



TUGAS AKHIR - RG 141536

**ANALISA KENAIKAN MUKA AIR LAUT DI
PERAIRAN INDONESIA MENGGUNAKAN DATA
ALTIMETRI TOPEX/POSEIDON DAN JASON
SERIES TAHUN 1993-2018**

Reny Ariani
NRP 03311440000049

Dosen Pembimbing
Dr. Eko Yuli Handoko, ST., MT.
Ir. Yuwono, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG 141536

**ANALYSIS OF SEA LEVEL RISE AROUND
INDONESIA SEA USING ALTIMETRY DATA OF
TOPEX/POSEIDON AND JASON SERIES
(1993 - 2018)**

Reny Ariani
NRP 03311440000049

Supervisor
Dr. Eko Yuli Handoko, ST., MT.
Ir. Yuwono, MT.

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Environment, and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISA KENAIKAN MUKA AIR LAUT
DI PERAIRAN INDONESIA
MENGUNAKAN DATA ALTIMETRI
TOPEX/POSEIDON DAN JASON SERIES
TAHUN 1993-2018**

Nama Mahasiswa : Reny Ariani
NRP : 0331144000049
Departemen : Teknik Geomatika FTLSK – ITS
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Eko Yuli Handoko, ST., MT.
2. Ir. Yuwono, MT.

ABSTRAK

Kenaikan muka air laut (*sea level rise*) merupakan konsekuensi dari perubahan iklim yang memiliki dampak signifikan terhadap kehidupan sosial, ekonomi, dan infrastruktur, serta ancaman tenggelamnya kawasan pesisir Indonesia yang ditinggali oleh 60% penduduknya. Sejak akhir abad ke-19, perubahan kedudukan air laut diamati dari stasiun pasang surut di sepanjang garis pantai. Namun, pengamatan stasiun pasang surut memiliki keterbatasan dalam jumlah, distribusi, dan jangkauannya, serta adanya pengaruh land subsidence. Oleh karena itu, penelitian ini menganalisis tren kenaikan muka air laut Indonesia beserta sebarannya secara spasial menggunakan data pengamatan misi referensi satelit altimetri, yaitu Topex/Poseidon, Jason 1, Jason 2, dan Jason 3. Setelah dilakukan least square intercalibrated dan *a-seasonal-trend decomposition procedure based on loess* diketahui bahwa laju *sea level rise* di Indonesia $4,6 \pm 0,2$ mm/tahun pada periode tahun 1993-2018. Tren linier bernilai positif ini menunjukkan bahwa ketinggian muka laut di Indonesia akan terus meningkat dengan persamaan $y = 4,6x - 9133,5$. Dimana x

adalah *sea level anomaly* dalam mm, dan x adalah waktu dalam satuan tahun. Berdasarkan analisis sebaran *sea level rise* secara spasial dengan grid $3 \times 3^\circ$ diketahui bahwa nilai *sea level rise* tercepat terjadi di sekitar Pulau Madura dan Bali, serta sebagian Pulau Flores dengan kecepatan 7,4 mm/tahun. Sehingga berdasarkan hasil tersebut dapat dilakukan perencanaan pra-kejadian terhadap dampak dari *sea level rise* yang akan mendatang.

Kata Kunci— *altimetri, intercalibrated, sea level, loess*.

**ANALYSIS OF SEA LEVEL RISE
AROUND INDONESIA SEA
USING ALTIMETRY DATA
OF TOPEX/POSEIDON AND JASON SERIES
(1993 – 2018)**

Name : Reny Ariani
NRP : 0331144000049
Departement : Geomatics Engineering FTLSK – ITS
Supervisor : 1. Dr. Eko Yuli Handoko, ST., MT.
2. Ir. Yuwono, MT.

ABSTRACT

Sea level rise is consequence of climate change that has a significant impact on social life, economy and infrastructure, and threat of sinking Indonesia coastal areas inhabited by 60% of the population. Since the end of 19th centuries, changes in sea level have been observed from tidal stations along the coastline. However, observation of stations has limitations in the number, distribution, and range, also in the influence of land subsidence. Therefore, this study analyzes trending of sea level anomaly along Indonesia with spatial distribution using altimetry observation data, that are Topex/Poseidon, Jason 1, Jason 2, and Jason 3. After the least square intercalibrated and a-seasonal-trend decomposition based on loess note that velocity of sea level rise in Indonesia is 4.6 ± 0.2 mm/year in period 1993-2018. This positive linear trend indicates that is sea level in Indonesia will increase steadily with equation $y = 4.6 x - 9133.5$. Which y is sea level anomaly in millimeters and x is time in years. Based on spatial analysis using 3×3^0 grided indicates that the fastest velocity of sea level rise occurs around Madura and Bali Island, and also in Flores Sea with 7.4 mms/year rate. So that based on

these results can be planning on the impact of the upcoming sea level rise.

Keywords— altimetry, intercalibrated, sea level, loess.

**ANALISA KENAIKAN MUKA AIR LAUT
DI PERAIRAN INDONESIA
MENGUNAKAN DATA ALTIMETRI
TOPEX/POSEIDON DAN JASON SERIES
TAHUN 1993-2018**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RENY ARIANI
NRP. 0331144000049

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. **Dr. Eko Yuli Handoko, ST., MT.**

NIP. 19740727 200003 1 001

(*ekoyuli*)

2. **Ir. Yuwono, MT.**

NIP. 19590124 198502 1 001

(*Yuwono*)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Rasa syukur selalu tercurahkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisa Kenaikan Muka Air Laut di Perairan Indonesia Menggunakan Data Altimetri Topex/Poseidon dan Jason Series Tahun 1993-2018**” ini dapat terselesaikan dengan baik. Laporan ini merupakan hasil pelaksanaan penelitian penulis.

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

1. Sunar dan Sulastri, selaku orang tua penulis, beserta kedua kakak penulis yaitu Iin Juliani dan Erna Oktafianti yang selama pelaksanaan penelitian Tugas Akhir sampai selesainya pembuatan laporan ini selalu memberikan doa, semangat, kasih sayang, serta seluruh dukungan baik secara moral maupun material kepada penulis.
2. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, ST., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS.
3. Bapak Dr. Eko Yuli Handoko, ST., MT. selaku dosen pembimbing dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ir. Yuwono, MT. selaku dosen pembimbing dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini.
5. Laboran *Geodesy & Surveying* yang membantu lancarnya operasional kegiatan di laboratorium selama pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini.
6. Ragfinsa Budiaski Filaili selaku *partner* dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini.
7. Segenap dosen, tenaga kependidikan, serta karyawan Departemen Teknik Geomatika ITS yang telah memberikan banyak ilmu, saran, bantuan, dukungan, serta keramahan selama pelaksanaan penelitian Tugas Akhir di Departemen Teknik Geomatika ITS.

8. Teman-teman mahasiswa Teknik Geomatika ITS, terutama angkatan 2014 yang telah memberikan dukungan penuh dalam segala aspek kepada penulis.
9. Teman-teman UKM Cinta Rebana ITS dan PMII Sepuluh Nopember, terutama Siti Umroka, Naimatul Khoiroh, Ana Wulandari, dan Zuhrofatul Ulwiyah yang selalu memberikan dorongan, motivasi, semangat, dan segala bentuk dukungan kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.

Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta menjadi bagian kontribusi dalam perkembangan Ilmu Geodesi, khususnya di bidang pemanfaatan Satelit Altimetri. Di samping itu, adanya penelitian ini diharapkan mampu menjadi acuan bagi para peneliti, pemerintah, serta *stakeholder* terkait lainnya, dalam pengetahuan dan informasi mengenai kenaikan muka air laut di Indonesia. Disadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam laporan ini. Oleh karena itu, diharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak sebagai bahan evaluasi dalam penyusunan laporan penelitian ke depannya. Selanjutnya diucapkan terima kasih untuk semua pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUNG	i
COVER	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
HALAMAN PENGESAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Tujuan	7
1.5 Manfaat	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Kenaikan Muka Air Laut	10
2.2 Prinsip Dasar Satelit Altimetri	14
2.3 <i>Mean Sea Surface</i>	18
2.4 <i>Sea Level Anomaly</i>	19
2.5 <i>Dry Tropospheric Correction</i>	20
2.6 <i>Wet Tropospheric Correction</i>	21
2.7 <i>Ionospheric Correction</i>	22
2.8 <i>Sea State Bias</i>	23
2.10 Koreksi Pasang Surut (<i>Tides</i>)	26
2.11 Misi Topex/Poseidon dan Jason Series	27
2.12 <i>Intercalibrated Tandem Mission</i>	30
2.13 <i>Time Series Decomposition</i>	32
2.14 <i>Ordinary Least-Squares Regression</i>	37
2.15 Penelitian Sebelumnya	38
BAB III METODOLOGI	41
3.1 Lokasi Penelitian	41
3.2 Data dan Peralatan	42

3.2.1	Data	42
3.2.2	<i>Software</i>	42
3.3	Metodologi Penelitian	43
3.3.1	Pengumpulan Data	44
3.3.2	Penerapan Koreksi	45
3.3.3	Perhitungan SLA	48
3.3.4	<i>Intercalibrated</i>	48
3.3.5	<i>Time Series Decomposition</i>	49
3.3.6	Menghitung <i>Sea Level Rise</i>	49
3.3.7	Peta Persebaran <i>Sea Level Rise</i>	50
3.3.8	Analisis	51
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1	Penerapan Koreksi	53
4.2	Perhitungan Rata-rata <i>Sea Level Anomaly</i>	58
4.3	Perhitungan Bias dan <i>Intercalibrated</i>	60
4.4	Gridding Data <i>Sea Level Anomaly</i>	67
4.5	<i>Time Series Decomposition</i>	69
4.6	Rata-rata <i>Sea Level Rise</i> di Indonesia	74
4.7	Sebaran <i>Sea Level Rise</i> di Indonesia	78
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	81
5.1	Kesimpulan	81
5.2	Saran	81
	DAFTAR PUSTAKA	83
	LAMPIRAN A	91
	LAMPIRAN B	105
	LAMPIRAN C	107
	BIODATA PENULIS	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Faktor Penyebab <i>Global Sea Level Rise</i>	11
Gambar 2.2 Ancaman <i>Sea Level Rise</i> di Pesisir.....	13
Gambar 2.3 Dua Pendekatan dalam Pengamatan <i>Sea Level Rise</i>	14
Gambar 2.4 Prinsip Dasar Satelit Altimetri.....	16
Gambar 2.5 Pengukuran Misi Topex/Poseidon, Jason-1, dan Jason-2 Terputus Akibat Bias.	31
Gambar 2.6 Tipe Pola Data <i>Time Series</i>	33
Gambar 2.7 Dekomposisi Data <i>Time Series</i>	35
Gambar 3.1 <i>Ground Track</i> Satelit Jason di Indonesia. (Sumber: Centre National d'Etudes Spatiales 2016).....	41
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir.....	43
Gambar 4.1 <i>Script</i> Pembacaan Data netCDF <i>Format File</i>	54
Gambar 4.2 <i>Script</i> Perhitungan Rata-rata SLA dan Waktu.....	58
Gambar 4.3 Grafik <i>Sea Level Anomaly</i> Sebelum Diinterkalibrasi.	59
Gambar 4.4 (a) Tandem Misi Topex/Poseidon dan Jason 1 (b) Tandem Misi Jason 1 dan Jason 2 (c) Tandem Misi Jason 1 dan Jason 3.....	64
Gambar 4.5 Grafik <i>Sea Level Anomaly</i> Setelah Diinterkalibrasi.	66
Gambar 4.6 <i>Script</i> untuk Gridding Data.	68
Gambar 4.7 Grid 3x3 Lokasi Penelitian.	69
Gambar 4.8 <i>Script STL Decomposition</i> Menggunakan R <i>Software</i>	70
Gambar 4.9 Hasil <i>Time Series Decomposition</i>	71
Gambar 4.10 <i>Seasonal Mean Sea Level Anomaly</i>	72
Gambar 4.11 <i>Zoom</i> Komponen <i>Seasonal</i>	72
Gambar 4.12 <i>Remainder Mean Sea Level Anomaly</i>	73
Gambar 4.13 Rata-rata <i>Sea Level Rise</i> Indonesia.....	75
Gambar 4.14 <i>Sea Surface Temperature Anomaly</i> pada Agustus dan September Tahun 1980 to 2008.	75

Gambar 4.16 *Script Function Ordinary Least Square Regression.*
.....76

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Topex/Poseidon dan Jason Series.....	29
Tabel 3.1 Parameter Model Koreksi.....	47
Tabel 4.1 Sampel Data Parameter Koreksi Altimetri.....	55
Tabel 4.2 Sampel Hasil Perhitungan <i>Sea Level Anomaly</i>	57
Tabel 4.3 Perhitungan Bias antara Topex/Poseidon dan Jason 1	61
Tabel 4.4 Perhitungan Bias antara Jason 1 dan Jason 2	62
Tabel 4. 5 Perhitungan Bias antara Jason 2 dan Jason 3	63
Tabel 4.6 Uji Statistika Hasil Regresi <i>Sea Level Anomaly</i>	77

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanasan global merupakan akibat dari gas rumah kaca di atmosfer, termasuk uap air (H_2O), karbondioksida (CO_2), metana (CH_4), dan *chlorofluorocarbons* (CFC) yang berasal dari aktivitas manusia. Sedangkan atmosfer memiliki hubungan yang erat dengan laut. Adanya hubungan ini telah ditunjukkan dalam simulasi variabilitas sistem iklim (Jochum dan Murtugudde 2005). Oleh karena itu, perubahan yang terjadi di atmosfer memiliki pengaruh yang kuat terhadap keadaan laut. Good (2007) melaporkan dalam penelitiannya bahwa lautan menyerap 93% panas dari pemanasan global (Stocker dkk. 2013), dan suhu panas ini mengalami kenaikan pada periode Januari 1985 sampai Desember 2004 dengan nilai tren sebesar $0,18^{\circ}C$ per dekade pada waktu siang dan $0,17^{\circ}C$ per dekade pada waktu malam.

Secara teori fisika, telah diketahui bahwa perubahan suhu air mempengaruhi variasi permukaan laut. Hal ini diakibatkan karena saat air memanaskan, air akan mengembang dan volumenya meningkat. Selain itu, meningkatnya suhu global menyebabkan pencairan es di kutub. Bertambahnya volume air laut akibat ekspansi termal dan pencairan es di kutub tersebut mengakibatkan naiknya kedudukan permukaan laut (Milne dkk. 2009). Tren kenaikan permukaan laut global berbanding lurus dengan tren kenaikan suhu global. Sebuah studi Maret 2016 menemukan bahwa permukaan laut meningkat pada tingkat tertinggi dalam 3000 tahun, percepatan terjadi oleh perubahan iklim. Studi ini menemukan bahwa pada zaman pra-industri, permukaan laut tidak pernah naik lebih dari 76 mm dalam rata-rata 2000 tahun. Sebaliknya, pada abad ke-20 saja, permukaan laut naik 140 mm (Kopp dkk. 2016). Catatan altimetri menunjukkan kecepatan atau tren kenaikan muka

air laut secara global sebesar 3,32 mm/tahun. Namun pada kenyataannya kenaikan muka air laut di seluruh dunia tidak homogen. Perubahan permukaan laut regional di sebagian besar wilayah laut sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor yang bervariasi secara spasial, seperti pemanasan lautan, respon dinamis samudra, efek bumi padat, serta gravitasi (Slangen dkk. 2011).

Berkaitan dengan fenomena kenaikan muka air laut, diperkirakan bahwa 23% dari populasi dunia hidup dalam jarak 100 km dari pantai dan kurang dari 100 m di atas permukaan laut. Kepadatan populasi di wilayah pesisir sekitar tiga kali lebih tinggi daripada rata-rata global (Small dan Nicholls 2003). Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan muka air laut (*sea level rise*) mampu menjadi masalah serius bagi negara-negara maritim, salah satunya di Indonesia. Kenaikan air laut dapat menyebabkan penggenangan daerah dataran rendah, banjir rob, erosi pantai, dan intrusi air laut ke akuifer (Nicholls 2010). Selain itu, kenaikan muka air laut memiliki dampak signifikan terhadap sosio-ekonomi nasional, infrastruktur dan lingkungan, serta ancaman hilangnya lahan dan ekosistem di sekitar wilayah pesisir (McGranahan dkk. 2007).

Aktivitas di wilayah pesisir Indonesia memiliki beberapa nilai yang sangat tinggi secara sosial dan ekonomi, karena Indonesia memiliki garis pantai terpanjang kedua di dunia setelah Kanada (202.080 km). Berdasarkan data terbaru Badan Informasi Geospasial (BIG) pada tahun 2013 yang merujuk pada hasil telaah teknik pemetaan Tim Kerja Pembakuan Nama Pulau, Perhitungan Garis Pantai dan Luas Wilayah Indonesia, disebutkan bahwa total panjang garis pantai Indonesia mencapai 99.093 km dengan 75% wilayah negara adalah wilayah perairan. Wilayah perairan ini terdiri dari wilayah laut (perairan pedalaman, kepulauan, dan laut teritorial) seluas 3,351 juta km², serta wilayah perairan Zona Ekonomi Eksklusif dan landas kontinen seluas 2,936 juta km².

Di samping itu, 25% wilayahnya terdiri dari 13.466 pulau (BIG dan MAPIPTEK 2016). Kondisi ini menjadikan Indonesia memiliki potensi sumber daya pesisir yang sangat besar di berbagai sektor, seperti perikanan, pariwisata, energi, pertanian, dan lainnya. Selain itu, pulau terluar menjadi tempat dimulainya perhitungan Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) yang mampu memberikan Indonesia hak untuk memanfaatkan segala potensi sumber daya alam sejauh 200 mil dari pulau terluar. Oleh sebab itu, jika sebuah pulau terluar hilang, maka Indonesia akan kehilangan banyak potensi sumber daya alam yang dapat dikuasainya.

Selain itu, dampak sosial akibat kenaikan muka air laut di Indonesia juga memerlukan perhatian khusus. Hal ini dikarenakan 60% penduduk Indonesia tinggal di kawasan pesisir (Dahuri dkk. 2008). Sebagian wilayah pesisir merupakan kota-kota besar, dan sebagian lainnya juga digunakan sebagai dermaga atau penghubung antar pulau, sehingga infrastruktur di wilayah pesisir bernilai tinggi. Oleh karena itu, dampak yang signifikan dari adanya kenaikan muka air laut akan menjadi permasalahan jangka panjang yang sangat serius bagi Indonesia.

Terlepas dari hal-hal yang telah disebutkan, wilayah Indonesia memiliki lokasi yang unik secara geografis dan geofisika. Indonesia berada antara Samudera Hindia dan Samudera Pasifik, serta antara Benua Asia dan Benua Australia. Hal ini menyebabkan dinamika perairan Indonesia dipengaruhi oleh keterkaitan yang kompleks antara beberapa faktor, utamanya adalah sistem angin muson, *Indian Ocean Dipole* (IOD), dan *El Nino Southern Oscillation* (ENSO). Selain itu, perairan Indonesia juga dipengaruhi oleh gelombang Kelvin dan Arus Lintas Indonesia (Tubalawony 2008). Karakteristik perairan Indonesia inilah yang menjadikan fenomena yang terjadi di laut Indonesia pada masa lalu dan masa mendatang menjadi penting untuk dipelajari.

Pengamatan perubahan kedudukan air laut pertama dilakukan dengan memantau melalui stasiun pasang-surut pada abad ke-18. Pengamatan stasiun pasang surut dilakukan di sepanjang garis pantai (Church dan White 2011). Namun, pengamatan stasiun pasang surut memiliki keterbatasan dalam jumlah, distribusi, dan jangkauan. Selain itu, pengamatan stasiun pasang surut akan menghasilkan perubahan kedudukan relatif. Adanya dampak lokal seperti pergerakan tanah secara vertikal dan karakteristik pasang surut lokal juga menjadikan pengamatan stasiun pasang surut memiliki akurasi yang kurang baik apabila tidak dikoreksi terhadap pemantauan pergerakan tanahnya menggunakan GPS (Woppelmann dan Marcos 2016).

Oleh karena itu, munculnya era satelit altimetri membawa revolusi dalam pengamatan variabilitas permukaan laut. Cakupan global satelit altimetri memberi kemampuan untuk memantau lautan, dan tidak hanya di sepanjang garis pantai. Akurasi satelit altimetri memungkinkan pengamatan lautan global dalam catatan jangka panjang. Pada tahun 1992, NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) dan CNES (*Centre National d'Etudes Spatiales*) meluncurkan misi gabungan TOPEX/Poseidon dan kemudian pada tahun 2001 meluncurkan misi lanjutan yaitu satelit Jason-1. Pada tahun 2008 diluncurkan satelit Jason-2/OSTM dengan tambahan bantuan dari EUMETSAT (*Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*) dan NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), kemudian dilanjut dengan misi satelit Jason 3. Misi satelit Jason Series ini mampu mengukur tinggi permukaan laut di sepanjang jalur permukaan yang sama dengan periode orbit yang berulang dalam 9,916 hari di ketinggian sekitar 1.336 km. Catatan data jangka panjang ini membantu untuk studi pengamatan muka laut yang presisi secara spasial maupun temporal (Nerem dkk. 2010).

Penelitian sebelumnya mengenai pengamatan tren kedudukan permukaan laut pernah dilakukan oleh Yugi Limantara yang berjudul “Analisis Sea Level Rise Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-2 Periode 2008-2012”. Dalam penelitian tersebut dilakukan analisis terhadap tren kenaikan muka air laut di perairan Utara dan Selatan Pulau Jawa (Limantara dkk. 2013). Akan tetapi tren yang ditunjukkan dalam jangka waktu hanya 4 tahun belum mampu menggambarkan sinyal-sinyal periodik atau variabilitas permukaan laut Indonesia secara akurat. Sehingga pada penelitian ini dilakukan analisis menggunakan data jangka panjang dari satelit referensi yaitu Topex/Poseidon dan Jason Series selama 25 tahun agar didapatkan tren yang mampu menggambarkan variabilitas laut di Indonesia secara lebih detail. Penelitian ini menggunakan data altimetri dari *Radar Altimeter Database System* (RADS). Penggunaan data yang murni hanya melibatkan data altimetri tanpa data *in situ* ini didasarkan pada hasil penelitian L. Fenoglio-Marc berjudul “Sea Level Change and Vertical Motion from Satellite Altimetry, Tide Gauges and GPS in the Indonesian Region” yang menunjukkan bahwa nilai pengamatan dari data satelit altimetri dan data *in situ* stasiun pasang surut memiliki korelasi yang sangat kuat. Hal tersebut berarti bahwa pengukuran stasiun pasang surut mampu meningkatkan kualitas data pengamatan altimetri, namun peningkatan yang ditunjukkan tidak terlalu signifikan. Sehingga dalam cakupan yang luas, penggunaan data satelit altimetri saja sudah mampu menggambarkan kedudukan absolut permukaan laut yang konsisten (Fenoglio-Marc dkk. 2010).

Sella L. Nurmaulia juga pernah melakukan studi pengamatan laut di Indonesia berjudul “Long-Term Sea Level Change From Satellite Altimetry and Tide Gauges in the Indonesian Region”. Dalam penelitiannya dinyatakan bahwa ketidakstabilan *reference level* menjadikan

perekaman data menggunakan stasiun pasang surut sulit dilakukan. Hal ini dikarenakan adanya *co-seismic displacement* akibat gempa bumi Sumatra Andaman tahun 2004. Karakteristik lempeng Indonesia yang rentan terhadap gempa bumi dan pergerakan lempeng lainnya, menjadikan data pengamatan satelit altimetri merupakan instrumen yang menjanjikan untuk pengamatan laut di Indonesia (Nurmaulia, Fenoglio-Mark, dan Becker 2010).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana tren rata-rata kenaikan muka air laut Indonesia selama periode tahun 1993-2018 dari data pengamatan satelit altimetri Topex/Poseidon dan Jason Series?
- b. Bagaimana sebaran secara spasial kenaikan muka air laut Indonesia selama periode tahun 1993-2018 dari data pengamatan satelit altimetri Topex/Poseidon dan Jason Series?

1.3 Batasan Masalah

Batasan permasalahan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pengamatan satelit altimetri Topex/Poseidon dan Jason Series (Jason 1, Jason 2, Jason 3) tahun 1993-2018.
- b. Studi kasus dalam penelitian ini adalah perairan laut di Indonesia dan sekitarnya.
- c. *Software* yang digunakan untuk pengolahan data dalam penelitian ini adalah Matlab R2013, R Program, ArcGIS 10.3, serta *software* untuk melakukan *gridding* data.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Analisis tren rata-rata kenaikan muka air laut Indonesia selama periode tahun 1993-2018 dari data pengamatan satelit altimetri Topex/Poseidon dan Jason Series.
- b. Analisis tren kenaikan muka air laut Indonesia secara spasial selama periode tahun 1993-2018 dari data pengamatan satelit altimetri Topex/Poseidon dan Jason Series.

1.5 Manfaat

Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Melalui penelitian ini diharapkan dapat membantu memberikan informasi mengenai kenaikan muka air laut (*sea level rise*) secara efektif dan efisien guna perkembangan keilmuan dalam pemantauan fenomena variabilitas permukaan laut Indonesia.
- b. Melalui penelitian ini diharapkan dapat diketahui wilayah pesisir di Indonesia yang rawan menjadi dampak oleh kejadian kenaikan muka air laut di Indonesia berdasarkan peta sebaran *sea level rise*, sehingga dapat dijadikan informasi dan pedoman dalam perencanaan mitigasi oleh *stakeholder* terkait dari masing-masing wilayah rawan terdampak.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Teknologi satelit altimetri merupakan salah satu teknologi penginderaan jauh yang digunakan untuk mengamati dinamika topografi permukaan laut yang terferensi terhadap suatu bidang tertentu. Bidang tertentu tersebut dapat berupa suatu bidang referensi tinggi yaitu ellipsoid, geoid, ataupun *mean sea surface*. Dalam penggunaannya bidang-bidang referensi tersebut menjadi acuan untuk menentukan kedudukan muka air laut. Adapun pemilihan bidang referensi tinggi tersebut disesuaikan dengan tujuan pemanfaatannya (Chelton dkk. 2001). Pada saat ini secara umum sistem satelit altimetri mempunyai tiga obyek pemanfaatan ilmiah jangka panjang, yaitu sebagai berikut:

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

Satelit altimetri tidak hanya bermanfaat untuk pemantauan perubahan *global mean sea level*, tetapi juga akan bermanfaat untuk beberapa aplikasi geodetik dan oseanografi seperti yang dijelaskan oleh Abidin (2008), yaitu sebagai berikut:

- a. Penentuan topografi permukaan laut (SST)
- b. Penentuan topografi permukaan es
- c. Penentuan geoid di wilayah lautan
- d. Penentuan karakteristik arus
- e. Penentuan *significant wave height*
- f. Studi pasang surut di lepas pantai
- g. Penentuan kecepatan angin di atas permukaan laut
- h. Penentuan batas wilayah laut dan es
- i. Studi fenomena El Nino
- j. Manajemen sumber daya laut
- k. Unifikasi datum tinggi antar pulau.

2.1 Kenaikan Muka Air Laut

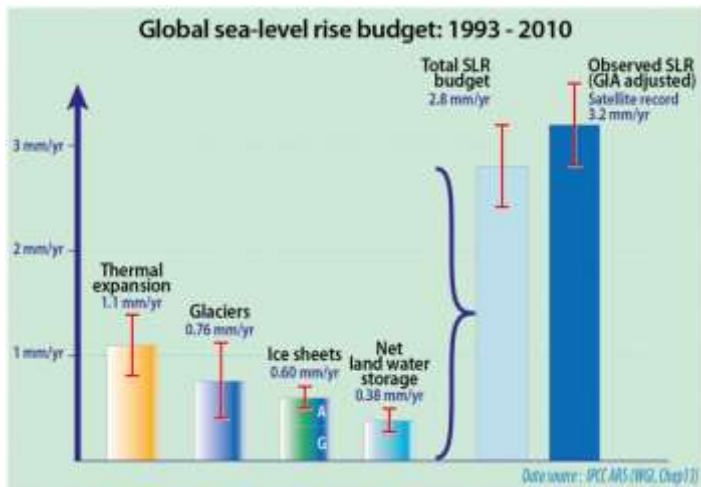
Sea level rise (SLR) atau kenaikan muka air laut merupakan peningkatan volume air laut yang disebabkan oleh faktor-faktor kompleks. *Sea level rise* pada mulanya merupakan rangkaian proses pasang surut air laut. Namun, saat ini semakin tingginya muka air laut bukan lagi hanya karena proses dari pasang surut air laut tetapi juga pengaruh dari perubahan iklim global (Ablain dkk. 2015).

Sea level rise adalah salah satu variabel iklim penting yang berkontribusi pada karakterisasi iklim Bumi. Permukaan laut menjadi indikator yang baik dari perubahan yang terjadi pada properti di atas air laut dan di dalam sirkulasi laut itu sendiri. Sehingga, perubahan kedudukan permukaan air laut (*sea level rise*) merupakan indeks perubahan dan variabilitas iklim yang sangat sensitif. Kenaikan muka air laut dapat dideteksi dari *sea level anomaly* (SLA) yang didapat dari pengamatan satelit altimetri, yang saat ini akurasi mencapai sentimeter (Ablain, dkk. 2015).

Kenaikan muka air laut merupakan ancaman berat bagi penduduk dan infrastruktur di wilayah pesisir. Daerah-daerah pesisir ini menyajikan tingkat pertumbuhan yang cepat dalam populasi dan aset ekonomi. Selain itu, wilayah pesisir mampu meningkatkan urbanisasi dan mempengaruhi kerentanan mereka. Oleh karena itu, kenaikan muka air laut akan memiliki dampak lingkungan dan sosio-ekonomi yang signifikan (Church dan White 2011). Kerentanan sistem ini dapat dikaitkan dengan peristiwa jangka pendek dan juga *decadal* atau perubahan iklim jangka panjang. Sebagai evolusi dari kondisi permukaan laut rata-rata, kenaikan muka air laut dapat menyebabkan banjir wilayah pesisir, naiknya air laut ke akuifer, serta tenggelamnya pulau-pulau kecil yang memiliki nilai ekonomi dan ekologi tinggi (Sanchez-Arcilla dkk. 2016).

Alasan-alasan yang telah diuraikan di atas menjadikan kedudukan muka air laut secara rutin digunakan untuk

mewakili keadaan laut global jangka panjang. Oleh karena itu, sudah diketahui bahwa sejak puncak zaman es 18.000 tahun yang lalu, sudah terjadi peningkatan ketinggian muka air laut setinggi 120 meter. Kenaikan tertinggi terjadi sebelum 6.000 tahun yang lalu. Setelah 3000 tahun yang lalu sampai abad ke-19 kenaikannya 0,1-0,2 mm/tahun, kemudian dari tahun 1900 kenaikannya 1-3 mm/tahun. Pada tahun 1992 satelit altimetri mengindikasikan laju kenaikan muka air laut sebesar 3 mm/tahun. Abad ke-20 tinggi muka air laut di seluruh dunia telah meningkat 10-25 cm (Ablain dkk. 2015). Secara umum, telah diterima bahwa permukaan laut global meningkat dari waktu ke waktu. Laju kenaikan muka air laut sedikit lebih cepat sejak awal 1990-an daripada selama dekade sebelumnya (Church dan White 2011).



Gambar 2.1 Faktor Penyebab *Global Sea Level Rise*.
(Sumber: Stocker dkk. 2013)

Faktor-faktor utama yang menyebabkan kenaikan permukaan laut global saat ini adalah ekspansi termal dari air laut dan hilangnya massa es di kutub gletser gunung dan es

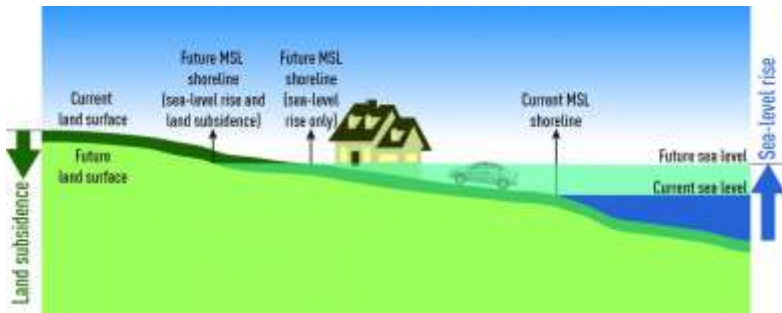
di Greenland dan Antartika, serta melelehnya *permafrost*. Kontribusi ini bervariasi dalam menanggapi variabilitas iklim alam dan perubahan iklim global yang disebabkan oleh emisi gas rumah kaca. Perubahan pada jumlah curah hujan dan penguapan atau limpasan dan cadangan air daratan juga merupakan faktor kenaikan permukaan laut, namun kontribusinya sangat kecil (Stocker dkk. 2013).

Kenyataannya perubahan permukaan laut tidak homogen secara temporal maupun spasial (Fenoglio-Marc dkk. 2010). Sementara di wilayah laut tertentu permukaan laut telah naik (hingga 20 mm/tahun di beberapa tempat), di tempat lainnya telah jauh dari nilai tersebut. Perbedaan-perbedaan ini terjadi secara regional. Perbedaan laju kenaikan muka air laut secara spasial ini disebabkan oleh pengaruh arus laut global dan lokal. Hilangnya massa es kutub dan ekspansi termal laut sebagai respon terhadap pemanasan laut dan perubahan densitas yang terkait dengan interaksi kompleks antara sistem samudra dan atmosfer membuat laju kenaikan muka air laut tidak sama dari waktu ke waktu (Cazenave, Lombard, dan Llovel 2008).

Selain itu, rata-rata permukaan laut global dapat menghadirkan variabilitas jangka panjang yang terkait dengan variasi volumetrik dan perubahan massa dengan kontribusi terhadap konten panas oleh adveksi terkait dengan perubahan tekanan angin. Skala waktu utama perlu dipertimbangkan untuk mempelajari interaksi udara-laut dalam sistem iklim, dan hubungan antara *sea level anomaly* dan pola iklim dominan pada skala waktu *decadal* dan *inter-decadal*. Catatan altimetri satelit *time series* dapat secara tepat mempelajari evolusi permukaan laut, sinyal musiman, *decadal*, dan *inter-decadal* dalam *sea level anomaly*. Oleh karena itu, *sea level anomaly* berkaitan dengan kekuatan atmosfer di permukaan laut (Etcheverry dkk. 2015).

Kedudukan permukaan laut dapat diukur secara relatif dan absolut. Permukaan laut absolut mewakili tinggi laut

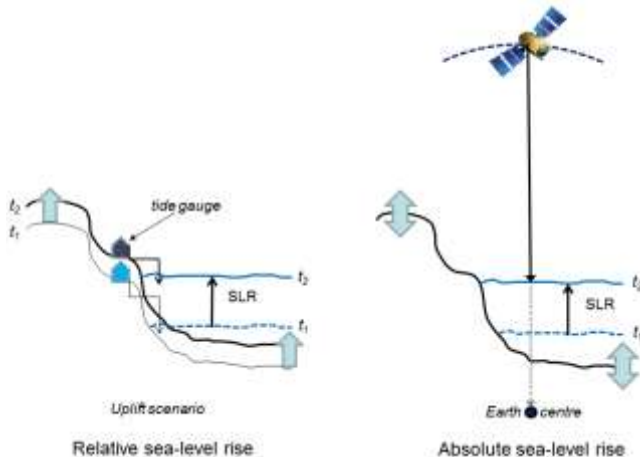
relatif terhadap pusat Bumi, sedangkan kenaikan permukaan laut relatif (atau lokal) mencakup perubahan ketinggian laut mutlak ditambah perubahan (naik atau turun) pada ketinggian tanah relevan. Pengukur pasang surut mengukur kenaikan permukaan laut relatif. Meskipun pengukuran semacam itu tidak membedakan antara tingkat samudera yang meningkat dan tanah yang perlahan-lahan tenggelam atau naik. Namun, *colocating* alat GPS terus menerus di dekat *tide gauge* tidak memungkinkan gerakan tanah lokal untuk dipisahkan dari laut yang naik (Stocker dkk. 2013).



Gambar 2.2 Ancaman *Sea Level Rise* di Pesisir.
(Sumber: Stocker dkk. 2013)

Kenaikan permukaan laut absolut dapat diamati menggunakan satelit. Hal ini memiliki kelebihan dalam penyesuaian untuk memperhitungkan pergerakan vertikal skala besar dari kerak Bumi dan dasar laut (misalnya, dari pemuatan glasial masa lalu selama zaman Es) dan perubahan gravitasi oleh satelit GRACE (misalnya redistribusi massa es dan air di Bumi dari mencairnya gletser dan lembaran es). Pengamatan menggunakan kedua pendekatan tersebut mempunyai kelebihannya masing-masing. Dengan mengetahui baik tingkat permukaan laut absolut dan tingkat pergerakan tanah, maka kombinasi kedua komponen ini akan menginformasikan perubahan yang diproyeksikan ke

permukaan laut untuk wilayah tersebut. Sehingga akan dihasilkan hasil pengamatan yang memiliki tingkat presisi tinggi baik di laut lepas maupun di sekitar garis pantai (Stocker dkk. 2013).



Gambar 2.3 Dua Pendekatan dalam Pengamatan *Sea Level Rise*.
(Sumber: Stocker dkk. 2013)

2.2 Prinsip Dasar Satelit Altimetri

Prinsip dasar satelit altimetri dalam pengamatan kedudukan permukaan laut yaitu dengan mengukur jarak antara satelit dan permukaan laut. Jarak ini apabila dikoreksikan terhadap posisi satelit terhadap ellipsoid maka akan menghasilkan *sea surface height*. Namun, banyak bias atau gangguan yang harus diperhitungkan, karena sinyal radar satelit altimetri melewati atmosfer dalam sistem pengukurannya. Selain itu, bias lain selain efek atmosfer juga mempengaruhi perhitungan *sea surface height*. Oleh karena itu, berbagai koreksi terhadap nilai perhitungan hasil pengamatan satelit altimetri perlu diterapkan untuk mempertimbangkan berbagai fenomena fisik, yaitu (Andersen dan Scharroo 2011):

- a. koreksi propagasi: gelombang radar altimeter terganggu selama melewati atmosfer, yang meliputi koreksi ionosfer, koreksi troposfer basah, dan koreksi troposfer kering
- b. bias elektromagnetik: koreksi permukaan laut untuk keadaan laut yang secara langsung mempengaruhi gelombang radar
- c. koreksi geofisika untuk pasang surut
- d. koreksi atmosfer untuk respon laut terhadap dinamika atmosfer: koreksi barometer terbalik (frekuensi rendah) dan koreksi dinamika atmosfer (frekuensi tinggi).

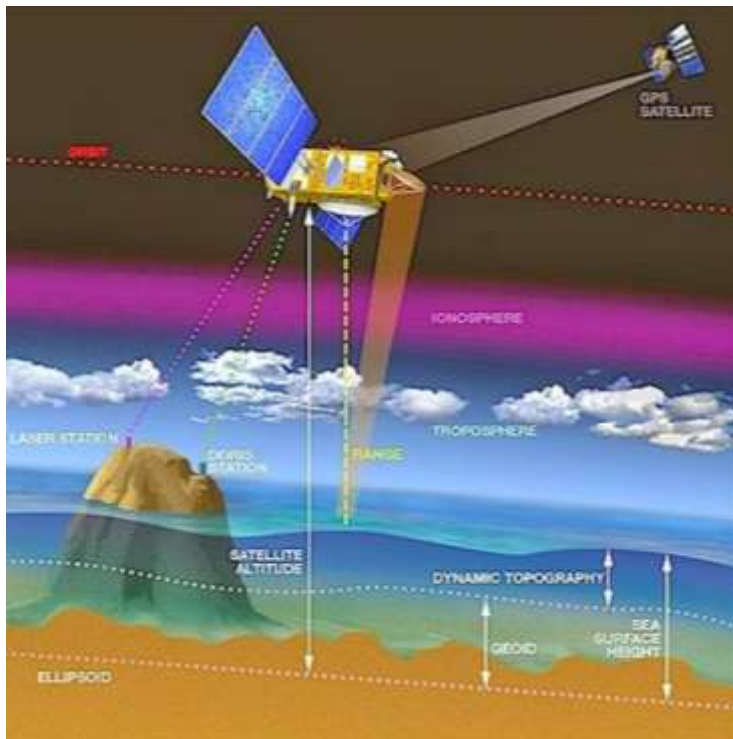
Prinsip satelit altimetri secara lebih jelas ditunjukkan pada Gambar 2.4. Sinyal pendek radiasi gelombang mikro dipancarkan dari radar altimeter *on-board* menuju titik permukaan laut pada titik nadir yang kemudian dipantulkan kembali ke satelit. Dengan mengukur waktu perjalanan dua arah dari sinyal, jarak pengamatan (R_{obs}) yaitu jarak antara permukaan laut sesaat dan antenna antariksa, dapat dihitung dari waktu tempuh pulsa radar (t) dan kecepatan pulsa radar (c), seperti persamaan berikut:

$$R_{\text{obs}} = \frac{1}{2} ct \quad (1)$$

dimana R_{obs} dalam satuan meter (m), c dalam satuan m/s, dan t dalam satuan *second* (s).

Apabila tinggi satelit altimetri telah didefinisikan pada bidang referensi tertentu, maka ketinggian permukaan laut pada bidang referensi yang sama dapat diperoleh. Bidang referensi yang digunakan satelit altimetri adalah ellipsoid. Pendefinisian bidang referensi satelit altimetri dilakukan secara akurat menggunakan sistem DORIS (*Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite*). DORIS adalah sistem satelit yang diprakarsai dan dikelola oleh Badan Antariksa Prancis yaitu *Centre National d'Etudes Spatiales* (CNES), digunakan untuk penentuan orbit satelit

dan *positioning*. Prinsip dasar DORIS yaitu sinyal radio berbasis darat memancarkan sinyal yang kemudian diterima oleh satelit. Prinsip ini merupakan konfigurasi terbalik dari GNSS pada umumnya. Ketika pancaran sinyal hampir menjangkau satelit, akan terjadi pergeseran frekuensi sinyal yang disebabkan oleh pergerakan satelit atau disebut efek Doppler. Dari pengamatan ini, orbit satelit, posisi *ground*, serta parameter lainnya dapat diturunkan. Akurasi orbit dari sistem DORIS sekitar 2 cm (Seeber 2003).



Gambar 2.4 Prinsip Dasar Satelit Altimetri.
(Sumber: Andersen dan Scharroo 2011)

Besar dan bentuk *backscattering* atau sinyal balik juga mengandung informasi tentang karakteristik permukaan yang menyebabkan pantulan. Hasil terbaik diperoleh di atas lautan, yang homogen secara spasial. Permukaan yang tidak homogen, yang mengandung diskontinuitas atau kemiringan yang signifikan, seperti beberapa es, sungai atau permukaan tanah, membuat interpretasi yang akurat menjadi lebih sulit (Chelton dkk. 2001).

Beberapa frekuensi yang berbeda digunakan untuk radar altimeter. Setiap kanal frekuensi memiliki kelebihan dan kekurangan. Ku-band memiliki kepekaan terhadap gangguan di atmosfer, sedangkan Ka-band memiliki penetrasi yang kuat sehingga pengamatan terhadap es, hujan, zona pesisir, hidrologi memiliki akurasi yang sangat baik. Sistem Ku-band menawarkan fleksibilitas yang lebih besar. Sistem Ku-band juga lebih terjangkau dari segi biaya karena hanya memakai satu piring saja dan dapat menggunakan antena yang kecil (Chelton dkk. 2001).

Terlepas dari prinsip sederhana pengukuran jarak dari satelit altimetri, tantangan teknis untuk mendapatkan pengukuran yang akurat sangat penting. Tidak hanya penentuan orbit satelit yang tepat, namun juga pengetahuan yang tepat tentang koreksi yang mempengaruhi pengukuran jarak diperlukan. Masing-masing koreksi yang harus diterapkan pada jarak yang diukur untuk penentuan *Sea Surface Height* (SSH) yang akurat harus diketahui dengan akurasi sentimetrik. SSH merupakan tinggi permukaan laut relatif terhadap referensi ellipsoid. Hubungan SSH, *altitude* / tinggi satelit terhadap referensi ellipsoid (H), jarak pengamatan (R_{obs}), serta koreksi ($\Delta R_{\text{Geocorr}}$) adalah sebagai berikut:

$$\text{SSH} = \text{H} - R_{\text{obs}} - \Delta R_{\text{Geocorr}} \quad (2)$$

semua elemen pada formula (2) memiliki satuan yang setara yaitu dalam meter (m).

Koreksi-koreksi tersebut mengacu pada serangkaian koreksi yang telah dijelaskan sebelumnya, yaitu meliputi koreksi troposfer kering (Δh_{dry}), troposfer basah (Δh_{wet}), ionosfer (Δh_{iono}), *sea state bias* (Δh_{SSB}), koreksi permukaan dinamis (Δh_{DAC}), koreksi pasang surut (Δh_{tides}), serta koreksi kerangka acuan *offset* (Δh_{RFO}) untuk penggunaan data multi misi (Andersen dan Scharroo 2011).

$$\Delta \mathbf{RGeo}_{\text{corrs}} = \Delta \mathbf{h}_{\text{dry}} + \Delta \mathbf{h}_{\text{wet}} + \Delta \mathbf{h}_{\text{iono}} + \Delta \mathbf{h}_{\text{SSB}} + \Delta \mathbf{h}_{\text{DAC}} + \Delta \mathbf{h}_{\text{tides}} + \Delta \mathbf{h}_{\text{RFO}} \quad (3)$$

dimana masing-masing elemen koreksi tersebut memiliki satuan dalam meter (m) sesuai *raw* datanya.

2.3 Mean Sea Surface

Mean Sea Surface (MSS) adalah permukaan laut rata-rata yang terkoreksi efek pasang surut laut. MSS biasanya ditentukan oleh rata-rata ketinggian permukaan laut dari pengamatan jangka panjang satelit altimetri. MSS juga merupakan permukaan referensi yang paling penting dalam mempelajari variasi permukaan laut. Oleh karena itu, MSS digunakan untuk memperkirakan SLA yang bertujuan untuk menghilangkan genangan temporal topografi permukaan laut yang dinamis (Andersen dkk. 2015).

MSS dan geoid tidak persis berhimpit, karena tinggi permukaan laut yang dinamis memiliki komponen permanen dan variabel waktu. Komponen permanen mencerminkan ekspansi sterik air laut. Variabel waktu digambarkan oleh rata-rata temporal topografi dinamis yang disebut *Mean Dynamic Topography* (MDT). Hubungan MSS, undulasi geoid, dan MDT adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{h}_{\text{MSS}} = \mathbf{h}_{\text{g}} - \mathbf{h}_{\text{MDT}} \quad (4)$$

dimana \mathbf{h}_{MSS} , \mathbf{h}_{g} , dan \mathbf{h}_{MDT} memiliki satuan dalam meter (Andersen dkk. 2015).

Model MSS yang sering digunakan yaitu DTU dan CNES-CLS. Model DTU dikeluarkan oleh DTU-Space yaitu agensi ruang angkasa di *Technical University of Denmark*. Model DTU didefinisikan dari permukaan laut relatif terhadap model matematis bumi yang paling dekat geoid, dengan amplitudo ± 100 meter. Model DTU memiliki resolusi $1' \times 1'$ dan $2' \times 2'$ di daerah ekuator (Andersen 2010). Sedangkan model CNES-CLS dibuat oleh *Collecte Localisation Satellites (CLS)*, yaitu subdivisi di CNES. Model ini didefinisikan dari rata-rata permukaan laut di atas ellipsoid dari pengamatan 20 tahun oleh misi referensi Topex/Poseidon, ERS-2, GFO, Jason-1, Jason-2, dan Envisat. Model CNES-CLS memiliki resolusi $1/60^\circ \times 1/60^\circ$ (Centre National d'Etudes Spatiales 2016).

2.4 Sea Level Anomaly

Sea Level Anomaly (SLA) atau anomali tinggi permukaan laut merupakan tinggi permukaan laut relatif di atas referensi MSS. MSS sendiri didapatkan dari pengamatan jangka panjang, sehingga telah terkoreksi dari efek dinamisnya seperti pasang surut air laut dan pengaruh tekanan atmosfer. Permukaan geofisik yang digunakan tersebut dapat berupa geoid ataupun MSS. Hubungan SLA, SSH, dan MSS ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$h_{SLA} = SSH - h_{MSS} \quad (5)$$

Berdasarkan formula (2) maka nilai SLA dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$h_{SLA} = H - R_{obs} - \Delta R_{Geo_{corr}} - h_{MSS} \quad (6)$$

dimana keseluruhan nilai dalam formula (6) dan (7) memiliki satuan meter (Andersen dan Scharroo 2011).

Perubahan SLA *inter-annual* dapat dikaitkan dengan model variabilitas atmosfer, atau juga dikenal sebagai pola

teleconnection (TP). Pola ini merupakan pola berskala besar yang terus-menerus dari tekanan atmosfer dan anomali sirkulasi yang dapat mencakup wilayah geografis yang luas. Model iklim ini menonjolkan variabilitas *inter-annual* untuk *decadal* dalam sistem atmosfer-laut, menghasilkan variabilitas yang kuat dan fluktuasi *inter-annual* dalam tingkat kenaikan permukaan laut. (Dangendorf dkk. 2012)

Efek regional spesifik dari pola iklim selama perubahan skala besar di permukaan laut terkait dengan perubahan karakteristik *thermoline* air dan pada massa laut melalui efeknya pada atmosfer. Gradien tekanan, panas, angin, aliran air tawar, salinitas gelombang badai, dan kondisi sirkulasi laut (Church dan White 2011). Fenomena ENSO dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) adalah beberapa contoh dari model iklim ini (Hamlington dkk. 2015).

Model dominan terjadi pada skala waktu *annual*. Namun, variabilitas *inter-annual* dan *decadal* juga hadir. Skala waktu ini diyakini terkait dan diketahui mempengaruhi permukaan laut di sepanjang wilayah pesisir. Analisis variabilitas *inter-annual* permukaan laut sangat penting untuk memahami iklim saat ini dan variabilitas jangka panjangnya (Han dkk. 2017).

2.5 *Dry Tropospheric Correction*

Jalur sinyal altimetri radar melewati atmosfer terhambat oleh adanya gas netral di troposfer (78% N, 21% O, 0,9% Ar, dan lain-lain). Variasi kandungan gas ini kurang dari 1% dalam beberapa jam. Keterlambatan pada jalur sinyal balik altimetri ini dikoreksi dengan *dry tropospheric correction* (DTC) atau koreksi troposfer kering (Davis dkk. 1985). Nilai absolut dari penundaan sinyal pada jalur kering di permukaan laut sekitar 2,3 m di arah zenith dan sekitar 10 meter untuk elevasi lebih rendah. Meskipun DTC adalah koreksi jarak terbesar pada altimetri satelit, koreksinya dapat dimodelkan dari pengukuran tekanan permukaan pada

permukaan laut dengan menggunakan model meteorologi seperti *Numerical Waether Model* (NWM) dan *Global Pressure and Temperature Model* (GPT). Perhitungan nilai DTC dipengaruhi oleh tekanan permukaan dalam satuan hPa (p_s), tinggi permukaan di atas geoid (h_s), serta posisi lintang geodetikanya (φ), sehingga formulanya adalah sebagai berikut:

$$\Delta h_{\text{dry}} = - \frac{0,0022768 p_s}{1 - 0,00266 \cos 2\varphi - 0,28 \cdot 10^{-6} h_s} \quad (7)$$

dimana konstanta bernilai 0,0022768 memiliki satuan m^2/mbar , p_s memiliki satuan mbar, dan h_s memiliki satuan meter (Boehm dkk. dalam Handoko, Fernandes, dan Lazaro 2017).

2.6 Wet Tropospheric Correction

Koreksi troposfer basah atau *wet tropospheric correction* (WTC) adalah salah satu sumber ketidakpastian terbesar dalam satelit altimetri. WTC merupakan keterlambatan sinyal balik altimetri akibat kandungan uap air dan butiran awan pada troposfer. Meskipun nilai WTC mutlak adalah sekitar 50 cm, namun memiliki variabilitas yang tinggi, baik dalam ruang dan waktu, sehingga tidak mudah untuk dimodelkan. WTC dihitung dari radiometrik gelombang mikro *on-board* dengan mengukur *brightness temperature* (TB) pada dua atau tiga frekuensi pada kisaran 18 dan 37 GHz, pada pita spektral yang peka terhadap uap air dan butiran awan (Picard dkk. 2015).

Efeknya WTC sama pada frekuensi Ku-band, S-band, maupun C-band, dan dapat ditentukan dengan mengintegrasikan fungsi kepadatan uap air dengan pendekatannya adalah sebagai berikut:

$$\Delta h_{\text{wet}} = 6 \cdot 10^{-3} W \quad (8)$$

$$W = \rho_w \cdot h^* \quad (9)$$

dimana Δh_{wet} dalam satuan meter, sedangkan W adalah kandungan uap air yang tak terukur (kg/m^2). W bisa didapatkan dengan pendekatan densitas uap air (ρ_w) dalam satuan kg/m^3 pada ketinggian dimana uap air menjadi minimal (h^*) dalam satuan meter seperti persamaan (9) (Bevis dkk. 1994).

Di samudra terbuka, WTC dapat diambil dengan akurasi beberapa cm menggunakan radiometer gelombang mikro *on-board*. Namun, ini tidak berlaku untuk daerah pesisir. Perbedaan antara emisivitas laut (sekitar 0,5) dan emisivitas tanah (sekitar 0,9) menyebabkan jejak radiometer saat mendekati pantai memiliki emisivitas yang berbeda. Oleh karena itu, algoritma *retracking* WTC berasal dari pengukuran yang tidak valid di wilayah yang dekat dengan pantai atau daratan (Brown 2010). Sejumlah model atmosfer, seperti ECMWF dan NCEP, yang menyediakan data grid reguler, dapat digunakan untuk mendapatkan penundaan jalur troposfer. Grid model WTC kemudian digunakan untuk memperkirakan WTC pada masing-masing jalur-jalur satelit dengan interpolasi bilinear di ruang angkasa, diikuti oleh interpolasi linier pada waktunya (Fernandes dkk. 2015).

2.7 Ionospheric Correction

Lapisan ionosfer mengandung elektron bebas dan ion yang dapat mempengaruhi propagasi gelombang elektromagnetik baik dalam kecepatan dan dalam arah propagasi sinyal. Kecepatan sinyal diperlambat oleh elektron bebas di atmosfer. Proses ionisasi didorong oleh aktivitas matahari (lebih besar di dekat khatulistiwa geomagnetik) dan musim tahunan. Penundaan ionosfer dapat ditentukan dalam hal total kandungan elektron atau *total electron content* (TEC), yang merupakan integral dari kerapatan elektron sepanjang jalur sinyal. TEC diukur dalam *Total Electron Content Unit* (TECU), dengan 1 TECU setara dengan 10^{16} elektron/ m^2 . Sebagai media dispersif, refraksi ionosfer

bergantung pada frekuensi. Koreksi ionosfer dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\Delta h_{\text{iono}} = -k \frac{\text{TEC}}{f^2} \quad (10)$$

dimana Δh_{iono} dalam meter, k adalah konstanta 0,40250 m.GHz²/TECU, TEC adalah kandungan elektron total, dan f adalah frekuensi di GHz (Andersen dan Scharroo 2011).

2.8 Sea State Bias

Sea State Bias (SSB) adalah kesalahan jarak altimeter yang disebabkan oleh pengaruh efek kondisi laut dalam pengukuran altimeter radar, karena elemen hamburan permukaan tidak berkontribusi sama terhadap radar yang kembali. Koreksi SSB terdiri dari bias elektromagnetik, bias pelacak, dan *skewness* (Scharroo dan Lillibridge 2004).

- (1) Bias elektromagnetik (EM) adalah kecenderungan radar mengukur ke arah palung gelombang karena gelombangnya lebih baik daripada puncak gelombang.
- (2) *Skewness* bias berasal dari fakta bahwa permukaan laut memiliki distribusi tinggi yang miring. Sementara altimeter mengukur tinggi rata-rata permukaan di tapak, yang ingin diukur adalah tinggi rata-rata (lebih rendah dari permukaan di tapak).
- (3) *Tracker* bias adalah kesalahan pada pelacak bentuk gelombang yang merupakan fungsi dari keadaan laut, yang mungkin bersifat instrumental atau algoritmik.

Besarnya SSB sangat bergantung pada *significant wave height* (SWH) dan kecepatan angin (U_{10}) dari gelombang yang berbeda. Oleh karena itu telah dikembangkan 3 metode penentuan SSB yaitu model parametric dan model non-parametrik.

Model parametrik diestimasi dari tiga atau empat parameter dari sebuah persamaan linier. Koefisien diturunkan oleh ukuran kuadrat terkecil dari perbedaan

ketinggian *crossover*. Model parametrik BM4 diberikan oleh persamaan berikut:

$$\Delta h_{SSB} = SWH(a_1 + a_2SWH + a_3U + a_4U^2) \quad (11)$$

dimana Δh_{SSB} dalam meter, U adalah kecepatan angin yang diturunkan dari altimeter (dalam meter per detik), dan a_1, a_2, a_3, a_4 adalah koefisien (Gaspar dkk. 1994).

Model nonparametrik diestimasi secara statistik dari persamaan berikut:

$$SSH'_2 - SSH'_1 = (SSB_2 + SSB_1)\epsilon \quad (12)$$

dimana indeks 1 dan 2 menunjukkan pengukuran yang diambil pada waktu yang berbeda t_1 dan t_2 tetapi di lokasi geografis yang sama. SSH' adalah tinggi permukaan laut di atas ellipsoid referensi, tidak dikoreksi untuk SSB, dan ϵ adalah istilah kesalahan mean-nol yang mencakup kesalahan pengukuran altimetrik, kesalahan koreksi geofisika residual, dan variasi topografi dinamis antara t_1 dan t_2 . Observasi berupa perbedaan *crossover* atau *collinear*. Metode ini dirancang oleh GF (Gaspar dan Florens) untuk memperkirakan nonparametrik SSB berdasarkan serangkaian pengamatan altimetrik. Sebagai titik awal, GF hanya mengasumsikan bahwa SSB adalah fungsi nonspesifikasi ϕ dari x , vektor variabel yang berhubungan. Dalam prakteknya, GF menggunakan $x = (U, SWH)$ tetapi teori ini berlaku untuk setiap variabel yang terkait dengan laut. Pengaturan y dapat ditulis ulang sebagai berikut:

$$y = \phi(x_2) - \phi(x_1) + \epsilon \quad (13)$$

dengan harapan sehingga harapan bersyarat dari y , diberikan $x_2 = x$ (Gaspar dkk. 1994).

Model nonparametrik dibuat untuk mengatasi kelemahan utama dari model parametrik. Fakta bahwa mereka tidak selalu mewakili dengan baik kompleksitas

sebenarnya dari hubungan antara SSB, tinggi gelombang, dan kecepatan angin. Asumsinya adalah bahwa dengan jutaan titik *crossover*, maka tidak perlu membatasi hanya pada estimasi empat koefisien. Bahkan, SSB dapat diperkirakan pada grid dua-dimensi yang teratur dari ketinggian gelombang dan kecepatan angin. Sebagai contoh, jarak grid 0,25 m dalam tinggi gelombang menghasilkan sekitar 4.000 perkiraan SSB yang tersebar di rentang efektif ketinggian gelombang dan kecepatan angin. Dengan jutaan *crossover* sebagai input, metode ini dapat menghasilkan estimasi yang sangat dapat diandalkan (Labroue dkk. 2004).

2.9 Dynamic Atmospheric Correction

Respon permukaan laut terhadap perubahan tekanan atmosfer memiliki efek yang besar terhadap tinggi permukaan yang diukur. Koreksi atmosfer dinamis dapat dibagi menjadi frekuensi rendah (periode lebih dari 20 hari) dan frekuensi tinggi (periode lebih pendek dari 20 hari). Frekuensi rendah pemuatan tekanan atmosfer telah ditinjau secara komprehensif oleh Wunsch dan Stammer (1997). Model paling sederhana adalah sebagai berikut:

$$\Delta h_{DAC} = -0,99484 (P_0 - P_{ref}) \quad (14)$$

dimana Δh_{DAC} dalam meter, P_0 adalah tekanan permukaan laut dalam hPa, P_{ref} adalah tekanan rata-rata global (tekanan referensi), biasanya merupakan nilai global konstan 1.013,3 hPa. Peningkatan tekanan batuan satu tingkat-Pascal sesuai dengan respons linier di permukaan laut yang menghasilkan penurunan sekitar 1 cm. Keakuratan koreksi barometer terbalik juga dibatasi oleh ketidakpastian tekanan permukaan laut aktual. Tekanan permukaan laut global dapat diturunkan dari model prediksi cuaca numerik (Chelton dkk. 2001).

2.10 Koreksi Pasang Surut (*Tides*)

Ocean tide mendominasi sinyal air pasang yang diamati di atas lautan, mewakili lebih dari 80% dari total sinyal, besarnya sekitar 1 m di tengah laut dan 15-20 m di dekat garis pantai. Ada beberapa sinyal pasang surut yang memiliki amplitudo lebih kecil dari pada *ocean tide* yaitu *load tide*, *solid earth tide*, dan *pole tide*. Tidak seperti pengukuran stasiun pasang surut, yang hanya mengukur *ocean tide*, pengukuran altimeter mencakup jumlah *tides* dan pemindahan muatan kecil dasar laut (*load tide*) akibat pemuatan oleh kolom air. Dengan menggunakan formulasi matematis yang tepat, *solid earth tide* dan *pole tide* dapat diturunkan dengan akurasi sentimeter. Jumlah koreksi pasang surut dapat ditulis sebagai berikut:

$$\Delta h_{\text{tides}} = \Delta h_{\text{ocean tide}} + \Delta h_{\text{load tide}} + \Delta h_{\text{solid earth tide}} + \Delta h_{\text{pole tide}} \quad (15)$$

dimana Δh_{tides} , $\Delta h_{\text{ocean tide}}$, $\Delta h_{\text{load tide}}$, $\Delta h_{\text{solid earth tide}}$, dan $\Delta h_{\text{pole tide}}$ memiliki satuan meter (Andersen dan Scharroo dalam Handoko, Fernandes, dan Lazaro 2017).

Solid earth tide adalah respon dari bumi yang padat terhadap gaya gravitasi matahari dan bulan, besar kesalahannya sekitar 50 cm. Karena responnya cukup cepat, elevasi pasang surut sebanding dengan potensi pasang surut. Sedangkan perubahan gaya sentrifugal akibat variasi sumbu bumi menghasilkan sinyal di permukaan laut yang tinggi pada frekuensi yang sama disebut *pole tide*. Kesalahan akibat *pole tide* bisa sekitar 2 cm. Sedangkan koreksi untuk variasi ketinggian akibat perubahan gaya akibat air pasang yang bekerja di permukaan bumi (*load tide*) sekitar 30 cm (Andersen dan Scharroo 2011).

2.11 Misi Topex/Poseidon dan Jason Series

Topex/Poseidon diluncurkan pada 10 Agustus 1992 oleh Badan Antariksa Perancis, *Centre National d'Etudes Spatiales* (CNES) dan Badan Penerbangan dan Antariksa Nasional Amerika Serikat yaitu *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Topex/Poseidon memulai akuisisi datanya pada 25 September 1992. Tujuan utama peluncuran misi ini adalah untuk meramalkan El Nino di abad 19, dan meningkatkan pemahaman tentang sirkulasi laut dan efeknya dari iklim global. Topex/Poseidon memulai *manuver drift* pada 15 Agustus 2002 siklus 365 fase 111 dan berakhir 16 September 2005 siklus 368 fase 171. Selama waktu ini Topex/Poseidon pindah ke orbit yang berbeda sehingga Jason-1 yang menempati orbit Topex/Poseidon sebelumnya akan mensurvei Bumi dalam waktu yang lebih singkat dan memberikan resolusi spasial yang lebih tinggi. Misi ini dinonaktifkan pada 18 Oktober 2005. Altimeter TOPEX-A dioperasikan pada *cycle* 1-235. Pada pertengahan 1997, ditetapkan bahwa ada penurunan dalam respon target titik yang berdampak pada tinggi gelombang signifikan. Pada Februari 1999, TOPEX-A dimatikan dan altimeter input cadangan redundan, altimeter TOPEX-B, dihidupkan. Kalibrasi dilakukan untuk menilai data menghasilkan TOPEX-B pada *cycle* 236 dan semua *cycle* berikutnya (MacMillan dkk. 2004). Jason-1 adalah misi lanjutan Topex/Poseidon yang diluncurkan pada 7 Desember 2001 dan dinonaktifkan pada 21 Juni 2013. Misi Jason-1 bersama-sama dilakukan oleh CNES dan NASA. Tujuan utama misinya adalah untuk mempertahankan pengukuran altimeter akurasi tinggi, memastikan kesinambungan dalam mengamati dan memantau laut, untuk perubahan intraseasonal ke antar tahunan, permukaan laut rata-rata, dan pasang surut (Bronner dkk. 2016).

OSTM/Jason-2 adalah misi lanjutan Jason-1. Misi OSTM/Jason-2 mengambil alih dan melanjutkan misi Topex/Poseidon dan Jason-1. Sementara misi Topex/Poseidon dan Jason-1 dilakukan di bawah kerja sama antara CNES dan NASA, Jason-2 melibatkan CNES, NASA, dan 2 mitra baru yaitu *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT) dan *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) untuk memfasilitasi transisi menuju misi altimetri operasional penuh. Tujuan utama misi ini untuk membuat catatan iklim multidekadal dan mempelajari hubungan sirkulasi laut dan perubahan iklim. (Dumont dkk. 2016).

Tandem misi antara Jason-1 dan Jason-2 tersedia setelah peluncuran Jason 2 pada tanggal 20 Juni 2008. *Cycle 1* dimulai pada 12 Juli 2008 pukul 01:20:05 GMT. Satelit Jason-1 dan Jason-2 diputar secara bertahap sekitar 56 detik di jalur darat yang sama selama fase kalibrasi Jason-2. Jason-1 memulai *fase drift* pada 26 Januari 2009 *cycle 260* (Dumont dkk. 2016). Setelah lebih dari 8 tahun bertugas di jalur darat, Jason-2 *interleaved* sejak Oktober 2016 pada orbit *fase drift* yang digunakan Topex/Poseidon tahun 2002-2005 dan Jason-1 tahun 2009-2012. Jason-3 sebagai misi lanjutan untuk Jason-2 mengambil alih dan melanjutkan misi Topex/Poseidon, Jason-1, dan Jason-2. Jason 3 diluncurkan pada 17 Januari 2016. Tujuan dari misi ini adalah memperluas rekaman data altimetrik presisi tinggi untuk mendukung pemantauan iklim, operasional oseanografi, dan peramalan musiman. Jason-3 menggunakan *retracking* yang sama seperti seri Topex/Poseidon dan Jason lainnya. Kumpulan misi altimetrik ini sering disebut misi referensi. *Cycle 1* dimulai pada tanggal 17 Februari 2016 pukul 10.28:45 (UTC) (Dumont dkk. 2016).

Misi Topex/Poseidon dan Jason Series mampu mengukur *significant wave height*, σ_0 , troposfer kering dan basah, serta ionosfer. Semua data tersebut digunakan

untuk menghitung tinggi permukaan laut dan anomalnya. Tujuan utamanya untuk memahami sirkulasi samudera global dan hubungan laut dalam perubahan iklim global (Dumont dkk. 2016). Karakteristik satelit Topex/Poseidon, Jason series secara rinci ditunjukkan Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik Topex/Poseidon dan Jason Series

Parameter	T / P	J-1	J-2	J-3
Peluncuran	10 Agustus 1992	7 Desember 2001	20 Juni 2008	17 Januari 2016
Mulai Akuisisi Data	25 September 1992	7 Januari 2002	12 Juli 2008	17 Februari 2016
<i>Interleaved Period</i>	Agustus 2002 - September 2005	26 Januari 2009 - 2012	Oktober 2016 - sekarang	-
Nonaktif	18 Oktober 2005	21 Juni 2013	-	-
<i>Altitude</i>	1.336 km	1.336 km	1.336 km	1.336 km
<i>Cycle</i>	364	259	303	on
<i>Phase</i>	254	254	254	254
<i>Inclination</i>	66°	66°	66°	66°
<i>Repeat Cycle Period</i>	9,916 hari	9,916 hari	9,916 hari	9,916 hari
Jarak Antar Lintasan	316 km	316 km	316 km	316 km
<i>Ground Track Control Kanal</i>	± 1 km	± 1 km	± 1 km	± 1 km
Akurasi	±4,2 cm	±4,2 cm	±3,4 cm	±3,4 cm

(Sumber: Dumont dkk. 2016)

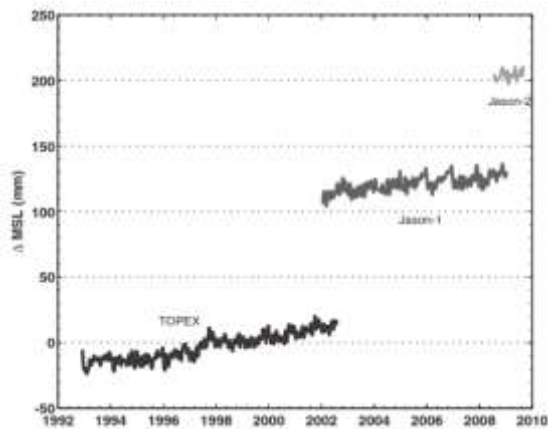
Instrumen yang digunakan oleh masing-masing satelit Topex/Poseidon dan Jason Series hampir sama yaitu Altimeter Poseidon (5.3 GHz dan 13.575 GHz), TOPEX *Microwave Radiometer* (TMR), DORIS, *Laser Retroreflector Array* (LRA), dan GPS untuk Topex/Poseidon. Perbedaan dari ketiganya adalah altimeter dan *microwave* yang digunakan. Berbeda dari Topex/Poseidon, Jason-1 menggunakan Altimeter Poseidon-2 dan Jason *Microwave Radiometer* (JMR). Sedangkan Jason 2 dan 3 masing-masing menggunakan Altimeter Poseidon-3 dan Poseidon-3B, serta keduanya sama-sama menggunakan *Advanced Microwave Radiometer* (AMR) (Dumont dkk. 2016).

2.12 Intercalibrated Tandem Mission

Peluncuran setiap misi baru dalam *tandem mission* diimplementasi dengan keberadaan satelit pada *ground track* secara bersamaan menyebabkan adanya periode tandem 199 hari antara Topex/Poseidon dan Jason-1, 180 hari antara Jason-1 dan Jason-2, 240 hari antara Jason-2 dan Jason-3. Karena dua satelit di wilayah yang hampir sama (perbedaan sekitar 1 menit jarak) satu sama lain, keduanya harus mengamati variabilitas samudera yang sama. Apabila kedua pengukuran tersebut berbeda dari variabilitas sebenarnya, hal ini menyebabkan adanya nilai residu karena masing-masing satelit memiliki perbedaan koreksi instrumen dan model. Tahap periode tandem sangat penting untuk mendeteksi sejumlah masalah, termasuk masalah dalam model *sea state bias*, kesalahan dalam radiografi, dan kesalahan yang berkorelasi secara geografis yang berkaitan dengan perbedaan dalam kerangka referensi yang digunakan untuk menghitung orbit (Chambers dkk. 2003).

Kesalahan *sea state bias* ini terutama berkontribusi terhadap perubahan bias global, meskipun hal ini dapat dihapus dari studi tingkat laut rata-rata global dengan

menghitung bias relatif rata-rata selama *overlap*. Hampir semua studi di permukaan laut, terutama mengenai permukaan laut rata-rata global, penting untuk memperbaiki data altimeter untuk bias pengukuran relatif, dimana bias dihitung dengan menggunakan perbedaan dalam GMSL seperti yang dijelaskan pada Leuliette dkk. (2004). Mengubah model SSB untuk Jason-1 memindahkan bias relatif ke atas atau ke bawah beberapa cm. Namun, itu tidak sepenuhnya menghapus bias. Kenyataan bahwa dua altimeter identik dapat memiliki bias yang berbeda lebih dari 7 cm menggarisbawahi sifat kritis untuk memiliki periode kalibrasi atau validasi misi selama *overlap*, sehingga dapat ditentukan secara tepat. Sumber bias utama antar satelit Jason adalah kombinasi dari perbedaan dalam pemangkasan frekuensi pengulangan pulsa (PRF), perbedaan parameter karakterisasi Ku-band, dan sisa bias 12 mm masih belum terjelaskan. Sumber bias relatif antar satelit tandem belum diketahui secara pasti (Desjonqueres 2009).



Gambar 2.5 Pengukuran Misi Topex/Poseidon, Jason-1, dan Jason-2 Terputus Akibat Bias.
(Sumber: Nerem dkk. 2010)

Penghapusan bias selama masa *overlap* untuk keseluruhan periode altimetri dihitung dengan menggabungkan *time series* dari ketiga satelit sebelum dilakukan *time series decomposition*. Untuk penerapan pada perhitungan *sea level anomaly*, bias ini dihitung sebagai perbedaan rata-rata *sea level anomaly* antara dua misi pada periode yang sama selama beberapa *cycle*. Setelah dilakukan perhitungan bias, maka data dari satelit yang lebih baru dikoreksi menggunakan referensi data satelit yang akan *interleaved*. Sehingga setelah itu, akan dihasilkan nilai hasil pengamatan yang dianggap setara antara keempat instrument satelit altimetri. Perhitungan koreksi dari masing-masing hasil pengamatan satelit altimetri dilakukan menggunakan persamaan berikut (Masters dkk. 2012):

$$\text{Corrected SLA}_{(J1)} = \text{SLA}_{(J1)} - \text{bias}_{(T/P, J1)} \quad (16)$$

$$\text{Corrected SLA}_{(J2)} = \text{SLA}_{(J2)} - \text{bias}_{(J1, J2)} - \text{bias}_{(T/P, J1)} \quad (17)$$

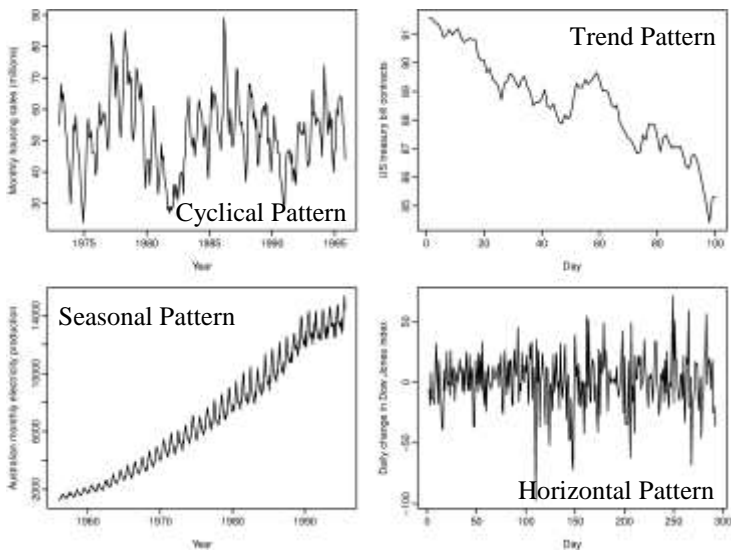
$$\begin{aligned} \text{Corrected SLA}_{(J3)} = \text{SLA}_{(J3)} - \text{bias}_{(J2, J3)} - \text{bias}_{(J1, J2)} \\ - \text{bias}_{(T/P, J1)} \end{aligned} \quad (18)$$

2.13 Time Series Decomposition

Time series data adalah serangkaian pengamatan terhadap variabel yang akan diamati secara berurutan dari waktu ke waktu dan dicatat berdasarkan urutan waktu kejadiannya. Analisis *time series* merupakan suatu metode peramalan untuk masa depan yang dilakukan berdasarkan nilai atau data masa lalu dari suatu variabel dan *error* masa lalu. Tujuan dari metode peramalan *time series* adalah untuk menemukan pola data *time series* dan mengekstrapolasikan pola tersebut ke periode yang akan datang (Wei 2006).

Metode peramalan didasarkan pada konsep bahwa dalam rangkaian data ada sebuah pola yang terdistribusi di dalamnya. Tingkat keacakan dari pola tersebut dapat dihilangkan dengan menghaluskan nilai. Penghalusan nilai dilakukan dengan memecah polanya atau didekomposisi menjadi *subpattern* yang mengidentifikasi setiap komponen

dari deret waktu secara terpisah. Pemecahan pola tersebut membantu pemahaman yang lebih baik terhadap perilaku sebuah rangkaian data *time series*, sehingga mampu meningkatkan akurasi dalam peramalan. Metode pemecahan atau dekomposisi bisa untuk mengidentifikasi dua komponen terpisah dari pola dasar yang mendasari karakteristik, yaitu tren dan faktor musiman (Makridakis, Wheelwright, dan Hyndman 1998).



Gambar 2.6 Tipe Pola Data *Time Series*.

(Sumber: Makridakis, Wheelwright, dan Hyndman 1998)

Pola data dalam peramalan *time series* sangat beragam. Hal tersebut menjadi salah satu aspek penting dalam melakukan seleksi model peramalan yang sesuai untuk data *time series*. Seperti yang telah dijelaskan pada Gambar 2.6, ada empat tipe pola data yang umum, yaitu *horizontal pattern*, *seasonal pattern*, *cyclical pattern*, dan *trend pattern*. *Horizontal pattern* terjadi ketika data berfluktuasi di sekitar

nilai rata-rata yang konstan, sehingga tidak terjadi peningkatan atau penurunan nilai seiring berjalannya waktu. *Seasonal pattern* terjadi ketika data dipengaruhi oleh pola musiman seperti bulanan, *semiannual*, *annual*, ataupun *interannual*, sehingga data seakan-akan berulang secara periodik. *Cyclical pattern* terjadi ketika data memiliki periode siklus, pola ini hampir mirip dengan *seasonal* namun yang membedakan pada *seasonal pattern* panjang pola konstan dan berulang secara berkala, sementara untuk *cyclical pattern* panjangnya pola bervariasi dan panjang rata-rata siklus biasanya lebih lama. *Trend pattern* terjadi apabila dalam suatu data terjadi penurunan atau peningkatan nilai dalam jangka panjang (Makridakis, Wheelwright, dan Hyndman 1998).

Dekomposisi dilakukan dengan asumsi bahwa data memiliki struktur sebagai berikut:

$$\mathbf{Data = Pattern + Error} \quad (19)$$

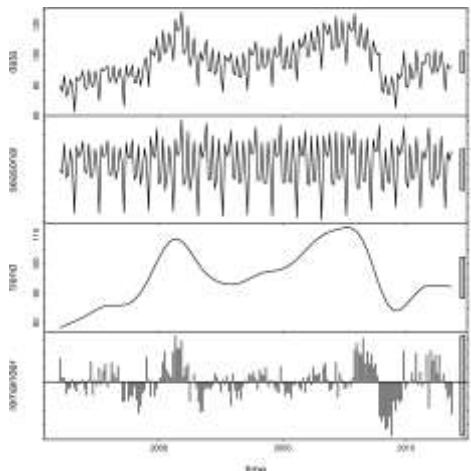
Dekomposisi *time-series* diasumsikan terdiri dari tiga komponen yaitu *seasonal*, *trend-cycle*, dan *remainder*. Komponen *seasonal* biasanya memiliki pola pengulangan yang berubah sangat lambat seiring berjalannya waktu. Komponen *trend-cycle* biasanya dianggap berubah lebih cepat daripada komponen *seasonal*, namun komponen ini masih mengandung pola siklus. Komponen *remainder* adalah bagian yang paling cepat berubah atau disebut polanya acak. Seluruh rangkaian waktu dihitung sebagai fungsi dari ketiga bagian ini (Dokumentov dan Hyndman 2015).

Terkadang komponen *trend-cycle* disebut sebagai komponen *trend*, meskipun terkadang masih mengandung perilaku siklik. Pola hasil dekomposisi dapat dilihat pada Gambar 2.7. Sedangkan untuk perilaku siklik yang terkadang masih terkandung dalam *trend* ini berasal dari berbagai *signal interannual* yang mempengaruhi pola data. Dalam pola data pengamatan *sea level* jangka panjang, terdapat

berbagai *signal* yang memungkinkan mempengaruhi polanya, beberapa *signal* tersebut diantaranya yaitu (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2016):

- a. *Glacier and Ice Sheet Melt*
- b. *Permafrost Thaw*
- c. *Precipitation Falls as Rain Instead of Snow*
- d. *Sea Surface Temperature Increase*
- e. *Snowpack Melting Earlier and/or Faster*
- f. *Extreme Precipitation Increase*
- g. *Atlantic Meridional Overturning Circulation*
- h. *Extreme El Nino Frequency Increase*
- i. *Hadley Cell Expansion*
- j. *Large Scale Global Circulation Change*
- k. *Intense Cyclone, Hurricane, Typhoon Frequency*
- l. *Thermal Expansion of the Ocean*

Berdasarkan beberapa *signal* tersebut, yang paling mempengaruhi pola data *sea level* di Indonesia adalah *signal* dari ENSO dan *sea surface thermal pattern*.



Gambar 2.7 Dekomposisi Data *Time Series*.
(Sumber: Makridakis, Wheelwright, dan Hyndman 1998)

Dekomposisi *time-series* merupakan tugas penting dalam banyak konteks dimana variasi musiman dalam data *time-series* diamati. Ada dua pendekatan alternatif untuk dekomposisi data *time series* dengan tujuan untuk mendapatkan setiap komponen seakurat mungkin. Konsep dasarnya yaitu dilakukan dengan penghapusan pola musiman sehingga menghasilkan komponen tren. Pendekatan pertama adalah *additive decomposition*. Pendekatan ini memiliki bentuk persamaan sebagai berikut:

$$Y_t = S_t + T_t + E_T \quad (20)$$

dimana Y_t adalah data observasi, S_t adalah komponen *seasonal*, T_t adalah komponen *trend-cycle*, dan E_T adalah komponen *remainder* atau *error*. Sederhananya ketiga komponen ditambahkan secara bersamaan untuk menghasilkan data observasi. Pendekatan *additive* digunakan ketika besarnya variasi musiman tidak bervariasi.

Pendekatan kedua yaitu pendekatan *multiplicative*. Pendekatan ini digunakan ketika besarnya fluktuasi musiman proporsional dengan pola deret waktunya. Pendekatan *multiplicative decomposition* memiliki bentuk persamaan sebagai berikut:

$$Y_t = S_t \times T_t \times E_T \quad (21)$$

sederhananya ketiga komponen dikalikan secara bersamaan untuk menghasilkan data observasi.

Ketika komponen *seasonal* dihapus dari data observasi, nilai yang dihasilkan disebut data "*seasonally adjusted*". Apabila variasi karena musim bukanlah kepentingan utama, *seasonally adjusted* dapat bermanfaat. Misalnya, data pengangguran bulanan biasanya disesuaikan secara musiman untuk menyoroti variasi karena keadaan ekonomi yang mendasarinya daripada variasi musiman. Peningkatan pengangguran karena lulusan sekolah yang mencari

pekerjaan adalah variasi musiman. *Seasonally adjusted* berisi komponen sisa serta *trend-cycle*. Oleh karena itu, polanya tidak mulus, dan hasil penurunan atau kenaikan dapat menyesatkan. Jika tujuannya adalah untuk mencari titik balik dan menafsirkan perubahan jangka panjang, maka lebih baik menggunakan komponen *trend-cycle* daripada *seasonally adjusted* (Makridakis, Wheelwright, dan Hyndman 1998).

2.14 Ordinary Least-Squares Regression

Ordinary least-squares (OLS) regression adalah teknik pemodelan linear umum yang dapat digunakan untuk memodelkan satu variabel respons tunggal yang telah dicatat setidaknya dalam skala interval. Teknik ini dapat diterapkan pada variabel penjelas tunggal atau *multiple* dan juga variabel penjelas kategoris yang telah diberi kode. Garis *trend* secara linier bisa didapatkan dengan melakukan regresi linier, dimana variabel terikat (Y) diprediksi, setidaknya sampai batas tertentu oleh variabel bebas (X). Jika hubungan ini linier, mungkin secara tepat diwakili secara matematis dengan menggunakan persamaan garis lurus:

$$Y = aX + b \quad (22)$$

dimana **b** adalah intersep, **a** adalah koefisien regresi atau bisa disebut sebagai gradien garis regresi dan sekaligus menggambarkan *velocity* dari Y terhadap X. Perhitungan nilai a dan b dapat dilakukan dengan formula sebagai berikut (Hutcheson 2011):

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (23)$$

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (24)$$

dimana a, b, X, dan Y adalah komponen dari persamaan (22) dan n adalah banyaknya *sample data*.

2.15 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya tentang studi kenaikan muka air laut di Indonesia pernah dilakukan oleh Yugi Limantara yang berjudul “Analisis Sea Level Rise Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-2 Periode 2008-2012”. Penelitian tersebut menganalisis tren kenaikan muka air laut di perairan Utara dan Selatan Pulau Jawa menggunakan data altimetri Jason 2 (Limantara dkk. 2013). Namun, nilai tren yang ditunjukkan dalam penelitian tersebut hanya dalam jangka 4 tahun. Sehingga hasil tersebut belum mampu menjelaskan dan menggambarkan variabilitas serta fenomena permukaan laut Indonesia secara detail dalam jangka panjang.

L. Fenoglio-Marc juga pernah melakukan penelitian tentang kenaikan muka air laut di Indonesia yang berjudul “Sea Level Change and Vertical Motion from Satellite Altimetry, Tide Gauges and GPS in the Indonesian Region”. Penelitian tersebut menganalisa *sea level rise* selama tahun 1993-2011 menggunakan satelit altimetri dan dibandingkan dengan pengamatan dari stasiun pasang surut yang terdistribusi normal. Efek *land subsidence* sudah dihilangkan dengan pengamatan GPS pada masing-masing lokasi stasiun pasang surut, sehingga menghasilkan nilai pengamatan dengan akurasi tinggi. Satelit altimetri yang digunakan adalah multi misi dari ERS-1, ENVISAT, Topex/Poseidon, Jason-1, dan Jason-2. Berdasarkan hasil penelitian tersebut nilai pengamatan dari data satelit altimetri dan data insitu stasiun pasang surut memiliki korelasi 0,95 dan 0,97 pada masing-masing titik pasang surut dan dalam interval kepercayaan sebesar 99% (Fenoglio-Marc dkk. 2010). Nilai korelasi yang sangat kuat tersebut menunjukkan bahwa pengamatan menggunakan data altimetri saja tanpa pengamatan insitu sudah memiliki nilai akurasi yang sebanding dengan pengamatan menggunakan stasiun pasang surut terkoreksi efek *land subsidence*.

Selain itu, penelitian sebelumnya tentang studi kenaikan muka air laut di Indonesia juga pernah dilakukan oleh Eko Yuli Handoko berjudul “Assessment of Altimetric Range and Geophysical Corrections and Mean Sea Surface Models-Impacts on Sea Level Variability around the Indonesia Seas.” Penelitian tersebut bertujuan untuk membandingkan beberapa model koreksi jarak dan geofisik serta menguji tingkat keakuratannya ketika diterapkan di Perairan Indonesia. Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan model koreksi yang baik untuk diterapkan di Indonesia dari masing-masing misi satelit altimetri. Data yang digunakan adalah 3 misi altimetri referensi yaitu Topex/Poseidon, Jason 1, dan Jason 2 (Handoko, Fernandes, dan Lazaro 2017)..

Sella L. Nurmaulia juga pernah melakukan studi pengamatan laut di Indonesia berjudul “Long-Term Sea Level Change From Satellite Altimetry and Tide Gauges in the Indonesian Region”. Dalam penelitiannya dinyatakan bahwa ketidakstabilan *reference level* menjadikan perekaman data menggunakan stasiun pasang surut sulit dilakukan. Hal ini dikarenakan adanya *co-seismic displacement* akibat gempa bumi Sumatra Ardaman tahun 2004. Karakteristik lempeng Indonesia yang rentan terhadap gempa bumi dan pergerakan lempeng lainnya, menjadikan data pengamatan satelit altimetri merupakan instrumen yang menjanjikan untuk pengamatan laut di Indonesia (Nurmaulia, Fenoglio-Mark, dan Becker 2010).

Penelitian lainnya pernah dilakukan oleh M. W. Strassburg berjudul “Sea level trends in Southeast Asian seas”. Penelitian ini mempelajari tren *sea level rise* di wilayah laut Asia Tenggara dengan membandingkan dua rekonstruksi dekomposisi. Melalui penelitian ini diketahui bahwa dengan menggabungkan data satelit altimetri dan stasiun pasang surut dapat meningkatkan akurasi untuk studi tren permukaan laut regional. Namun, ditemukan di beberapa lokasi yang tidak memiliki stasiun pasang surut, memiliki

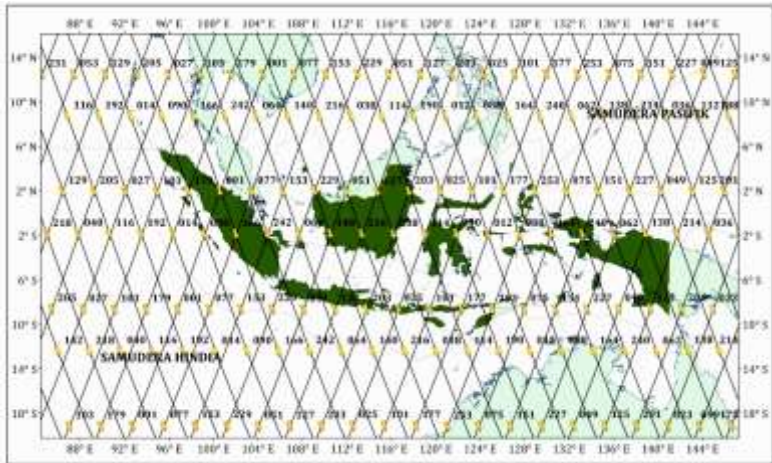
kualitas yang kurang. Namun untuk lokasi yang terdapat stasiun pasang surut, akurasinya meningkat dibanding rekonstruksi data satelit altimetri saja (Strassburg dkk. 2015).

Oleh karena itu, dalam penelitian ini berusaha untuk menggabungkan rekomendasi dari kelima penelitian tersebut yaitu menganalisis *sea level rise* di Indonesia menggunakan data altimetri tandem misi yaitu Topex/Poseidon, Jason 1, Jason 2, dan Jason 3 selama tahun 1993-2018 menggunakan model koreksi yang telah direkomendasikan oleh penelitian sebelumnya terhadap masing-masing parameter koreksi. Selain itu, hasil tren dari kenaikan muka air laut tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi pulau-pulau yang terancam mengalami penenggelaman atau banjir rob, serta mengidentifikasi kemungkinan kerugian lainnya, agar dapat dilakukan pencegahan dengan perencanaan yang baik.

BAB III METODOLOGI

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah seluruh laut di Indonesia. Batas koordinat yang digunakan untuk analisis data altimetri yaitu 13° LU - 20° LS dan 90° BT - 144° BT. Karakteristik perairan Indonesia yaitu memiliki garis pantai terpanjang kedua di dunia sepanjang 99.093 km dengan 75% wilayah negara adalah wilayah perairan, yang terdiri dari wilayah laut (perairan pedalaman, kepulauan, dan laut territorial) seluas 3,351 juta km^2 , serta wilayah perairan Zona Ekonomi Eksklusif dan landas kontinen seluas 2,936 juta km^2 (BIG dan MAPIPTEK 2016).



Gambar 3.1 *Ground Track* Satelit Jason di Indonesia.
(Sumber: Centre National d'Etudes Spatiales 2016)

Lokasi studi yang telah ditentukan seperti pada Gambar 3.1 dilewati oleh beberapa pass orbit satelit altimetri Topex/Poseidon, Jason 1, Jason 2, dan Jason 3. Beberapa

pass tersebut didefinisikan meliputi pass 001, 012, 014, 023, 025, 027, 036, 038, 040, 049, 051, 062, 064, 075, 077, 088, 090, 101, 103, 112, 114, 116, 125, 127, 129, 138, 140, 151, 153, 164, 166, 177, 179, 188, 190, 192, 201, 203, 205, 214, 216, 218, 227, 229, 240, 242, dan 253.

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Adapun data-data yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- (1) Data RADS Topex/Poseidon 1993-2001
- (2) Data RADS Jason 1 Tahun 2001-2008
- (3) Data RADS Jason 2 Tahun 2008-2016
- (4) Data RADS Jason 3 Tahun 2016-2018
- (5) Dataset Koreksi dari RADS *Database*
- (6) Data Vektor Garis Pantai Indonesia sebagai *base map* dari GSHHG *Database*
- (7) Data Vektor *Maritime Boundaries* dan IHO *Sea Areas* dari VLIZ *Maritime Boundaries Geodatabase*.

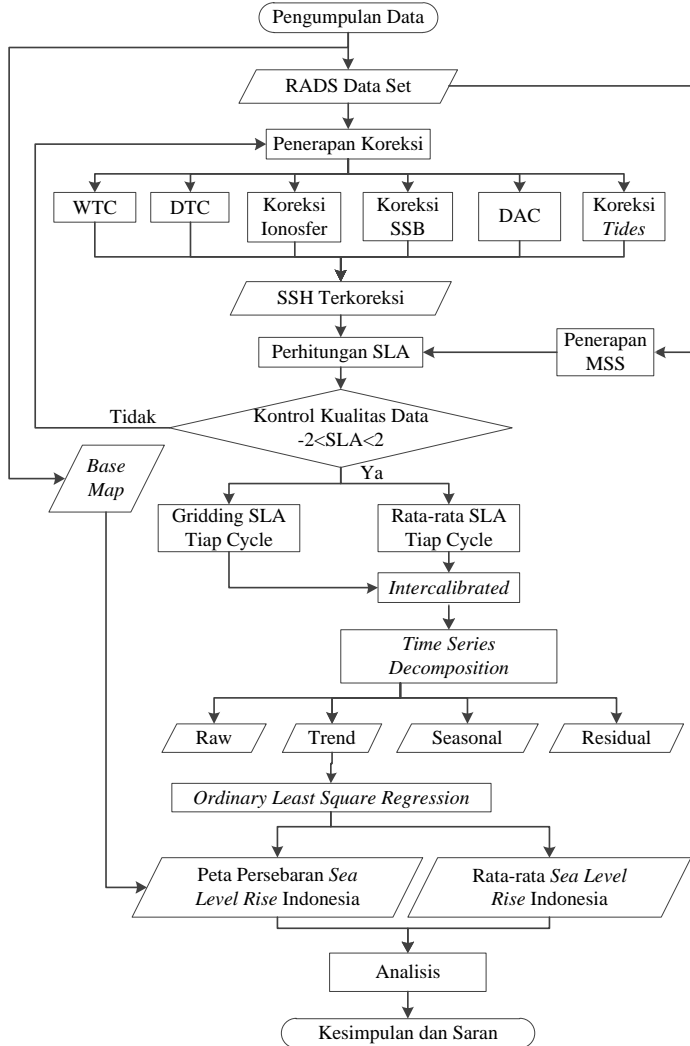
3.2.2 Software

Adapun *software-software* yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- (1) Matlab R2013 untuk menghitung SLA dan koreksinya, *intercalibrated* data tandem misi, regresi linier, dan pembuatan grafik.
- (2) Software R untuk analisis data *time series* dan dekomposisi data *time series*.
- (3) Software untuk *gridding* persebaran SLA dan mengkonversinya ke format ASCII.
- (4) ArcGIS 10.3 untuk *layouting* peta

3.3 Metodologi Penelitian

Tahapan penelitian Tugas Akhir ini disampaikan dalam diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir.

3.3.1 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data-data yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini yang meliputi:

(1) Dataset RADS

Dataset RADS (*Radar Altimeter Database System*) berisi semua parameter koreksi data satelit altimetri serta nilai pengamatan satelit altimetri Topex/Poseidon, Jason 1, Jason 2, dan Jason 3 yang meliputi *range* dan *altitude* satelit dari referensi ellipsoid. Data model MSS juga diambil dari RADS. Set datanya berformat NetCDF yang nantinya akan diterjemahkan menggunakan bahasa MATLAB R2013.

RADS merupakan sistem *database* data yang menyediakan data satelit altimetri berformat ASCII dari berbagai misi satelit altimetri. RADS dikembangkan oleh *Delft Institute for Earth-Oriented Space Research* dan *NOAA Laboratory for Satellite Altimetry*. Data RADS tersedia secara gratis di webnya TUDelft <http://rads.tudelft.nl/rads/> (Doornbos 2018).

(2) Data base map

Base map yang digunakan dalam *layouting* akhir dari Peta Persebaran *sea level rise* di Indonesia adalah data vektor garis pantai Indonesia yang didapatkan dari GSHHG (*A Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Geography Database*) dengan datum horisontalnya adalah WGS 1984 dan *tidal datumnya* adalah *Mean High Water (MHW)*. Format data berupa *ESRI Shapefile*. Vektor garis pantai ini digunakan untuk menggambarkan wilayah daratan. Penggunaan data ini memiliki

kelebihan yaitu garis batas antara laut dengan daratannya beresolusi tinggi.

GSHHG merupakan sistem *database* data yang menyediakan kumpulan data geografi beresolusi tinggi yang digabungkan dari tiga basis data di ranah publik yaitu *World Vector Shorelines* (WVS), *CIA World Data Bank II* (WDBII), dan *Atlas of the Cryosphere* (AC). GSHHG dikembangkan oleh Paul Wessel, SOEST, *University of Hawai'i*, Honolulu, HI., Walter H. F. Smith, NOAA *Geosciences Lab*, *National Ocean Service*, *Silver Spring*, dan MD. Data GSHHG tersedia secara gratis di <http://www.soest.hawaii.edu/wessel/gshhg/>.

Selain data vektor garis pantai, data *basemap* juga berupa vektor batas administrasi Laut Teritorial Indonesia dan batas perairan menurut IHO. Data ini berguna untuk menggambarkan wilayah perairan Indonesia secara spesifik. Data administrasi ini diunduh dari VLIZ *Maritime Boundaries Geodatabase*. Data memiliki format *shapefile* yang dapat diunduh secara gratis di <http://www.marineregions.org/> (VLIZ 2017).

3.3.2 Penerapan Koreksi

Pada penerapan koreksi ini dipilih model koreksi terbaik dan paling akurat untuk penggunaan data altimetri di wilayah Indonesia. Perhitungan koreksi ini akan menghasilkan SSH terkoreksi. Semua perhitungan dilakukan menggunakan *script* sederhana di MATLAB R2013.

(1) *Dry Tropospheric Correction*

Nilai *sea level pressure* yang digunakan untuk perhitungan *delay* atmosfer pada jalur kering didapatkan dari NWM (*Numerical Weather*

Model) yang dikembangkan oleh ERA-Interim pada grid $0,75^{\circ} \times 0,75^{\circ}$. Berdasarkan penelitian didapatkan model dari ERA-Interim memiliki variasi yang kecil dan konsisten untuk penggunaan di Indonesia menggunakan data satelit Topex/Poseidon maupun Jason Series (Handoko, Fernandes, dan Lazaro 2017). Data model ERA-Interim DTC didapatkan dari RADS yang sudah dikontrol kualitasnya dalam *range* -2,4 hingga 2,1 meter (Scharroo, RADS Data Manual 2016).

(2) *Wet Tropospheric Correction*

Koreksi troposfer basah dipilih dari model ERA-Interim karena model ini adalah model terbaik untuk koreksi WTC setelah *GNSS-derived Path Delay Plus* (Handoko, Fernandes, dan Lazaro 2017). Data model ERA-Interim WTC didapatkan dari RADS yang sudah dikontrol kualitasnya dalam *range* -0,6 hingga 0 meter (Scharroo, RADS Data Manual 2016).

(3) Koreksi Ionosfer

Koreksi ionosfer yang dipilih adalah *smoothed dual frequency* yang mana mampu mengurangi variasi SLA hingga $2,5 \text{ cm}^2$ hingga ke jarak 25 km dekat pantai. Penggunaan model ini tidak memperbaiki hasil secara homogen di seluruh area Indonesia, namun model ini adalah yang paling baik hasilnya untuk diterapkan di Indonesia untuk misi satelit Topex/Poseidon dan Jason Series (Handoko, Fernandes, dan Lazaro 2017). Data model *smoothed dual frequency* didapatkan dari RADS yang sudah dikontrol kualitasnya dalam *range* -0,4 hingga 0,04 meter (Scharroo, RADS Data Manual 2016).

(4) Koreksi *Sea State Bias*

Koreksi akibat *Sea State Bias* yang dipilih adalah model Tran2012 karena dalam penelitian sebelumnya model ini mengurangi variasi SLA yang paling baik untuk satelit Jason 1 yaitu sebesar 1 cm² dan Jason 2 sebesar 2,5 cm². Untuk Jason 3 belum diteliti, namun berdasarkan fakta bahwa akurasi Jason 3 sama dengan Jason 2 maka untuk hal ini diasumsikan berlaku sama (Handoko, Fernandes, dan Lazaro 2017).

(5) *Dynamic Atmospheric Correction*

Koreksi atmosfer dinamis yang dipilih adalah model *local mean of MOG2D* dengan kontrol kualitas dari data RADS dalam *range* -1 hingga 1 meter (Scharroo, RADS Data Manual 2016).

(6) Koreksi *Tides*

Koreksi *ocean* dan *load tides* menggunakan *tidal model* GOT4.10 (Handoko, Fernandes, dan Lazaro 2017). Data model GOT4.10 didapatkan dari RADS dengan *range* -5 hingga 5 meter (Scharroo, RADS Data Manual 2016).

Tabel 3.1 Parameter Model Koreksi

Parameter	T / P	Jason-1	Jason-2	Jason-3
DTC (-2,4 - 2,1 m)	ERA- Interim	ERA- Interim	ERA- Interim	ERA- Interim
WTC (0,6 – 0 m)	ERA- Interim	ERA- Interim	ERA- Interim	ERA- Interim
Ionosfer (0,4 – 0,04 m)	<i>smoothed dual frequency</i>	<i>smoothed dual frequency</i>	<i>smoothed dual frequency</i>	<i>smoothed dual frequency</i>
SSB	CLS non- parametrik	Tran2012 non- parametrik	Tran2012 non- parametrik	Tran2012 non- parametrik

Lanjutan Tabel 3.1 Parameter Model Koreksi

Parameter	T / P	Jason-1	Jason-2	Jason-3
DAC (-1 – 1 m)	<i>local</i> <i>mean of</i> MOG2D	<i>local</i> <i>mean of</i> MOG2D	<i>local</i> <i>mean of</i> MOG2D	<i>local</i> <i>mean of</i> MOG2D
Tides (-5 – 5 m)	GOT4.10	GOT4.10	GOT4.10	GOT4.10
MSS (-200 – 200 m)	CNES- CLS11	CNES- CLS15	CNES- CLS15	CNES- CLS15

3.3.3 Perhitungan SLA

Perhitungan SLA dilakukan menggunakan *script* di MATLAB R2013 dengan formula (6) atau (7) yang telah dijelaskan pada Bab 2. Model MSS yang digunakan dalam perhitungan adalah CNES-CLS11 untuk misi Topex/Poseidon dan CNES-CLS15 untuk misi Jason Series (Handoko, Fernandes, dan Lazaro 2017). Nilai MSS dikontrol kualitasnya dengan rentang -200 hingga 200 meter (Scharroo, RADS Data Manual 2016).

Nilai SLA hasil perhitungan selanjutnya dikontrol kualitasnya dalam rentang nilai -2 hingga 2 meter. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan data yang *outlier*. Apabila nilai memenuhi akurasi maksimum dari masing-masing kualitas oleh Topex/Poseidon, Jason 1, Jason 2, dan Jason 3 maka akan dilanjutkan ke proses berikutnya. Apabila tidak memenuhi berarti kemungkinan ada *human error* dalam pengolahan atau adanya keacakan data sehingga perlu dilakukan perhitungan ulang dan cek proses-proses sebelumnya (Scharroo, RADS Data Manual 2016).

3.3.4 Intercalibrated

Intercalibrated dilakukan dengan menghitung nilai bias pada *cycle* yang mengalami tandem misi. Bias ini dihitung menggunakan *adjustment* sederhana

dari data yang *overlap* di dua satelit yaitu Topex/Poseidon dan Jason 1 selama 21 *cycle*, Jason 1 dan Jason 2 selama 21 *cycle*, serta Jason 2 dan Jason 3 selama 23 *cycle*. Setelah itu seluruh nilai SLA dari data satelit yang terbaru tersebut dikurangi oleh nilai bias sehingga didapatkan SLA terkoreksi seperti formula (16), (17), dan (18) pada Bab 2.

3.3.5 Time Series Decomposition

Salah satu metode dekomposisi yang sering digunakan dalam banyak peramalan adalah STL (*A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Regression*). Upaya pertama untuk menguraikan *time series* ke dalam berbagai komponen atau bisa dikatakan alat untuk menghilangkan pola acak dan musiman dari tren seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Metode ini menggunakan *iterative loess smoothing* untuk mendapatkan perkiraan tren dan kemudian *loess smoothing* lagi untuk mengekstrak komponen musiman aditif seperti formula (20). Keuntungan besar menggunakan model ini adalah memungkinkan perhitungan interval keyakinan dan prediksi yang mudah, yang tidak tersedia dalam banyak metode. Selain itu, model ini memiliki ketahanan yang sangat tinggi terhadap data observasi yang ekstrem (Dokumentov dan Hyndman 2015). Dekomposisi dikerjakan menggunakan *script* yang dibuat pada R *software* sehingga didapatkan *trend* SLA yang telah dihapus pola musimannya, baik *annual* maupun *semiannual*.

3.3.6 Menghitung Sea Level Rise

Hasil dari dekomposisi pada R *software* menghasilkan 4 komponen data *time series*, yaitu *raw*, *trend*, *seasonal*, dan *remainder*. Setelah didapatkan

nilai *trend* maka selanjutnya dilakukan *ordinary least square regression* menggunakan MATLAB R2013 dengan variabel Y adalah *sea level anomaly* yang telah dihapus pola musimannya, serta variabel X adalah waktu. Setelah dilakukan regresi maka dari persamaan regresi akan diketahui nilai gradien dari tren linier yang merupakan koefisien dari variabel X. Nilai gradien inilah yang menunjukkan kecepatan *sea level anomaly* terhadap waktu yang dianggap sebagai *sea level rise* dengan satuan mm/tahun.

3.3.7 Peta Persebaran Sea Level Rise

Peta persebaran SLA dibuat dengan terlebih dahulu membuat grid $3^\circ \times 3^\circ$, kemudian dihitung nilai *sea level anomaly* dari setiap *cycle* (~ 10 hari) sehingga didapatkan data *time series sea level anomaly* di setiap titik grid. Ukuran grid ini didasarkan pada jarak antar lintasan orbit satelit altimetri Taopex/Poseidon dan Jason Series yaitu sebesar 316 km. Jarak ini setara dengan ukuran 3° . Hal ini bertujuan agar nilai *sea level anomaly* rata-rata dalam satu kotak grid tersebut bukanlah nilai interpolasi, namun nilai rata-rata dari semua data observasi yang tersedia pada jalur orbitnya.

Rata-rata untuk setiap grid dihitung dengan menimbang setiap kotak sesuai dengan garis lintang dan wilayahnya yang mencakup laut di Indonesia. Sehingga persebaran *regional sea level rise* akan ditampilkan dengan *base map*. Selanjutnya, setelah *sea level anomaly* pada masing-masing titik grid di *intercalibrated*, kemudian didekomposisi, hingga menghasilkan nilai *sea level rise* pada setiap titik grid, nilai *sea level rise* selanjutnya diplot pada ArcGIS dan dikonvert ke dalam format raster, selanjutnya

ditampilkan dengan data vektor garis pantai beserta batas administrasi laut teritorial Indonesia. *Base map* berupa batas laut menurut IHO juga digunakan untuk menunjang dalam analisis hasil *regional sea level rise*. Langkah terakhir pada pembuatan peta persebaran *sea level rise* adalah *layouting* peta agar informasi *regional sea level rise* dapat dibaca dan mudah dipahami.

3.3.8 Analisis

Analisis dilakukan terhadap tren kenaikan muka air laut yang dihasilkan baik rata-rata satu Indonesia maupun rata-rata dalam region grid $3^{\circ} \times 3^{\circ}$. Sehingga dari hasil analisis tersebut didapatkan gambaran mengenai fenomena variabilitas permukaan laut di Indonesia. Oleh karena itu, analisis pada peta sebaran mampu menunjukkan titik-titik rawan tergenang akibat *sea level rise* yang terjadi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dipaparkan hasil analisis pada data *time series sea level anomaly* yang didapatkan dari pengolahan data satelit altimetri Topex/Poseidon, Jason 1, Jason 2, dan Jason 3 dalam periode waktu yaitu tahun 1993-2018. Analisis data *time series sea level anomaly* digunakan untuk mendapatkan nilai *Sea Level Rise* atau kecepatan kenaikan muka air laut di perairan Indonesia. Berdasarkan analisis data yang telah diolah seperti yang telah dijelaskan pada Bab 3, dihasilkan beberapa pembahasan sebagai berikut:

4.1 Penerapan Koreksi

Sebelum dilakukan penerapan koreksi data pengamatan altimetri, maka akan dilakukan terlebih dahulu filter data pada tiap-tiap model koreksi seperti yang telah disebutkan pada Bab 3. Filter data dilakukan dengan memberi batasan nilai agar tidak *outlier* dan masuk ke dalam batas nilai yang sesuai dengan masing-masing parameter pada umumnya (Scharroo, RADS Data Manual 2016), yaitu sebagai berikut:

sla_min	= -2,0;	ssb_min	= -1,0;
sla_max	= 2,0;	ssb_max	= 1,0;
dry_min	= -2,4;	tide_ocean_min	= -5,0;
dry_max	= -2,1;	tide_ocean_max	= 5,0;
wet_min	= -0,6;	tide_load_min	= -0,5;
wet_max	= 0;	tide_load_max	= 0,5;
iono_min	= -0,4;	tide_solid_min	= -1,0;
iono_max	= 0,04;	tide_solid_max	= 1,0;
inv_bar_min	= -1,0;	tide_pole_min	= -0,1;
inv_bar_max	= 1,0;	tide_pole_max	= 0,1;

Batasan nilai tersebut dalam satuan meter, sesuai satuan awal pada *raw* data yang disediakan oleh *database* RADS. Filtering pada batasan tersebut dilakukan setelah data berformat *netCDF (*.nc)* dibaca menggunakan *MATLAB*

R2013 sehingga data dapat disimpan dalam format ASCII. Pembacaan *raw* data koreksi dilakukan dengan *script* yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

```
% Seconds since 1985-01-01 00:00:00 UTC
time_sec1985 = ncread(dir_file, 'time');

% Latitude and Longitude
lat = ncread(dir_file, 'lat');
lon = ncread(dir_file, 'lon');

% Range and Altitude
alt_sat = ncread(dir_file, 'alt_gdre');
range = ncread(dir_file, 'range_ku');

% Range and Geophysical Corrections, % if NaN ,
set it to 999.9
dry = ncread(dir_file, 'dry_tropo_era');
dry(isnan(dry)) = 999.9 ;
wet = ncread(dir_file, 'wet_tropo_era');
wet(isnan(wet)) = 999.9 ;
iono = ncread(dir_file, 'iono_alt_smooth');
iono(isnan(iono)) = 999.9 ;
ssb = ncread(dir_file, 'ssb_tran2012');
ssb(isnan(ssb)) = 999.9 ;
dac = ncread(dir_file, 'inv_bar_mog2d');
dac(isnan(dac)) = 999.9 ;
load_tide = ncread(dir_file, 'tide_load_got410');
load_tide(isnan(load_tide)) = 999.9 ;
ocean_tide=ncread(dir_file, 'tide_ocean_got410');
ocean_tide(isnan(ocean_tide)) = 999.9 ;
polar_tide = ncread(dir_file, 'tide_pole');
polar_tide(isnan(polar_tide)) = 999.9 ;
solid_tide = ncread(dir_file, 'tide_solid');
solid_tide(isnan(solid_tide)) = 999.9 ;
tides = polar_tide + solid_tide + load_tide +
ocean_tide;

% RFO and Mean Sea Surface
MSS = ncread(dir_file, 'mss_cnescls15');
```

Gambar 4.1 *Script* Pembacaan Data netCDF *Format File*.

Pada saat pembacaan data seperti yang telah terlihat pada Gambar 4.1 terlihat bahwa nilai-nilai parameter koreksi yang NaN, atau dalam hal ini nilainya tidak tersedia pada posisi koordinat yang dibutuhkan, maka nilainya dirubah menjadi 999,9. Hal ini bertujuan agar hasil perhitungan *sea level anomaly* akan ikut terfilter pada saat kontrol kualitas nilai *sea level anomaly* yang dihasilkan. Karena nilainya yang besar apabila dikalkulasi akan keluar dari *range* nilai *sea level anomaly* yang ditentukan dan akan dihapus. Nilainya tidak dirubah menjadi nol, karena apabila parameter koreksi yang tidak ada datanya dianggap nol, maka hasil perhitungan *sea level anomaly* bisa saja memenuhi tanpa adanya koreksi berdasarkan parameter tersebut. Oleh karena itu, akan didapatkan *output* tabel data ASCII yang berisi nilai-nilai parameter koreksi yang mempunyai informasi posisi dan waktu dari masing-masing model koreksi yang dipilih. Sampel data untuk nilai parameter koreksi dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Sampel Data Parameter Koreksi Altimetri

cyc	pass	MUD (s)	lat	lon	MSS (m)	dry (m)	wet (m)	iono (m)	SSB (m)	tides (m)	DAC (m)	dcoast (km)	YYF
1	12	52289.662	12.99776	119.272	40.1785	-2.3077	-0.2454	-0.0904	-0.0353	0.7826	-0.0257	97	2002.04
1	12	52289.662	12.94805	119.291	40.5043	-2.3077	-0.2459	-0.0899	-0.0434	0.7835	-0.0256	92	2002.04
1	12	52289.662	12.89833	119.31	40.8141	-2.3077	-0.2467	-0.0899	-0.0406	0.7842	-0.0255	87	2002.04
1	12	52289.662	12.79889	119.3479	41.4234	-2.3076	-0.2482	-0.0898	-0.0366	0.7855	-0.0252	76	2002.04
1	12	52289.662	12.74916	119.3668	41.7406	-2.3076	-0.2489	-0.0898	-0.0333	0.7863	-0.0251	71	2002.04
1	12	52289.662	12.69943	119.3858	42.0802	-2.3076	-0.2497	-0.0897	-0.0191	0.7868	-0.025	66	2002.04
1	12	52289.662	12.6497	119.4047	42.4436	-2.3076	-0.2504	-0.09	-0.0222	0.7873	-0.0249	62	2002.04
1	12	52289.662	12.59997	119.4236	42.8353	-2.3075	-0.2512	-0.0895	-0.0323	0.7879	-0.0248	57	2002.04
1	12	52289.662	12.55024	119.4425	43.2718	-2.3075	-0.2519	-0.089	-0.0335	0.7884	-0.0248	53	2002.04
1	12	52289.662	12.5005	119.4614	43.7406	-2.3075	-0.2527	-0.0887	-0.0232	0.7889	-0.0247	48	2002.04
1	12	52289.662	12.45076	119.4803	44.2626	-2.3075	-0.2534	-0.0886	-0.037	0.7938	-0.0245	44	2002.04
1	12	52289.662	12.40102	119.4992	44.8502	-2.3074	-0.2542	-0.089	-0.0313	0.7991	-0.0244	41	2002.04
1	12	52289.662	12.35128	119.5181	45.4852	-2.3074	-0.2549	-0.0884	-0.0152	0.8047	-0.024	38	2002.04
1	12	52289.662	12.30153	119.5369	46.1355	-2.3074	-0.2556	-0.0887	-0.0318	0.81	-0.0236	34	2002.04
1	12	52289.662	12.25179	119.5558	46.7645	-2.3074	-0.2565	-0.0915	-0.0162	0.8152	-0.0232	30	2002.04
1	12	52289.662	12.20204	119.5746	47.3156	-2.3073	-0.2576	-0.091	-0.0391	0.8202	-0.0228	26	2002.04

Nilai dari setiap koreksi pada Tabel 4.1 memiliki satuan meter. Berdasarkan Tabel 4.1 terlihat bahwa nilai model koreksi sudah sesuai dengan batasan yang telah disebutkan sebelumnya. Selanjutnya model koreksi dan nilai *mean sea surface* (MSS) digunakan untuk menghitung *sea level anomaly* menggunakan rumus yang telah dibahas pada Bab 2 dan 3 yaitu sebagai berikut:

$$\Delta R_{\text{Geo}}_{\text{corrs}} = \Delta h_{\text{dry}} + \Delta h_{\text{wet}} + \Delta h_{\text{iono}} + \quad (3)$$

$$h_{\text{SLA}} = H - R_{\text{obs}} - \Delta R_{\text{Geo}}_{\text{corrs}} - h_{\text{MSS}} \quad (6)$$

dimana keterangan mengenai kedua formula tersebut dapat dilihat pada Bab 2 – Sub Bab 2.2 dan 2.4.

Oleh karena itu, setelah dilakukan koreksi akan didapatkan nilai *sea level anomaly* pada masing-masing titik di sepanjang lintasan orbit satelit Topex/Poseidon dan Jason Series. Nilainya dapat dikelompokkan pada tiap *cycle* dan *pass*. Rincian jumlah *cycle* masing-masing satelit adalah sebagai berikut:

Topex = 322 *cycle*

Poseidon = 29 *cycle*

Jason 1 = 259 *cycle*

Jason 2 = 303 *cycle*

Jason 3 = 84 *cycle*

Data tersebut menunjukkan data yang digunakan tidak lengkap untuk Topex dan Jason 1. Hal ini terjadi akibat ketidaktersediaan data. Jumlah *cycle* Topex seharusnya 336, yaitu 10 *cycle* pertama sengaja dihapus karena tidak masuk tahun studi (1992), sedangkan 3 *cycle* (20, 31, 118) datanya tidak tersedia. Jason 1 juga seharusnya berjumlah 260 *cycle*, namun 1 *cycle* yaitu 178 tidak tersedia. Sedangkan, untuk data Jason 2 dan Jason 3 datanya sudah lengkap. Data-data yang kosong diisi menggunakan nilai hasil estimasi ketika melakukan pembuatan objek *time*

series di R *software* nantinya. Selain itu, setiap *cycle* memiliki 254 *pass* (jalur orbit) dan yang melewati wilayah studi ada 47 *pass*, yaitu 001, 012, 014, 023, 025, 027, 036, 038, 040, 049, 051, 062, 064, 075, 077, 088, 090, 101, 103, 112, 114, 116, 125, 127, 129, 138, 140, 151, 153, 164, 166, 177, 179, 188, 190, 192, 201, 203, 205, 214, 216, 218, 227, 229, 240, 242, dan 253. Sampel nilai *sea level anomaly* ditunjukkan Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Sampel Hasil Perhitungan *Sea Level Anomaly*.

cycle	pass	YYF	lat	lon	SLA (mm)
1	12	2002.04	12.99776	119.272	-88.5
1	12	2002.04	12.94805	119.291	-126.1
1	12	2002.04	12.89833	119.31	-64.7
1	12	2002.04	12.79889	119.3479	-41.1
1	12	2002.04	12.74916	119.3668	-18.3
1	12	2002.04	12.69943	119.3858	-8.9
1	12	2002.04	12.6497	119.4047	-16.1
1	12	2002.04	12.59997	119.4236	-22.1

Nilai yang terlihat pada Tabel 4.2 adalah nilai yang telah difilter dengan standar nilai antara -2 hingga 2 meter. Setelah difilter nilai *sea level anomaly* dirubah satuannya menjadi milimeter. Sehingga dihasilkan nilai *sea level anomaly* yang berada pada *range* nilai -2000 sampai 2000 mm. Namun pada kenyataanya nilai *sea level anomaly* memiliki nilai dalam variasi maksimum adalah ratusan. Kerapatan nilai dalam cakupan ruang terbatas ini menunjukkan variasi data yang kecil dan secara statistika semakin kecil nilai variasi dalam data maka semakin presisi nilai-nilai dari data yang dihasilkan, karena standar deviasinya akan semakin kecil pula (Wei 2006).

4.2 Perhitungan Rata-rata Sea Level Anomaly

Perhitungan nilai rata-rata *sea level anomaly* dilakukan menggunakan perataan bobot atau *area weighted averaging*. Pembobotan dipertimbangkan berdasarkan posisi lintangnya. Hal ini dikarenakan nilai konversi jarak grid dalam derajat ke meter menurun seiring bertambahnya nilai lintang (*latitude*) dan nilainya sebanding dengan kosinus *latitude*. Oleh karena itu, bobot diterapkan pada masing-masing nilai pengamatan yang dipertimbangkan berdasarkan kosinus dari posisi *latitude* atau lintangnya (Gleisner 2011). Rumus pembobotan dapat dilihat pada *script* dalam Gambar 4.2.

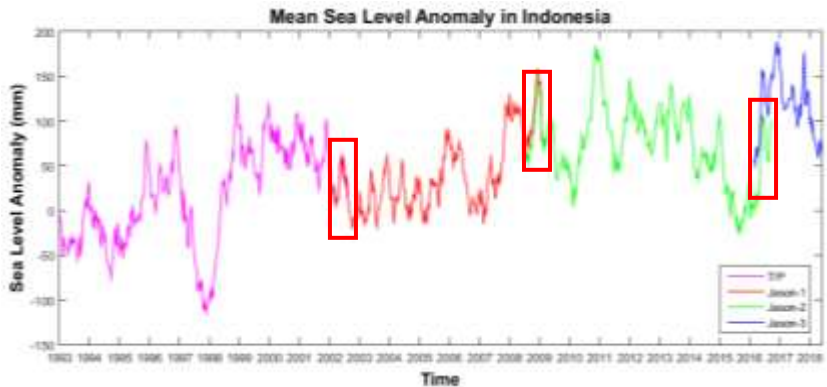
Kemudian dilakukan juga perhitungan rata-rata untuk waktunya menggunakan fraksi tahun (*yyf*). Perhitungan rata-rata waktu digunakan untuk mengambil titik tengah waktu pengamatan yang sudah dirata-rata nilainya, sehingga nantinya dapat digunakan sebagai fungsi waktu dari data yang akan dianalisis.

```
%hitung rata-rata per cycle
Weight = cosd(lat);
meanSLA = sum(sla.*weight)/sum(weight);
meanSSH = sum(ssh.*weight)/sum(weight);
meanMJD = mean(mjd);
meanYYF = mean(yyf);
```

Gambar 4.2 *Script* Perhitungan Rata-rata SLA dan Waktu.

Berdasarkan perhitungan *sea level anomaly* yang telah dilakukan dengan model koreksi sesuai penjelasan di Bab 3, dihasilkan nilai rata-rata *sea level anomaly per cycle* di Indonesia yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. *Sea level anomaly* dari pengamatan Topex/Poseidon ditunjukkan dengan warna ungu selama tahun 1993-2002, data pengamatan Jason 1 berwarna merah selama tahun 2002-

2008, data pengamatan Jason 2 berwarna hijau selama tahun 2008-2016, dan data pengamatan Jason 3 berwarna biru selama tahun 2017-2018.



Gambar 4.3 Grafik *Sea Level Anomaly* Sebelum Diinterkalibrasi.

Berdasarkan Gambar 4.3 diketahui bahwa rata-rata *sea level anomaly* di Indonesia hasil pengamatan Topex/Poseidon berada dalam rentang nilai -114,7 mm hingga 130,5 mm. Sedangkan hasil pengamatan Jason 1 berada dalam rentang nilai -20,9 mm hingga 130,1 mm, Jason 2 berada dalam rentang nilai -8,0 mm hingga 200,7 mm, dan Jason 3 berada dalam rentang nilai 25,1 mm hingga 154,7 mm. Kotak-kotak merah pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa terjadi lompatan data atau *gap* pada *cycle* yang mengalami tandem misi yaitu dua instrumen satelit melakukan perekaman data secara bersamaan dengan jarak antar satelit sejauh 1 menit sehingga data hasil perekamannya seakan-akan *overlap*.

Berdasarkan konsep pengukuran dan kesalahan, dua instrumen ketika mengukur objek yang sama harusnya menghasilkan nilai yang sama. Namun, pada kenyataannya tidak selalu menghasilkan nilai yang sama dikarenakan

berbagai sumber kesalahan yang mungkin terjadi. Baik kesalahan sistematis maupun kesalahan acak (Mikhail dan Gracie 1981). Oleh karena itu, perlu dilakukan *intercalibrated* menggunakan konsep untuk menghilangkan bias yang terjadi pada data hasil pengamatan Topex/Poseidon, Jason 1, Jason 2, dan Jason 3 menggunakan metode kuadrat terkecil.

4.3 Perhitungan Bias dan *Intercalibrated*

Dalam melakukan *intercalibrated* perlu dihitung bias yang terjadi antar satelit ketika terjadi *overlap*. Bias dihitung menggunakan *least square adjustment* (hitung perataan kuadrat terkecil). Prinsip perataan kuadrat terkecil adalah jumlah kuadrat koreksi pengamatan adalah minimum. Model matematika *least square adjustment* dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$\emptyset = v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2 = \text{minimum} \quad (25)$$

Berdasarkan *least square adjustment* dihasilkan nilai bias pengamatan antar satelit sebagai berikut:

bias (J1, T/P) = 0,7 mm

bias (J2, J1) = -17,1 mm

bias (J3, J2) = 51,1 mm

Tandem misi antara Topex/Poseidon terjadi pada *cycle* 344 sampai *cycle* 364 Topex/Poseidon bersamaan dengan *cycle* 1 sampai *cycle* 21 Jason 1. Tabel perhitungan bias antara Topex/Poseidon dan Jason 1 dijelaskan pada Tabel 4.3. *Mean* YYF adalah fraksi tahun, sedangkan untuk nilai *sea level anomaly* dalam satuan mm.

Tabel 4.3 Perhitungan Bias antara Topex/Poseidon dan Jason 1

TOPEX/POSEIDON			JASON 1			Bias SLA
cycle	Mean SLA	Mean YYF	cycle	Mean SLA	Mean YYF	
344	21,680	2002,053	1	6,622	2002,053	-15,058
345	14,740	2002,080	2	15,384	2002,080	0,644
346	23,761	2002,107	3	22,601	2002,107	-1,160
347	27,444	2002,134	4	27,655	2002,134	0,211
348	25,490	2002,161	5	21,472	2002,161	-4,018
349	17,269	2002,188	6	11,098	2002,188	-6,171
350	11,367	2002,215	7	4,917	2002,215	-6,451
351	9,192	2002,243	8	12,521	2002,242	3,329
352	10,244	2002,270	9	13,301	2002,270	3,057
353	12,681	2002,298	10	17,322	2002,297	4,641
354	35,241	2002,324	11	35,261	2002,324	0,020
355	54,719	2002,351	12	49,778	2002,351	-4,941
356	55,222	2002,378	13	54,503	2002,378	-0,720
357	60,288	2002,406	14	57,202	2002,406	-3,086
358	33,970	2002,433	15	44,960	2002,433	10,990
359	53,009	2002,460	16	61,161	2002,460	8,153
360	51,926	2002,487	17	49,660	2002,487	-2,267
361	30,150	2002,515	18	32,344	2002,514	2,194
362	35,644	2002,541	19	37,867	2002,541	2,223
363	28,035	2002,569	20	37,123	2002,568	9,088
364	13,615	2002,596	21	28,004	2002,596	14,389
Mean Bias						0,717

Tandem misi antara Jason 1 dan Jason 2 terjadi pada *cycle* 240 sampai *cycle* 260 Jason 1 bersamaan dengan *cycle* 1 sampai *cycle* 21 *pass* 1 Jason 2. Perhitungan bias antara Jason 1 dan Jason 2 dijelaskan pada Tabel 4.4, dengan satuan data yang sama dengan Tabel 4.3.

Tabel 4.4 Perhitungan Bias antara Jason 1 dan Jason 2

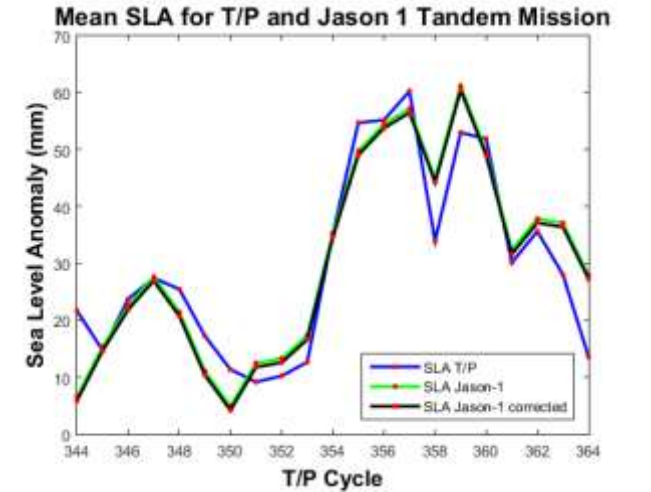
JASON 1			JASON 2			Bias SLA
cycle	Mean SLA	Mean YYF	cycle	Mean SLA	Mean YYF	
240	72,821	2008,541	1	54,614	2008,541	-18,207
241	83,495	2008,568	2	63,415	2008,568	-20,080
242	73,550	2008,590	3	62,096	2008,595	-11,454
243	84,581	2008,636	4	48,461	2008,622	-36,120
244	72,223	2008,649	5	60,505	2008,649	-11,718
245	87,733	2008,676	6	72,113	2008,676	-15,620
246	89,807	2008,703	7	73,283	2008,703	-16,524
247	85,663	2008,731	8	68,981	2008,731	-16,682
248	95,162	2008,758	9	75,894	2008,758	-19,268
249	99,958	2008,785	10	84,280	2008,785	-15,679
250	112,816	2008,812	11	96,151	2008,812	-16,666
251	117,967	2008,839	12	99,885	2008,839	-18,082
252	128,734	2008,866	13	110,259	2008,866	-18,475
253	144,812	2008,893	14	127,151	2008,893	-17,661
254	156,998	2008,920	15	144,708	2008,920	-12,290
255	158,177	2008,947	16	144,555	2008,947	-13,622
256	144,668	2008,974	17	132,515	2008,974	-12,154
257	141,362	2009,001	18	129,880	2009,001	-11,482
258	143,563	2009,029	19	124,292	2009,029	-19,271
259	117,739	2009,056	20	94,127	2009,056	-23,612
260	77,732	2009,070	21	62,662	2009,070	-15,069
Mean Bias						-17,130

Serta yang terakhir, tandem misi antara Jason 2 dan Jason 3 terjadi pada *cycle* 281 sampai *cycle* 303 Jason 2 bersamaan dengan *cycle* 1 sampai *cycle* 23 Jason 3. Perhitungan bias antara Jason 2 dan Jason 3 dijelaskan pada Tabel 4.5, dengan satuan data yang sama dengan Tabel 4.3.

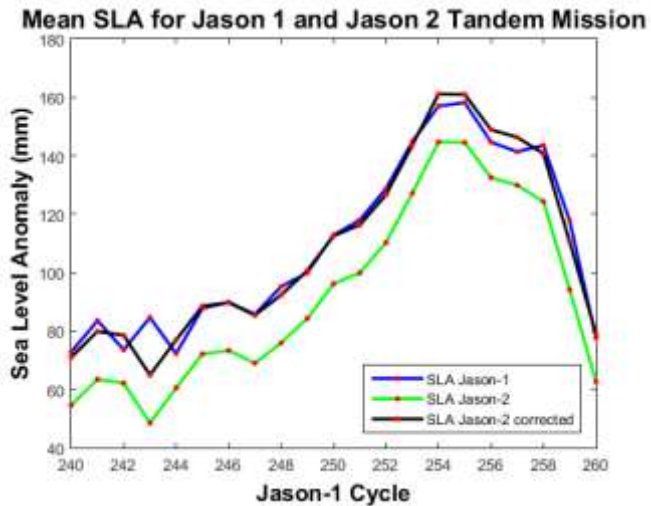
Tabel 4.5 Perhitungan Bias antara Jason 2 dan Jason 3

JASON 2			JASON 3			Bias SLA
cycle	Mean SLA	Mean YYF	cycle	Mean SLA	Mean YYF	
281	6,257	2016,143	1	57,701	2016,143	51,444
282	1,053	2016,170	2	50,276	2016,170	49,223
283	16,766	2016,197	3	60,374	2016,195	43,609
284	20,245	2016,224	4	71,781	2016,224	51,535
285	8,633	2016,250	5	59,600	2016,251	50,967
286	15,053	2016,278	6	68,801	2016,278	53,749
287	16,616	2016,306	7	68,025	2016,306	51,409
288	26,240	2016,333	8	78,636	2016,333	52,396
289	50,228	2016,360	9	101,542	2016,360	51,314
290	88,882	2016,387	10	139,929	2016,387	51,047
291	106,887	2016,414	11	157,970	2016,414	51,083
292	100,406	2016,441	12	151,081	2016,441	50,675
293	103,438	2016,468	13	153,053	2016,468	49,614
294	96,327	2016,495	14	145,773	2016,495	49,446
295	72,921	2016,522	15	125,091	2016,522	52,170
296	66,054	2016,549	16	117,504	2016,549	51,451
297	63,993	2016,577	17	116,061	2016,577	52,068
298	54,300	2016,604	18	106,261	2016,604	51,962
299	56,343	2016,631	19	108,876	2016,631	52,533
300	85,807	2016,658	20	138,511	2016,658	52,704
301	88,132	2016,685	21	139,928	2016,685	51,795
302	98,040	2016,712	22	148,435	2016,712	50,395
303	100,727	2016,739	23	152,285	2016,739	51,558
281	6,257	2016,143	1	57,701	2016,143	51,444
Mean Bias						51,049

Lompatan data pada setiap satelit yang mengalami tandem misi dapat dilihat pada Gambar 4.4. Garis warna biru menunjukkan data dari satelit referensi dan garis warna hijau adalah data yang harus dikoreksi. Sedangkan, warna hitam adalah data terkoreksi.

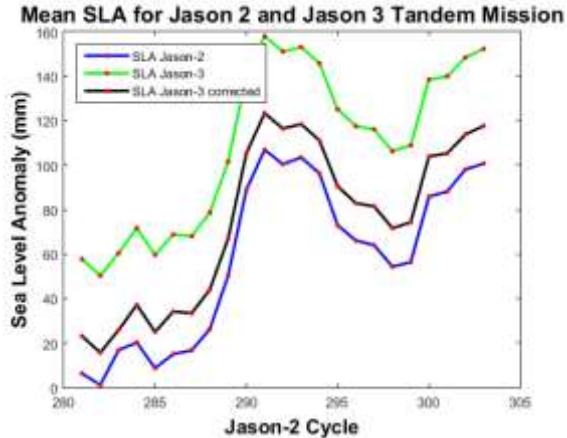


(a)



(b)

Gambar 4.4 (a) Tandem Misi Topex/Poseidon dan Jason 1
 (b) Tandem Misi Jason 1 dan Jason 2 (c) Tandem Misi Jason 1 dan Jason 3.



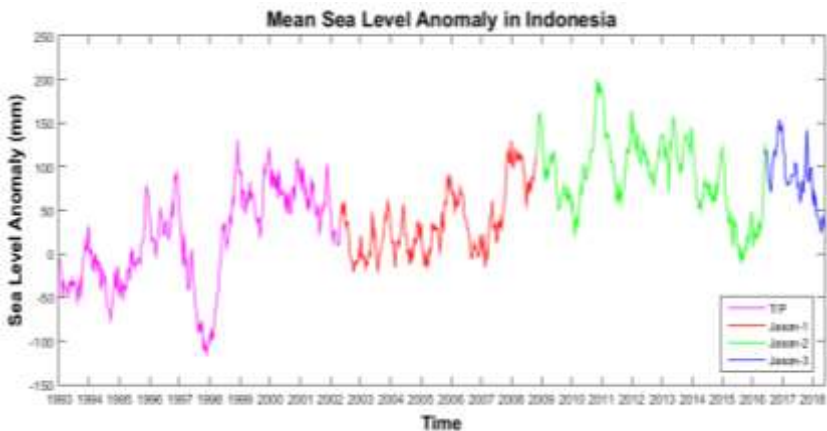
(c)

Lanjutan Gambar 4.4 (a) Tandem Misi Topex/Poseidon dan Jason 1 (b) Tandem Misi Jason 1 dan Jason 2 (c) Tandem Misi Jason 1 dan Jason 3.

Setelah didapatkan nilai bias antar satelit, maka selanjutnya dilakukan koreksi terhadap nilai *sea level anomaly* pada Jason 1 menggunakan formula (16), Jason 2 menggunakan formula (17), dan Jason 3 menggunakan formula (18). Seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 4.4 (a) bahwa bias yang terjadi antara *cycle* pada Topex/Poseidon dan Jason 1 tidak beraturan. Beberapa kali terjadi pertemuan antara 2 titik, namun beberapa kali juga nilai perbedaannya begitu ekstrim. Hal ini menunjukkan bahwa bias yang terjadi antara keduanya terjadi secara acak. Namun, keacakan bias yang terjadi masih mengikuti pola yang mirip. Hal ini terjadi diakibatkan oleh perbedaan instrument yang digunakan antara Topex/Poseidon dan Jason 1 yaitu dalam penggunaan altimeter dan *microwave* satelitnya. Sedangkan pada Gambar 4.4 (b) terlihat bahwa nilai perbedaan antar 2 satelit cenderung sama di setiap *cyclenya*. Pola lompatan datanya hampir serupa, walaupun

ada sedikit perbedaan pola di awal dan di akhir. Hal ini menunjukkan adanya kesalahan sistematis yang terjadi antar 2 satelit yang menimbulkan bias yang berpola, akibat instrument yang digunakan Jason 1 dan Jason 2 hampir memiliki sifat yang sama. Sedangkan yang terakhir yaitu Gambar 4.4 (c) menunjukkan hasil pengamatan Jason 2 dan Jason 3 memiliki pola yang sama persis namun pada *gap* yang besar. Hal ini terjadi akibat instrument yang digunakan sangat mirip yaitu yaitu altimeter Poseidon 3 dan 3b, bahkan *microwave* yang digunakan sama-sama *advance microwave radiometer*. Oleh karena itu, *gap* terjadi hanya karena kesalahan sistematis saja (Dumont dkk. 2016).

Setelah dilakukan *intercalibrated*, yaitu nilai *sea level anomaly* pada satelit yang lebih baru dikurangi dengan nilai biasanya, maka dihasilkan nilai *sea level anomaly time series* dari Januari 1993 sampai Mei 2018. Nilai rata-rata *sea level anomaly* Indonesia yang sudah terkoreksi dapat dilihat pada Lampiran A. Grafik *time series* datanya ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Grafik *Sea Level Anomaly* Setelah Diinterkalibrasi.

Berdasarkan Gambar 4.5 diketahui bahwa data *time series* memiliki beberapa pola yang seakan berulang. Oleh karena itu, untuk menguji kestasioneran data *time series* tersebut perlu dilakukan *autocorrelation* terhadap *mean* data. Berdasarkan uji *autocorrelation* didapatkan nilai korelasi untuk perlambatan satu *cycle* sebesar 0,976308743, untuk perlambatan 2 *cycle* sebesar 0,950747213, dan untuk perlambatan 3 *cycle* sebesar 0,926548943. Hal ini menunjukkan bahwa nilai-nilai antar jeda waktu dari deret waktu yang digunakan dalam penelitian ini sangat terkait satu sama lain. Kemudian dari perlambatan sebanyak 3 kali didapatkan nilai korelasi yang menurun lambat. Berdasarkan teori, apabila pengamatan berturut-turut sangat berkorelasi, dan koefisien autokorelasi berbeda secara signifikan dari nol untuk beberapa kelambatan waktu pertama dan kemudian secara bertahap menurun ke nol karena jumlah kelambanan meningkat, menyatakan bahwa data *time series* tersebut tidak stasioner dan memiliki tren (Wei 2006).

4.4 Gridding Data Sea Level Anomaly

Nilai *sea level anomaly*, selain dihitung rata-ratanya se-Indonesia, kemudian dilakukan juga perhitungan *time series* secara spasial yaitu dengan memperkecil area atau regional. Langkahnya yaitu dengan membuat grid $3 \times 3^\circ$, alasan pemilihan ukuran grid telah dijelaskan sebelumnya yaitu mengikuti jarak fase orbit satelit altimetri misi referensi, agar nilai yang didapatkan lebih sesuai dengan kondisi sesungguhnya, karena bukan hasil estimasi berdasarkan interpolasi linier. Kemudian dihitung nilai *sea level anomaly* untuk semua *cycle* pada setiap titik grid yang telah dibuat.

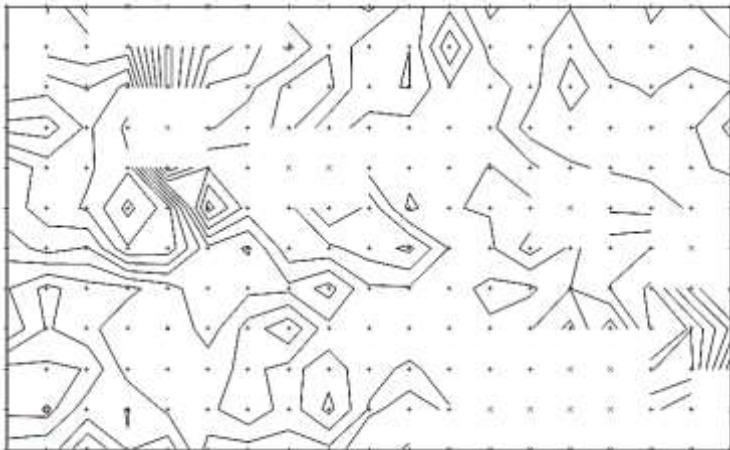
Pembuatan grid dilakukan menggunakan *script* dengan metode Data Metrik – *Z Order Mean*, menggunakan radius pencarian setengah dari ukuran grid yaitu 1,5. Pemilihan metode gridding menggunakan Data Metrik ini dikarenakan metode ini cocok dan sangat baik untuk menggambarkan rata-rata nilai di sekitar titik grid, dengan data observasi yang terstruktur dan rapi (Golden Software 2018). Gridding dihitung menggunakan *script* yang dapat melakukan pengulangan perintah secara otomatis. *Script* untuk perhitungan grid dapat dilihat pada Gambar 4.6.

```
surf.GridData3(DataFile:= file_directory +
data_file, xCol:=5, yCol:=4, zCol:=6,
xmin:=90, xmax:=144, ymin:=-20, ymax:=13,
xSize:=3, ySize:=3,
Algorithm:=srfDataMetrics,
DataMetric:=srfDMMean, SearchEnable:=True,
SearchRad1:=1.5, SearchRad2:=1.5,
SearchAngle:=0, SearchNumSectors:=4,
SearchMaxData:=9999,
SearchDataPerSect:=9999, SearchMinData:=1,
SearchMaxEmpty:=3, ShowReport:=False,
OutGrid:=grid_file, OutFmt:=srfGridFmtS7)
```

Gambar 4.6 *Script* untuk Gridding Data.

Berdasarkan *script* pada Gambar 4.6 diketahui bahwa jarak/radius pencarian adalah sebesar 1,5° dari titik pusat grid. Hal ini diambil berdasarkan ukuran grid. Dengan mengambil radius senilai setengah dari ukuran grid, maka akan didapatkan nilai pada setiap kotak tidak akan berulang dihitung pada kotak grid sebelahnya. Nilai grid 3x3° juga ditentukan berdasarkan resolusi spasial dari data altimetri Topex/Poseidon dan Jason Series.

Oleh karena itu, setelah dilakukan *gridding* data maka akan didapatkan nilai pada masing-masing titik grid. Hasil *gridding* menghasilkan 228 titik grid yaitu dengan ukuran matriks 12x19. Nilai koordinat grid akan dijelaskan pada pembahasan terakhir mengenai visualisasi data atau *plotting* peta akhir. *Blanking* data terlihat dengan kotak kosong dan tanda titik biru di pusatnya. Gambaran titik grid dapat dilihat pada Gambar 4.7. Sedangkan untuk koordinat dari titik grid dapat dilihat pada Lampiran C.



Gambar 4.7 Grid 3x3 Lokasi Penelitian.

4.5 *Time Series Decomposition*

Time series decomposition dilakukan menggunakan R *software* dengan membuat *script*. Metode yang digunakan yaitu STL (*a seasonal-trend decomposition based on loess decomposition*) seperti yang telah dijelaskan pada Bab 3. Metode ini sangat baik untuk menguraikan data *sea level anomaly time series*. Dengan memperkirakan hubungan nonlinier menggunakan *loess*, metode STL memiliki

beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode dekomposisi lainnya, STL mampu menangani semua jenis musiman, tidak hanya data bulanan ataupun kuartal, komponen musiman diperbolehkan berubah seiring waktu, dan tingkat perubahan dapat dikontrol. Sehingga menggunakan STL ini, pengamatan yang kadang-kadang tidak normal atau aneh nilainya tidak akan mempengaruhi perkiraan *trend-cycle* dan komponen musiman. Mereka akan dianggap sebagai komponen sisa (Makridakis, Wheelwright, dan Hyndman 1998). *Script* untuk dekomposisi dapat dilihat pada Gambar 4.8.

```
#read data all
data <- read.delim("dataku.txt",
header=TRUE, sep="\t", dec=".")
sla <- data[,3] #definisikan untuk SLA per
poin
time <- data[,2]
#fill NA data
library("zoo")
cz <- zoo(sla)
sla_all <- na.approx(cz)
#time series
tsku <- ts(sla_all, frequency=36.83440904,
start=c(1993.010173))
png(filename="Raw_SLA_MEAN.png",width=100,
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")
```

Gambar 4.8 *Script STL Decomposition Menggunakan R Software.*

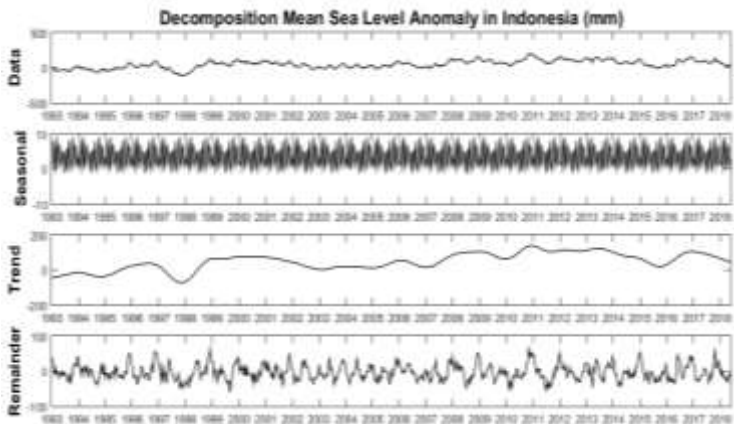

```

#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[,2],
        sla_all,trend,seasonal,remainder),nrow=93,
        ncol=6)
write.table(hasil_akhir,
        file="sla_mean.txt", row.names=FALSE,
        col.names=FALSE)

```

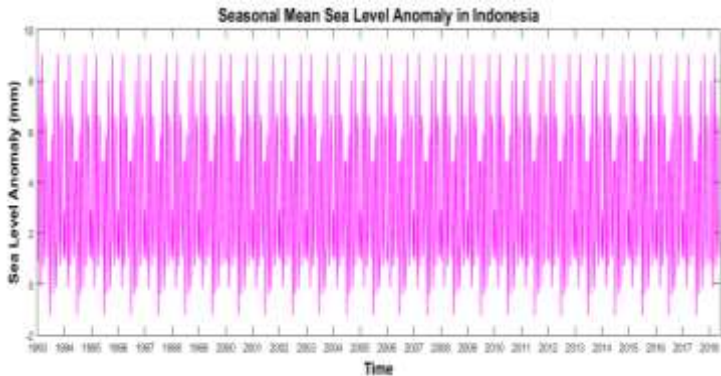
Gambar 4.9 Lanjutan *Script STL Decomposition* Menggunakan *R Software*.

Kemudian setelah dilakukan *running* akan dihasilkan 4 komponen data, yaitu *raw*, *trend*, *seasonal*, dan *remainder*. Grafik keempat komponen pada *time series* nilai rata-rata ditunjukkan Gambar 4.10.



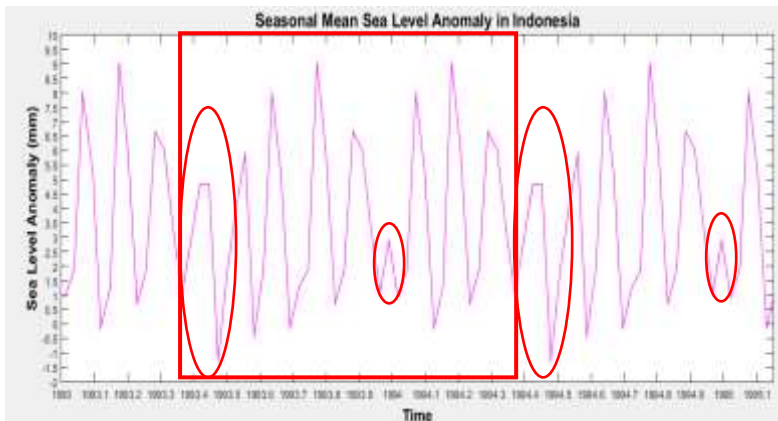
Gambar 4.10 Hasil *Time Series Decomposition*.

Gambar 4.9 dapat dilihat lebih jelas polanya dengan penjabaran masing-masing komponen. Gambar 4.10 akan menunjukkan komponen *seasonal*.



Gambar 4.11 *Seasonal Mean Sea Level Anomaly*.

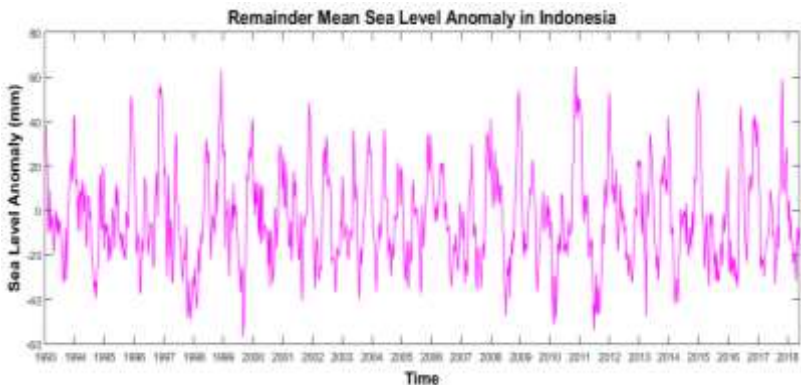
Gambar 4.11 menunjukkan bahwa bahwa *sea level anomaly* di Indonesia memiliki *signal* periodik. *Seasonal* dari data *sea anomaly time series* dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 4.11.



Gambar 4.9 *Zoom Komponen Seasonal*.

Berdasarkan Gambar 4.11 diketahui bahwa *sea level anomaly* di Indonesia memiliki *seasonal* tahunan dan 6 bulanan. Hal ini ditunjukkan bahwa amplitudo sinyal selalu kembali di Bulan Juni dengan nilai puncak sinusoidal sebesar 5 mm dan lembahnya sebesar -1,5 mm. Selain itu, sinusoidal juga berulang setiap bulan Desember sebesar 3 mm. Terdapat 2 puncak lagi yang berulang setiap tahun yaitu Juli sebesar 6 mm dan November sebesar 7 mm. Sedangkan untuk *signal* 6 bulanan terjadi setiap bulan Maret dan Oktober pada nilai 9 mm, serta pada Januari dan Agustus pada nilai 8,2 mm. Sinyal yang lebih kecil dari 6 bulanan tidak terjadi dalam data ini karena pada saat perhitungan *sea level anomaly* efek pasang surut dan efek dinamis lainnya sudah dihapus dari nilai data.

Kemudian setelah *trend* dan *seasonal* diuraikan, maka komponen sisanya dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 4.12 sebagai berikut.



Gambar 4.10 *Remainder Mean Sea Level Anomaly*.

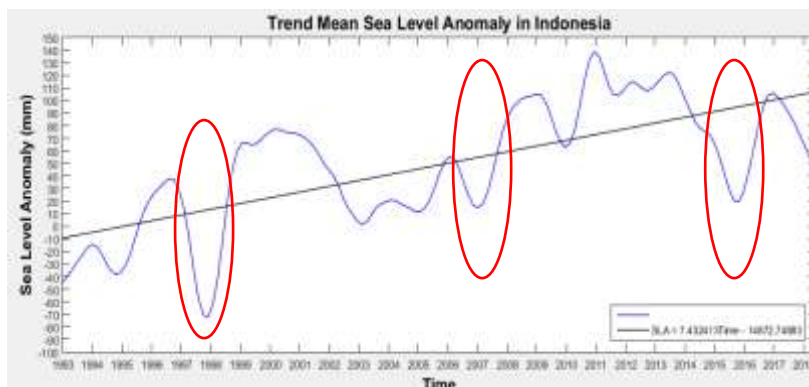
Berdasarkan Gambar 4.12 dihasilkan nilai *remainder* maksimum adalah 64,4 mm dan minimum -56,9 mm. Nilai-nilai yang terjadi sangat acak, sehingga nilai ini tidak dibutuhkan dalam pengamatan trend an musim.

4.6 Rata-rata Sea Level Rise di Indonesia

Sebelum menghasilkan *sea level rise*, selain menghapus pola *sea level anomaly* *seasonal annual* maupun *semi-annual* untuk menghasilkan *trend*, nilai keacakan yang tidak beraturan juga perlu dihapus dari data.

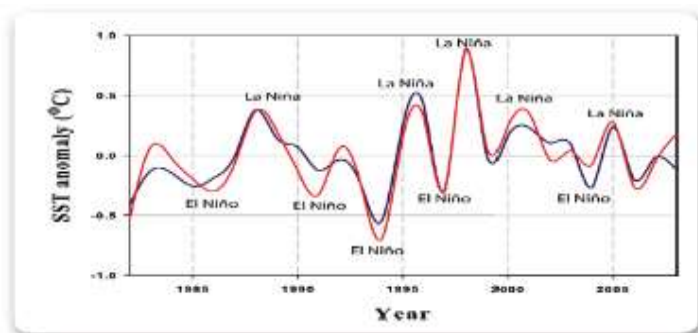
Setelah nilai *seasonal* diuraikan, dan nilai sisanya dihapus dari data menggunakan *time series decomposition*, maka dihasilkan nilai *trend* dari data seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13. Berdasarkan *trend* diketahui bahwa nilai minimum SLA terjadi pada bulan November tahun 1997 yaitu -72,4 mm dan nilai SLA maksimum terjadi pada bulan November tahun 2010 yaitu 138,6 mm. Karena pola siklikal hasil *STL decomposition* masih terkandung dalam tren, maka pada Gambar 4.13 terlihat bahwa masih terjadi pola siklikal namun kembalinya sangat lambat yaitu selama 9 tahun. Pola siklikal dapat dilihat pada lembah sinusoidal yang mirip terjadi pada akhir tahun 1997, awal tahun 2007, dan akhir tahun 2015. Lembah di 3 waktu ini menunjukkan bahwa pada waktu tersebut, perairan Indonesia mengalami dampak dari kejadian El Nino. Hal tersebut terlihat dari pola siklusnya yang sangat panjang, dan penurunan *sea level anomaly* terjadi secara drastis.

Kejadian El Nino tersebut diperkuat oleh hasil penelitian Dewa Nyoman Nurweda Putra pada tahun 2013 bahwa berdasarkan analisis data *sea surface temperature* dideteksi kejadian El Nino pada tahun 2007 yang disebabkan oleh positif IOD (Putra dan Tanaka 2013). Selain itu, hasil penelitian Ardila Yananto tahun 2016 menyatakan bahwa pada bulan November 2015 hingga Februari 2016 terjadi fenomena El Nino kuat di Indonesia yang puncaknya terjadi pada tahun 2015 (Yananto dan Sibarani 2016). Puncak-puncak kejadiannya sama seperti yang ditunjukkan pada lembah sinusoidal dari *trend sea level anomaly* pada Gambar 4.14.



Gambar 4.11 Rata-rata *Sea Level Rise* Indonesia.

Hasil penelitian yang juga mendukung hasil dari penelitian ini adalah hasil penelitian yang disampaikan dalam laporan penelitian ICCSR. Dalam penelitiannya disampaikan bahwa berdasarkan hasil analisis *sea level temperature* tahun 1980-2008 dideteksi kejadian El Nino terjadi pada waktu yang sama seperti yang ditunjukkan Gambar 4.14. Gambaran *time series* dari hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.15 (Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap 2010).



Gambar 4.12 *Sea Surface Temperature Anomaly* pada Agustus dan September Tahun 1980 to 2008.
(Sumber: Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap 2010)

Gambar 4.15 menunjukkan kejadian El Nino kuat terjadi dengan penurunan *sea surface temperature* lebih dari 0.35°C . Pola yang ditunjukkan Gambar 4.15 menunjukkan pola yang mirip dengan *trend sea level anomaly* pada Gambar 4.14. Hal ini membuktikan bahwa *sea level anomaly* memiliki hubungan yang kuat dengan *sea surface temperature*. Oleh karena itu, dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa faktor utama terjadinya *sea level rise* di Indonesia adalah naiknya *sea surface temperature* di Indonesia yang cukup signifikan.

Berdasarkan nilai *trend* yang didapatkan dari hasil penguraian *signal*, sehingga dapat dihasilkan kecepatan *sea level anomaly*. Nilai kecepatan dihasilkan dengan meregresikan data *trend* terhadap waktu sehingga didapatkan tren linier yang terlihat oleh garis hitam pada Gambar 4.14. *Ordinary least square regression* dilakukan menggunakan *toolbox function* dari MATLAB dengan *script function* dapat dilihat pada Gambar 4.16 berikut.

```
function [s,int] = trend(A,t,dim)
% SYNTAX:
% s = trend(A)
% s = trend(A,[],dim)
% Input checking:
assert(~isscalar(A), 'Input data A cannot
be a scalar. ');
sizeA = size(A);
if exist('dim','var')
    assert(ndims(A)>=dim, 'dim argument
exceeds dimensions of A');
else
dim = 1;
end
end
```

Gambar 4.13 Script Function Ordinary Least Square Regression.

Sehingga setelah dilakukan *ordinary least square regression* dihasilkan persamaan regresi sebagai berikut:

$$SLA = 4,578006\text{Time} - 9133,543432 \quad (26)$$

Persamaan (26) menunjukkan tingkat nilai *sea level anomaly* terhadap waktu. Dari Gambar 4.14 diketahui bahwa tren linier bernilai positif dari gradien garis ke arah kanan. Serta dari nilai gradien tersebut didapatkan nilai *sea level rise* yaitu $4,6 \pm 0,2$ mm/tahun. Melalui uji T diketahui bahwa dalam signifikansi 99%, persamaan (26) dinyatakan signifikan. Perhitungan uji statistic dapat dilihat pada Tabel 4.6. Nilai *sea level rise* yang dihasilkan tersebut diperkuat oleh penelitian Eko Yuli Handoko tahun 2017 yang menghasilkan nilai *sea level rise* di Indonesia selama periode 1993-2016 sebesar $+4,7$ mm/tahun baik menggunakan data altimetri misi referensi maupun menggunakan data altimetri multi misi (Handoko, Fernandes, dan Lazaro 2017).

Tabel 4.6 Uji Statistika Hasil Regresi *Sea Level Anomaly*.

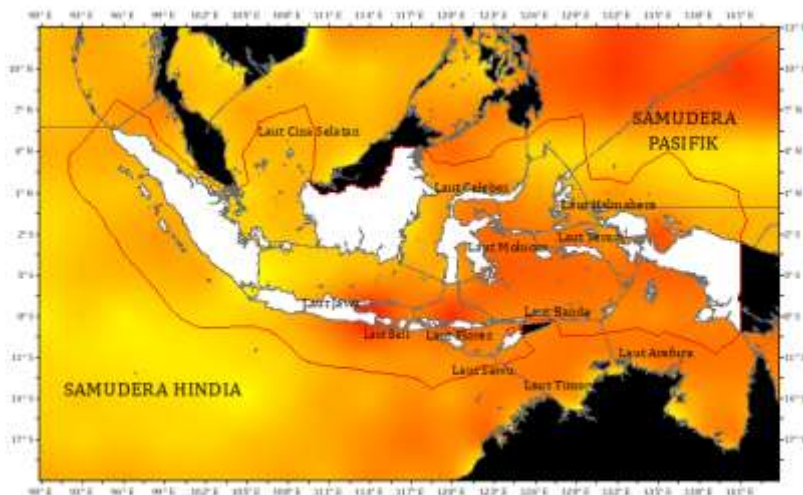
SUMMARY OUTPUT					
				T tabel	
<i>Regression Statistics</i>				1,646484952	
Multiple R	0,693688313			T stat	
R Square	0,481203476			29,43332239	
Adjusted R Square	0,480648019				
Standard Error	34,90509012				
Observations	936				
ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	1055494,809	1055494,809	866,3204668	3,0103E-135
Residual	934	1137953,205	1218,365316		
Total	935	2193448,014			
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>
Intercept	-9133,543432	311,9656785	-29,27739832	3,2639E-134	-9745,7783
X Variable 1	4,578006084	0,155538203	29,43332239	3,0103E-135	4,272761251

4.7 Sebaran *Sea Level Rise* di Indonesia

Nilai *sea level anomaly*, selain dihitung rata-ratanya se-Indonesia, kemudian dilakukan juga perhitungan *time series* secara spasial. Langkahnya yaitu dengan membuat grid $3 \times 3^\circ$ dan kemudian dihitung nilai SLA dari tiap titik grid untuk semua *cycle*. *Time series decomposition* juga diterapkan pada nilai rata-rata *sea level anomaly*.

Data *time series sea level anomaly* di setiap titik grid digunakan untuk menghitung *sea level rise* pada setiap titik grid yang dibuat. Metode penghitungan *sea level rise* sama dengan metode pada pembahasan sebelumnya ketika menghitung nilai rata-rata *sea level rise* di Indonesia.

Perhitungan *sea level rise* pada setiap titik grid dilakukan sama dengan ketika menghitung *sea level rise* rata-rata se-Indonesia. *Intercalibrated, time series decomposition* menggunakan STL, dan *ordinary least square* yang dilakukan pada setiap titik grid yang telah dibuat. Berdasarkan hasil perhitungan *sea level rise* di setiap titik, didapatkan bahwa nilai *sea level rise* cenderung tinggi di perairan Indonesia bagian Timur, dan cenderung lebih rendah di perairan bagian Barat. Gambaran kecepatan kenaikan muka air laut atau *sea level rise* secara menyeluruh di perairan Indonesia dapat dilihat pada Gambar 4.17. Sebaran *sea level rise* di Indonesia menunjukkan nilai 2,9 hingga 7,4 mm/tahun yang digambarkan dari warna kuning hingga merah. Nilai kecepatan atau *sea level rise* secara lebih jelas dapat dilihat pada lampiran tabel nilai koordinat *sea level rise* sesuai grid $3^\circ \times 3^\circ$ yang disusun sebelumnya.



Gambar 4.7 Sebaran *Sea Level Rise* di Indonesia.

Gambar 4.17 dapat dilihat lebih jelas pada lampiran peta. Semakin merah warnanya berarti kecepatannya semakin tinggi, sedangkan semakin kuning menuju warna hijau berarti kecepatannya semakin mendekati nol. Berdasarkan Gambar 4.17 diketahui bahwa lokasi-lokasi dengan kecepatan tinggi terjadi di sekitar Pulau Madura dan Bali, serta di sebagian Laut Flores. Berdasarkan sebaran tersebut juga diketahui bahwa di Laut Jawa memiliki nilai *sea level rise* sekitar 3-4 mm/tahun. Nilai ini didukung oleh hasil penelitian Sella L. Nurmaulia 2016 yang menyatakan bahwa nilai *sea level rise* di Laut Jawa berkisar antara 3-4 mm/tahun. Nilai tersebut didapatkan dari data pengamatan satelit altimetri tahun 1993 - 2009. Penelitian tersebut juga menghasilkan suatu kesimpulan bahwa korelasi antara data altimetri dan stasiun pasang surut memiliki nilai hubungan terbaik sebesar 0,91 dengan *root mean square* sebesar 41

mm. Korelasi ini menurun nilainya pada wilayah laut dangkal yang terlalu dekat dengan daratan. Sehingga dari persamaan hasil yang didapatkan tersebut diketahui bahwa pengamatan *sea level rise* menggunakan satelit altimetri saja sudah memiliki akurasi yang sepadan dengan kombinasi stasiun pasang surut terlepas dari akurasi pada area paling dekat dengan pesisir (Nurmaulia, Fenoglio-Mark, dan Becker 2010).

Selanjutnya penelitian oleh Ami Hassan juga sepakat dengan hasil penelitiannya yang menunjukkan bahwa *sea level rise* di Laut Cina Selatan dan Laut Sulu menunjukkan kecepatan sebesar 3,8 sampai 4,1 mm/tahun dari data altimetri (Din, Omar, Naeije, dan Ses 2012)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dari hasil pengolahan data dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

- a. *Sea level rise* di Indonesia selama periode 1993-2018 yang diamati menggunakan satelit altimetri Topex/Poseidon dan Jason Series yaitu sebesar $4,6 \pm 0,2$ mm/tahun dengan penghapusan *annual* dan 6 bulanan *seasonal* menggunakan algoritma *a-seasonal trend decomposition based on loess*.
- b. *Sea level rise* tercepat hasil analisis data altimetri Topex/Poseidon dan Jason Series dengan penghapusan *annual* dan 6 bulanan *seasonal* terjadi di sekitar Pulau Madura dan Bali, serta di sebagian Laut Flores. Selain itu, sebagian besar Laut Jawa juga menunjukkan kecepatan 4-5 mm/tahun. Secara keseluruhan, perairan Indonesia bagian Timur menunjukkan kecepatan yang cenderung lebih tinggi daripada bagian Barat. Oleh karena itu, pulau-pulau kecil di sekitar wilayah tersebut memerlukan perhatian khusus agar tidak sampai terjadi penenggalan pulau dan dampak-dampak lainnya.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran dari penulis terhadap keberlanjutan penelitian yaitu sebagai berikut:

- a. Penggunaan data insitu yaitu data stasiun pasang surut untuk melengkapi area-area pesisir yang tidak tercakup oleh data altimetri dapat meningkatkan akurasi pada laut dangkal.
- b. Asimilasi data menggunakan satelit altimetri multi misi mampu meningkatkan resolusi spasial, yaitu memenuhi data-data yang berada pada *gap* jalur orbit satelit

referensi dengan 313 km, namun dengan tetap mempertahankan resolusi temporal satelit referensi.

- c. Penggunaan metode *gridding* EOF yaitu pengisian data pada *gap* data yaitu nilai baru diekstrapolasi dengan mempertimbangkan kedua unsur yaitu *spasial* dan *time series*, mampu menghasilkan nilai yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. 2008. *Geodesi Satelit*. Bandung: PT Pradnya Paramita.
- Ablain, M., Cazenave, A., Larnicol, G., dan Balmaseda, M. 2015. "Improved sea level record over the satellite altimetry era (1993–2010) from the Climate Change Initiative project". *Ocean Science*, 67-82.
- Andersen, O. 2010. "The DTU10 gravity field and mean sea surface". *Second international symposium of the gravity field of the Earth (IGFS2)*. Alaska: Fairbanks.
- Andersen, O. B., dan Scharroo, R. 2011. "Range and geophysical corrections in coastal regions: And implications for mean sea surface determination". Dalam S. Vignudelli, A. G. Kostianoy, P. Cipollini, dan J. Benveniste, *Coastal Altimetry* (hal. 103-145). Berlin: Springer.
- Andersen, O., Knudsen, P., dan Stenseng, L. 2015. *The DTU13 MSS (Mean Sea Surface) and MDT (Mean Dynamic Topography) from 20 Years of Satellite Altimetry*. Switzerland: Springer.
- Bevis, M. S., Businger, S., Chriswell, S., Herring, T. A., Anthes, R. A., Rocken, C., dkk. 1994. "GPS meteorology: Mapping zenith wet delays onto precipitable water". *Journal Application Meteorology*, 379–386.
- BIG dan MAPIPTEK. 2016. *Peran Informasi Geospasial dalam Pembangunan Indonesia*. Bogor: Badan Informasi Geospasial dan Masyarakat Penulis Ilmu Pengetahuan dan Teknologi.
- Boehm, J., Werl, B., dan Schuh, H. 2006. "Troposphere mapping functions for GPS and very long baseline interferometry from European Centre for Medium-range Weather Forecasts operational analysis data". *J. Geophys. Res.Solid Earth* , 111.
- Bronner, E., Picot, N., Desjonqueres, J.-D., Desai, S., Hausman, J., Carrere, L., dkk. 2016. *Jason-1 Products Handbook*. Berlin: CNES dan NASA.

- Brown, S. 2010. "A Novel Near-Land Radiometer Wet Path-Delay Retrieval Algorithm: Application to the Jason-2/OSTM Advanced Microwave Radiometer". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1986-1992.
- Cazenave, A., Lombard, A., dan Llovel, W. 2008. "Present-day sea level rise: a synthesis". *Computation Rendus Geosience*, 761-770.
- Centre National d'Etudes Spatiales. 2016. *AVISO Satellite Altimetry Data: Online Data Extraction Service*. Dipetik Februari 27, 2018, dari des.altimetry.cnes.fr.
- Chambers, D. P., Ries, J. C., dan Urban, T. J. 2003. "Calibration and verification of Jason-1 using global along-track residuals with TOPEX". *Marine Geodesy*, 305-318.
- Chelton, D. B., Ries, J. C., Haines, B. J., Fu, L. L., dan Callahan, P. S. 2001. *Satellite Altimetry and Earth Sciences: A Handbook of Techniques and Applications*. (hal. 1-132). San Diego: Academic Press.
- Church, J. A., dan White, N. J. 2011. "Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century". *Surv. Geophys*, 585-602.
- Dahuri, R., Rais, J., Ginting, S. P., dan Sitepu, M. J. 2008. *Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan Lautan secara Terpadu*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Dangendorf, S., Wahl, T., Hein, H., Jensen, J., dan Mudersbach, C. 2012. "Mean sea level variability and influence of the North Atlantic oscillation on long-term trends in the German bright". *Water*, 170-195.
- Davis, J. L., Herring, T. A., Shapiro, I. I., Rogers, A. E., dan Elgered, G. 1985. "Geodesy by radio interferometry: Effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline length". *Radio Science*, 1593-1607.
- Desjonquieres, J.-D. 2009. *POSEIDON3 instrument investigations corrections and upgrades*. Washington: OSTST.
- Dokumentov, A., dan Hyndman, R. J. 2015. *STR: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Regression*.

- Australia: Department of Econometrics and Business Statistics, Monash University.
- Doornbos, E. 2018. *Radar Altimeter Database System*. Dipetik April 15, 2018, dari TUDelft: <http://rads.tudelft.nl/rads/>
- Dumont, J. P., Rosmorduc, V., Carrere, L., Picot, N., Bronner, E., Couhert, A., dkk. 2016. *Jason-3 Products Handbook*. Berlin: CNES, NASA, EUMETSAT, dan NOAA.
- Etcheverry, L., Saraceno, M., Piola, A., Valladeau, G., dan Moller, O. 2015. "A comparison of the annual cycle of sea level in coastal areas from gridded satellite altimetry and tide gauge". *Continental Shelf Res.*, 87-97.
- Fenoglio-Marc, L., Schone, T., Illigner, J., Becker, M., Manurung, P., dan Khafid. 2010. "Sea level change and vertical motion from satellite altimetry, tide gauges and GPS in the Indonesian region". *Marine Geodesy*, 137-150.
- Fernandes, M. J., Lazaro, C., Ablain, M., dan Pires, N. 2015. "Improved wet path delays for all ESA and reference altimetric missions". *Remote Sensing of Environment*, 50-74.
- Gaspar, P., Ogor, F., Le Traon, P. Y., & Zanife, O. Z. 1994. "Estimating the sea state bias of the TOPEX and Poseidon altimeters from crossover differences". *Journal of Geophysical Research*, 24981-24994.
- Gleisner, H. 2011. *Latitudinal Binning and Area-Weighted Averaging of Irregularly Distributed Radio Occultation Data*. The EUMETSAT Network of Satellite Application Facilities.
- Golden Software. 2018. *Golden Software*. Dipetik Mei 31, 2018, dari Golden Software Support: <http://support.goldensoftware.com/>
- Good, S. A., Corlett, G. K., Remedios, J. J., Noyes, E. J., dan Llewellyn-Jones, D. T. 2017. *The global trend in sea surface temperature from 20 years of advanced very high resolution radiometer data*. Leicester: Earth Observation

- Science, Space Research Centre, Department of Physics and Astronomy, University of Leicester.
- Hamlington, B., Leben, R., Kim, K., Nerem, R., Atkinson, L., & Thompson, P. 2015. "The effect of the El Nino-Southern Oscillation on US regional and coastal sea level". *Geophysical Res.*, 3970–3986.
- Han, W., Meehl, G., Stammer, D., Hu, A., Hamlington, B., Kenigson, J., dkk. 2017. "Spatial patterns of sea level variability associated with natural internal climate modes". *Surveying Geophysical*, 217–250.
- Handoko, E. Y., Fernandes, M. J., & Lazaro, C. 2017. "Assessment of Altimetric Range and Geophysical Corrections and Mean Sea Surface Models-Impacts on Sea Level Variability around Indonesia Seas". *Remote Sens*, 102.
- Hutcheson, G. D. 2011. "Ordinary Least-Squares Regressio. Dalam L. Moutinho, dan G. D. Hutcheson", *The SAGE Dictionary of Quantitative Management Research*. (hal. 224-228). London: Sage Publications.
- Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap - ICCSR. 2010. *Scientific basis: Analysis and Projection of Sea Level Rise and Extreme Weather Events*. Jakarta: Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap - ICCSR.
- Jochum, M., dan Murtugudde, R. 2005. "Internal Variability of Indian Ocean SST". *Journal of Climate*, 3726-3738.
- Kopp, R. E., Kemp, A. C., Bittermann, K., Horton, B. P., Donnelly, J. P., Gehrels, W. R., dkk. 2016. Temperature-driven global sea-level variability in the Common Era. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1434-1441.
- Labroue, S., Gaspar, P., Dorandeu, J., Janife, O. Z., Mertz, V., Vincent, P., dkk. 2004. Non-parametric estimates of the sea state bias for the Jason 1 radar altimeter. *Geophys*, in press.

- Leuliette, E., Nerem, R., dan Mitchum, G. 2004. Calibration of TOPEX/Poseidon and Jason altimeter data to construct a continuous record of mean sea level change. *Marine Geodesy*, 79-94.
- Limantara, Y., Sudarsono, B., & Sasmito, B. 2013. Analisis Sea Level Rise Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-2 Periode 2008-2012 (Studi Kasus: Laut Utara Jawa dan Laut Selatan Jawa). *Jurnal Geodesi UNDIP*, 182-193.
- MacMillan, D. S., Beckley, B. D., dan Fang, P. 2004. Monitoring the TOPEX and Jason - 1 microwave radiometers with GPS and VLBI wet zenith path delays. *Marine Geodesy*.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., dan Hyndman, R. J. 1998. *Forecasting: Methods and Applications*. United States of America: John Wiley & Sons.
- Masters, D., Nerem, R. S., Choe, C., Leuliette, E., Beckley, B., White, N., dkk. 2012. Comparison of Global Mean Sea Level Time Series from TOPEX/Poseidon, Jason-1, and Jason-2. *Marine Geodesy*, 20-41.
- McGranahan, G., Balk, D., dan Anderson, B. 2007. The rising tide: Assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environ. Urban*, 17-37.
- Menard, J., Fu, L. L., Escudier, P., Parisot, F., Perbot, J., Vincent, P., dkk. 2003. The Jason-1 Mission. *Marine Geodesy*, 131-146.
- Mikhail, E. M., dan Gracie, G. 1981. *Analysis and Adjustment of Survey Measurements*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Milne, G. A., Gehrels, W. R., Hughes, C. W., dan Tamisiea, M. E. 2009. Identifying the causes of sea-level change. *Nature Geoscience*, 471-478.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016. *Attribution of Extreme Weather Events in the Context of Climate Change*. Washington, DC: The National Academies Press.

- Nerem, R. S., Chambers, D. P., Choe, C., dan Mitchum, G. T. 2010. Estimating Mean Sea Level Change from the TOPEX and Jason Altimeter Missions. *Marine Geodesy*, 435-446.
- Nicholls, R. J. 2010. Impact of and responses to sea-level rise. *Understanding Sea-Level Rise and Variability*, 17-44.
- Nurmaulia, S. L., Fenoglio-Mark, L., dan Becker, M. 2010. Long-term sea level change from satellite altimetry and tide gauges in the Indonesian region. *Research Gate*.
- Picard, B., Frery, M. L., Obligis, E., Eymard, L., Steunou, N., dan Picot, N. 2015. SARAL/AltiKa Wet Tropospheric Correction: In-Flight Calibration, Retrieval Strategies and Performances. *Marine Geodesy*, 277-296.
- Putra, D. N., dan Tanaka, T. 2013. The Local Characteristics of Indonesian Seas and Its Possible Connection with ENSO and IOD: Ten Years Analysis of Satellite Remote Sensing Data. *Earth Science Research*, 153-180.
- Ralph. (2013, Januari 11). *Software for Exploratory Data Analysis and Statistical Modelling*. Dipetik Maret 1, 2018, dari <http://www.wekaleamstudios.co.uk>
- Sanchez-Arcilla, A., Garcia-Leon, M., Gracia, V., dan Devoy, R. 2016. Managing coastal environments under climate change: pathways to adaptation. *Science Total Environ*, 1336-1352.
- Scharroo, R. 2016. *RADS Data Manual*. Netherlands: TUDelft, EUMETSAT, dan NOAA.
- Scharroo, R., dan Lillibridge, J. 2004. Non-Parametric Sea-state Bias Models and Their Relevance to Sea Level Change Studies. *Proceedings of the 2004 Envisat & ERS Symposium (ESA SP-572)*. Austria: Salzburg.
- Seeber, G. 2003. *Satellite Geodesy*. Berlin: De Gruyter-Verlag.
- Slangen, A. B., Katsman, C. A., Wal, R. S., Vermeersen, L. L., dan Riva, R. E. 2011. Towards regional projections of twentyfirst century sea level change based on IPCC SRES scenarios. *Climate Dynamic*, 1191-1209.

- Small, C., dan Nicholls, R. J. 2003. A global analysis of human settlement in coastal zones. *Journal of Coastal Research*, 584-599.
- Sprintall, J., Wijffels, S. E., Molcard, R., dan Jaya, I. 2009. Direct Estimates of the Indonesian Throughflow Entering the Indian Ocean: 2004-2006. *Journal of Geophysical Research – Oceans*, 1-58.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., dkk. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Sweden: Cambridge University Press.
- Vandemark, D., Tran, N., Beckley, B. D., Chapron , B., dan Gaspar, P. 2002. Direct estimation of sea state impacts on radar altimeter sea level measurements. *Geophys*, 2148-2153.
- VLIZ. 2017. *Marineregions.com*. Dipetik Juli 20, 2018, dari Marineregions.com: <http://www.marineregions.org/>.
- Wei, W. W. (2006). *Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods Second Edition*. United States of America : Pearson Education.
- Woppelmann, G., dan Marcos, M. 2016. "Vertical land motion as a key to understanding sea level change and variability". *Rev. Geophys*, 64-92.
- Yananto, A., dan Sibarani, R. 2016. "Analisis kejadian el nino dan pengaruhnya terhadap intensitas curah hujan di wilayah jabodetabek (studi kasus: periode puncak musim hujan tahun 2015/2016)". *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 65-73.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A
TABEL NILAI RATA-RATA SEA LEVEL ANOMALY
DI INDONESIA

Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)	Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)
11	1993,01017300	-5,2962	42	1993,85394100	4,3296
12	1993,03842700	-13,1296	43	1993,88085100	13,8143
13	1993,06405900	-13,8205	44	1993,90840600	2,8876
14	1993,09530200	-35,4250	45	1993,93525200	4,7479
15	1993,11882000	-51,1713	46	1993,96238600	27,6157
16	1993,14718700	-29,8136	47	1993,98950300	30,6090
17	1993,17445400	-38,4027	48	1994,01666500	0,1753
18	1993,20168300	-38,8939	49	1994,04385100	-1,3440
19	1993,22858500	-38,6189	50	1994,07063800	5,8783
20	1993,25558500	-43,5189	51	1994,09812800	-19,6830
21	1993,28320900	-48,4188	52	1994,12540400	-11,3206
22	1993,31036100	-41,6544	53	1994,15249400	-9,0594
23	1993,33752500	-33,0956	54	1994,17925300	0,5396
24	1993,36468300	-31,4628	55	1994,20664500	-22,0072
25	1993,39192600	-38,7810	56	1994,23400200	-4,9674
26	1993,41906000	-28,9822	57	1994,26108100	-10,4643
27	1993,44628600	-36,9659	58	1994,28833700	-8,6943
28	1993,47337700	-35,0496	59	1994,31579500	-17,1211
29	1993,50049700	-31,6913	60	1994,34273900	-8,6649
30	1993,52769800	-32,5356	61	1994,36983300	-36,4649
31	1993,55519800	-39,0203	62	1994,39698000	-40,0262
32	1993,58203700	-45,5050	63	1994,42419200	-23,7091
33	1993,61021000	-54,9240	64	1994,45135200	-17,8506
34	1993,63634300	-46,8033	65	1994,47865500	-24,7253
35	1993,66357400	-34,9726	66	1994,50568600	-32,9608
36	1993,69070300	-29,7745	67	1994,53288200	-28,5912
37	1993,71713600	-51,1946	68	1994,55998900	-47,9063
38	1993,74503700	-36,1166	69	1994,58716900	-55,8203
39	1993,77212400	-20,2704	70	1994,61442300	-60,2218
40	1993,79932800	-4,0592	71	1994,64152100	-63,0466
41	1993,82661600	-1,9252	72	1994,66866500	-63,4120

Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)	Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)
73	1994,69583500	-68,8241	108	1995,64666700	-6,3216
74	1994,72298600	-75,4965	109	1995,67350400	-6,1595
75	1994,74975400	-61,1649	110	1995,70101400	-13,3599
76	1994,77736400	-54,5951	111	1995,72815400	11,6869
77	1994,80448200	-44,9236	112	1995,75528600	11,6077
78	1994,83160900	-31,1655	113	1995,78251200	14,9935
79	1994,85808300	-19,7641	114	1995,80978900	16,6388
80	1994,88597900	-39,3125	115	1995,83688500	38,1335
81	1994,91313000	-39,3176	116	1995,86399000	62,1564
82	1994,94034100	-13,6601	117	1995,89015800	77,2608
83	1994,96747100	-20,6208	118	1995,91665800	73,3345
84	1994,99457200	-50,4723	119	1995,94550400	69,4082
85	1995,02179200	-39,7155	120	1995,97262800	50,2460
86	1995,04891500	-42,5455	121	1996,00013700	43,0260
87	1995,07616800	-31,0506	122	1996,02652700	36,3615
88	1995,10332900	-34,0160	123	1996,05306000	19,9064
89	1995,13048000	-53,9296	124	1996,08107600	14,5138
90	1995,15768600	-38,9157	125	1996,10810800	18,2148
91	1995,18484100	-36,7285	126	1996,13533400	16,0718
92	1995,21197100	-40,7134	127	1996,16235000	11,6538
93	1995,23958300	-36,6260	128	1996,18940800	3,0402
94	1995,26627200	-19,8609	129	1996,21653300	-2,0361
95	1995,29351400	-17,9981	130	1996,24363600	12,3909
96	1995,32063200	-16,1551	131	1996,27073200	18,3458
97	1995,34786100	-30,9779	132	1996,29781500	19,8467
98	1995,37499800	-1,5258	133	1996,32491600	37,8536
99	1995,40251600	-7,7823	134	1996,35202300	51,1749
100	1995,42934600	4,2951	135	1996,37910800	46,9403
101	1995,45650600	-1,4123	136	1996,40621600	41,7885
102	1995,48369300	-17,4454	137	1996,43330600	37,2932
103	1995,51092300	-14,5631	138	1996,46039600	20,0254
104	1995,53801200	-8,9832	139	1996,48748500	21,6813
105	1995,56518200	-12,6958	140	1996,51456700	25,8047
106	1995,59229000	-10,6160	141	1996,54172400	35,1597
107	1995,61951100	-4,4710	142	1996,56874600	37,5324

Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)	Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)
143	1996,59586900	29,9830	178	1997,54558200	-61,4913
144	1996,62317200	17,1664	179	1997,57275100	-66,8368
145	1996,64999700	19,6134	180	1997,59991100	-87,7298
146	1996,67716400	23,5476	181	1997,62700800	-90,3984
147	1996,70385500	42,6373	182	1997,65417100	-79,9908
148	1996,73201100	48,3880	183	1997,68095300	-80,9731
149	1996,75837700	55,6884	184	1997,70850000	-89,7353
150	1996,78526000	41,1733	185	1997,73577200	-75,9261
151	1996,81261200	72,0762	186	1997,76267600	-90,6370
152	1996,83970700	88,3738	187	1997,78996100	-110,591
153	1996,86663300	85,9151	188	1997,81727300	-110,338
154	1996,89383600	92,9741	189	1997,84424300	-102,456
155	1996,92106800	86,4408	190	1997,87154200	-110,403
156	1996,94804600	73,5926	191	1997,89862900	-114,668
157	1996,97508500	56,1740	192	1997,92592200	-105,421
158	1997,00224100	41,1943	193	1997,95304500	-105,906
159	1997,02938300	38,2852	194	1997,98024500	-96,4795
160	1997,05653900	19,1030	195	1998,00740700	-96,9531
161	1997,08371700	7,8279	196	1998,03447500	-88,7575
162	1997,11095200	-13,5111	197	1998,06261200	-99,0819
163	1997,13805700	23,4783	198	1998,08877400	-90,9011
164	1997,16522300	10,7892	199	1998,11608300	-95,1413
165	1997,19227900	-12,0497	200	1998,14322000	-81,9173
166	1997,21976100	-6,0694	201	1998,17037200	-64,1658
167	1997,24667500	-10,2110	202	1998,19757500	-64,4822
168	1997,27392900	-41,6764	203	1998,22467300	-51,6449
169	1997,30107900	-41,3221	204	1998,25174200	-47,3879
170	1997,32814900	-31,7447	205	1998,27810200	-44,0407
171	1997,35543600	-10,7693	206	1998,30617100	-26,3410
172	1997,38255000	0,8423	207	1998,33339300	-16,1887
173	1997,40978500	3,9421	208	1998,36041600	-1,0794
174	1997,43730800	-28,7125	209	1998,38829700	1,7073
175	1997,46409000	-33,9955	210	1998,41470900	26,7660
176	1997,49118300	-44,3131	211	1998,44210000	32,3692
177	1997,51842600	-60,3249	212	1998,46922400	28,9168

Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)	Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)
213	1998,49635300	33,8789	248	1999,44746800	63,3463
214	1998,52355300	20,9649	249	1999,47423500	57,4367
215	1998,55045700	14,3137	250	1999,50148900	41,9412
216	1998,57556800	7,2260	251	1999,52882900	41,1654
217	1998,60501900	17,7935	252	1999,55616900	40,1704
218	1998,63218200	28,1512	253	1999,58301700	35,4966
219	1998,65940100	42,1077	254	1999,61000200	40,9060
220	1998,68622100	37,8426	255	1999,63741400	42,2045
221	1998,71362400	34,2320	256	1999,65957200	19,4175
222	1998,74092800	53,9346	257	1999,69168800	24,2226
223	1998,76783400	64,2216	258	1999,71887200	38,7352
224	1998,79539100	58,9457	259	1999,74566200	46,0804
225	1998,82268500	89,6567	260	1999,77317400	72,3738
226	1998,84959600	93,1009	261	1999,80030900	96,9731
227	1998,87661800	103,5772	262	1999,82747400	90,9439
228	1998,90338700	112,8783	263	1999,85464800	95,7189
229	1998,93106300	130,5157	264	1999,88179500	103,5194
230	1998,95810400	94,5846	265	1999,90906500	103,1563
231	1998,98544000	94,5676	266	1999,93668800	107,5265
232	1999,01248700	91,1269	267	1999,96329900	119,2963
233	1999,03972600	93,9826	268	1999,99045000	113,5166
234	1999,06679000	50,3869	269	2000,01764200	88,1402
235	1999,09408500	72,9117	270	2000,04502300	75,3924
236	1999,12573900	70,3379	271	2000,07179800	96,9769
237	1999,14828500	70,9628	272	2000,09888400	85,9083
238	1999,17553600	53,6763	273	2000,12595600	79,4053
239	1999,20278700	45,4414	274	2000,15308800	90,9351
240	1999,22988900	61,4612	275	2000,18015400	75,9215
241	1999,25688000	60,1295	276	2000,20723800	74,4408
242	1999,28423400	69,6942	277	2000,23434000	88,6924
243	1999,31207500	62,8788	278	2000,26112000	63,4282
244	1999,33849500	83,1623	279	2000,28851200	94,1346
245	1999,36561700	64,8059	280	2000,31598400	91,4501
246	1999,39281400	68,0880	281	2000,34271800	66,4042
247	1999,41998500	69,1231	282	2000,36974900	68,4594

Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)
283	2000,39682800	72,2632
284	2000,42398900	72,9742
285	2000,45109300	71,4651
286	2000,47821300	64,5860
287	2000,50528900	52,1510
288	2000,53272900	69,6768
289	2000,55954100	45,9340
290	2000,58655300	60,2719
291	2000,61311500	67,7162
292	2000,64073900	58,1155
293	2000,66783900	46,7776
294	2000,69493200	45,3164
295	2000,72199500	63,1817
296	2000,74909900	77,2622
297	2000,77618100	76,5408
298	2000,80328200	62,3790
299	2000,82966100	67,6664
300	2000,85750600	86,4803
301	2000,88423700	105,9926
302	2000,91278400	108,6368
303	2000,93873700	99,5983
304	2000,96582000	91,8816
305	2000,99295500	85,2153
306	2001,02009200	98,9040
307	2001,04733700	75,2731
308	2001,07438800	81,3365
309	2001,10158500	98,6127
310	2001,12867300	82,1048
311	2001,15592400	69,2161
312	2001,18308400	74,7705
313	2001,21024900	59,1251
314	2001,23737000	53,4243
315	2001,26452600	65,1748
316	2001,29166100	51,3607
317	2001,31894400	56,2353

Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)
318	2001,34637800	76,3323
319	2001,37321900	84,6820
320	2001,40030300	73,8437
321	2001,42754500	82,1789
322	2001,45479900	63,4616
323	2001,48186600	51,7443
324	2001,50903600	48,6792
325	2001,53624200	42,9230
326	2001,56339600	43,9489
327	2001,59040900	57,2689
328	2001,61771900	32,8817
329	2001,64490200	23,9751
330	2001,67207200	31,3013
331	2001,69885100	50,9488
332	2001,72651500	48,2077
333	2001,75362100	51,8783
334	2001,78070400	57,4189
335	2001,80796500	55,0701
336	2001,83510800	67,6458
337	2001,86218400	85,5489
338	2001,88995300	102,7874
339	2001,91654800	93,6729
340	2001,94376700	70,7420
341	2001,97089900	56,6271
342	2001,99805500	50,6402
343	2002,02519200	45,3133
344	2002,05239600	23,2908
345	2002,07955100	14,7402
346	2002,10704400	23,7611
347	2002,13388200	27,4440
348	2002,16105900	25,4898
349	2002,18809900	17,2694
350	2002,21538200	11,3674
351	2002,24252700	9,1919
352	2002,26962700	10,2436

Cycle	<i>Time</i> (Tahun)	SLA (mm)	Cycle	<i>Time</i> (Tahun)	SLA (mm)
353	2002,29760400	12,6813	45	2003,24739779	-5,7511
11	2002,32413796	34,5434	46	2003,27519215	-4,3066
12	2002,35101030	49,0607	47	2003,30213057	2,3711
13	2002,37847023	53,7851	48	2003,32907125	-1,2884
14	2002,40562347	56,4845	49	2003,35635948	26,9248
15	2002,43282748	44,2427	50	2003,38345904	45,2829
16	2002,45994369	60,4440	51	2003,41045850	38,6807
17	2002,48716477	48,9422	52	2003,43802336	19,3388
18	2002,51409922	31,6262	53	2003,46492735	26,2863
19	2002,54133075	37,1495	54	2003,49206801	17,8980
20	2002,56845325	36,4051	55	2003,51936833	-0,1645
21	2002,59567748	27,2861	56	2003,54666288	-12,9514
22	2002,62288287	12,2347	57	2003,57377792	-19,3002
23	2002,65013663	-1,3160	58	2003,60076964	-10,3151
24	2002,67712070	-3,2913	59	2003,62806194	0,6280
25	2002,70440672	-10,1355	60	2003,65517046	-0,3043
26	2002,73139439	-9,1776	61	2003,68234503	7,6543
27	2002,75891244	-20,9123	62	2003,70953479	12,0515
28	2002,78563912	-18,9141	63	2003,73660959	15,1600
29	2002,81287802	-8,8990	64	2003,76378138	21,1638
30	2002,84047101	-8,6145	65	2003,79113950	31,1781
31	2002,86732219	-12,1187	66	2003,81805039	44,4625
32	2002,89449104	-7,6698	67	2003,84553770	40,3329
33	2002,92167166	-7,9286	68	2003,87067711	51,5077
34	2002,94892223	2,0151	69	2003,91098529	60,1292
35	2002,97600845	-1,6663	70	2003,92680858	51,3791
36	2003,00320374	21,4890	71	2003,95411104	49,9826
37	2003,03044340	11,3173	72	2003,98110414	43,4137
38	2003,05717917	-8,0977	73	2004,00842374	22,2816
39	2003,08467990	-0,5153	74	2004,03552367	13,0989
40	2003,11186550	-2,2303	75	2004,06224337	11,0324
41	2003,13909673	-4,4457	76	2004,08963772	13,5060
42	2003,16616880	-15,8600	77	2004,11294686	1,1790
43	2003,19331651	-10,0481	78	2004,14857075	-16,0538
44	2003,22054978	-12,3624	79	2004,17090969	-3,1666

Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)	Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)
80	2004,19811608	9,7816	115	2005,14656265	-14,3574
81	2004,22470058	13,8653	116	2005,17372602	1,8420
82	2004,25083183	14,9842	117	2005,20093178	-6,0656
83	2004,27931101	9,1890	118	2005,22763458	-14,5198
84	2004,30633920	16,2778	119	2005,25534032	-10,7054
85	2004,33347536	20,7410	120	2005,28257040	4,8592
86	2004,36050720	35,7674	121	2005,30960140	1,1590
87	2004,38743432	37,9082	122	2005,33684921	6,1191
88	2004,41480980	56,8438	123	2005,36393641	33,9079
89	2004,44182472	48,8285	124	2005,39092538	35,1200
90	2004,46898723	26,9470	125	2005,41829218	29,0028
91	2004,49592076	21,2627	126	2005,44531977	26,9407
92	2004,52295811	21,9266	127	2005,47254800	32,0980
93	2004,55019991	1,1673	128	2005,49974112	27,5618
94	2004,57721419	4,7366	129	2005,52692410	30,1306
95	2004,60432298	2,6178	130	2005,55409509	29,4363
96	2004,63136179	-12,5431	131	2005,58151658	24,7417
97	2004,65841734	-1,4644	132	2005,60807145	12,6207
98	2004,68572057	4,9450	133	2005,63588886	2,0976
99	2004,71268454	-7,6177	134	2005,66272002	12,4158
100	2004,73974443	-3,1853	135	2005,68983841	47,8645
101	2004,76683450	12,3159	136	2005,71178546	35,2107
102	2004,79395513	18,2423	137	2005,74955943	28,1493
103	2004,82105490	16,7285	138	2005,77135471	37,2754
104	2004,84809471	9,9450	139	2005,79857433	58,9894
105	2004,87526029	34,2618	140	2005,82575476	56,6903
106	2004,90203324	36,8450	141	2005,85288840	61,8230
107	2004,92953740	32,8183	142	2005,87995509	86,8642
108	2004,95696011	16,6722	143	2005,90696083	81,6712
109	2004,98375896	30,0831	144	2005,93437192	75,3645
110	2005,01081511	33,2005	145	2005,96156938	90,7531
111	2005,03783431	16,4785	146	2005,98869301	82,4280
112	2005,06503235	-1,4946	147	2006,01585325	81,2236
113	2005,09227210	-2,9958	148	2006,04309167	68,5219
114	2005,11921700	-13,7830	149	2006,07017872	71,1518

Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)	Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)
150	2006,09719106	63,3698	185	2007,04823654	4,0365
151	2006,12467229	48,8336	186	2007,07544176	23,0934
152	2006,15185705	55,5140	187	2007,10248448	5,1616
153	2006,17887131	65,0711	188	2007,12963209	-16,0076
154	2006,20616084	55,1123	189	2007,15692946	-4,3419
155	2006,23314407	54,4524	190	2007,18402996	2,2359
156	2006,26026560	61,4747	191	2007,21123343	-3,3776
157	2006,28763930	68,1842	192	2007,23831836	9,9491
158	2006,31456244	75,8902	193	2007,26548871	30,8135
159	2006,34203521	68,0286	194	2007,29251345	40,2451
160	2006,36911434	68,3527	195	2007,31985921	45,2623
161	2006,39582572	67,6737	196	2007,34708647	46,5177
162	2006,42352746	58,6973	197	2007,37413827	61,3706
163	2006,45056815	41,0499	198	2007,40120461	32,8042
164	2006,47785092	41,1899	199	2007,42868399	28,1776
165	2006,50489684	39,2349	200	2007,45558370	33,9076
166	2006,53200008	29,3321	201	2007,48290894	33,0363
167	2006,55915147	30,2422	202	2007,51014134	12,5383
168	2006,58643814	23,1954	203	2007,53706427	13,6432
169	2006,61344096	17,2373	204	2007,56436078	36,3415
170	2006,64064390	8,3192	205	2007,59157540	34,1421
171	2006,66767525	-3,4748	206	2007,61858934	30,5125
172	2006,69504923	-5,6190	207	2007,64594905	39,3695
173	2006,72247124	0,5231	208	2007,67301655	29,8113
174	2006,74938651	7,4336	209	2007,70024944	38,1443
175	2006,77641286	12,6162	210	2007,72740793	49,0753
176	2006,80387290	6,8426	211	2007,75442292	53,9673
177	2006,82310765	8,4910	212	2007,78178580	56,9784
178	2006,84764663	2,9915	213	2007,80869925	77,0634
179	2006,88774030	-2,5080	214	2007,83602700	90,7819
180	2006,91227928	-4,6586	215	2007,86322407	113,0820
181	2006,93926233	8,0564	216	2007,89029043	118,5241
182	2006,96682203	19,9758	217	2007,91747749	113,7175
183	2006,99393258	14,5009	218	2007,94459300	103,5378
184	2007,02101451	10,3436	219	2007,97190462	105,3477

Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)	Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)
220	2007,99911975	130,0900	16	2008,94733488	160,9676
221	2008,02610329	104,3591	17	2008,97428694	148,9275
222	2008,05310292	98,9792	18	2009,00145029	146,2926
223	2008,08049273	98,6878	19	2009,02864284	140,7046
224	2008,10745158	111,6860	20	2009,05570838	110,5397
225	2008,13453108	119,4114	21	2009,08298995	105,6065
226	2008,16143715	112,6883	22	2009,10996694	88,7993
227	2008,18848560	107,0144	23	2009,13726839	94,7276
228	2008,21588668	109,8687	24	2009,16436987	86,6617
229	2008,24270633	115,6266	25	2009,19164488	95,5078
230	2008,27015410	108,6039	26	2009,21877608	89,9003
231	2008,29679390	106,6154	27	2009,24604962	97,8074
232	2008,32413863	114,8912	28	2009,27309843	101,9387
233	2008,34458471	113,2302	29	2009,30023080	107,3325
234	2008,37827079	110,8999	30	2009,32747976	113,0338
235	2008,40549350	93,7269	31	2009,35480412	105,4433
236	2008,43265544	93,5702	32	2009,38170531	110,6823
237	2008,45967442	73,4131	33	2009,40900823	117,2229
238	2008,48652887	62,7473	34	2009,43601140	112,0683
239	2008,51369063	55,6516	35	2009,46319590	106,1226
240	2008,54076078	72,1033	36	2009,49039449	84,8442
241	2008,56809638	82,7774	37	2009,51770113	69,6536
242	2008,59048001	72,8327	38	2009,54469715	55,1125
243	2008,63567707	83,8635	39	2009,57198521	49,9537
244	2008,64884236	71,5054	40	2009,59905406	51,0878
245	2008,67634584	87,0153	41	2009,62626591	59,1268
246	2008,70339176	89,0900	42	2009,65346587	64,5902
247	2008,73057292	84,9457	43	2009,68057173	68,1373
248	2008,75762355	94,4446	44	2009,70776931	66,9438
249	2008,78465667	99,2410	45	2009,73493036	67,8579
11	2008,81177729	112,5633	46	2009,76203558	79,3343
12	2008,83878007	116,2979	47	2009,78930247	72,1593
13	2008,86594394	126,6722	48	2009,81642386	62,6037
14	2008,89309279	143,5641	49	2009,84359851	61,4566
15	2008,92011981	161,1209	50	2009,87076378	64,1819

Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)	Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)
51	2009,89785015	77,2714	86	2010,84866976	200,6742
52	2009,92504228	62,3165	87	2010,87579346	189,2137
53	2009,95225340	67,3291	88	2010,90312390	185,2912
54	2009,97936072	64,2488	89	2010,93025824	196,4982
55	2010,00658042	53,7775	90	2010,95738948	185,3399
56	2010,03375298	60,4041	91	2010,98461016	188,6404
57	2010,06084335	35,7935	92	2011,01175125	185,3269
58	2010,08803687	30,5546	93	2011,03890067	181,7227
59	2010,11524280	19,6729	94	2011,06609984	171,1855
60	2010,14243647	37,9321	95	2011,09315928	155,5432
61	2010,16950041	41,2063	96	2011,12055731	132,9676
62	2010,19676905	31,7072	97	2011,14764638	135,1952
63	2010,22391935	39,1125	98	2011,17472625	138,0573
64	2010,25103220	59,5977	99	2011,20179406	134,7555
65	2010,27821976	61,7643	100	2011,22916261	136,1822
66	2010,30541446	75,9751	101	2011,25612965	131,9181
67	2010,33265089	69,4261	102	2011,28330384	109,1153
68	2010,35972101	75,2949	103	2011,31063896	105,2459
69	2010,38688504	97,2749	104	2011,33765790	106,0626
70	2010,41411110	101,9902	105	2011,36479308	106,9484
71	2010,44119968	94,7683	106	2011,39218598	98,8128
72	2010,46839457	85,4496	107	2011,41911634	100,1126
73	2010,49552174	84,8360	108	2011,44646218	78,7886
74	2010,52281955	89,9123	109	2011,47351623	60,1926
75	2010,54988417	98,6110	110	2011,50082539	64,9365
76	2010,57700257	97,7931	111	2011,52785249	63,0997
77	2010,60415574	104,4925	112	2011,55510067	81,4602
78	2010,63140019	116,6725	113	2011,58221969	63,9032
79	2010,65858664	119,3795	114	2011,60930223	69,8741
80	2010,68562236	118,4989	115	2011,63659155	59,3475
81	2010,71293650	117,0796	116	2011,66368729	67,9987
82	2010,74007210	138,8151	117	2011,69083160	69,9454
83	2010,76713946	155,5849	118	2011,71806880	72,1748
84	2010,79440625	164,1895	119	2011,74521979	83,2424
85	2010,82155184	182,6607	120	2011,77234320	100,1025

Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)	Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)
121	2011,79958248	98,7442	156	2012,74830104	78,0968
122	2011,82669674	115,9842	157	2012,77533893	85,1454
123	2011,85374806	120,5957	158	2012,80259670	94,4755
124	2011,88100037	116,0410	159	2012,82963398	95,4791
125	2011,90807916	115,3185	160	2012,85676576	106,7864
126	2011,93538898	131,1246	161	2012,88371875	117,3015
127	2011,96256477	147,3639	162	2012,91086213	113,8212
128	2011,98968593	164,5081	163	2012,93795896	134,2782
129	2012,01682215	152,9186	164	2012,96510372	134,9042
130	2012,04393857	139,8948	165	2012,99212060	135,2596
131	2012,07102463	144,9747	166	2013,01930499	135,9767
132	2012,09807983	126,0382	167	2013,04655004	137,4114
133	2012,12515600	124,9616	168	2013,07355303	117,9365
134	2012,15233387	118,1557	169	2013,10066793	109,6674
135	2012,17941798	129,1032	170	2013,12804632	123,9638
136	2012,20641298	139,1385	171	2013,15515865	110,3592
137	2012,23350397	118,6774	172	2013,18220649	108,0691
138	2012,26064505	105,5728	173	2013,20933207	100,8213
139	2012,28775269	102,4368	174	2013,23230612	71,6501
140	2012,31489895	110,9301	175	2013,26847034	129,4320
141	2012,34189932	119,1645	176	2013,29077503	123,7355
142	2012,36898622	126,0964	177	2013,31808921	133,1306
143	2012,39607703	115,0180	178	2013,34522711	144,4818
144	2012,42315740	112,6313	179	2013,37236425	156,9859
145	2012,45041835	116,4183	180	2013,39959378	154,2434
146	2012,47738371	106,2284	181	2013,42681719	147,8024
147	2012,50442351	102,1743	182	2013,45396051	139,1512
148	2012,53160912	107,0422	183	2013,48109801	126,4267
149	2012,55871520	93,2980	184	2013,50826137	109,6639
150	2012,58576370	89,5043	185	2013,53546824	111,6193
151	2012,61286203	90,7104	186	2013,56265313	106,6221
152	2012,63996622	86,9516	187	2013,58977806	93,7058
153	2012,66708044	93,2706	188	2013,61694514	100,9534
154	2012,69416143	81,9609	189	2013,64413237	95,3474
155	2012,72122724	81,6507	190	2013,66744923	99,1835

Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)	Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)
191	2013,70488900	118,4210	226	2014,64930028	65,3078
192	2013,72558059	129,6791	227	2014,67642275	60,5693
193	2013,75271427	131,3143	228	2014,70358151	67,2637
194	2013,77989569	133,8281	229	2014,73066733	60,9196
195	2013,80707905	137,5523	230	2014,75797812	59,4573
196	2013,83430811	135,5494	231	2014,78505188	81,8420
197	2013,86141888	124,9287	232	2014,81219823	67,5719
198	2013,88857472	124,3091	233	2014,83939161	74,3228
199	2013,91570264	124,7323	234	2014,86654676	88,0448
200	2013,94298216	114,1812	235	2014,89363933	88,4644
201	2013,97011350	145,7787	236	2014,92098916	98,8944
202	2013,99723990	135,8152	237	2014,94810418	115,8193
203	2014,02450650	129,0017	238	2014,97522552	115,4426
204	2014,05157197	121,1687	239	2015,00241775	122,3836
205	2014,07877841	93,9481	240	2015,02957465	109,4918
206	2014,10591833	90,5004	241	2015,05683293	100,9046
207	2014,13310457	85,7479	242	2015,08397851	90,1805
208	2014,16025433	61,9527	243	2015,11109058	65,0538
209	2014,18741093	63,5174	244	2015,13818637	51,7447
210	2014,21455908	53,0552	245	2015,16546518	48,8915
211	2014,24178455	52,2561	246	2015,19257253	35,0519
212	2014,26888124	58,1541	247	2015,21967983	35,1457
213	2014,29606367	50,7034	248	2015,24683335	38,3810
214	2014,32336276	63,0652	249	2015,27410842	45,9353
215	2014,35045477	65,2324	250	2015,30122882	31,3265
216	2014,37758427	71,8807	251	2015,32845406	20,3220
217	2014,40458718	84,4634	252	2015,35562879	8,3149
218	2014,43191088	77,9514	253	2015,38273630	36,6183
219	2014,45911116	79,5844	254	2015,40988387	32,4933
220	2014,48627190	75,3628	255	2015,43710438	36,8161
221	2014,51339301	76,7561	256	2015,46433319	28,7095
222	2014,54066612	81,5140	257	2015,49140705	15,4435
223	2014,56774391	67,8392	258	2015,51856565	6,4729
224	2014,59491298	79,5790	259	2015,54562692	8,5725
225	2014,62201899	63,9676	260	2015,57293544	-1,5459

Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)	Cycle	Time (Tahun)	SLA (mm)
261	2015,59999447	4,3948	16	2016,54944788	82,8673
262	2015,62728592	-8,0348	17	2016,57660775	81,4242
263	2015,65443262	-0,6364	18	2016,60363122	71,6244
264	2015,68168691	-6,8441	19	2016,63062120	74,2388
265	2015,70876120	-4,4800	20	2016,65761808	103,8737
266	2015,73586281	2,4997	21	2016,68484802	105,2907
267	2015,76299943	7,2165	22	2016,71181179	113,7979
268	2015,79034933	3,7645	23	2016,73891251	117,6477
269	2015,81738800	16,8191	24	2016,76618549	113,3733
270	2015,84448075	20,4830	25	2016,79321507	123,4101
271	2015,87179848	14,2181	26	2016,82038643	124,3079
272	2015,89879685	26,4754	27	2016,84728207	146,1094
273	2015,92602700	31,1710	28	2016,87453161	144,7074
274	2015,95336444	39,5260	29	2016,90154339	154,7237
275	2015,98037215	48,6402	30	2016,92856733	139,9800
276	2016,00750444	28,3475	31	2016,95580466	142,0428
277	2016,03456421	6,5355	32	2016,98285513	145,8833
278	2016,06187900	24,4889	33	2017,00995014	123,7035
279	2016,08878609	18,6530	34	2017,03703500	119,6046
280	2016,11593824	20,4402	35	2017,06430230	109,4074
281	2016,14293883	22,6699	36	2017,09152916	85,0977
282	2016,17005513	17,4658	37	2017,11856327	86,4735
283	2016,19733997	33,1785	38	2017,14576928	78,2412
284	2016,22421542	36,6581	39	2017,17294269	80,3262
285	2016,25032296	25,0459	40	2017,20014029	79,6025
286	2016,27842070	31,4653	41	2017,22729315	81,4973
287	2016,30560176	33,0285	42	2017,25449713	81,4115
288	2016,33265592	42,6528	43	2017,28170402	86,1614
289	2016,35982445	66,6412	44	2017,30878341	90,6486
290	2016,38686986	105,2947	45	2017,33603287	89,3431
291	2016,41389231	123,2994	46	2017,36315733	89,5072
12	2016,44089431	116,4439	47	2017,39027112	93,0606
13	2016,46823893	118,4156	48	2017,41754613	105,0850
14	2016,49524344	111,1364	49	2017,44453737	103,1391
15	2016,52213733	90,4539	50	2017,47169865	96,7739

Cycle	<i>Time</i> (Tahun)	SLA (mm)
51	2017,49891919	77,4722
52	2017,52621482	80,2660
53	2017,55337713	75,5092
54	2017,58048683	59,5880
55	2017,60764816	62,4562
56	2017,63480749	66,9708
57	2017,66186510	84,2908
58	2017,68920911	69,8192
59	2017,71625041	86,0933
60	2017,74332788	90,9766
61	2017,77077036	103,3271
62	2017,79774054	137,3852
63	2017,81443771	139,8293
64	2017,85201240	84,0722
65	2017,87941346	82,4937
66	2017,90648536	95,6615
67	2017,93352937	98,1118
68	2017,96075526	99,3528
69	2017,98786494	73,5684
70	2018,01522728	61,7170
71	2018,04223135	69,9214
72	2018,06945552	56,4343
73	2018,09661316	62,9877
74	2018,12380542	46,1469
75	2018,15087195	44,7184
76	2018,17821441	42,0422
77	2018,20529728	37,2872
78	2018,23235750	35,8361
79	2018,25949539	27,3941
80	2018,28677955	25,0623
81	2018,31402898	39,8864
82	2018,34104901	42,7092
83	2018,36810479	35,5507
84	2018,38768023	29,5596

LAMPIRAN B
PETA *SEA LEVEL RISE* INDONESIA

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C
TABEL KOORDINAT REGIONAL SEA LEVEL RISE
INDONESIA

ID	Bujur	Lintang	SLR (mm/tahun)	ID	Bujur	Lintang	SLR (mm/tahun)
1	90	-20	4,702	32	126	-17	Daratan
2	93	-20	4,507	33	129	-17	Daratan
3	96	-20	4,686	34	132	-17	Daratan
4	99	-20	4,332	35	135	-17	Daratan
5	102	-20	4,346	36	138	-17	4,669
6	105	-20	4,350	37	141	-17	5,346
7	108	-20	4,707	38	144	-17	Daratan
8	111	-20	4,338	39	90	-14	3,877
9	114	-20	5,181	40	93	-14	4,076
10	117	-20	4,768	41	96	-14	3,845
11	120	-20	4,963	42	99	-14	3,770
12	123	-20	Daratan	43	102	-14	3,609
13	126	-20	Daratan	44	105	-14	3,262
14	129	-20	Daratan	45	108	-14	3,962
15	132	-20	Daratan	46	111	-14	4,679
16	135	-20	Daratan	47	114	-14	4,381
17	138	-20	Daratan	48	117	-14	5,120
18	141	-20	Daratan	49	120	-14	4,625
19	144	-20	Daratan	50	123	-14	5,336
20	90	-17	4,056	51	126	-14	5,148
21	93	-17	3,864	52	129	-14	4,928
22	96	-17	4,051	53	132	-14	Daratan
23	99	-17	3,859	54	135	-14	Daratan
24	102	-17	3,824	55	138	-14	4,698
25	105	-17	4,172	56	141	-14	4,832
26	108	-17	4,371	57	144	-14	4,740
27	111	-17	4,638	58	90	-11	3,780
28	114	-17	5,016	59	93	-11	3,637
29	117	-17	5,499	60	96	-11	3,540
30	120	-17	5,073	61	99	-11	3,475
31	123	-17	Daratan	62	102	-11	3,529

ID	Bujur	Lintang	SLR (mm/tahun)	ID	Bujur	Lintang	SLR (mm/tahun)
63	105	-11	3,776	98	96	-5	4,314
64	108	-11	3,904	99	99	-5	4,488
65	111	-11	4,498	100	102	-5	4,573
66	114	-11	4,897	101	105	-5	2,902
67	117	-11	4,913	102	108	-5	3,659
68	120	-11	5,011	103	111	-5	4,029
69	123	-11	5,146	104	114	-5	4,502
70	126	-11	5,284	105	117	-5	4,893
71	129	-11	5,398	106	120	-5	4,196
72	132	-11	5,401	107	123	-5	5,967
73	135	-11	5,616	108	126	-5	5,823
74	138	-11	5,469	109	129	-5	5,691
75	141	-11	5,396	110	132	-5	5,593
76	144	-11	5,316	111	135	-5	5,803
77	90	-8	3,383	112	138	-5	5,717
78	93	-8	3,976	113	141	-5	4,200
79	96	-8	3,379	114	144	-5	3,865
80	99	-8	3,752	115	90	-2	3,675
81	102	-8	3,807	116	93	-2	4,088
82	105	-8	4,020	117	96	-2	4,544
83	108	-8	4,459	118	99	-2	4,888
84	111	-8	5,416	119	102	-2	4,168
85	114	-8	7,414	120	105	-2	3,996
86	117	-8	5,246	121	108	-2	4,264
87	120	-8	6,724	122	111	-2	4,000
88	123	-8	5,241	123	114	-2	3,900
89	126	-8	5,113	124	117	-2	3,843
90	129	-8	5,299	125	120	-2	5,355
91	132	-8	5,062	126	123	-2	5,639
92	135	-8	4,994	127	126	-2	5,318
93	138	-8	5,221	128	129	-2	5,506
94	141	-8	5,124	129	132	-2	4,538
95	144	-8	5,707	130	135	-2	6,141
96	90	-5	3,913	131	138	-2	4,707
97	93	-5	4,291	132	141	-2	4,586

ID	Bujur	Lintang	SLR (mm/tahun)	ID	Bujur	Lintang	SLR (mm/tahun)
133	144	-2	4,472	168	135	4	3,902
134	90	1	3,901	169	138	4	3,579
135	93	1	4,123	170	141	4	3,527
136	96	1	4,065	171	144	4	3,447
137	99	1	4,305	172	90	7	4,066
138	102	1	4,149	173	93	7	4,245
139	105	1	3,774	174	96	7	4,834
140	108	1	4,478	175	99	7	5,302
141	111	1	Daratan	176	102	7	4,000
142	114	1	Daratan	177	105	7	4,796
143	117	1	3,906	178	108	7	4,316
144	120	1	4,821	179	111	7	4,512
145	123	1	5,448	180	114	7	4,202
146	126	1	4,641	181	117	7	4,901
147	129	1	4,483	182	120	7	4,893
148	132	1	4,935	183	123	7	5,372
149	135	1	4,295	184	126	7	5,432
150	138	1	4,011	185	129	7	5,650
151	141	1	4,084	186	132	7	5,915
152	144	1	4,127	187	135	7	5,823
153	90	4	4,463	188	138	7	5,796
154	93	4	4,582	189	141	7	5,749
155	96	4	4,633	190	144	7	6,010
156	99	4	4,244	191	90	10	4,282
157	102	4	3,577	192	93	10	4,540
158	105	4	4,404	193	96	10	4,497
159	108	4	4,316	194	99	10	4,222
160	111	4	4,448	195	102	10	4,030
161	114	4	4,103	196	105	10	Daratan
162	117	4	5,160	197	108	10	4,461
163	120	4	5,656	198	111	10	3,940
164	123	4	4,714	199	114	10	3,927
165	126	4	3,727	200	117	10	4,474
166	129	4	3,717	201	120	10	4,167
167	132	4	3,856	202	123	10	3,533

ID	Bujur	Lintang	SLR (mm/tahun)
203	126	10	5,751
204	129	10	5,985
205	132	10	6,518
206	135	10	5,962
207	138	10	5,838
208	141	10	6,528
209	144	10	5,870
210	90	13	4,163
211	93	13	4,755
212	96	13	4,470
213	99	13	3,780
214	102	13	4,042
215	105	13	Daratan
216	108	13	Daratan
217	111	13	5,048
218	114	13	5,108
219	117	13	4,694
220	120	13	5,215
221	123	13	4,779
222	126	13	5,836
223	129	13	5,238
224	132	13	6,279
225	135	13	5,952
226	138	13	5,114
227	141	13	5,499
228	144	13	5,163

BIODATA PENULIS



Reny Ariani lahir di Kota Surabaya pada 27 Januari 1996 sebagai anak terakhir dari 3 bersaudara oleh pasangan Sunar dan Sulastri. Pendidikan formal yang telah ditempuh penulis adalah SD Negeri Semambung (2002-2008), SMP Negeri 1 Pagu (2008-2011), dan SMA Negeri 1 Plemahan (2011-2014). Penulis melanjutkan studi S1 di Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan terdaftar dengan NRP 03311440000049 melalui jalur SBMPTN 2014. Penulis menyelesaikan S1 dengan beasiswa BIDIKMISI. Penulis juga menerima bantuan dana pendidikan dari GNOTA Kabupaten Kediri 2014 dan Departemen Teknik Geomatika ITS selama 3 periode. Selama menyelesaikan studi S1 di Teknik Geomatika ITS, penulis mengambil bidang keahlian Geodesy & Surveying. Penulis pernah menjadi asisten dosen mata kuliah Wawasan Teknologi dan Komunikasi Ilmiah pada Semester Gasal Tahun 2017/2018. Kegiatan ekstrakurikuler penulis yaitu, Sekretaris Departemen Event UKM Cinta Rebana ITS 2016/2017, Kepala Departemen Lingkar Komisariat PMII Sepuluh Nopember 2017/2018, serta *volunteer* SuperCamp SBMPTN. Prestasi yang pernah diraih yaitu, Juara 2 OSN Matematika Tingkat Kabupaten (2012), PIMNAS 30, dan Juara 1 ITS Expo Paper Competition (2017). Pengalaman lain yang didapatkan penulis adalah terlibat dalam survei toponimi pelengkap data LiDAR dan survei PJU Kota Surabaya. Penulis pernah Kerja Praktik di Lab ORS – Balai Riset dan Observasi Laut. Penulis dapat dihubungi melalui email: aryan.renny@gmail.com.

