



TUGAS AKHIR - RG 141536

ANALISIS LUAS DAERAH POTENSI GENANGAN AIR ROB AKIBAT KENAIKAN MUKA AIR LAUT DENGAN DATA SATELIT ALTIMETRI

Studi Kasus : Kota Semarang

Aryasandah Hargo Dewantara
NRP 3511 100 073

Dosen Pembimbing
Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D
Lalu Muhamad Jaelani, ST,M.Sc, Ph.D

JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL ASSIGNMENT - RG 141536

ANALYSIS OF POTENTIAL INUNDATED AREA EFFECT FROM SEA LEVEL RISE PHENOMENON USING ALTIMETRY SATELLITE DATA

Case Study : Semarang City

Aryasandah Hargo Dewantara
NRP 3511 100 073

Supervisor

Mokhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D
Lalu Muhamad Jaelani, ST, M.Sc, Ph.D

GEOMATIC ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

**ANALISA LUAS DAERAH POTENSI GENANGAN
AIR ROB AKIBAT KENAIKAN MUKA AIR LAUT
MENGUNAKAN DATA SATELIT ALTIMETRI**

TUGAS AKHIR

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

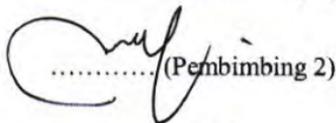
Oleh :

ARYASANDAH HARGO DEWANTARA
NRP. 3511100073

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



1. M. Nur Cahyadi, ST, M.Sc, Ph.D (Pembimbing 1)
19811223 200501 1 002
2. Lalu M. Jaelani, ST, M.Sc, Ph.D (Pembimbing 2)
19801221 200301 1 001



SURABAYA, JULI 2015



ANALISIS LUAS DAERAH POTENSI GENANGAN AIR ROB AKIBAT KENAIKAN MUKA AIR LAUT MENGUNAKAN DATA SATELIT ALTIMETRI

Nama Mahasiswa : Aryasandah Hargo Dewantara
NRP : 3511100073
Jurusan : Teknik Geomatika FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : M. Nurcahyadi, ST,
M.Sc,Ph.D
: Lalu M. Jaelani, ST, M.Sc,
Ph.D

Abstrak

Kenaikan muka air laut merupakan salah satu isu global yang sedang mengemuka saat ini. Banyak penelitian yang dilakukan mengenai kenaikan muka air laut. Kenaikan muka air laut dapat disebabkan oleh tiga hal, yaitu mencairnya es di kutub, kejadian iklim ekstrim dan turunnya permukaan tanah akibat adanya kompaksi lahan. Secara umum, kenaikan muka air laut merupakan dampak dari pemanasan global (Global Warming) yang melanda seluruh belahan bumi.

Pada penelitian ini pemantauan kenaikan muka air laut dilakukan pada perairan utara Kota Semarang dan untuk sebaran kenaikan muka air laut dilakukan di Kota Semarang pada koordinat pada $6^{\circ} 57' 28,01''$ Lintang Selatan (LS) dan $110^{\circ} 25' 2,27''$ Bujur Timur (BT) dalam kurun waktu 3 tahun (2009-2011). Pengamatan dan analisa dilakukan terhadap kenaikan muka air laut dan luas wilayah tergenang akibat kenaikan muka air laut. Untuk analisa kenaikan muka air laut dilakukan setiap bulan selama 3 tahun dengan mengambil 3 titik pengamatan di utara kabupaten semarang.

Pemantauan dilakukan dengan menggunakan satelit Jason-1 dari cycle 258-358 dengan pass yang melewati laut jawa dan akan dilakukan pengolahan di software BRAT (Basic Radar Altimetri Toolbox). Sedangkan untuk pengamatan luas genangan dilakukan dengan overlay antara model DEM (Digital Elevation Model) SRTM 30m dengan citra satelit Landsat 5 TM.

Potensi kenaikan muka air laut akan terus meningkat setiap tahunnya sehingga dari pengamatan dari satelit altimetri didapatkan nilai tren kenaikan sebesar 5,38 cm/tahun nilai tersebut relatif tinggi untuk wilayah di Laut Jawa yang tepatnya di sebelah utara Kota Semarang. Apabila kenaikan tersebut terus konstan maka dalam 100 tahun mendatang akan mengalami kenaikan ekstrim sebesar 5,38 m. Sedangkan untuk luas daerah yang hilang akibat kenaikan muka air laut dalam 100 tahun mendatang mencapai 5050 ha atau 50,5 km².

Kata Kunci : Kenaikan Muka Air Laut, Jason-1, DEM (Digital Elevation Model), BRAT (Basic Radar Altimetri Toolbox).

**ANALYSIS OF POTENTIAL INUNDATED AREA
EFFECT FROM SEA LEVEL RISE PHENOMENON
USING ALTIMETRY SATELLITE DATA**

Name : Aryasandah Hargo Dewantara
NRP : 3511100073
Department : Teknik Geomatika FTSP-ITS
Supervisor : M. Nurcahyadi, ST,
M.Sc,Ph.D
: Lalu M. Jaelani, ST, M.Sc,
Ph.D

Abstract

Sea level rise is one of the global issues which are being raised today . A lot of researchs conducted on sea level rise . Sea level rise may be due to three things , namely the melting of the polar ice , extreme climate and downs of the ground due to soil compaction . In general , sea level rise is the impact of global warming that swept across the hemisphere .

In this research, monitoring of sea level rise has been done on the district 's northern waters semarang and for the distribution of sea level rise has been done in the district semarang with coordinates in the coordinates on 6⁰57'28.01'' 'South latitude (LS) and 110⁰25'2.27 '' east longitude (BT) within a period of 3 years (2009-2011) . Observations and analysis carried out on sea level rise and the area inundated from sea level rise . For analysis of sea level rise is done every month for 3 years by taking three observation points in the northern district of Semarang

Monitoring has been done using satellites Jason - 1 of 258-358 cycles with a pass through the Java Sea and the processing will be done in software BRAT (Basic Radar altimetry Toolbox) . As for the vast pool of observations performed with the overlay between the model DEM (Digital Elevation Model) SRTM 30m with satellite images Landsat 5 TM .

Potential sea level rise will continue to increase each year , so that from satellite altimetry observations of the trend of increasing the value obtained by 5.38 cm / year is relatively high value for the area semarang Java Sea . If the increase is constant then in the next 100 years will increase of 5.38 m . As for the area inundated as a result of sea level rise in 100 years will result in a lost area of 5050 ha or 50,500 km² .

Key Word : Sea Level Rise, Jason-1, DEM (Digital Elevation Model), BRAT (Basic Radar Altimetri Toolbox).

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, Tuhan semesta alam dan karena-Nya penulisan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Luas Daerah Potensi Genangan Air Rob Akibat Kenaikan Muka Air Laut Menggunakan Data Satelit Altimetri**” tahap demi tahap dapat terselesaikan.

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi salah satu syarat dalam menyelesaikan program pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Geomatika FTSP-ITS, sekaligus pula sebagai tahap akhir dari proses jenjang studi tingkat sarjana.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan kontribusi hingga terselesaikannya tugas akhir ini, yaitu kepada :

1. Bapak Mulyana, Ibu Ari Ekawati, Mbak ta, Dik Gading dan keluarga besar lainnya terima kasih atas segala doa dan bantuannya selama ini baik motivasi maupun materiil yang diberikan dari awal semester sampai wisuda sehingga memotivasi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr.Ir.Mohammad Taufik selaku ketua Jurusan Teknik Geomatika FTSP-ITS
3. Bapak Ir. Yuwono,MS selaku Dosen wali yang telah mendampingi studi saya di Jurusan Teknik Geomatika FTSP-ITS
4. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, ST,M.Sc, Ph.D dan Bapak Lalu M. Jaelani, M.SC, Ph.D selaku dosen pembimbing dalam tugas akhir ini, yang telah memberikan bantuan dan mengarahkan dalam penyusunan tugas akhir ini.

5. Syaris, Awan, Paijo (Arizal), Ridhok, Kemben (Brian), Toni, udin tanpa kalian saya bukan apa-apa di jurusan ini.
6. Ferdi, Lino, Doni, Krisna, Udin , Awan, Dean, Ihsan sesama tim satu bimbingan dengan bapak Nur Cahyadi terimakasih atas semua bantuan dan dukungan serta semangatnya.
7. Seluruh Teman-teman angkatan 2011 (**G13**) yang telah banyak membantu dan menginspirasi saya selama 4 tahun ini.
8. Seluruh warga HIMAGE-ITS
9. Seluruh Karyawan dan tata usaha di Teknik Geomatika FTSP-ITS.
10. Semua pihak yang banyak membantu yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis menyadari segala kekurangan pada penulisan tugas akhir ini, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dan segala pihak yang sekiranya dapat membantu dimasa yang akan datang.

Surabaya, Mei 2015

Penulis

DAFTAR ISI

Abstrak.....	v
Abstract	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Satelit Altimetri.....	5
2.2 Prinsip Satelit Altimetri	7
2.3 Kenaikan Muka Laut (<i>Sea Level Rise</i>)	9
2.4 <i>Sea Level Anomaly</i> (SLA)	10
2.5 Satelit Altimetri <i>Jason-1</i>	11
2.6 <i>Digital Elevation Model</i> (DEM).....	13

2.6.1	Pengertian dan Fungsi <i>Digital Elevation Model</i>	13
2.6.2	Analisa Tiga Dimensi (3D)	15
2.7	SRTM-1 (<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>) <i>Arc-Second Global</i>	18
2.8	Citra Landsat 5 <i>Thematic Mapper</i> (TM)	19
2.9	<i>Basic Radar Altimetri Toolbox</i> (BRAT).....	21
2.10	Pembentukan <i>Gridding</i>	25
2.11	<i>Interpolasi Inverse Distance Weighted</i> (IDW).....	25
2.12	Penelitian Terdahulu.....	27
BAB III	METODOLOGI	31
3.1	Lokasi Penelitian.....	31
3.2	Data dan Peralatan.....	32
3.2.1	Data.....	32
3.2.2	Peralatan.....	33
3.3	Metodologi Penelitian	34
BAB IV	HASIL DAN ANALISA	43
4.1	Pengecekan Kualitas Data	43
4.2	Pengolahan Nilai Sea Level Anomaly.....	43
4.3	Kenaikan Muka Air Laut.....	52
4.4	Analisa Luas Genangan Akibat Kenaikan Muka Air Laut	56
4.4	Hubungan Kenaikan Muka Air Laut dengan Curah Hujan.....	61

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Satelit Jason-1	12
Tabel 2.2 Karakteristik Citra Landsat 5 TM.....	19
Tabel 2.3 Karakteristik Citra Landsat 5 TM.....	20
Tabel 2.4 Perbedaan Pemrosesan Data SLA dengan <i>software</i> BRAT dan MATLAB.....	22
Tabel 4.1 Koordinat Area Pengamatan	499
Tabel 4.2 Hasil SLA dari Area Pengamatan.....	49
Tabel 4.3 Nilai Tinggi Muka Air laut Rata-Rata Dari Pengamatan Pasut (cm)	522
Tabel 4.4 Nilai Tinggi Muka Air laut Rata-Rata Dari Pengamatan Satelit Altimetri	533
Tabel 4.5 Prediksi Kenaikan Muka Air laut	577
Tabel 4.6 Korelasi antara curah hujan dan kenaikan muka air laut tahun 2009-2011	622

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip kerja Satelit Altimetri	5
Gambar 2.2 Multi-Satelit Altimeter	6
Gambar 2.3 Geometri pengukuran satelit altimetri dan palem	8
Gambar 2.4 Satelit <i>Jason-1</i>	11
Gambar 2.5 DEM (<i>Digital Elevation Model</i>).....	15
Gambar 2.6 <i>Triangulated Irreguler Network</i> (TIN)	16
Gambar 2.7 Set-filter untuk nilai SLA yang digunakan.....	24
Gambar 2.8 Skema Interpolasi	26
Gambar 3.1 Kota Semarang	31
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian	34
Gambar 3.3 Diagram Utama Tahap Pengolahan Data	36
Gambar 3.4 Diagram <i>Gridding</i> di <i>Software</i> Surfer	39
Gambar 3.5 Diagram Pengolahan Penggabungan Ketiga Data.....	41
Gambar 4.1 SLA Bulan Mei Tahun 2009 BRAT	45
Gambar 4.2 SLA Bulan Mei Tahun 2010 BRAT	45
Gambar 4.3 SLA Bulan Mei Tahun 2011 BRAT	46
Gambar 4.4 SLA Bulan Mei Tahun 2009 Surfer	47
Gambar 4.5 SLA Bulan Mei Tahun 2010 Surfer	48
Gambar 4.6 SLA Bulan Mei Tahun 2011 Surfer	48
Gambar 4.7 Grafik SLA dititik pengamatan pada tahun 2009	50
Gambar 4.8 Grafik SLA dititik pengamatan pada	50
Gambar 4.9 Grafik SLA dititik pengamatan pada tahun 2011	51
Gambar 4.10 Grafik SLA dititik pengamatan pada tahun 2009- 2011 (3 tahun).....	51
Gambar 4.11 Kenaikan Muka Air Laut dalam 10 tahun	58
Gambar 4.12 Kenaikan Muka Air Laut dalam 50 tahun.	59
Gambar 4.13 Kenaikan Muka Air Laut dalam 100 tahun.	60

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Cek Kualitas Data Satelit Altimetri
- Lampiran 2 Data Curah Hujan Semarang
- Lampiran 3 Pengolahan SLA menggunakan BRAT
(*Basic Radar Altimetry Toolbox*)
- Lampiran 4 Peta Kenaikan Muka Air Laut 50 Tahun
- Lampiran 5 Peta Kenaikan Muka Air Laut 50 Tahun
- Lampiran 6 Peta Kenaikan Muka Air Laut 100 Tahun

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kenaikan muka air laut merupakan salah satu isu global yang sedang mengemuka saat ini. Banyak penelitian yang dilakukan mengenai kenaikan muka air laut. Kenaikan muka air laut dapat disebabkan oleh tiga hal, yaitu mencairnya es dikutub, kejadian iklim ekstrim dan turunnya permukaan tanah akibat adanya kompaksi lahan.

Secara umum, kenaikan muka air laut merupakan dampak dari pemanasan global (*Global Warming*) yang melanda seluruh belahan bumi. Menurut laporan dari *International Panel On Climate Change (IPCC)* bahwa rata-rata suhu permukaan global meningkat $0,3 - 0,6^{\circ}\text{C}$ sejak akhir abad 19 dan nanti sampai tahun 2100 suhu bumi diperkirakan akan naik sekitar $1,4 - 5,8^{\circ}\text{C}$ (Dahuri, 2002 dalam Wirasatriya, 2006). Naiknya suhu permukaan global menyebabkan mencairnya es di kutub utara dan selatan bumi sehingga terjadilah kenaikan muka air laut (*Sea Level Rise*). Diperkirakan dari tahun 1999-2100 mendatang kenaikan muka air laut sekitar $1,4 - 5,8$ m (Dahuri, 2002 dalam Wirasatriya, 2006)

Pengukuran terhadap kenaikan muka air laut telah dilakukan sejak lama. Pada awalnya pengukuran dilakukan dengan memanfaatkan pasang surut air laut. Saat ini pengukuran dilakukan dengan berbagai macam cara, salah satunya dengan menggunakan satelit altimetri. Perubahan tinggi muka air laut dicatat secara berkala dan kemudian disajikan dalam bentuk citra.

Kota Semarang merupakan salah satu kota metropolitan yang memiliki wilayah pesisir di bagian utara dengan garis pantai sepanjang 13 km dan dipastikan akan selalu terkena dampak dari kenaikan muka air laut tersebut.

Adanya kenaikan muka air laut juga diperparah dengan terjadinya penurunan muka tanah di wilayah pesisir Kota Semarang (Sarbidi, 2002 dalam Wirasatriya, 2006). Penurunan muka tanah di wilayah pantai Kota Semarang mencapai 8-13 cm/tahun (Badan Geologi dan Proyek *Mitigation of Georisks*, 2011). Kenaikan muka laut dan penurunan tanah tersebut diduga mengakibatkan kawasan pesisir Kota Semarang sering terjadi banjir saat air laut pasang dalam kurun waktu 25 tahun terakhir.

Sehingga perlu diadakan studi lebih lanjut tentang fenomena kenaikan muka air laut di Kota Semarang. Karena dinamika kenaikan muka air laut di Kota Semarang sangat bervariasi pengamatan konvensional dengan menggunakan kapal survei kelautan bukanlah metode yang efektif dan efisien. Penggunaan teknologi satelit altimetri menjadi salah satu alternatif yang tepat untuk mengamati fenomena ini. Dengan cakupan pengamatan yang luas serta tidak terbatas oleh kendala cuaca maupun kendala lainnya yang terdapat pada metode konvensional. Salah satu satelit altimetri tersebut adalah Satelit *Jason-1* yang diluncurkan pada tahun 2008. Satelit ini mempunyai misi utama untuk mengamati sirkulasi lautan global. Prinsip dasar dari satelit altimetri yaitu mengukur jarak vertikal dari satelit ke permukaan laut. Karena tinggi satelit di atas permukaan ellipsoid referensi maka diketahui tinggi muka laut (*Sea Surface Hight* atau SSH), saat pengukuran dapat ditentukan sebagai selisih antara tinggi satelit dengan jarak vertikal. Untuk ketelitian SSH yang didapatkan dari pengukuran satelit altimetri ini memiliki akurasi RMS rata-rata sebesar 3,4 cm. (Meliana, 2005)

Data yang akan digunakan untuk tugas akhir Analisis Prediksi Luas Daerah Potensi Genangan Akibat Kenaikan Muka Air Laut di Kota Semarang adalah data kenaikan muka air laut dari satelit Jason-1, DEM (*Digital Elevation Model*) dari hasil ekstraksi dari DEM SRTM 30m, Citra Satelit Landsat 5

TM Kota Semarang, dan Citra Landsat 8 OLI Semarang sehingga pada nantinya diharapkan bisa diketahui daerah yang berpotensi tergenang akibat kenaikan muka air laut.

1.2 Perumusan Masalah

Pemasalah yang akan dimunculkan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana nilai tren kenaikan muka air laut dari data satelit *Jason-1* di wilayah perairan kota Semarang?
- b. Daerah mana saja yang berpotensi tergenang oleh banjir rob akibat kenaikan muka air laut dari data DEM SRTM 1 *Arc-Second* dan satelit altimetri ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Daerah studi hanya mencakup daerah Kota Semarang.
- b. Pengolahan data Kenaikan Muka Air Laut menggunakan perangkat lunak BRAT (Basic Radar Altimetri Toolbox)
- c. Pengolahan data dan hasil akhir berfokus pada luas daerah yang berpotensi tergenang banjir rob.
- d. Penurunan tanah (*land subsidence*) tidak diperhitungkan.
- e. Data *Geophysical Data Record* (GDR) diambil di wilayah yang mencakup daerah pengamatan yaitu Laut Jawa
- f. Pasang surut tidak diperhitungkan dalam penelitian ini

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Menganalisa Tinggi Muka air laut pada tahun 2009- 2011 dari data Satelit Altimetri *Jason-1*
- b. Mengetahui tren kenaikan muka air laut di wilayah perairan kota Semarang

- c. Memetakan Luas wilayah yang berpotensi terkena dampak dari kenaikan muka air laut dalam kurun waktu 100 tahun mendatang.

1.5 Manfaat

Manfaat dari hasil Analisis Luas Daerah Potensi Genangan Akibat Kenaikan Muka Air Laut di Kota Semarang adalah untuk memberikan informasi berapakah luas daerah yang terkena dampak dari banjir rob dan daerah yang berpotensi terkena dampak akibat kenaikan muka air laut serta juga memberikan informasi tentang teknologi satelit altimetri dalam mengamati kenaikan muka air laut khususnya di wilayah perairan kota Semarang.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

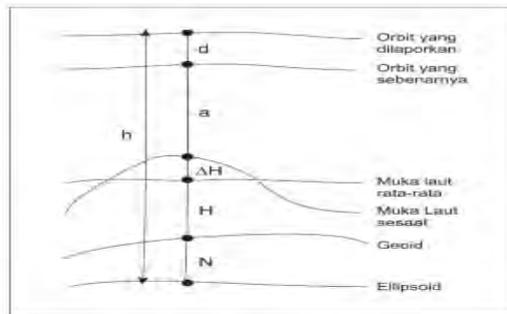
2.1 Satelit Altimetri

Misi utama dari satelit altimetri adalah mengukur sea level (ketinggi permukaan laut di atas bidang referensi tertentu). Satelit altimetri menggunakan dua cara pengukuran jarak (ketinggian) dari permukaan bumi, yaitu radar altimetri dan penentuan orbit teliti. Radar altimetri mengukur tinggi satelit secara presisi di atas lautan. Perbedaan hasil pengukuran keduanya merupakan tinggi muka laut relatif diukur dari referensi elipsoid, yang disebut sea level :

$$h = N + H + \rho \quad (2.1)$$

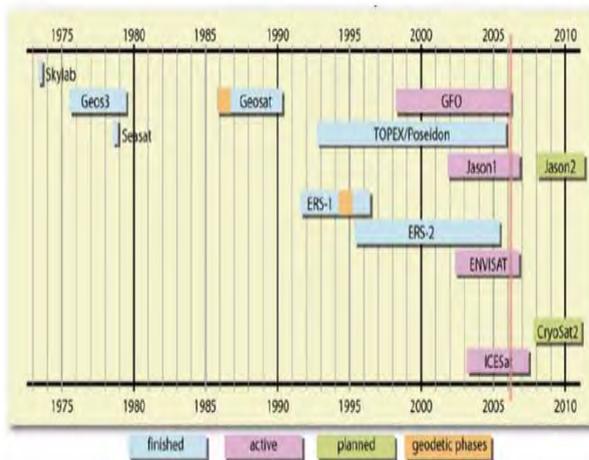
(Seeber, 2003)

dalam hal ini, h adalah tinggi satelit di atas elipsoid referensi, N undulasi geoid, H jarak dari geoid ke permukaan laut sesaat dan ρ jarak altimeter ukuran.



Gambar 2.1 Prinsip kerja Satelit Altimetri
(Seeber, 2003)

Saat ini terdapat beberapa satelit yang telah, sedang dan akan mengorbit, yang dinamakan "multi-satelit altimetri" (Gambar 2.2). Beberapa satelit mengorbit pada waktu yang bersamaan tetapi pada orbit yang berbeda. Hal ini memungkinkan beberapa satelit digunakan bersama sehingga bisa saling mengisi baik dari lamanya waktu pengukuran dan interval antar pengukuran, juga meningkatkan distribusi spasial data. Mengingat tiap satelit mengorbit pada orbit yang berbeda, sehingga terdapat perbedaan hasil ukuran yang harus dikoreksi sebelum digunakan bersama-sama.



Gambar 2.2 Multi-Satelit Altimetri
(Bosch, 2005 dalam Heliani, 2009)

2.2 Prinsip Satelit Altimetri

Konsep Satelit Altimetri pertama kali didiskusikan sebagai pemanfaatan teknik satelit untuk bidang keilmuan oseanografi dengan instrumentasi berupa radar pada kongres Williamstown tahun 1969 (AVISO, 2015). Satelit altimetri pada mulanya didesain untuk mengatur muka laut dengan memakai teknik radar (digunakan untuk mengatur jarak vertikal dari satelit ke permukaan laut) serta teknik penentuan posisi teliti. Sistem satelit altimetri mulai berkembang pada tahun 1973 dengan peluncuran *Skylab* yang diikuti dengan peluncuran misi-misi satelit altimetri lainnya seperti Geosat, ERS-1, ERS-2, Topex/Posidon (T/P), GFO, Jason-1, Jason-2, ENVISAT, dan sebagainya.

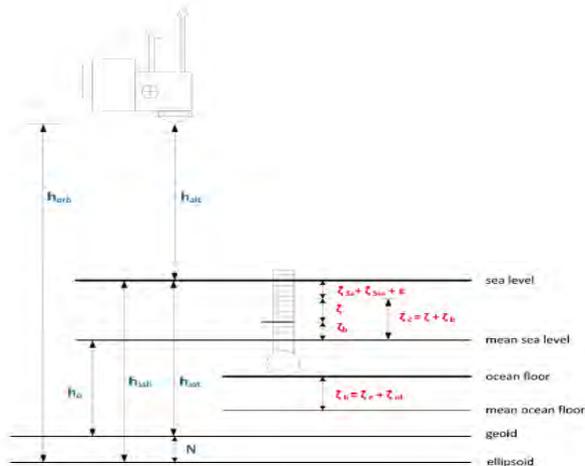
Pada prinsipnya satelit altimetri bertugas mengukur jarak vertikal dari satelit ke permukaan laut. Karena tinggi satelit di atas permukaan ellipsoid referensi diketahui maka tinggi muka laut (*Sea Surface Height/SSH*) saat pengukuran dapat ditentukan sebagai selisih antara tinggi satelit (h_{orb}) dengan jarak vertikal satelit (h_{alt}). Nilai SSH yang diperoleh akan bervariasi setiap saat sesuai dengan waktu pengukuran dan masih mengandung efek variasi periode pendek seperti pasang surut, *loading tide*, dan lain sebagainya.

Tinggi satelit altimetri dapat diketahui dari sejumlah teknik penjejukan (*tracking*) yang terpasang pada bidang satelit altimetri, misalnya seperti DORIS, SLR, PRARE dan GPS. Radar altimetri memancarkan pulsa-pulsa tersebut dan dipantulkan oleh permukaan laut dan diterima kembali oleh antena penerima pada satelit. Jarak vertikal dari satelit altimetri terhadap permukaan laut diukur dengan menghitung selisih waktu antara saat pemancaran gelombang dan saat pengambilan gelombang elektromagnetik tersebut, seperti berikut persamaan perhitungan jarak vertikal pada satelit altimetri:

$$h_{alt} = c \times \frac{\Delta t}{2} \quad (2.2)$$

(Abidin, 2001)

jarak vertikal (h_{alt}) merupakan jarak antara satelit altimetri dengan permukaan laut sesaat, hal itu akan mempengaruhi kecepatan perambatan sinyal (c) dan perbedaan waktu tempuh saat pemancaran dan saat penerimaan sinyal (Δt)



Gambar 2.3 Geometri pengukuran satelit altimetri dan palem
(Chelton, 2001 dalam Amri, 2014)

Pada pengamatan dengan satelit altimetri yang teramati saat pengukuran adalah topografi muka laut sesaat yang mengandung komponen statik dan komponen dinamik, sedangkan yang ingin diketahui pada umumnya adalah komponen statik dari topografi muka laut. Dengan demikian untuk mendapatkan maka komponen dinamik harus dihilangkan dari topografi muka sesaat dengan cara mengeliminir efek gelombang, pasang surut, dan variasi tekanan udara.

2.3 Kenaikan Muka Laut (Sea Level Rise)

Permukaan laut adalah rerata ketinggian muka laut terhadap daratan. Rerata ketinggian muka air tersebut dipengaruhi oleh angin, gelombang serta pasang surut yang diamati dan dicatat selama beberapa waktu (hari, bulan, atau tahun). Dalam sejarah geologi tercatat bahwa selama periode jutaan tahun telah terjadi perubahan-perubahan vertikal daratan terhadap lautan. (Sulma, 2011)

Peningkatan aktivitas manusia mengakibatkan gas rumah kaca di atmosfer. Peningkatan ini memicu terjadinya peningkatan suhu global. Rata-rata suhu permukaan global telah meningkat sebesar $0,6^{\circ} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ sejak akhir abad ke-19. Akibat terjadinya pemanasan global yang disebabkan oleh manusia, muka air laut mengalami peningkatan secara perlahan.

Global Warming menyebabkan kenaikan muka air laut, baik akibat ekspansi volume air laut karena naiknya suhu air laut, maupun mencairnya es glasier dan es kutub utara atau selatan. Meskipun dampak kenaikan tinggi muka air laut hanya menjadi wacana di kalangan ilmuwan, tetapi setiap penduduk terutama yang tinggal di daerah pantai harus tanggap akan resiko terhadap penurunan kualitas kehidupan di lingkungan pantai akibat naiknya tinggi muka air laut. Sementara itu, berbagai hasil studi perubahan iklim menunjukkan bahwa potensi kenaikan muka air laut akan bervariasi dari 60 cm sampai 100cm itu berlaku sampai 2100. (Badan Perencanaan Pembangunan, 2010)

Kenaikan muka air laut mempertinggi resiko terjadinya erosi, perubahan garis pantai dan mereduksi daerah *wetland* di sepanjang pantai. Sebagai tambahan, tingginya gelombang laut pada fase *El Nino* dan *La Nina* akan mempertinggi intensitas erosi dan abrasi, dengan tingkat kerusakan yang tinggi. Pada akhirnya, dengan intensitas *El Nino* dan *La Nina* yang semakin tinggi, dapat mengakibatkan tingkat perubahan garis pantai

yang semakin tinggi pula, meskipun tingkat kenaikan muka air laut hanya 1 cm/tahun (Kementrian Lingkungan Hidup, 2007).

Wilayah yang paling merasakan dampak dari kenaikan muka air laut adalah wilayah pesisir. Secara singkat dapat dikatakan bahwa kenaikan muka air laut dapat mempengaruhi hampir semua kegiatan manusia, termasuk sarana dan prasarana, menurunkan mutu lingkungan dan ekosistem di wilayah pesisir. Wilayah pesisir sejak dahulu telah menjadi pusat kegiatan manusia. Mula-mula untuk mencari ikan, kemudian terus berkembang menjadi pusat pemukiman, perdagangan, pelabuhan, pelayaran, perindustrian dan lain-lain.

2.4 Sea Level Anomaly (SLA)

Sea Level Anomaly (SLA) didefinisikan sebagai tinggi permukaan laut di atas permukaan geofisik dikurangi efek pasang surut dan inverse barometer (pengaruh tekanan atmosfer)

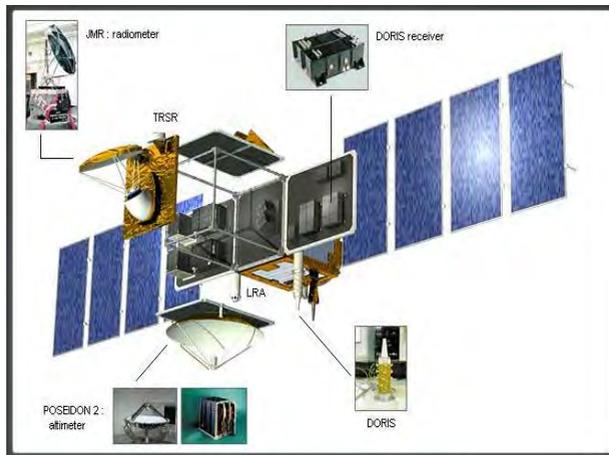
$$\text{SLA} = \text{SSH} - \text{Bidang Geoid} - \text{Koreksi Nois} \quad (2.3)$$

(Benada, 1997 dalam Tang, 2012)

Permukaan geofisik dapat berupa geoid ataupun *Mean Sea Surface* (MSS). Efek pasut mencakup *Solid Earth Tide* (SET), *Earth Ocean Tide* (EOT), *Pole Tide* (PT) dan data tersebut dapat di lihat pada data GDR (*Geophysical Data Record*). EOT merupakan penjumlahan pasut laut murni atau *Pure Oceanic Tide* yang mencakup pasut setimbang dan tidak setimbang serta pasut pembebanan (Benada, 1997 dalam Tang, 2012)

2.5 Satelit Altimetri Jason-1

Menurut (AVISO and PODAAC, 2003), satelit *Jason-1* adalah satelit altimetri yang dihasilkan oleh proyek kerjasama antara *Centre National d'Etudes Spatiales* (CNES) Perancis dan *National Aeronautics and Space Administrations* (NASA) Amerika Serikat. Satelit ini diluncurkan dari *Vandenberg Air Force Base* pada tanggal 7 Desember 2001 di California, Amerika Serikat. Satelit ini mengikuti misi satelit TOPEX/POSEIDON (T/P) yang pada saat ini satelit T/P sudah tidak beroperasi lagi.



Gambar 2.4 Satelit Jason-1
(AVISO, 2011)

Data yang dihasilkan oleh satelit *Jason-1* berupa data *Geophysical Data Record* (GDR), *Interim Geophysical Data Record* (IGDR), dan *Operational Sensor Data Record* (OSDR). Tujuan utama diluncurkannya satelit ini adalah untuk menghitung topografi muka air laut *Sea Surface Topography* (SST) yang kurang lebih datanya memiliki level yang sama dengan data satelit T/P. Data yang dihasilkan oleh satelit *Jason-*

1 berupa data *Geophysical Data Record* (GDR), *Interim Geophysical Data Record* (IGDR), dan *Operational Sensor Data Record* (OSDR). *Operational Sensor Data Record* (OSDR) merupakan produk data yang belum valid, karena data ini menggunakan orbit yang dihitung dari DORIS navigator dan tidak menampilkan *ground retracking* dari altimeter. Data OSDR dapat tersedia dalam waktu yang relatif singkat yaitu sekitar 3-5 jam. *Interim Geophysical Data Record* (IGDR) juga merupakan produk data yang belum valid, namun data ini sudah menampilkan *ground retracking* dari altimeter. Data IGDR dapat tersedia dalam waktu 2-3 hari. *Geophysical Data Record* (GDR) merupakan produk data yang sudah valid, dimana data ini sudah menampilkan *ground retracking* dari altimeter dan orbit satelitnya sudah tepat. Data GDR dapat tersedia dalam waktu yang cukup lama, yaitu 30 hari.

Tabel 2.1 Karakteristik Satelit Jason-1
(AVISO and PODAAC, 2003)

Berat satelit	500 Kg
Kekuatan Satelit	400 w
Kendaraan peluncur	Dual Delta II
Inklinasi	66,04 ⁰
Tinggi dai elipsoid	1,336 km
Jarak antar lintasan	315 km
Kecepatan orbit	7,2 km/s
Kecepatan saat melintas	5,8 km/s
Periode pengulangan	10 hari
Sensor	Poisedon-2 Altimeter, DORIS, JMR, LRA, dan TRSR

Geophysical Data Records (GDR) tersedia di AVISO dan PODAAC untuk dilakukan pemrosesan, penyimpanan, pengaturan, dan pendistribusian kepada komunitas keilmuan yang lebih luas. Data yang sering digunakan untuk berbagai macam penelitian ini tersimpan dalam media CD atau DVD. Dalam sebuah CD atau DVD biasanya memuat enam cycle, dimana setiap cycle memuat data yang terdiri dari 254 pass.

2.6 Digital Elevation Model (DEM)

2.6.1 Pengertian dan Fungsi Digital Elevation Model

Digital Elevation Model (DEM) dapat didefinisikan sebagai penggambaran relief bumi dengan sebuah model dalam computer. Model ini bisa berbentuk matriks tinggi teratur (*raster grid*) bisa pula berbentuk triangulasi tidak beraturan yaitu *Triangulated Irregular Network* (TIN) dari semua titik masukkan yang ada. Secara luas, pengaplikasian dari DEM lebih pada penggunaan data ketinggian, dengan demikian bentuk topografi tiga dimensi secara *digital* dapat ditampilkan.

DEM merupakan data yang berisi ketinggian dari kemiringan yang lebih dari suatu area, biasanya pada interval grid. Interval antara tiap grid point akan selalu direferensikan pada beberapa sistem koordinat geografi. Biasanya memakai lintang bujur atau *Universal Transverse Mercator* (UTM). Details dari puncak dan lembah dalam kemiringan akan lebih baik di modelkan dengan interval grid yang kecil dari pada interval grid yang besar.

Visualisasi DEM ini dibangun dengan menggunakan aplikasi *software 3D analyst* khususnya yang berbasis SIG seperti Arc GIS 10. Pada *software* tersebut dapat menampilkan topografi secara tiga dimensi yang berbasis SIG. Tampilan dengan visualisasi DEM memiliki keunggulan yakni kemampuannya untuk berinteraksi dengan *database* obyek secara geografis dan bersifat interaktif. Hal ini memungkinkan

untuk digunakan dalam mempresentasikan bentuk permukaan dan data-data obyek dalam suatu kawasan.

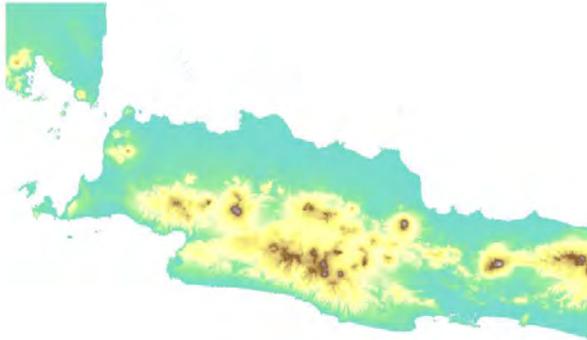
Produk DEM ditentukan dari bagaimana keakuratan ketinggian pada tiap piksel dan bagaimana akurasi morfologi yang ditampilkan. Terdapat beberapa faktor penting yang mempengaruhi kualitas dari DEM, yaitu :

- a. Kemiringan Wilayah
- b. Metode pengumpulan data *elevasi*
- c. Resolusi grid (ukuran piksel)
- d. Algorithma Interpolasi
- e. Resolusi *Vertikal*
- f. Analisa algorithma kemiringan

Fungsi DEM secara umum terdiri dari :

- a. Model aliran air atau pergerakan massa.
- b. Pembuatan peta relief
- c. Membuat visualisasi 3D
- d. Membuat model fisik
- e. Rektifikasi foto udara atau citra satelit
- f. Reduksi dari pengukuran gravitasi seperti garvimetri, geodesi fisik.

Analisis kemiringan pada geomorfologi dan geografis fisik. Data untuk pembuatan DEM bisa berasal dari *digitasi* kontur pada *hardcopy* yang sudah atau melalui pengukuran terestris di lapangan. Selain itu, data DEM juga bisa diperoleh melalui *remote sensing* dengan menggunakan *Light Detection and Ranging* (LIDAR) dan *Inferometric Synthetic Aperture Radar* (INSAR). (Amrar, 2008)



Gambar 2.5 DEM (*Digital Elevation Model*)
(CGIAR-CSI, 2014.)

2.6.2 Analisa Tiga Dimensi (3D)

Analisa 3D berupa permodelan, pengolahan, interpretasi tentang suatu fitur geografik yang dalam prosesnya memperhitungkan ketinggian. Setiap sel atau piksel memiliki koordinat X, Y, Z. Tiga tipe data untuk analisa 3 Dimensi sebagai berikut:

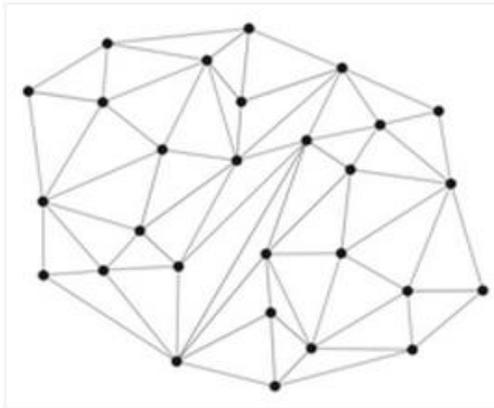
a. Grid

Data *grid* diolah dalam bentuk diskrit maupun kontinyu. bentuk *diskrit* digunakan untuk memberikan nilai tertentu pada suatu obyek atau pengatagorian suatu fitur, misalnya nama Negara, kode pos, tipe tanah dan sebagainya. Bentuk kontinyu memberikan nilai tentang fenomena terhadap fenomena terhadap suatu jarak tertentu, missal kepadatan suatu daerah, pH tanah, harga tanah, dan kelayakan tanah.

b. Triangulated Irregular Network (TIN)

TIN merupakan model topologi berbasis vektor yang digunakan untuk mempresentasikan fitur geografis. Sebuah

TIN terbentuk dari interkoneksi segitiga-segitiga yang diperoleh dari kumpulan titik-titik yang tidak beraturan jaraknya. Titik-titik tersebut dihubungkan dengan titik lain tetangganya sehingga membentuk suatu segitiga. Pada tiap segitiga akan tersimpan nomor atau nama segitiga, koordinat tiap-tiap *node*, ketinggian maupun tipe grid pembentuknya (*soft* atau *hard*). Gambar 2.2 menjelaskan tentang TIN.



Gambar 2.6 TIN (*Triangulated Irregular Network*)
(ESRI, 2014)

c. *Shapefile*

Merupakan tipe data berbasis vektor yang mampu mempresentasikan bentuk geometri sederhana seperti titik, garis, dan polygon dengan menyimpan data koordinat X, Y, Z. Pada dasarnya, analisa 3 dimensi dilakukan pada permukaan bumi.

Seperti analisa kelayakan lahan, penentuan jarak pandang, hidrologi dan sebagainya. Secara spesifik analisa permukaan digunakan untuk menentukan beberapa hal, yaitu :

- *Slope*

Nilai kemiringan suatu sel terhadap sel tetangganya yang dinyatakan dalam satuan derajat atau persen. *Slope* diperoleh

dengan menghitung nilai *tangen* permukaan dari sel tersebut dimana *tangen* adalah nilai vertikal yang berubah pada kemiringannya dibagi dengan jarak horizontal. *Slope* biasanya digunakan untuk menentukan arah aliran sungai atau air tanah, menentukan kondisi visibilitas sel permukaan yang berbasis reaster.

- *Aspect*

Aspect adalah arah suatu sel terhadap mata angin relative terhadap permukaan bumi dalam satuan derajat. Nilai 0 adalah utara dengan jarak nilainya antara 0-360. Sel yang flat (datar, sel itu tidak menghadap kemana-mana) mempunyai nilai -1. Nilai ini diperoleh dari arah sudut pandang sel tersebut terhadap tetangganya. Biasanya digunakan dalam analisa kelayakan lahan dengan memperhitungkan banyaknya cahaya matahari yang diterima.

- *Surface Area and Volume*

Perhitungan luas permukaan dengan *slope* sebagai acuan dan tetap memperhitungkan ketinggian. Nilai luas area berbeda jika diperhitungkan secara 2D dengan 3D. Dengan 3D, diperoleh nilai yang lebih besar dengan akurasi cukup baik daripada menggunakan perhitungan 2D. Selain itu, dengan 3D akan diperoleh *rough volume* (selisih nilai perhitungan 2D dan 3D). Sedangkan untuk volume, diperoleh dari perhitungan volume berdasarkan ketinggian tiap sel terhadap horizontal.

- *Cut and fill*

Cut and fill digunakan untuk menunjukkan besarnya galian atau timbunan material dengan membandingkan volume antara dua permukaan (sebelum dan sesudah perubahan).

2.7 SRTM-1 (Shuttle Radar Topography Mission) Arc-Second Global

Citra penginderaan jauh *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)* merupakan salah satu jenis citra yang mempunyai kegunaan dalam analisis model elevasi. *SRTM* menggunakan teknologi *SAR (Synthetic Aperture Radar)*. *SRTM* memiliki struktur data yang sama seperti format *grid*, yaitu terdiri dari sel-sel yang setiap sel memiliki nilai ketinggian. Nilai ketinggian pada *SRTM DEM 30m* adalah nilai ketinggian dari datum vertikal *EGM96*. Analisa citra *DEM 30m* yang digunakan untuk mengetahui akumulasi pola aliran permukaannya, baik pola aliran sungai, pola aliran kelurusan dan formasi batuan (Hanafi, 2010 dalam Zainia,2012).

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) memperoleh data elevasi mendekati skala global yang paling lengkap untuk menghasilkan basis data resolusi tinggi topografi *digital* bumi. *SRTM* terdiri dari sistem radar modifikasi khusus yang terbang pada *Space Shuttle Endeavour* selama 11 hari di bulan Februari pada tahun 2000. *SRTM* adalah proyek internasional yang dipelopori oleh *National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)* dan *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* (Ramirez 2014).

SRTM 1 Arc-Second Global mempunyai data ketinggian yang mencakup seluruh dunia dengan resolusi area pengamatan tertinggi dibanding data *SRTM* yang terdahulu. *SRTM 1 Arc-Second Global* mempunyai resolusi 30 meter dan merupakan data dengan resolusi *DEM* dengan resolusi paling tinggi. Data *SRTM 1 Arc-Second Global* ini baru saja dirilis pada tanggal 24 september 2014 (USGS, 2015). Berikut merupakan spesifikasi dari data *DEM SRTM* :

Tabel 2.2 Karakteristik DEM SRTM 1 *Arc-Second Global* (USGS, 2015)

Proyeksi	Geografis
Datum Horizontal	WGS84
Datum Vertikal	EGM96
Satuan Vertikal	Meter
Resolusi Spasial	1 Arc-Second dengan cakupan seluruh dunia (30 meter)
	3 Arc-Second dengan cakupan seluruh dunia (90 meter)
Ukuran Raster	1 derajat
Panjang Gelombang C-band	5,6cm

2.8 Citra Landsat 5 *Thematic Mapper* (TM)

Program *Landsat* merupakan program observasi bumi yang tertua, satelit sumber daya bumi ini dipelopori oleh *NASA* Amerika Serikat. *Landsat 1* dimulai tahun 1972, kemudian diikuti *Landsat 2* tahun 1975, satelit ini membawa sensor *Retore Beam Vidcin (RBV)* dan *Multi Spectral Scanner (MSS)*, kemudian diteruskan dengan seri berikutnya, yaitu *Landsat 3*, *4*, *5*, *6* dan *7*. *Landsat 7 ETM* merupakan satelit terakhir dan bentuk baru dari satelit *Landsat 6* yang gagal mengorbit. Sedangkan *Landsat 5 TM* yang diluncurkan tahun 1982, membawa sensor *Thematic Mapper (TM)* ditempatkan pada sensor *MSS*, *MSS* dan *TM* merupakan *whiskbroom scanner*, berikut adalah karakteristik dari satelit *Landsat 5 TM* :

Tabel 2.3 Karakteristik Citra Landsat 5 TM
(Hidayat, 2013)

Diameter	1,8 Meter
Berat	2,000 Kg
Ketinggian Orbit	705 Km
Orbit	Sun synchronous
Sudut Kemiringan	98,2 Degree
Waktu Melintas di Khatulistiwa	9:30 AM
Lama berevolusi Orbit/hari	99 Min 14,5 Orbits
Siklus Perjalanan	16 hari
Sensor	MSS (Multispectral Scanner), TM (Thematic Mapper)
Resolusi (Ketajaman)	80, 30 M
Lebar Cakupan Citra	185 Km
Umur Satelit	5 Tahun

Sistem Landsat 5 TM mempunyai tiga instrument pencitraan, yaitu (Hidayat, 2013):

- a. *MSS* merupakan suatu alat *scanning* mekanik yang merekam data dengan cara men-*scanning* permukaan bumi dalam jalur atau baris tertentu.
- b. *TM* merupakan alat *scanning* mekanis yang mempunyai resolusi spektral, spasial dan radiometrik.

2.9 Basic Radar Altimetri Toolbox (BRAT)

Basic Radar Altimetri Toolbox (BRAT) merupakan kumpulan dari peralatan-peralatan dan dokumen petunjuk penggunaan yang didesain sebagai fasilitas untuk penggunaan data satelit altimetri (BRAT *User Manual*, 2009). BRAT didesain untuk membaca data-data satelit altimetri seperti data yang berasal dari satelit ERS-1, ERS-2, Jason-1, Jason-2, Topex/Poisedon, Envisat, dan Cryosat. Adapun beberapa fungsi utama pada BRAT adalah :

- a. Mengubah data dari format ASCII
- b. Untuk menyeleksi data dengan menggunakan kriteria-kriteria yang ada.
- c. Untuk menampilkan hasil dari pengolahan data dalam visualisasi 2 dimensi dan 3 dimensi.
- d. Menyimpan hasil pengolahan data dalam format .jpg, .tiff, dan .png

BRAT didesain dengan *Grapical User Interface* (GUI) yang memungkinkan pengguna dapat dengan mudah memproses parameter-parameter yang dibutuhkan. BRAT merupakan *software open source* yang di download secara gratis di internet.

GUI adalah jendela tampilan yang berisi peralatan BRAT. Pada GUI terdapat *workspace* untuk mengolah data dari satelit altimetri. Dalam workspace berisi :

- a. Dataset

Merupakan sebuah ruang yang digunakan untuk memasukkan, menambahkan dan menyimpan data-data satelit yang telah dipilih untuk kemudian digunakan

- b. Operation

Ruang yang berfungsi untuk memilih, membaca, dan mengolah data dari suatu dataset

c. Views

Sebuah ruang yang dapat digunakan untuk melakukan permodelan dari hasil pengolahan satu atau lebih data.

d. Logs

Merupakan sebuah ruang yang menampilkan laporan hasil dari pengolahan data. Apakah proses pengolahan data yang dilakukan terdapat kesalahan atau tidak.

Software BRAT merupakan *software* yang dibentuk dengan menggunakan bahasa *coding* di matlab, hal itu bisa dilihat di data tempat *software* tersebut disimpan, terdapat *folder* yang bernama *matlab* yang berisi kodingan tersebut. Selain itu sudah ada peelitian yang membandingkan antara pengolahan di BRAT dan Matlab, sehingga didapatkan hasil perbedaan seperti berikut :

Tabel 2.4 Perbedaan Pemrosesan Data SLA dengan software BRAT dan MATLAB
(Raharjanto, 2012)

Parameter	Pengolahan BRAT	Pengolahan Matlab
Proses Konversi Data	Lebih Mudah	Tidak Mudah
Hasil Konversi	Lebih Sedikit	Lebih Banyak
Visualisasi	Kurang Menarik	Lebih Menarik
Hasil pengeplotan	Ditampilkan diatas Peta	Peta ditampilkan diatas hasil pengolahan
<i>Gridding</i>	Tidak Dilakukan	Dilakukan
Lintang dan Bujur	Tidak dapat ditampilkan di jendela view	Dapat ditampilkan
Pixel dan resolusi	Dilakukan Pengesetan	Tidak dilakukan pengesetan

Maka dari itu, karena perhitungan di BRAT relatif lebih mudah dan bisa dilakukan *setting* resolusi dan piksel untuk mendapatkan hasil yang akurat maka untuk penelitian ini menggunakan BRAT.

Pengolahan *Sea Level Anomaly* dilakukan pada menu Operations. Sebelumnya data GDR yang telah dikelompokkan menjadi data per bulan dimasukkan terlebih dahulu. Data GDR kemudian bisa langsung diolah dengan memilih menu jendela Operations. Pada menu ini, dilakukan pemilihan parameter-parameter data (fields data) yang diperlukan untuk mengetahui nilai SLA. Parameter-parameter tersebut kemudian diisi pada jendela data expressions. Parameter yang diisi antara lain :

X : nilai X, dalam hal ini yaitu posisi bujur.

Y : nilai Y, dalam hal ini yaitu posisi lintang.

Data : diisi dengan formula untuk menghitung SLA

Selection Criteria : Berisi nilai-nilai yang digunakan untuk koreksi parameter

Setelah itu dilakukan penentuan batas-batas dari wilayah penelitian serta mengatur besarnya piksel warna agar didapat tampilan SLA yang menarik. Pengaturan ini dilakukan pada menu *Set Resolution / Filter*.

Beberapa pengaturan yang terdapat pada menu adalah :

a. *Filter to Apply*

Terdapat 3 jenis filter dalam BRAT yaitu *Smooth*, *Extrapolate*, dan *loess*. Dalam penelitian ini *filter* yang digunakan adalah *Loess*, karena kelebihan dari *Loess* ini adalah dapat memperhalus tampilan dan mengisi nilai yang kosong yang tidak dilewati oleh satelit altimetri.

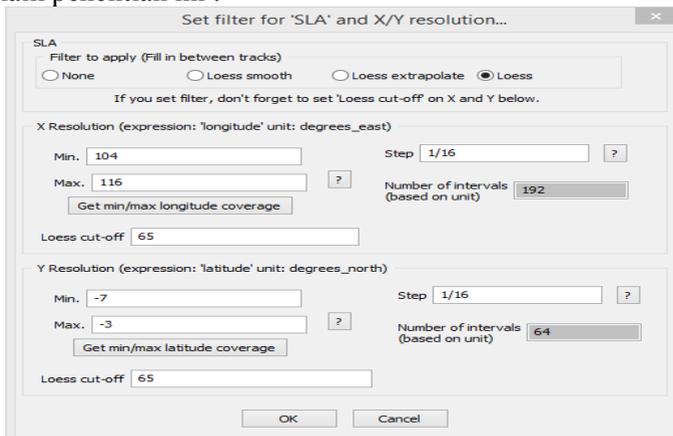
b. *X Resolution*

Pengaturan batas minimal dan maksimal dari nilai bujur pada daerah penelitian, dalam penelitian ini yang digunakan adalah nilai minimal : 104, dan nilai maksimal : 116, sedangkan pengaturan lainnya adalah *step* yang merupakan besarnya piksel

yang dipakai, semakin besar nilai piksel maka keakuratan pemodelan semakin baik. Untuk itu dalam penelitian ini yang digunakan adalah 1/16 yang merupakan rekomendasi dari AVISO, karena sesuai dengan nilai jarak per titik nadir satelit *Jason-1* yaitu 7 km. Selain itu pengaturan lainnya adalah *Loes-cut-off* yang merupakan besar kecil area yang akan diberikan warna, nilainya harus <1.

c. Y Resolution

Merupakan pengaturan batas minimal dan maksimal lintang pada daerah penelitian, dalam penelitian ini yang digunakan adalah nilai minimal : -7 dan maximal: -3, sedangkan untuk pengaturan *step* dan *loes-cut-off* sama dengan X *resolution*. Berikut merupakan tampilan dari filter yang dipakai dalam penelitian ini :



Gambar 2.7 Set-filter untuk nilai SLA yang digunakan

d. Execute

Setelah semuanya telah dilakukan pengaturan dan *filter* maka langkah selanjutnya adalah *execute* untuk memulai proses pengolahannya. Jika proses berjalan lancar maka akan muncul pemberitahuan bahwa proses telah sukses di jendela *log*.

Setelah itu untuk melihat hasil dari pengolahan dapat ditampilkan dengan menu pada jendela *view*.

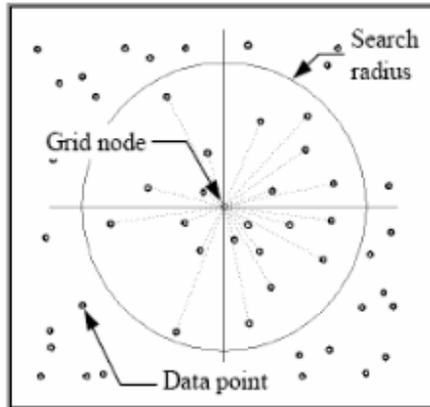
2.10 Pembentukan *Gridding*

Menurut (Rhamo A. , 2009), perlu dilakukan usaha penambahan jumlah titik dari jumlah data yang telah ada untuk mengisi kekosongan data akibat sifat terbatas dan tidak teratur nya data XYZ agar diperoleh hasil pemodelan SLA yang baik. Salah satu cara untuk melakukan kekosongan data tersebut dapat dilakukan dengan cara pembentukan grid (*Gridding*). XYZ dihitung secara matematis berdasarkan pada metode algoritma tertentu sehingga akan membentuk jaringan titik-titik tambahan yang disebut dengan *grid*.

Grid adalah jaringan titik segi empat yang tersebar secara teratur ke seluruh area pemetaan. Titik-titik tambahan yang ada pada *grid* ini membentuk jaring segi empat. Titik-titik *grid* terletak pada setiap perpotongan garis koordinat X dan Y, pada posisi titik *grid* tersebut dibentuk nilai Z tertentu melalui interpolasi. Dengan demikian data XYZ yang jumlahnya terbatas dan tersebar secara tidak merata akan di ubah oleh *grid* menjadi tersebar secara merata dengan jarak yang tetap.

2.11 *Interpolasi Inverse Distance Weighted (IDW)*

Menurut Prijatna (2007), *Inverse Distance Weighted (IDW)* dapat didefinisikan sebagai suatu metode yang digunakan untuk menginterpolasi suatu nilai secara spasial dari nilai sekitarnya dengan melakukan pembebanan terhadap jarak. Adapun konsep interpolasi IDW dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.8 Skema Interpolasi
(Priyatna, 2007)

Secara umum, bentuk dari persamaan Interpolasi IDW adalah sebagai berikut (Priyatna, 2007):

$$f(P) = w_1f(Q_1) + w_2f(Q_2) + \dots + w_nf(Q_n) \quad (2.4)$$

$$F(P) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i f(Q_i)}{\sum_{i=1}^n w_i}, w_i = \frac{1}{r_i^2} \quad (2.5)$$

Dimana titik yang akan di estimasi dilambangkan dengan (P), untuk bobot (w_1), dan jarak dari titik i ke P adalah (r_1). Dengan menggunakan metode IDW dapat dijelaskan bahwa semakin dekat jarak sebuah titik terhadap suatu titik estimasi, maka akan semakin besar pengaruh titik terdekat tersebut dalam proses interpolasi. Dan sebaliknya, jika jaraknya semakin jauh jarak suatu titik terhadap suatu titik estimasi, maka akan semakin kecil pula pengaruh titik terdekat tersebut dalam proses interpolasi. Hasil interpolasi dengan IDW yang baik

dapat ditentukan dengan mengatur radius pencarian dari titik-titik yang di sekitarnya.

2.12 Penelitian Terdahulu

(Aswina, 2010) yang berjudul Studi *Sea Level Rise* (SLR) Menggunakan Data Multi Satelit Altimetri dalam penelitian ini membahas tentang Pemantauan dan pemahaman mengenai perubahan kedudukan tinggi muka air laut global merupakan salah satu isu yang aktual akibat terjadinya fenomena pemanasan global. Di Indonesia yang sebagian besar wilayahnya berupa perairan, perubahan tinggi muka air laut ini akan memiliki dampak yang sangat besar. Dengan berkembangnya teknologi satelit, khususnya satelit altimetri, pemantauan lautan secara global dan terus menerus dapat dilakukan. Untuk mendapatkan kualitas data pengamatan yang baik secara waktu dan ruang diperlukan minimal dua satelit altimetri dengan lintasan dan waktu pengambilan data yang berbeda. Satelit *Jason-1* milik Amerika Serikat dan Perancis serta satelit *Envisat* milik Eropa menjawab kebutuhan minimal tersebut. Dengan menggabungkan data kedua satelit tersebut diharapkan dapat memenuhi kebutuhan akan data dalam mempelajari perubahan kedudukan muka air laut. Pemantauan kenaikan muka laut dilakukan pada perairan Indonesia dengan koordinat geografis antara 20° LU - 20° LS dan 90° BT - 150° BT dalam kurun waktu empat tahun (2002-2005). Pengamatan dan analisa dilakukan pada setiap bulannya dengan mengambil 15 titik pengamatan. Dari pemantauan muka laut dengan menggunakan data satelit *Jason-1* dan *Envisat* menunjukkan telah terjadinya fenomena sea level rise yang bervariasi di wilayah perairan Indonesia. Pola kenaikan tinggi muka air laut relatif lebih besar di laut lepas bagian timur perairan Indonesia yakni pada Samudera Pasifik, Laut Arafuru dan Perairan Halmahera. Kenaikan tinggi muka air laut rata-rata di Laut Arafuru memiliki tingkat kenaikan terbesar yaitu sebesar +7,99

mm. Sedangkan kenaikan tinggi muka air laut rata-rata terendah terjadi di Samudera Hindia dengan kenaikan sebesar +0,56 mm.

(Raharjanto, 2012) yang berjudul Studi Pasang Surut Di Perairan Indonesia Dengan Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-1 dalam penelitian ini membahas tentang Fenomena naik atau turunnya permukaan laut atau SLA (*Sea Level Anomaly*) merupakan hal yang sering mengemuka dengan perubahan gerak relatif dari materi suatu planet, bintang, dan benda-benda angkasa lainnya yang diakibatkan aksi tarik menarik atau yang sering disebut dengan pasang surut. Untuk saat ini telah dikembangkan sistem satelit altimetri *Jason-1* yang mempunyai obyek penelitian mengamati pasang surut.

Pengolahan data biner dari satelit altimetri *Jason-1* dilakukan dengan menggunakan beberapa tahapan, yaitu : konversi data, pembentukan grid, dan pemodelan serta analisa trend pasang surut. Pemantauan SLA beserta trend dan analisa pasang surut dilakukan setiap *cycle* dalam kurun waktu empat tahun (2008-2011). Hasil pemantauan SLA dengan menggunakan data satelit altimetri *Jason-1* mulai dari tahun 2008 sampai 2011 diperoleh terjadinya trend pasang tertinggi dan surut terendah di wilayah perairan Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai pasang tertinggi pada tahun 2008 terjadi pada *cycle* 236 yaitu sebesar 1,998 m di Laut Arafuru dan nilai surut terendah terjadi pada *cycle* 236 yaitu sebesar -3,695 m di Laut Arafuru. Nilai pasang tertinggi pada tahun 2009 terjadi pada *cycle* 290 sebesar 1,932 m di Laut Arafuru dan nilai surut terendah terjadi pada *cycle* 258 sebesar -3,309 m di Laut Arafuru. Nilai pasang tertinggi pada tahun 2010 terjadi pada *cycle* 308 sebesar 2,151 m di Laut Arafuru dan nilai surut terendah terjadi pada *cycle* 297 sebesar -2,830 m. Nilai pasang tertinggi pada tahun 2011 terjadi pada *cycle* 345 sebesar 1,840 m di Laut Arafuru dan nilai surut terendah terjadi pada *cycle* 348 sebesar -3,57 m.

Dalam waktu empat tahun, wilayah perairan Indonesia yang mengalami nilai pasang tertinggi dan surut terendah yaitu di Laut Arafuru.

BAB III METODOLOGI

3.1 Lokasi Penelitian

Kota Semarang merupakan salah satu kota terbesar di provinsi Jawa Tengah, letaknya berada di koordinat pada $6^{\circ} 57' 28,01''$ Lintang Selatan (LS) dan $110^{\circ} 25' 2,27''$ Bujur Timur (BT).



Gambar 3.1 Kota Semarang
(<https://maps.google.com>, 2015)

Kota Semarang dibagi menjadi 2 daerah yaitu daerah atas dan daerah bawah. Daerah bawah adalah Daerah dataran rendah di Kota Semarang sangat sempit, yakni sekitar 4 kilometer dari garis pantai. Dataran rendah ini dikenal dengan sebutan kota

bawah, Kawasan kota bawah seringkali dilanda banjir, dan di sejumlah kawasan, banjir ini disebabkan luapan air laut (rob). Sedangkan daerah atas adalah Di sebelah selatan merupakan dataran tinggi, yang dikenal dengan sebutan kota atas. Kota Semarang secara administratif dibagi menjadi 16 kecamatan, yaitu :

- a. Kecamatan Banyumanik
- b. Kecamatan Candisari
- c. Kecamatan Gajahmungkur
- d. Kecamatan Gayamsari
- e. Kecamatan Genuk
- f. Kecamatan Gunung Pati
- g. Kecamatan Mijen
- h. Kecamatan Ngaliyan
- i. Kecamatan Pedurung
- j. Kecamatan Semarang Barat
- k. Kecamatan Semarang Selatan
- l. Kecamatan Semarang Tengah
- m. Kecamatan Semarang Timur
- n. Kecamatan Semarang Utara
- o. Kecamatan Tembalang

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Data yang akan digunakan dalam tugas akhir ini adalah

- :
- a. Data dari satelit altimetri *Jason-1* format *biner* GDR (*Geophysical Data Record*) yang diproduksi oleh PODAAC dengan lama pengamatan selama 3 tahun 2009-2011.
 - b. Data DEM (*Digital Terrain Model*) SRTM 1 Arc-Second (30m) yang merupakan representasi *digital* dari topografi permukaan atau *terrain* yang di *download* pada *website* (<http://earthexplorer.usgs.gov>)

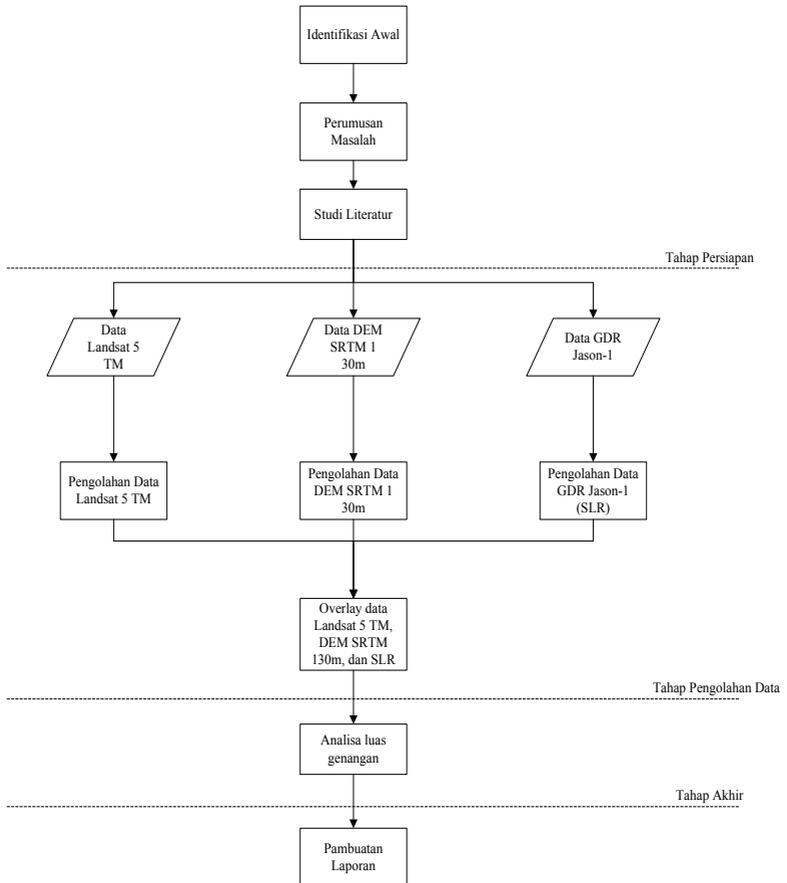
- c. Data Sungai untuk mengetahui pesebaran sungai diwilayah semarang, data ini diambil dari website Ina Goportal (<http://portal.ina-sdi.or.id/>, 2014) dengan nama *Hidrografi*.
- d. Peta Citra Landsat 5 TM Kota Semarang
- e. Peta Citra Landsat 8 OLI Kota Semarang

3.2.2 Peralatan

- a. Seperangkat Komputer (Laptop/PC)
- b. *Software* ArcGIS
- c. *Software* BRAT (*Basic Radar Altimetri Toolbox*)
- d. *Software* MATLAB
- e. *Software* Er Mapper
- f. *Software* Surfer
- g. Microsoft Excel, Microsoft Word, Notepad

3.3 Metodologi Penelitian

Tahapan yang akan dilaksanakan dalam kegiatan penelitian ini adalah seperti pada diagram alir berikut ini:



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Penelitian

Berikut adalah penjelasan diagram alir metode penelitian:

i. Identifikasi Awal

Identifikasi Awal, bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan apa saja yang terjadi di daerah penelitian.

ii. Perumusan Masalah

Perumusan masalah, bertujuan untuk merumuskan permasalahan yang terjadi pada daerah penelitian, dalam penelitian ini adalah daerah mana saja berpotensi tergenang oleh banjir rob yang diamati dari data DEM berdasarkan kenaikan muka air laut yang diamati oleh satelit altimetri *Jason-1*.

ii. Studi Literatur

Bertujuan untuk mendapatkan referensi yang berhubungan dengan Analisa kenaikan muka air laut (*sea level rise*) menggunakan data altimetri satelit di perairan Kota Semarang dan Metode pengolahan data Citra Landsat 5 TM, Data DEM SRTM 1 *Arc-Second* 30m

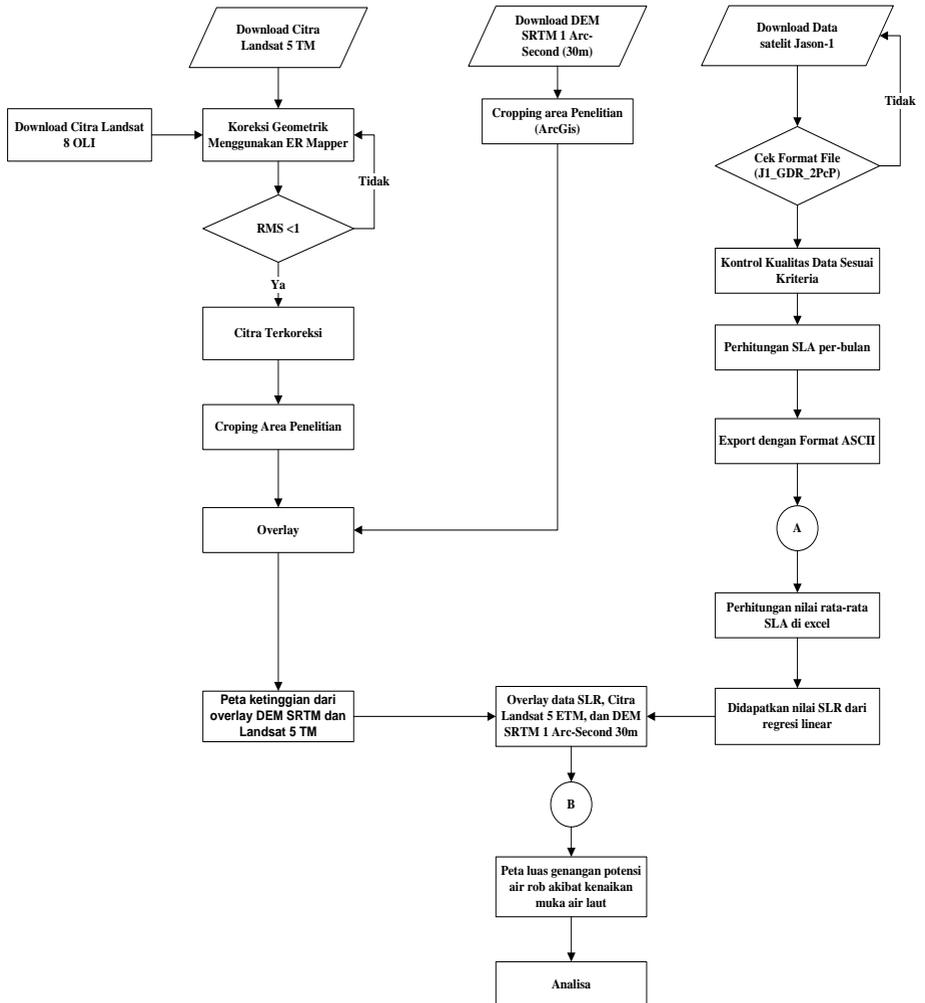
iii. Pengumpulan Data

Pengumpulan Data, dilakukan pengumpulan data-data yang diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Data berupa data *biner* dengan format GDR dari data satelit, Data DEM SRTM 1 *Arc-Second* 30m, Citra Satelit Landsat 5 TM dengan format *raster*, dan Citra Satelit Landsat 8 OLI

iv. Analisa dan Penulisan Laporan

Tahapan ini merupakan tahapan akhir dari penelitian. Pada tahap ini dilakukan analisa dari luas genangan yang diakibatkan kenaikan muka air laut selama 100 tahun dengan syarat kenaikan muka laut konstan setiap tahunnya. Pada tahap ini juga dilakukan penulisan laporan sebagai hasil akhir penelitian.

3.4 Tahap Pengolahan Data



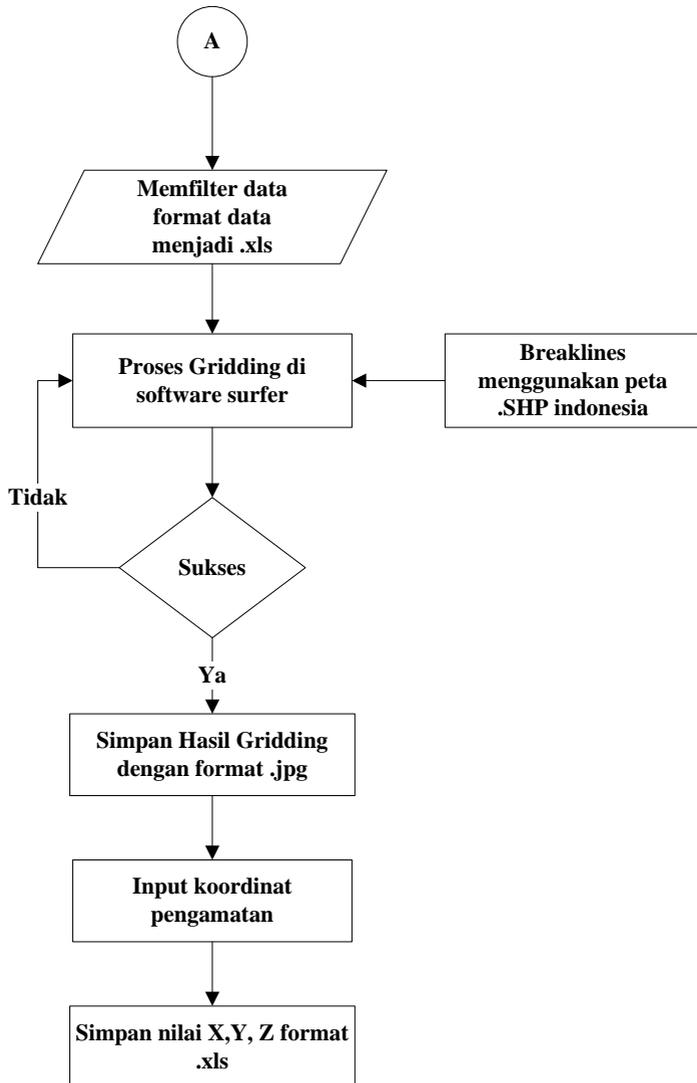
Gambar 3.3 Diagram Utama Tahap Pengolahan Data

Pada tahapan ini dilakukan pengolahan dari data-data yang telah diambil dari lapangan dan data penunjang lainnya. Adapun pekerjaannya meliputi pengolahan data spasial dan data tabular. Pada proses ini dilakukan beberapa tahap pengolahan yaitu:

- a. Download Data
Download data yang dibutuhkan seperti Citra Landsat 5 TM, Data Kontur *Hipsografi* dan data satelit altimetri *Jason-1* dengan format biner yaitu *Geophysical Record Data*.
- b. Pengolahan Data DEM *SRTM 1 Ar-Second* 30m
Untuk pengolahan data DEM dilakukan di *software* ArcGis, yaitu dengan menggunakan menu ArcToolBox dan menu lain yang sudah disediakan di ArcGis.
- c. Koreksi Geometrik
Koreksi geometrik bertujuan mereduksi kesalahan geometrik sehingga dihasilkan citra terkoreksi secara geometrik. Dalam penelitian ini koreksi geometrik dilakukan dengan cara *rektifikasi* (pembetulan) atau *restorasi* (pemulihan) citra agar koordinat citra sesuai dengan koordinat geografis. Koreksi geometrik ini menggunakan citra landsat 8 OLI. Citra landsat 8 ini digunakan karena sudah mengalami koreksi geometrik oleh satelit, sehingga bisa digunakan sebagai referensi terhadap GCP (*Ground Control Point*) untuk menyamakan proyeksi objek dari citra terhadap peta yang digunakan. Setelah itu dilakukan perhitungan RMS (*Root Mean Square*), nilai RMS harus kurang atau sama dengan satu ($\text{RMS error} \leq 1$ piksel). Jika memenuhi toleransi maka diperoleh citra terkoreksi.
- d. *Cropping Image* (Pemotongan Citra) Landsat 5 TM dan *Digital Elevation Model*
Lakukan pemotongan Citra Landsat 5 TM dan data DEM *SRTM 1 Ar-Second* pada area yang akan dijadikan area

penelitian dengan menggunakan poligon batas administrasi Kota Semarang

- e. Cek format data satelit altimetri *Jason-1*
 Pada tahap ini dilakukan proses cek data GDR hasil *download*, karena seringkali data data GDR yang di unduh bukan per-*Cycle* tetapi data *global*.
- f. Kontrol kualitas data
 Setelah proses konversi data berjalan sukses, langkah selanjutnya yaitu melakukan kontrol kualitas data. Tahap ini bertujuan untuk mendapatkan data dengan kualitas yang baik dan kriteria ini dapat dilihat pada kriteria di AVISO.
- g. Perhitungan *Sea Level Anomaly* Perbulan
 Pada pengolahan ini harus dihitung *anomaly* tinggi laut pada kedua satelit pada *pass* dan *cycle* yang ditentukan.
- h. *Export* data ke ASCII
 Setelah nilai SLA perbulan didapat maka tahap selanjutnya adalah *export* data ke format .txt
- i. Perhitungan Nilai Rata-Rata SLA dititik pengamatan
 Dilakukan perhitungan rata rata SLA dari titik pengamatan di perairan Kota Semarang untuk mencari tau kenaikan muka air laut yang akan dimodelkan dengan regresi polinomial.
- j. Analisa Nilai Kenaikan Muka Air Laut
 Dari nilai SLA tiap bulan tersebut diambil titik pengamatan tertentu untuk dihitung kenaikan tinggi muka air lautnya tiap bulan untuk kemudian didapatkan trend linier kenaikan tinggi muka air laut dititik-titik tersebut selama tiga tahun, pada tahap ini menggunakan regresi polinomial.



Gambar 3.4 Diagram *Gridding* di *Software Surfer*

Pada tahapan ini dilakukan pengolahan lanjutan untuk proses *gridding* dan rata-rata nilai SLA titik pengamatan, berikut adalah prosesnya :

- a. Mem-filter data dan konversi ke format excel
Pada tahapan ini data yang semula mempunyai nilai '*Default Value*' harus dilakukan penghilangan karena akan mengakibatkan *error* yang besar apabila tidak dihilangkan, kemudian di konversi dalam format .xls
- b. *Gridding* di *Software Surfer*
Selanjutnya adalah dilakukan proses *gridding* dengan metode *Inverse Weight Distance* dengan software surfer, sehingga hasil akhirnya adalah kontur SLA perbulan dalam pengamatan 3 tahun. Dan juga dilakukan *breakline* atau *overlay* peta indonesia format .shp agar bisa diketahui dimana letak area pengamatan
- c. Input nilai koordinat area pengamatan
Proses kali ini adalah memasukkan nilai koordinat pengamatan format .txt agar bisa dicari rata-rata SLA di area perairan semarang.

Agar dapat dilakukan permodelan kenaikan muka air laut, selanjutnya proses tersebut dapat dilakukan dengan menggabungkan citra landsat 5 TM terkoreksi untuk mengetahui aliran dari air dan genangan tersebut.



Gambar 3.5 Diagram Pengolahan Penggabungan Ketiga Data

Pada tahapan ini dilakukan pengolahan lanjutan untuk *overlay* dari ketiga data tersebut, berikut adalah prosesnya :

a. *Overlay* data *Digital Elevation Model* (DEM) dan Citra Landsat 5 TM

Pada pengumpulan data *Digital Elevation Model* (DEM) dan Citra Landsat 5 TM data sudah dalam format .shp, hal ini agar memudahkan dalam proses *overlay* dari kedua data tersebut, dan mempunyai sistem referensi yang sama agar hasil yang didapatkan dari *overlay* sesuai dengan yang diharapkan, *software* yang digunakan adalah ArcGis.

b. Penggabungan Ketiga Data

Dalam Tahapan ini yaitu menggabungkan data *Digital Elevation Model* (DEM) dan Citra Landsat 5 TM dengan data kenaikan muka air laut, hal ini untuk melihat daerah mana yang terkena dampak banjir rob dan daerah mana yang tidak terjangkau banjir rob akibat kenaikan muka air laut, untuk itu digunakan *software* ArcGis untuk mengkalkulasi nilai tersebut dengan logika matematika $a < b$.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Pengecekan Kualitas Data

Tahapan awal ini dilakukan untuk mendapatkan data dengan kualitas terbaik. Tahapan ini dilakukan pada data yang digunakan, yaitu data GDR format .nc yang diperoleh dari server PODAAC. Untuk data GDR, pengecekan data dilakukan dengan menggunakan *software* BRAT. Kontrol kualitas data dalam penelitian ini menggunakan parameter acuan yang tercantum pada *Jason-1 Products Handbook* (AVISO and PODAAC, 2003). Pada *software* BRAT, data yang tidak sesuai dengan parameter acuan akan dihilangkan secara otomatis. Sehingga hanya data yang benar-benar sesuai acuan saja yang bisa diolah dengan menggunakan *software* ini.

Berikut ini adalah tampilan parameter data GDR AVISO ketika dicek dengan menggunakan *software* BRAT. (Lihat Lampiran 1)

Setelah pengecekan data selesai dilakukan maka data GDR kemudian bisa langsung digunakan untuk tahapan pengolahan data selanjutnya.

4.2 Pengolahan Nilai Sea Level Anomaly

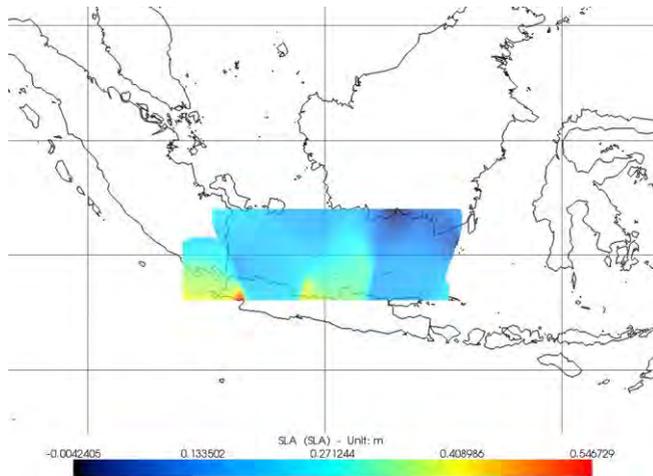
Pengolahan untuk mengetahui nilai SLA dilakukan dengan menggunakan *software* BRAT. Nilai SLA didefinisikan sebagai tinggi permukaan laut diatas permukaan geofisik yang berupa *mean sea surface* dan *geoid* kemudian dikurangi dengan efek pasang surut dan pengaruh tekanan atmosfer (AVISO, 2012). Nilai *Sea Level Anomaly* dapat dihitung dengan formula (AVISO, 2011):

$$SLA = SSH - \text{Bidang Geoid} - \text{Koreksi Nois} \quad (4.1)$$

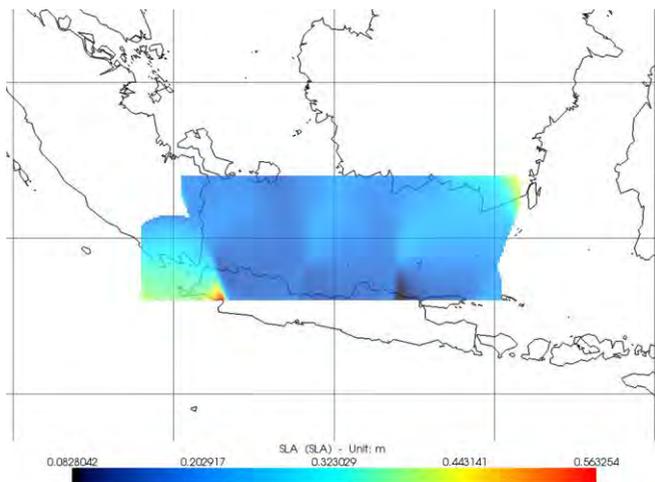
Nilai *Sea Surface Height* (SSH) pada formula tersebut masih mengandung efek variasi periode pendek, salah satunya pasang surut. Selanjutnya, efek tersebut harus di eliminasi sehingga kenaikan muka air laut dapat terlihat melalui analisis secara temporal. Untuk itu digunakan data SLA untuk mengamati Kenaikan Muka Air laut di wilayah laut jawa dan perairan semarang. Mengingat pada data SLA efek-efek tersebut telah dileminasi.

Perhitungan SLA dilakukan untuk mendapatkan nilai rata-rata dari titik yang telah ditentukan. Nilai SLA dihitung setiap bulannya, dan setiap bulan tersebut mengandung nilai dari +3 *Cycle* dan *pass* yang dilalui oleh satelit altimetri *Jason-1* (51,64,127,140,203,216,227,242). Dari nilai SLA perbulan nantinya akan didapatkan nilai dari tren linear kenaikan muka air laut setiap tahunnya untuk dibandingkan dengan nilai rata-rata kenaikan muka laut dari rambu pasut secara pengamatan insitu, dan nantinya data SLA pertahun tersebut akan digabungkan untuk mendapatkan nilai tren linear kenaikan muka air laut selama 3 tahun agar muncul nilai fungsi regresi untuk prediksi beberapa tahun mendatang.

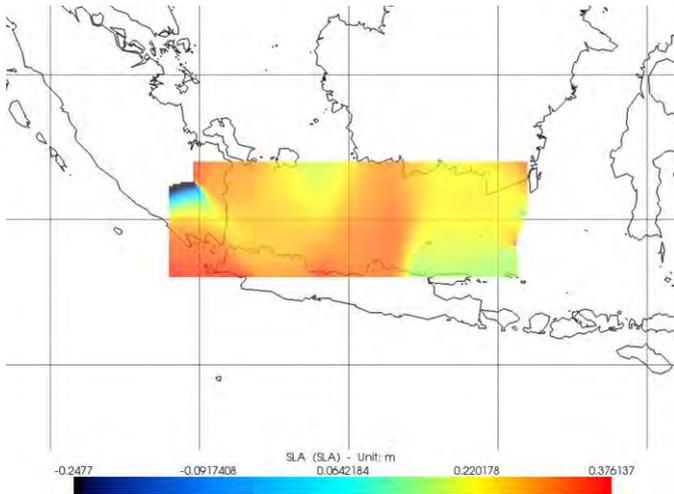
Berikut adalah hasil dari SLA yang didapatkan pada ditampilkan di jendela view :



Gambar 4.1 SLA Bulan Mei Tahun 2009



Gambar 4.2 SLA Bulan Mei Tahun 2010



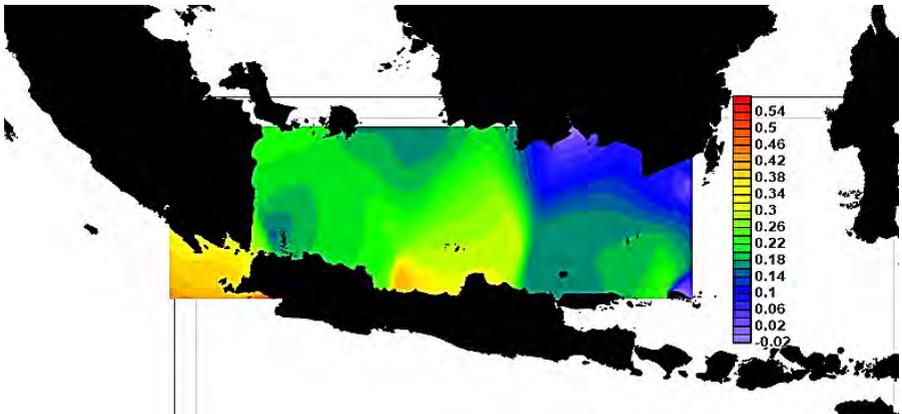
Gambar 4.3 SLA Bulan Mei Tahun 2011

Dari ketiga gambar tersebut terlihat perubahan di daerah laut Jawa untuk tahun 2009-2012 pada bulan Mei. Dapat diterangkan bahwa warna jingga menyatakan bahwa daerah tersebut mempunyai nilai muka air laut yang relatif tinggi dari bidang geoid. Sebaliknya warna biru menyatakan bahwa daerah tersebut memiliki ketinggian muka air laut yang lebih rendah. Dapat diterangkan pada gambar 4.1 (Mei 2009), bahwa nilai SLA cenderung rendah, rata-rata nilai pada tahun 2009 adalah 0,217 m dibandingkan dengan 4.3 (Mei 2011) yang relatif sangat tinggi dengan nilai rata-rata 0,252 m untuk itu perlu dilakukan tren kenaikan muka air laut Jawa.

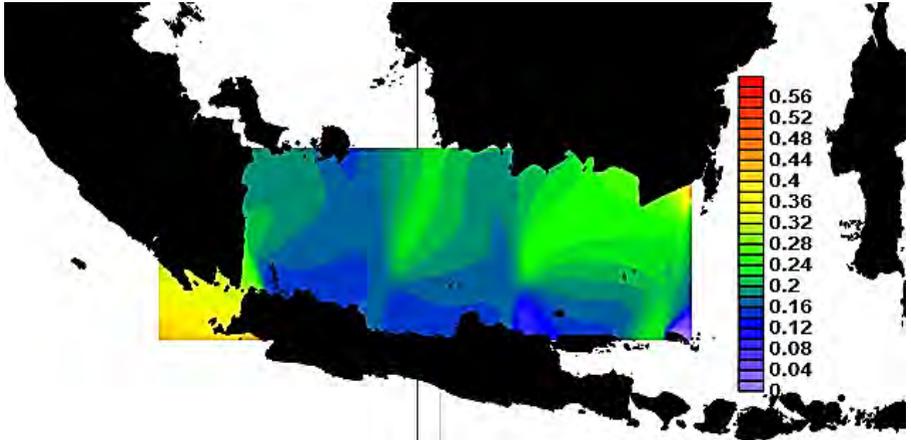
Langkah selanjutnya adalah dilakukan proses *export* ke .txt untuk selanjutnya diproses di *software* surfer untuk *gridding* dan penentuan titik pengamatan, agar bisa diketahui

tren kenaikan muka air laut di perairan semarang selama 3 tahun pengamatan.

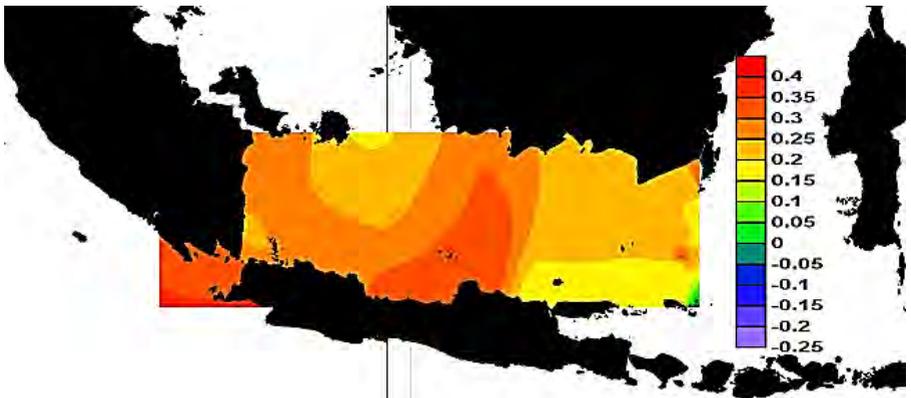
Berikut adalah hasil gridding di surfer yang menggunakan metode *Inverse Weight Distane* (IDW) dan penentuan titik diperairan semarang. Hasil pengolahan surfer akan di *overlay* dengan peta indonesia format *shapefile* yang mempunyai sistem referensi WGS 1984, agar bisa diketahui sistem proyekso dari SLA tersebut dan posisi dari area pengamatan. Berikut adalah hasil pengolahan disurfer :



Gambar 4.4 SLA Bulan Mei Tahun 2009 Surfer



Gambar 4.5 SLA Bulan Mei Tahun 2010 Surfer



Gambar 4.6 SLA Bulan Mei Tahun 2011 Surfer

Dari gambar pada pengamatan tahun 2009-2011 dapat dilihat bahwa *griding* menggunakan *software* surfer lebih halus dibanding dengan *software* BRAT dan area kenaikan SLA juga terlihat lebih detail dengan skala warna. Serta dapat dilakukan *breakline* dan *overlay* dengan peta indonesia, hal ini untuk mengetahui letak data SLA yang mana area pengamatan

memiliki sistem proyeksi yang yaitu WGS 1984. Langkah ini harus dilakukan disetiap bulannya dalam 3 tahun pengamatan. Kemudian apabila proses *gridding* telah selesai dilakukan langkah berikutnya adalah penentuan titik diarea pengamatan yang sebelumnya ditentukan di google earth dan di simpan dalam format *.txt* agar mudah diterjemahkan oleh *software* surfer, berikut adalah koordinat pengamatan :

Tabel 4.1 Koordinat Area Pengamatan

Latitude	Longitude
-6,9421241172625	110,35642127687
-6,9456507407827	110,37934432975
-6,9421241172625	110,40403069439

Apabila sudah maka disurfer dapat langsung menerjemahkan koordinat tersebut sehingga akan langung muncul nilai Z atau SLA titik pengamatan seperti berikut :

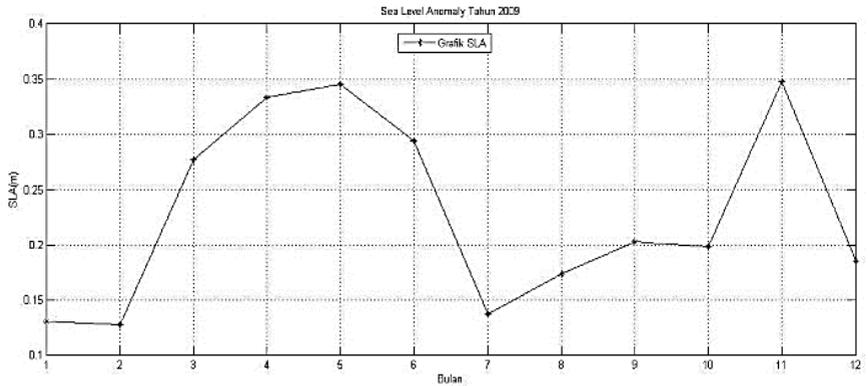
Tabel 4.2 Hasil SLA dari Area Pengamatan

Latitude	Longitude	SLA (m)
-6,9421241172625	110,35642127687	0,3458
-6,9456507407827	110,37934432975	0,3455
-6,9421241172625	110,40403069439	0,3550

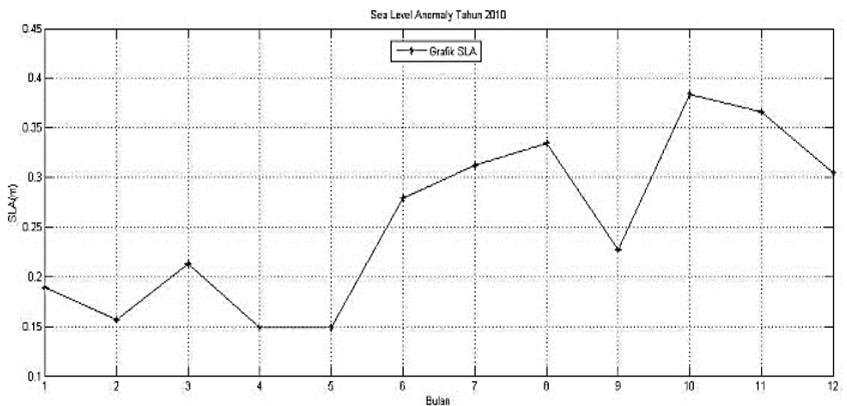
Langkah ini harus dilakukan pada setiap bulannya dalam 36 bulan selama 3 tahun hal ini untuk menentukan nilai rata-rata dari perairan di utara Kota Semarang. Kemudian pindahkan nilai tersebut kedalam *Microsoft excel* untuk dilakukan perhitungan rata-rata SLA dan proses pembentukan fungsi *regresi polynomial* dari data 3 tahun tersebut dilakukan di Matlab.

Hasil Perhitungan SLA dititik pengamatan setelah diolah dengan excel maka langkah selanjutnya adalah dilakukan

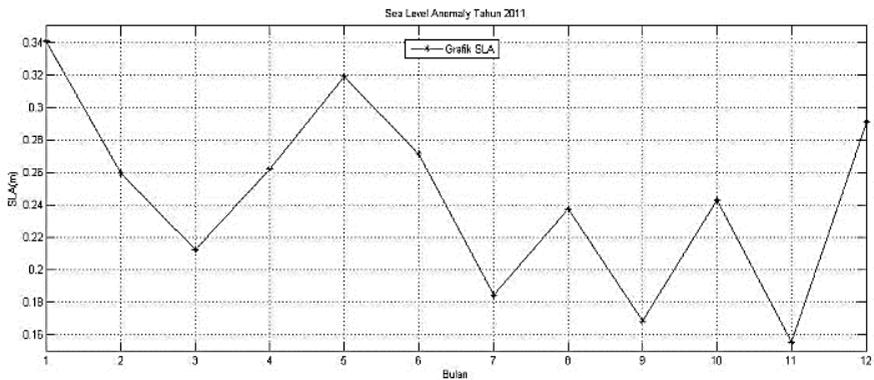
memunculkan grafik setiap tahunnya untuk diketahui fungsi regresinya, berikut adalah grafiknya :



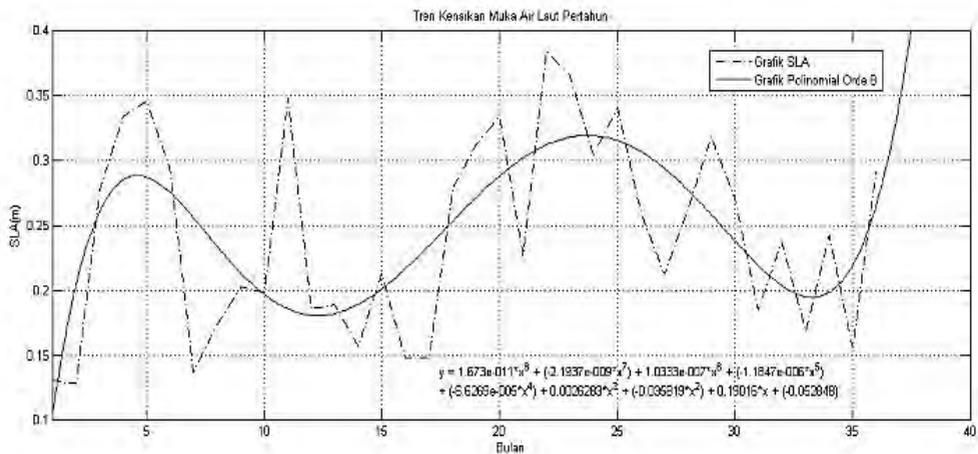
Gambar 4.7 Grafik SLA titik pengamatan pada tahun 2009



Gambar 4.8 Grafik SLA titik pengamatan pada tahun 2010



Gambar 4.9 Grafik SLA titik pengamatan pada tahun 2011



Gambar 4.10 Grafik SLA titik pengamatan pada tahun 2009-2011 (3 tahun)

4.3 Kenaikan Muka Air Laut

Dari grafik SLA pada pengamatan tahun 2009-2010 terjadi peningkatan yang cukup signifikan. Kemudian apabila sudah didapatkan fungsinya dapat dilakukan proses perhitungan nilai rata-rata kenaikan muka air lautnya. Nantinya hasil dari rata-rata kenaikan muka laut akan di bandingkan dengan kenaikan muka laut rata-rata yang diamati secara langsung. Berikut adalah data dari pengamatan nilai tinggi muka air laut rata-rata yang telah diamati oleh litbang kabupaten pati pada tahun 2006-2010.

Tabel 4.3 Nilai Tinggi Muka Air laut Rata-Rata Dari Pengamatan Pasut (cm)
(Litbang Pati, 2012)

Bulan	2006	2007	2008	2009	2010
Januari	50,82	50,35	72,59	80,65	84,73
Februari	49,98	46,60	73,46	77,03	83,14
Maret	48,98	46,60	57,67	77,03	83,14
April	48,72	57,67	84,96	89,31	92,88
Mei	58,30	65,97	90,28	92,96	97,76
Juni	55,10	63,36	83,00	93,94	97,76
Juli	48,80	60,76	77,46	83,82	93,37
Agustus	48,21	59,61	78,25	60,14	93,38
September	45,71	45,22	74,10	60,10	93,37
Oktober	44,78	58,56	87,56	60,10	93,34
November	48,82	68,17	86,47	60,09	93,31
Desember	47,58	62,92	84,08	60,11	93,28
Rata-rata	50,50	58,15	80,98	75,38	92,35

Dari tabel tersebut dapat diamati bahwa pada tahun 2009-2010 terjadi kenaikan muka air laut di kabupaten pati sebesar 16,97 cm berdasarkan perubahan muka air laut rata-rata diperairan tersebut. Kemudian akan dibandingkan dengan kenaikan muka air laut pada tahun 2009-2010 dari pengamatan satelit altimetri, berikut adalah hasilnya :

Tabel 4.4 Nilai Tinggi Muka Air laut Rata-Rata Dari Pengamatan Satelit Altimetri

Tahun	Tinggi Muka Air Laut Rata-rata (cm)
2009	22,96
2010	25,52
2011	24,55

Dari pengamatan satelit altimetri pada tahun 2009-2010 mengalami perubahan tinggi air laut sebesar 2,56 cm. Sehingga terjadi selisih nilai rata-rata yang besar dari pengamatan rambu pasut dan satelit altimetri pada tahun 2009-2010 yaitu sebesar 14,40 cm, beda yang besar ini diakibatkan karena metode yang digunakan dalam mengamati kenaikan muka air laut jauh berbeda antara teknik perhitungan pasut secara manual dan teknik penginderaan jarak jauh dan juga satelit altimetri merupakan satelit yang sebenarnya digunakan diperairan terbuka seperti samudera. Tetapi dari dua metode tersebut mendeteksi adanya kenaikan muka laut pada tahun tersebut hal itu karena terjadi fenomena El nino diwilayah perairan indonesia (Bureau of Meteorology Australian Government, 2011), sehingga permukaan air laut di indonesia mengalami kenaikan. Maka dari itu satelit altimetri bisa digunakan untuk pengamatan kenaikan muka air laut sesuai dengan fungsi utama dari satelit ini. Sedangkan apabila dicari tren kenaikan dalam 3 tahun untuk mendapatkan nilai fungsi regresinya maka akan didapatkan nilai kenaikan muka air laut.

Nilai tren kenaikan muka air laut dapat dicari dengan menggunakan persamaan regresi polinomial pangkat 8. Menurut (Kurniawan, 2008 dalam Fatimah, 2013), salah satu kegunaan analisis regresi adalah untuk tujuan deskripsi dari fenomena data atau kasus yang sedang diteliti dengan terbentuknya suatu model hubungan yang bersifat numerik. Sehingga rumus umum dapat diberikan seperti berikut :

$$Y = b_0 + b_1X^1 + b_2X^2 + \dots + b_kX^k + a \quad (4.2)$$

dimana dapat dijelaskan bahwa nilai y merupakan variable dependen atau tak bebas yang dicari, dalam hal ini yaitu tren kenaikan muka air lautnya. Sedangkan b_0 merupakan intersep, b_1, b_2 , dan b_k merupakan koefisien-koefisien dari regresi, sedangkan X merupakan variable prediktor dalam hal ini adalah jumlah bulan dalam satu tahun pengamatan atau 3 tahun pengamatan. Dan a adalah nilai koefisien regresi yang menyatakan ukuran kemiringan garis.

Selanjutnya dicari nilai y maksimum dan y minimum dari masing-masing persamaan garis linier, dengan memasukkan jumlah bulan. Untuk itu jumlah minimum dari bulan adalah 1 dan jumlah maksimum bulan adalah 36 bulan sesuai tahun. Berikut adalah hasil dari perhitungannya :

$$\begin{aligned} Y_{min} = & ((1.67296539762623)^8 * (36)) \\ & + ((-2.19373829858351)^7 * (36)) \\ & + ((1.03329163080573)^6 * (36)) \\ & + ((-1.18473399228136)^5 * (36)) \\ & + ((-6.62690983627839)^4 * (36)) \\ & + ((0.00262831669461556)^3 * (36)) \\ & + ((-0.0358194106154739)^2 * (36)) \\ & + ((0.19015975747633)^1 * (36)) \\ & + (-0.0528484889642157) = 10,40 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Y_{max} = & ((1.67296539762623)^8 * (1)) \\
& + ((-2.19373829858351)^7 * (1)) \\
& + ((1.03329163080573)^6 * (1)) \\
& + ((-1.18473399228136)^5 * (1)) \\
& + ((-6.62690983627839)^4 * (1)) \\
& + (((0.00262831669461556)^3 * (1)) \\
& + ((-0.0358194106154739)^2 * (1)) \\
& + ((0.19015975747633)^1 * (1)) \\
& + (-0.0528484889642157) = 26,55 \text{ cm}
\end{aligned}$$

Kemudian dicari tren kenaikan selama 3 tahun pengamatan pada titik perairan Semarang menggunakan formula tren kenaikan muka air laut :

$$\frac{26,55 - 10,40}{3} = 5,38 \text{ cm/th}$$

Dimana angka 3 merupakan lama tahun pengamatan. Sehingga dari formula tersebut didapatkan nilai kenaikan muka air laut sebesar 5,38 cm per tahun dari pengamatan dengan menggunakan data satelit altimetri *Jason-1*.

Dari persamaan regresi polinomial dari grafik tersebut kemudian didapatkan nilai r^2 yang merupakan nilai koefisien determinasi untuk menganalisa seberapa kuat variable independen mempengaruhi variable dependen (Kurniawan, 2009 dalam Fatimah, 2013), atau dalam hal ini seberapa kuat pengaruh pengamatan terhadap kenaikan muka air laut, dalam hal ini nilai dari 0 sampai dengan 1, dimana semakin besar nilainya, maka hubungan antar variable tersebut semakin kuat. Dari hasil persamaan tersebut didapatkan nilai r^2 sebesar 0,4419. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hubungan antara variabel dependen dan independen berada pada tingkat sedang. Hal ini dapat dipengaruhi karena periode pengamatan yang terlalu singkat yaitu 3 tahun.

Kemudian dilakukan perbandingan dengan penelitian yang menggunakan data pasang surut. Penelitian yang

dilakukan tersebut dilakukan satu tahun setelah penelitian ini. Penelitian sebelumnya ini dilakukan oleh Atmojo (2012) dalam Ismunarti (2013) yang memperkirakan kenaikan muka air laut sebesar 5,3 cm pertahun di perairan Kota Semarang. Sedangkan Julzarika (2012) dalam Ismunarti (2013) memprediksi kenaikan muka air laut sebesar 0,81-1 cm pertahun.

Dari perbandingan tersebut didapatkan bahwa penelitian ini mempunyai nilai yang mendekati sama dengan penelitian Atmojo (2012) tetapi mempunyai nilai yang cukup jauh dengan penelitian yang dilakukan oleh Julzarika (2012) hal ini berbeda karena model pengamatan yang berbeda dan koreksi dari tiap penelitian berbeda.

4.4 Analisa Luas Genangan Akibat Kenaikan Muka Air Laut

Dari pengamatan yang dilakukan dengan menggunakan data altimetri didapatkan nilai kenaikan muka air laut sebesar 5.38 cm per tahun. Hal ini mungkin tidak cukup tinggi pada masa sekarang tetapi hal itu akan menjadi masalah apabila nilai kenaikan muka air laut naik secara konstan setiap tahunnya dari 50 tahun sampai 100 tahun mendatang. Sehingga perlu adanya dilakukan pemodelan naiknya muka air laut baik secara 2-D. Nilai kenaikan muka air laut ini diakibatkan karena perubahan iklim seperti pencairan es dan naiknya temperatur di permukaan laut. Pemodelan ini menggunakan data dari satelit altimetri dan SRTM.

Data yang digunakan untuk mendefinisikan topografi kota semarang adalah data DEM SRTM *Arc-1 second* dengan resolusi spasial 30m x 30m. Referensi vertikal dari DEM SRTM menggunakan datum EGM96 (*Earth Gravitational Model 1996*), sedangkan untuk referensi horizontal menggunakan datum WGS84 (*World Global System 1984*). (USGS, 2015). Tinggi

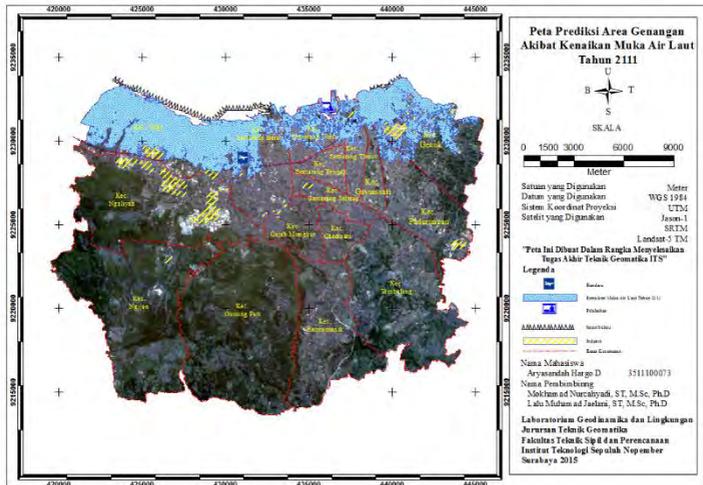
yang didapatkan oleh satelit SRTM dari referensi vertikal EGM96 tersebut merupakan tinggi ortometrik, untuk nilai undulasi geoid itu sendiri telah dihitung dengan menerapkan istilah koreksi *pseudo-height anomaly* yang dihitung dari ellipsoid ke geoid (Agrawal, 2015).

Sedangkan untuk data satelit altimetri merekam data yang menggunakan referensi bidang ellipsoid, sehingga terdapat perbedaan referensi vertikal antara data DEM SRTM dengan data satelit altimetri, tetapi hal tersebut tidak menjadi masalah karena menurut formula dari perhitungan SLA (*Sea Level Anomaly*) yang menyatakan bahwa tinggi muka laut yang tereferensi pada bidang geoid atau MSS dimana efek dinamis seperti pasang surut dan pengaruh tekanan atmosfer sudah dihilangkan. Datum vertikal yang digunakan untuk mendefinisikan bidang geoid pada satelit altimetri adalah EGM96 (*Earth Gravitational Model 1996*) sedangkan untuk datum horizontalnya adalah WGS84 (*World Global System 1984*). (AVISO and PODAAC, 2003).

Dengan kesamaan dari referensi verikal dan horizontal dari kedua satelit maka dapat dilakukan pemodelan luas area genangan dengan jenjang waktu prediksi 50 tahun dan 100 tahun. Berikut adalah tabel prediksi kenaikan muka air laut :

Tabel 4.5 Prediksi Kenaikan Muka Air laut

Tahun Kenaikan Muka Air Laut	Besar Kenaikan Muka Air Laut (m)
2021 (10 th)	0,53
2060 (50 th)	2,69
2111 (100 th)	5,38



Gambar 4.13 Kenaikan Muka Air Laut dalam 100 tahun.

Kenaikan muka air laut dalam kurun waktu 100 tahun tersebut mengakibatkan hilangnya tanah sebesar 5050 ha atau 50,5km² dan luas daerah tergenang menyebar dengan luas area yang tergenang meliputi Kecamatan Gayamsari, Kecamatan Genuk, Kecamatan Tugu, Kecamatan Semarang Barat, Kecamatan Semarang Utara, dan Kecamatan Padurungan. Apabila kenaikan air laut mencapai ketinggian 5,38 m maka area industri di Kecamatan Genuk dan Kecamatan tugu hampir seluruhnya tergenang oleh air laut, dan juga akibat tersebut Bandara Udara Ahmad Yani Semarang hampir sebagian tergenang oleh air laut.

Tetapi dapat dilihat pada peta diatas bahwa pemerintah Kota Semarang telah menyediakan area hutan bakau yang berfungsi untuk mencegah terjadinya abrasi yang diakibatkan oleh pasang surut, gelombang dan arus laut, sehingga hal tersebut akan mengakibatkan kenaikan muka air laut dan perubahan garis pantai.

Tampilan diatas merupakan gambaran apabila nilai kenaikan laut naik secara konstan. Dan seharusnya terdapat parameter yang mempengaruhi lainnya seperti penurunan tanah di Kota Semarang dan pasang surut harian yang diamati secara terus menerus. Serta efek nois dari satelit altimetri itu masih bisa mengganggu pengamatan karena model pasang surut global yang dipakai tidak sesuai dengan model perairan tersebut yang relatif tertutup. Mengingat satelit altimetri menggunakan model pasang surut global sebagai acuan. Dimana model pasang surut ini lebih banyak diaplikasikan untuk laut atau perairan terbuka.

4.4 Hubungan Kenaikan Muka Air Laut dengan Curah Hujan

Perubahan iklim global sebagai implikasi dari pemanasan global telah mengakibatkan ketidakstabilan atmosfer di lapisan bawah terutama yang dekat dengan permukaan bumi. Pemanasan global ini disebabkan oleh meningkatnya gas-gas rumah kaca yang dominan ditimbulkan oleh industri-industri. Akibat meningkatnya gas-gas rumah kaca yang di atmosfer maka akan mempengaruhi curah hujan di daerah tersebut. Hujan merupakan salah satu bentuk dari presipitasi diudara. Curah hujan terukur dalam inci atau milimete. Jumlah Curah hujan 1 mm, menunjukkan tinggi air hujan yang menutupi permukaan bumi 1 mm, jika air tersebut tidak meresap kedalam tanah atau atmosfer.

Suhu perairan juga akan mempengaruhi tingkat dari evaporasi air laut dan akan mengakibatkan naiknya curah hujan dan hal ini yang menjadi penyebab cukup tajamnya kenaikan muka air laut. Untuk mengetahui berapa besarkah nilai dari hubungan curah hujan dan anomali kenaikan muka air perlu dilakukan perhitungan korelasi antara keduanya. Berikut adalah data Curah Hujan semarang selama 3 tahun dari tahun 2009-2011 (Lihat Lampiran).

Data yang didapatkan dari stasitun BMKG semarang tersebut menunjukkan rata-rata curah hujan pada tahun 2009 sebesar 183,325 mm, sedangkan pada tahun 2010 semarang mengalami peningkatan curah hujan sebesar 271,945 mm, dan pada tahun 2011 curah hujan di semarang mengalami penurunan sebesar 162,750 mm. sehingga perlu dilakukan analisa mengenai hubungan antara kenaikan muka air laut dengan curah hujan. Perhitungan korelasi keduanya dilakukan dengan menggunakan metode Spearman's rho, sehingga menghasilkan nilai seperti berikut :

Tabel 4.6 Korelasi antara curah hujan dan kenaikan muka air laut tahun 2009-2011

Spearman rho	SLA	Koefisien Korelasi	1	0,561
		Signifikansi	0	0
		Jumlah Data	36	36
	Hujan	Koefisien Korelasi	0,561	1
		Signifikansi	0	0
		Jumlah Data	36	36

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa hubungan antara ketinggian muka air laut (SLA) dengan curah hujan adalah signifikan (bernilai 0,00). Sedangkan untuk nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,561 yang berarti tingkat hubungan dari keduanya sedang. Dari hasil tersebut didapatkan nilai dari koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,3136 yang berarti 31,36% dari variabel curah hujan mempengaruhi kenaikan muka air laut. Sedangkan untuk sisa variabel sebesar 68,64% dapat dipengaruhi oleh faktor lainnya seperti penurunan tanah, suhu permukaan, fenomena El-Nino La-Nina, dan sedimentasi di area pesisir.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun beberapa hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini adalah :

- a. Dari perhitungan SLA menggunakan Satelit Altimetri di wilayah perairan Kota Semarang didapatkan tinggi muka air laut rata-rata pada setiap tahunnya. Muka air laut tertinggi terjadi pada tahun 2010 sebesar 25,52 cm diatas bidang MSS (*Mean Sea Surface/geoid*), sedangkan muka air laut terendah terjadi pada tahun 2009 sebesar 22,96 cm diatas bidang MSS (*Mean Sea Surface/geoid*). Pada tahun 2011 terjadi penurunan tinggi muka air laut sebesar 0.97 cm sehingga tinggi muka laut pada saat itu sebesar 24.55 cm diatas bidang MSS (*Mean Sea Surface/geoid*). Penurunan muka air laut itu terjadi salah satunya karena faktor curah hujan setempat, pada bulan agustus tahun 2011 di Kota Semarang tidak terjadi hujan sama sekali. (Lihat Lampiran 2)
- b. Perairan semarang yang terletak di laut jawa memiliki banyak sekali parameter yang mengakibatkan kenaikan muka air laut salah satunya merupakan *global warming* sehingga, dan satelit altimetri merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk kenaikan muka air laut tersebut. Dalam penelitian ini didapatkan nilai tren kenaikan muka air laut sebesar 5,38 cm pertahun. Dan apabila nilai dari kenaikan muka air laut ini konstan maka dalam kurun waktu 100 tahun (2011-2111) nilai kenaikan muka air laut mencapai 5,38 m. Hal ini relatif sama dengan penelitian yang dilakukan oleh (dahuri,2002 dalam wirasatriya,2006) yang meramalkan bahwa nilai kenaikan

muka air laut global kurun waktu 1999-2100 akan mengalami kenaikan sebesar 1,4-5,8 m.

- c. Dalam kurun waktu 100 tahun mendatang akan terdapat beberapa daerah yang hilang akibat kenaikan muka air laut yang mencapai ketinggian 5,38 m. Akibat kenaikan muka air laut tersebut berpotensi mengakibatkan hilangnya tanah di Kota Semarang sebesar 5050 ha atau 50,5km². Daerah yang berpotensi hilang karena kenaikan muka air laut antara lain seperti kecamatan gayamsari, kecamatan genuk, Kecamatan Tugu, Kecamatan Semarang Barat, Kecamatan Semarang Utara, dan Kecamatan Padurungan.

5.2 Saran

Berdasarkan dari penelitian ini didapatkan bahwa satelit altimetri bisa digunakan untuk mengamati kenaikan muka air laut. Sehingga untuk dilakukan penelitian selanjutnya yang terkait kenaikan muka air laut maka perlu dilakukan pengambilan data pengamatan yang lama dan juga harus didukung oleh data-data lain yang terkait area yang terdampak kenaikan air laut seperti penurunan tanah, suhu permukaan laut, debit air yang masuk kedalam laut, curah hujan, dan juga pasang surut. Serta untuk memperjelas hasil dari penelitian diperlukan data perbandingan yang sesuai dengan wilayah dan tahun pengamatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. (2001). *Geodesi Satelit*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Agrawal, R. (2015). *Validating SRTM DM With Differential GPS Measurment - A Case Study With Different Terrains*. Ahmedabad 380015: Forestry, Landuse Planning and Photogrammetry Group, Space Application Center (ISRO).
- Amrar, F. (2008). Status Pemetaan dengan Radar di Bakosurtanal. *Prossiding Semniar Radar Nasional* (p. 7). Jakarta: Bakosurtanal.
- Amri, U. (2014). *Gelombang Mikro Altimter*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Aswina., S. (2010). *Studi Sea Level Rise (SLR) Menggunakan DataMulti Satelit Altimetri*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- AVISO and PODAAC. (2003, November 8). *Usser Handbook IGDR and GDR Products Edition 2.0*. Retrieved from www.aviso.oceanobs.com
- AVISO. (n.d.). *Mean Sea Level Rise and The Greenhouse Effect*. Retrieved November 8, 2014, from www.aviso.oceanobs.com: www.aviso.oceanobs.com
- Badan Perencanaan Pembangunan. (2010). *Analisis dan Proyeksi Kenaikan Muka Air Laut dan Cuaca Ekstrim*. Jakarta: BAPPENAS.

- CGIAR-CSI. (2014, Desember). Retrieved from www.cgiar-csi.com: <http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1>
- Dahuri. (2002). Pengaruh Global Warming terhadap Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. *Seminar Nasional Pengaruh Global Warming terhadap Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Ditinjau dari Kenaikan Muka Air Laut dan Banjir*. Jakarta.
- ESRI. (2014). *support.esri*. Retrieved November 8, 2014, from GIS Dictionary: <http://support.esri.com/en/knowledgebase/GISDictionary/term/TIN>
- Fitrianingtyas, Z. (2012). *Studi Perkiraan Jalur Aliran Air Aki Menggunakan Data Citra Satelit Landsat dan SRTM*. Surabaya: Teknik Geomatika-ITS.
- google. (2015). *google maps*. Retrieved from maps.google.com
- Government, B. M. (2011). *La Nina*. Retrieved from <http://www.bom.gov.au/>: <http://www.bom.gov.au/climate/glossary/lanina.shtml>
- Hanafi, R. (2010). *Pemetaan Geologi dengan Menggunakan Data Citra Alos di Daerah Pegunungan Selatan (Kabupaten Wonogiri)*. Surabaya: Teknik Geomatika-ITS.
- Hidayat, I. N. (2013). *Analisa Transformasi Citra dan Penggunaan/Penutup Lahan Terhadap Urban Heat Island Berbasis Citra Penginderaan Jauh*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.

- <http://portal.ina-sdi.or.id/>. (2014).
- <https://earthexplorer.usgs.gov>. (2014, February 1).
<https://earthexplorer.usgs.gov>. Retrieved from
<https://earthexplorer.usgs.gov>:
<https://earthexplorer.usgs.gov>
- Ismunarti, D. H. (2014). Permodelan Arima Untuk Prakiraan Kenaikan Muka Air Laut dan Dampaknya Terhadap Luas Sebaran Rob Tahun 2020 di Semarang. *Statistika*, 15.
- Kementrian Lingkungan Hidup. (2007). *Kajian Risiko dan Adaptasi Terhadap Perubahan Iklim Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat. Analisis dan Proyeksi Kenaikan Muka laut dan Iklim Ekstrim*. Jakarta: Kementrian Lingkungan Hidup.
- Meliana. (2005). *Studi Daerah Rawan Genangan Akibat Kenaikan Paras Muka Laut dan Penurunan Tanah di Jakarta*. Jakarta: Institut Teknologi Bandung.
- Mineral, D. E. (2011). *Analisis Resiko Bahaya Alam*. Bandung: Departmen Energi dan Sumber Daya.
- Mukti Fatimah, I. D. (2013). *Analisis Perubahan Tinggi Muka Air Laut Di Kota Padang Tahun 2008 Sampai 2012 Dengan Menggunakan Data Permanen Service For Mean Sea Level (PSMSL)*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Pati, L. K. (2012, Oktober 02). *Ketinggian Muka Air Laut Rata-Rata (Mean Sea Level) Di Perairan Kabupaten Pati*. Retrieved from litbang.patikab.go.id.

- Prijatna, K. (2007). *Pemantauan Anomaly Tinggi Muka Laut Perairan Indonesia*. Bandung: Jurusan Geodesi-ITB.
- Raharjanto, L. (2012). *Studi Pasang Surut Di Perairan Indonesia Dengan Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-1*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rhamo, A. (2009). *Permodelan Topografi Muka Air Laut (Sea Surface Topografi) Perairan Indonesia Dari Data Satelit Altimetri Jason-1 Menggunakan Software BRAT 2.0.0*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Seeber, G. (2003). *Sattelite Geodesy*. Berlin: Die Deutsche Bibliothhe.
- Sulma, 2. (2011). *Kerentanan Pesisir Akibat Kenaikan Muka Air Laut*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Tang, F. (2012). *Coastal Sea Level Change from Satellite Altimetry and Tide*. Calgary: University Of Calgary Geomatics Engineering.
- USGS. (2015). *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global*. Retrieved from <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>.
- Wirasatriya, A. (2006). *Kajian Kenaikan Muka Air Laut Sebagai Landasan Penanggulangan Rob di Semarang*. Semarang: Universitas Diponegoro.

LAMPIRAN 1 Cek Kualitas Data Satelit Altimetri

Berikut adalah salah cek kualitas data yang akan diolah, dari angka yang tercantum di table adalah data yang telah dilakukan tahap filetering sehingga apabila ada data kosong software bisa langsung menghapusnya. Contoh berikut menggunakan cycle bulan mei.

SIA (m)	iono_corr alt_ku (1e-4 m)	latitude (degrees _north)	longitude (degrees _east)	model_f ry_topo _corr (1e-4 m)	model_w ry_topo _corr_1 (1e-4 m)	ocean_w de_seal ku (1e-4 m)	off_nadir angle_k wof (degrees 2)	pole_tide (e (1e-4 m)	range_mv count (1e-4 m)	range_mv s_ku (1e-4 m)	sigma_ku _bias_ku (1e-4 m)	sig_ku (0dB)	solid_sar th_tide (1e-4 m)	sat_hk (1e-3 m)	wind_sp eed_alt (cm/s)	
-0.203	393327645	-124	-5.8125	104.8125	-22959	-3036	-0.065	11	10	1679	-1369	14.41	615	3717	498	
-0.1517	394697023	-693.571	-5.6625	104.8125	-230231	-3185.43	0.192329	-1.857164	14.857164	585.4233	-430.8527	11.857164	570.8574	570.8574	371.2957	
-0.1512	394697023	-1458	-5.8125	104.8125	-23072	-24009	0.332	-15	19	1728	-377	16.35	657	6927	276	
-0.07875	397387892	-694	-3.925	104.8125	-230413	-3368.25	0.27975	-8	19.25	677.25	-322.25	16.0475	-720.75	658.25	324.25	
-0.0291	39229707.5	-1109.3	-3.25	112.5	-23006	-3308.5	0.223	-2	19.25	677.25	-322.25	16.0475	-720.75	658.25	324.25	
0.024	402328788.7	-846.667	-3.25	111.5625	-230837	-2719.67	0.166667	-8	19.25	677.25	-322.25	16.0475	-720.75	658.25	324.25	
0.03117429	40352935.6	-941.286	-3.0625	111.5625	-23046.6	-3026	0.076704	0.167517	-1.857164	18.42857	641	-295.1483	15.58857	-479.8571	539.1429	374.1429
0.038916867	39469593.3	-694.667	-6.125	113.5	-23059	-2842.5	0.059687	-15.1667	19.16667	588.1667	-430.8527	11.857164	570.8574	570.8574	371.2957	
0.047184875	403494894.5	-665.313	-6.875	113.125	-230843	-2851.06	0.066438	-3.875	19.75	642.625	-506.875	14.19563	465.9	504.3133	636.8875	
0.04845	40682457.6	-531.5	-6.875	113.25	-230941	-2150	0.24725	-18.25	19.75	665	-498	14.335	-536.5	932.75	588.25	
0.0506061539	403949801.1	-731.103	-6.25	112.5625	-230372	-3048.54	0.125846	-5.64103	19.3333	636.3333	-477.3333	14.38026	66.05128	850.7444	607.6154	
0.0534294	403949801.1	-731.103	-6.25	113.1875	-230947	-2996.95	-110.675	0.130625	-8.85	19.4	-19.4	13.664	1843	1406	806	
0.05654359	394782646	-725.462	-3.6875	112.5625	-230844	-3114.38	0.1098077	-4.31262	19.3333	596.6667	-468.25	14.31949	0.89744	818.3077	620.9231	
0.058324	394657387.5	-811.72	-3.5625	112.5625	-230311	-3113.76	0.20224	-4.16	19.44	606.88	-482.4	14.5356	2.6	818.8	586.84	
0.07094615	403294894.5	-753.667	-6.125	113.3125	-23035.3	-2867.23	-619.026	-11.5231	-6.38462	619.6138	600.1282	-481.231	14.22846	131.0513	852.644	614.2564
0.0752	404622024	-1348	-3.8125	108.4875	-23054	-2718	0.223	-14	20	643	-779	13.98	2195	1611	665	
0.075718182	40412787.5	-682.455	-6.25	113.25	-23035.1	-2788.64	0.105273	-9.90909	19.45455	528.273	-468.455	14.24091	-55.3182	808.7277	624.4091	
0.077386667	39525761.3	-1199.33	-6.1875	104.9375	-23015.7	-2873.67	-2465.33	0.045	-9	17.66667	491	-720.333	14.38333	480.3333	1576.333	552
0.077386667	39525761.3	-1199.33	-6.1875	104.9375	-23015.7	-2873.67	-2465.33	0.045	-9	17.66667	491	-720.333	14.38333	480.3333	1576.333	552
0.078016129	404010336.4	-773.226	-5.6525	113.1875	-23037.6	-2910.58	-627.677	0.08442	-8.32258	19.58065	611.2581	-481.226	14.23226	90.87097	848	626.6452
0.080066667	393887041.3	-820.667	-3.6875	112.625	-23063.7	-2960	0.056333	0.13	-8.66667	19.33333	564.3333	-633.667	-425	1181	720.3333	
0.083725	40552678.3	-686.25	-5.75	113.5	-23060.3	-2545	-3810.25	-18.25	19.25	490.25	-601.25	14.115	-580	1146	657.5	
0.08912	395195127.4	-765.8	-4.875	107.125	-23036	-2852	-502.8	0.095	-5	19.4	615.6	-412	15.594	-302.4	766.8	482.4
0.089384615	403230417.3	-1014.54	-6.25	113.125	-23035.2	-3196.38	-326.154	0.078846	-7.78923	19.76923	671	444.308	14.36	118.5385	762.623	584.0759
0.091338261	402275480.1	-786	-3.9375	113.125	-23035.5	-3093.67	-0.092882	-5.25641	19.5641	618.7436	-440.59	14.46923	78.48718	787.6923	393.6974	
0.092451667	40452100.7	-891.25	-6.75	113.125	-23027.2	-3027.25	-16.4583	0.228125	-10.0833	19.20633	594.2197	-387.5983	15.16375	66.04167	686.75	483.875
0.095456667	40452100.7	-774	-4.875	114.0625	-23053.3	-2784	11.818333	-11	20	668	-580.333	14.07667	-366.333	888	672.3333	
0.10032957	393446705.1	-796.667	-4.625	112.875	-23037.4	-2512	-2070.67	0.002333	-13.6667	20	588.3333	-584.333	13.98333	936.6667	1087.667	693.3333
0.10032957	40364705.1	-790.429	-6.4375	113.1875	-230848	-2966.26	-388.467	-14.0057	-7.31429	19.37143	592.5735	478.171	14.37771	167.6857	853.774	606.4857
0.100352583	40422651.5	-778.684	-6.6875	113.125	-23035.3	-2929.39	-155.816	-9	19.42105	613.4737	-407.925	14.3446	-17.9195	856.8694	893.8158	
0.102266667	39432263.7	-482.333	-5.6525	105.125	-23090.3	-2693.67	0.184	-22	15	1044	-572	14.46	-712	1169.333	573.3333	
0.103411111	403931931.1	-795.444	-6.625	113.125	-23049	-2984.75	-667.556	-3.86111	19.44444	609.5278	-486.889	14.2825	208.3333	864.8333	936.3889	
0.103492308	403931931.1	-795.444	-6.625	113.25	-23032.5	-2983.33	-530.333	0.091979	-16.162871	19.48718	628.1739	-483.308	14.42066	141.2821	876.4103	397.2821
0.105485714	405528271.3	-1246.86	-6.0625	112.0625	-23056.7	-2868.71	-326.428	-16	16.28271	592.2826	-333	15.22866	636.2827	374.8571	471.8571	
0.105306263	403497659.7	-693.211	-6.0025	104.8125	-23025.8	-3067.68	-1441.21	-16.16474	-7.06316	19.52822	659.9474	-739	15.33388	254.0526	1093.211	461.6842
0.10795	402872231.5	-806.5	-5.5625	107.8125	-23025.8	-2977	2483.5	-0.0265	-5	19	488	-416.5	15.035	1147.5	851.5	419
0.108968875	402186468.4	-808.875	-4	114.6625	-23032.8	-3050.31	91.8475	-11.25	-5.3125	19.34275	572.2815	-14.4575	144.575	812.9375	588.7188	
0.109406625	396401391.2	-763.313	-6.125	113.4375	-23088.2	-2850.44	331.9886	0.094125	-8.03125	19.28125	574.375	-467.781	14.51094	124.2813	845.6563	577.125
0.110742857	402461899.3	-742.571	-4	114.125	-23046.2	-3158	-2419.57	0.096	-8	19.85714	683	-501.286	14.09286	-333.8571	894.0286	674.2857

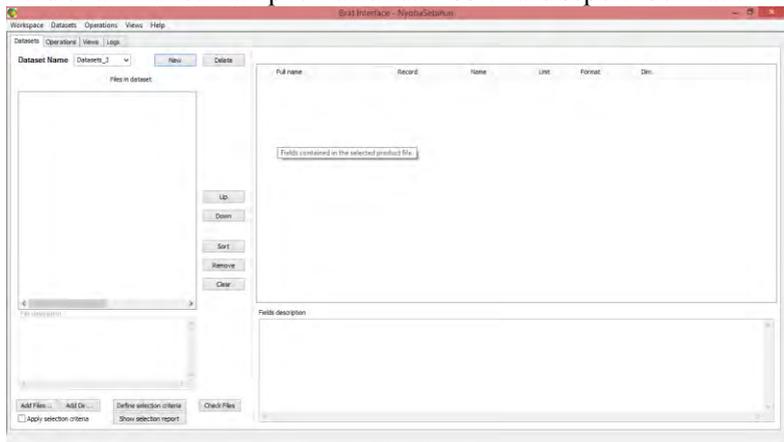
LAMPIRAN 3 Pengolahan SLA menggunakan BRAT (Basic Radar Altimetry Toolbox)

1. Pertama adalah membuka software BRAT (Basic Radar Altimetry Toolbox) interface, klik icon :



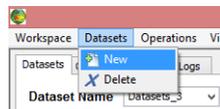
Gambar 1. Icon Brat User Interface

Lalu akan muncul tampilan awal dari software seperti berikut :



Gambar 2. Tampilan Brat User Interface

2. Kemudian buat workspace baru untuk memulai proses pengolahan data altimetri Jason-1. Dengan workspace kita dapat menyompan semua pekerjaan dan perhitungan sesuai dengan keinginan kita. Perlu diketahui ada beberapa menu yang terdapat pada workspace seperti berikut :
 - New
Membuat bilik pekerjaan yang baru
 - Open
Membuka bilik pekerjaan yang telah tersimpan yang berisi mengenai *dataset*, operasi, formula, dan tampilan
 - Save
Untuk menyimpan workspace yang telah dibuat.
 - Import
Untuk memasukkan semua data dari workspace yang disimpan sebelumnya.
 - Rename
Mengganti nama dari workspace
 - Delete
Menghapus Workspace
3. Buat *dataset* baru, menu ini merupakan salah satu ruang yang digunakan untuk memasukkan, menambahkan dan menyimpan data satelit yang telah dipilih untuk kemudian digunakan.



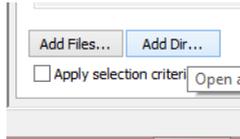
Gambar 3. Membuat dataset

Didalam menu dataset terdapat bagian yang perlu diketahui, seperti:

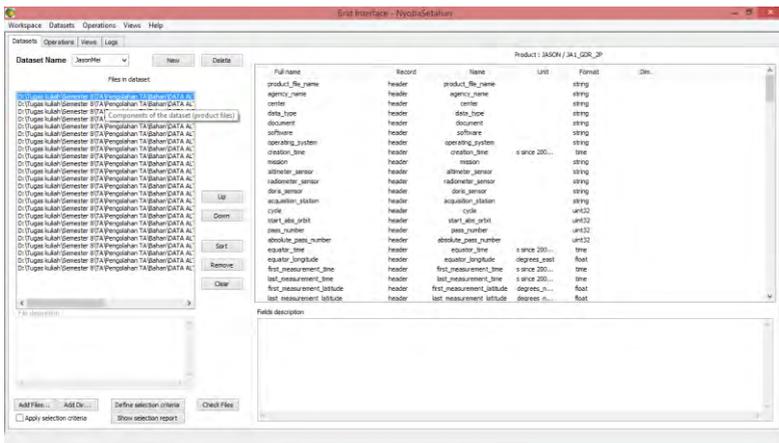
- New
Membuat dataset baru
- Delete
Menghapus dataset
- File in Dataset
Tempat dari data-data yang telah dipilih
- Add Files
Menambahkan data secara satuan.
- Add Dir
Menambahkan data didalam folder secara keseluruhan
- Check Files
Untuk mengetahui apakah data yang digunakan merupakan data yang sejenis, karena apabila tidak sejenis maka data tersebut tidak bisa digunakan.
- Up dan Down
Untuk menaik dan menurunkan data
- Sort
Memfilter data sesuai urutan
- Remove
Menghapus sebagian data yang telah ada
- Fields description
Tempat untuk menjelaskan definisi setiap data yang terekam
- Define Selection Criteria
Untuk memasukkan katagori data satelit yang akan diproses
- Show Selection Report
Menampilkan laporan dari kriteria satelit yang telah dibuat

Berikut adalah tampilan dari dataset yang telah dimasukkan data satelit altimetri Jason-1, dengan rincian data 3 cycle, dengan pass yang melewati laut jawa. Dicontoh ini data

dimasukkan dengan menggunakan menu ‘Add Dir’, berikut adalah tampilannya :

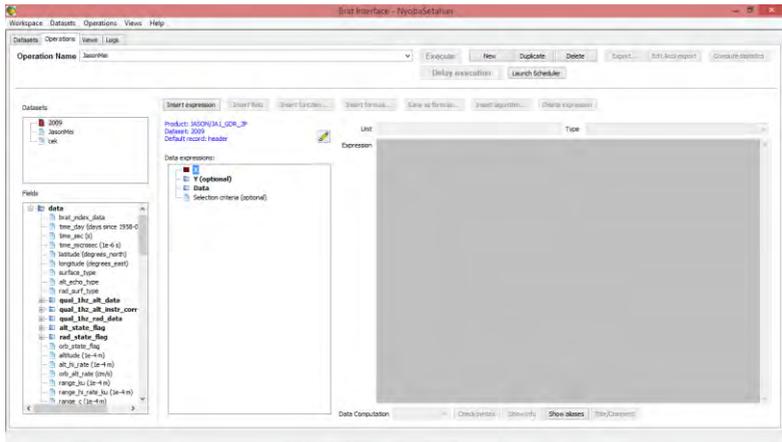


Gambar 4. Menu Add Files dan Add Dir



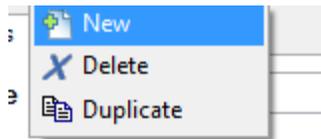
Gambar 5. Tampilan data yang telah dimasukkan kedalam program

- Langkah berikutnya adalah melakukan pengolahan di menu tabulasi Operations. Operations adalah sebuah ruang yang digunakan untuk memproses data sesuai dengan aoa yang dibutuhkan. Pada ruang ini pemilihan parameter data Jason-1 hanya yang terkait dengan SLA (Sea Level Anomaly). Kemudian apabila rumus dari SLA telah dimasukkan maka akan dihasilkan pengolahan data yang dapat di export kedalam format ASCII. Langkah-langkah dalam melakukan pengolah di menu Operations adalah seperti berikut :



Gambar 6. Tampilan awal operations

- Klik operations pada toolbar ,kemudian pilih new untuk memulai lembar baru di menu operations.

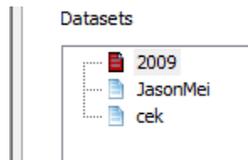


Gambar 7. Menu membuat operations baru

Perlu diketahui juga dalam software BRAT terdapat menu-menu yang harus diketahui, seperti :

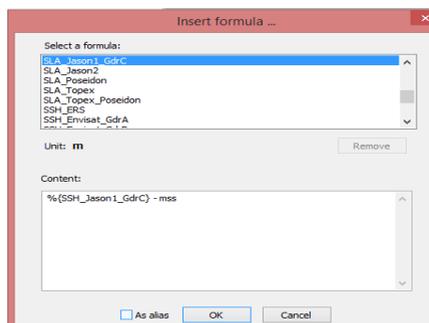
- New
Membuat operations baru
- Delete
Menghapus operations

- Duplicate
Untuk membuat salinan dari satu kesatuan operations yang telah dibuat
- Datasets
Menunjukkan dataset yang telah disimpan dan dataset tersebut akan digunakan kembali. Berikut adalah dataset yang tersimpan didalam directory operations :



Gambar 8. Dataset yang tersimpan dalam workspace

- Fileds
Tempat dari data yang dimasukkan kedalam software. Menu ini berisis dua baigan: Header dan Data.
- Insert Formula
Berisi rumus matematika yang biasanya digunakan untuk melakukan pemodelan dari satelit altimetri.



Gambar 9. Tampilan insert formula untuk memilih rumus yang dicari

- Expression
Ruang yang digunakan untuk melakukan penulisan rumus dan editing data-data yang akan diolah.

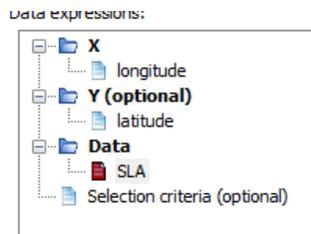


Gambar 9. Ruang data expression untuk menuliskan rumus yang akan dicari

- Data Expression
Ruang yang berisi parameter yang akan digunakan untuk melakukan pengolahan data. Didalam data expression ini berisi mengenai:
 - ❖ X
Berisi nilai X. dan nilai dari ini wajib diisikan, yang merepresentasikan nilai dari longitudinal
 - ❖ Y (optiona)
Berisi nilai Y, nilai ini boleh diisikan boleh tidak apabila nilainya diisikan, maka dapat memodelkan hasil dalam bentuk 2D (X,Y,Z) dan 3D (X,Y,Z).

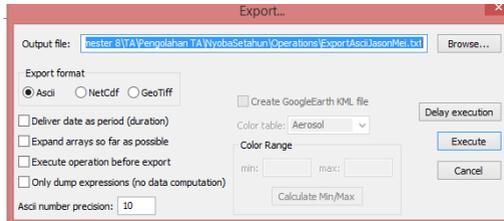
Namun apabila tidak diisikan hanya dapat mengetahui grafiknya saja

- ❖ **Data**
Berisi parameter yang akan digunakan. Parameter ini telah dipilih dari ruang fields. Parameter disesuaikan dengan kriteria dari satelit yang digunakan yang berpedoman pada AVISO dan PODAAC
- ❖ **Selection Criteria (optional)**
Berisi kriteria untuk menghasilkan data dengan kualitas baik.



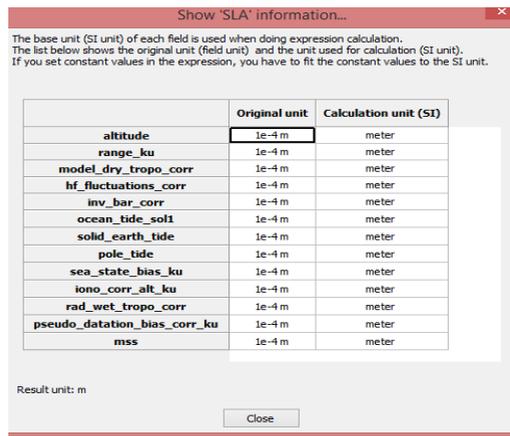
Gambar 10. Isi dari data expression

- **Data Computation**
Perintah yang digunakan untuk mengolah gabungan dari beberapa data.
- **Compute Statistic**
Untuk melihat nilai dari statistic data yang diolah.
- **Insert Functions**
Untuk menambahkan fungsi matematika yang digunakan dalam mengolah data.
- **Export**
Untuk menyimpan hasil pengolahan kedalam format lain (ASCII, NetCDF, dan GeoTiff)



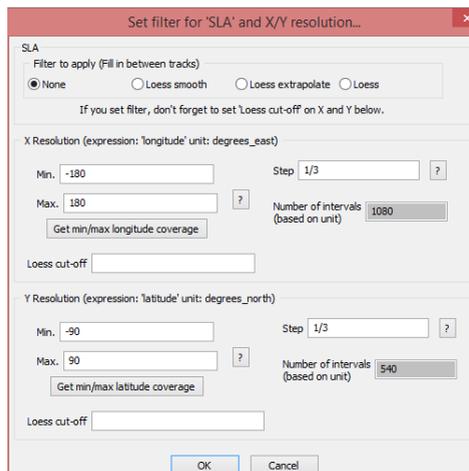
Gambar 11. Tampilan export

- Save Formula
Untuk menyimpan rumus yang dibuat. Selanjutnya rumus tersebut dapat disimpan didalam ruang insert formula
- Delete expression
Untuk menghapus expression yang telah dibuat
- Check syntax
Untuk mengetahui apakah rumus yang dibuat telah benar
- Show info
Menunjukkan informasi mengenai satuan dari hasil pengolahan data



Gambar 12. Berisi satuan dari data yang dimasukkan didalam rumus

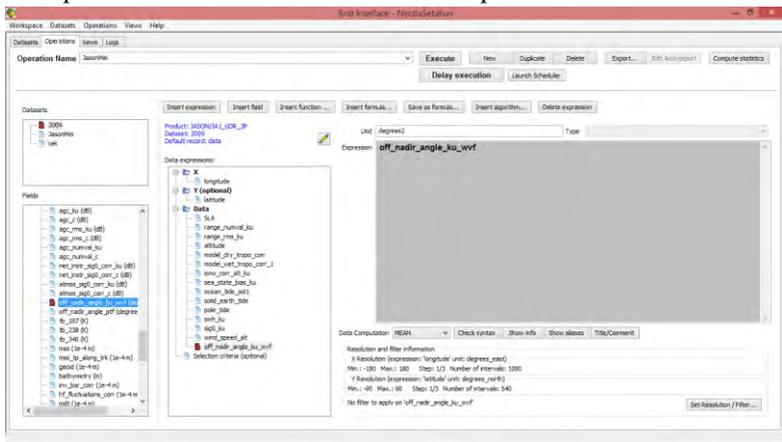
- Title / comment
Menambahkan nama pada data yang dibuat
- Set Resolutions
Mengatur besarnya pixel warna agar didapat hasil pemodelan yang baik. Untuk penjelasan set resolution lihat pada sub judul ‘Pengolahan Nilai Sea Level Anomaly’.



Gambar 13. Set resolution pada Brat User Interface

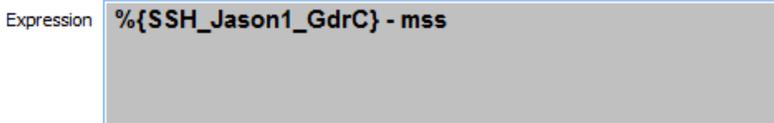
- Execute
Memproses hasil dari memasukkan rumus yang telah diatur. Untuk melihat apakah data yang kita olah benar apa tidak bisa dilihat pada menu Logs.

5. Dalam proses konversi data Setelah membuat operasi baru maka memberi nama operasi. Kemudian memasukkan nilai X pada Data expression dari field data 'Lon_Tra(degrees)' dengan klik 'insert fields'. Nilai X dinyatakan sebagai Longitude (bujur). Kemudian memasukkan nilai Y pada Data expression dari field data 'Lat_Tra (degrees)' dengan klik 'insert fields'. Nilai X dinyatakan sebagai Latitude (Lintang). Setelah itu membuat expression memasukkan parameter-parameter dari data. Klik 'Insert Expression'.



Gambar 14. Gambar tampilan nilai X dan Y beserta parameternya

6. Kemudian pada data expression masukkan rumus dari SLA (Sea Level Anomaly), seperti berikut :



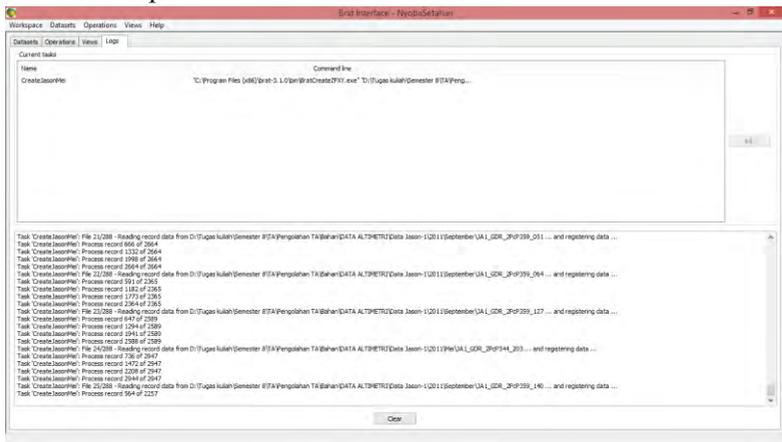
Gambar 15. Rumus SLA yang dimasukkan

7. Kemudian masukkan kontrol kualitas data atau cek dari kontrol kualitas data , menggunakan meu selection criteria, seperti berikut :

```
Expression
surface_type == 0 && range_numval_ku >= 10 && is_bounded(0,range_rms_ku,0.2) &&
is_bounded(-130,(altitude-range_ku),100) && is_bounded(-2.5,model_dry_tropo_corr,-1.9) &&
is_bounded(-0.500,rad_wet_tropo_corr,-0.001) && is_bounded(-0.400,iono_corr_alt_ku,0.040)
&& is_bounded(-0.500,sea_state_bias_ku,0) && is_bounded(-5,ocean_tide_sol1,5) &&
is_bounded(-1,solid_earth_tide,1) && is_bounded(-0.150,pole_tide,0.150) && is_bounded
(0,swh_ku,11) && is_bounded(7,sig0_ku,30) && is_bounded(0,wind_speed_alt,30) &&
is_bounded(-0.2,off_nadir_angle_ku_wvf,0.64) && is_bounded(-2,%(SLA_Jason1_GdrC),2) &&
is_bounded(-2,( hf_fluctuations_corr + inv_bar_corr),2) && sig0_num_val_ku >= 10 &&
is_bounded(0,sig0_rms_ku,1)
```

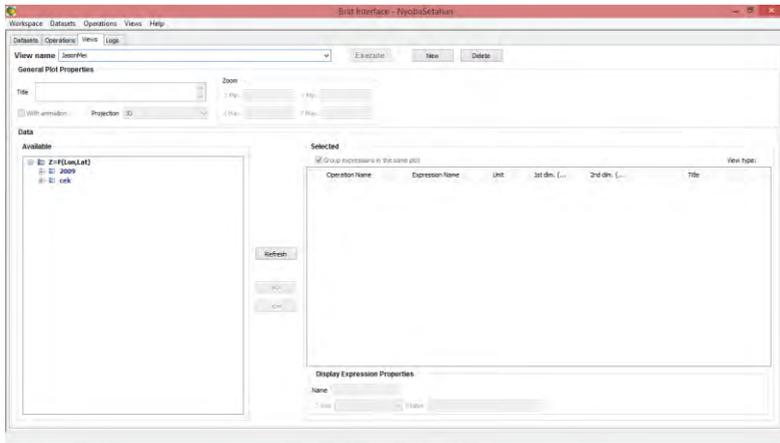
Gambar 16. Selection Criteria untuk Jason-1

8. Setelah itu execute data, untuk melihat data tersebut berhasil diolah apa tidak, masuk ke ruang logs, ruang tersebut menampilkan data yang telah di olah dan diruang tersebut akan menampilkan apakah data tersebut telah diolah dengan benar apa tidak.



Gambar 17. Logs perekaman data yang menandakan bahwa pengolahan berhasil

9. Apabila langkah pemasukkan data telah dilakukan, langkah berikutnya adalah melihat hasil dari pengolahan data tersebut dengan menggunakan menu view, berikut adalah tampilan dari menu view:



Gambar 18. Tampilan view didalam brat

Adapun bagian-bagian yang terdapat pada views adalah sebagai berikut :

- *New*
Membuat *views* baru.
- *Delete*
Menghapus *views*.
- *General Plot Properties*
Adapun *General Plot Properties* terdiri dari :
 - *Title*
Nama dari tampilan yang dibuat
 - *Zoom*
Menentukan batas wilayah sesuai dengan kebutuhan (*West*, *North*, *South*, dan *East*). Terkait dengan lokasi penelitian pada penelitian ini, maka nilai yang diberikan adalah *West* = 95, *North* = 6, *South* = -11, dan *East* = 141.

➤ *Projection*

Memilih proyeksi peta yang digunakan. Pada penelitian ini, proyeksi peta untuk pemodelan 2D yang digunakan adalah proyeksi *Mercator*.

➤ *Data Available*

Berisi operasi yang telah dibuat.

➤ *Data Selected*

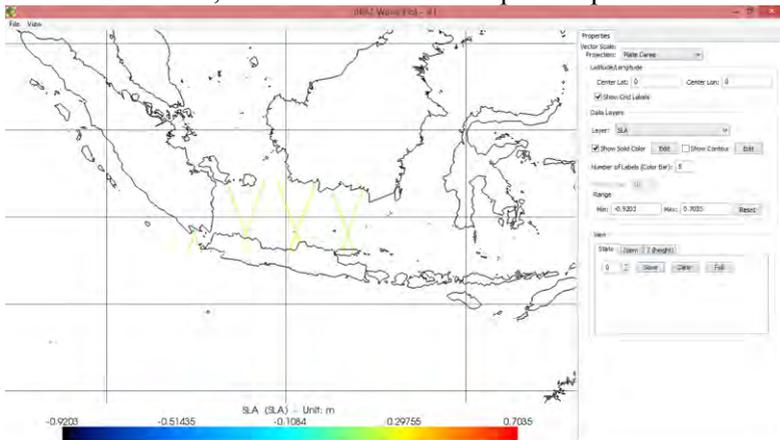
Berisi operasi yang telah dipilih dari *data available* untuk dilakukan pemodelannya.

➤ *Display Expression Properties*

Untuk mengatur warna dan kontur.

➤ *Execute*

Untuk memproses data yang dimodelkan. Klik tombol **Execute**, maka akan muncul tampilan seperti berikut.:



Gambar 19. Visualisasi dari data SLA yang telah diolah

LAMPIRAN 4 Peta Kenaikan Muka Air Laut 10 Tahun

LAMPIRAN 5 Peta Kenaikan Muka Air Laut 50 Tahun

**LAMPIRAN 6 Peta Kenaikan Muka Air Laut 100
Tahun**

BIODATA PENULIS



Aryasandah Hargo Dewantara lahir di Magetan, pada tanggal 02 Mei 1992. Anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Mulyana dan Ari Ekawati. Pendidikan formal yang ditempuh penulis antara lain SDN 1 Candirejo, SMPN 1 Magetan, dan SMAN 1 Magetan. Tahun 2011, penulis yang akrab dipanggil Arya atau Sandah ini diterima pada Jurusan Teknik Geomatika FTSP-ITS, terdaftar dengan NRP 3511 100 073. Riwayat organisasi penulis adalah sebagai staff Pengabdian Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Geomatika pada tahun 2011 dan 2012. Pada tahun 2013 penulis diamanahi untuk menjadi Ketua Forum Komunikasi Ikatan Mahasiswa Geodesi dan Geomatika Indonesia. Dalam penyelesaian studi S1 di Teknik Geomatika FTSP-ITS, penulis mengambil judul tugas akhir di bidang Geomatika.