



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RM 184831

**ANALISIS KENAIKAN PERMUKAAN LAUT DI
WILAYAH PESISIR LAUT JAWA DENGAN
MENGUNAKAN DATA SATELIT CRYOSAT - 2
MODE SAR LEVEL 2**

**LOLY KURNIA NAIBAHO
NRP 0331 16 40000 001**

**Dosen Pembimbing
Dr. Eko Yuli Handoko, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



TUGAS AKHIR - RM 184831

**ANALISIS KENAIKAN PERMUKAAN LAUT DI
WILAYAH PESISIR LAUT JAWA DENGAN
MENGUNAKAN DATA SATELIT CRYOSAT - 2
MODE SAR LEVEL 2**

**LOLY KURNIA NAIBAHO
NRP 0331 16 40000 001**

**Dosen Pembimbing
Dr. Eko Yuli Handoko, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



FINAL ASSIGNMENT - RM 184831

**ANALYSIS OF SEA LEVEL RISE IN JAVA
COASTAL AREA USING CRYOSAT - 2
SATELLITE MODE SAR LEVEL 2**

**LOLY KURNIA NAIBAHO
NRP 0331 16 40000 001**

**Supervisor:
Dr. Eko Yuli Handoko, S.T., M.T.**

**DEPARTEMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020**

**ANALISIS KENAIKAN PERMUKAAN LAUT DI
WILAYAH PESISIR LAUT JAWA DENGAN
MENGUNAKAN DATA SATELIT CRYOSAT – 2
MODE SAR LEVEL 2**

Nama Mahasiswa : Loly Kurnia Naibaho
NRP : 0331164000001
Departemen : Teknik Geomatika
Dosen Pembimbing : Dr. Eko Yuli Handoko, S.T., M.T.

ABSTRAK

Kenaikan permukaan air laut atau *sea level rise* akibat perubahan iklim adalah salah satu masalah serius pada saat ini. Air laut yang bersentuhan langsung dengan wilayah pesisir membuat wilayah tersebut menjadi rentan terhadap lingkungan. Salah satunya Laut Jawa di Indonesia dengan cakupan yang cukup luas akan memberi banyak dampak di wilayah pesisir Pulau Jawa bila adanya kenaikan permukaan laut. Untuk pengamatan tersebut dilakukan perhitungan *sea level anomaly* (SLA) agar membantu dalam memberi pemahaman permukaan laut serta perubahannya dari waktu ke waktu. Perhitungan SLA menggunakan data dari Satelit Cryosat-2. Cryosat-2 adalah satelit altimetri yang dirancang untuk misi pengamatan lapisan es dan oseanografi yang baik di laut. Serta satelit yang memiliki muatan utama SIRAL (*SAR Interferometer Radar Altimetri*) dan tingkat akurasi yang sangat baik walaupun tidak memiliki *microwave radiometer*. Dari penelitian ini diharapkan mengetahui *sea level variability* permukaan Laut Jawa dari tahun 2011 sampai dengan 2019. Didapatkan berdasarkan regresi linier tren SLA Cryosat-2, Laut Jawa mengalami penurunan sebesar 28,4235 mm dengan laju -3,55 mm/tahun. Hal ini disebabkan oleh fenomena *El-Niño Southern Oscillation* (ENSO). Hasil perhitungan koefisien korelasi dari *detrended sea level anomaly* (SLA) dan *Multivariate ENSO Index* (MEI) adalah -0,6451 yang menandakan korelasi antara keduanya

memiliki hubungan cukup namun tidak searah. Semakin tinggi index MEI maka nilai SLA akan semakin rendah di Laut Jawa, begitupun sebaliknya.

Kata Kunci — kenaikan permukaan laut, *SLA*, *Cryosat-2*, ENSO, MEI.

**ANALYSIS OF SEA LEVEL RISE
IN JAVA COASTAL AREA USING CRYOSAT – 2
SATELLITE MODE SAR LEVEL 2**

Student Name : Loly Kurnia Naibaho
NRP : 0331164000001
Departement : Geomatics Engineering
Supervisor : Dr. Eko Yuli Handoko, S.T.,M.T.

ABSTRACT

Sea level rise due to climate change is one of the serious problems at this time. Sea water that is in direct contact with the coastal area makes the region vulnerable to the environment. One of them is the Java Sea in Indonesia with a fairly broad scope that will have a lot of impact on the coast of Java if there is an increase in sea level. For these observations a sea level anomaly (SLA) is calculated to help in understanding sea level and its changes over time. SLA calculations use data from Cryosat-2 Satellite. Cryosat-2 is an altimetry satellite that is designed for good sea ice and oceanography observation missions. As well as satellites that have the main payload SIRAL (SAR Interferometer Radar Altimetry) and a very good level of accuracy even though it does not have a microwave radiometer. From this research, it is expected to know the sea level variability of the Java Sea surface from 2011 to 2019. Obtained based on linear regression of the Cryosat-2 SLA trend, the Java Sea has decreased by 28.4235 mm at a rate of -3.55 mm / year. This is caused by the phenomenon of El-Niño Southern Oscillation (ENSO). The results of the calculation of the correlation coefficient of the detrended sea level anomaly (SLA) and the Multivariate ENSO Index (MEI) are -0,6451 , which indicates the correlation between the two has a sufficient but not unidirectional relationship. The higher the MEI index, the lower the SLA value will be in the Java Sea, and vice versa.

Keywords — sea level rise, *SLA*, *Cryosat-2*, ENSO, MEI.

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KENAIKAN PERMUKAAN LAUT DI WILAYAH PESISIR LAUT JAWA DENGAN MENGUNAKAN DATA SATELIT CRYOSAT – 2 MODE SAR LEVEL 2

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

LOLY KURNIA NAIBAHO

NRP. 0331164000001

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Dr. Eko Yuli Handoko, S.T. M.T.

NIP. 19740727 20003 1 001



SURABAYA, 4 AGUSTUS 2020

“ Halaman ini sengaja dikosongkan.”

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan syukur kepada Allah SWT, karena atas berkah, rahmat, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Kenaikan Permukaan Laut Di Wilayah Pesisir Laut Jawa dengan Menggunakan Data Satelit Cryosat – 2 Mode SAR Level 2**” dapat terselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan laporan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak – pihak yang telah mendampingi dan membantu proses terselesaikannya laporan ini, khususnya kepada:

1. Kedua orang tua, ayahanda Berlin Naibaho dan ibunda Pudji Astuti yang telah senantiasa memberi dukungan baik moril maupun materil serta doa.
2. Para dosen di Departemen Teknik Geomatika ITS yang telah membekali penulis dengan ilmu yang bermanfaat selama masa perkuliahan.
3. Dr. Eko Yuli Handoko, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis yang telah memberi bimbingan, ajaran, dan ilmu-ilmu baru.
4. Hepi Hapsari Handayani, ST, M.Sc, Ph.D selaku dosen koordinator Tugas Akhir yang telah bersedia meluangkan waktu dan perhatian terhadap mahasiswa.
5. Laboran dan rekan-rekan sepembimbingan di Lab.*Geodesy & Surveying* yang membantu lancarnya pelaksanaan tugas akhir baik di laboratorium maupun di tempat lain.
6. Teman-teman Teknik Geomatika ITS angkatan 2016 (G18), PSDM 2017/2018, dan PSDM 2019 yang telah belajar bersama dari tahun pertama dan selalu memberikan dukungan, semangat dan masukan-masukan yang membangun.

7. Sahabat yang selalu memberi semangat dan dukungan dikala susah dan senang, yaitu Rizka Amalia, Agnes Olivia Laurenz E.Uda , Norma Aji Cemara M., Fransiska Widiastuti, dan Toifatul Ulma.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu yang telah membantu dalam penyelesaian penulisan laporan tugas akhir ini.

Harapan penulis adalah hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan dapat menjadi bagian dari kontribusi dalam perkembangan dan kemajuan ilmu Geodesi dan pengamatan altimetri di Indonesia. Apabila di kemudian hari ditemukan kesalahan, baik dalam teknis penulisan maupun materi yang disampaikan, penulis sangat terbuka untuk menerima kritik dan saran yang membangun.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih atas segala kesempatan yang telah diberikan.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
HALAMAN PENGESAHAN	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Kenaikan Permukaan Laut.....	5
2.1.1. Faktor Penyebab Kenaikan Permukaan Laut	5
2.2. Satelit Altimetri	6
2.2.1 Prinsip Radar Altimetri	7
2.3. Cryosat – 2	11
2.3.1. Instrumen SIRAL (SAR Interferometric Radar Altimeter).....	13
2.3.2. Karakteristik dan Orbit Cryosat – 2	16
2.4. El Niño-Southern Oscillation (ENSO)	17
2.4.1. El – Niño.....	18
2.4.2. La – Niña	19
2.5. Multivariate ENSO Index (MEI)	20
2.6. Koefisien Korelasi	22
2.7. Regresi Linier Sederhana	24
2.8. Metode Dekomposisi <i>Time Series</i> : STL.....	24
2.9. Penelitian Terdahulu	26
BAB III METODOLOGI.....	27
3.1. Lokasi Penelitian	27
3.2. Data dan Peralatan.....	28

3.2.1	Data.....	28
3.2.2	Peralatan.....	28
3.3	Tahapan Penelitian.....	29
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1	Pengecekan Data Cryosat – 2.....	35
4.2	Koreksi Data dan Kontrol Kualitas Data.....	35
4.3	Perhitungan SLA.....	37
4.4	Perhitungan Rata-Rata SLA.....	38
4.5	Time Series Decomposition dan Pengolahan Tren.....	41
4.6	Penghitungan Tren Linier.....	43
4.7	Perhitungan Nilai Koefisien Korelasi.....	45
4.8	Data Gridding.....	49
4.9	Analisis.....	52
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
5.1.	Kesimpulan.....	55
5.2.	Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....		57
LAMPIRAN.....		62
BIODATA PENULIS.....		78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Antropogenik, Ekspansi Termal, dan Pengaruh Atmosfer pada Kenaikan Permukaan Laut.....	6
Gambar 2.2 Prinsip Radar Altimetri	8
Gambar 2.3 Prinsip Dasar Satelit Altimetri	9
Gambar 2.4 Representasi Pengukuran dalam Mode SAR.....	14
Gambar 2.5 Mode SARin	15
Gambar 2.6 Zona Penampang Geografis untuk LRM, SAR, dan SIN Cryosat – 2	16
Gambar 2.7 Ilustrasi Orbit Cryosat – 2 dengan Inklinasi 92°	17
Gambar 2.8 Fenomena El-Nino	18
Gambar 2.9 Fenomena La-Nina.....	20
Gambar 2.10 Grafik MEI.....	22
Gambar 2.11 Contoh Dekomposisi Metode STL.....	25
Gambar 3.1 Lintasan Satelit Cryosat – 2 Cycle 3 pada Lokasi Penelitian.....	27
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Penelitian	29
Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data	31
Gambar 4.1 <i>Script</i> Perhitungan SLA pada Matlab 2017b.....	37
Gambar 4.2 <i>Script</i> Perhitungan Rata – Rata SLA pada Matlab 2017b	39
Gambar 4.3 Grafik SLA Rata-Rata Cryosat-2	41
Gambar 4.4 <i>Script</i> Time Series Decomposition dan Pengolahan Tren	42
Gambar 4.5 Hasil Dekomposisi Data Cryosat – 2	42
Gambar 4.6 Grafik Regresi Linier Tren SLA Rata-Rata Cryosat-2	44
Gambar 4.7 (a) Grafik Tren Linier 2011-2015 (b) Grafik Tren Linier 2016-2019.....	45
Gambar 4.8 Grafik Korelasi <i>Detrended</i> SLA Cryosat-2 dengan MEI	46
Gambar 4.9 Grafik SLA <i>Bi-Monthly</i> dengan <i>Multivariate</i> ENSO <i>Index</i> (MEI).....	47

Gambar 4.10 <i>Sea Level Anomaly</i> di Laut Jawa (a) Tahun 2011 (b) Tahun 2015.	49
Gambar 4.11 <i>Grid Data SLA Cryosat – 2</i> pada daerah Pengamatan	50
Gambar 4.12 Nilai pada <i>Grid Data SLA Cryosat – 2</i>	50
Gambar 4.13 Tren <i>SLA Cryosat – 2</i> (2011-2019)	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Cryosat – 2	11
Tabel 2.3 <i>Multivariate ENSO Index</i> (MEI)	21
Tabel 2.4 Interpretasi Kekuatan Korelasi	23
Tabel 3.1 Model Parameter Cryosat-2	32
Tabel 4.1 Kontrol Kualitas Data	35
Tabel 4.2 Hasil Penerapan Koreksi Data	36
Tabel 4.3 Hasil <i>Cycle</i> SLA Cryosat – 2	38
Tabel 4.4 Hasil Setiap Sub- <i>Cycle</i> SLA Cryosat – 2	38
Tabel 4.5 SLA Rata-Rata Per- <i>Cycle</i> Cryosat-2	39
Tabel 4.6 SLA Rata – Rata Sub- <i>cycle</i> Cryosat – 2	40
Tabel 4.7 SLA Rata-Rata <i>Bi-Monthly</i> Cryosat-2	40
Tabel 4.8 Data Dekomposisi Cryosat – 2	43
Tabel 4.9 Nilai Tren <i>Grid Data</i>	51

“ Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BABI PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Laporan dari *Intergovernmental Panel on Climate* (IPCC) memperkirakan bahwa pada kurun waktu 100 tahun terhitung mulai tahun 2000 permukaan air laut akan meningkat setinggi 15 – 90 cm dan bila diproyeksi menunjukkan wilayah Indonesia mengalami kehilangan daratan – daratan akibat kenaikan muka air laut (IPCC 1994).

Kenaikan permukaan laut merupakan juga masalah yang berdampak pada terjadinya masalah alam dan berdampak pada kehidupan ekonomi penduduk di sekitar pantai (Karondia, Handoko dan Hapsari 2019). ENSO atau *El-Niño Southern Oscillation* dapat menjadi representasi dari bagian penting perubahan iklim global karena mempengaruhi cuaca dan iklim pada skala global. Fenomena ini ditunjukkan oleh adanya air permukaan yang lebih hangat di sepanjang khatulistiwa Samudra Pasifik dalam periode interval 2 hingga 7 tahun (Handoko, Hariyadi dan Wirasatriya 2018). Pengaruhnya terhadap laut Indonesia sangat signifikan. Lautan Indonesia dianggap sebagai jalur samudera untuk Samudera Pasifik dan Samudera Hindia di mana air dari Samudera Pasifik mengalir ke Samudera Hindia melalui lautan Indonesia, yang disebut *Indonesian Throughflow* (ITF) (Gordon 2005). Pada tahun 1997 sampai dengan 1998 terjadi fenomena El-Niño dimana Indonesia pada mengalami kenaikan musim kering yang panjang. Sedangkan pada tahun 1999 mengalami La-Niña, Indonesia mengalami kenaikan curah hujan yang tinggi dan kenaikan tinggi muka air laut, sehingga menyebabkan banjir disebagian besar

wilayah Indonesia, terutama wilayah pesisir (BAPPENAS 2009).

Indonesia mempunyai bentuk negara kepulauan dengan jumlah 17.504 pulau dan luas perairan 6.315.222 km² (Badan Informasi Geospasial 2015). Laut Jawa merupakan salah satu laut di Indonesia dengan luas yang cukup besar. Wilayah ini berbatasan langsung dengan sisi utara Pulau Jawa dan memiliki luas permukaan sekitar 467.000 km². Wilayah yang luas tersebut tidak memungkinkan melakukan pengamatan secara konvensional, sehingga memanfaatkan teknologi yaitu satelit altimetri. Hal tersebut menjadi alternatif yang tepat karena misi satelit altimetri yang berkualitas tinggi menyediakan pengamatan secara langsung dan global mengenai laut dan variabilitas temporal dan spasialnya.

Jenis satelit altimetri yang digunakan adalah Cryosat – 2 yang diluncurkan pada tahun 2010. Data satelit altimetri Cryosat – 2 dapat sangat akurat digunakan untuk analisis variabilitas permukaan laut walaupun tidak memiliki *microwave radiometer* sehingga menggunakan model untuk koreksi. Satelit ini telah dirancang dengan tiga mode pengukuran berdasarkan zona penampang geografis yang dapat digunakan untuk pengamatan di laut dan lapisan es, yaitu LRM, SAR, dan SARin. Untuk wilayah Indonesia, Cryosat – 2 beroperasi dalam mode SAR. Untuk data yang dihasilkan terdiri dari dua tipe level yaitu Level 1b dan Level 2, dimana Level 2 merupakan data dengan koreksi yang lengkap sehingga cocok digunakan untuk penelitian.

Sebagai negara kepulauan dengan laut yang sangat luas dan salah satunya Laut Jawa, maka akan banyak sekali dampak kenaikan muka air laut di wilayah pesisir dan karena itu perlu diketahui nilai kenaikan permukaan laut hingga sekarang dan faktornya. Sehingga pada penelitian ini, dilakukan perhitungan *sea level anomaly* (SLA) untuk

mendapatkan nilai kenaikan permukaan laut dan perhitungan korelasi untuk mengetahui hubungan faktor ENSO di wilayah Laut Jawa menggunakan data Satelit Cryosat -2 Mode SAR Level 2 dengan pengamatan dari tahun 2011 hingga 2019.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kenaikan permukaan laut di wilayah pesisir Laut Jawa dari tahun 2011 sampai dengan tahun 2019 menggunakan data Satelit Cryosat Mode SAR Level 2?
2. Bagaimana analisis trend *Sea Level Anomaly* di wilayah pesisir Laut Jawa dari tahun 2011 sampai dengan tahun 2019 data Satelit Cryosat Mode SAR Level 2?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini antara lain :

1. Wilayah yang dijadikan tempat penelitian adalah wilayah Laut Jawa koordinat $2^{\circ} 35' \text{ LS}$ sampai dengan $7^{\circ} 46' \text{ LS}$ dan $105^{\circ} 46' \text{ BT}$ sampai dengan $116^{\circ} 41' \text{ BT}$ menggunakan data Satelit Cryosat Mode SAR Level 2.
2. Pengamatan kenaikan permukaan laut untuk data tahun 2011 – 2019 di Laut Jawa.
3. Analisis variasi permukaan Laut Jawa dilakukan berdasarkan perhitungan SLA dan *Multivariate ENSO Index* (MEI).

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan nilai kenaikan permukaan laut di kawasan Laut Jawa dari tahun 2011 sampai dengan tahun 2019 dengan menggunakan data satelit altimetri Cryosat – 2 Mode SAR Level 2.
2. Melakukan analisis kenaikan permukaan laut di kawasan Laut Jawa dari tahun 2011 sampai dengan tahun 2019 menggunakan data satelit altimetri Cryosat – 2 Mode SAR Level 2.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui mengenai kenaikan permukaan laut di wilayah Pesisir Laut Jawa dari tahun 2011 sampai 2019.
2. Tersedianya data dan kajian mengenai kenaikan permukaan laut yang dapat digunakan untuk penelitian mengenai mitigasi bencana di wilayah Indonesia khususnya wilayah Laut Jawa.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kenaikan Permukaan Laut

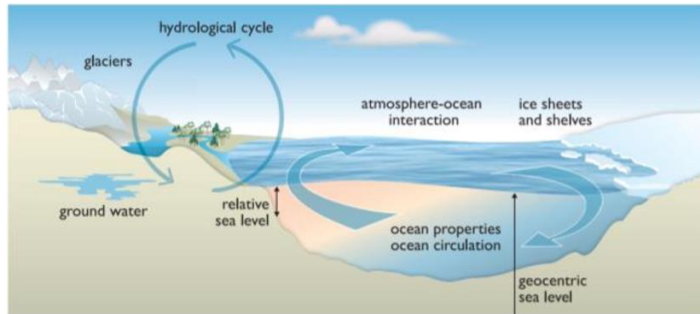
Perubahan permukaan laut selama jutaan tahun menunjukkan bahwa kenaikan permukaan laut semakin cepat seiring berjalannya waktu. Kenaikan permukaan laut relatif memiliki berbagai dampak yang sangat potensial, termasuk kenaikan permukaan laut yang ekstrim, erosi pantai, salinisasi permukaan dan air tanah, dan degradasi habitat pesisir.

Kenaikan permukaan laut rata-rata secara global adalah 1,7 mm/tahun antara 1901 dan 2010 untuk kenaikan total permukaan laut sebesar 0,19 m. Antara tahun 1993 sampai 2010, kenaikan permukaan laut kemungkinan menjadi sangat tinggi, mencapai rata - rata 3,2 mm/tahun (Church, White dan Hunter 2006).

Studi variabilitas permukaan laut di Indonesia selama periode 1993– 2011 menunjukkan kenaikan permukaan laut Indonesia lebih tinggi dari rata-rata kenaikan permukaan laut global rata-rata. Pengamatan yang dilakukan menggunakan satelit altimetri ini menunjukkan kenaikan laut positif sebesar 1,7 – 8 mm/ tahun (Handoko 2017).

2.1.1. Faktor Penyebab Kenaikan Permukaan Laut

Naiknya permukaan laut disebabkan oleh mencairnya es dan gletser di kutub, dan ekspansi termal air laut (Cazenave dan Llovel 2010). Kontribusi lapisan es Greenland dan Antartika telah meningkat sejak awal 1990-an. Tekanan anomali atmosfer regional juga menyebabkan permukaan laut bervariasi melalui pembenanan atmosfer. Selain itu, proses antropogenik akan mengganggu siklus hidrologi dan menyebabkan perubahan permukaan laut (Sahagian 2000) .



Gambar 2.1 Proses Antropogenik, Ekspansi Termal, dan Pengaruh Atmosfer pada Kenaikan Permukaan Laut (Church, dkk. 2010)

Fenomena penurunan dan kenaikan muka laut di perairan Indonesia dapat menjadi indikator adanya fenomena El-Niño dan La-Niña bagi masyarakat yang tinggal di wilayah Pesisir. Di Samudera Pasifik, ENSO mendominasi variabilitas permukaan laut di sepanjang sisi timur dan barat daya cekungan samudera. Tanda ENSO juga muncul di bagian barat daya Samudera Atlantik yang menunjukkan pola korelasi.

2.2. Satelit Altimetri

Sistem satelit merupakan salah satu pemecahan permasalahan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan untuk mempelajari fenomena lautan secara global. Maka diluncurkan beberapa satelit yang sesuai dengan tujuan mempelajari dinamika lautan yaitu satelit altimetri.

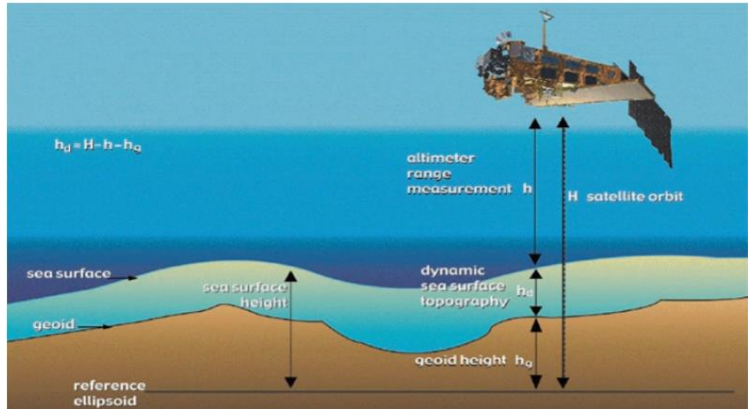
Satelit Altimetri mulai berkembang sejak tahun 1973, saat diluncurkannya Satelit Altimetri yang pertama yaitu Satelit Skylab oleh NASA. Satelit Altimetri pada prinsipnya mempunyai tujuan untuk memahami secara lebih mendalam sistem iklim global serta peran yang

dimainkan oleh lautan di dalamnya, yang kemudian dijabarkan sebagai berikut : mengamati sirkulasi lautan secara global, memantau volume dari lempengan es kutub dan mengamati perubahan muka laut rata – rata secara global. (Handoko 2004)

Menurut Passaro dkk. (2016), satelit altimetri secara standar mencapai akurasi sekitar 2-3 cm untuk rata-rata 1-Hz (dalam satu kali pengukuran setiap sekitar 7 km). Meskipun kinerjanya luar biasa, data di zona pantai atau pesisir sering terabaikan karena gangguan tanah dan air yang tenang di *footprint* satelit dan koreksi geofisika yang terdegradasi. Saat ini, terdapat peningkatan permintaan untuk pengamatan altimetri di daerah pesisir. Sementara, satelit altimetri berkinerja sangat baik di atas lautan terbuka. Untuk mengetahui hal ini, para peneliti fokus pada masalah pengolahan data untuk memeriksa berbagai metode yang tepat untuk mengekstraksi informasi altimetrik yang lebih baik melalui koreksi geofisikal atau dengan retracking gelombang.

2.2.1 Prinsip Radar Altimetri

Satelit altimetri diperlengkapi dengan pemancar pulsa radar (*transmitter*), penerima pulsa radar yang sensitif (*receiver*), serta jam berakurasi tinggi. Pada sistem ini, altimeter radar 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 (Andersen dan Scharroo 2011).



Gambar 2.2 Prinsip Radar Altimetri (Andersen dan Scharroo 2011)

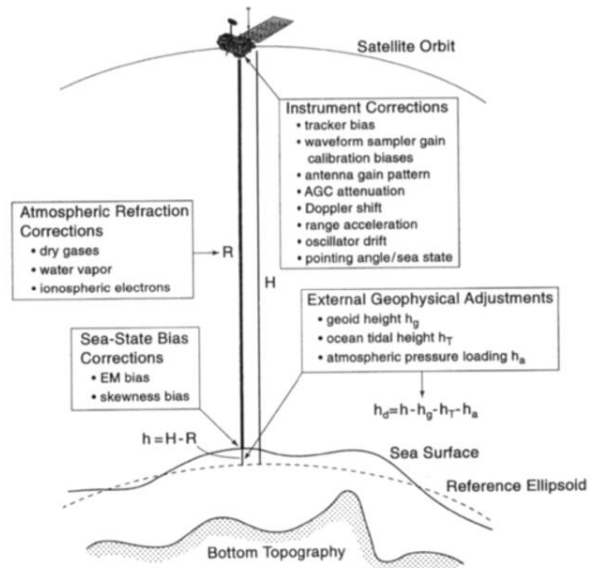
Konsep dasar dari satelit altimetri, yaitu mengukur jarak R dari satelit ke permukaan laut. Jarak R dari satelit ke permukaan laut diestimasi dari perjalanan sinyal dan waktu tempuh (Fu dan Cazenave 2001).

Untuk memantau variabilitas permukaan laut di sekitar laut Indonesia dengan presisi tinggi menggunakan altimetri satelit, jangkauan akurat dan koreksi geofisika diperlukan. *Sea Level Anomaly* (SLA) yang diperkirakan berkenaan dengan permukaan laut rata-rata (MSS) adalah variabel umum yang digunakan dalam penelitian permukaan laut. Penentuan SLA dari pengukuran altimeter memerlukan koreksi untuk semua instrumen, jarak dan koreksi geofisika (Handoko, Fernandes dan Lazaro 2017). SLA ditentukan sebagai berikut

$$SLA = H - R_{obs} - \Delta RGEO_{Corss} - MSS \dots\dots (2.1)$$

H adalah tinggi satelit terhadap bidang referensi ellipsoid, R_{obs} adalah jarak antara permukaan air laut dengan satelit, $\Delta RGEO_{Corss}$ adalah semua

koreksi jarak dan koreksi geofisika, dan MSS = *Mean Sea Surface*, model ketinggian permukaan laut rata – rata di atas ellipsoid.



Gambar 2.3 Prinsip Dasar Satelit Altimetri
(Fu dan Cazenave 2001)

Koreksi untuk pengukuran altimetri dibagi menjadi dua kelompok, yaitu koreksi jarak (*range correction*) dan koreksi geofisikal (*geophysical correction*). Koreksi jarak berhubungan dengan modifikasi kecepatan radar dan permukaan hamburan yang sebenarnya dari pulsa radar. Koreksi geofisikal menyesuaikan ketinggian permukaan laut yang diamati untuk kontribusi variabel waktu terbesar, seperti pasang laut dan tekanan atmosfer untuk memisahkan kontributor ketinggian laut yang dinamis terhadap variasi ketinggian permukaan laut.

Adanya gas kering dan uap air pada troposfer, serta elektron bebas di ionosfer mengurangi kecepatan pulsa radar yang menyebabkan jarak yang diamati menjadi lebih panjang dan ketinggian permukaan laut menjadi terlalu rendah, jika hal ini tidak diperhitungkan. Bias kondisi laut (*sea state bias*) yang terkait dengan kondisi laut lokal (kondisi angin dan gelombang) menyebabkan deteksi permukaan laut terbiaskan menjadi rendah. Maka dari itu dibutuhkan koreksi untuk komponen kering troposfer, komponen basah troposfer, ionosfer, dan *sea state bias*. Koreksi *sea state bias* menjelaskan perbedaan antara permukaan hamburan yang sebenarnya dan permukaan laut sebenarnya untuk studi ketinggian permukaan laut.

$\Delta R_{GEO_{Corss}}$ mengacu terhadap koreksi jarak dan koreksi geofisika : *dry* dan *wet tropospheric corrections*, *ionospheric correction*, *sea state bias*, *dynamic atmospheric correction*, *tides (solid earth, ocean, load and pole)* dan *reference frame offset*, seperti persamaan dibawah ini

$$\Delta R_{GEO_{Corss}} = \Delta R_{dry} + \Delta R_{wet} + \Delta R_{iono} + \Delta R_{SSB} + \Delta R_{DAC} + \Delta R_{tides} + R_{RFO} \dots\dots\dots (2.2)$$

ΔR_{dry} , ΔR_{wet} , ΔR_{iono} , dan ΔR_{SSB} adalah koreksi karena interaksi antara sinyal radar dengan atmosfer dan dengan permukaan laut. ΔR_{DAC} dan ΔR_{tides} adalah koreksi terkait dengan fenomena geofisika yang harus diperhitungkan. R_{RFO} hanya diperlukan saat data multi – misi digunakan.

Dengan menggabungkan semua maka persamaan menjadi seperti berikut

$$SLA = H - R_{obs} - \Delta R_{dry} - \Delta R_{wet} - \Delta R_{iono} - \Delta R_{SSB} - \Delta R_{DAC} - \Delta R_{tides} - MSS \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk R_{obs} didapatkan melalui (Webb dan Hall 2016) :

$$R_{obs} = R_{wd} + R_{retrack} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana R_{wd} adalah *window delay* dan $R_{retrack}$ adalah koreksi track yang diperoleh.

2.3. Cryosat – 2

CryoSat-2 adalah radar altimeter yang dirancang khusus untuk memantau bagian paling dinamis dari kriosfer Bumi. Satelit ini dilengkapi dengan altimeter radar *Ku-Band* yang menggunakan penajaman pancaran *along-track* untuk mengurangi ukuran *footprint* dibandingkan dengan misi altimeter radar sebelumnya. Muatan utamanya adalah SAR *Interferometer Radar Altimeter* (SIRAL) yang memiliki kemampuan tambahan untuk memenuhi persyaratan pengukuran elevasi lapisan es. ESA telah mengembangkan dan mengimplementasikan CryoSat Ocean Processor (COP) untuk menghasilkan produk CryoSat yang dirancang khusus untuk ahli kelautan.

Satelit ini didedikasikan untuk pemantauan perubahan ketebalan es laut yang mengambang di atas lautan kutub dan variasi ketebalan lapisan es yang luas yang menyelimuti Greenland dan Antartika (Mertz, Dumont dan Urien 2017). Berikut adalah spesifikasi satelit CryoSat-2.

Tabel 2.1 Spesifikasi Cryosat – 2 (Mayer 2013)

Diluncurkan	8 April 2010
Orbit	Low Earth Orbit
• Ketinggian	717 km
• Inklinasi	92°
• <i>Cycle</i>	369 hari (5344 orbit) dengan sub-cycle 30 hari

Muatan	SAR Interometric Radar Altimeter (SIRAL) DORIS receiver Laser retroreflector Star trackers
Massa	720 kg (termasuk 37 kg bahan bakar dan 90 kg SIRAL)
Dimensi	4,6 m x 2,4 m x 2,2 m
Ellipsoid Referensi	WGS 1984

Untuk meningkatkan kinerja *noise* dan mengurangi jejak, konsep pemrosesan *Delay-Doppler* (juga disebut pemrosesan SAR, *synthetic aperture radar*) baru-baru ini diterapkan pada radar altimetri. Altimeter *Delay-Doppler* ini digunakan pada misi CryoSat-2. Dengan menggunakan efek pergeseran Doppler, jejak radar dapat dibagi menjadi garis-garis yang disebut sel Doppler, untuk CryoSat-2 besarnya sekitar 290 m (Mayer 2013). Setiap sel disinari dari sudut datang yang berbeda pada saat satelit lewat. Gema setiap pencahayaan ditumpuk untuk mengurangi *noise*. Metode ini akan menghasilkan resolusi yang lebih tinggi daripada misi radar altimeter sebelumnya.

Pengukuran jarak altimeter CryoSat-2 yang akurat memberikan ketinggian permukaan yang harus bereferensi terhadap permukaan laut setempat untuk memperoleh ketinggian es laut sehingga dapat dikonversi menjadi ketebalan es laut dengan asumsi keseimbangan hidrostatik. Ketinggian permukaan laut lokal ditentukan dari deteksi secara teliti petunjuk di permukaan es menggunakan

karakteristik spesifik sinyal radar. Satelit CryoSat-2 tidak memiliki *microwave radiometer*. Tujuan utama *microwave radiometer* adalah pengukuran kolom uap air di atmosfer dan kadar *cloud liquid water* untuk koreksi dari sinyal radar altimetri. Selain itu, data *microwave radiometer* berguna untuk penentuan emisivitas permukaan dan kelembapan tanah di atas tanah untuk mengetahui energi atmosfer dan karakterisasi es (IFREMER 2001). Sehingga nilai koreksi didapatkan dari model-model untuk Cryosat-2.

2.3.1. Instrumen SIRAL (SAR Interferometric Radar Altimeter)

Instrumen SIRAL adalah insidensi normal radar altimeter dengan frekuensi 13,6 GHz yang dipasang di bagian depan satelit. SIRAL terdiri dari subsistem antena, unit frekuensi radio (RFU, *radio-frequency unit*), dan unit pemrosesan digital (DPU, *digital processing unit*).

Subsistem antena terdiri dari dua antena Cassegrain yang mengarah ke nadir dan dipasang tegak lurus dengan arah penerbangan di bangku 'optik'. Bagian ini terbuat dari plastik yang diperkuat dengan serat karbon. Antena pemandu gelombang yang terbuat dari invar dihubungkan melalui duplexer ke RFU dan DPU yang dipasang di sisi yang menghadap ke langit dari struktur pesawat ruang angkasa bagian depan. Desain konfigurasi ini meminimalkan efek distorsi termal ketika antena digunakan sebagai interferometer.

SIRAL telah dirancang dengan menggabungkan tiga mode pengukuran untuk menentukan topografi daratan dan massa es laut, serta gumpalan es dan transisi elevasi yang signifikan, terutama antara daratan dan lapisan es. Ketiga mode ini dipilih

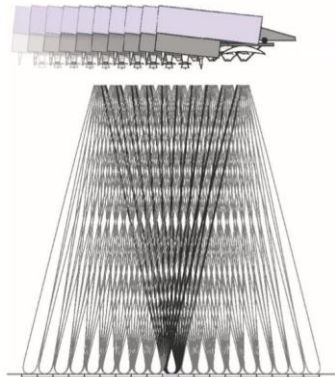
berdasarkan zona penampang geografis yang diperbaharui setiap dua minggu (Mayer 2013).

- *Low Resolution Mode (LRM)*

Dalam mode ini, sensor pada dasarnya berfungsi seperti altimeter radar konvensional yang beroperasi dalam mode terbatas. Pulsa dikirim sekitar 2000Hz. Bagian terbesar dari cakupan permukaan bumi diamati dalam mode ini, seperti permukaan laut yang rata dan area daratan yang luas.

- *Synthetic Aperture Radar (SAR)*

Instrumen mengirimkan ledakan pulsa dalam interval 20.000Hz. Gema dapat dipisahkan dengan lebar 250m melintas jalur – trek. Pergerakan satelit selama pengukuran menyebabkan efek Doppler. Setiap pengiriman pulsa dihitung waktunya untuk melakukan pengukuran setiap 250m. Pancaran berurutan – turut dapat bertumpuk pada sama lain untuk mengurangi rata – rata *noise* di sepanjang jalur trek (Mayer 2013).

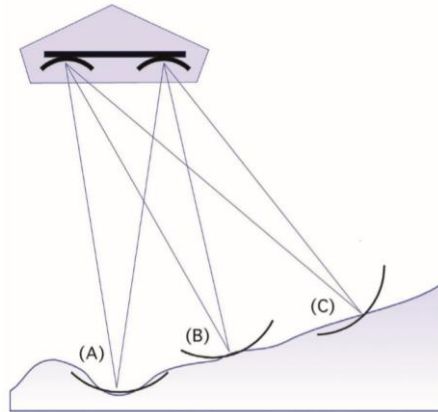


Gambar 2.4 Representasi Pengukuran dalam Mode SAR (Mayer 2013)

Mode resolusi tinggi ini digunakan untuk melakukan pengukuran dari es laut yang mengambang dan lempeng es darat, memungkinkan pengukuran ketebalan lapisan es secara tidak langsung.

- *SAR Interferometer (SARIn)*

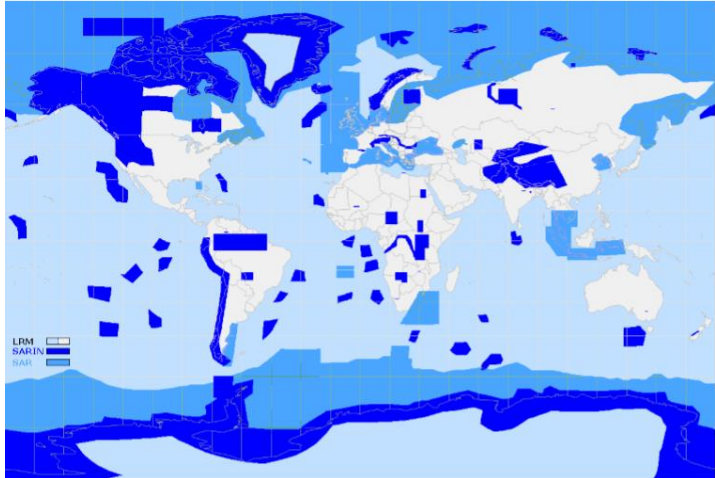
Mode paling canggih ini altimeter melakukan pemrosesan SAR dan menggunakan antenna kedua sebagai interferometer. Perbedaan fase gema antar keduanya dapat diukur dan digunakan untuk mendapatkan sudut. Sudut ini membantu melacak kembali sinyal asalnya. Hal tersebut penting untuk dapat menentukan gema mana yang dipantulkan dari nadir.



Gambar 2.5 Mode SARIn (Mayer 2013)

Digunakan di sekitar batas lapisan es dan di atas gletser gunung. Mode ini memberikan informasi dengan tepat mengenai lokasi permukaan yang diukur ketika permukaan miring dan dapat digunakan untuk mempelajari medan yang lebih

kontras, seperti daerah yang sangat aktif yang terletak di persimpangan lapisan es dan benua Antartika atau Greenland.



Gambar 2.6 Zona Penampang Geografis untuk LRM, SAR, dan SIN Cryosat – 2 (Mayer 2013)

2.3.2. Karakteristik dan Orbit Cryosat – 2

CryoSat-2 diluncurkan dari Plesetsk, Rusia, di dekat orbit kutub dengan ketinggian rata-rata 710 km. Inclinalasi orbit sebesar 92° merupakan kompromi antara keinginan untuk mencapai kepadatan lintasan orbit yang tinggi di lintang (untuk altimetri es darat) dan untuk memiliki cakupan penelitian pada Samudra Arktik dan Benua Antartika secara lengkap. Selain pengulangan periode selama 369 hari, satelit ini juga mempunyai *sub-cycle* selama 30 hari.



Gambar 2.7 Ilustrasi Orbit Cryosat – 2 dengan Inklinasi 92° (ESA 2012)

Sistem DORIS terdiri dari jaringan lebih dari 50 suar yang didistribusikan secara global. Setiap suar mentransmisikan dua frekuensi stabil (2036.25 MHz dan 401.25 MHz) yang diterima setiap 10 detik oleh penerima DORIS ketika suar itu terlihat. Penggunaan dua frekuensi memungkinkan kandungan elektron total ionosfer untuk diperkirakan dan kecepatan satelit dikompensasi untuk variasi kecepatan gelombang elektromagnetik melalui ionosfer.

Cryosat-2 memiliki tingkat akurasi yang sangat baik di atas lautan. Satelit ini juga memberikan pengukuran kualitas gelombang yang dapat digunakan dalam sistem operasional. Hal ini adalah pencapaian yang baik mengingat Cryosat-2 adalah misi radar altimeter dengan frekuensi tunggal (Ku-band) dan tidak memiliki *microwave radiometer*.

2.4. El Niño-Southern Oscillation (ENSO)

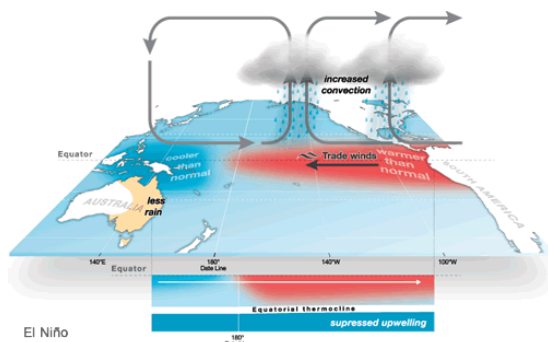
El – Niño dan La – Niña sering juga disebut dengan ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*). El – Niño dan La – Niña merupakan fenomena cuaca global yang berlangsung di wilayah Samudera Pasifik dan pada umumnya dikaitkan

dengan adanya anomali iklim dunia. ENSO lebih banyak memberi pengaruh dibagian sisi timur dan barat daya, dimana wilayah barat daya dari Samudera Pasifik adalah Indonesia. ENSO merupakan fenomena cuaca yang terjadi setiap 2 sampai 7 tahun dengan intensitas bervariasi. (Khasanah, Heliani dan Basith 2014).

Berdasarkan beberapa kali kejadian, seringkali peristiwa El – Niño diikuti oleh La – Niña. Seiring dengan semakin intensifnya proses pemanasan global, intensitas terjadinya fenomena ENSO semakin meningkat (BAPPENAS 2009). Pada saat terjadi fenomena El-Niño tahun 1997/1998, Indonesia pada umumnya mengalami musim kering yang panjang, sedangkan terjadi La-Niña tahun 1999, Indonesia mengalami kenaikan curah hujan yang tinggi dan kenaikan tinggi muka air laut sebesar 20 – 30 cm, sehingga menyebabkan banjir disebagian besar wilayah Indonesia, terutama wilayah pesisir (Khasanah dan Sastra 2017) .

2.4.1. El – Niño

Fenomena El-Niño dapat disebut dengan fase panas atau *warm event*. Tejadinya El-Niño melalui beberapa proses sebagai berikut :



Gambar 2.8 Fenomena El-Niño
(<https://www.bom.gov.au>)

- Perairan Pasifik bagian tengah dan timur mengalami pemanasan suhu.
Awal proses terjadinya El-Niño adalah karena adanya peningkatan suhu yang berada di perairan pasifik bagian timur dan tengah. Hal ini akan meningkatkan suhu kelembapan pada atmosfer yang berada di atas perairan tersebut.
- Pembentukan awan
Setelah terjadinya pemanasan suhu yang berada di perairan pasifik bagian tengah dan timur, serta menimbulkan kelembapan di atmosfer yang ada di atasnya, maka peristiwa tersebut mendorong terjadinya pembentukan awan dan akan meningkatkan curah hujan yang berada di kawasan tersebut.
- Terhambatnya pertumbuhan awan
Pembentukan awan yang terjadi maka di bagian barat samudera pasifik akan mengalami tekanan udara yang meningkat. Hal ini akan menyebabkan terhambatnya pertumbuhan awan di atas lautan di bagian timur Indonesia. Hal ini akan mengakibatkan di beberapa wilayah Indonesia mengalami penurunan curah hujan yang jauh dari normalnya.

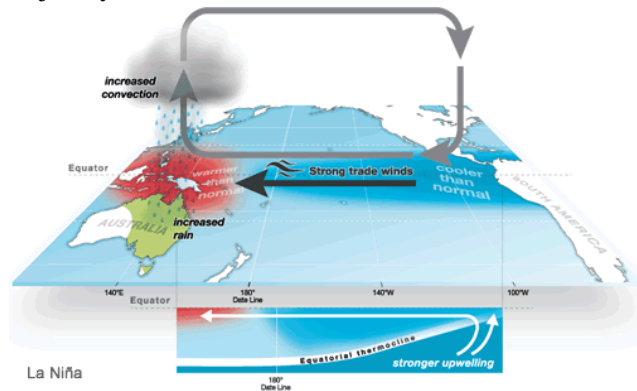
2.4.2. La – Niña

Fenomena La-Nina menyebabkan curah hujan di sebagian besar wilayah Indonesia bertambah, bahkan berpotensi menyebabkan terjadinya banjir. Peningkatan curah hujan ini bergantung dari intensitas La-Nina tersebut. Namun karena posisi geografis Indonesia maka tidak seluruh wilayah Indonesia dipengaruhi oleh Fenomena La-Nina.

(Khasanah dan Sastra 2017) Dampak La-Nina terhadap kondisi cuaca global antara lain :

- Akumulasi curah hujan berkurang di wilayah Pasifik bagian timur. Cuaca di daerah tersebut akan cenderung lebih dingin dan kering.
- Potensi hujan terdapat di sepanjang Pasifik Ekuatorial Barat seperti Indonesia, Malaysia, dan Australia bagian utara. Cuaca cenderung hangat dan lembab.

Gambar di bawah ini adalah gambaran terjadinya fenomena La-nina.



Gambar 2.9 Fenomena La-Nina
(<https://www.bom.gov.au>)

2.5. Multivariate ENSO Index (MEI)

Multivariate ENSO Index (MEI) adalah indeks yang paling mewakili fenomena ENSO. *Multivariate ENSO Index (MEI)* adalah ukuran multivarian dari sinyal ENSO yang didasarkan dari 6 variabel meteorologi utama pada ekuator Pasifik yaitu tekanan permukaan laut (P), komponen zonal (U) dan meridional angin permukaan (V), suhu permukaan laut (S), suhu permukaan udara (A), dan *total cloudiness fraction of the sky* (C) (Wolter dan Timlin 2011).

Data MEI diambil dari Laut wilayah Pasifik tropis dengan batas 30°LU - 30°LS dan 100°BT - 70° BB. Nilai negatif/rendah dari MEI mewakili tahap ENSO yang dingin (La-Niña), sedangkan nilai positif/tinggi dari MEI mewakili hangat fase ENSO (El-Niño).

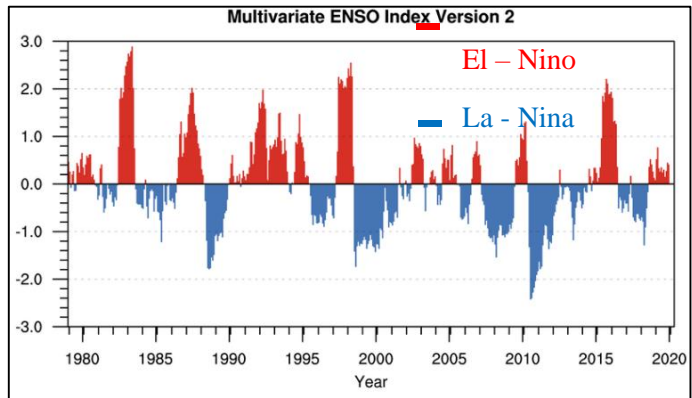
Tabel 2.3 *Multivariate ENSO Index (MEI) (NOAA 2019)*

Tahun	DJ	JF	FM	MA	AM	MJ
2011	-1.8	-1.6	-1.8	-1.7	-1.3	-1.1
2012	-1.1	-0.7	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3
2013	0	-0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-1.2
2014	-0.5	-0.4	-0.1	-0.2	-0.2	0
2015	0.2	0.1	0.1	0.4	1	1.9
2016	1.9	1.8	1.3	1.3	1.3	0.4
2017	-0.4	-0.4	-0.6	-0.2	0.2	-0.3
2018	-0.8	-0.7	-0.8	-1.3	-0.9	-0.5
2019	0.1	0.5	0.8	0.3	0.3	0.4
Tahun	JJ	JA	AS	SO	ON	ND
2011	-0.9	-0.9	-1.2	-1.4	-1.2	-1.2
2012	0.3	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
2013	-0.8	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.3
2014	0.3	0.2	-0.1	0.1	0.3	0.3
2015	1.7	1.9	2.2	2.1	1.9	1.9
2016	-0.5	-0.3	-0.3	-0.6	-0.5	-0.3
2017	-0.7	-0.8	-0.8	-0.6	-0.6	-0.7
2018	-0.2	0.4	0.5	0.4	0.3	0.1
2019	0.2	0.3	0.2	0.3	0.5	0.4

Dengan keterangan :

DJ = Desember Januari
 JF = Januari Februari
 FM = Februari Maret
 MA = Maret April
 AM = April Mei
 MJ = Maret Juni

JJ = Juni Juli
 JA = Juli Agustus
 AS = Agustus September
 SO = September Oktober
 ON = Oktober November
 ND = November Desember



Gambar 2.10 Grafik MEI

(<https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>)

2.6. Koefisien Korelasi

Pengamatan korelasi digunakan untuk studi saling-ketergantungan (*interdependence*) variabel. Untuk analisis faktor, model genetik perilaku, model persamaan struktural, dan metodologi terkait lainnya, digunakan koefisien korelasi sebagai unit dasar data. Selain untuk menyimpulkan korelasi suatu data, koefisien korelasi juga berfungsi untuk menguji linieritas.

Salah satu teknik penentuan nilai koefisien korelasi adalah *Pearson's correlation coefficient* (Mikhail dan Gracie 1981).

Dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana :

Q_{xy} = kovarians korelasi

σ_{xy} = kovarians xy

σ_x = standar deviasi x

σ_y = standar deviasi y

Nilai koefisien korelasi berkisar antara -1 hingga 1. Koefisien +1 menunjukkan adanya korelasi positif sempurna dan koefisien -1 menunjukkan adanya korelasi negatif sempurna (Anjasmara 2016). Nilai positif menunjukkan hubungan searah, sedangkan nilai negatif menunjukkan hubungan tidak searah. Nilai tepat 0 menandakan bahwa tidak ada korelasi antara data. Nilai dari koefisien perlu untuk diinterpretasi sehingga dapat dengan mudah menganalisis korelasi suatu data.

Tabel 2.4 Interpretasi Kekuatan Korelasi (Hinkle, Wiersma dan Jurs 2003)

Nilai korelasi	Interpretasi
0 sampai 0,3 (0 sampai -0,3)	Korelasi sangat rendah
0,3 sampai 0,5 (-0,3 sampai -0,5)	Korelasi rendah
0,5 sampai 0,7 (-0,5 sampai -0,7)	Korelasi cukup
0,7 sampai 0,9 (-0,7 sampai -0,9)	Korelasi tinggi
0,9 sampai 1 (-0,9 sampai -1)	Korelasi sangat tinggi

2.7. Regresi Linier Sederhana

Regresi adalah pengukur hubungan dua variabel atau lebih yang dinyatakan dengan bentuk hubungan atau fungsi. Bentuk hubungan yang paling sederhana antara variabel x dan variabel y adalah berbentuk garis lurus atau berbentuk linier yang disebut dengan regresi linier sederhana atau sering disebut regresi linier saja. Dalam bentuk hubungan tersebut terdapat sebuah variabel terikat y dengan sekurang – kurangnya sebuah variabel bebas x . Untuk mendapatkan bentuk hubungan yang sesuai antara variabel bebas x dengan variabel tidak bebas y maka kedua variabel tersebut harus dinyatakan dalam nilai yang terukur atau kuantitatif. Sehingga persamaan sederhana regresi linier adalah sebagai berikut (Montgomery, Peck dan Vining 2012)

$$y = ax + b \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

y = respon skalar waktu atau variabel dependen (terikat)

x = variabel prediktor atau variabel independen (bebas) yang menyatakan waktu

a = *slope* atau kemiringan fungsi dan garis, dan

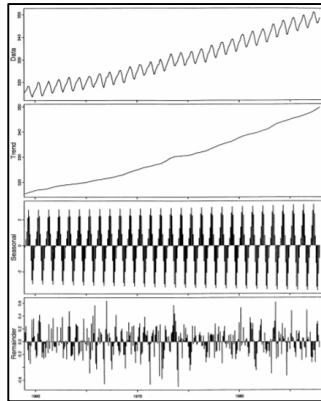
b = intersep garis lurus (nilai y ketika melintas sumbu Y)

Dari persamaan (2.6) a dan b disebut konstanta atau koefisien regresi linier sederhana atau parameter garis regresi linier sederhana. a disebut *intercept coefficient* atau intersep yaitu jarak titik asal atau titik acuan dengan titik potong garis regresi dengan sumbu y dan b disebut *slope coefficient* atau *slup* yang menyatakan atau menunjukkan kemiringan atau kecondongan garis regresi terhadap sumbu x (Montgomery, Peck dan Vining 2012).

2.8. Metode Dekomposisi Time Series : STL

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk dekomposisi *time series* adalah metode STL (*seasonal-*

trend decomposition procedure based on loess). STL adalah metode pemisahan untuk menguraikan data *time series* menjadi tiga komponen: *trend*, *seasonal*, dan *remainder*. Berikut adalah contoh hasil dari dekomposisi metode STL.



Gambar 2.11 Contoh Dekomposisi Metode STL
(Cleveland, et al. 1990)

Kolom pertama di gambar tersebut menggambarkan pola data yang dimiliki berdasarkan *time series*. Kolom kedua menggambarkan komponen *trend*: variasi dari frekuensi rendah dalam data yang menunjukkan perubahan level jangka panjang yang tidak stasioner. Kolom ketiga menggambarkan komponen *seasonal* (musiman): variasi nilai dari frekuensi musiman yang bergantung dari periode data yang dimiliki. Kolom ke-empat menggambarkan komponen *remainder*(residu): variasi sisa diluar nilai *trend* dan *seasonal* (Cleveland, et al. 1990). Berikut adalah rumus dari dekomposisi metode STL:

$$Y_t = T_t + S_t + R_t \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

Y_t = raw data

T_t = nilai *trend*
 S_t = nilai *seasonal*
 R_t = nilai *remainder*
 t = waktu

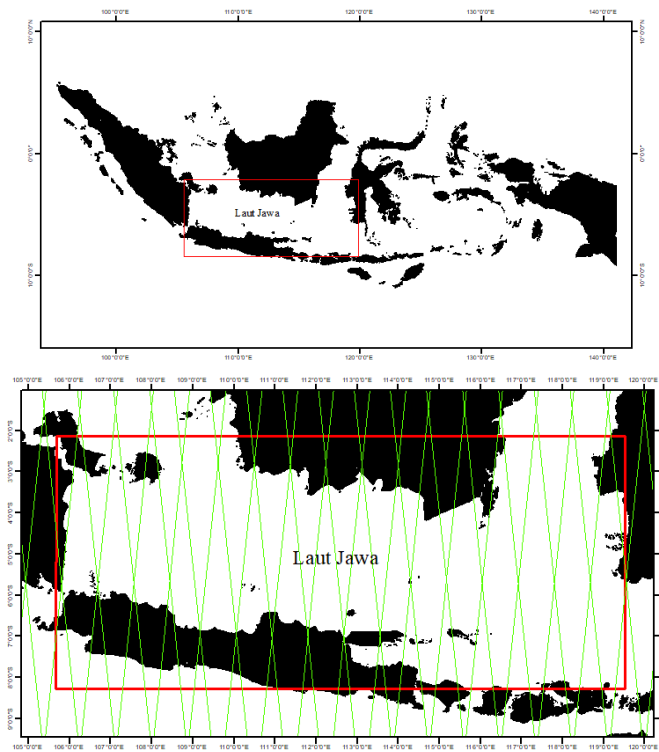
2.9. Penelitian Terdahulu

Terdapat penelitian sebelumnya terkait kenaikan muka air laut. Penelitian yang dilakukan oleh L.A. Karondia dan Eko Yuli Handoko, dan H. Hapsari (2019) yang berjudul Studi Kenaikan Muka Air Laut Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-1 (Studi Kasus : Perairan Semarang). Dalam penelitian ini menyatakan kenaikan muka air laut yang terjadi di kota-kota besar di Indonesia diakibatkan oleh meningkatnya suhu bumi sehingga mengakibatkan pencairan gletser dan es yang ada dikutub, akibatnya volume air yang ada di laut meningkat secara drastis dan mengakibatkan kenaikan muka air laut. Sehingga hal tersebut sangat mengancam keberlangsungan hidup manusia yang tinggal di wilayah pesisir. Salah satu teknologi yang sedang berkembang dan banyak digunakan untuk mengamati kenaikan muka air laut yaitu Satelit Altimetri. Pada penelitian ini digunakan satelit altimetri Jason-1 untuk mengamati laju kenaikan muka air laut di wilayah Semarang pada tahun 2009-2011 sehingga didapatkan prediksi besar kenaikan muka air laut kota Semarang yaitu 12,83 mm/tahun.

BAB III METODOLOGI

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi yang dijadikan studi kasus pada penelitian ini adalah Laut Jawa yang memiliki koordinat $2^{\circ} 35'$ LS sampai dengan $7^{\circ} 46'$ LS dan $105^{\circ} 46'$ BT sampai dengan $116^{\circ} 41'$ BT



Gambar 3.1 Lintasan Satelit Cryosat – 2 Cycle 3 pada Lokasi Penelitian

(<https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/tools/pass-locator.html>)

Wilayah yang dijadikan lokasi penelitian ini dilewati oleh orbit satelit Cryosat – 2 sejumlah 11 *cycle* selama Januari 2011 hingga April 2019.

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah data satelit altimeter 20Hz Cryosat – 2 Mode SAR Level 2 tahun 2011 – 2019.

Parameter – parameter yang digunakan dalam pengolahan data adalah sebagai berikut :

1. Tinggi orbit satelit (*altitude*)
2. Tinggi altimeter (*range*)
 - *Window Delay*
 - *Retrack Range*
3. *Dry trophospheric correction*
4. *Wet trophospheric correction*
5. *Ionospheric correction*
6. *Sea state bias correction*
7. *Tides correction*
8. *Dynamic Atmospheric Correction (DAC)*
9. *Mean Sea Surface (MSS)*
10. Waktu pengamatan

Data lain yang digunakan untuk mengorelasikan hasil pengolahan data satelit adalah *Multivariate ENSO Index (MEI)* yang dapat di unduh melalui <https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/> .

3.2.2 Peralatan

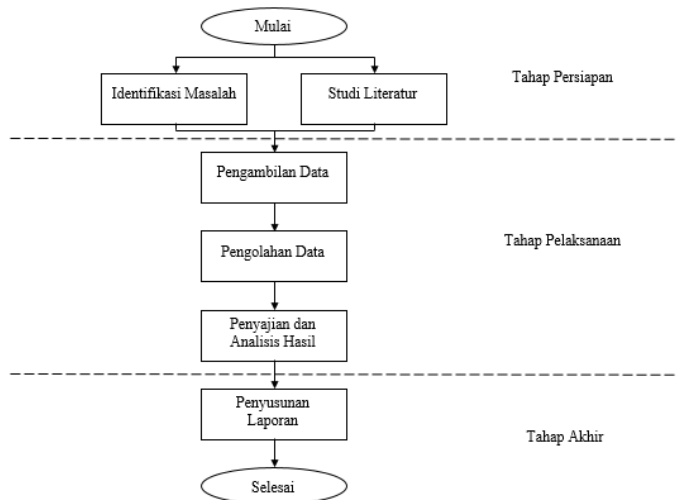
Peralatan yang digunakan untuk menunjang penelitian ini terdiri dari beberapa perangkat keras dan lunak.

- a. Perangkat Keras
 - Satu perangkat komputer

- Alat tulis
- b. Perangkat Lunak
 - MATLAB R2017b
 - Surfer 10
 - Scripter
 - Grapher 14
 - Rstudio
 - Microsoft Excel
 - Microsoft Word

3.3 Tahapan Penelitian

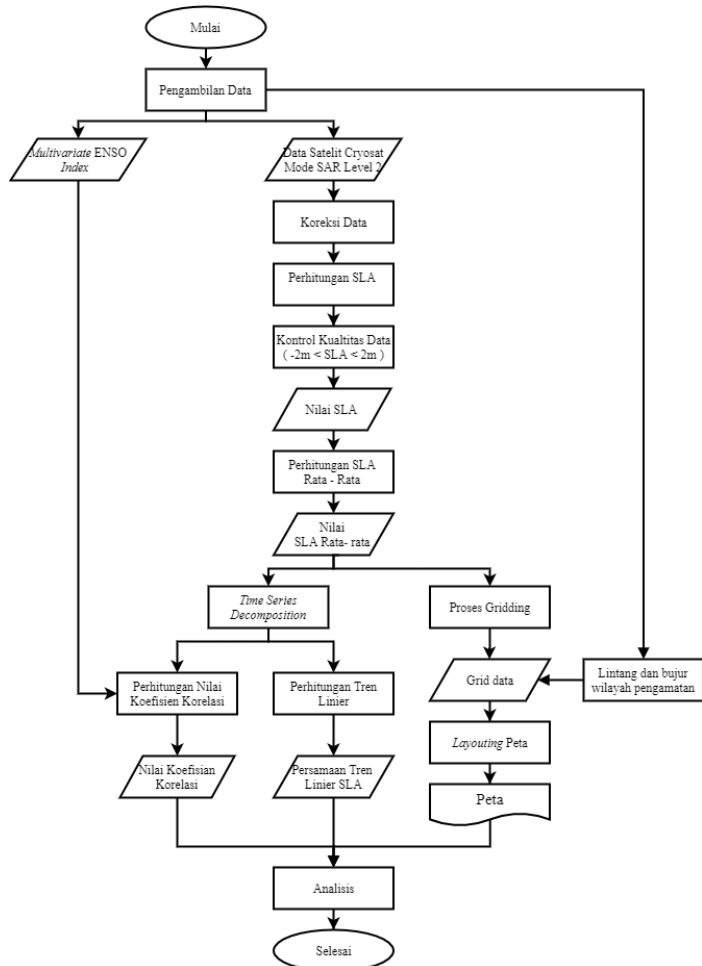
Secara garis besar tahapan dari penelitian ini seperti diagram alur dibawah ini :



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Penelitian

Adapun penjelasan dari diagram alir tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Tahap Persiapan
Tahap ini terdiri dari dua proses, yaitu identifikasi masalah dan studi literatur. Identifikasi masalah bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan yang akan dibahas pada penelitian. Adapun permasalahan dalam penelitian ini adalah kenaikan permukaan laut di wilayah Laut Jawa menggunakan satelit Cryosat – 2 mode SAR Level 2 selama 9 tahun. Studi literatur yang dilakukan adalah bertujuan untuk mendapatkan referensi yang menunjang pemahaman mengenai Analisa Kenaikan Muka Air Laut dan Satelit Cryosat-2 Mode SAR Level 2 sehingga dapat menentukan metode yang tepat untuk mengolah data.
- b. Tahap Pelaksanaan
 1. Pengambilan Data
Tahap pelaksanaan diawali dengan pengambilan data bertujuan untuk mengumpulkan data – data yang diperlukan untuk melakukan penelitian. Data berupa data binary dengan format .DBL (*Data Block*) dari Satelit Cryosat-2 Mode SAR Level 2, *Multivariate ENSO Index*, dan . Data yang diambil adalah data pengamatan dari tahun 2011 sampai dengan 2019.
 2. Pengolahan Data
Detail pengolahan data untuk penelitian ditunjukkan oleh diagram alir dibawah ini



Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data

Penjelasan dari diagram alir diatas adalah

- Membaca data menggunakan MATLAB

Data kemudian dibaca dalam Matlab untuk mendapatkan informasi data *altitude*, *dry tropospheric correction*, *wet tropospheric correction*, *ionospheric correction*, *sea state bias correction*, *dynamic atmospheric correction*, *tides correction* dan *mean sea surface*. Semua variabel tersebut memiliki satuan meter.

- **Koreksi Data**
Proses koreksi data dilakukan dengan memilih model yang akurat untuk setiap parameter. Model untuk setiap parameter adalah sebagai berikut.

Tabel 3.1 Model Parameter Cryosat-2
(Webb dan Hall 2016)

Parameter	Model
<i>Altitude</i>	CNES GDR-E
<i>Range</i>	Ku-band
<i>Dry tropospheric</i>	ECMWF
<i>Wet Tropospheric</i>	ECMWF
Ionosfer	GIM
SSB	hybird
DAC	MOG2D
<i>Solid tide</i>	FES2004
<i>Pole tide</i>	FES2004
<i>Ocean tide</i>	FES2004
<i>Load tide</i>	FES2004
MSS	UCL04

- **Perhitungan *Sea Level Anomaly* dan Koreksi Nilai SLA**
Menghitung SLA sesuai dengan persamaan (2.3) untuk data Satelit Cryosat-2 Mode SAR Level 2 pada setiap *cycle* dan *sub-cycle*

menggunakan MATLAB R2017b. Hasil dari perhitungan SLA harus memiliki rentang -2 meter samapai dengan 2 meter karena bila tidak hasil memiliki nilai anomali yang berada di luar jangkauan atau tidak valid (Scharroo 2018). Bila hasil perhitungan tidak berada di rentan yang telah ditentukan maka nilai tersebut akan dihilangkan.

- Perhitungan SLA Rata-Rata
 Nilai SLA yang telah dikoreksi selanjutnya diratakan per-cycle dan *sub-cycle* bertujuan untuk proses *gridding*, *time series decomposition* , dan pengolahan tren. Nilai SLA juga diratakan pertengahan bulan untuk sesuai dengan data MEI yang dipusatkan antara 2 bulan (bulan sebelumnya dan bulan setelahnya) sehingga dikorelasikan dan mendapatkan nilai koefisien korelasi. Menghitung rata – rata dengan cara melakukan pembobotan terhadap nilai SLA terkoreksi berdasarkan lintang.
- Proses *Gridding*
 Melakukan *Gridding* dengan dengan aplikasi Surfer untuk menginterpolasi SLA *sub-cycle* terhadap lintang dan bujur pengamatan. Ukuran *grid* adalah $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. Hasil akhirnya adalah peta kontur yang memvisualisasikan SLA pada seluruh wilayah penelitian yang telah ditampilkan dengan *base map*.
- *Time Series Decomposition* dan Pengolahan Tren
 Proses *time series decomposition* bertujuan untuk menghilangkan pola acak dan musiman dari tren menggunakan perangkat lunak Rstudio. Metode yang sering digunakan dalam dekomposisi adalah STL (*a Seasonal-Trend Decompostion Procedure*

Based on Regression) (Cleveland, dkk. 1990). Hasil dari Tren SLA kemudian akan dihitung untuk melalui regresi linier untuk mendapatkan nilai fungsi tren SLA Cryosat-2.

- Perhitungan Tren linier menggunakan regresi linier Menghitung tren linier menggunakan aplikasi Grapher dari data pengamatan di Laut Jawa untuk mengetahui fenomena kenaikan muka air laut.
- Analisis Melakukan analisis dari hasil pengolahan untuk mengetahui gambaran umum kenaikan muka air laut di wilayah Laut Jawa dalam 9 tahun pengamatan serta faktor yang mempengaruhinya dan korelasi terhadap ENSO.

c. Tahap Akhir
Akhir dari penelitian adalah dengan penyusunan laporan yang sesuai dengan kaidah dan sistematika yang sudah ditentukan oleh pihak institusi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengecekan Data Cryosat – 2

Tahap awal dalam pengolahan data Tugas Akhir ini adalah pengambilan dan pemilihan data. Data satelit Cryosat – 2 yang digunakan berekstensi *.dbl . Parameter yang akan diambil adalah *altitude*, *range*, koreksi *dry tropospheric*, *wet trophospheric*, ionosfer, *tides*, SSB (*sea state bias*), DAC (*dynamic atmospheric correction*) , dan MSS (*mean sea surface*).

Paramater – parameter tersebut akan digunakan untuk mengoreksi data satelit altimetri Cryosat – 2 sehingga SLA yang akan dihasilkan merupakan SLA terkoreksi. Model untuk setiap parameter yang digunakan juga perlu untuk ditentukan seperti yang terdapat pada Tabel 3.1

4.2 Koreksi Data dan Kontrol Kualitas Data

Proses diawali dengan menerapkan batas pada setiap paramater sehingga parameter tersebut tidak mengandung data *outlier* dan mempermudah dalam proses perhitungan SLA. Koordinat pada data bujur dan lintang juga diberi batas sesuai dengan lokasi penelitian.

Tabel 4.1 Kontrol Kualitas Data (Scharroo 2018)

Parameter	Batas (m)
<i>Dry tropospheric</i>	-2.40 sampai -2.10
<i>Wet tropospheric</i>	-0.60 sampai 0.00
Ionosfer	-0.40 sampai 0.04
SSB	-1.00 sampai 1.00
DAC	-1.00 sampai 1.00
<i>Solid tide</i>	-1.00 sampai 1.00
<i>Pole tide</i>	-0.10 sampai 0.10
<i>Ocean tide</i>	-5.00 sampai 5.00

<i>Load tide</i>	-0.50 sampai 0.50
MSS	-200 sampai 200
SLA	-2.00 sampai 2.00

Data yang mengandung nilai NaN diganti dengan nilai yang melampui batas (contoh = 999.9) sehingga terseleksi pada saat proses koreksi dan kontrol kualitas data. Hasil dari koreksi data Cryosat – 2 disimpan dalam ekstensi *.txt adalah sebagai berikut, dengan desimal dinyatakan dalam notasi titik

Tabel 4.2 Hasil Penerapan Koreksi Data

Lintang (°)	Bujur (°)	<i>Trophospheric (m)</i>		Iono (m)	SSB (m)	DAC (m)
		<i>Dry</i>	<i>Wet</i>			
-7.76591	116.52044	-2.305	-0.237	-0.083	0	0.006
-7.76322	116.52016	-2.305	-0.237	-0.083	0	0.006
-7.76054	116.51988	-2.305	-0.237	-0.083	0	0.006
-7.75785	116.51960	-2.305	-0.237	-0.083	0	0.006
-7.75516	116.51932	-2.305	-0.237	-0.083	0	0.006
-7.75248	116.51904	-2.305	-0.237	-0.083	0	0.006
-7.74979	116.51876	-2.305	-0.237	-0.083	0	0.006
-7.74710	116.51848	-2.305	-0.24	-0.083	0	0.005
-7.74442	116.51820	-2.305	-0.24	-0.083	0	0.005
-7.74173	116.51792	-2.305	-0.24	-0.083	0	0.005

<i>Tides (m)</i>				MSS (m)
<i>Solid</i>	<i>Pole</i>	<i>Load</i>	<i>Ocean</i>	
-0.084	-0.002	0.027	-0.548	36.511
-0.084	-0.002	0.027	-0.548	36.530
-0.084	-0.002	0.027	-0.548	36.549
-0.084	-0.002	0.027	-0.548	36.567
-0.084	-0.002	0.027	-0.548	36.586
-0.084	-0.002	0.027	-0.548	36.605
-0.084	-0.002	0.027	-0.548	36.623
-0.084	-0.002	0.027	-0.548	36.641
-0.084	-0.002	0.027	-0.548	36.659
-0.084	-0.002	0.027	-0.548	36.677

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa semua data sudah berada dalam batas yang sudah ditentukan dan tidak mengandung data *outlier*. Parameter – parameter yang telah diberi batas tersebut selanjutnya digunakan dalam perhitungan SLA. Kontrol kualitas data juga akan dilakukan setelah hasil perhitungan SLA telah didapatkan.

4.3 Perhitungan SLA

SLA dihitung sesuai dengan persamaan (2.3). Kemudian, hasil perhitungan disimpan dalam ekstensi *.txt. berikut adalah potongan *script* yang digunakan dalam proses perhitungan SLA.

```
% Sea Surface Heigh (SSH) and Sea Level Anomaly (SLA)
SSH = alt - height - dry - wet- iono - ssb - dac - tides;
SLA = SSH - MSS;

% dir out
folderout='D:\TUGAS_AKHIR\DATA\Cycle\Hasil';
file_out=fopen(sprintf('%s%s', folderout, 'hasil_koreksiSlac6.txt'), 'w');
fprintf(file_out, 'cycle MJD Lat Long SSH SLA MSS YYF\n');
```

Gambar 4.1 *Script* Perhitungan SLA pada Matlab 2017b

Dilakukan perhitungan SLA pada setiap *cycle* dan *sub-cycle* Cryosat – 2 selama waktu pengamatan. Berikut adalah hasil perhitungan SLA dengan desimal dinyatakan dengan notasi titik.

Tabel 4.3 Hasil *Cycle* SLA Cryosat – 2

Cycle	MJD	Lat	Long	SSH	SLA	YYF
12	58498.320972	-7.120396	112.209021	29.074	-0.764	2019.0392355
12	58498.320995	-6.978390	112.194179	30.989	0.661	2019.0392356
12	58498.321007	-6.918311	112.187900	31.174	0.661	2019.0392356
12	58498.321007	-6.912850	112.187330	31.165	0.638	2019.0392356
12	58498.321019	-6.901926	112.186188	31.242	0.685	2019.0392357
12	58498.321019	-6.896465	112.185618	31.165	0.594	2019.0392357
12	58498.321019	-6.891003	112.185047	31.115	0.529	2019.0392357
12	58498.321019	-6.885542	112.184476	31.345	0.744	2019.0392357
12	58498.321019	-6.882811	112.184191	30.638	0.03	2019.0392357
12	58498.321019	-6.880080	112.183905	30.689	0.074	2019.0392357

Tabel 4.4 Hasil Setiap Sub-*Cycle* SLA Cryosat – 2

Cycle	MJD	Lat	Long	SSH	SLA	YYF
12	58575.152257	-7.765762	115.867184	34.557	-0.066	2019.2497322
12	58575.152257	-7.763057	115.866901	34.865	0.227	2019.2497322
12	58575.152257	-7.760352	115.866618	34.836	0.183	2019.2497322
12	58575.152257	-7.757647	115.866335	34.894	0.227	2019.2497322
12	58575.152257	-7.754943	115.866052	34.81	0.128	2019.2497322
12	58575.152257	-7.752238	115.865769	34.443	-0.254	2019.2497322
12	58575.152269	-7.749533	115.865486	34.822	0.11	2019.2497322
12	58575.152269	-7.746828	115.865203	34.907	0.18	2019.2497322
12	58575.152269	-7.744123	115.864920	34.952	0.21	2019.2497322
12	58575.152269	-7.741418	115.864637	35.015	0.257	2019.2497322

Tabel di atas menunjukkan sepuluh data awal pada *cycle* terakhir (*cycle* 12) dan sub-*cycle* terakhir (April 2019) penelitian dari data hasil SLA Cryosat – 2.

4.4 Perhitungan Rata-Rata SLA

Nilai SLA yang telah didapatkan dari perhitungan dengan persamaan (2.3) diratakan per-*cycle* dan sub-*cycle* dengan pembobotan berdasarkan lintang dan disimpan kembali dalam ekstensi *.txt. Bobot diterapkan pada masing masing nilai pengamatan yang dipertimbangkan berdasarkan kosinus dari posisi lintang atau lintangnya (Gleisner 2011). Data SLA Cryosat – 2 juga diratakan antara bulan sebelumnya dan bulan berikutnya (*bi-monthly*). Berikut adalah potongan *script* yang digunakan dalam perhitungan rata – rata SLA.

```

lat_rad=(latgab/180)*pi;
sin_alpa=abs(cos(sink)/cos(lat_rad));
sin_alpa_0=abs(cos(sink));
alpa=asin(sin_alpa);
alpa_0=asin(sin_alpa_0);
cos_alpa=cos(alpa);

sin_beta_0=cos(atan(abs(((vs*sin_alpa_0)-(ve)/(vs*cos(alpa_0))))));
sin_beta=cos(atan(abs(((vs*sin_alpa)-(ve*cos(lat_rad)))/(vs*cos_alpa)))));
p=(sin_beta/sin_beta_0)*cos(lat_rad);
p2=(sin_beta/sin_beta_0)*(cos(lat_rad.^2));

jumlah_w2=0;
for i=1:length(lat_rad)
    jumlah_w2=jumlah_w2+ p2(i);
end

slal=0; sshl=0;
for j=1:length(lat_rad)
    slal=slal+((p2(j))*SLAgab(j));
    sshl=sshl+((p2(j))*SSHgab(j));
end

rata_berat_sla = slal/jumlah_w2;
rata_berat_ssh = sshl/jumlah_w2;

```

Gambar 4.2 *Script* Perhitungan Rata – Rata SLA pada Matlab 2017b

Hasil dari perhitungan rata-rata SLA per-cycle dan perpertengahan bulan yang disimpan dalam ekstensi *.txt adalah sebagai berikut, dengan desimal dinyatakan dengan notasi titik

Tabel 4.5 SLA Rata-Rata Per-Cycle Cryosat-2

Cycle	mean_MJD	mean_SSH(mm)	mean_SLA(mm)	mean_YYF
2	55583.990905	30928.6612	257.6232	2011.0602491
3	55767.322119	31887.4927	139.0759	2011.5625264
4	56016.903094	31852.4479	249.9652	2012.2456358
5	56197.140215	31879.0026	126.0379	2012.7380880
6	56470.907857	31719.6215	188.313	2013.4874190
7	56841.292072	32147.7850	161.5292	2014.5021701
8	57114.368741	32152.8202	149.7181	2015.2503253
9	57292.463462	31613.8758	64.9922	2015.7382561
10	57725.155847	31857.4270	183.0078	2016.9218958
11	58156.569548	31933.7768	168.8192	2018.1029303
12	58548.819520	31880.4393	107.5537	2019.1775877

Tabel 4.6 SLA Rata – Rata Sub-cycle Cryosat – 2

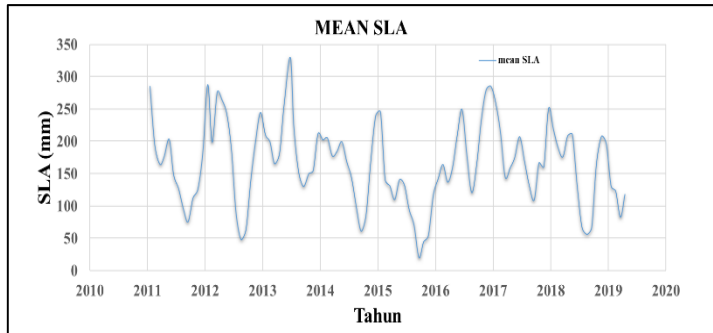
Bulan/Tahun	mean_MJD	mean_SSH(mm)	mean_SLA(mm)	mean_YYF
Januari 2011	55577.266002	31565.8791	285.14810	2011.0418247
Februari 2011	55607.800771	31622.1959	193.69270	2011.1254816
Maret 2011	55639.891824	31184.9622	164.43930	2011.2134023
April 2011	55667.181148	31552.3630	176.61550	2011.2881675
Mei 2011	55699.049656	32638.3874	203.07770	2011.3754785
Juni 2011	55727.305575	32149.8087	147.90840	2011.4528920
Juli 2011	55757.877355	32233.8999	127.08930	2011.5366503
Agustus 2011	55789.988397	31489.7097	94.14760	2011.6246257
September 2011	55818.350324	30595.6029	75.55200	2011.7023297
Oktober 2011	55849.635882	31838.4446	112.15940	2011.7880435
November 2011	55880.383682	32707.5043	125.90160	2011.8722841
Desember 2011	55911.832007	32505.8053	183.06810	2011.9584439

Tabel 4.7 SLA Rata-Rata Bi-Monthly Cryosat-2

mean_MJD	mean_SSH(mm)	mean_SLA(m)	mean_YYF
55592.059390	31528.6214	247.7752	2011.0823545
55616.843701	31757.4341	178.2452	2011.1502567
55651.241394	31943.0638	176.4238	2011.2444970
55680.796422	32274.9138	179.1416	2011.3254697
55712.513686	33414.0441	189.2448	2011.4123663
55742.930793	31647.7459	133.9814	2011.4957008
55773.652518	31591.9198	120.4735	2011.5798699
55804.804208	31863.2884	80.4288	2011.6652170
55837.500912	30140.6126	67.9443	2011.7547970
55865.651319	31592.2081	126.5469	2011.8319214
55895.998938	32473.3213	129.5152	2011.9150656

Pada hasil perhitungan, SLA rata – rata tertinggi terdapat di *cycle* 4 pada tahun 2012 dengan nilai 249,9652 mm, sedangkan SLA rata-rata terendah terdapat pada *cycle* 9 pada tahun 2015 dengan nilai 64,9922 mm. Pada data sub-cycle, SLA rata-rata tertinggi terdapat di bulan Juni 2013 dengan nilai 329,8045mm, sedangkan rata-rata terendah di bulan September 2015 dengan nilai 20,0936 mm. Pada data *bi-monthly* Cryosat-2, SLA rata – rata tertinggi terdapat

pada tahun 2013 dengan nilai 323,7272 mm , sedangkan SLA rata – rata terendah terdapat pada tahun 2015 dengan nilai 27,8184 mm.



Gambar 4.3 Grafik SLA Rata-Rata Cryosat-2

Dari grafik diatas, dapat dilihat pola rendah dan tingginya SLA rata – rata sub-cycle yang mana disebutkan diatas adalah terendah pada bulan September tahun 2015 dengan nilai 20,0936 mm dan tertinggi pada bulan Juni tahun 2013 dengan nilai 329,8045 mm.

4.5 Time Series Decomposition dan Pengolahan Tren

Time series decomposition dilakukan untuk data SLA yang telah diratakan sub-cycle dan yang telah menjadi *time series*. Proses akan mengengstrak data mentah SLA menjadi *seasonal*, *trend*, dan *remainder* di perangkat lunak Rstudio. Berikut adalah *script* yang digunakan dalam proses dekomposisi.

```

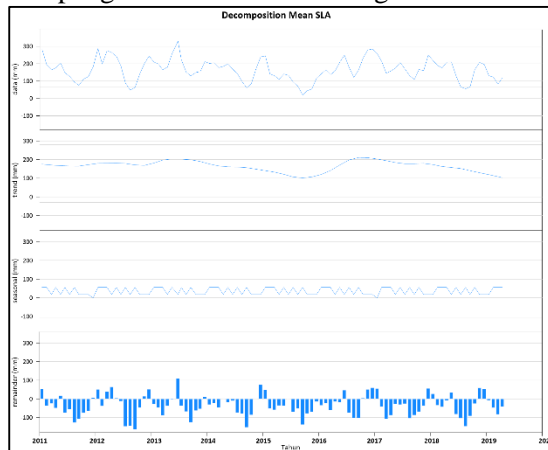
#read data all
data <- read.delim(file.choose(),header=TRUE, sep=" ", dec=".")
sla <- data[,4]
time <- data[,5]
#fill NA data
library("zoo")
oz <- zoo(sla)
sla_all <- na.approx(oz)
#time series
tsku <- ts(sla_all, frequency=12.1666667, start=c(2011.041824660))
png(filename="Raw_SLA_MEAN.png",width=1000,height=450)
plot.ts(tsku, xlab="Time", ylab="Sea Level Anomaly (mm)", main="Sea Level Anomaly Time Series")
dev.off()

#decomposed data
decomposed <- stl(tsku,s.window="periodic")
plot(decomposed, main="Decomposition Mean SLA")
#extract component ts
seasonal <- decomposed$time.series[,1]
trend <- decomposed$time.series[,2]
remainder <- decomposed$time.series[,3]
png(filename="Trend_SLA_MEAN.png",width=1000,height=450)
plot.ts(trend, xlab="Time", ylab="SLA(mm)", main="Trend SLA")
hasil_akhir <- matrix(c(data[,1],data[,5],sla_all,trend,seasonal,remainder),nrow=100, ncol=6)
write.table(hasil_akhir,file="sla_meanbul.txt", row.names=FALSE,col.names=FALSE)

```

Gambar 4.4 Script Time Series Decomposition dan Pengolahan Tren

Hasil dari pengolahan ini adalah sebagai berikut



Gambar 4.5 Hasil Dekomposisi Data Cryosat – 2

Pada grafik seasonal terlihat perulangan pola setiap tahunnya, namun terdapat satu pola menurun yang terjadi dua kali selama periode pengamatan. Hal tersebut bisa terjadi karena ada fenomena drastis selama periode waktu penelitian. Grafik tren diatas memiliki tren dengan pola

turun. Selain dalam bentuk grafik, data hasil dekomposisi juga disimpan dalam ekstensi *.txt dengan desimal dinyatakan dengan notasi titik. Berikut adalah beberapa hasil dekomposisi

Tabel 4.8 Data Dekomposisi Cryosat – 2

YYF	Raw Data (mm)	Trend (mm)	Seasonal (mm)	Remainder (mm)
2011.041825	285.1481	175.459162	56.365402	53.323535
2011.125482	193.6927	172.991994	56.365425	-35.664719
2011.213402	164.4393	170.524826	18.095714	-24.181240
2011.288168	176.6155	168.848207	56.365447	-48.598154
2011.375479	203.0777	167.171589	18.095717	17.810394
2011.452892	147.9084	166.215837	56.365469	-74.672906
2011.53665	127.0893	165.260085	18.095719	-56.266504
2011.624626	94.1476	165.102283	56.365493	-127.320176
2011.70233	75.552	164.944481	18.095721	-107.488202
2011.788044	112.1594	168.778376	18.095723	-74.714699

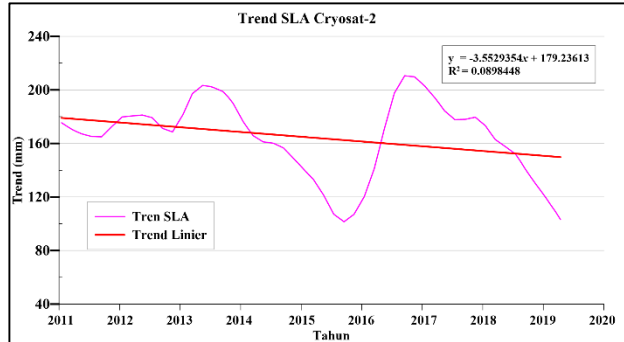
Pada grafik dan tabel hasil dekomposisi di perangkat lunak Rstudio menunjukkan terdapat penurunan tren yang cukup drastis pada tahun 2014 – 2015 sebesar 74,8792 mm. Tahun 2017 hingga 2019, terjadi penurunan tren sebesar 99,6458 mm.

4.6 Penghitungan Tren Linier

Persamaan regresi linier (2.6) bila dikaitkan dengan analisis tren ini, nilai variabel y adalah nilai yang dicari yaitu tren kenaikan muka laut dan nilai variabel x dapat dilakukan dengan menyubstitusi data tahunan.

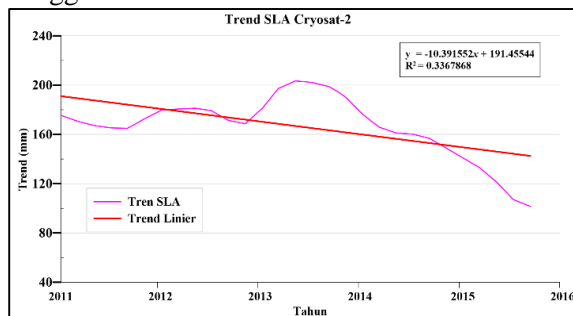
Untuk mengetahui fenomena kenaikan atau penurunan muka air laut terhadap data tren sub-cycle SLA Cryosat-2, maka perlu dilakukan analisa tren kenaikan muka air laut dengan menggunakan pendekatan secara regresi linear.

Hasil tren Cryosat – 2 dapat dilihat pada grafik di bawah ini

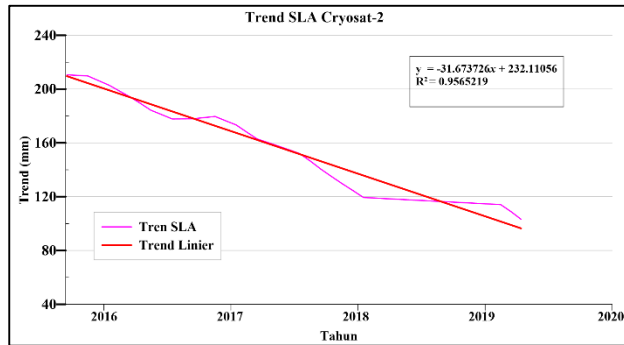


Gambar 4.6 Grafik Regresi Linier Tren SLA Rata-Rata Cryosat-2

Persamaan regresi linier sesuai dengan persamaan (4.1) adalah $y = -3,5529x + 179,23613$. Variabel a pada hasil persamaan ini memiliki nilai negatif sehingga memiliki tren linier menurun. Bila di hitung nilai penurunan dari tahun 2011 hingga 2019 adalah 28,4235 mm. Dari hasil penggambaran tersebut dapat dilihat bahwa terjadi 2 kali penurunan muka laut yang cukup drastis. Penurunan permukaan laut yang pertama berada di periode 2011 hingga 2015. Penurunan kedua berada di periode akhir 2016 hingga akhir data 2019.



(a)



(b)

Gambar 4.7 (a) Grafik Tren Linier 2011-2015 (b) Grafik Tren Linier 2016-2019

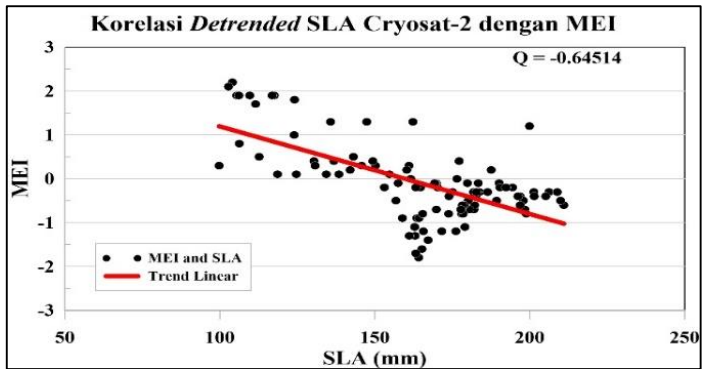
Persamaan regresi linier untuk grafik a adalah $y = -10,3915x + 191,4554$ dan grafik b adalah $y = -31,6737x + 232,1106$.

4.7 Perhitungan Nilai Koefisien Korelasi

Perhitungan nilai koefisien korelasi dilakukan pada data detren SLA Cryosat – 2 yang telah diratakan pada pertengahan bulan (*bi-monthly*) terhadap data *Multivariate ENSO Index* (MEI). Data waktu pada indeks dan SLA harus disesuaikan dengan baik. Proses ini dilakukan sesuai dengan persamaan (2.5), variabel x adalah data *detrended* SLA *bi-monthly* dan variabel y adalah index MEI. Sehingga bila dimasukkan kedalam perhitungan akan sebagai berikut :

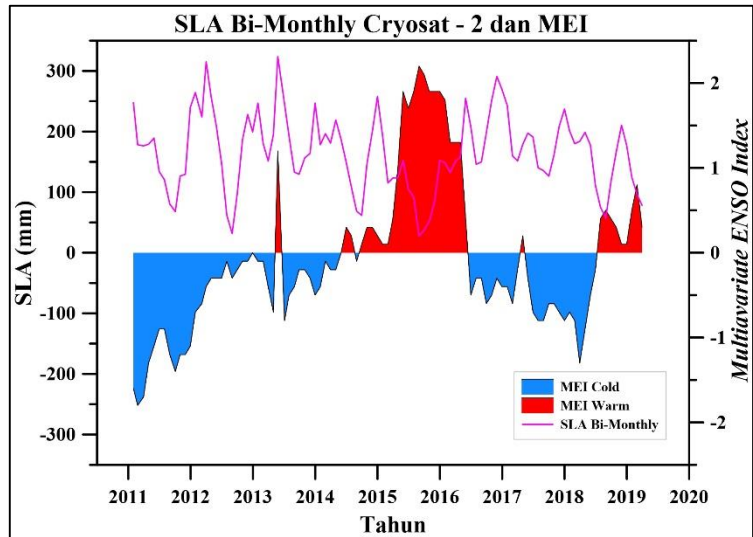
$$\begin{aligned}
 Q_{xy} &= \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \cdot \sigma_{xy}} \\
 &= \frac{-16,1383}{28,4295 \times 0,8799} \\
 &= -0,6451
 \end{aligned}$$

Pada Gambar 4.9, garis merah menunjukkan tren linier data *detrended* SLA Cryosat-2 *bi-monthly* dengan MEI memiliki persamaan $y = -0,0199673x + 3,1891576$. Nilai negatif pada variabel a menunjukkan turunnya tren linier sejalan dengan nilai koefisien korelasi antara *detrended* SLA dengan MEI sebesar -0,64514. *Detrended* SLA didapatkan dari pengurangan nilai tren linier SLA Cryosat – 2 terhadap nilai SLA itu sendiri.



Gambar 4.8 Grafik Korelasi *Detrended* SLA Cryosat-2 dengan MEI

Hubungan antara SLA Cryosat – 2 *bi-monthly* dengan data MEI dapat ditunjukkan oleh grafik dibawah ini.



Gambar 4.9 Grafik SLA *Bi-Monthly* dengan *Multivariate ENSO Index* (MEI)

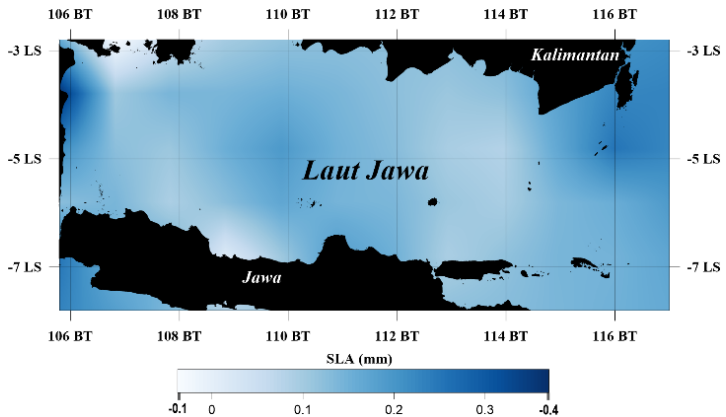
Data SLA *bi-monthly* Cryosat – 2 digambarkan dengan garis berwarna ungu. Irisan grafik berwarna merah menggambarkan nilai positif pada data MEI berdasarkan pengaruh El-Niño (fase hangat), sedangkan irisan berwarna biru menggambarkan nilai negatif berdasarkan pengaruh La-Niña (fase dingin). Berdasarkan nilai index maka El-Niño pada ambang lebih besar dari +0,5 dan La-Niña pada ambang lebih kecil dari -0,5 (NOAA Physical Sciences Laboratory 1979). Secara keseluruhan, grafik diatas menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik antara data SLA *bi-monthly* Cryosat – 2 dengan data MEI dari tahun 2011 sampai dengan April 2019.

Data index MEI dan Gambar 4.7 memperlihatkan bahwa terjadi fenomena El-Niño yang cukup ekstrim. Fenomena tersebut terjadi pada tahun 2015 bulan Mei

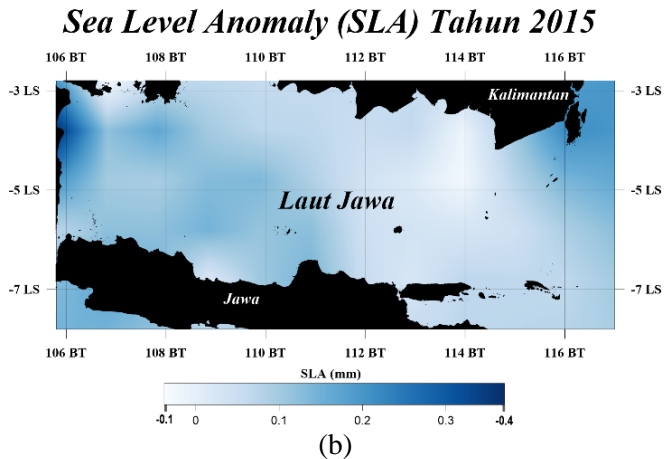
dengan index AM(April Mei) adalah 1 dan mulai melonjak di MJ (Mei Juni) dengan index 1,9. Hal tersebut terus meningkat dan puncak di bulan Agustus September dengan index AS (Agustus September) adalah 2,2 hingga November dengan index ON(Oktober November) adalah 1,9.

Fenomena El-Nino yang cukup ekstrim pada tahun 2015 menandakan bahwa suhu permukaan laut Samudera Pasifik meningkat dan meningkatnya curah hujan di daerah tersebut. Sehingga mengakibatkan sebagian wilayah Laut Indonesia mengalami kekeringan karena terhambatnya pembentukan awan dan terjadinya penurunan nilai SLA dipermukaan Laut Jawa. Gambar 4.8 menampilkan *sea level anomaly* tahun 2011 dan 2015 secara spasial di Laut Jawa.

Sea Level Anomaly (SLA) Tahun 2011



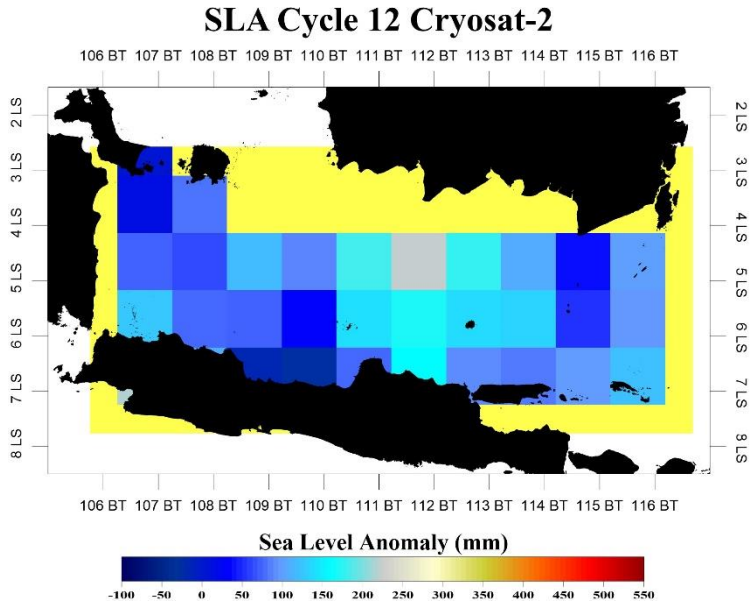
(a)



Gambar 4.10 *Sea Level Anomaly* di Laut Jawa (a) Tahun 2011 (b) Tahun 2015

4.8 Data Gridding

Data *gridding* dilakukan untuk data SLA Cryosat-2 yang telah dikelompokkan pada setiap *cycle* dan *subcycle*. Proses ini bertujuan untuk memvisualisasikan tren SLA Laut Jawa dalam bentuk peta setelah ditampilkan dengan *base map*. Ukuran *grid* SLA sebesar $1^\circ \times 1^\circ$ disesuaikan dengan ukuran *equatorial track distance* satelit Cryosat – 2 yang memiliki jarak 7,5 km. Konversi data SLA ke dalam format *grid* dilakukan di perangkat lunak Surfer 10 dengan metode *data metric – Z order mean*. Berikut adalah contoh *grid data* SLA pada *cycle* 12.



Gambar 4.11 *Grid Data SLA Cryosat – 2* pada daerah Pengamatan

Warna pada *grid* data pada setiap *cycle* menunjukkan kontur warna SLA, sedangkan wilayah berwarna kuning menunjukkan tidak adanya data yang terekam pada daerah tersebut. *Grid* data kemudian dikonversi ke dalam ekstensi *.txt untuk melihat nilai pada setiap titik. Proses ini dilakukan di MATLAB R2017b. Notasi titik menyatakan angka desimal.

NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	2.18E+02	1.08E+02	-1.79E+01	-2.77E+01	7.39E+01	1.60E+02	9.11E+01	8.24E+01	9.81E+01	1.20E+02	NaN	NaN
NaN	1.25E+02	7.48E+01	7.09E+01	2.97E+01	1.42E+02	1.69E+02	1.38E+02	1.34E+02	5.21E+01	9.45E+01	NaN	NaN
NaN	7.10E+01	6.20E+01	1.18E+02	8.63E+01	1.81E+02	2.23E+02	1.76E+02	1.09E+02	3.57E+01	9.89E+01	NaN	NaN
NaN	1.38E+01	8.05E+01	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
NaN	2.50E+00	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

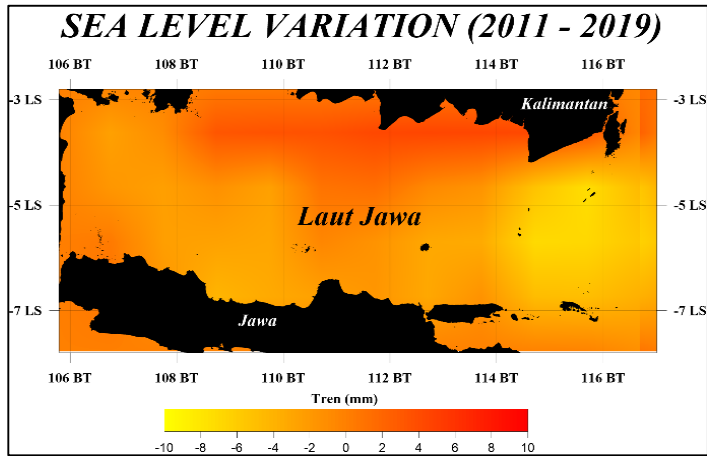
Gambar 4.12 Nilai pada *Grid Data SLA Cryosat – 2*

Nilai pada gambar di atas mewakili setiap titik yang ada pada *grid data*. Titik yang tidak memiliki data diwakilkan nilai NaN. Tahap selanjutnya adalah menghitung tren SLA Laut Jawa tahun 2011 – 2019 berdasarkan waktu rata – rata *sub-cycle*, kemudian dikonversi ke dalam nilai x,y, dan z yang mewakili nilai bujur, lintang, dan nilai tren SLA. Tabel dibawah merupakan beberapa hasil perhitungan hasil perhitungan tren SLA *grid data*. Notasi titik menyatakan angka desimal.

Tabel 4.9 Nilai Tren *Grid Data*

Lintang (°)	Bujur (°)	Tren (mm)
-6.8	106.8	0.8
-6.8	107.8	-1.69
-6.8	108.8	-4.34
-6.8	109.8	-3.22
-6.8	110.8	-2.61
-6.8	111.8	-1.63
-6.8	112.8	-3.23
-6.8	113.8	-1.13
-6.8	114.8	-4.94
-6.8	115.8	-4.7

Pada tabel di atas,notasi titik menyatakan bilangan desimal. Langkah terakhir adalah memvisualisasikan nilai – nilai di atas ke dalam kontur warna dan menampilkannya dengan *base map* pada perangkat lunak Surfer 10 sehingga dihasilkan peta tren SLA Laut Jawa tahun 2011-2019 seperti berikut



Gambar 4.13 Tren SLA Cryosat – 2 (2011-2019)

Peta di atas adalah gambaran variasi kenaikan muka air laut di Laut Jawa. Dengan sebaran SLA berada pada rentan -10 mm sampai dengan 10 mm yang divisualisasikan dengan warna kuning hingga oren. Penurunan terbesar permukaan Laut Jawa dari tahun 2011 sampai dengan 2019 tahun adalah sebesar 9,4 mm dengan koordinat $4,8^{\circ}\text{LS } 115,8^{\circ}\text{BT}$. Kenaikan terbesar adalah sebesar 5,18 mm dengan koordinat $3,8^{\circ}\text{LS } 112,8^{\circ}\text{BT}$.

4.9 Analisis

Persamaan regresi tren linier pada tren SLA Laut Jawa tahun 2011 sampai dengan 2019 mendapatkan nilai negatif untuk variabel a. Hal tersebut menandakan tren memiliki pola menurun. Berdasarkan hal tersebut, permukaan Laut Jawa dari tahun 2011 sampai dengan 2019 mengalami penurunan sebesar 28,4235 mm dengan laju $-3,55\text{ mm/tahun}$. Terjadi 2 periode penurunan permukaan laut yang cukup drastis yaitu pada periode 2011 hingga akhir 2015 dan periode 2016 akhir hingga 2019.

Nilai korelasi yang didapatkan dari data *Multivariate ENSO Index* (MEI) dan *detrended SLA* Laut Jawa Tahun 2011 sampai dengan 2019 adalah negatif sehingga hubungan antara keduanya tidak searah atau berkebalikan. Secara keseluruhan, grafik pada Gambar 4.7 menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik atau tidak searah antara data SLA bi-monthly Cryosat – 2 dengan data MEI dari tahun 2011 sampai dengan April 2019.

Interpretasi korelasi berdasarkan Tabel 2.4 menyatakan koefisien korelasi memiliki hubungan yang cukup. Hubungan tersebut dapat dilihat pada grafik, saat mulai terjadi fenomena El-Nino maka variasi permukaan Laut Jawa mulai menurun dan ketika fenomena El-Nino terjadi permukaan Laut Jawa mengalami penurunan. Saat mulai terjadi fenomena La-Nina maka variasi permukaan Laut Jawa mulai naik dan ketika fenomena La-Nina terjadi permukaan Laut Jawa mengalami kenaikan. Namun, terdapat bagian yang tidak sesuai untuk menggambarkan hubungan yang tidak searah yaitu pada tahun 2013-2014. Hal tersebut menunjukkan tidak tingginya korelasi karena masih ada bagian yang tidak mendefinisikan hasil perhitungan korelasi. Ini bisa terjadi karena data MEI yang menggambarkan karakteristik dari Samudera Pasifik dimana ENSO teramati.

Penurunan tren yang cukup drastis pada tahun 2014-2015 dan menurunnya permukaan laut dari hasil regresi linier sejalan dengan fenomena El-Niño yang terjadi pada tahun yang sama. Pada penelitian L.Q. Avia dan I. Sofiati (2018) menjelaskan pada pertengahan Maret 2015 hingga akhir Juni 2015, fenomena El-Niño dimulai dengan intensitas yang lemah dan terus meningkat dengan intensitas yang kuat pada November 2015. Fenomena ini yang menyebabkan penurunan permukaan Laut Jawa.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Selama periode 2011 sampai dengan 2019 di Laut Jawa mengalami penurunan permukaan laut. Penurunan permukaan laut berdasarkan tren selama periode penelitian sebesar 28,4235 mm dengan laju -3,55 mm/tahun di laut Jawa. Fenomena ini dipengaruhi oleh ENSO, terutama pada tahun 2014-2015 saat El-Nino dengan intensitas yang kuat.
2. Koefisien korelasi data *Multivariate ENSO Index* (MEI) dengan SLA Cryosat-2 adalah -0,6451 yang menandakan korelasi memiliki hubungan cukup namun tidak searah. Semakin tinggi nilai MEI maka nilai SLA akan semakin rendah di Laut Jawa.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Pemilihan periode waktu pengamatan yang tepat untuk mengetahui kenaikan dan penurunan permukaan laut.
2. Dapat menggunakan data *in situ* untuk meningkatkan analisis di wilayah pesisir yang tidak tercakup oleh data altimeter.
3. Dapat menggunakan index parameter yang berbeda seperti SOI dan ONI untuk analisis dan uji korelasi terkait ENSO.

4. Dapat menggunakan metode lain untuk uji korelasi terhadap hasil penelitian.
5. Untuk pemerintah dapat mengambil tindakan dalam bentuk rencana tata ruang untuk mengantisipasi dampak kenaikan atau penurunan permukaan laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Andersen, O B, dan R Scharroo. “Range and Geophysical Corrections in Coastal Regions: And Implications for Mean Sea Surface Determination.” Dalam *Coastal Altimetry*, oleh S Vignudelli, A G Kostianoy, P Cipollini, & J Benveniste, 103-145. Berlin: Heidelberg: Springer-Verlag, 2011.
- Anjasmara, Ira M. *Kovarians dan Korelasi*. PPT, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- Avia, Lely Qodrita, dan Iis Sofiati. “Analysis of El Nino and IOD Phenomenon 2015/2016 and Their Impact on Rainfall Variability in Indonesia.” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 166. 2018.
- Badan Informasi Geospasial. *Badan Informasi Geospasial*. BIG. 15 January 2015. <https://big.go.id/content/berita/pentingnya-informasi-geospasial-untuk-menata-laut-indonesia> (diakses Juni 12, 2020).
- BAPPENAS. *Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap (ICCSR)*. BAPPENAS, 2009.
- Cazenave, Anny, dan William Llovel. “Contemporary Sea Level Rise.” *doi: 10.1146/annurev-marine-120308-081105*, 2010: *The Annual Review Science*, 145-173.
- Church, John A., Neil J. White, dan John R. Hunter. “Sea-Level Rise at Tropical Pacific and Indian Ocean Islands.” *Global and Planetary Change*, 2006: 155 - 168.

- Church, John A., Philip L. Woodworth, Thorkild Aarup, dan W. Stanley Wilson. *Understanding Sea-Level Rise and Variability*. Chichester: Wiley-Blackwell, 2010.
- Cleveland, R B, W S Cleeland, J. E. McRae, dan I Terpenning. "STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Base on Loess." *Journal of Official Statistics* 6(1), 1990: 3-73.
- ESA. *Cryosat Product Handbook*. London: University College London, 2012.
- Fu, Lee-Lueng, dan Anny Cazenave. *Satellite Altimetry and Earth Sciences*. 1st. San Diego: Academic Press, 2001.
- Gleisner, Hans. *Latitudinal Binning and Area-Weighted Averaging of Irregularly Distributed Radio Occultation Data*. GRAS SAFE Report 10, _: GRAS SAF Meteorology, 2011.
- Gordon, A L. "Oceanography of the Indonesian Seas and Their Throughflow ." *Oceanography* 18 (2005): 14-27.
- Handoko. *Satelit Altimetri dan Aplikasinya dalam Bidang Kelautan*. Pertemuan Imiah Tahunan I, Surabaya: Teknik Geodesi - ITS, 2004.
- Handoko, Eko Yuli. *Sea Level Studies in Indonesia from Improved Coastal Satellite Altimetry*. Porto: University of Porto, 2017.
- Handoko, Eko Yuli, Hariyadi, dan Anindya Wirasatriya. "The ENSO's Influence on the Indonesian Sea Level Observed Using Satellite Altimetry,1993-2016." *IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics*

and Remote Sensing Technology (AGERS). Jakarta, 2018.

- Handoko, Eko Yuli, Maria Joana Fernandes, dan Clara Lazaro. "Assessment of Altimetric Range and Geophysical Corrections and Mean Sea Surface Models—Impacts on Sea Level Variability around the Indonesian Seas." *Remote Sensing*, 2017: 9, 102: 1 - 32.
- Hinkle, Dennis E, William Wiersma, dan Stephen G Jurs. *Applied Statistics for the Behavioral Sciences, 5th Edition*. Houghton Mifflin , 2003.
- IPCC. *IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations*. London: University College and Center for Global Environmental Research, 1994.
- Karondia, L A, E Y Handoko, dan H Hapsari. "3D Modelling Analysis of Sea-Level Rise Impact in Semarang, Indonesia." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 389. 2019.
- Khasanah, Isna Uswatun, dan Ahmad Ridho Sastra. "Pengaruh Fenomena El-Nino dan La-Nina terhadap Perairan Sumatera Barat." *Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke - 4 . _*: Institut Teknologi Padang, 2017. 499 - 510.
- Khasanah, Isna Uswatun, Leni S. Heliani, dan Abdul Basith. *Pemanfaatan Data Multi Satelit Altimetri untuk Kajian Kenaikan Muka Air Laut Perairan Pulau Jawa dari Tahun 1995 s.d. 2014*. Tesis, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada, 2014.

- Mayer, Volker. *Cryosat-2 for Hydrological Purposes Data Processing, Visualization and Analysis*. Bachelor Thesis, Stuttgart: University of Stuttgart, 2013.
- Mertz, F., J.P. Dumont, dan S. Urien. *Baseline-C CryoSat Ocean Processor*. Paris: ESA, 2017.
- Mikhail, Edward M, dan Gordon Gracie. *Analysis and Adjustment of Survey Measurements*. New York: Van Nostrand Reinhold Co., 1981.
- Montgomery, Douglas C, Elizabeth A. Peck, dan G. Geoffrey Vining. *Introduction to Linear Regression Analysis 5th Edition*. New Jersey: Wiley: A John & Sons, Inc., 2012.
- NOAA. *Multivariate ENSO Index Version 2 (MEI.v2)*. 9 Desember 2019. <https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/> (diakses January 4, 2020).
- Passaro, M., S. Dinardo, G.D. Quartly, H.M. Snaith, J. Benveniste, P. Cipollini, B. Lucas. "Cross Calibrating ALES Envisat and Cryosat-2 Delay-Doppler: A Coastal Altimetry Study in The Indonesian Seas." *Advances in Space Research*, 2016: 58(3): 289–303.
- Sahagian, Dork. "Global Physical Effects of Anthropogenic Hydrological Alterations: Sea Level and Water Redistribution. ." *Global and Planetary Change*, 2000: 25(1–2): 39– 48.
- Scharroo, Remko. *RADS Data Manual*. Radar Altimeter Database System, 2018.

- Webb, Erica, dan Amanda Hall. *Geophysical Correction in Level 2 Cryosat Data Products*. European Space Agency(ESA), 2016.
- Wolter, Klaus, dan Michael S Timlin. “El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext).” *International Journal of Climatology* 31 (2011): 1074 - 1087.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan.”

LAMPIRAN

Lampiran 1. SLA Rata-Rata sub-cycle Laut Jawa
(desimal dinyatakan dengan notasi titik)

Rata-Rata MJD	Rata-Rata SSH (mm)	Rata-Rata SLA (mm)	Rata-Rata YYF
55577.2660024	31565.8791	285.1481	2011.0418247
55607.8007711	31622.1959	193.6927	2011.1254816
55639.8918239	31184.9622	164.4393	2011.2134023
55667.1811476	31552.3630	176.6155	2011.2881675
55699.0496561	32638.3874	203.0777	2011.3754785
55727.3055755	32149.8087	147.9084	2011.4528920
55757.8773550	32233.8999	127.0893	2011.5366503
55789.9883966	31489.7097	94.1476	2011.6246257
55818.3503239	30595.6029	75.5520	2011.7023297
55849.6358818	31838.4446	112.1594	2011.7880435
55880.3836821	32707.5043	125.9016	2011.8722841
55911.8320067	32505.8053	183.0681	2011.9584439
55943.0892180	31836.5393	287.6814	2012.0439596
55970.4719369	30228.0211	198.4912	2012.1187758
56003.0971821	32008.9236	276.1281	2012.2079158
56033.5983970	31552.0409	264.1781	2012.2912525
56064.2306175	31325.3583	242.4206	2012.3749470
56093.5217124	32054.7894	186.7198	2012.4549774
56123.0510866	31943.5059	88.4840	2012.5356587
56154.3389140	32026.1400	48.1762	2012.6211446
56186.1057311	31314.1613	63.9159	2012.7079392

56216.7264077	31974.7916	140.8295	2012.7916022
56247.2637778	32510.3391	200.8263	2012.8750376
56277.8704329	32585.3251	244.6962	2012.9586624
56309.1696001	31914.3401	209.9303	2013.0443003
56338.2688403	31901.5339	198.9977	2013.1240242
56367.0349562	32205.1191	165.2653	2013.2028355
56398.3534825	31519.5444	180.8844	2013.2886397
56427.8579570	29676.1117	257.3276	2013.3694739
56467.0501476	27508.8287	329.8045	2013.4768497
56489.1486433	31591.5592	222.7806	2013.5373935
56520.5592484	32411.4142	151.2887	2013.6234500
56550.9045174	32037.4571	130.0451	2013.7065877
56584.5556595	30816.3957	150.1739	2013.7987826
56611.9770025	32037.2355	154.8354	2013.8739096
56642.5660759	32135.8488	211.8438	2013.9577153
56672.7405425	32433.9831	202.2714	2014.0403851
56702.1919651	32134.6670	205.0281	2014.1210739
56732.8989273	33052.6451	177.5622	2014.2052025
56762.9754845	32499.3839	184.6904	2014.2876041
56793.4775277	32532.6417	199.2728	2014.3711713
56824.5119517	31826.6301	168.4616	2014.4561971
56855.1556053	31154.5506	143.1410	2014.5401523
56885.4722276	31620.8605	97.5013	2014.6232116
56915.6618333	32316.8316	61.0592	2014.7059228
56946.2781362	32942.1232	85.2634	2014.7898031
56976.3667960	31577.7691	169.7121	2014.8722378
57007.3739360	31562.6298	239.5807	2014.9571889
57038.1048917	32056.8935	245.3701	2015.0413833

57067.3252041	31833.3814	141.2226	2015.1214389
57097.1726881	32510.6916	131.1477	2015.2032128
57127.7883698	32658.2442	109.8676	2015.2870914
57158.4391282	31930.9588	140.6197	2015.3710661
57189.0715894	32041.4697	132.9030	2015.4549907
57219.4669448	31629.6471	94.4610	2015.5382656
57250.4481880	30770.9862	70.3459	2015.6231457
57281.7037581	31719.5499	20.0936	2015.7087774
57311.0863046	31673.0843	44.3290	2015.7892776
57341.3564193	32388.8783	54.2541	2015.8722094
57372.6419231	32337.5158	116.8312	2015.9579231
57403.4740935	31717.8125	142.2597	2016.0422789
57433.6758354	31311.0744	163.9679	2016.1247974
57463.7929374	31945.6116	136.9815	2016.2070845
57494.3467609	32156.1227	159.0549	2016.2905649
57524.2373805	32166.9654	208.6965	2016.3722333
57554.8685137	32226.3417	249.5518	2016.4559249
57585.4778316	31916.6961	178.9565	2016.5395569
57616.7117707	31325.4784	120.7824	2016.6248956
57647.9091333	32962.0760	164.0709	2016.7101342
57677.3819888	31371.5039	233.0197	2016.7906612
57707.8172147	31988.0825	279.2979	2016.8738175
57738.6980310	32311.0306	284.9522	2016.9581913
57769.7448735	32053.2151	258.4433	2017.0431366
57798.9032252	31216.9628	213.4825	2017.1230225
57829.1009687	31377.4781	144.3749	2017.2057561
57859.7229827	32011.9030	158.6289	2017.2896520
57888.8892119	31973.1633	174.9015	2017.3695595

57920.2678577	33066.7951	207.0036	2017.4555284
57950.7086491	32053.4803	170.0830	2017.5389278
57982.1559343	31616.8587	130.5266	2017.6250848
58012.6279088	31993.4332	109.4341	2017.7085696
58042.7217454	31459.1088	166.5598	2017.7910185
58073.6058213	31390.5706	160.6947	2017.8756324
58103.5700579	31053.8747	250.8735	2017.9577262
58134.2461342	32449.1091	218.7105	2018.0417702
58163.5686818	31933.9088	190.5229	2018.1221060
58193.8795897	32245.4981	175.9867	2018.2051496
58224.2654747	31756.1058	208.3941	2018.2883986
58254.4930465	31250.4713	210.4344	2018.3712138
58285.3586380	32096.0608	129.4823	2018.4557771
58315.7180273	32070.6827	66.5039	2018.5389535
58347.8510064	31551.3971	55.9576	2018.6269891
58376.9811866	32357.8789	67.2288	2018.7067978
58407.4120470	31994.3522	166.5281	2018.7901700
58438.7650193	31455.6154	207.6840	2018.8760686
58469.5829488	31377.8752	195.8999	2018.9605012
58499.5654614	32019.6837	130.8227	2019.0426451
58528.6934405	31514.4467	122.9916	2019.1224478
58558.8553617	32216.4650	82.5361	2019.2050832
58587.2301768	31693.0463	117.8930	2019.2828224

Lampiran 2. Hasil Dekomposisi SLA Sub-Cycle
(desimal dinyatakan dengan notasi titik)

YYF	Raw Data (mm)	Trend (mm)	Seasonal (mm)	Remainder (mm)
2011.0418247	285.1481	175.4592	56.3654	53.3235
2011.1254816	193.6927	172.9920	56.3654	-35.6647
2011.2134023	164.4393	170.5248	18.0957	-24.1812
2011.2881675	176.6155	168.8482	56.3654	-48.5982
2011.3754785	203.0777	167.1716	18.0957	17.8104
2011.4528920	147.9084	166.2158	56.3655	-74.6729
2011.5366503	127.0893	165.2601	18.0957	-56.2665
2011.6246257	94.1476	165.1023	56.3655	-127.3202
2011.7023297	75.5520	164.9445	18.0957	-107.4882
2011.7880435	112.1594	168.7784	18.0957	-74.7147
2011.8722841	125.9016	172.6123	18.0957	-64.8064
2011.9584439	183.0681	176.2187	-0.3668	7.2163
2012.0439596	287.6814	179.8251	56.3654	51.4910
2012.1187758	198.4912	180.2051	56.3654	-38.0793
2012.2079158	276.1281	180.5851	56.3654	39.1776
2012.2912525	264.1781	180.9214	18.0957	65.1610
2012.3749470	242.4206	181.2577	56.3654	4.7974
2012.4549774	186.7198	180.2859	18.0957	-11.6618
2012.5356587	88.4840	179.3140	56.3655	-147.1955
2012.6211446	48.1762	175.3089	18.0957	-145.2284
2012.7079392	63.9159	171.3037	56.3655	-163.7533
2012.7916022	140.8295	169.9730	18.0957	-47.2392
2012.8750376	200.8263	168.6422	18.0957	14.0884

2012.9586624	244.6962	174.9776	18.0957	51.6228
2013.0443003	209.9303	181.3130	56.3654	-27.7481
2013.1240242	198.9977	189.2919	56.3654	-46.6596
2013.2028355	165.2653	197.2708	56.3654	-88.3709
2013.2886397	180.8844	200.3133	18.0957	-37.5246
2013.3694739	257.3276	203.3558	56.3654	-2.3936
2013.4768497	329.8045	202.7113	18.0957	108.9974
2013.5373935	222.7806	202.0669	56.3655	-35.6518
2013.6234500	151.2887	200.4280	18.0957	-67.2350
2013.7065877	130.0451	198.7890	56.3655	-125.1094
2013.7987826	150.1739	194.4248	18.0957	-62.3466
2013.8739096	154.8354	190.0605	18.0957	-53.3208
2013.9577153	211.8438	183.2221	18.0957	10.5260
2014.0403851	202.2714	176.3837	56.3654	-30.4777
2014.1210739	205.0281	171.1324	56.3654	-22.4697
2014.2052025	177.5622	165.8811	56.3654	-44.6843
2014.2876041	184.6904	163.5437	18.0957	3.0510
2014.3711713	199.2728	161.2064	56.3654	-18.2990
2014.4561971	168.4616	160.7070	18.0957	-10.3411
2014.5401523	143.1410	160.2076	56.3655	-73.4321
2014.6232116	97.5013	158.4474	18.0957	-79.0419
2014.7059228	61.0592	156.6873	56.3655	-151.9936
2014.7898031	85.2634	152.8002	18.0957	-85.6325
2014.8722378	169.7121	148.9132	18.0957	2.7032
2014.9571889	239.5807	144.8314	18.0957	76.6535
2015.0413833	245.3701	140.7497	56.3654	48.2550
2015.1214389	141.2226	136.8941	56.3654	-52.0369

2015.2032128	131.1477	133.0384	56.3654	-58.2561
2015.2870914	109.8676	127.1923	18.0957	-35.4204
2015.3710661	140.6197	121.3462	56.3654	-37.0919
2015.4549907	132.9030	114.2413	18.0957	0.5660
2015.5382656	94.4610	107.1364	56.3655	-69.0409
2015.6231457	70.3459	104.3204	18.0957	-52.0703
2015.7087774	20.0936	101.5044	56.3655	-137.7763
2015.7892776	44.3290	104.2739	18.0957	-78.0406
2015.8722094	54.2541	107.0434	18.0957	-70.8850
2015.9579231	116.8312	113.6722	18.0957	-14.9367
2016.0422789	142.2597	120.3010	56.3654	-34.4067
2016.1247974	163.9679	130.7293	56.3654	-23.1268
2016.2070845	136.9815	141.1576	56.3654	-60.5416
2016.2905649	159.0549	155.9065	18.0957	-14.9473
2016.3722333	208.6965	170.6553	56.3654	-18.3242
2016.4559249	249.5518	184.1727	18.0957	47.2834
2016.5395569	178.9565	197.6901	56.3655	-75.0991
2016.6248956	120.7824	204.1438	18.0957	-101.4571
2016.7101342	164.0709	210.5974	56.3655	-102.8920
2016.7906612	233.0197	210.1912	18.0957	4.7328
2016.8738175	279.2979	209.7850	18.0957	51.4172
2016.9581913	284.9522	206.3062	18.0957	60.5503
2017.0431366	258.4433	202.8274	-0.3668	55.9827
2017.1230225	213.4825	198.5375	56.3654	-41.4203
2017.2057561	144.3749	194.2475	56.3654	-106.2380
2017.2896520	158.6289	189.2793	56.3654	-87.0158
2017.3695595	174.9015	184.3111	18.0957	-27.5053

2017.4555284	207.0036	181.0389	56.3654	-30.4008
2017.5389278	170.0830	177.7668	18.0957	-25.7795
2017.6250848	130.5266	177.8760	56.3655	-103.7148
2017.7085696	109.4341	177.9851	18.0957	-86.6468
2017.7910185	166.5598	178.8121	56.3655	-68.6178
2017.8756324	160.6947	179.6391	18.0957	-37.0401
2017.9577262	250.8735	176.4836	18.0957	56.2942
2018.0417702	218.7105	173.3280	18.0957	27.2867
2018.1221060	190.5229	168.1575	56.3654	-34.0000
2018.2051496	175.9867	162.9870	56.3654	-43.3657
2018.2883986	208.3941	160.3430	56.3654	-8.3143
2018.3712138	210.4344	157.6990	18.0957	34.6397
2018.4557771	129.4823	154.9194	56.3654	-81.8025
2018.5389535	66.5039	152.1398	18.0957	-103.7316
2018.6269891	55.9576	146.3430	56.3655	-146.7509
2018.7067978	67.2288	140.5462	18.0957	-91.4131
2018.7901700	166.5281	135.0841	56.3655	-24.9215
2018.8760686	207.6840	129.6219	18.0957	59.9663
2018.9605012	195.8999	124.5210	18.0957	53.2832
2019.0426451	130.8227	119.4200	18.0957	-6.6930
2019.1224478	122.9916	114.1071	56.3654	-47.4808
2019.2050832	82.5361	108.7941	56.3654	-82.6234
2019.2828224	117.8930	103.1816	56.3654	-41.6541

Lampiran 3. Hasil Dekomposisi SLA *Bimonthly*
(desimal dinyatakan dengan notasi titik)

YYF	Raw Data (mm)	Trend (mm)	Seasonal (mm)	Remainder (mm)
2011.0823545	247.7752	165.2328	43.2253	39.3171
2011.1502567	178.2452	164.211	43.2253	-29.1911
2011.2444970	176.4238	163.1892	1.4586	11.7760
2011.3254697	179.1416	163.0404	43.2253	-27.1241
2011.4123663	189.2448	162.8915	1.4586	24.8947
2011.4957008	133.9814	163.5622	43.2253	-72.8061
2011.5798699	120.4735	164.2328	1.4586	-45.2180
2011.6652170	80.4288	165.6916	43.2253	-128.4881
2011.7547970	67.9443	167.1503	1.4586	-100.6646
2011.8319214	126.5469	171.6433	1.4586	-46.5551
2011.9150656	129.5152	176.1364	1.4587	-48.0799
2011.9951750	240.0262	179.0421	7.5686	53.4155
2012.0756637	264.3389	181.9477	43.2252	39.1659
2012.1808764	224.0648	182.2521	43.2253	-1.4125
2012.2493895	315.2274	182.5564	43.2253	89.4458
2012.3295837	257.4466	183.1651	1.4586	72.8228
2012.4129836	209.0536	183.7739	43.2253	-17.9457
2012.4968954	147.5527	181.8261	1.4586	-35.7320
2012.5810071	61.7289	179.8783	43.2253	-161.3747
2012.6663482	31.7671	175.0565	1.4586	-144.7480
2012.7488286	97.8098	170.2348	43.2253	-115.6503
2012.8326318	186.3960	169.8797	1.4586	15.0576
2012.9161989	228.1739	169.5247	1.4586	57.1906

2012.9952683	199.5316	176.4561	1.4587	21.6168
2013.0804962	246.8420	183.3876	43.2252	20.2292
2013.1641539	180.4611	190.108	43.2253	-52.8722
2013.2446978	151.3658	196.8285	43.2253	-88.6880
2013.3289721	195.4849	198.3524	1.4586	-4.3261
2013.3993810	323.7272	199.8762	43.2253	80.6257
2013.5075256	245.4041	198.8869	1.4586	45.0586
2013.5792331	192.5581	197.8976	43.2253	-48.5648
2013.6653815	132.9681	196.1714	1.4586	-64.6619
2013.7412382	129.6203	194.4451	43.2253	-108.0502
2013.8315007	156.6572	190.4108	1.4586	-35.2122
2013.9169500	163.9079	186.3765	1.4586	-23.9272
2013.9975365	246.9855	180.1309	1.4587	65.3960
2014.0814436	178.2375	173.8853	43.2252	-38.8730
2014.1628064	196.5017	169.3178	43.2253	-16.0413
2014.2450177	181.0060	164.7503	43.2253	-26.9695
2014.3294855	218.9519	163.1929	1.4586	54.3004
2014.4152695	186.9488	161.6356	43.2253	-17.9121
2014.4978295	148.8447	160.9857	1.4586	-13.5996
2014.5796188	108.5978	160.3358	43.2253	-94.9633
2014.6640551	68.6637	157.508	1.4586	-90.3029
2014.7457513	61.5992	154.6802	43.2253	-136.3064
2014.8310550	147.4992	150.1962	1.4586	-4.1557
2014.9174936	200.8969	145.7123	1.4586	53.7260
2014.9985975	257.8176	142.0534	1.4587	114.3056
2015.0827493	191.5084	138.3945	43.2252	9.8887
2015.1664765	115.0866	134.3725	43.2253	-62.5112
2015.2448482	123.2171	130.3505	43.2253	-50.3587

2015.3261840	123.9070	123.9672	1.4586	-1.5188
2015.4094568	152.2895	117.584	43.2253	-8.5198
2015.4949463	104.4373	111.5081	1.4586	-8.5294
2015.5806362	92.0682	105.4321	43.2253	-56.5892
2015.6661627	27.8184	104.1035	1.4586	-77.7437
2015.7469936	37.2750	102.7749	43.2253	-108.7253
2015.8314861	52.2524	106.1961	1.4586	-55.4023
2015.9144731	84.0812	109.6172	1.4586	-26.9947
2015.9976103	152.2500	116.8306	1.4587	33.9607
2016.0822088	148.4763	124.044	43.2252	-18.7929
2016.1663369	132.2954	135.7177	43.2253	-46.6476
2016.2481198	150.6038	147.3914	43.2253	-40.0129
2016.3305109	158.0128	162.3189	1.4586	-5.7647
2016.4130828	254.9340	177.2463	43.2253	34.4624
2016.4970853	207.4311	189.2917	1.4586	16.6808
2016.5821031	145.9873	201.3371	43.2253	-98.5752
2016.6666149	149.8638	206.1733	1.4586	-57.7681
2016.7458683	198.1963	211.0094	43.2253	-56.0385
2016.8310466	251.3787	209.9311	1.4586	39.9889
2016.9140970	290.8794	208.8528	1.4586	80.5679
2016.9962272	269.6197	205.1142	1.4587	63.0469
2017.0820077	242.8087	201.3755	7.5686	33.8646
2017.1649780	159.8972	196.841	43.2252	-80.1691
2017.2464871	151.5055	192.3066	43.2253	-84.0263
2017.3302696	178.8424	187.5738	43.2253	-51.9567
2017.4114567	197.3774	182.8411	1.4586	13.0777
2017.4933444	191.0804	180.4553	43.2253	-32.6002
2017.5760789	140.2472	178.0696	1.4586	-39.2810

2017.6622102	135.5074	178.431	43.2253	-86.1489
2017.7487982	126.4581	178.7924	1.4586	-53.7929
2017.8328054	161.9010	178.2784	43.2253	-59.6028
2017.9140322	208.3729	177.7645	1.4586	29.1498
2018.0000843	237.1842	173.8071	1.4586	61.9185
2018.0811240	201.1609	169.8497	1.4587	29.8526
2018.1637274	179.9830	165.4894	43.2252	-28.7317
2018.2444924	183.8191	161.1292	43.2253	-20.5353
2018.3296784	198.6277	158.9579	43.2253	-3.5554
2018.4156523	177.7616	156.7866	1.4586	19.5164
2018.4968597	110.8021	153.0671	43.2253	-85.4903
2018.5768641	75.2606	149.3477	1.4586	-75.5457
2018.6620956	57.2092	143.0635	43.2253	-129.0797
2018.7470436	118.3097	136.7794	1.4586	-19.9283
2018.8299576	166.1859	130.7177	43.2253	-7.7572
2018.9153854	210.4863	124.6561	1.4586	84.3716
2018.9972651	177.3618	118.6439	1.4586	57.2593
2019.0804748	124.4823	112.6317	1.4587	10.3920
2019.1631736	96.5578	106.2058	43.2252	-52.8733
2019.2444891	78.2769	99.77994	43.2253	-64.7283

Lampiran 4. Variabilitas Permukaan Laut Jawa Tahun 2011 – 2019

(desimal dinyatakan dengan notasi titik)

Lintang (°)	Bujur (°)	Tren (mm)
-7.8	105.8	0
-7.8	106.8	0
-7.8	107.8	0
-7.8	108.8	0
-7.8	109.8	0
-7.8	110.8	0
-7.8	111.8	0
-7.8	112.8	0
-7.8	113.8	0
-7.8	114.8	0
-7.8	115.8	0
-6.8	105.8	0
-6.8	106.8	0.8
-6.8	107.8	-1.69
-6.8	108.8	-4.34
-6.8	109.8	-3.22
-6.8	110.8	-2.61
-6.8	111.8	-1.63
-6.8	112.8	-3.23
-6.8	113.8	-1.13
-6.8	114.8	-4.94
-6.8	115.8	-4.7
-5.8	105.8	0

-5.8	106.8	0.69
-5.8	107.8	-2.55
-5.8	108.8	-2.6
-5.8	109.8	-2.85
-5.8	110.8	-0.26
-5.8	111.8	-1.79
-5.8	112.8	-3.32
-5.8	113.8	-3.21
-5.8	114.8	-7.26
-5.8	115.8	-6.2
-4.8	105.8	0
-4.8	106.8	-1.61
-4.8	107.8	-2.71
-4.8	108.8	-1.97
-4.8	109.8	-3.9
-4.8	110.8	0.6
-4.8	111.8	0.5
-4.8	112.8	-2.06
-4.8	113.8	-2.82
-4.8	114.8	-7.41
-4.8	115.8	-9.4
-3.8	105.8	0
-3.8	106.8	-3.3
-3.8	107.8	-1.19
-3.8	108.8	4.06
-3.8	109.8	3.95
-3.8	110.8	4.16
-3.8	111.8	5.08

-3.8	112.8	5.18
-3.8	113.8	5.03
-3.8	114.8	4.78
-3.8	115.8	3.53
-2.8	105.8	0
-2.8	106.8	0
-2.8	107.8	0
-2.8	108.8	0
-2.8	109.8	0
-2.8	110.8	0
-2.8	111.8	0
-2.8	112.8	0
-2.8	113.8	0
-2.8	114.8	0
-2.8	115.8	0

“ Halaman ini sengaja dikosongkan.”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Palangkaraya, 18 Juli 1998 dengan nama Loly Kurnia Naibaho dan merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Pembina Kota Palangkaraya, SD Percobaan Kota Palanglaraya, SMP Negeri 2 Palangkaraya, SMA Negeri 2 Palangkaraya. Setelah menamatkan pendidikan formal, penulis melanjutkan kuliah S-1 di Departemen Teknik Geomatika,

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan ITS pada tahun 2016 yang terdaftar dengan NRP 03311640000001. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan akademik dan manajerial. Penulis sering mengikuti seminar dan kuliah tamu, terutama dalam bidang kegeomatikaan. Dalam bidang manajerial, penulis pernah menjadi staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HIMAGE-ITS 2017/2018, Sekretaris Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HIMAGE-ITS 2018/2019, dan Pemandu LKMM FTSP ITS. Selain berorganisasi, penulis juga aktif terjun dalam kepanitiaan nasional yaitu Bendahara Ini LHO!ITS 2018 dan Ketua Periode Gerigi ITS 2018. Penulis melaksanakan kerja praktik di Lembaga Penyelenggara Pelayanan Navigasi Penerbangan Indonesia (LPPNPI) atau AirNav Indonesia di bidang Teknik pada tahun 2019.