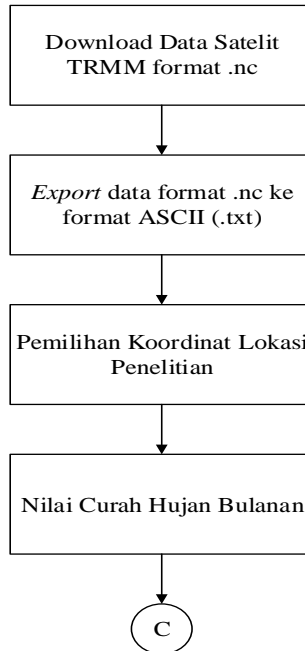
Perhitungan nilai pasang surut dilakukan dengan menggunakan metode *least square*. Perhitungan pasut dengan metode ini digunakan untuk mendapatkan komponen-komponen dalam pasang surut dan hasil akhirnya adalah berupa nilai pasang surut atau muka air laut rata-rata (MSL) setiap bulan.

iv. Nilai MSL

Nilai MSL adalah nilai muka air laut rata-rata yang didapatkan sebagai hasil akhir dari pengolahan dan perhitungan data pasang surut.

3.3.2.3 Pengolahan Data Satelit TRMM

Pengolahan data satelit TRMM dilakukan untuk mendapatkan nilai curah hujan bulanan dengan cara mengekstrak format .nc dari data satelit ke format .txt. Proses pengolahan data satelit TRMM dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram Alir Pengolahan Data Satelit TRMM

i. *Download Data*

Download data merupakan tahap pengunduhan data Satelit TRMM 3B43. Data ini diperoleh dengan mengunduh dari situs penyedia yaitu <http://mirador.gsfc.nasa.gov>. Data yang diunduh dan yang akan digunakan adalah data dengan format .nc.

ii. *Export data ke format ASCII*

Export data merupakan tahap mengubah format data hasil pengolahan data menjadi format .txt. Setelah dilakukan proses *export* akan didapatkan data koordinat dan nilai curah hujan di setiap koordinat.

iii. *Pemilihan Koordinat Lokasi*

Pemilihan koordinat lokasi penelitian digunakan untuk memilih *sample* atau lokasi koordinat di sekitar koordinat lokasi pengamatan SLA.

iv. *Nilai Curah Hujan*

Hasil akhir dari pengolahan data ini adalah berupa nilai curah hujan setiap jam di setiap koordinat. Untuk mendapat nilai curah hujan bulanan adalah dengan mengalikan nilai curah hujan dengan nilai 30 hari dan 24 jam.

3.3.2.4 Pengolahan Data

Pengolahan data di sini bertujuan untuk mencari hubungan antar data yang sudah diolah. Proses pengolahan data dapat dilihat pada gambar 3.6 berikut.

i. *Analisa Korelasi Nilai SLA dengan Data Pasang Surut*

Analisa korelasi dilakukan dengan mencari hubungan antara nilai SLA dengan nilai MSL dari data pasang surut. Analisa korelasi digunakan untuk mengukur besarnya hubungan linier antara dua variabel atau lebih.

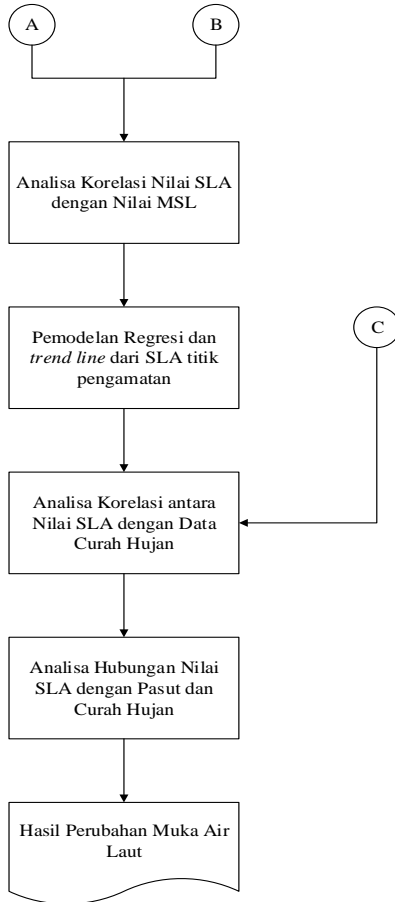
ii. *Pemodelan Regresi dan Trend Line*

Pemodelan regresi dan *trend line* dilakukan menggunakan *Microsoft Excel*. Pemodelan regresi dilakukan untuk membentuk model hubungan antara variabel terikat dengan satu atau lebih variabel bebas. Pemodelan *trend line* dilakukan untuk mengetahui kecenderungan dari kenaikan muka air laut.

iii. *Analisa Korelasi Nilai SLA dengan Data Curah Hujan*

Analisa korelasi dilakukan dengan mencari hubungan antara nilai SLA dengan nilai curah hujan bulanan. Analisa korelasi

digunakan untuk mengukur besarnya hubungan linier antara dua variabel atau lebih.



Gambar 3.6 Diagram Alir Pengolahan Data

- iv. Analisa Hubungan Nilai SLA dengan Pasut dan Curah Hujan
Merupakan tahapan analisa keseluruhan terhadap data hasil pengolahan dalam penelitian tugas akhir ini.

v. Hasil perubahan muka air laut

Merupakan hasil perhitungan dari persamaan tren linier pada setiap titik pengamatan. Hasil perubahan muka air laut merupakan hasil akhir di dalam penelitian tugas akhir ini yang berisi terkait dengan tren dan kecenderungan dari fenomena perubahan muka air laut.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN ANALISA

4.1 Pengecekan Data SLA

Pengecekan data merupakan tahapan awal dari pengolahan data. Pengecekan data dilakukan untuk mendapatkan kualitas data yang paling baik. Dalam tahap ini dilakukan pengecekan format data *Jason-2* yang berupa *Geophysical Data Record* (GDR) dengan format ekstensi .nc. GDR merupakan produk data yang sudah *valid*, dimana data ini sudah menampilkan *ground retracking* dari *altimeter* dan orbit satelitnya sudah tepat. Untuk pengecekan data dilakukan dengan menggunakan *software* BRAT. Kontrol kualitas data GDR *Jason-2* mengacu pada parameter yang tercantum pada *OSTM/ Jason-2 Products Handbook* (AVISO, 2015). Parameter yang dijadikan kontrol kualitas data dapat dilihat pada Tabel 3.2. Data yang tidak sesuai akan dihilangkan sehingga hanya data yang benar sesuai parameter yang akan dilakukan pengolahan. Setelah proses kontrol kualitas data selesai dilakukan, maka pengolahan data satelit altimetri dapat dilakukan untuk tahapan selanjutnya.

4.2 Perhitungan Nilai SLA

Nilai SLA adalah tinggi permukaan laut dikurangi dengan permukaan laut rata-rata dan efek geofisik yang diketahui, yaitu pasang surut seperti *Solid Earth Tide* (SET), *Pole Tide* (PT), dan *Earth Ocean Tide* (EOT). Efek geofisik lainnya yang mempengaruhi adalah *inverse barometer* (pengaruh tekanan atmosfer). Tinggi muka laut di dalam SLA tereferensi pada bidang geoid atau MSS (*Mean Sea Surface*). Perhitungan Nilai SLA dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan menggunakan *software* BRAT.

Perhitungan nilai SLA dilakukan untuk mendapatkan nilai rata-rata SLA setiap bulan. Pengolahan SLA setiap bulannya terdiri dari 3-4 *cycle* dari Satelit Altimetri *Jason-2* karena siklus pengulangan

(*repeating cycle*) dari Satelit *Jason-2* adalah selama 10 hari. Sehingga dalam perhitungan SLA selama satu bulan menggunakan nilai rata-rata dari ± 3 *cycle*. Dari perhitungan nilai SLA tersebut nantinya akan digunakan untuk menganalisis perubahan muka air laut per tahun selama empat tahun pengamatan pada masing-masing titik pengamatan. Dari perubahan tersebut kemudian dicari apakah titik pengamatan tersebut mengalami tren (kecenderungan) naik atau turun, serta berapa besar nilai kenaikan dan penurunan yang terjadi.

Untuk daerah lintasan (*pass locator*) digunakan 36 *pass locator* yang melintasi perairan Indonesia. *Pass locator* terdiri dari lintasan naik dan lintasan turun. Lintasan naik ditandai dengan *pass locator* bernomor ganjil yaitu 1, 25, 27, 49, 51, 75, 77, 101, 103, 125, 127, 151, 153, 177, 179, 203, 227, 229, dan 253. Sedangkan lintasan turun ditandai dengan *pass locator* bernomor genap yaitu 12, 14, 38, 62, 64, 80, 90, 114, 138, 140, 164, 166, 190, 192, 216, 240, dan 242.

Di dalam *software* BRAT perhitungan nilai SLA dilakukan pada menu *Operations* dan untuk mendapatkan nilai SLA hasil perhitungan ini dibutuhkan beberapa parameter-parameter data yang harus dimasukkan. Parameter-parameter tersebut kemudian diisikan pada *data expressions*. Beberapa parameter yang harus dideklarasikan adalah sebagai berikut:

- X : nilai X, dalam hal ini yaitu posisi bujur (*lon*).
- Y : nilai Y, dalam hal ini yaitu posisi lintang (*lat*).
- *Data* : diisi dengan formula untuk menghitung nilai SLA. Rumus SLA yang digunakan adalah: $(\% \{SSH_Jason2\} - mean_sea_surface)$
- *Selection Criteria*: diisi dengan parameter-parameter yang digunakan untuk koreksi. Kriteria koreksi parameter yang digunakan adalah sebagai berikut (Hakim, 2016):

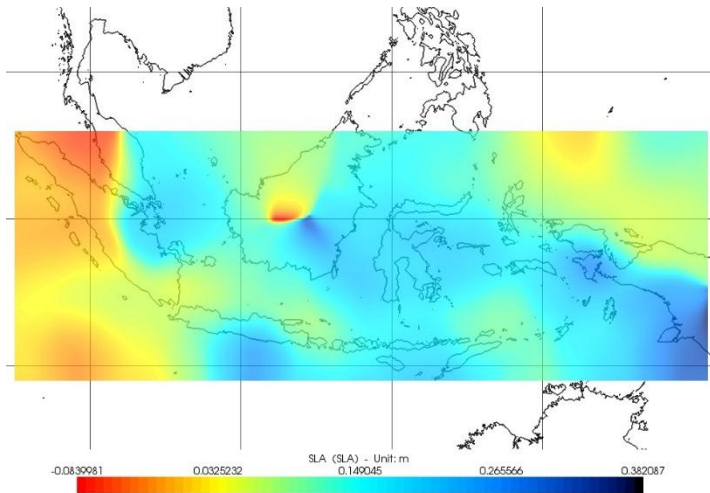
```

surface_type == 0 &&
is_bounded(2.5,model_dry_tropo_corr,-1.9) && is_bounded(-
0.500,rad_wet_tropo_corr,-0.001) && is_bounded(-0.400,
iono_corr_alt_ku,0.040) && is_bounded(-
0.500,sea_state_bias_ku,0) && is_bounded(-
5,ocean_tide_sol1,5) && is_bounded(-1,solid_earth_tide,1)
&& is_bounded(-0.150,pole_tide,0.150) &&
is_bounded(0,swh_ku,11) && is_bounded(7,sig0_ku,30) &&
is_bounded(0,wind_speed_alt,30)&&
is_bounded(2,){SLA_Jason2},2) && is_bounded(-
2,(hf_fluctuations_corr + inv_bar_corr),2)

```

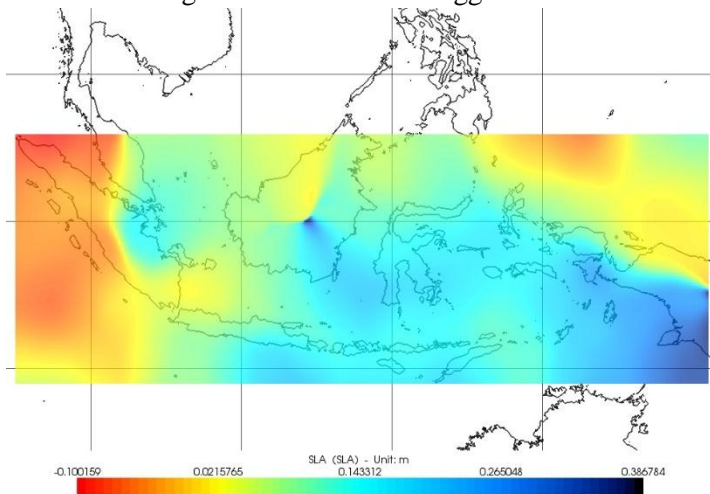
Setelah itu dilakukan penentuan batas dari wilayah penelitian serta mengatur besarnya piksel warna agar didapat tampilan SLA yang menarik. Pengaturan ini dilakukan pada menu *Set Resolution/Filter*. Untuk memperhalus data hasil pengolahan, *software* BRAT memfasilitasinya dengan memberikan fitur *Loess filter*. Pengaturan *X Resolution* digunakan untuk memberi nilai batas minimal dan maksimal dari bujur wilayah penelitian, yaitu nilai bujur minimal dan maksimal wilayah Indonesia. Sedangkan *Y Resolution* digunakan untuk memberi nilai batas minimal dan maksimal dari lintang wilayah penelitian, yaitu nilai lintang minimal dan maksimal wilayah Indonesia. Setelah semua pengaturan selesai dilakukan, pilih menu *execute* untuk memulai proses pengolahan data untuk mendapatkan nilai SLA. Proses *running program* dapat dilihat pada jendela menu *logs* dan pemberitahuan jika pengolahan data sudah selesai juga terdapat pada jendela menu ini. Kemudian untuk menampilkan data hasil pengolahan dapat diatur di jendela menu *view*.

Berikut ini adalah contoh dari nilai SLA hasil pengolahan data di *software* BRAT. Sebagai contoh data hasil pengolahan yang ditampilkan adalah data pengolahan bulan Februari 2013-2016.



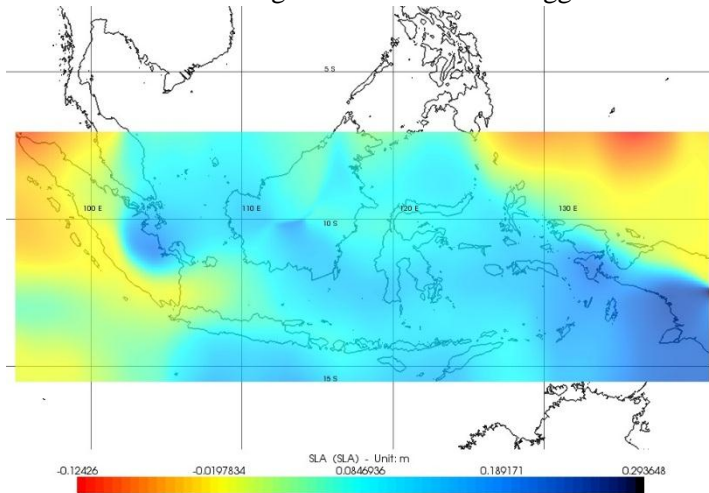
Gambar 4.1 SLA Bulan Februari 2013

Gambar 4.1 di atas merupakan hasil pengolahan SLA di perairan Indonesia pada bulan Februari 2013 dengan kisaran nilai dari -0,084 – 0,3821 Meter. Nilai tersebut ditunjukkan dari gradasi warna skala batang dari warna merah hingga biru tua.



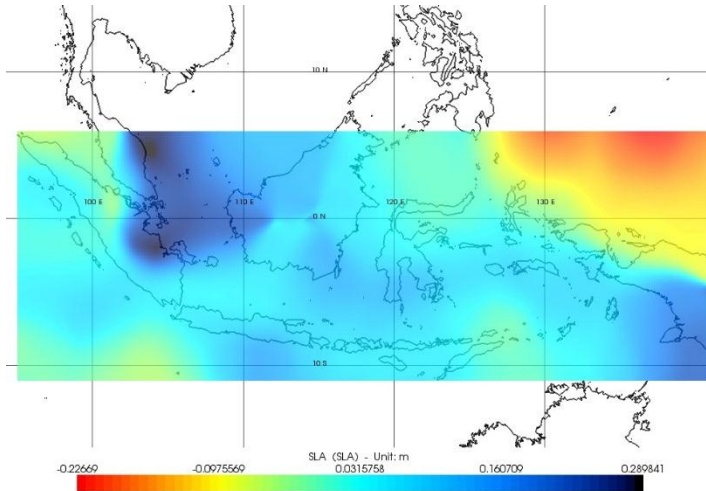
Gambar 4.2 SLA Bulan Februari 2014

Gambar 4.2 di atas merupakan hasil pengolahan SLA di perairan Indonesia pada bulan Februari 2014 dengan kisaran nilai dari $-0,1002 - 0,3868$ Meter. Nilai tersebut ditunjukkan dari gradasi warna skala batang dari warna merah hingga biru tua.



Gambar 4.3 SLA Bulan Februari 2015

Gambar 4.3 di atas merupakan hasil pengolahan SLA di perairan Indonesia pada bulan Februari 2015 dengan kisaran nilai dari $-0,1243 - 0,2936$ Meter. Nilai tersebut ditunjukkan dari gradasi warna skala batang dari warna merah hingga biru tua.



Gambar 4.4 SLA Bulan Februari 2016

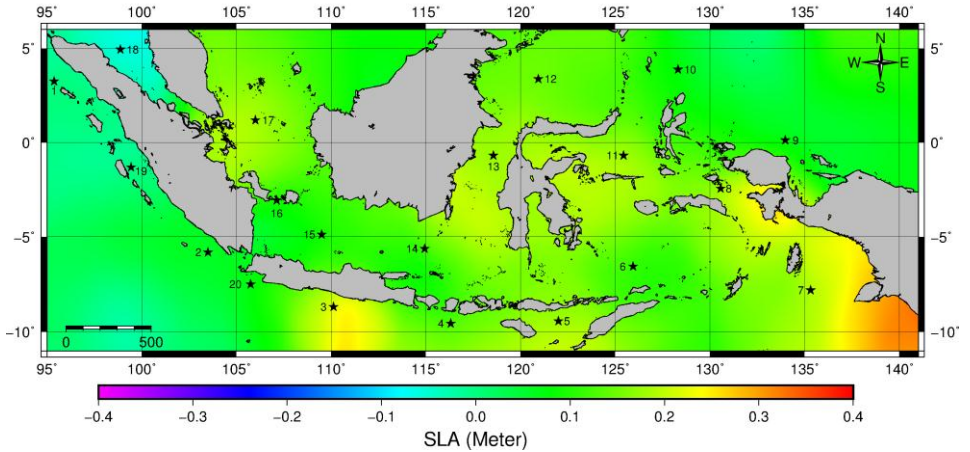
Gambar 4.4 di atas merupakan hasil pengolahan SLA di perairan Indonesia pada bulan Februari 2016 dengan kisaran nilai dari $-0,2267 - 0,2898$ Meter. Nilai tersebut ditunjukkan dari gradasi warna skala batang dari warna merah hingga biru tua.

Dari keempat gambar yang dijadikan contoh dapat dilihat bahwa perubahan nilai SLA di wilayah perairan Indonesia tidaklah sama, ditunjukkan dengan adanya perubahan nilai gradasi warna pada gambar. Warna biru pada gambar menunjukkan daerah tersebut memiliki muka laut yang lebih tinggi dari bidang geoid. Sebaliknya warna merah menyatakan bahwa daerah tersebut memiliki ketinggian yang lebih rendah.

Setelah melakukan proses perhitungan nilai SLA dan menampilkan data hasil pengolahan SLA, langkah selanjutnya adalah melakukan *export* data SLA ke format ASCII (.txt). Proses *export* ke format .txt dilakukan untuk proses pemodelan menggunakan *software* GMT dan proses analisis tren untuk mengetahui fenomena perubahan muka air laut di titik lokasi

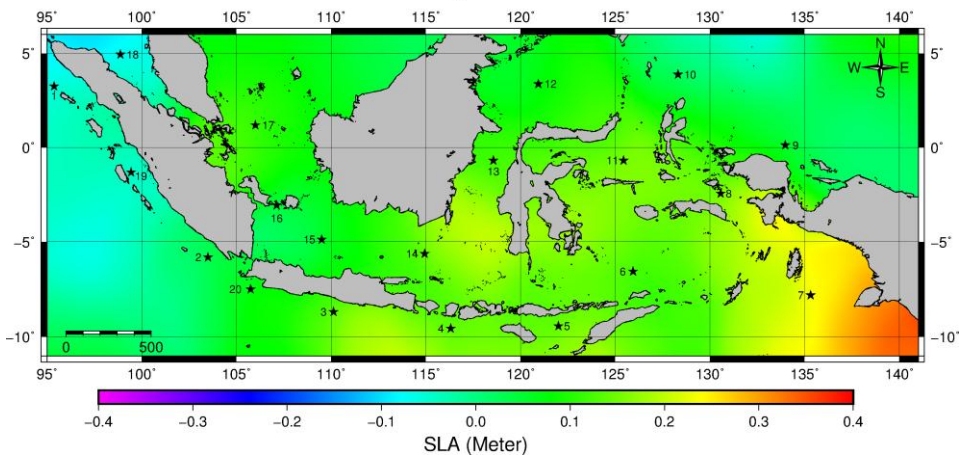
pengamatan selamat empat tahun. Contoh hasil pemodelan nilai SLA di *software* GMT adalah sebagai berikut.

Sea Level Anomaly Bulan Februari 2013



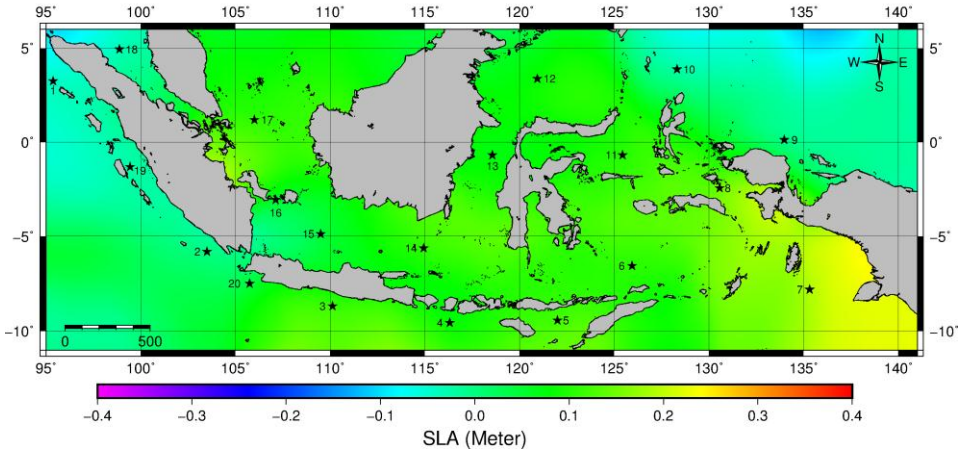
Gambar 4.5 SLA Bulan Februari 2013 Hasil Pemodelan di GMT

Sea Level Anomaly Bulan Februari 2014



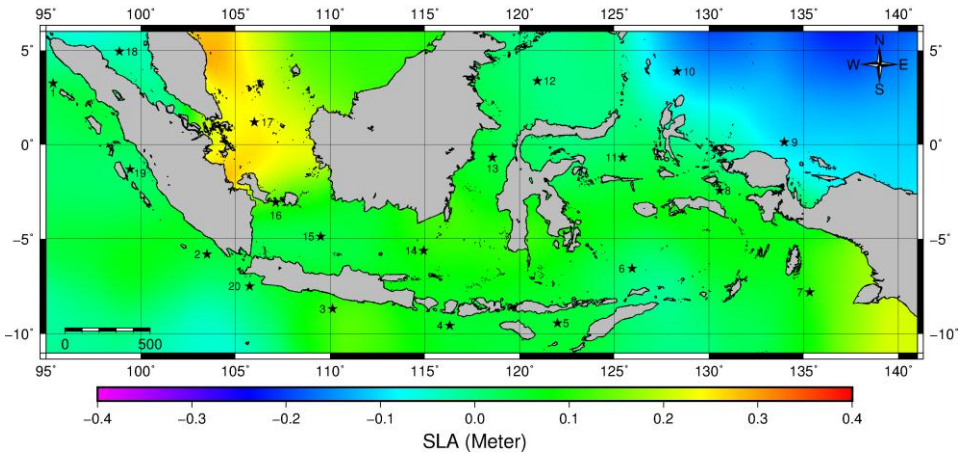
Gambar 4.6 SLA Bulan Februari 2014 Hasil Pemodelan di GMT

Sea Level Anomaly Bulan Februari 2015



Gambar 4.7 SLA Bulan Februari 2015 Hasil Pemodelan di GMT

Sea Level Anomaly Bulan Februari 2016



Gambar 4.8 SLA Bulan Februari 2016 Hasil Pemodelan di GMT

Hasil *plotting* di *software* GMT dari gambar 4.5 sampai 4.8 dapat diketahui bahwa nilai SLA di perairan Indonesia dari tahun ke tahun mengalami perubahan. Hal tersebut dapat dilihat dari perubahan warna skala yang ada di daerah penelitian. Pada bulan Februari 2013 rata-rata nilai SLA berada pada 0 – 0,4 Meter, pada bulan Februari 2014 rata-rata nilai SLA berada pada -0,1 – 0,4 Meter, pada bulan Februari 2015 rata-rata nilai SLA berada pada -0,1 – 0,3 Meter, dan pada bulan Februari 2016 rata-rata SLA berada pada -0,2 – 0,3 Meter. Hasil pemodelan SLA di GMT dapat dilihat selengkapnya di lampiran 4.

Setelah dilakukan *export* data ke format *.txt* ditentukan titik *sample* pengamatan yang berasal dari data hasil *export* tersebut. Pemilihan lokasi tersebut disesuaikan dengan daftar koordinat lokasi pengamatan yang diuraikan pada Tabel 3.1. Berikut adalah contoh nilai SLA di Titik 1 (Barat Laut Pulau Simeulue) dan Titik 3 (Selatan DI Yogyakarta).

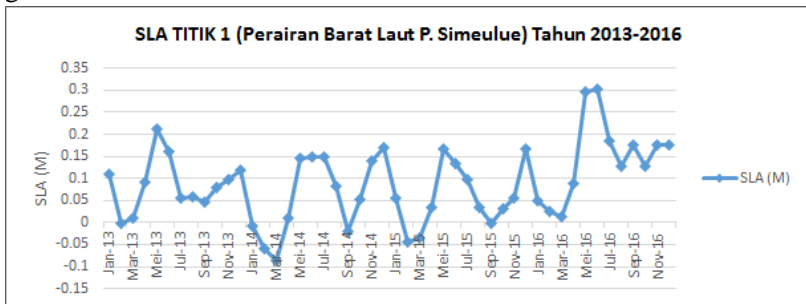
Tabel 4.1 Nilai SLA Titik 1 (Perairan Barat Laut P. Simeulue)
Tahun 2013-2016 dalam Meter (M)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	0,110	-0,007	0,054	0,048
Februari	-0,003	-0,058	-0,046	0,025
Maret	0,009	-0,087	-0,037	0,013
April	0,092	0,010	0,035	0,088
Mei	0,213	0,145	0,167	0,296
Juni	0,159	0,149	0,132	0,303
Juli	0,056	0,147	0,097	0,186
Agustus	0,057	0,081	0,033	0,128
September	0,046	-0,021	-0,002	0,174
Oktober	0,080	0,053	0,032	0,127
November	0,096	0,140	0,056	0,177
Desember	0,118	0,169	0,167	0,177

Tabel 4.2 Nilai SLA Titik 3 (Perairan Selatan DIY) Tahun 2013-2016 dalam Meter (M)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	0,138	0,151	0,192	0,074
Februari	0,224	0,136	0,114	0,113
Maret	0,187	0,085	0,097	0,094
April	0,211	0,017	0,102	0,123
Mei	0,204	0,160	0,110	0,188
Juni	0,201	0,149	0,087	0,308
Juli	0,093	0,163	0,014	0,237
Agustus	0,009	0,062	-0,050	0,146
September	0,003	-0,018	-0,106	0,195
Oktober	0,007	-0,040	-0,055	0,261
November	0,103	0,077	-0,013	0,227
Desember	0,142	0,178	0,111	0287

Adapun grafik SLA pada Titik 1 dan Titik 3 dapat dilihat pada gambar di bawah ini. 2013-2016



Gambar 4.9 Grafik SLA Titik 1 Tahun 2013-2016



Gambar 4.10 Grafik SLA Titik 3 Tahun 2013-2016

Untuk Grafik Nilai SLA dari Titik 1 sampai Titik 20 dapat dilihat pada lampiran 1.

Pada penelitian ini dilakukan uji validasi nilai SLA terhadap nilai muka air laut rata-rata (MSL) dari data pengamatan pasang surut. Dari 20 titik lokasi yang sudah dipilih sebagai *sample* untuk mewakili perairan Indonesia, ditambahkan lagi 7 titik pengamatan nilai SLA dengan jarak yang terdekat dari stasiun pasang surut.

Tabel 4.3 Koordinat Titik Sampel Validasi Nilai SLA dengan Nilai MSL Pasut

Titik Sampel Validasi	Koordinat Perairan		Stasiun Pasut Terdekat	Jarak Titik Sampel ke Stasiun Pasut
	Lintang	Bujur		
1A	-7°00'00"	106°30'00"	Pelabuhan Ratu	4,98 km
2A	-3°3'45"	130°33'45"	Bula	8,13 km
3A	-8°48'45"	116°33'45"	Tanjung Luar	6,25 km
4A	-0°56'15"	134°7'25"	Manokwari	8,99 km
5A	1°2'56"	120°48'26"	Toli-Toli	0,84 km
6A	-1°34'42"	99°21'18"	Maillepet	18,00 km
7A	3°52'30"	98°45'00"	Belawan	11,29 km

Dari koordinat titik *sample* tersebut didapatkan nilai SLA yang digunakan untuk analisa kenaikan muka air laut dan akan dikorelasikan dengan nilai MSL dari data pasang surut. Tabel nilai SLA koordinat *sample* 1-7 dapat dilihat pada tabel 4.4 sampai tabel 4.10.

Tabel 4.4 Nilai SLA Titik Validasi 1 (Perairan Pelabuhan Ratu)
Tahun 2013-2016 dalam Meter (M)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	0,165	0,068	0,148	0,073
Februari	0,084	0,067	0,041	0,048
Maret	0,125	-0,0002	0,044	0,032
April	0,175	0,068	0,052	0,085
Mei	0,229	0,159	0,126	0,242
Juni	0,199	0,165	0,102	0,363
Juli	0,097	0,149	-0,035	0,250
Agustus	0,079	0,094	-0,014	0,160
September	0,042	-0,039	-0,014	0,209
Oktober	0,062	0,007	-0,034	0,241
November	0,106	0,094	0,017	0,233
Desember	0,166	0,189	0,091	0,216

Tabel 4.5 Nilai SLA Titik Validasi 2 (Perairan Bula, Seram)
Tahun 2013-2016 dalam Meter (M)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	0,176	0,178	0,138	0,037
Februari	0,187	0,165	0,154	0,059
Maret	0,205	0,157	0,102	0,059
April	0,191	0,112	0,068	0,026
Mei	0,178	0,056	0,014	0,056
Juni	0,161	0,034	-0,053	0,072

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Juli	0,083	-0,012	-0,120	0,033
Agustus	0,051	-0,036	-0,126	0,016
September	0,065	-0,009	-0,113	0,057
Oktober	0,115	-0,022	-0,085	0,103
November	0,114	0,035	-0,018	0,164
Desember	0,148	0,101	-0,018	0,174

Tabel 4.6 Nilai SLA Titik Validasi 3 (Perairan Tanjung Luar, Lombok Timur) Tahun 2013-2016 dalam Meter (M)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	0,125	0,128	0,152	0,036
Februari	0,122	0,136	0,077	0,056
Maret	0,180	0,070	0,097	0,065
April	0,158	0,063	0,091	0,075
Mei	0,183	0,133	0,071	0,110
Juni	0,175	0,075	0,044	0,206
Juli	0,084	0,041	-0,028	0,111
Agustus	0,013	0,005	-0,046	0,083
September	-0,001	-0,038	-0,089	0,132
Oktober	0,008	-0,039	-0,060	0,135
November	0,068	0,018	-0,019	0,161
Desember	0,118	0,110	0,048	0,183

Tabel 4.7 Nilai SLA Titik Validasi 4 (Perairan Manokwari) Tahun 2013-2016 dalam Meter (M)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	0,102	0,116	0,095	-0,064
Februari	0,101	0,068	0,026	-0,079

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Maret	0,107	0,033	0,013	-0,028
April	0,181	0,059	0,006	-0,023
Mei	0,161	0,080	0,054	0,067
Juni	0,168	0,119	0,034	0,101
Juli	0,157	0,143	0,052	0,120
Agustus	0,143	0,099	0,021	0,122
September	0,161	0,099	0,056	0,124
Oktober	0,169	0,117	0,036	0,150
November	0,121	0,119	0,015	0,194
Desember	0,122	0,083	-0,056	0,120

Tabel 4.8 Nilai SLA Titik Validasi 5 (Perairan Toli-Toli) Tahun 2013-2016 dalam Meter (M)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	0,133	0,154	0,153	0,051
Februari	0,169	0,099	0,082	0,012
Maret	0,151	0,091	0,111	0,050
April	0,174	0,044	0,063	0,010
Mei	0,138	0,072	0,056	0,048
Juni	0,154	0,055	0,013	0,082
Juli	0,140	0,089	0,012	0,086
Agustus	0,092	0,011	-0,032	0,066
September	0,103	0,060	-0,003	0,068
Oktober	0,141	0,008	-0,033	0,159
November	0,093	0,047	-0,011	0,117
Desember	0,103	0,111	-0,036	0,177

Tabel 4.9 Nilai SLA Titik Validasi 6 (Perairan Mentawai) Tahun 2013-2016 dalam Meter (M)

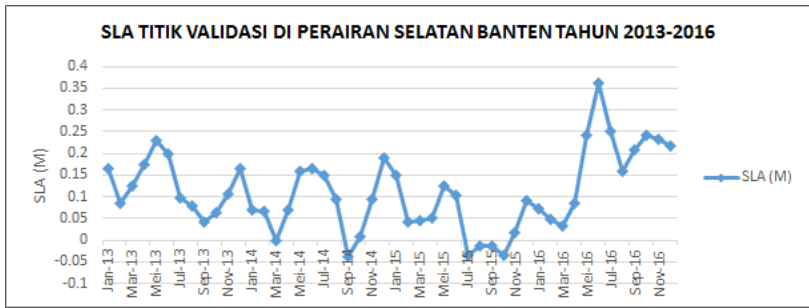
Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	0,125	0,011	0,097	0,033
Februari	-0,001	-0,045	-0,024	0,014
Maret	0,020	-0,083	-0,002	0,044
April	0,130	-0,008	0,031	0,099
Mei	0,253	0,176	0,169	0,313
Juni	0,149	0,150	0,126	0,353
Juli	0,046	0,189	0,062	0,193
Agustus	0,055	0,080	0,009	0,157
September	0,092	-0,001	-0,050	0,187
Oktober	0,063	0,075	0,016	0,196
November	0,090	0,165	0,091	0,201
Desember	0,132	0,201	0,179	0,186

Tabel 4.10 Nilai SLA Titik Validasi 7 (Perairan Belawan) Tahun 2013-2016 dalam Meter (M)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	0,092	-0,055	0,115	-0,021
Februari	-0,040	-0,052	-0,022	-0,009
Maret	0,028	-0,133	-0,051	-0,051
April	0,165	-0,021	0,022	0,074
Mei	0,223	0,144	0,143	0,188
Juni	0,246	0,175	0,132	0,328
Juli	0,068	0,210	0,113	0,238
Agustus	0,106	0,097	0,088	0,2000
September	0,100	0,034	0,010	0,242
Oktober	0,092	0,097	0,045	0,161
November	0,125	0,151	0,073	0,167

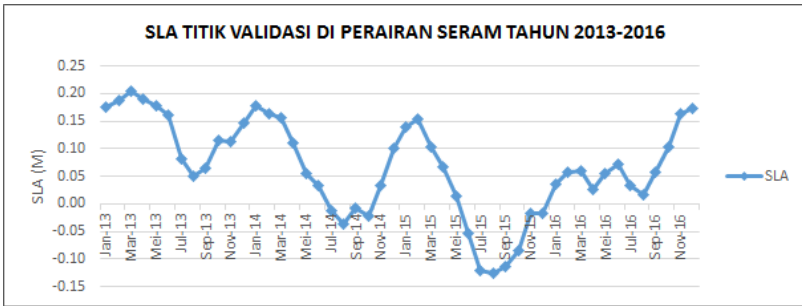
Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Desember	0,109	0,111	0,135	0,193

Dari nilai SLA pada Tabel 4.4 sampai 4.10 kemudian dilakukan *plotting* ke dalam bentuk grafik. Tujuan dari *plotting* ke bentuk grafik adalah untuk mengetahui perubahan nilai SLA setiap tahunnya. Berikut adalah grafik SLA pada titik validasi.



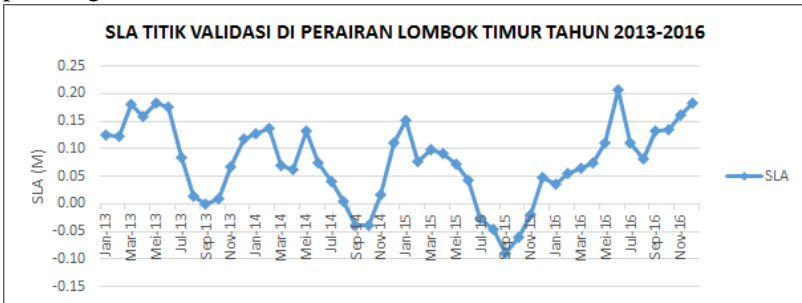
Gambar 4.11 Grafik SLA Titik Validasi di Perairan Selatan Banten Tahun 2013-2016

Dari nilai SLA di atas dapat dilihat bahwa nilai muka air laut tertinggi di Perairan Selatan Banten (Pelabuhan Ratu) selama empat tahun pengamatan terjadi pada bulan Juni 2016 dengan nilai SLA sebesar 0,3633 Meter. Sedangkan nilai muka air laut terendah terjadi pada bulan September 2014 dengan nilai SLA -0,039 Meter.



Gambar 4.12 Grafik SLA Titik Validasi di Perairan Seram Tahun 2013-2016

Dari nilai SLA di atas dapat dilihat bahwa nilai muka air laut tertinggi di Perairan Seram selama empat tahun pengamatan terjadi pada bulan Maret 2013 dengan nilai SLA sebesar 0,205 Meter. Sedangkan nilai muka air laut terendah terjadi pada bulan Agustus setiap tahunnya dengan nilai SLA terendah sebesar -0,126 Meter pada Agustus 2015.



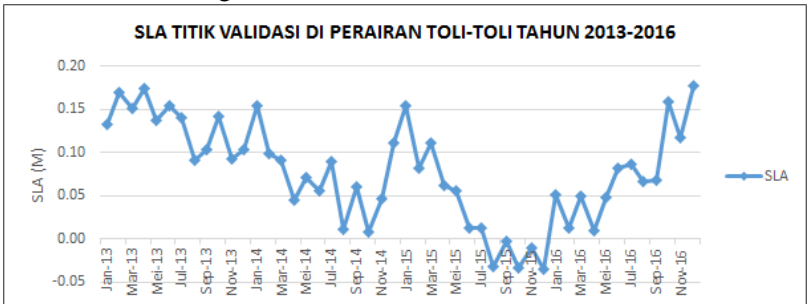
Gambar 4.13 Grafik SLA Titik Validasi di Perairan Lombok Timur Tahun 2013-2016

Dari nilai SLA di atas dapat dilihat bahwa nilai muka air laut tertinggi di Perairan Lombok Timur selama empat tahun pengamatan terjadi pada bulan Juni 2016 dengan nilai SLA sebesar 0,206 Meter. Sedangkan nilai muka air laut terendah terjadi pada bulan September 2015 dengan nilai SLA -0,089 Meter.



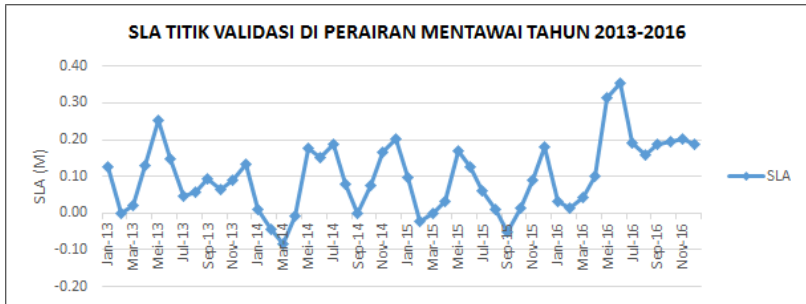
Gambar 4.14 Grafik SLA Titik Validasi di Perairan Manokwari Tahun 2013-2016

Dari nilai SLA di atas dapat dilihat bahwa nilai muka air laut tertinggi di Perairan Manokwari selama empat tahun pengamatan terjadi pada bulan November 2016 dengan nilai SLA sebesar 0,194 Meter. Sedangkan nilai muka air laut terendah terjadi pada bulan Februari 2016 dengan nilai SLA -0,079 Meter.



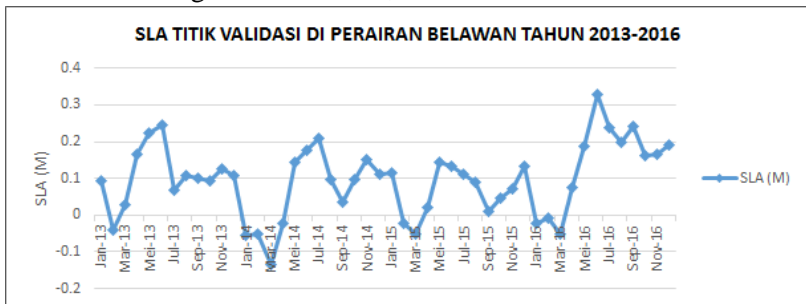
Gambar 4. 15 Grafik SLA Titik Validasi di Perairan Toli-Toli Tahun 2013-2016

Dari nilai SLA di atas dapat dilihat bahwa nilai muka air laut tertinggi di Perairan Toli-Toli selama empat tahun pengamatan terjadi pada bulan Desember 2016 dengan nilai SLA sebesar 0,177 Meter. Sedangkan nilai muka air laut terendah terjadi pada bulan Desember 2015 dengan nilai SLA -0,036 Meter.



Gambar 4.16 Grafik SLA Titik Validasi di Perairan Mentawai Tahun 2013-2016

Dari nilai SLA di atas dapat dilihat bahwa nilai muka air laut tertinggi di Perairan Mentawai selama empat tahun pengamatan terjadi pada bulan Juni 2016 dengan nilai SLA sebesar 0,353 Meter. Sedangkan nilai muka air laut terendah terjadi pada bulan Maret 2014 dengan nilai SLA -0,083 Meter.



Gambar 4.17 Grafik SLA Titik Validasi di Perairan Belawan Tahun 2013-2016

Dari nilai SLA di atas dapat dilihat bahwa nilai muka air laut tertinggi di Perairan Belawan selama empat tahun pengamatan terjadi pada bulan Juni 2016 dengan nilai SLA sebesar 0,328 Meter. Sedangkan nilai muka air laut terendah terjadi pada bulan Maret 2014 dengan nilai SLA -0,133 Meter.

Dari rata-rata tren perubahan muka air laut tahunan tiga titik lokasi sampel mengalami tren positif (kenaikan muka air laut) yaitu di Perairan Selatan Banten (Pelabuhan Ratu), Belawan, dan Mentawai. Sedangkan empat titik lokasi sampel sisanya mengalami tren negatif (penurunan muka air laut) yaitu di perairan Manokwari, Seram (Bula), Lombok Timur (Tanjung Luar), dan Toli-Toli.

4.3 Perhitungan Nilai Pasang Surut

Perhitungan nilai pasang surut dilakukan untuk mendapatkan nilai muka air laut rata-rata (MSL). Nilai MSL adalah permukaan laut yang bebas dari semua variasi yang bergantung waktu, dan biasa disebut juga sebagai permukaan laut stasioner. Dalam penelitian ini digunakan data pasang surut yang digunakan adalah data pasang surut dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Stasiun yang digunakan merupakan stasiun yang lokasinya berdekatan dengan lokasi sampel validasi yang sudah dipilih. Dalam penelitian ini digunakan 7 stasiun pasang surut yaitu stasiun pasang surut Pelabuhan Ratu, stasiun pasang surut Bula, stasiun pasang surut Tanjung Luar, stasiun pasang surut Manokwari, stasiun pasang surut Toli-Toli, stasiun pasang surut Maillepet, dan stasiun pasang surut Belawan.

Data pasang surut yang didapat dari BIG merupakan data pengamatan muka laut tiap jam. Untuk pengolahan data pasang surut digunakan metode *least square*. Berikut ini adalah nilai hasil perhitungan muka air laut rata-rata dari 7 stasiun pengamatan tahun 2013-2016.

Tabel 4.11 Nilai Tinggi Muka Air Laut Rata-Rata Stasiun Pasang Surut Pelabuhan Ratu (M)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	1,951	1,762	1,876	1,726
Februari	-	1,738	1,689	1,767

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Maret	-	1,640	1,709	1,761
April	-	1,790	1,777	1,810
Mei	2,014	1,854	1,777	2,016
Juni	1,913	-	-	2,104
Juli	1,726	1,819	1,643	1,903
Agustus	1,691	1,679	1,549	1,862
September	1,660	1,538	1,431	1,952
Oktober	1,682	1,613	1,545	1,956
November	1,804	1,833	1,668	1,958
Desember	1,855	1,986	1,842	1,916

Keterangan:

(-) : data kosong

Tabel 4.12 Nilai Tinggi Muka Air Laut Rata-Rata Stasiun Pasang Surut Bula (M)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	1,650	1,695	1,726	1,588
Februari	-	1,663	1,733	1,652
Maret	1,711	-	1,702	1,677
April	1,686	-	1,686	1,615
Mei	1,666	-	1,590	1,630
Juni	1,638	1,649	1,557	1,681
Juli	1,582	1,582	1,481	1,659
Agustus	1,535	1,562	1,464	1,631
September	1,543	1,563	1,486	1,692
Oktober	1,597	1,569	1,488	1,739
November	1,593	1,623	1,558	1,768
Desember	1,608	1,675	1,558	1,770

Keterangan:

(-) : data kosong

Tabel 4.13 Nilai Tinggi Muka Air Laut Rata-Rata Stasiun Pasang Surut Tanjung Luar (M)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	1,025	1,176	1,192	0,937
Februari	-	1,125	0,949	0,999
Maret	0,870	1,020	1,008	0,965
April	0,972	1,077	0,993	0,991
Mei	0,998	1,125	0,982	1,112
Juni	1,036	1,058	0,905	1,206
Juli	0,803	0,981	0,849	1,053
Agustus	0,759	0,850	0,795	0,9800
September	0,745	0,801	0,750	0,992
Oktober	0,903	0,821	0,783	1,062
November	1,054	0,972	0,887	-
Desember	1,155	1,119	1,024	1,229

Keterangan:

(-) : data kosong

Tabel 4.14 Nilai Tinggi Muka Air Laut Rata-Rata Stasiun Pasang Surut Manokwari (M)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	1,950	1,980	2,017	1,844
Februari	-	1,940	1,968	1,856
Maret	2,050	1,976	1,936	1,888
April	2,074	2,035	1,979	1,909
Mei	2,093	2,028	1,973	2,000
Juni	2,085	2,084	1,990	2,066

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Juli	2,068	2,096	1,974	2,062
Agustus	2,037	-	1,979	2,076
September	2,074	-	1,979	2,093
Oktober	2,077	2,057	1,970	2,143
November	2,037	2,066	1,925	2,147
Desember	2,017	2,049	1,881	2,087

Keterangan:

(-) : data kosong

Tabel 4.15 Nilai Tinggi Muka Air Laut Rata-Rata Stasiun Pasang Surut Toli-Toli (M)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	1,135	1,154	1,129	0,967
Februari	1,141	1,083	-	0,975
Maret	1,135	1,069	-	0,993
April	1,150	1,068	-	0,982
Mei	1,155	1,055	-	1,003
Juni	1,176	1,058	0,955	1,057
Juli	1,140	1,068	0,971	1,077
Agustus	1,104	1,031	0,964	1,044
September	1,126	1,040	0,973	-
Oktober	1,138	1,042	0,969	1,093
November	1,117	1,061	0,981	1,099
Desember	1,130	1,124	0,970	1,110

Keterangan:

(-) : data kosong

Tabel 4.16 Nilai Tinggi Muka Air Laut Rata-Rata Stasiun Pasang Surut Maillepet (M)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	1,030	0,935	1,136	0,949
Februari	0,948	0,881	0,976	0,972
Maret	0,925	0,835	1,001	0,959
April	1,049	0,951	1,050	-
Mei	1,174	1,083	1,157	-
Juni	1,084	1,078	1,116	1,223
Juli	0,974	1,089	1,075	1,222
Agustus	0,963	0,996	1,028	1,282
September	1,022	0,934	0,972	1,268
Oktober	0,991	1,005	1,011	1,237
November	1,026	1,106	1,096	1,264
Desember	1,092	1,142	1,180	1,281

Keterangan:

(-) : data kosong

Tabel 4.17 Nilai Tinggi Muka Air Laut Rata-Rata Stasiun Pasang Surut Belawan (M)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	0,873	0,771	0,915	0,791
Februari	0,777	0,694	0,717	0,774
Maret	0,688	0,652	0,767	0,802
April	0,803	0,809	0,805	0,866
Mei	0,926	0,942	0,942	1,051
Juni	0,910	0,989	0,938	1,151
Juli	0,798	1,037	0,951	1,037
Agustus	0,804	0,912	0,907	1,032
September	0,822	0,857	0,863	1,086

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Oktober	0,833	0,928	0,860	1,062
November	0,807	0,979	0,886	1,051
Desember	0,806	0,951	0,959	1,080

Dari nilai pasang surut Tabel 4.11 di atas dapat dilihat bahwa nilai muka air laut tertinggi di perairan Pelabuhan Ratu selama empat tahun pengamatan terjadi pada bulan Juni 2016 dengan nilai MSL sebesar 2,104 Meter. Sedangkan nilai muka air laut terendah terjadi pada bulan September 2015 dengan nilai MSL sebesar 1,431 Meter.

Dari nilai pasang surut Tabel 4.12 di atas dapat dilihat bahwa nilai muka air laut tertinggi di perairan Bula, Seram selama empat tahun pengamatan terjadi pada bulan Desember 2016 dengan nilai MSL 1,770 Meter. Sedangkan nilai muka air laut terendah terjadi pada bulan Agustus 2015 dengan nilai MSL sebesar 1,464 Meter.

Dari nilai pasang surut Tabel 4.13 di atas dapat dilihat bahwa nilai muka air laut tertinggi di perairan Tanjung Luar selama empat tahun pengamatan terjadi pada bulan Desember 2016 dengan nilai MSL 1,229 Meter. Sedangkan nilai muka air laut terendah terjadi pada bulan September 2013 dengan nilai MSL sebesar 0,745 Meter.

Dari nilai pasang surut Tabel 4.14 di atas dapat dilihat bahwa nilai muka air laut tertinggi di perairan Manokwari selama empat tahun pengamatan terjadi pada bulan Desember 2016 dengan nilai MSL 1,229 Meter. Sedangkan nilai muka air laut terendah terjadi pada bulan September 2013 dengan nilai MSL sebesar 0,745 Meter.

Dari nilai pasang surut Tabel 4.15 di atas dapat dilihat bahwa nilai muka air laut tertinggi di perairan Toli-Toli selama empat tahun pengamatan terjadi pada bulan Juni 2013 dengan nilai MSL

1,176 Meter. Sedangkan nilai muka air laut terendah terjadi pada bulan Juni 2015 dengan nilai MSL sebesar 0,955 Meter.

Dari nilai pasang surut Tabel 4.16 di atas dapat dilihat bahwa nilai muka air laut tertinggi di perairan Mentawai selama empat tahun pengamatan terjadi pada bulan Agustus 2016 dengan nilai MSL 1,282 Meter. Sedangkan nilai muka air laut terendah terjadi pada bulan Maret 2014 dengan nilai MSL sebesar 0,835 Meter.

Dari nilai pasang surut Tabel 4.17 di atas dapat dilihat bahwa nilai muka air laut tertinggi di perairan Belawan selama empat tahun pengamatan terjadi pada bulan Juni 2016 dengan nilai MSL 1,151 Meter. Sedangkan nilai muka air laut terendah terjadi pada bulan Maret 2014 dengan nilai MSL sebesar 0,652 Meter.

Perlu diketahui bahwa dalam perhitungan nilai pasang surut selama 4 tahun terdapat nilai yang kosong di beberapa bulan pengamatan. Hal ini disebabkan karena ketidaktersediaan data pasang surut yang dihimpun dari stasiun pasang surut BIG.

4.4 Pengolahan Nilai Curah Hujan Satelit TRMM

Satelit TRMM dirancang khusus untuk mengukur curah hujan di daerah tropis dan subtropis. Dari data Satelit TRMM ini akan didapatkan nilai curah hujan di daerah penelitian. Data Satelit TRMM dapat diunduh dari situs penyedia yaitu <http://mirador.gsfc.nasa.gov>. Data Satelit TRMM yang digunakan merupakan data level 3. Data curah hujan bulanan yang dihimpun oleh Satelit TRMM memiliki resolusi spasial sebesar $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$. Hasil dari pengolahan data Satelit TRMM, diambil titik sampel untuk daerah pengamatan yang lokasinya sama dengan koordinat lokasi pengamatan di 20 titik Perairan Indonesia (Tabel 3.1).

Nilai curah hujan yang didapat dari Satelit TRMM memiliki satuan mm/ h (mm/ jam) dan untuk menjadi data curah hujan bulanan perlu dikalikan dengan 24 jam dan 30 hari. Berikut adalah contoh hasil data curah hujan di di Titik 1 (Barat Laut Pulau Simeulue) dan Titik 3 (Selatan DI Yogyakarta).

Tabel 4.18 Nilai Curah Hujan Titik 1 (Perairan Barat Laut P. Simeulue) Tahun 2013-2016 (mm/ bulan)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	165,883	156,673	242,793	266,567
Februari	376,252	97,912	284,870	398,291
Maret	215,176	349,010	155,689	215,990
April	566,961	362,367	452,578	215,333
Mei	401,631	336,677	125,240	416,631
Juni	351,712	425,311	342,738	335,960
Juli	263,422	478,414	372,444	253,535
Agustus	358,613	384,742	282,001	446,834
September	315,941	415,908	388,892	311,513
Oktober	185,398	434,600	405,680	409,133
November	469,686	405,029	461,357	549,167
Desember	405,543	435,134	376,638	350,781

Tabel 4.19 Nilai Curah Hujan Titik 3 (Perairan Selatan DIY) Tahun 2013-2016 (mm/ bulan)

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Januari	425,730	441,402	245,078	196,339
Februari	219,393	313,757	338,167	558,600
Maret	249,978	164,953	285,210	276,435
April	161,773	199,666	360,458	236,083
Mei	266,229	88,074	137,494	275,861
Juni	580,326	73,022	16,795	399,019
Juli	247,001	108,545	3,448	213,096
Agustus	14,869	20,806	2,541	113,393
September	21,146	1,344	1,864	362,256
Oktober	56,295	7,402	4,511	657,763
November	292,901	279,952	113,805	464,216

Bulan/ Tahun	2013	2014	2015	2016
Desember	459,018	325,431	280,766	288,659

Untuk grafik nilai curah hujan bulanan dari Titik 1 sampai Titik 20 dapat dilihat pada lampiran 3.

4.5 Analisa Validasi Nilai Pasang Surut dengan Nilai SLA

Validasi nilai pasang surut dengan nilai SLA dilakukan dengan menggunakan analisa korelasi. Analisa korelasi adalah metode statistik yang digunakan untuk mengukur besarnya hubungan linier antara dua variabel atau lebih. Prinsipnya adalah dengan menentukan kuatnya derajat atau hubungan linier antara kedua data pengamatan tersebut. Nilai koefisien korelasi berkisar pada interval -1 sampai 1. Berikut merupakan hasil dari nilai analisa korelasi data pasang surut dan data SLA di 7 lokasi pengamatan.

Tabel 4.20 Nilai Korelasi antara Nilai Pasang Surut (MSL) dengan Nilai SLA

Titik Sampel	Koordinat		Lokasi Perairan	Korelasi
	Lintang	Bujur		
1A	-7°00'00"	106°30'00"	Selatan Banten	0,9261
2A	-3°3'45"	130°33'45"	Bula, Seram	0,8009
3A	-8°48'45"	116°33'45"	Tanjung Luar	0,7653
4A	-0°56'15"	134°7'25"	Manokwari	0,9110
5A	1°2'56"	120°48'26"	Toli-Toli	0,9078
6A	-1°34'42"	99°21'18"	Mentawai	0,8543
7A	3°52'30"	98°45'00"	Belawan	0,8481

Dari nilai korelasi antara nilai SLA dan MSL dari pengamatan pasang surut, didapatkan nilai korelasi antara kedua data tertinggi terletak di perairan Selatan Banten yaitu sebesar 0,9261. Kategori nilai korelasi ini termasuk ke dalam kategori sangat kuat untuk hubungan antar datanya. Sedangkan nilai korelasi terendah terletak

di perairan Tanjung Luar, Lombok Timur dengan nilai korelasi sebesar 0,7653 dimana nilai korelasi ini masuk ke dalam kategori kuat untuk hubungan antar datanya.

Tingkat hubungan di dalam analisa korelasi ditentukan berdasarkan interval koefisien. Dimana untuk tingkat hubungan yang sangat kuat interval koefisiennya berada di interval 0,800 – 1,000. Untuk tingkat hubungan yang kuat interval koefisiennya berada di interval 0,600 – 0,799. Dari Tabel 4.20 di atas dapat disimpulkan bahwa hasil analisa korelasi antara kedua data menunjukkan tingkat hubungan yang sangat kuat di 6 perairan yang dijadikan titik sampel validasi yaitu di perairan Selatan Banten, Bula, Manokwari, Toli-Toli, Mentawai, dan Belawan. Sedangkan di perairan Tanjung Luar hasil analisa korelasi antara kedua data menunjukkan tingkat hubungan yang kuat.

Dalam penelitian ini terdapat kekosongan data di beberapa bulan pengamatan pasang surut, sehingga untuk analisa korelasi hanya dilakukan pada data pasang surut yang tersedia dengan data SLA hasil pengolahan.

4.6 Analisa Validasi Nilai Curah Hujan dengan Nilai SLA

Curah Hujan merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam penakar hujan pada tempat yang datar, tidak menyerap, tidak meresap, dan tidak mengalir. Unsur hujan 1 mm artinya dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air hujan setinggi satu millimeter atau tertampung air hujan sebanyak satu liter (BMKG Wilayah 3 Denpasar, 2017).

Dalam penelitian ini data curah hujan didapatkan dari Satelit TRMM. Satelit TRMM dirancang khusus untuk mengukur curah hujan di daerah tropis dan subtropis. Nilai curah hujan yang didapat dari hasil pengolahan data akan dicari hubungannya dengan nilai SLA di 20 lokasi perairan Indonesia menggunakan analisa korelasi. Nilai korelasi antara kedua data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.21.

Tabel 4.21 Nilai Korelasi antara Nilai Curah Hujan Bulanan (Satelit TRMM) dengan Nilai SLA

Titik	Koordinat Perairan		Lokasi	Korelasi
	Lintang	Bujur		
1	3°15'00"	95°22'30"	Barat Laut P. Simeulue	0,2888
2	-5°48'45"	103°30'00"	Selatan Bandar Lampung	0,5311
3	-8°41'15"	110°7'30"	Selatan DIY	0,6689
4	-9°33'45"	116°18'45"	Selatan NTT	0,5995
5	-9°26'15"	122°00'00"	Laut Sawu	0,5311
6	-6°33'45"	125°56'15"	Laut Banda	0,5293
7	-7°48'45"	135°18'45"	Laut Arafura	0,7380
8	-2°26'15"	130°33'45"	Laut Seram	0,4143
9	0°7'30"	133°58'30"	Utara Papua	0,4780
10	3°52'30"	128°18'45"	Utara Pulau Maluku	0,6093
11	-0°41'15"	125°26'15"	Laut Maluku	0,5328
12	3°22'30"	120°56'15"	Laut Sulawesi	0,5116
13	-0°41'15"	118°33'45"	Selat Makassar	0,5760
14	-5°37'30"	114°56'15"	Timur P. Masalembu	0,6386
15	-4°52'30"	109°30'00"	Laut Jawa	0,3842
16	-3°33'45"	107°7'30"	Barat Daya P. Belitung	0,6024
17	1°11'15"	106°00'00"	Utara Kepulauan Riau	0,4677
18	4°56'15"	98°52'30"	Selat Malaka	0,2572
19	-1°18'45"	99°26'15"	Timur Kep. Mentawai	0,0635
20	-7°30'00"	105°45'00"	Selatan Provinsi Banten	0,2807

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa nilai koefisien korelasi berada dalam rentang 0,0635 untuk nilai korelasi terendah hingga 0,7380 untuk nilai korelasi tertinggi. Nilai korelasi terendah terdapat di Perairan Timur Kepulauan Mentawai dimana nilai 0,0635 memiliki tingkat hubungan yang sangat lemah antara kedua data. Sedangkan untuk nilai korelasi tertinggi terdapat di Perairan

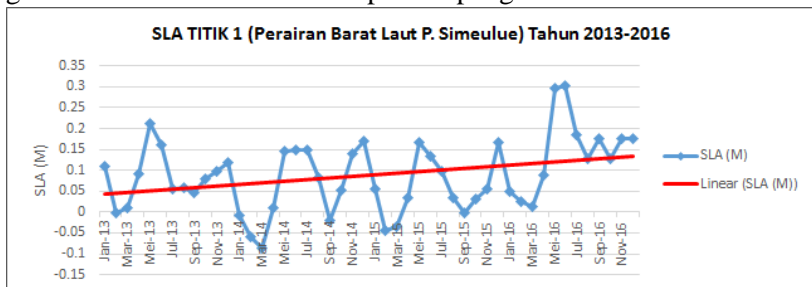
Laut Arafura dimana nilai 0,7380 memiliki tingkat hubungan yang kuat antara kedua data.

Dari 20 lokasi perairan yang dijadikan sampel dapat diambil kesimpulan bahwa 5 lokasi perairan memiliki tingkat hubungan yang kuat antara nilai SLA dengan nilai curah hujan (25%), 10 lokasi perairan memiliki tingkat hubungan yang cukup kuat antara nilai SLA dengan nilai curah hujan (50%), 4 lokasi perairan memiliki tingkat hubungan yang lemah antara nilai SLA dengan nilai curah hujan (20%), dan 1 lokasi perairan memiliki tingkat hubungan yang sangat lemah antara nilai SLA dengan nilai curah hujan (5%).

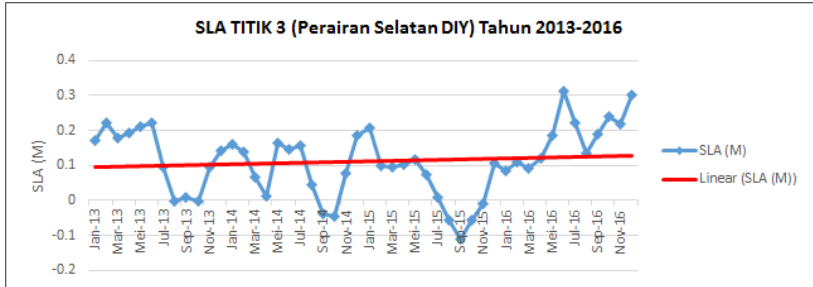
4.7 Analisa Perubahan Muka Air Laut

Analisa perubahan muka air laut dilakukan untuk mengetahui kecenderungan perubahan muka air laut selama jangka waktu 4 tahun pengamatan. Analisa dilakukan dengan menggunakan nilai SLA dari masing-masing titik penelitian berdasarkan 20 titik yang disebar di beberapa wilayah Indonesia dan disesuaikan dengan keadaan wilayah laut Indonesia yang bervariasi.

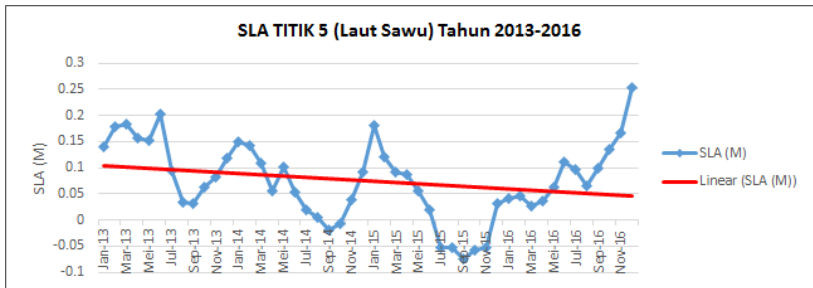
Dari seluruh lokasi pengamatan nilai SLA kemudian dibuat grafiknya untuk mengetahui kecenderungan nilai SLA selama 4 tahun pada masing-masing lokasi. Berikut adalah beberapa contoh grafik tren nilai SLA di beberapa titik pengamatan.



Gambar 4.18 Grafik Tren SLA Titik 1 Tahun 2013-2016



Gambar 4.19 Grafik Tren SLA Titik 3 Tahun 2013-2016



Gambar 4.20 Grafik Tren SLA Titik 5 Tahun 2013-2016

Dari grafik tersebut kemudian dapat dicari nilai tren perubahan muka air laut menggunakan regresi linier. Regresi mampu mendeskripsikan fenomena data melalui terbentuknya suatu hubungan model hubungan yang bersifat numerik. Regresi juga dapat digunakan untuk melakukan pengendalian (kontrol) terhadap suatu kasus atau hal-hal yang sedang diamati melalui penggunaan model regresi yang diperoleh. Bentuk persamaan regresi linier secara umum dapat dilihat pada persamaan (2.12). Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa y adalah variabel dependen atau tak bebas, dalam penelitian ini nilai y menyatakan nilai tren/ perubahan muka air laut (nilai yang diprediksikan). Nilai x adalah variabel independen atau bebas, dalam penelitian nilai x menyatakan waktu atau jumlah bulan pengamatan. Koefisien m adalah *slope* atau nilai

kemiringan dari nilai tren linier yang terbentuk, dan akan menunjukkan tren tersebut naik atau turun.

Langkah selanjutnya adalah mencari nilai y maksimal dan y minimal dari masing-masing persamaan linier dengan memasukkan jumlah bulan dengan angka 1 untuk nilai minimal dan jumlah bulan dengan angka 48 untuk nilai maksimal ke dalam variabel x . Adapun rumus tren perubahan muka air laut tiap tahun yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{tren per tahun} = \frac{y \text{ maksimal} - y \text{ minimal}}{4} \quad (4.1)$$

Nilai y minimal merupakan nilai SLA pada bulan ke 1 (Januari 2013). Sedangkan nilai y maksimal merupakan nilai SLA pada bulan ke 48 (Desember 2016). Angka pembagi empat menunjukkan lamanya pengamatan yaitu 4 tahun. Contoh perhitungan nilai y minimal dan y maksimal adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} y = m(1) + c & \quad : y = 0,0019(1) + 0,0401 = 0,042 \\ y = m(48) + c & \quad : y = 0,0019(48) + 0,0401 = 0,1313 \end{aligned}$$

$$\text{tren per tahun} = \frac{0,1313 - 0,042}{4} = 0,0223 \text{ Meter/tahun}$$

Selanjutnya dicari nilai tren linier untuk titik pengamatan yang lainnya dengan menggunakan rumus yang sama. Adapun hasil dari perhitungan tren linier dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Hasil Persamaan Tren Linier Tiap Titik Pengamatan

Titik	Nilai Persamaan $y = mx + c$				Nilai R^2	Nilai Tren (Meter)
	m	c	y min	y maks		
1	0,0019	0,0401	0,042	0,1313	0,0991	0,0223
2	0,0017	0,0632	0,0649	0,1448	0,0534	0,0200
3	0,0007	0,0961	0,0968	0,1297	0,0091	0,0082
4	-0,0002	0,0822	0,082	0,0726	0,0012	-0,0024
5	-0,0013	0,1064	0,1051	0,044	0,0558	-0,0153
6	-0,0021	0,1181	0,116	0,0173	0,1863	-0,0247
7	-0,0031	0,1359	0,1328	-0,0129	0,1338	-0,0364
8	-0,0027	0,133	0,1303	0,0034	0,1831	-0,0317
9	-0,0019	0,129	0,1271	0,0378	0,1576	-0,0223
10	-0,002	0,1024	0,1004	0,0064	0,0928	-0,0235
11	-0,0024	0,1373	0,1349	0,0221	0,2021	-0,0282
12	-0,002	0,1204	0,1184	0,0244	0,2467	-0,0235
13	-0,0022	0,1241	0,1219	0,0185	0,2177	-0,0259
14	-0,0011	0,1003	0,0992	0,0475	0,0405	-0,0129
15	-0,0001	0,0845	0,0844	0,0797	0,0009	-0,0012
16	0,00003	0,0754	0,07543	0,07684	0,00005	0,0004
17	-0,0007	0,0833	0,0826	0,0497	0,0107	-0,0082
18	0,0016	0,0519	0,0535	0,1287	0,0464	0,0188
19	0,002	0,0487	0,0507	0,1447	0,0918	0,0235
20	0,0011	0,0806	0,0817	0,1334	0,0281	0,0129

Dari tabel di atas dapat dilihat ada 7 titik dengan nilai tren positif, sedangkan 13 sisanya merupakan tren negatif. Tren positif menyatakan bahwa titik tersebut mengalami kenaikan setiap tahunnya. Sedangkan tren negatif menyatakan bahwa titik tersebut mengalami penurunan setiap tahunnya. Dari persamaan regresi linier tersebut kemudian didapatkan nilai koefisien determinasi yang disimbolkan dengan R^2 . Koefisien determinasi adalah nilai untuk mengukur besarnya kontribusi X terhadap variasi (naik turunnya) Y (Supranto, 2001). Variasi Y lainnya (sisanya) disebabkan oleh faktor lain yang juga mempengaruhi Y dan sudah

termasuk dalam kesalahan pengganggu (*disturbance error*). Dengan kata lain, koefisien determinasi digunakan untuk menganalisa seberapa kuat variabel independen mempengaruhi variabel dependen. Dalam penelitian ini, koefisien determinasi digunakan untuk mengetahui seberapa kuat pengaruh jumlah pengamatan terhadap nilai tren kenaikan muka air laut yang didapat. Nilai koefisien determinasi (R^2) memiliki rentang 0 sampai dengan 1, dengan keterangan apabila nilainya semakin besar maka hubungan antar variabel tersebut semakin kuat. Dari hasil perhitungan di atas dapat dilihat bahwa nilai R^2 yang didapat pada masing-masing persamaan sangatlah kecil. Hal ini menandakan bahwa hubungan antara variabel dependen (nilai SLA) dengan variabel independen (jumlah bulan pengamatan) sangat lemah. Hal ini dapat dipengaruhi oleh periode pengamatan yang relatif pendek sehingga data SLA yang didapatkan masih memiliki nilai yang beragam serta nilai *error* yang besar dari perhitungan statistik. Untuk di masa mendatang diperlukan penelitian terkait studi ini dalam jangka waktu yang lebih panjang, misalnya di atas 10 tahun pengamatan seperti penelitian tentang pengamatan *sea level rise* pada tahun 1993-2009 oleh Church dan White, supaya pola perubahan muka air laut dapat diketahui dengan lebih jelas.

Untuk grafik tren nilai SLA tahun 2013-2016 dari Titik 1 sampai Titik 20 dapat dilihat pada lampiran 2.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun beberapa hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini adalah:

1. Berdasarkan hasil penelitian ini, pola perubahan muka air laut di perairan Indonesia bagian barat sebagian besar memiliki tren kenaikan muka air laut. Yaitu didasarkan dari 10 titik yang ditempatkan di perairan Indonesia barat, 7 titik diantaranya mengalami tren positif. Sedangkan untuk perairan Indonesia bagian tengah dan timur mengalami tren penurunan muka air laut, yaitu didasarkan dengan hasil tren negatif yang didapatkan pada semua titik penelitian. Selain itu, pola kenaikan muka air laut di perairan barat Indonesia secara umum memiliki nilai SLA tertinggi di bulan Juni 2016 dan nilai SLA terendah di bulan September 2015. Untuk perairan Indonesia tengah, pola kenaikan muka air lautnya tergolong bervariasi dibuktikan dengan nilai SLA tertinggi dan terendah tidak selalu terjadi pada bulan yang sama. Kemudian untuk perairan Indonesia timur juga memiliki pola kenaikan muka air laut yang bervariasi. Hal ini ditunjukkan dengan nilai SLA tertinggi yang tidak selalu terjadi pada bulan yang sama. Tetapi untuk nilai SLA terendah memiliki beberapa pola yang sama yaitu nilai SLA terendah terjadi pada bulan Juli dan Agustus 2015.
2. Dari hasil perhitungan nilai SLA menggunakan data Satelit Altimetri *Jason-2* di 20 titik Perairan Indonesia didapatkan nilai SLA tertinggi terjadi pada bulan Juni 2016 sebesar 0,380 Meter dengan lokasi di Perairan Selatan Bandar Lampung. Sedangkan untuk nilai SLA terendah terjadi pada bulan Agustus 2015 sebesar -0,171 Meter dengan lokasi di Laut Arafura.
3. Nilai SLA di 7 titik perairan yang akan dilakukan uji validasi dengan data muka air laut rata-rata (data pasang surut air laut)

didapatkan nilai SLA tertinggi terjadi pada bulan Juni 2016 sebesar 0,363 Meter dengan lokasi di Perairan Selatan Banten. Sedangkan untuk nilai SLA terendah terjadi pada bulan Maret 2014 sebesar -0,133 Meter dengan lokasi di Perairan Belawan, Sumatera Utara.

4. Pengolahan data pasang surut dilakukan pada 7 stasiun pasang surut yang lokasinya berdekatan dengan 7 titik sampel perairan untuk uji validasi. Adapun nilai muka air laut rata-rata di 7 stasiun tersebut selama tahun 2013-2016 adalah sebagai berikut: di stasiun pasut Pelabuhan Ratu nilai muka air laut rata-rata adalah 1,786 Meter; stasiun pasut Bula: 1,625 Meter; stasiun pasut Tanjung Luar: 0,980 Meter; stasiun pasut Manokwari: 2,014 Meter; stasiun pasut Toli-Toli: 1,065 Meter; stasiun pasut Maillepet: 1,0600 Meter, dan stasiun pasut Belawan: 0,889 Meter.
5. Hasil analisa validasi nilai SLA dengan nilai muka air laut rata-rata dari data pasang surut BIG dengan menggunakan analisa korelasi menghasilkan nilai korelasi dengan nilai korelasi tertinggi sebesar 0,9261 dan nilai korelasi terendah sebesar 0,7653. Karena nilai korelasi yang didapatkan dari kedua data lebih besar dari 0,5 maka dapat disimpulkan bahwa hubungan antara kedua data termasuk kuat.
6. Nilai curah hujan bulanan hasil pengolahan data Satelit TRMM digunakan juga untuk menganalisa korelasi antara nilai SLA dengan nilai curah hujan di lokasi perairan Indonesia. Hasil analisa korelasi antara kedua tersebut menghasilkan nilai korelasi tertinggi sebesar 0,7380 dan nilai korelasi terendah sebesar 0,0635. Perlu diketahui bahwa nilai korelasi antara kedua data tersebut sangatlah bervariasi. Adapun rincian dari tingkat hubungan antara kedua data adalah 5 lokasi perairan memiliki tingkat hubungan data yang kuat, 10 lokasi perairan memiliki tingkat hubungan data yang cukup kuat, 4 lokasi

perairan memiliki tingkat hubungan yang lemah, dan 1 lokasi perairan memiliki tingkat hubungan yang sangat lemah.

7. Nilai tren perubahan muka air laut di 20 titik pengamatan selama tahun 2013-2016 terdiri dari tren positif dan tren negatif. Dimana 7 lokasi pengamatan memiliki tren positif dengan nilai kenaikan muka air laut tertinggi sebesar 0,0235 Meter/ Tahun dan 13 lokasi pengamatan memiliki tren negatif dengan nilai penurunan muka air laut tertinggi sebesar 0,0364 Meter/ Tahun.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengolahan data dalam penelitian ini, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Secara umum data Satelit Altimetri *Jason-2* dapat digunakan untuk memantau fenomena yang terkait dengan perubahan muka air laut. Namun, dengan luasnya perairan Indonesia maka perlu dilakukan penelitian yang lebih intensif dan dalam jangka waktu yang lebih panjang supaya pola perubahan muka air laut dapat semakin jelas, serta analisis untuk peramalan tren perubahan muka air laut dapat dilakukan.
2. Diperlukan data pembanding lainnya seperti data curah hujan lokal, data fenomena iklim dan musim di Indonesia, serta data lain yang terkait dengan sifat fisis lautan seperti suhu permukaan laut dan salinitas.
3. Diperlukan juga data pasang surut global untuk membandingkan validitas antara nilai SLA dengan data pasut model global dan dengan data pasut yang didapatkan dari BIG, agar didapatkan data yang benar-benar sesuai untuk digunakan dalam studi perubahan muka air laut selanjutnya.
4. Untuk analisa statistik disarankan untuk menggunakan model analisis regresi selain regresi linier, misalnya regresi polinomial pangkat x supaya dapat dilakukan pengujian untuk mendapatkan hasil data yang terbaik sesuai dengan penggunaan

model regresi yang tepat, serta dapat mengurangi nilai *error* yang cukup besar pada uji statistik dengan regresi linier. Selain menggunakan model regresi, dapat lebih baik lagi apabila dilakukan analisis menggunakan *time series* agar dapat ditemukan pola dari data di masa lalu dan dilakukan peramalan terhadap sifat-sifat dari data di masa yang akan datang. Salah satu contoh untuk pengamatan dan peramalan jangka pendek (seperti dalam penelitian ini) adalah dengan menggunakan model ARIMA atau *Auto Regressive Integrated Moving Average*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z. 2001. *Geodesi Satelit*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Alfian, Nur Rahman Haris. 2013. *Analisa Fenomena Sea Level Rise Pada Perairan Indonesia Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-2 Periode Tahun 2009-2012*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan-ITS Surabaya.
- AVISO. 2015. *OSTM/ Jason-2 Products Handbook*. CNES, EUMETSAT, NOAA.
- Azis, M.F. 2006. "Gerak Air di Laut". *Oseana*. XXXI: 9-21.
- Badan Informasi Geospasial. 2016. *Prediksi Pasang Surut 2016*. Cibinong: Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika-BIG.
- Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Wilayah 3 Denpasar. 2017. *Daftar Istilah Meteorologi*. <URL: <http://balai3.denpasar.bmkg.go.id/daftar-istilah-musim>>. Dikunjungi pada tanggal 27 April 2017, pukul 11.05.
- Church & White. 2011. "Sea Level Rise from the Late 19th to the Early 21st Century". *Surveys in Geophysics* 32: 585-602.
- Dewantara, Aryasandah Hargo. 2015. *Analisis Luas Daerah Potensi Genangan Air Rob Akibat Kenaikan Muka Air Laut Dengan Data Satelit Altimetri (Studi Kasus: Kota Semarang)*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan-ITS Surabaya.
- Dronkers, J.J. 1964. *Tidal Computations in Rivers and Coastal Waters*. North-Holland, Amsterdam; Interscience.
- Dualembang, Jisby Rara. 2015. *Analisa Kenaikan Muka Air Laut Dengan Menggunakan Data Pasang Surut In Situ di Beberapa Lokasi Perairan Indonesia*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan-ITS Surabaya.
- ESA. 2016. *Basic Radar Altimetry Toolbox (BRAT) v3.3 User Manual*. ESA.

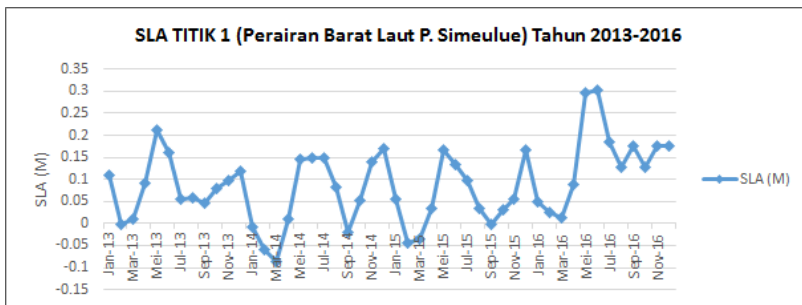
- Fenoglio-Marc, L. et al. 2012. “*Sea Level Change and Vertical Motion from Satellite Altimetry, Tide Gauges and GPS in the Indonesian Region*”. *Marine Geodesy*. 35: 137-150.
- Gunadi. 1999. *Pemrosesan Topografi Muka Air Laut Dari Data Satelit Altimetri TOPEX/Poseidon*. Bandung: Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – ITB.
- Hakim, Luqman. 2016. *Analisis Hubungan Perubahan Muka Air Laut dan Perubahan Volume Es di Kutub Selatan dengan Menggunakan Satelit Altimetri (Studi Kasus: Laut Selatan Pulau Jawa Tahun 2011-2014)*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan-ITS Surabaya.
- Hanggoro, W., Harmoko, I. W., dan Makmir, E. E. S.. 2012. “*Simulasi Hujan Ekstrim Pada Kejadian Banjir di Mataram Tanggal 10 Januari 2009 Menggunakan WRF-EMS*”. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Volume 13 No. 1: 71-80.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. New York: IPCC.
- Malensang, J. S., dkk. 2012. “*Pengembangan Model Regresi Polinomial Berganda Pada Kasus Data Pemasaran*”. *Jurnal Ilmiah Sains* Vol. 12 No. 12: 149-152
- NASDA. 2001. *TRMM Data User Handbook*. National Space Development Agency of Japan.
- Nicholls, R.J. 2010. “*Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones*”. *Science*. 328: 1517-1520.
- Nurmaulia, S.L, Prijatna.K, dan Darmawan.D. 2005. *Studi Awal Perubahan Kedudukan Muka Laut (Sea Level Change) di Perairan Indonesia berdasarkan Data Satelit Altimetri TOPEX/Poseidon*. Bandung: Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan-ITB.
- Pasaribu, J. M. dan Haryani, N. S. 2012. “*Perbandingan Teknik Interpolasi DEM SRTM dengan Metode Inverse Distance*

- Weighted (IDW), Natural Neighbor dan Spline*. Jurnal Penginderaan Jauh. Volume 9 No. 2: 126-139.
- Raharjanto, Lukman. 2012. *Studi Pasang Surut di Perairan Indonesia dengan Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-1*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan-ITS Surabaya.
- Sarwono, J. 2006. *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- SRSRA. 2001. *Satellite Remote Sensing, Radar Altimetry, Aerospace Engineering, the University of Texas*. <URL: <http://www.ae.utexas.edu.html>>. Dikunjungi pada tanggal 31 Januari 2017, pukul 10.30.
- Seeber, G. 2003. *Satellite Geodesy: 2nd completely revised and extended edition*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Sintyaningrum, Naysila. 2017. *Pemilihan Model Input dengan Random Forest Pada Model Time Series Regression dan Double Seasonal ARIMA Untuk Peramalan Data Pemakaian Beban Listrik Jangka Pendek*. Tugas Akhir Jurusan Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam-ITS Surabaya.
- Sudjana. 2002. *Metode Statistika*. Bandung: Trasiato.
- Supranto, J. 2001. *Statistik Teori dan Aplikasi*. Jakarta: Erlangga.
- Syaifulallah, M. Djazim. 2014. “Validasi Data TRMM Terhadap Data Curah Hujan Aktual di Tiga DAS di Indonesia”. Jurnal Meteorologi dan Geofisika. 15 (2): 109-118.
- Wei, W. W. S. 2006. *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods*. New York: Pearson Education Inc.
- Wessel, P. & Smith, W. H. F.. 2014. *The Generic Mapping Tools GMT Documentation Release 5.1.1*. Honolulu.

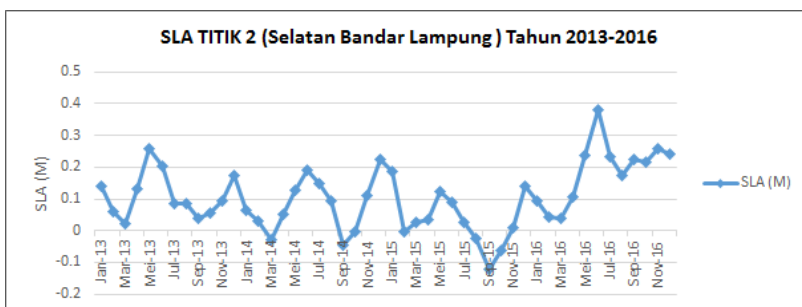
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

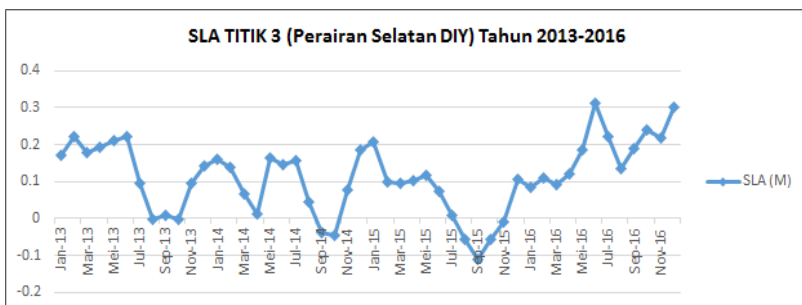
Lampiran 1 Grafik Nilai SLA di 20 Titik Pengamatan



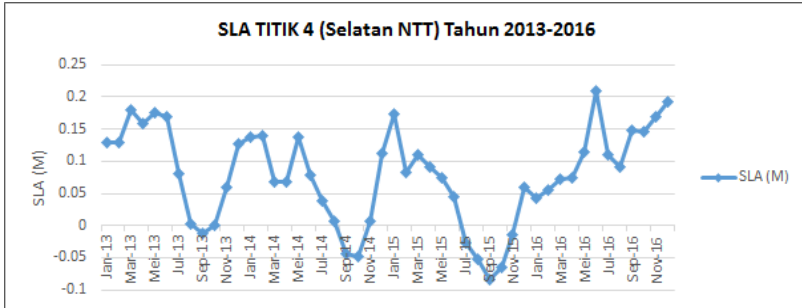
Grafik SLA Titik 1 Tahun 2013-2016



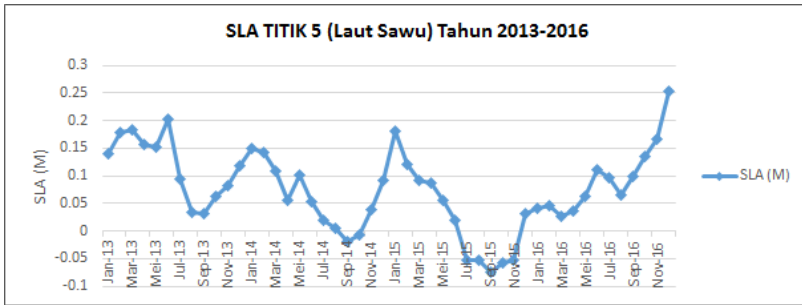
Grafik SLA Titik 2 Tahun 2013-2016



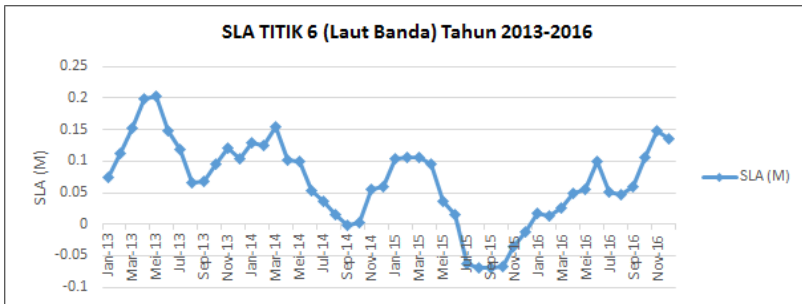
Grafik SLA Titik 3 Tahun 2013-2016



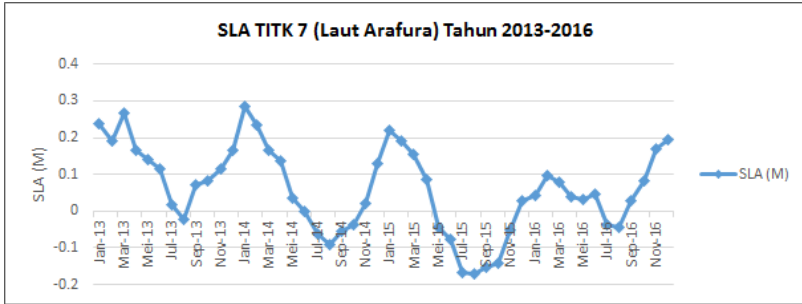
Grafik SLA Titik 4 Tahun 2013-2016



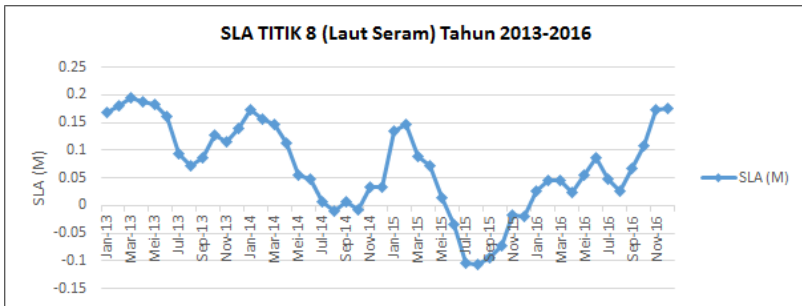
Grafik SLA Titik 5 Tahun 2013-2016



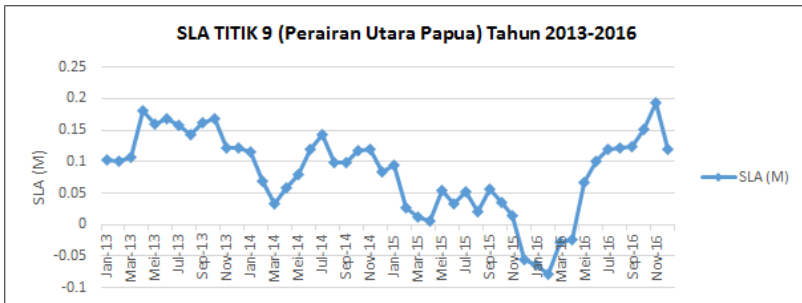
Grafik SLA Titik 6 Tahun 2013-2016



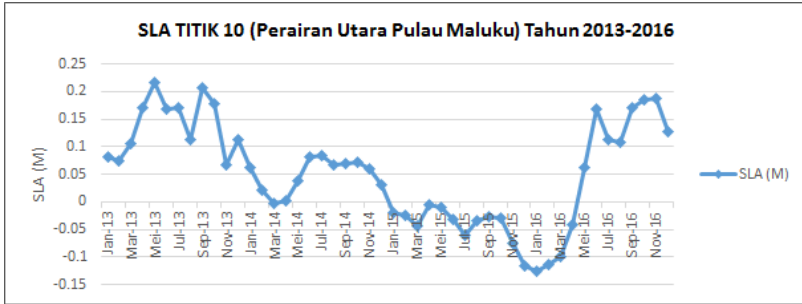
Grafik SLA Titik 7 Tahun 2013-2016



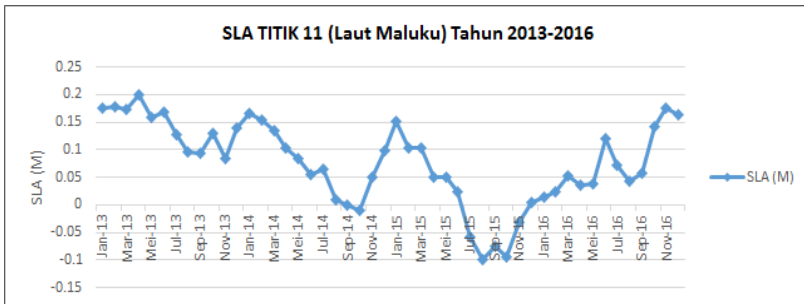
Grafik SLA Titik 8 Tahun 2013-2016



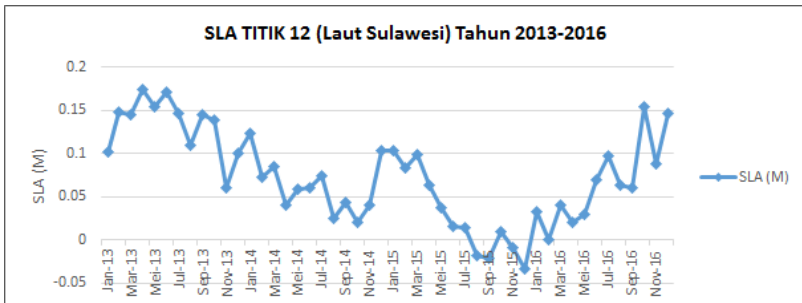
Grafik SLA Titik 9 Tahun 2013-2016



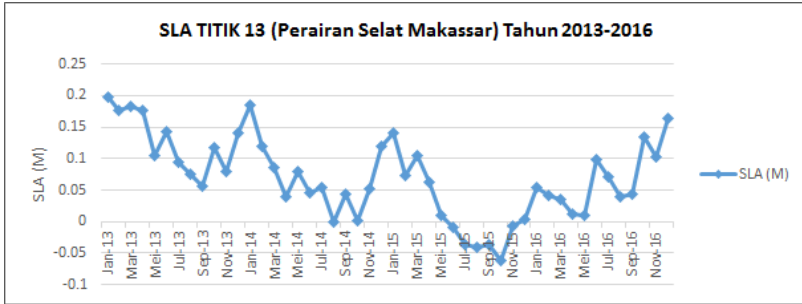
Grafik SLA Titik 10 Tahun 2013-2016



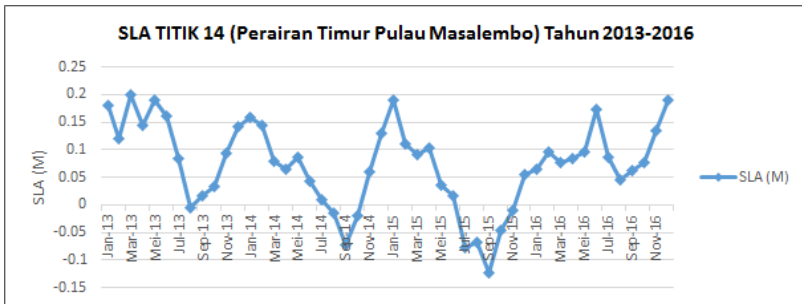
Grafik SLA Titik 11 Tahun 2013-2016



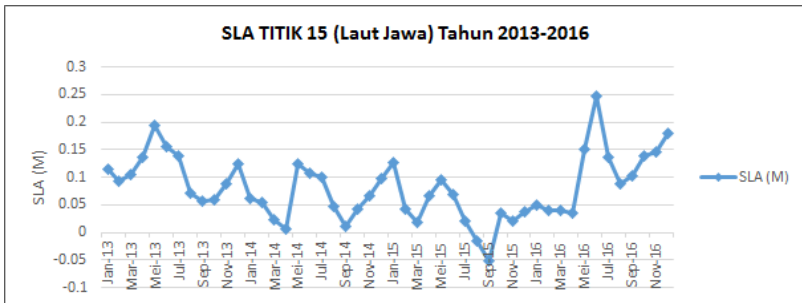
Grafik SLA Titik 12 Tahun 2013-2016



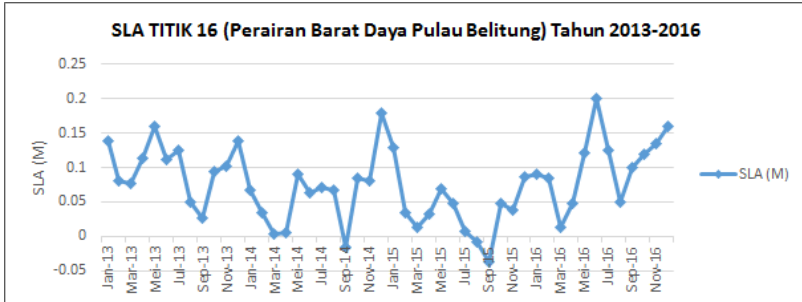
Grafik SLA Titik 13 Tahun 2013-2016



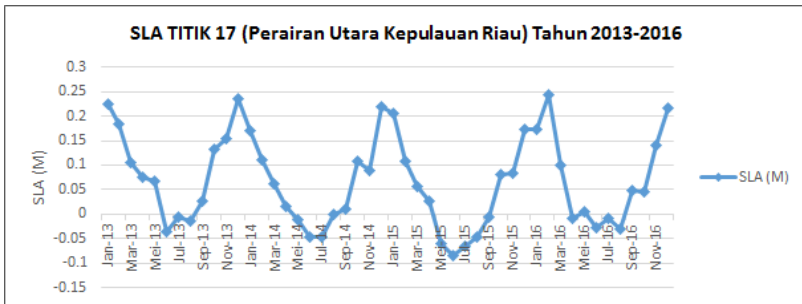
Grafik SLA Titik 14 Tahun 2013-2016



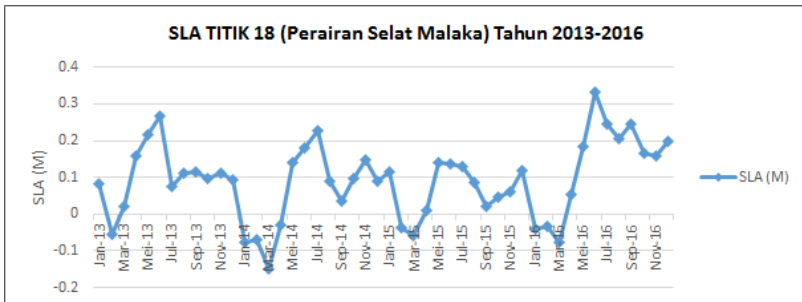
Grafik SLA Titik 15 Tahun 2013-2016



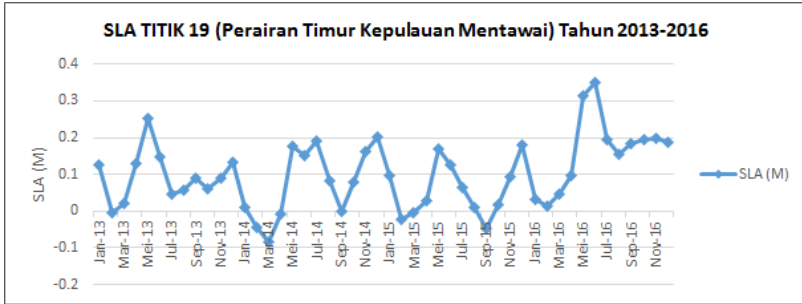
Grafik SLA Titik 16 Tahun 2013-2016



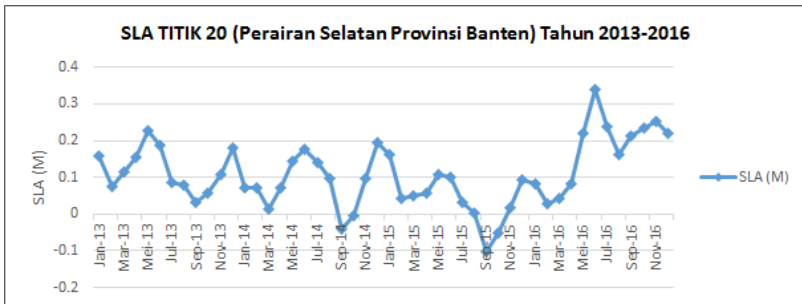
Grafik SLA Titik 17 Tahun 2013-2016



Grafik SLA Titik 18 Tahun 2013-2016

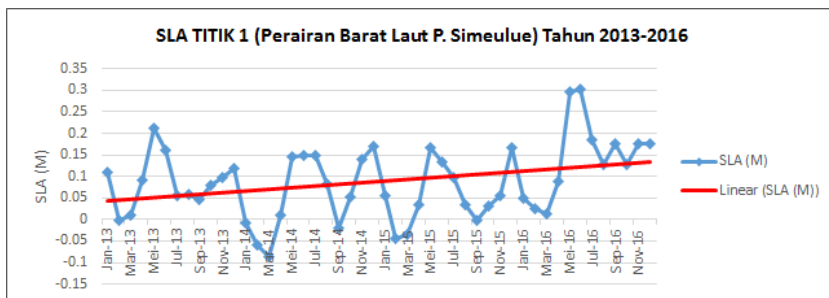


Grafik SLA Titik 19 Tahun 2013-2016

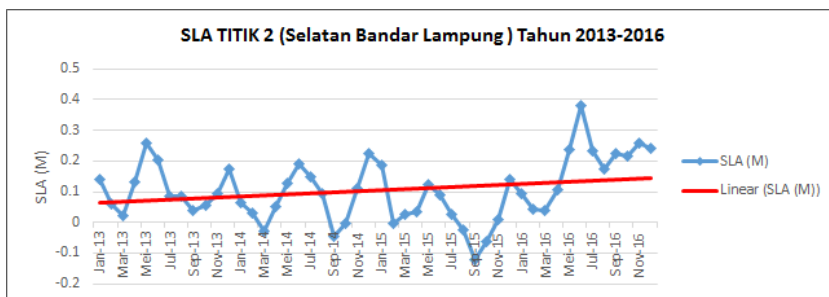


Grafik SLA Titik 20 Tahun 2013-2016

Lampiran 2 Grafik Tren Nilai SLA di 20 Titik Pengamatan



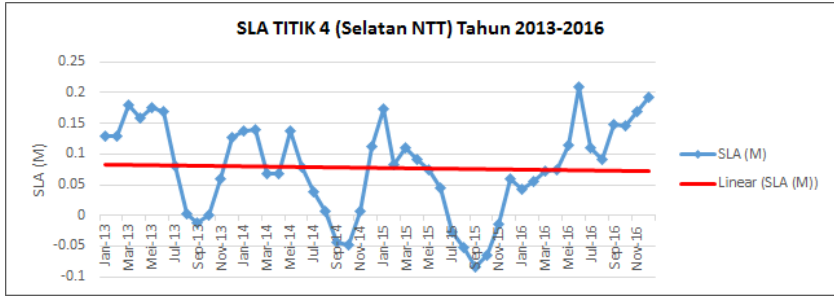
Grafik Tren SLA Titik 1 Tahun 2013-2016



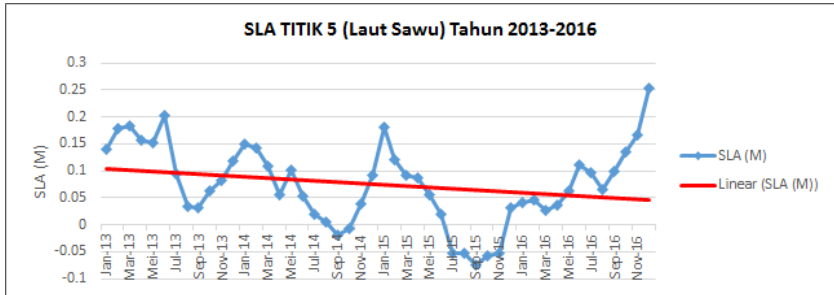
Grafik Tren SLA Titik 2 Tahun 2013-2016



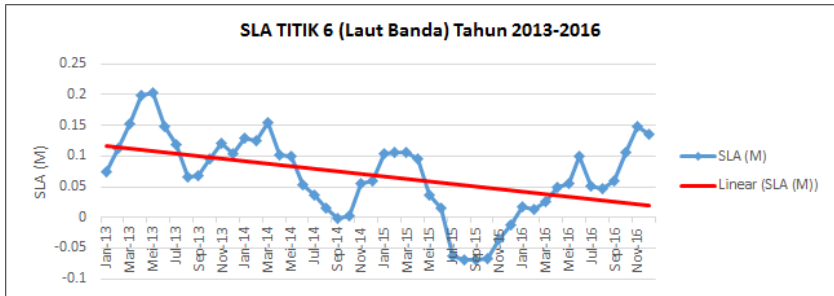
Grafik Tren SLA Titik 3 Tahun 2013-2016



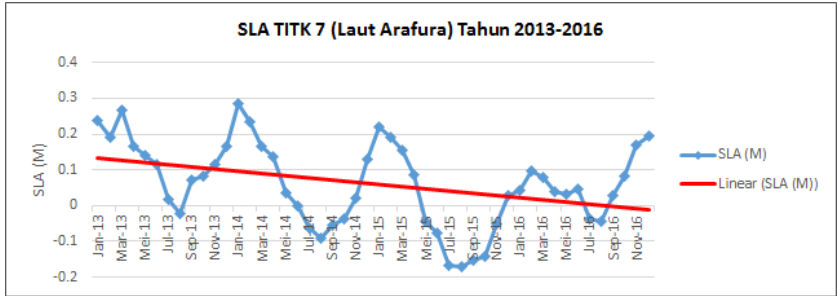
Grafik Tren SLA Titik 4 Tahun 2013-2016



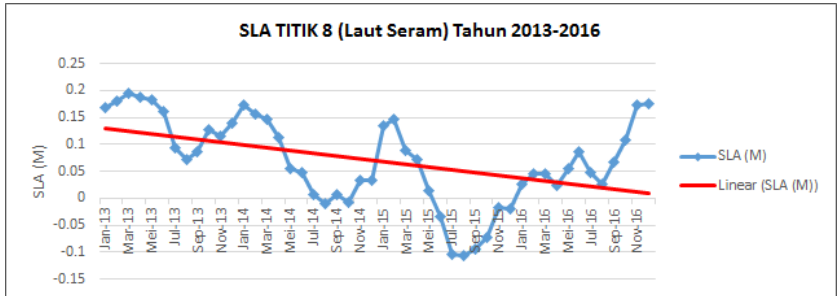
Grafik Tren SLA Titik 5 Tahun 2013-2016



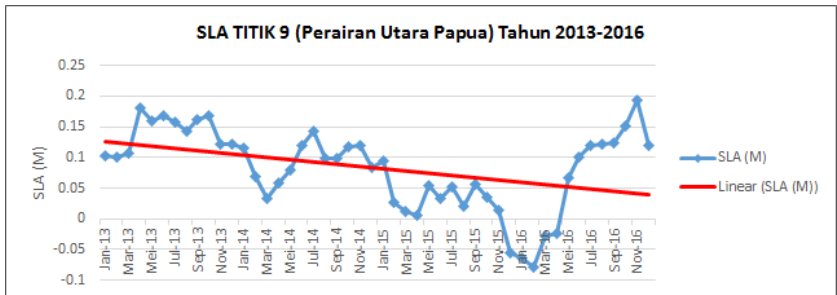
Grafik Tren SLA Titik 6 Tahun 2013-2016



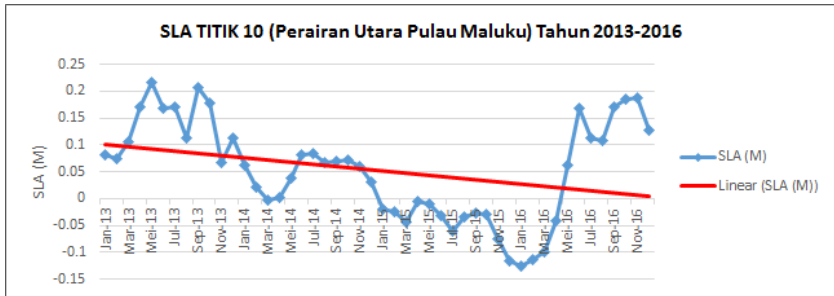
Grafik Tren SLA Titik 7 Tahun 2013-2016



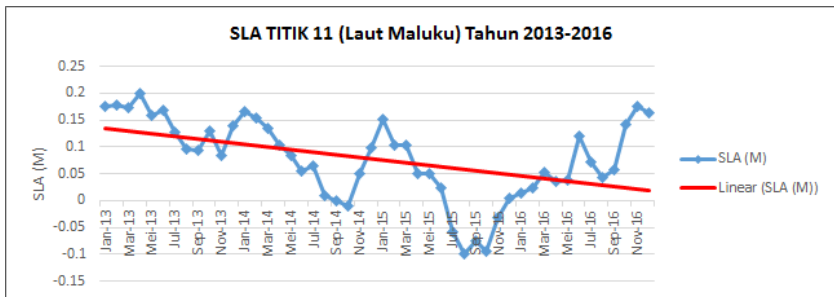
Grafik Tren SLA Titik 8 Tahun 2013-2016



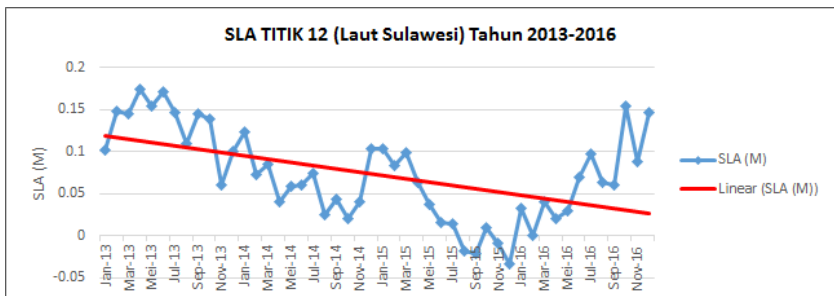
Grafik Tren SLA Titik 9 Tahun 2013-2016



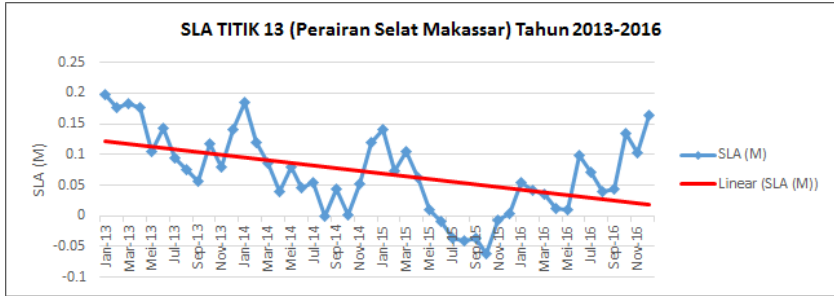
Grafik Tren SLA Titik 10 Tahun 2013-2016



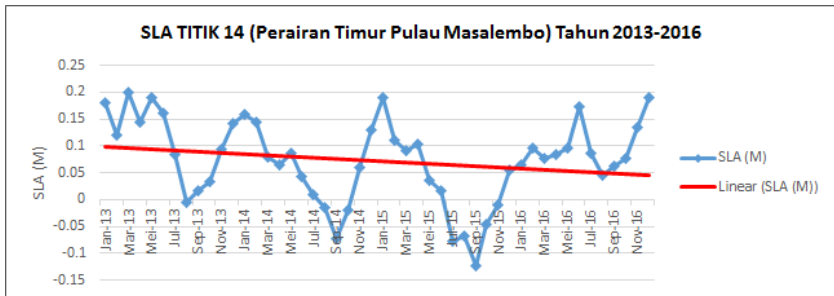
Grafik Tren SLA Titik 11 Tahun 2013-2016



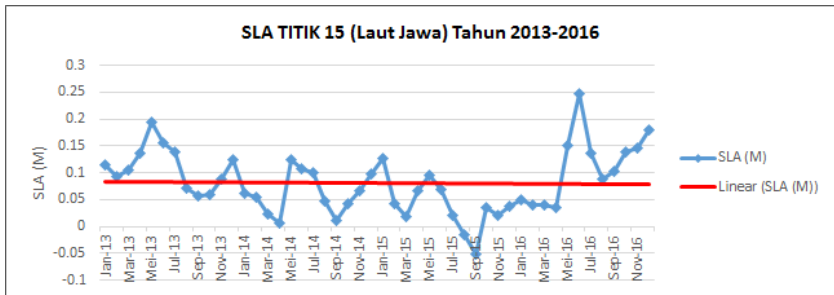
Grafik Tren SLA Titik 12 Tahun 2013-2016



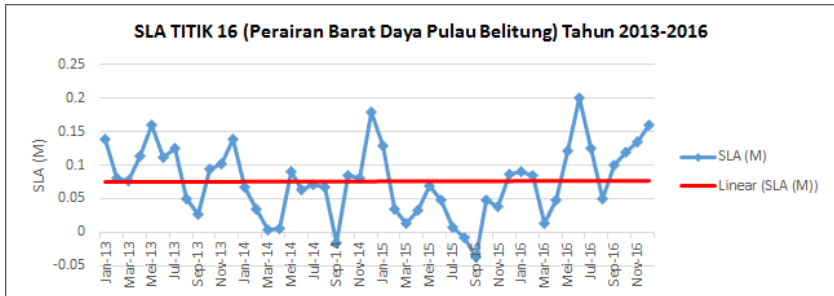
Grafik Tren SLA Titik 13 Tahun 2013-2016



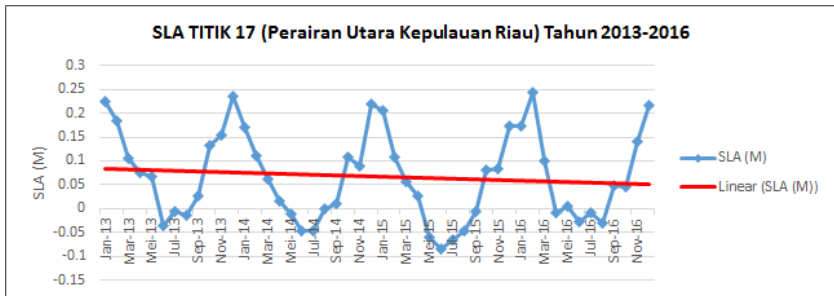
Grafik Tren SLA Titik 14 Tahun 2013-2016



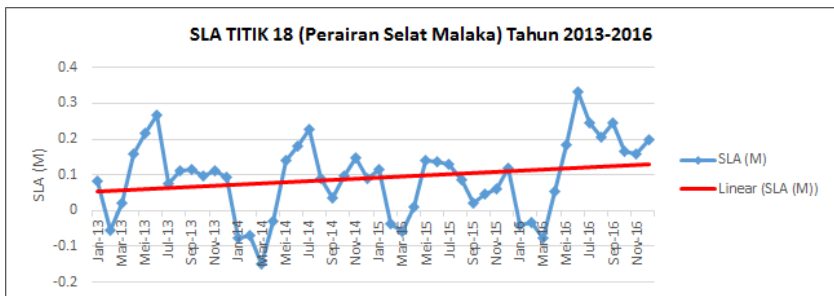
Grafik Tren SLA Titik 15 Tahun 2013-2016



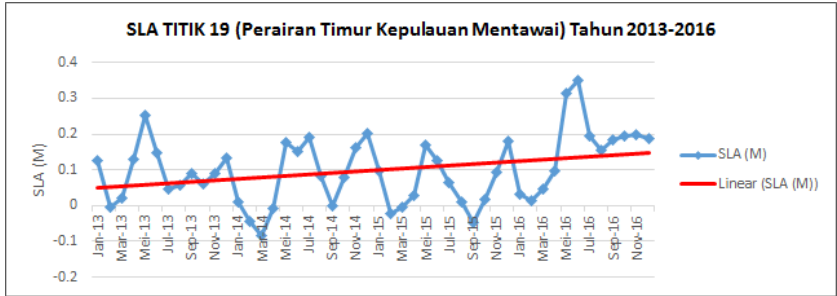
Grafik Tren SLA Titik 16 Tahun 2013-2016



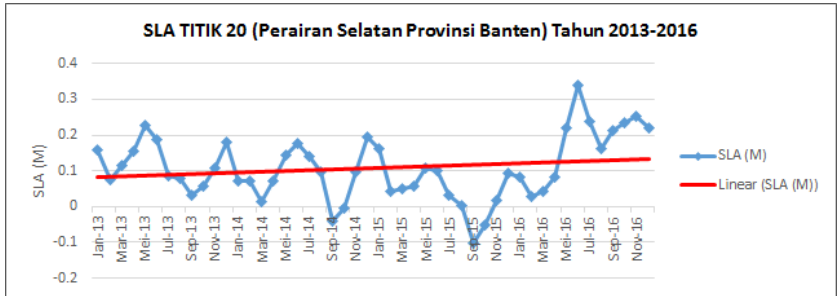
Grafik Tren SLA Titik 17 Tahun 2013-2016



Grafik Tren SLA Titik 18 Tahun 2013-2016

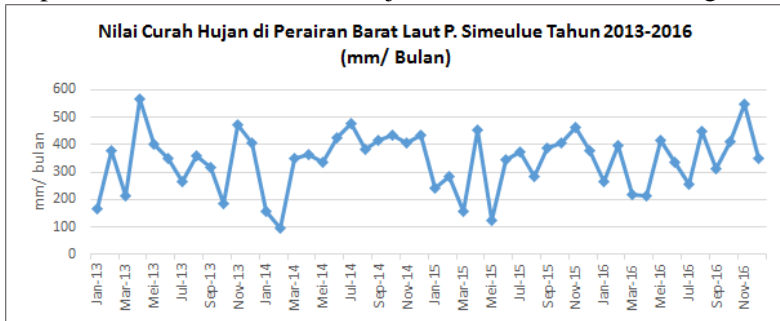


Grafik Tren SLA Titik 19 Tahun 2013-2016

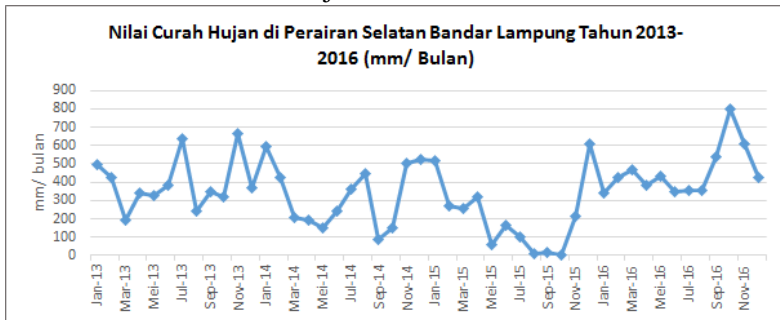


Grafik Tren SLA Titik 20 Tahun 2013-2016

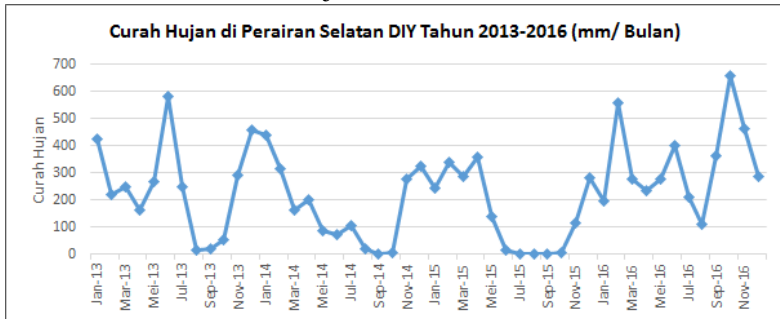
Lampiran 3 Grafik Nilai Curah Hujan Bulanan di 20 Titik Pengamatan



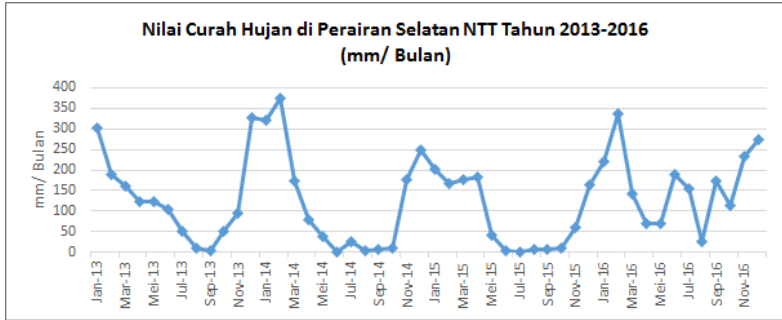
Grafik Curah Hujan Titik 1 Tahun 2013-2016



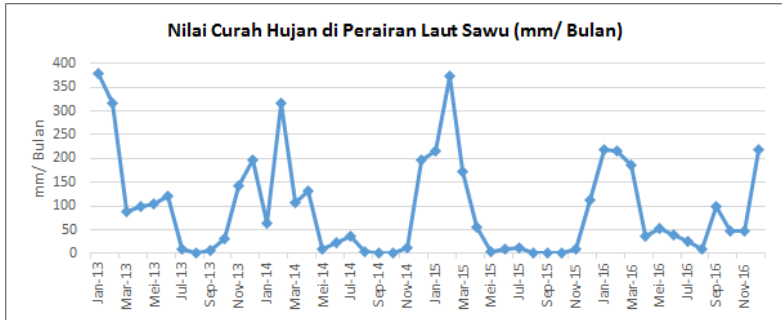
Grafik Curah Hujan Titik 2 Tahun 2013-2016



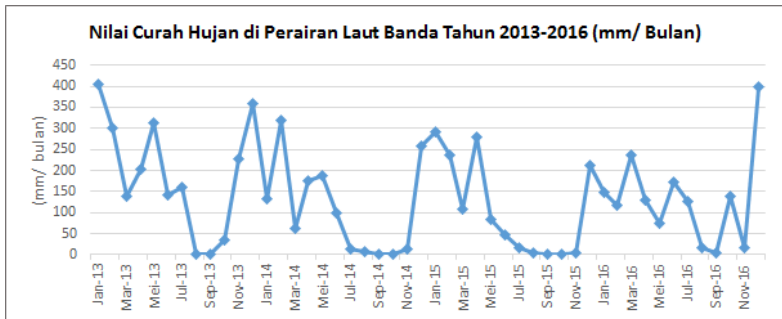
Grafik Curah Hujan Titik 3 Tahun 2013-2016



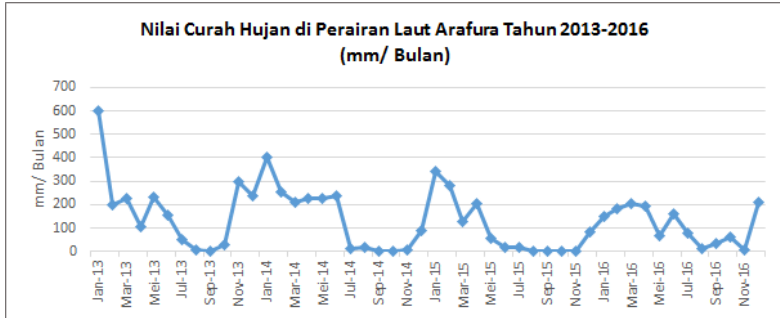
Grafik Curah Hujan Titik 4 Tahun 2013-2016



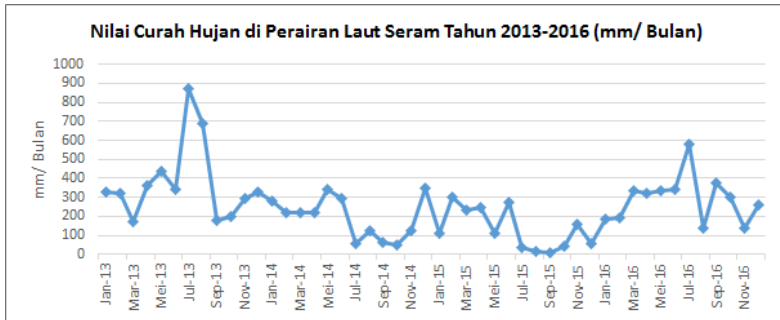
Grafik Curah Hujan Titik 5 Tahun 2013-2016



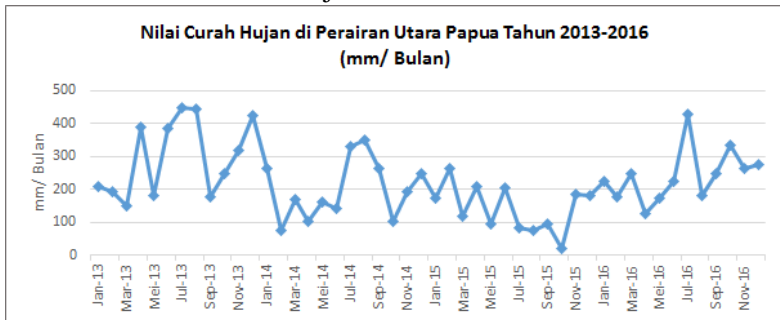
Grafik Curah Hujan Titik 6 Tahun 2013-2016



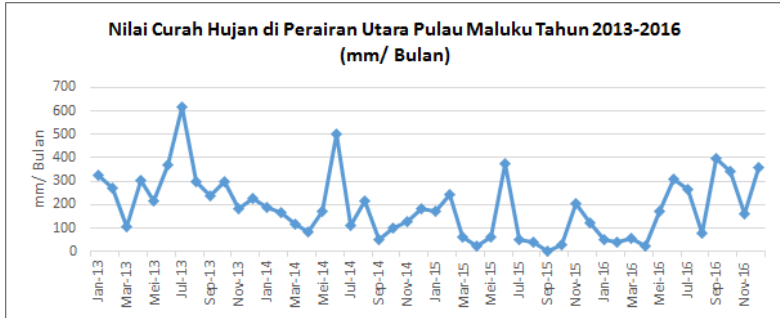
Grafik Curah Hujan Titik 7 Tahun 2013-2016



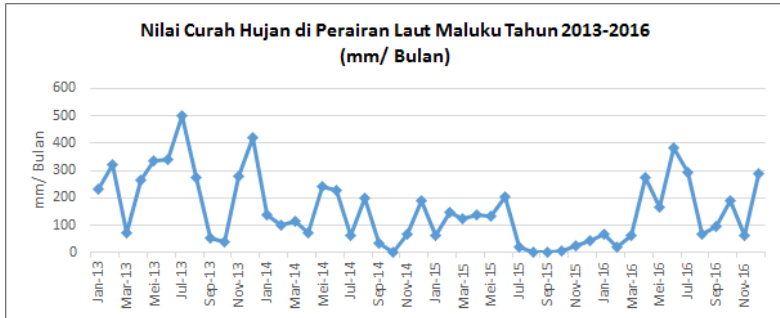
Grafik Curah Hujan Titik 8 Tahun 2013-2016



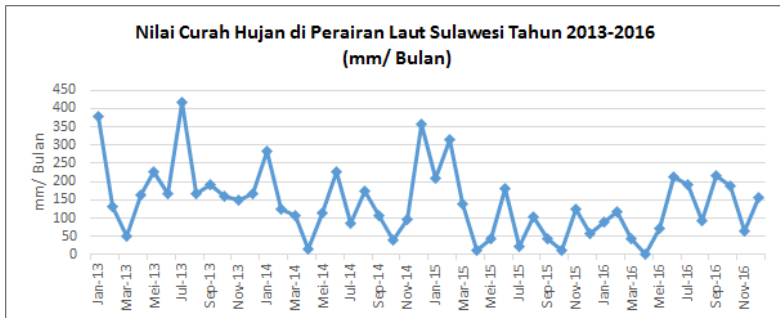
Grafik Curah Hujan Titik 9 Tahun 2013-2016



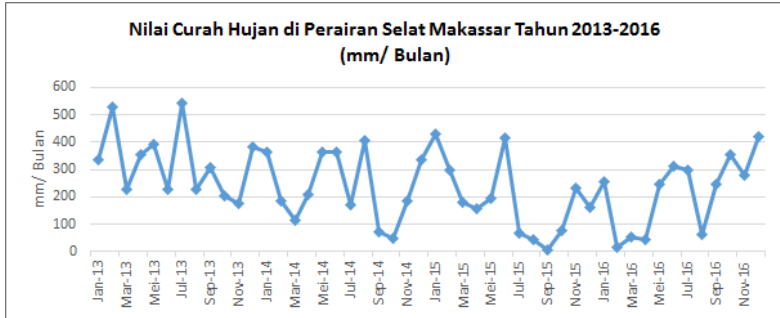
Grafik Curah Hujan Titik 10 Tahun 2013-2016



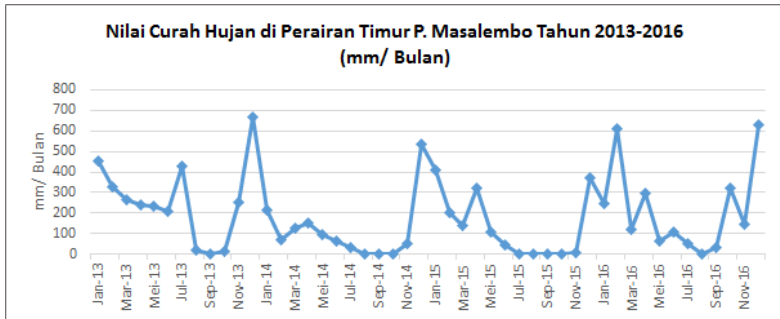
Grafik Curah Hujan Titik 11 Tahun 2013-2016



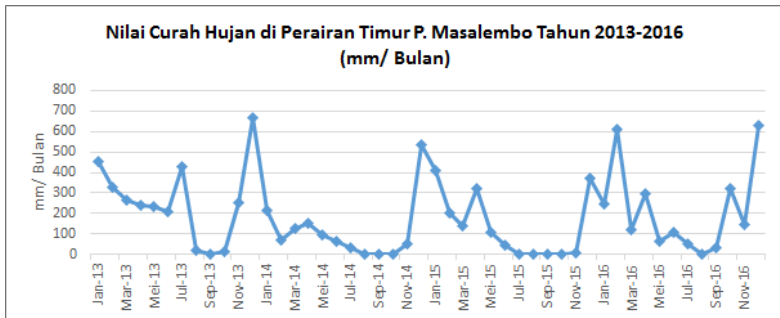
Grafik Curah Hujan Titik 12 Tahun 2013-2016



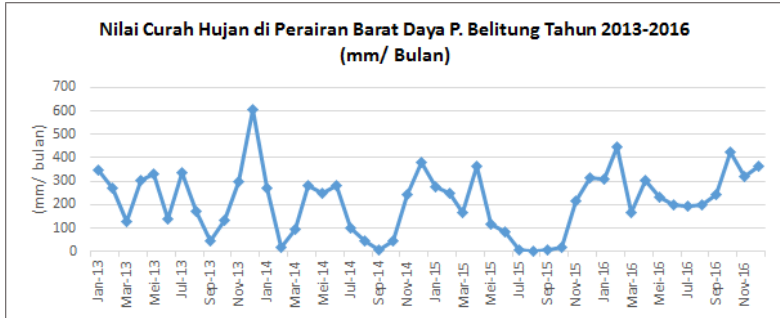
Grafik Curah Hujan Titik 13 Tahun 2013-2016



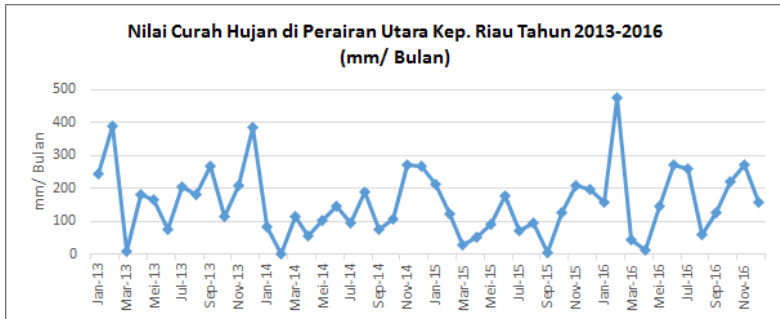
Grafik Curah Hujan Titik 14 Tahun 2013-2016



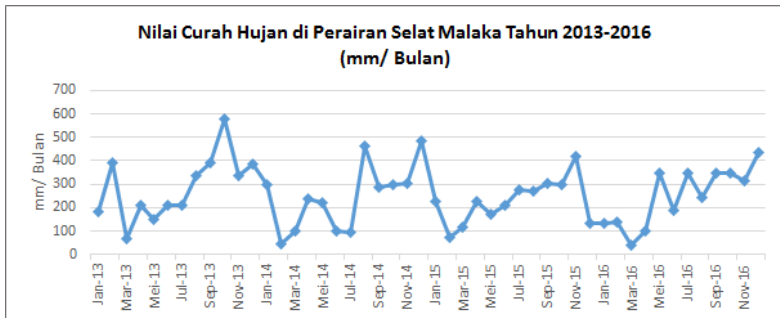
Grafik Curah Hujan Titik 15 Tahun 2013-2016



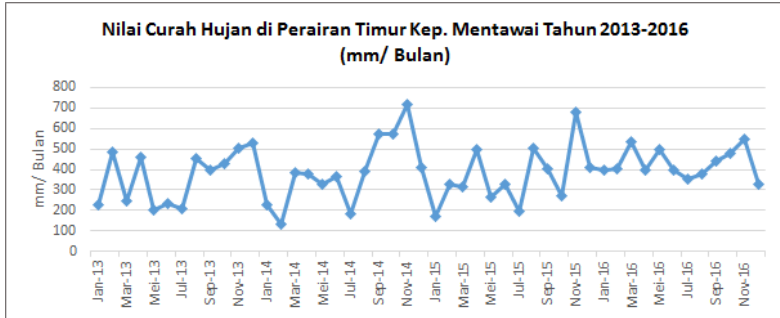
Grafik Curah Hujan Titik 16 Tahun 2013-2016



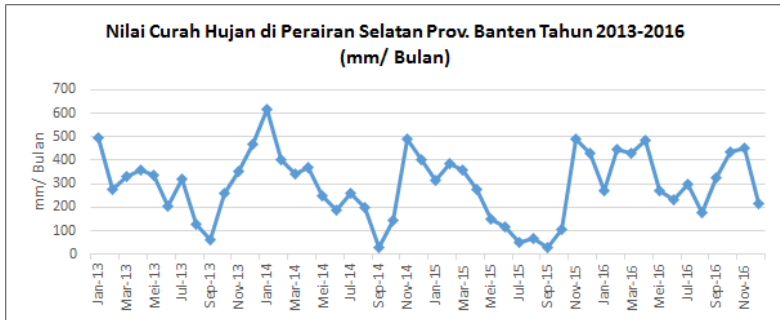
Grafik Curah Hujan Titik 17 Tahun 2013-2016



Grafik Curah Hujan Titik 18 Tahun 2013-2016



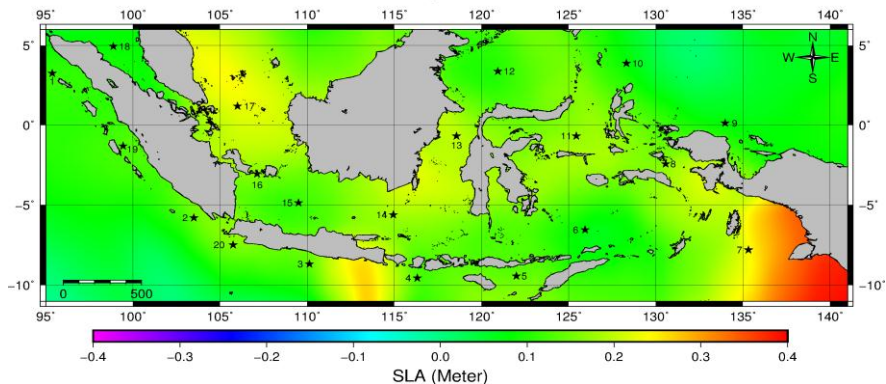
Grafik Curah Hujan Titik 19 Tahun 2013-2016



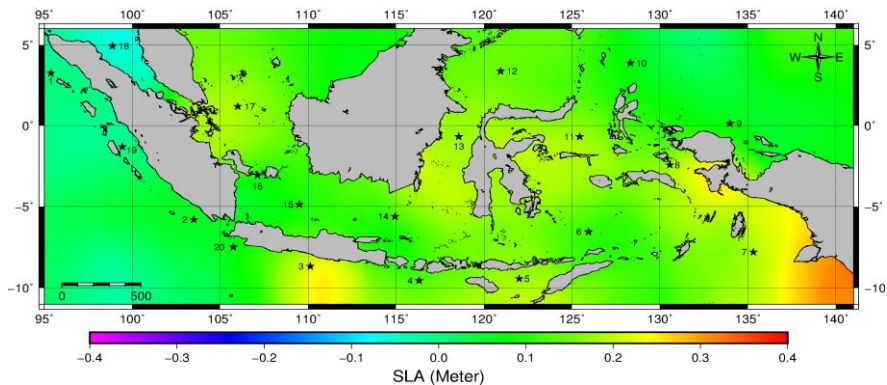
Grafik Curah Hujan Titik 20 Tahun 2013-2016

Lampiran 4 Hasil Gridding dan Interpolasi SLA di GMT

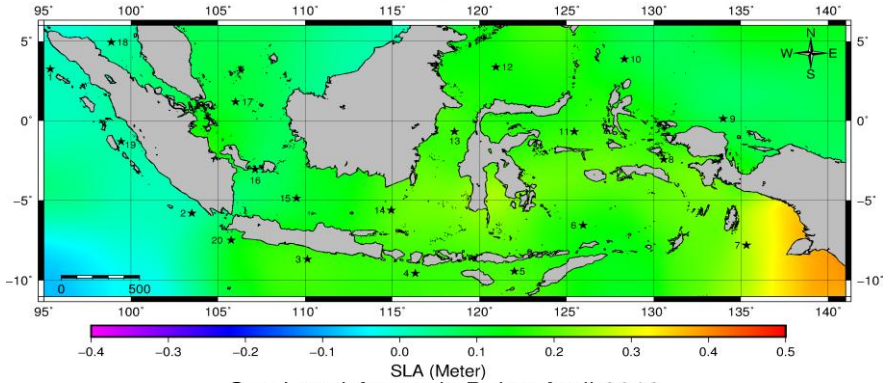
Sea Level Anomaly Bulan Januari 2013



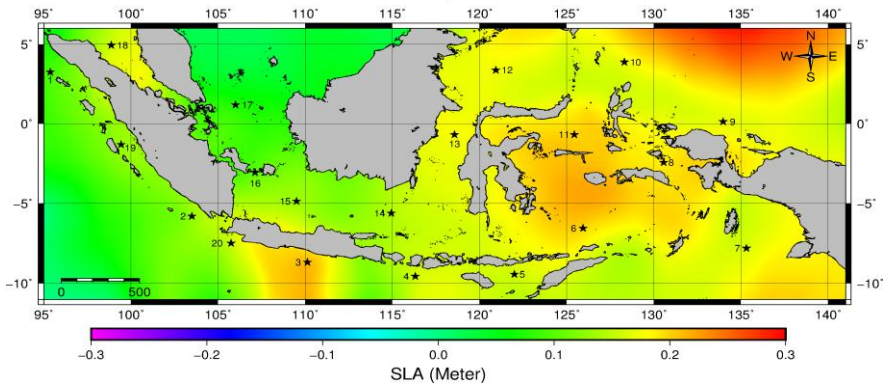
Sea Level Anomaly Bulan Februari 2013



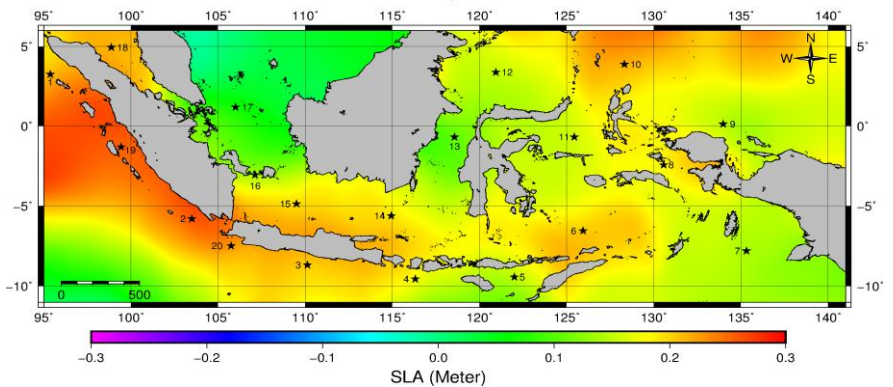
Sea Level Anomaly Bulan Maret 2013



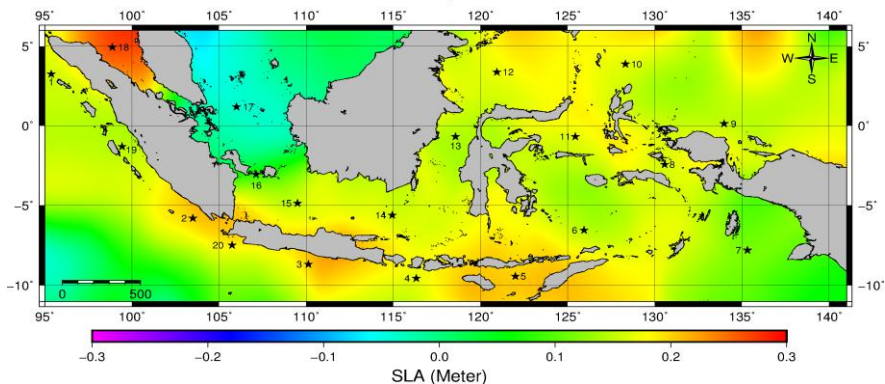
Sea Level Anomaly Bulan April 2013



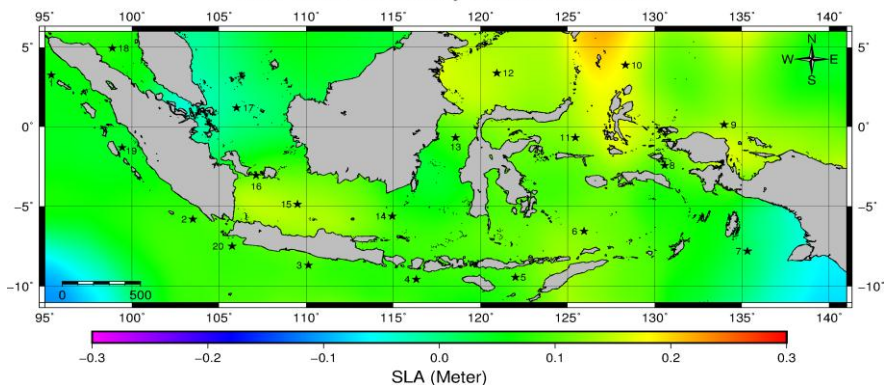
Sea Level Anomaly Bulan Mei 2013



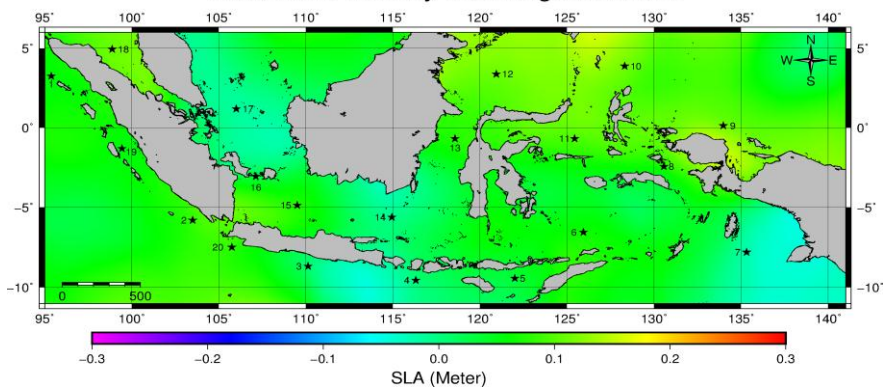
Sea Level Anomaly Bulan Juni 2013



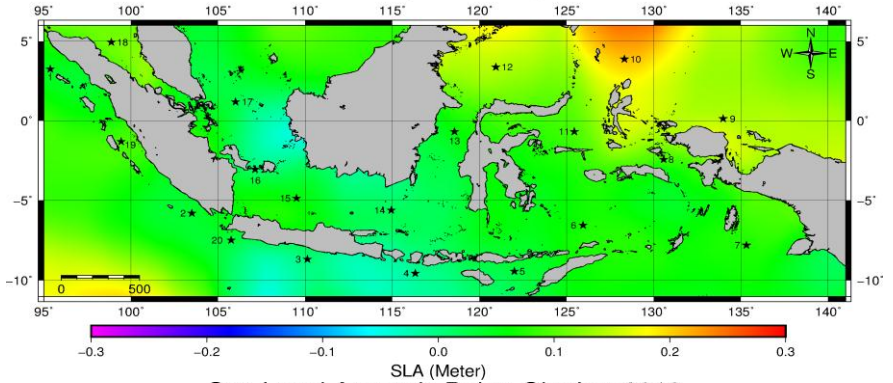
Sea Level Anomaly Bulan Juli 2013



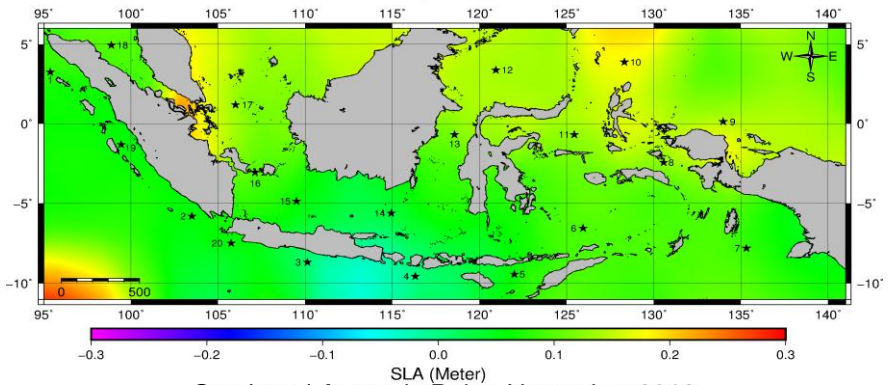
Sea Level Anomaly Bulan Agustus 2013



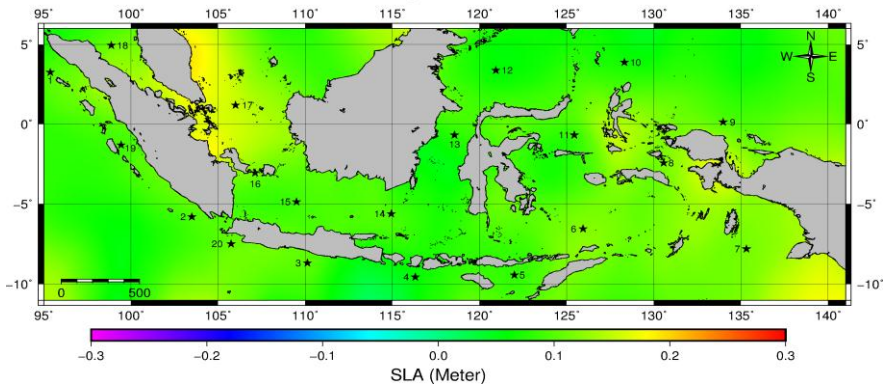
Sea Level Anomaly Bulan September 2013



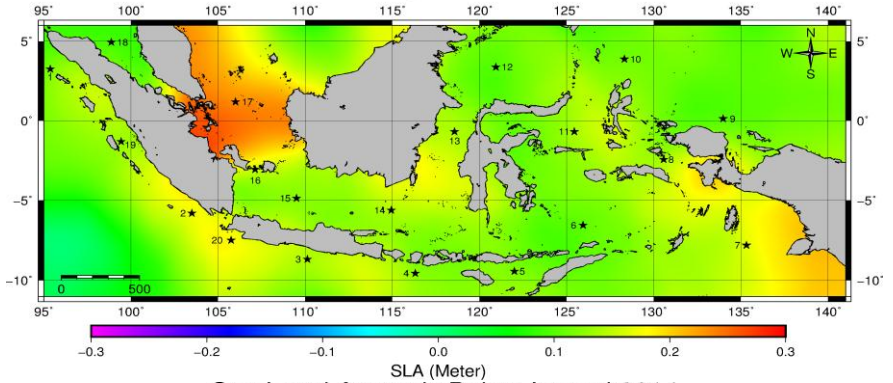
Sea Level Anomaly Bulan Oktober 2013



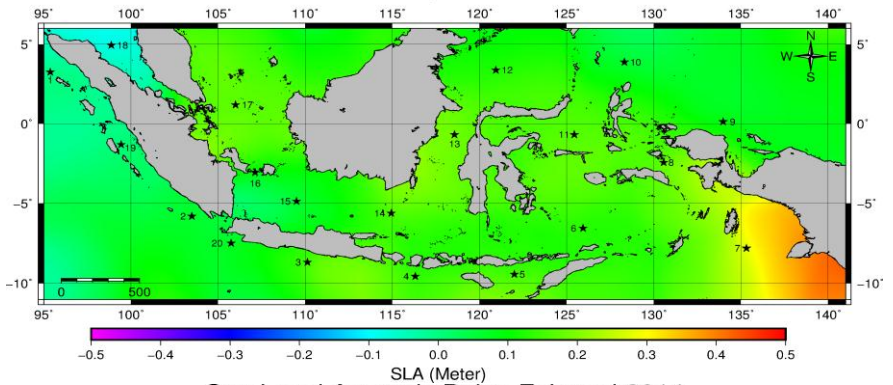
Sea Level Anomaly Bulan November 2013



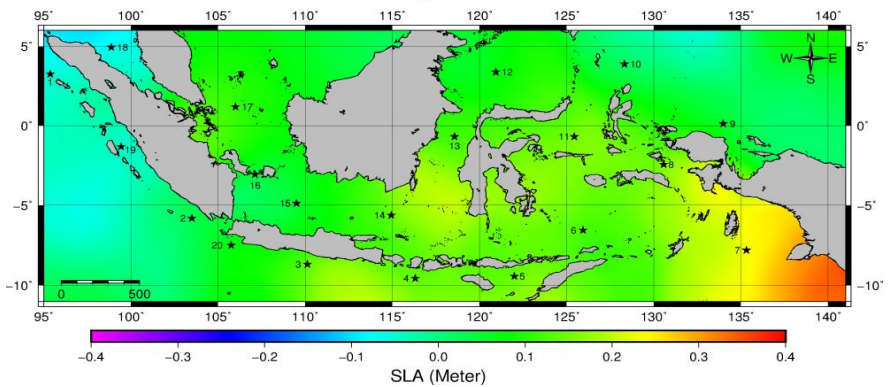
Sea Level Anomaly Bulan Desember 2013



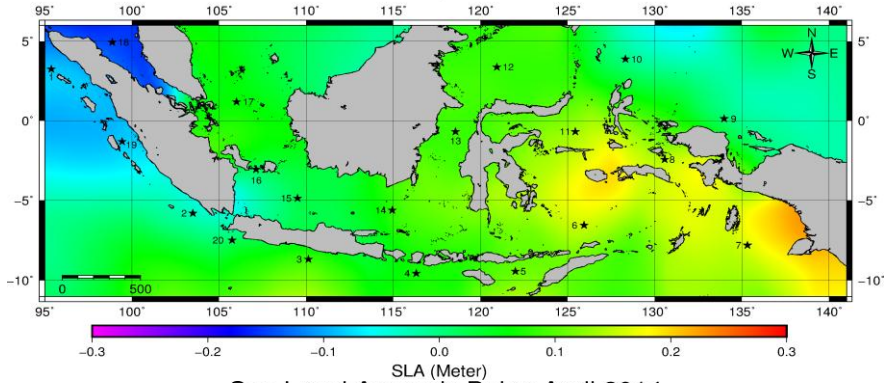
Sea Level Anomaly Bulan Januari 2014



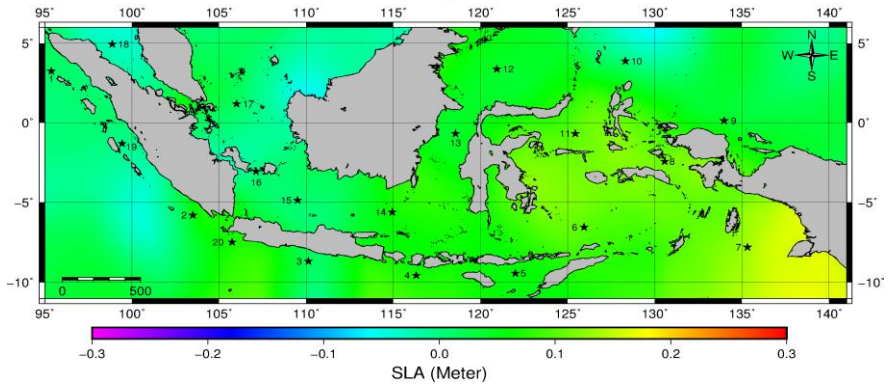
Sea Level Anomaly Bulan Februari 2014



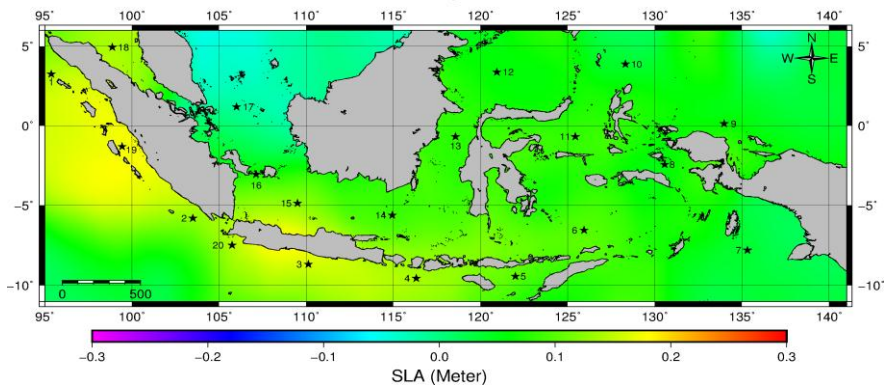
Sea Level Anomaly Bulan Maret 2014



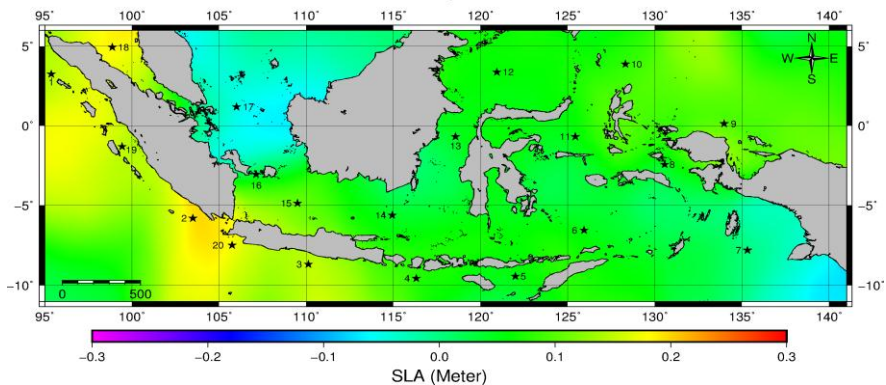
Sea Level Anomaly Bulan April 2014



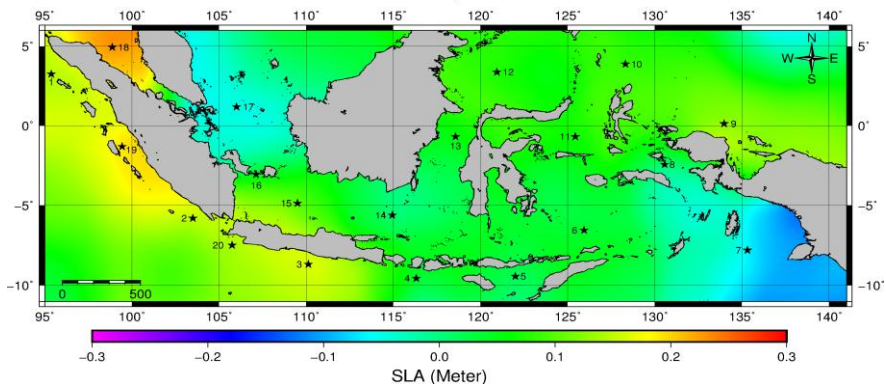
Sea Level Anomaly Bulan Mei 2014



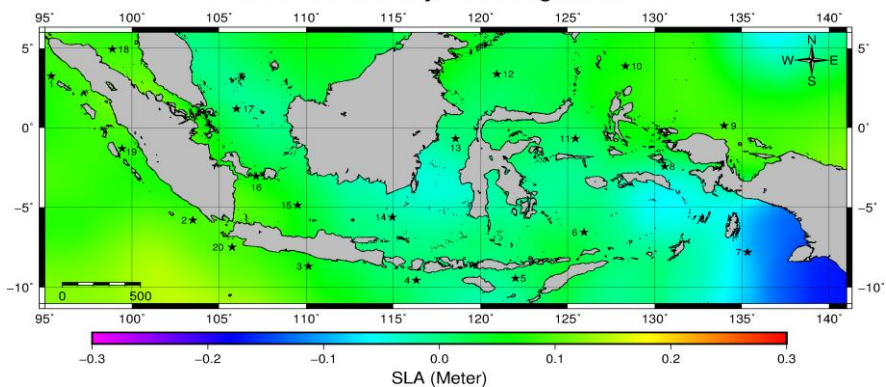
Sea Level Anomaly Bulan Juni 2014



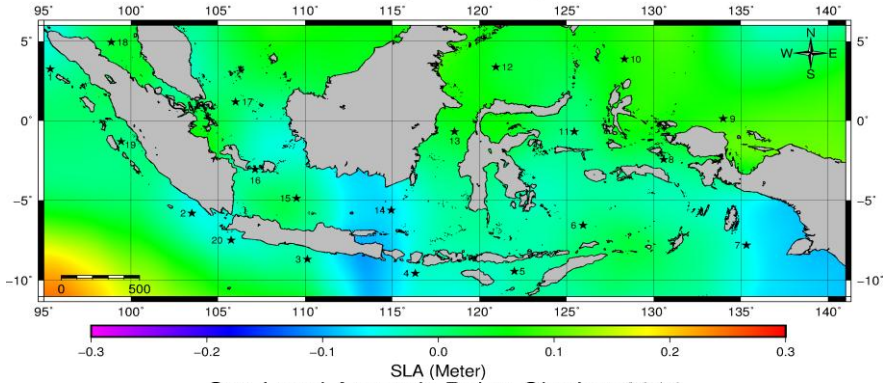
Sea Level Anomaly Bulan Juli 2014



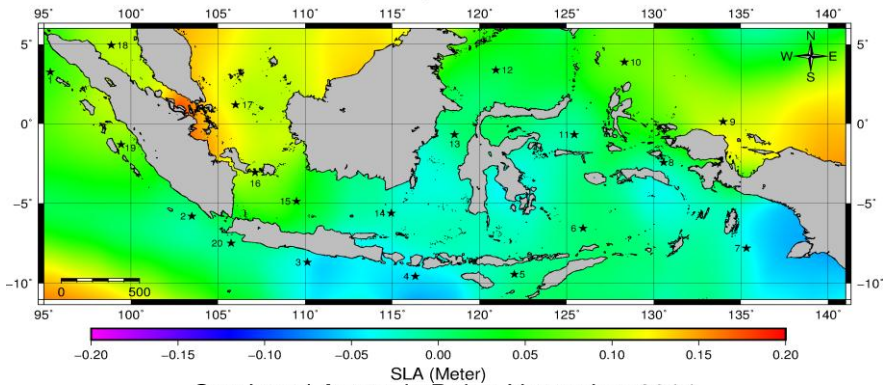
Sea Level Anomaly Bulan Agustus 2014



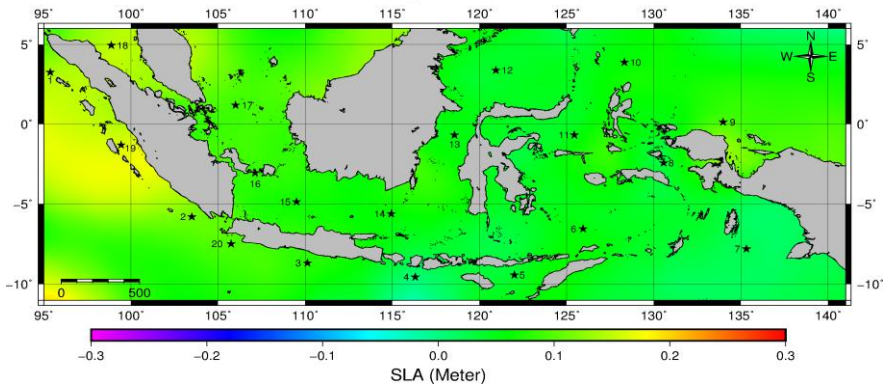
Sea Level Anomaly Bulan September 2014



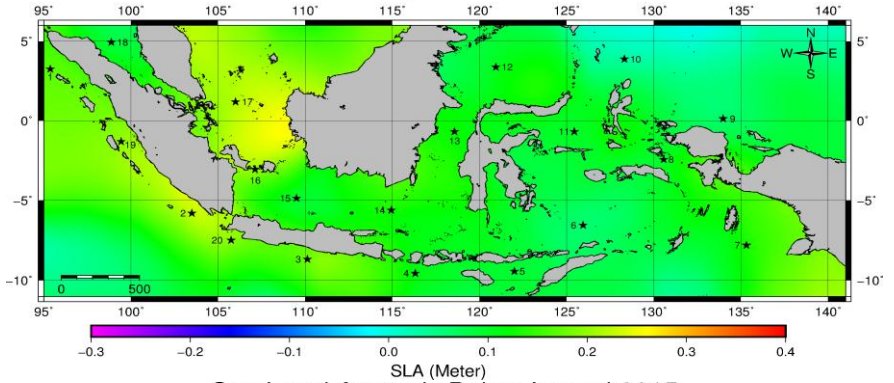
Sea Level Anomaly Bulan Oktober 2014



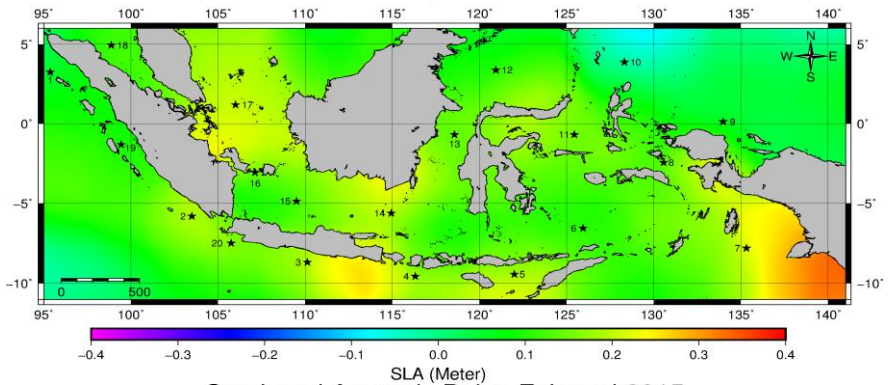
Sea Level Anomaly Bulan November 2014



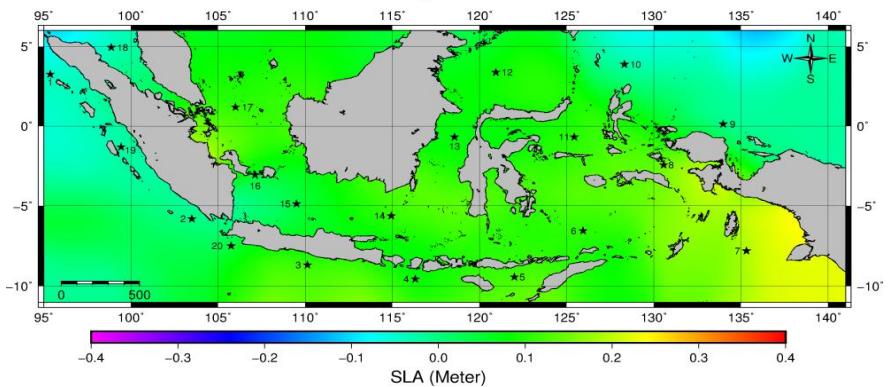
Sea Level Anomaly Bulan Desember 2014



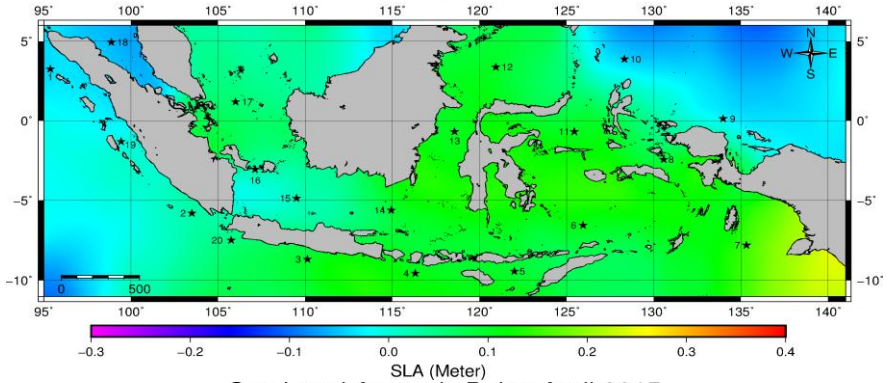
Sea Level Anomaly Bulan Januari 2015



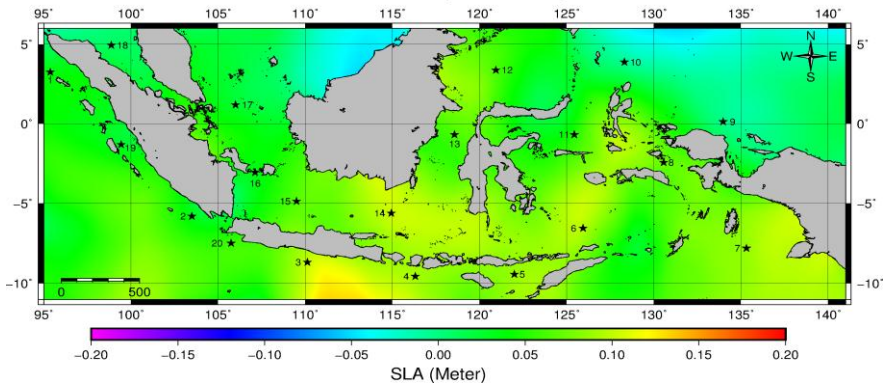
Sea Level Anomaly Bulan Februari 2015



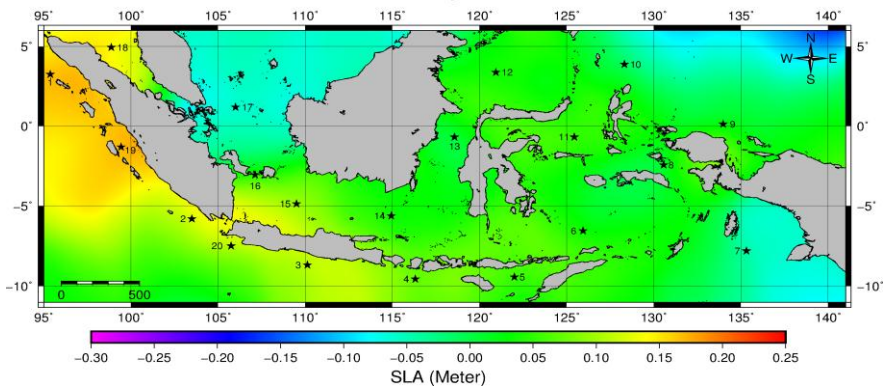
Sea Level Anomaly Bulan Maret 2015



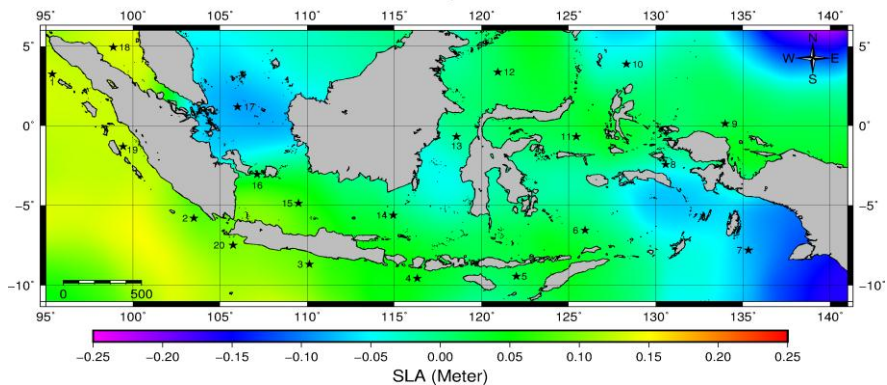
Sea Level Anomaly Bulan April 2015



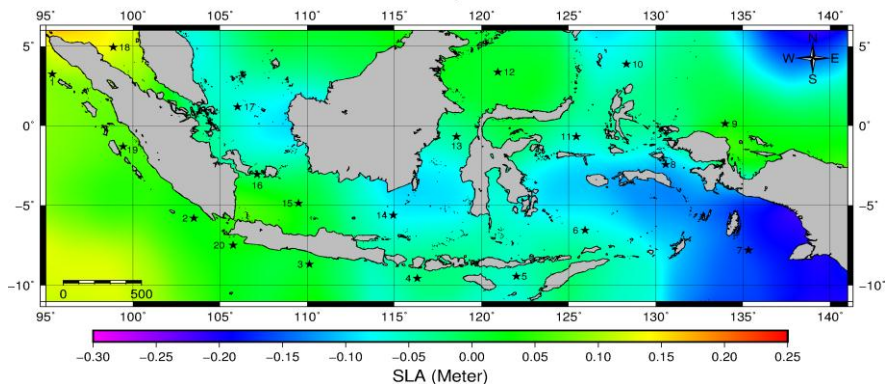
Sea Level Anomaly Bulan Mei 2015



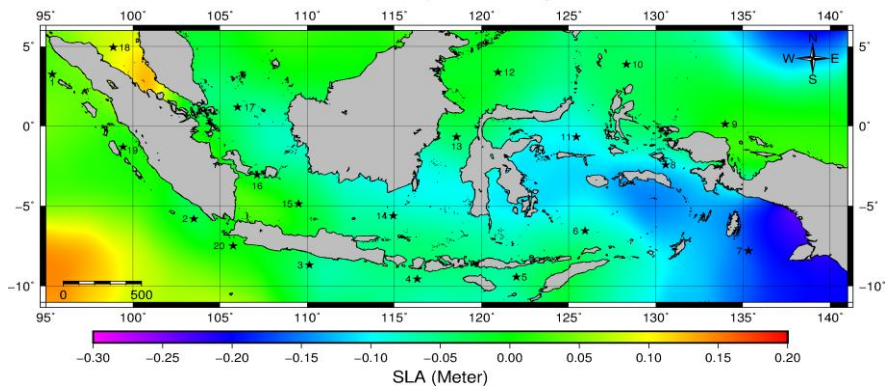
Sea Level Anomaly Bulan Juni 2015



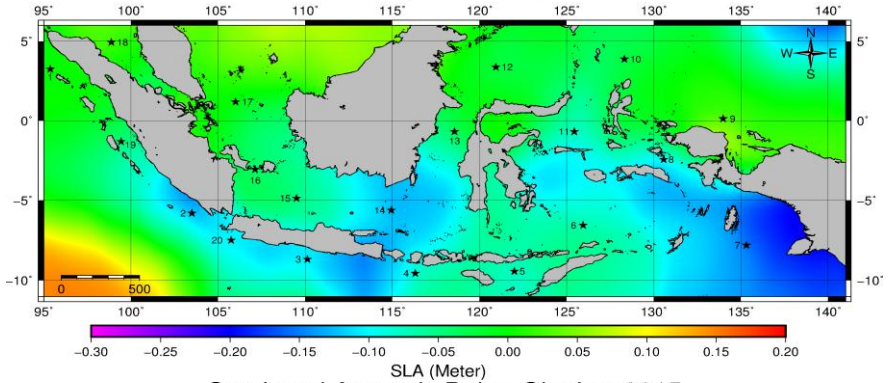
Sea Level Anomaly Bulan Juli 2015



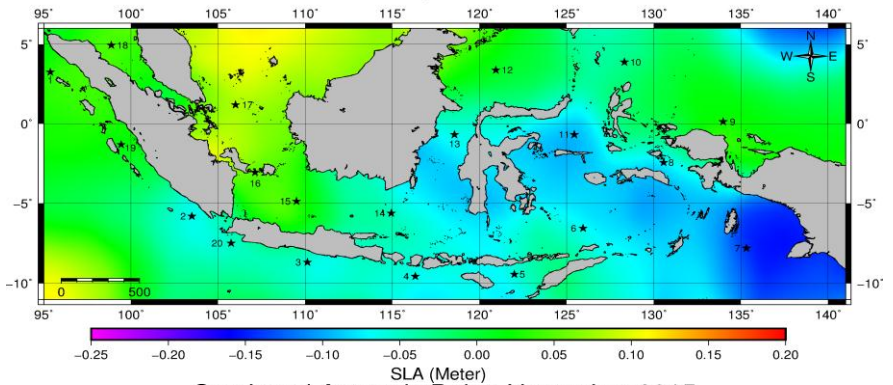
Sea Level Anomaly Bulan Agustus 2015



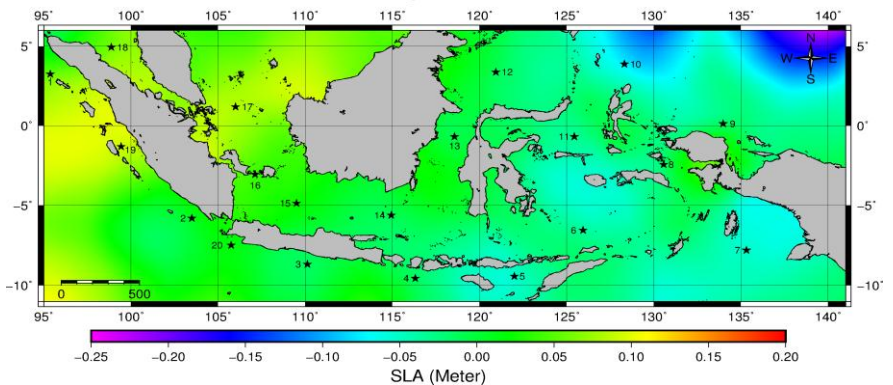
Sea Level Anomaly Bulan September 2015



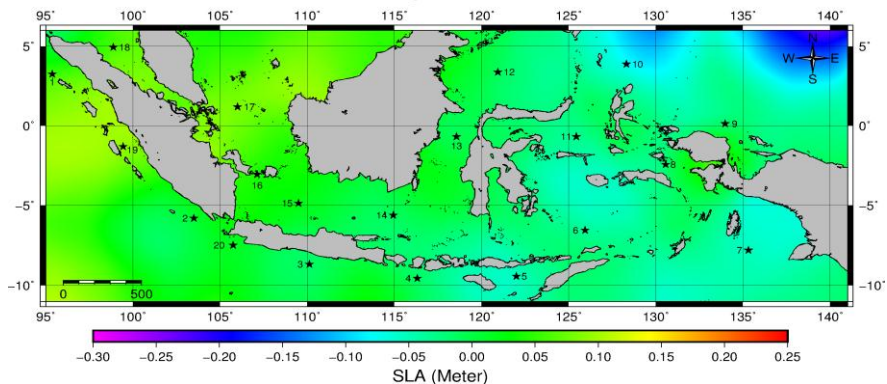
Sea Level Anomaly Bulan Oktober 2015



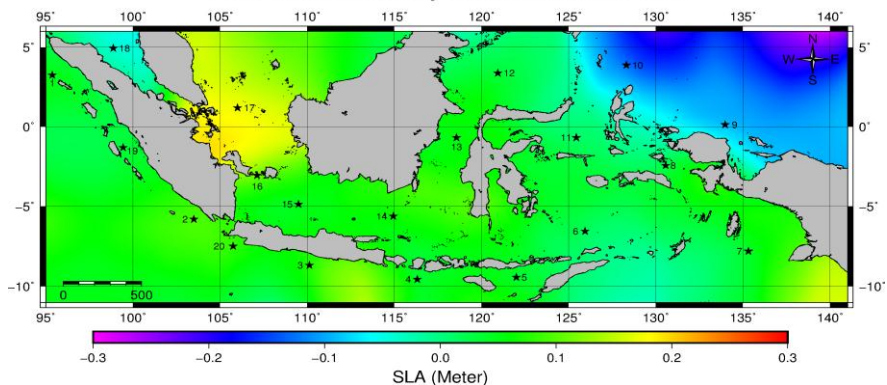
Sea Level Anomaly Bulan November 2015



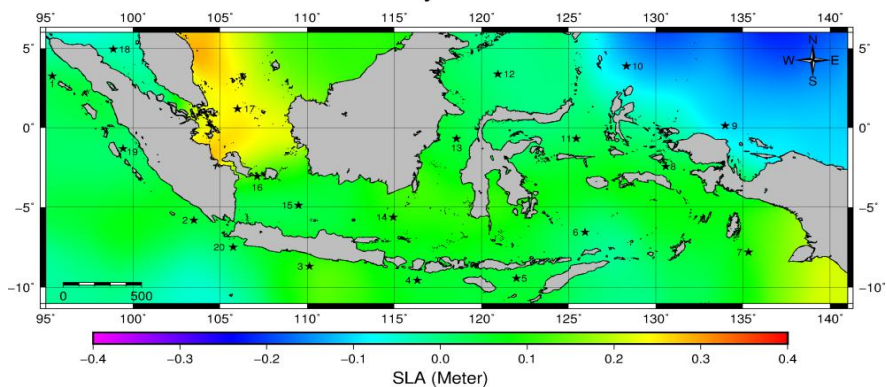
Sea Level Anomaly Bulan Desember 2015



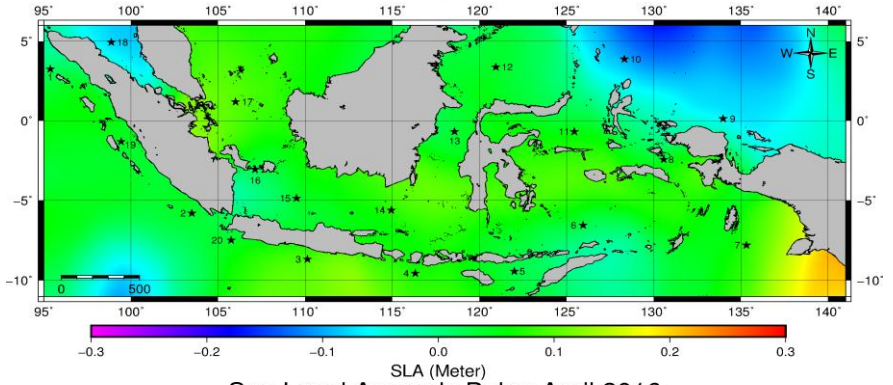
Sea Level Anomaly Bulan Januari 2016



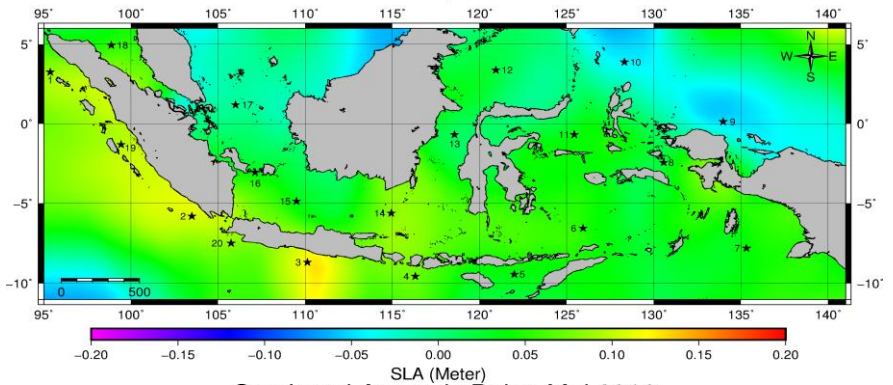
Sea Level Anomaly Bulan Februari 2016



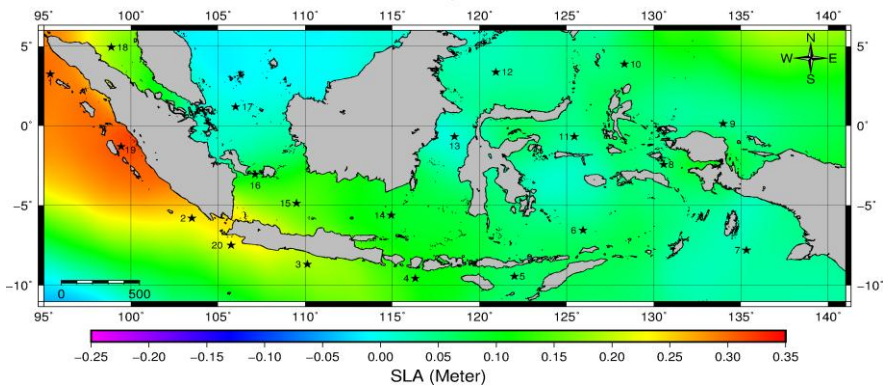
Sea Level Anomaly Bulan Maret 2016



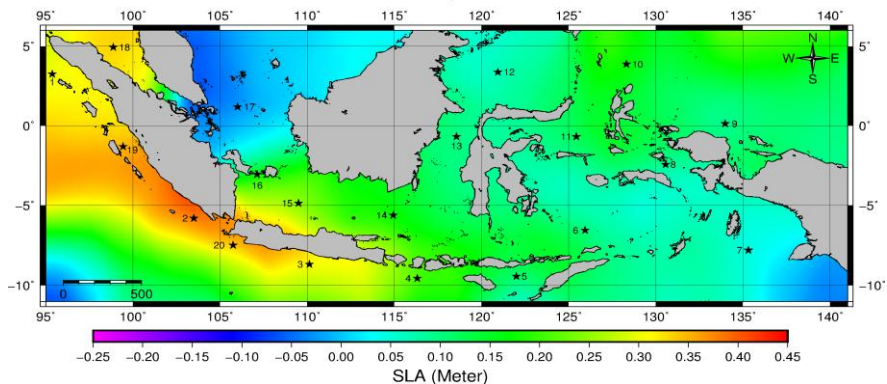
Sea Level Anomaly Bulan April 2016



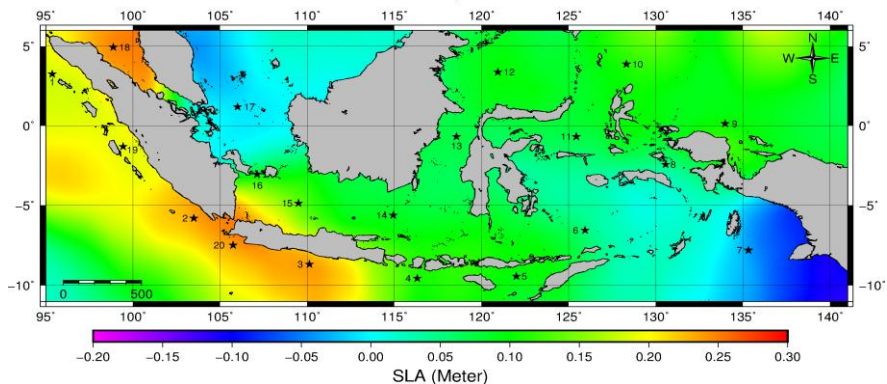
Sea Level Anomaly Bulan Mei 2016



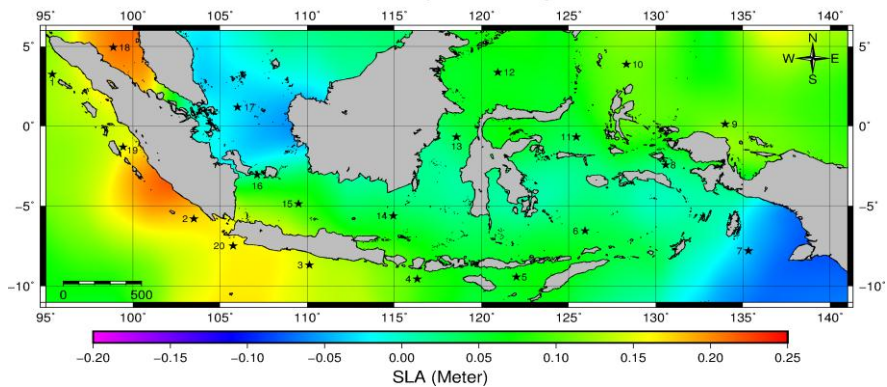
Sea Level Anomaly Bulan Juni 2016



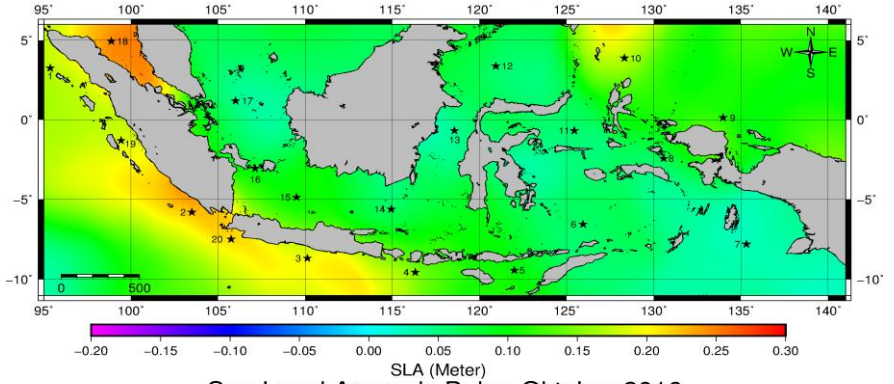
Sea Level Anomaly Bulan Juli 2016



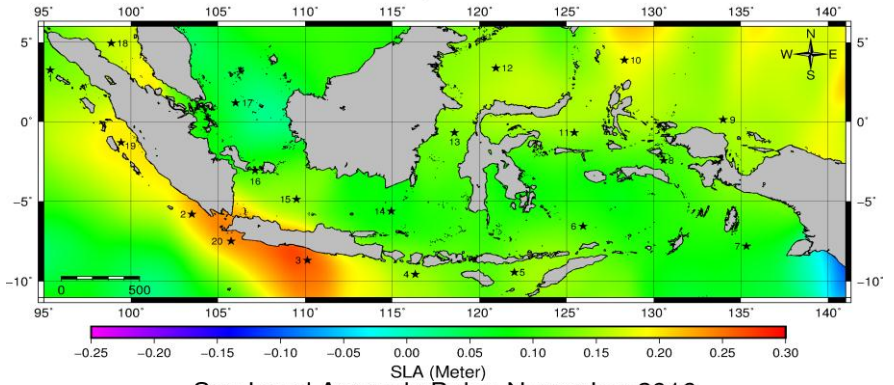
Sea Level Anomaly Bulan Agustus 2016



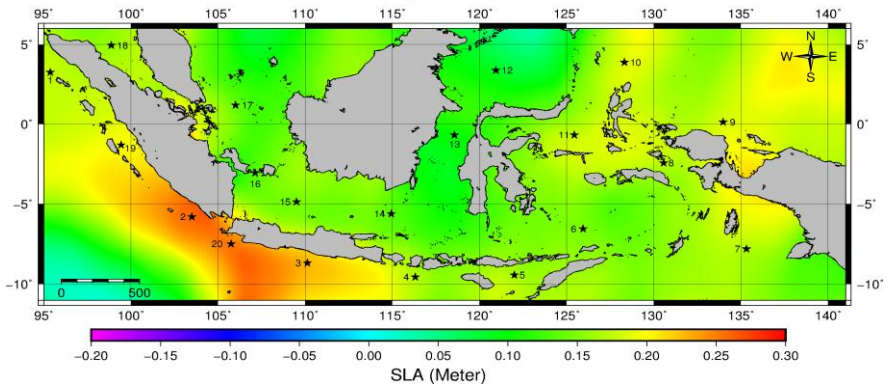
Sea Level Anomaly Bulan September 2016



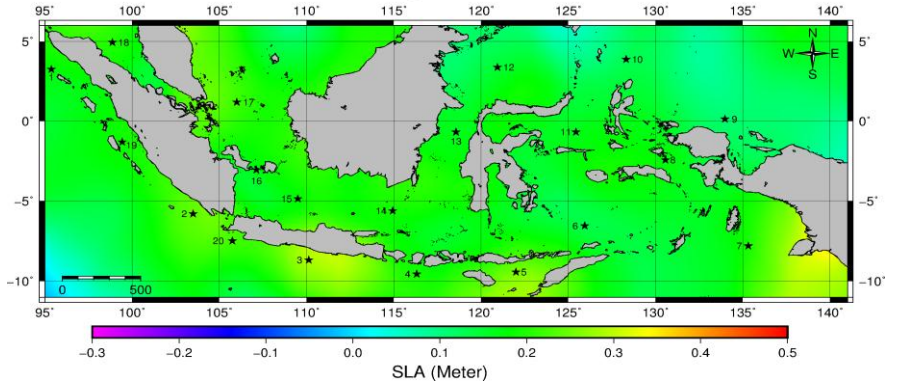
Sea Level Anomaly Bulan Oktober 2016



Sea Level Anomaly Bulan November 2016



Sea Level Anomaly Bulan Desember 2016



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bogor, 26 Februari 1995 dan merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Negeri Semplak 2 Bogor, SMP Negeri 4 Bogor, dan SMA Negeri 3 Bogor. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan pendidikan S-1 dengan mengikuti Program Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) dan diterima di Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan terdaftar dengan NRP 3513 100 051. Selama menjalani pendidikan S-1, penulis aktif di Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Paduan Suara Mahasiswa (PSM) ITS sebagai *staff* Departemen Hubungan Luar tahun 2014-2015 dan tahun 2015-2016. Selain menjalani kepengurusan di organisasi, penulis juga aktif mengikuti kepanitiaan di tingkat institut, seperti menjadi bagian dalam kepanitiaan Perayaan Natal dan Paskah Persekutuan Mahasiswa Kristen (PMK) ITS di tahun 2014-2016. Pada tahun 2015-2016 penulis pernah mendapatkan bantuan beasiswa dari Djarum Foundation melalui Program Djarum Beasiswa Plus. Dalam penyelesaian studi di Program S-1 penulis memilih bidang keahlian Geodinamika dan Lingkungan dengan Judul Tugas Akhir: *Studi Fenomena Perubahan Muka Air Laut Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-2 Periode Tahun 2013-2016 (Studi Kasus: Perairan Indonesia)*. Kontak penulis yang dapat dihubungi adalah febriantocristian@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”