

ANALISIS SEA LEVEL RISE DI LAUT UTARA JAWA TERHADAP PERUBAHAN GARIS PANTAI WILAYAH DEMAK PADA TAHUN 2006-2016

Wahyu Setianingsih, Bandi Sasmito, Nurhadi Bashit^{*)}

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : wahyusetianingsih9@gmail.com

ABSTRAK

Pemanasan global menyebabkan es di kutub utara meleleh sehingga memberikan dampak naiknya permukaan air laut di seluruh dunia. Kenaikan muka laut memberikan dampak pada pesisir laut seperti abrasi pantai, munculnya genangan pada wilayah pesisir, serta tenggelamnya pulau-pulau kecil. Kenaikan muka laut dapat menyebabkan berkurangnya wilayah daratan yang diindikasikan oleh perubahan garis pantai. Perubahan garis pantai perlu dipantau agar dapat mengetahui besaran perubahan sehingga dapat mengantisipasi dampaknya. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memantau perubahan garis pantai adalah menggunakan teknologi penginderaan jauh. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besaran kenaikan muka laut dan besaran perubahan garis pantai.

Data yang digunakan adalah satelit altimetri Jason-1 dan Jason-2, satelit Landsat 7 ETM+ tahun 2006 dan 2011 serta Landsat 8 tahun 2016. Data satelit altimetri digunakan untuk menghitung nilai kenaikan muka laut di Laut Jawa. Pengolahan data *Sea Level Anomaly* (SLA) menggunakan interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW). Kenaikan muka laut ditentukan dengan analisis *trend linier*. Pemisahan antara batas air dan darat menggunakan metode *band ratio* pada kanal hijau dan NIR. Perubahan garis pantai dihitung dengan menggunakan *DSAS* (*Digital Shoreline Analysis System*).

Hasil pengolahan data diperoleh rata-rata kenaikan muka laut di Laut Jawa pada tahun 2006 sampai 2016 sebesar +6,80 mm/tahun. Kenaikan tertinggi berada pada perairan Jakarta sebesar +11,043 mm/tahun dan terendah berada pada perairan Surabaya dengan nilai kenaikan sebesar +3,85 mm/tahun. Kenaikan di perairan Semarang sebesar +5,52 mm/tahun yang digunakan sebagai validasi dengan data pasang surut Semarang. Rata-rata perubahan garis pantai di wilayah Demak sebesar -119,08 m. Abrasi paling besar terjadi di Kecamatan Sayung sebesar -691 m. Akresi terbesar terjadi di Kecamatan Wedung sebesar +512,48 m.

Kata kunci: Garis pantai, Landsat, Satelit Altimetri, *Sea Level Rise*, *Sea Level Anomaly*

ABSTRACT

Global warming causes the ice in the north pole melt that could trigger the rising of sea levels around the world. Rising of the sea levels could affect the coastal areas such as abrasion, inundation in coastal areas also sinking islands. Rising of sea levels could diminish the number of lands as indicated by shoreline changes. Shoreline changes need to be monitored in order to know the magnitude of the changes so as to anticipate the impacts caused by shoreline changes. One method that can be used to monitor shoreline changes is to use remote sensing technology. This research is used to know the magnitude of rising sea level and shoreline changes.

Data required are Jason-1 and Jason-2 altimeter data, Landsat 7 ETM+ 2006 and 2011 and Landsat 8 2016. The data from altimetry satellite are used to compute the rise of sea levels in the Java Sea. The interpolation that was used in SLA (Sea Level Anomaly) data processing is IDW (Inverse Distance Weighted). Rising of sea levels is determined by trend linier analysis. The separation between water and land boundaries uses band ratio method on green channel and NIR. Shoreline changes are calculated by using Digital Shoreline Analysis System (DSAS).

The results of data processing obtained an average number of sea level rise in Sea of Java in 2006-2016 is +6.80 mm/year. The highest level was in Jakarta for +11.043mm/year, while the lowest was in Surabaya with rising sea level number of +3.85mm/year. Rising level in Semarang was +5.52mm/year which is used as validation with tidal data of Semarang. The average changes of shoreline in Demak were for -119.08 m. Largest abrasion occurred in Sayung District for -691 m. Greatest accretion occurred in Wedung District for +512.48 m.

Keywords: *Altimetry Satellites, Sea Level Anomaly, Sea Level Rise, Landsat, Shoreline*

^{*)}Penulis, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.3. Latar Belakang

Pemanasan global menyebabkan es di kutub utara meleleh sehingga memberikan dampak naiknya permukaan air laut di seluruh dunia. Kenaikan muka laut memberikan dampak pada lingkungan pesisir laut, seperti abrasi pantai, terdapat genangan pada wilayah pesisir, serta dapat menyebabkan tenggelamnya pulau-pulau kecil. Jika terjadi dalam jangka waktu yang lama, kenaikan muka laut dapat menyebabkan kerusakan daerah pesisir.

Kenaikan muka laut (*Sea Level Rise*) dalam jangka waktu yang cukup lama akan mengakibatkan bertambahnya air laut sehingga akan meningkatkan intensitas dan frekuensi banjir serta dapat terjadi penggenangan suatu wilayah daratan. Efek yang cukup signifikan dari adanya kenaikan muka air laut ini akan dirasakan oleh penduduk Indonesia yang mayoritas penduduknya berada di pesisir (Hasto, 2012 dalam Sidabutar, 2016).

Kenaikan muka laut menyebabkan berkurangnya wilayah daratan seperti perubahan garis pantai. Menurut Undang-Undang Informasi Geospasial No. 4 Tahun 11 pasal 13 yang menjelaskan mengenai garis pantai, garis pantai merupakan garis pertemuan antara daratan dengan lautan yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Dalam pendefinisian, garis pantai dibagi menjadi 3 jenis yaitu garis pantai surut terendah (LAT), garis pantai tinggi muka air laut rata-rata (MSL) dan garis pantai pasang tertinggi (HAT). Garis pantai pada Peta Rupabumi Indonesia ditentukan berdasarkan garis kedudukan muka air laut rata-rata.

Pesisir merupakan daerah yang rentan terhadap kenaikan muka laut, salah satunya adalah pesisir di wilayah Pantai Utara Jawa. Daerah yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah wilayah pesisir Kabupaten Demak. Saat ini wilayah pesisir Kabupaten Demak sedang mengalami beberapa ancaman bencana yang diakibatkan perubahan iklim maupun karena aktivitas manusia. Bencana tersebut antara kenaikan permukaan air laut, banjir rob, dan erosi pantai. Perubahan Iklim bukan hanya menjadi isu belaka akan tetapi telah menjadi sebuah fenomena yang dapat dilihat dan dapat dirasakan dampaknya (Wacano, D, dkk, 2013). Erosi terjadi di sebagian besar pesisir Kabupaten Demak yang menyebabkan terjadinya perubahan garis pantai.

Perubahan garis pantai perlu dipantau agar dapat mengetahui besar perubahan sehingga dapat mengantisipasi dampak yang disebabkan perubahan garis pantai. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memantau perubahan garis pantai adalah dengan menggunakan penginderaan jauh. Pada penelitian ini garis pantai yang dihitung perubahannya pada saat kondisi muka laut tertinggi. Penelitian ini juga menghitung nilai kenaikan muka laut di Laut Utara Jawa periode 2006-2016.

I.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Bagaimana cara mengetahui *Sea Level Rise* di Laut Jawa pada tahun 2006-2016?
2. Berapa besar perubahan garis pantai di wilayah Demak pada tahun 2006 sampai 2016 berdasarkan kenaikan muka laut?
3. Bagaimana hubungan antara kenaikan muka laut dengan perubahan garis pantai di Kabupaten Demak pada tahun 2006-2016?

I.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

I.3.1 Maksud

Maksud penelitian ini adalah untuk menghitung nilai kenaikan muka laut dan menghitung nilai perubahan garis pantai.

I.3.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui *Sea Level Rise* di Laut Jawa pada tahun 2006-2016 dengan metode interpolasi *Inverse Distance Weighted*.
2. Mengetahui perubahan garis pantai di wilayah Demak pada tahun 2006-2016.
3. Mengetahui hubungan antara kenaikan muka laut dengan perubahan garis pantai di Kabupaten Demak pada tahun 2006-2016.

I.4. Ruang Lingkup Penelitian

Penulisan tugas akhir ini memiliki ruang lingkup sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian untuk menghitung nilai kenaikan muka laut dilakukan di Laut Jawa pada 3 lokasi, yaitu: perairan Jakarta, perairan Semarang, dan perairan Surabaya.
2. Lokasi penelitian perubahan garis pantai adalah di Kabupaten Demak.
3. Data yang digunakan adalah *Sea Level Anomaly* dari satelit altimetri Jason-1 tahun 2006-2008, Jason-2 tahun 2009-2016, citra Landsat 7 tahun 2006 dan 2010, citra Landsat 8 tahun 2016, citra Quickbird Kabupaten Demak tahun 2015, data pasang surut Jakarta, Semarang, Surabaya tahun 2012-2016.
4. Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini adalah *Matlab* 2016, *ENVI* 5.1, *DSAS (Digital Shoreline Analysis System)*, *ArcGIS* 10.
5. Interpolasi yang digunakan untuk pengolahan data SLA adalah interpolasi IDW (*Inverse Distance Weighted*).
6. Pemilihan citra Landsat berdasarkan SLA tertinggi hasil interpolasi. Tanggal pemilihan citra disesuaikan dengan tanggal perekaman satelit altimetri. Tanggal yang dipilih adalah yang sama atau mendekati tanggal pada saat SLA tertinggi.
7. Metode yang digunakan dalam penentuan garis pantai adalah metode *band ratio* untuk membedakan daratan dan lautan.

I.5. Metodologi Penelitian

1. Persiapan
Tahap persiapan alat dan bahan seperti data-data yang diperlukan dalam melakukan penelitian. Data yang diperlukan seperti SLA satelit altimetri Jason-1 tahun 2006-2008, SLA satelit altimetri Jason-2 tahun 2009-2016, citra Landsat 7 tahun 2006 dan 2011, citra Landsat 8 tahun 2016, citra Quickbird Kabupaten Demak tahun 2015.
2. Pengolahan
Terdapat 3 pengolahan dalam penelitian ini, yaitu pengolahan perubahan garis pantai, pengolahan kenaikan muka laut, dan validasi data SLA dan pasang surut. Data yang digunakan dalam pengolahan perubahan garis pantai adalah data Landsat. Citra Landsat dikoreksi geometrik dan radiometrik. Delineasi batas darat dan laut pada citra yang telah dikoreksi menggunakan metode *band ratio*. Digitasi *on-screen* pada citra untuk menghasilkan data garis pantai. Perhitungan perubahan garis pantai dilakukan dengan menggunakan *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*. Pengolahan kenaikan muka laut dengan menggunakan data SLA satelit altimetri dengan metode *Inverse Distance Weighted (IDW)* untuk mendapatkan nilai interpolasi titik normal. Interpolasi linier dilakukan untuk mengisi data yang kosong hasil dari interpolasi IDW. Hasil interpolasi titik normal digunakan untuk menghitung nilai kenaikan muka laut dan menentukan citra Landsat. Citra Landsat 7 dan 8 yang digunakan berdasarkan nilai *Sea Level Anomaly* tertinggi. Data yang digunakan untuk validasi adalah data SLA dan pasang surut yang mempunyai waktu perekaman atau pengamatan yang sama. Validasi dilakukan dengan menggunakan uji korelasi.
3. Analisis
Hasil pengolahan dilakukan analisis mengenai nilai kenaikan muka laut atau *Sea Level Rise* pada tahun 2006-2016 dan perubahan garis pantai yang terjadi.
4. Pembuatan Laporan
Tahap ini merupakan tahap akhir penelitian, tahap laporan dan uraian pembahasan hasil penelitian.

II. Tinjauan Pustaka

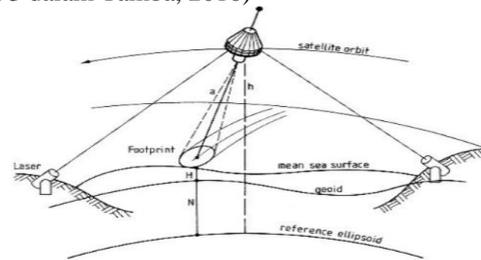
II.1. Satelit Altimetri

Sistem satelit altimetri berkembang sejak tahun 1975. Pada saat ini, secara umum sistem satelit altimetri mempunyai 3 obyekti ilmiah jangka panjang yaitu mengamati sirkulasi lautan global, memantau volume dan lempengan es kutub, dan mengamati perubahan muka laut rata-rata global. Pemanfaatan satelit altimetri tersebut dimaksudkan untuk memahami secara lebih mendalam sistem iklim

global serta peran dimainkan oleh lautan di dalamnya (Abidin, H, Z, 2001).

Satelit altimetri dilengkapi oleh beberapa perangkat seperti pemancar pulsa radar, penerima pulsa radar, serta jam berakurasi tinggi. Altimeter radar yang dibawa oleh satelit memancarkan pulsa-pulsa gelombang elektromagnetik ke permukaan laut. Pulsa-pulsa tersebut dipantulkan balik oleh permukaan laut dan diterima kembali oleh satelit. Informasi utama yang ingin ditentukan dengan satelit altimetri adalah topografi dari muka laut. Hal ini dilakukan dengan mengukur ketinggian satelit diatas permukaan laut dengan menggunakan waktu tempuh dari pulsa radar yang dikirimkan ke permukaan laut dan dipantulkan balik ke satelit (Abidin, 2001).

Prinsip dasar pengukuran satelit altimetri adalah mengukur ketinggian satelit terhadap permukaan laut dengan memanfaatkan selang waktu perambatan gelombang radar yang dipancarkan oleh satelit, kemudian diterima kembali oleh satelit setelah gelombang radar tersebut dipantulkan oleh permukaan laut yang berada di bawahnya. Apabila tinggi geodetik satelit diketahui, tinggi geodetik permukaan laut dibawahnya dapat dihitung (Seeber, 1993 dalam Tamba, 2016)



Gambar 1. Prinsip satelit altimetri (Seeber,1993 dalam Tamba, 2016)

II.2 Citra Landsat

Citra Landsat sudah tersedia lebih dari 40 tahun dimulai dari tahun 1972, dengan menggunakan sensor *Return Beam Vidicon (RBV)* dan 80 m 4 band *Multispectral Scanner (MSS)*. Landsat 2 dan Landsat 3 diluncurkan pada tahun 1975 dan 1978 dikonfigurasi sama. Tahun 1984, Landsat 4 diluncurkan dengan MSS dan perangkat baru disebut *Thematic Mapper (TM)*. Landsat 4 dibuat menggunakan *Multimission Modular Spacecraft (MMS)*, yang menggantikan desain pesawat ruang angkasa berbasis nimbus digunakan untuk Landsat 1-3. Landsat 5 tiruan dari Landsat 4, yang diluncurkan pada tahun 1984. Landsat 6 dilengkapi dengan band pankromatik 15 meter, yang hilang setelah peluncuran pada tahun 1993. Landsat 7 diluncurkan pada tahun 1999 dan ditampilkan dengan nominal *Scan Line Corrector (SLC)*. Landsat 7 gagal pada bulan mei 2003. Sejak itu, Landsat 7 terus berlanjut memperoleh data dengan *SLC-off*. Semua data Landsat 7 *SLC-off* memiliki radiometrik yang sama tinggi dan kualitas geometrik sebagai data dikumpulkan sebelum kegagalan SLC.

Satelit Landsat-7 ETM adalah satelit bumi dengan membawa instrumen ETM (*Enhanced Thematic Mapper*) yang menyajikan delapan *sailorman multispektral scanning radiometer*. Satelit Landsat-7 ETM diluncurkan pada bulan April 1999 dengan membawa ETM+*scanner*. Saat ini, hanya Landsat-5 dan 7 sudah tidak beroperasi lagi. Terdapat banyak aplikasi dari data Landsat TM-7, manfaatnya adalah untuk pemetaan penutupan lahan, pemetaan penggunaan lahan, pemetaan geologi, pemetaan suhu permukaan laut dan lain-lain. Pemetaan penutupan dan penggunaan lahan dapat memilih data Landsat TM karena terdapat *band* infra merah menengah. Landsat TM adalah satu-satunya satelit non-meteorologi yang mempunyai band inframerah termal. Data *thermal* diperlukan untuk studi proses-proses energi pada permukaan bumi seperti variabilitas suhu tanaman dalam areal yang diirigasi.

Landsat 8 merupakan versi terbaru dari Landsat yang sudah ada sejak tahun 2013. Datanya tersedia gratis di *U.S Geological Survey (USGS)*. Sensor yang digunakan pada Landsat 8 ini adalah *Operational Land Imager (OLI)* dan *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* telah dikalibrasi dengan ketidakpercayaan sebesar 5% dalam pantulan *Top of Atmosphere (TOA)* atau pancaran spektral mutlak, dan memiliki akurasi absolut geodesi yang lebih dari 65 meter dengan tingkat kepercayaan 90%.

II.3 Sea Level Rise

Sea Level Rise adalah fenomena naiknya permukaan laut yang umumnya selalu dikaitkan dengan pemanasan global. Permukaan laut telah mengalami kenaikan setinggi 120 meter sejak puncak zaman es 18.000 tahun yang lalu. Kenaikan tertinggi muka air laut terjadi sebelum 6.000 tahun yang lalu. Sejak 3.000 tahun yang lalu hingga awal abad ke-19, muka air laut hampir tetap hanya bertambah 0,1 hingga 0,2 mm/tahun, hingga tahun 1900, permukaan laut naik 1 hingga 3 mm/tahun. sejak tahun 1992, satelit Altimetri TOPEX/Poseidon mengindikasikan laju kenaikan muka laut sebesar 3 mm/tahun (Watson, 2015 dalam Tamba, A, 2016).

Suhu global meningkat, mengakibatkan es yang berada di dekat kutub mencair dengan kecepatan yang terus meningkat. Baik daratan maupun air memiliki kemampuan memantulkan cahaya lebih sedikit bila dibandingkan dengan es, dan akibatnya menyerap lebih banyak radiasi matahari. Hal tersebut menambah pemanasan suhu global dan menimbulkan lebih banyak lagi es yang mencair, kemudian menjadi suatu siklus berkelanjutan yang menyebabkan terjadinya fenomena *Sea Level Rise*.

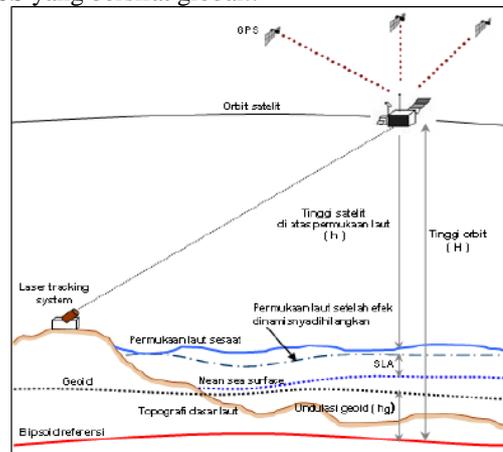
II.4 Sea Surface Height, Sea Surface Topography, dan Sea Surface Anomaly

Sea surface height merupakan tinggi muka laut yang tereferensi pada bidang ellipsoid. Pada saat dilakukan pengukuran yang mengkonversi data tempuh gelombang elektromagnetik mejadi data jarak, akan dihasilkan tinggi satelit di atas permukaan

laut. Ketinggian satelit yang telah diketahui diatas bidang ellipsoid maka ketinggian permukaan laut diatas bidang ellipsoid dapat dihitung.

Sea Surface Topography merupakan tinggi muka laut yang tereferensi pada bidang geoid atau muka laut rata-rata. Data jarak dari hasil pengukuran satelit altimetri maka selanjutnya topografi muka laut dapat ditentukan.

SLA merupakan tinggi permukaan laut di atas permukaan geofisik dimana efek dinamisnya seperti pasut laut dan pengaruh tekanan atmosfer sudah dihilangkan. Permukaan geofisik yang digunakan tersebut dapat berupa geoid ataupun MSS. *Mean Sea Surface (MSS)* atau tinggi muka laut rata-rata yang dihasilkan oleh satelit altimetri merupakan MSS yang bersifat global.:



Gambar 2. Geometri SLA terhadap bidang Geoid (dimodifikasi dari *A Decade of ERS satellite Orbits and altimetry*, Scharoo 2002 dalam Tamba, A 2016)

II.5 Garis Pantai

Garis pantai adalah batas pertemuan antara daratan dan air laut, dimana posisinya tidak tetap dan dapat berpindah sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi (Triatmodjo, B, 1999). Walaupun secara periodik permukaan laut tertentu yang tetap dan dapat ditentukan, harus dipilih untuk menjelaskan posisi garis pantai. Pada daerah yang dipengaruhi oleh pasang surut, garis pantai didekati (*approximates*) sebagai garis rata-rata muka air tinggi atau *Mean High Water Line (MHWL)*. Daerah yang tidak dipengaruhi oleh fluktuasi pasang surut, garis pantai yang digunakan adalah *Mean Water Level Line (MWL)* atau *Mean Sea Level (MSL)*. Pada peta laut biasanya digunakan garis air tinggi (*High Water Line*) sebagai garis pantai. Garis pangkal menggunakan garis air rendah (*Low Water Line*) sebagai garis pantainya.

II.6 Band Ratio

Band ratio atau *rationing* dilakukan untuk membandingkan suatu citra dengan citra yang lainnya. Kadang, perbedaan nilai *Brightness Value (BV)* atau derajat kecerahan suatu citra dari material permukaan yang sama dapat diakibatkan oleh kondisi topografi, bayangan (*shadow*), ataupun perubahan

musim. Citra dinormalisasi dengan rentang nilai digital 0 sampai 1 (Istiqomah, F, 2016). Persamaan *band ratio* (Istiqomah, F, 2016) dapat dilihat pada rumus II.1:

$$BV_{ijr} = BV_{ijk}/BV_{ijk} \dots \dots \dots (II.1)$$

BV_{ijr} = rasio keluaran pada baris i dan kolom j
 BV_{ijk} = *reflectance* k
 BV_{iji} = *reflectance* l

Rasio antara *band* 2 pada Landsat 7 dan *band* 3 pada Landsat 8 dengan *band* 4 pada Landsat 7 dan *band* 5 pada Landsat 8 akan menghasilkan rasio citra yang paling baik untuk mengesktraksi garis pantai terutama untuk pantai berlumpur yang banyak ditemukan tanaman mangrove. Pemilihan *band* 4/*band* 5 dan *band* 2/*band* 3 didasari pada fungsi dari masing-masing panjang gelombang yang berbeda-beda. Menurut FAQ di website resmi USGS (*United States Geological Survey*), *band* 2 pada Landsat 5 memiliki panjang gelombang 0,52 μm -0,60 μm dan *band* 3 pada Landsat 8 memiliki panjang gelombang 0,53 μm -0,59 μm , keduanya memiliki kelebihan yang sama untuk analisis yang menekankan pada vegetasi puncak, hal itu berfungsi untuk mengkaji mengenai kerapatan tanaman pada suatu daerah. Sedangkan, *band* 4 pada Landsat 5 memiliki panjang gelombang 0,77 μm -0,90 μm dan *band* 5 pada Landsat 8 memiliki panjang gelombang 0,85 μm -0,88 μm , keduanya sesuai untuk analisis kadar biomassa di permukaan dan ekstraksi garis pantai (Septiangga, B, 2017).

III. Metode Penelitian

III.1. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain:

a. Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Data satelit altimetri Jason-1 Tahun 2006-2008.
2. Data satelit altimetri Jason-2 tahun 2009-2016.
3. Citra Landsat 7 tahun 2006 dan 2011.
4. Citra Landsat 8 tahun 2016.
5. Citra Quickbird Kabupaten Demak tahun 2015 yang diperoleh dari BPN Kabupaten Demak.
6. Pasang surut Jakarta, Semarang, Surabaya tahun 2012-2016 yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial.
7. Data garis pantai hasil survei lapangan tahun 2017.

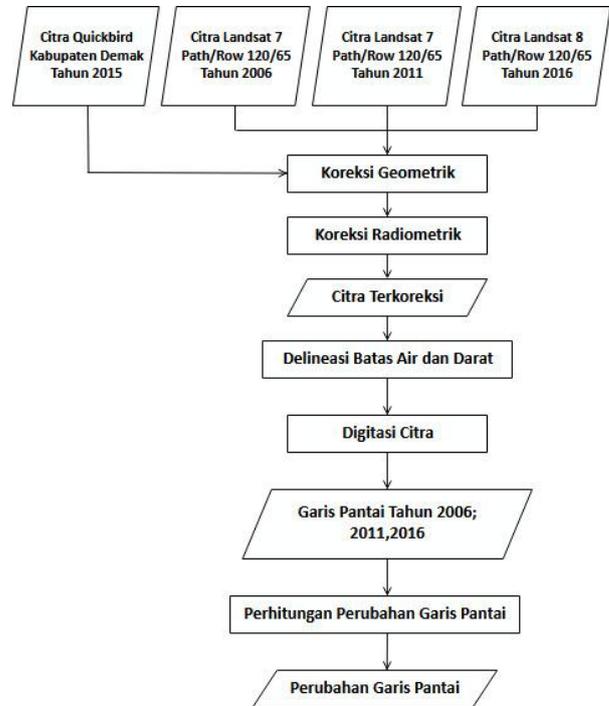
b. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

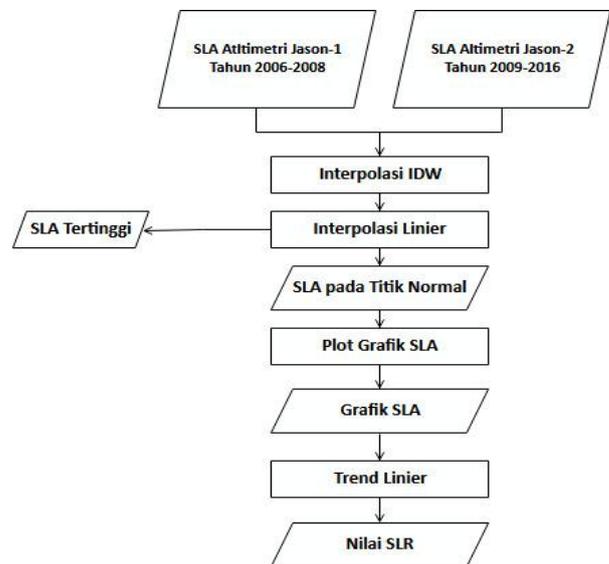
1. Laptop Lenovo Intel(R) CPU @2.16Ghz RAM 2.00GB, Hardisk 500MB, Windows 7, 64-bit Sistem Operasi
2. ArcGIS 10.1 dan *plugin Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*
3. *Envi 5.1*
4. Matlab R2016a

5. *GPS Handheld*
6. Microsoft Word 2010
7. Microsoft Excel 2010
8. IBM SPSS *Statistics 23*

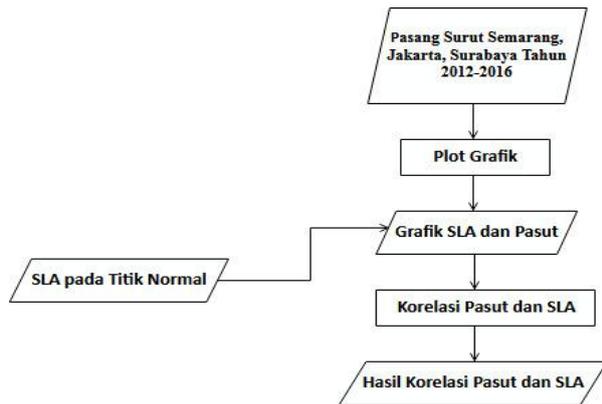
III.2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Pengolahan Citra landsat



Gambar 4. Pengolahan Sea Level Rise



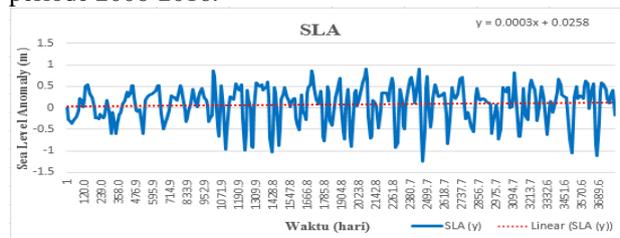
Gambar 5. Korelasi SLA dan pasut

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1. Hasil dan Analisis Sea Level Rise

1. Perairan Jakarta

Data satelit altimetri yang digunakan untuk menghitung nilai kenaikan muka laut (Sea Level Rise) di perairan Jakarta adalah ascending pass 229 periode 2006-2016.



Gambar 6. Grafik SLA pass 229

Berdasarkan grafik pada Gambar 6 nilai trend linier nya adalah :

$$y = 0,0003x + 0,0258.....(IV.1)$$

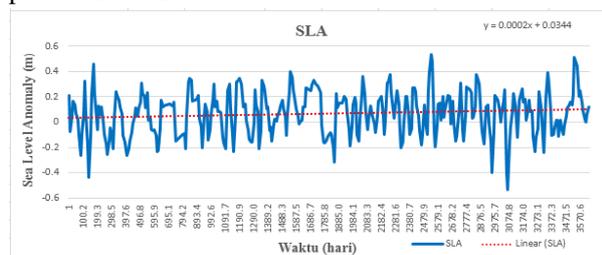
Hasil dari trend linier diatas masih dalam satuan m/cycle, maka perlu diubah dalam satuan mm/tahun untuk memperoleh nilai Sea Level Rise. Perhitungan untuk memperoleh nilai Sea Level Rise adalah :

$$\text{Nilai SLR} = (0.0003 \times 1000)/(9,9156/365) = 11,043 \text{ mm/tahun}$$

Kenaikan muka laut di Perairan Jakarta pada ascending pass 229 tahun 2006-2016 adalah sebesar 11,043 mm/tahun.

2. Perairan Semarang

Data satelit altimetri yang digunakan untuk menghitung nilai kenaikan muka laut (Sea Level Rise) di Perairan Semarang adalah ascending pass 051 periode 2006-2016 dan descending pass 064 periode 2006-2016.



Gambar 7. Grafik SLA pass 051

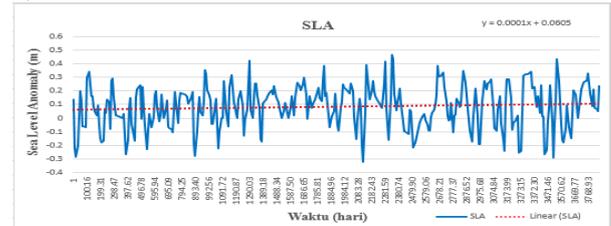
Berdasarkan grafik pada gambar Gambar 7 nilai trend linier nya adalah :

$$y = 0,0002x + 0,0544.....(IV.2)$$

Hasil dari trend linier diatas masih dalam satuan m/cycle, maka perlu diubah dalam satuan mm/tahun untuk memperoleh nilai Sea Level Rise. Perhitungan untuk memperoleh nilai Sea Level Rise adalah :

$$\text{Nilai SLR} = (0.0002 \times 1000)/(9,9156/365) = 7,362 \text{ mm/tahun}$$

Kenaikan muka laut di Perairan Semarang pada ascending pass 051 tahun 2006-2016 adalah sebesar 7,362 mm/tahun



Gambar 8. Grafik SLA pass 064

Berdasarkan grafik pada Gambar 8 nilai trend linier nya adalah :

$$y = 0,0001x + 0,0605.....(IV.3)$$

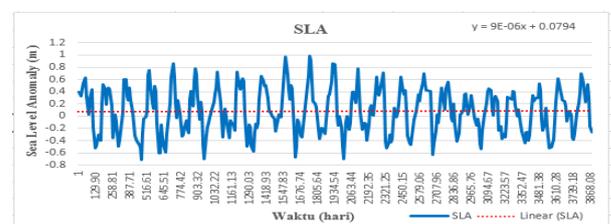
Hasil dari trend linier diatas masih dalam satuan m/cycle, maka perlu diubah dalam satuan mm/tahun untuk memperoleh nilai Sea Level Rise. Perhitungan untuk memperoleh nilai Sea Level Rise adalah :

$$\text{Nilai SLR} = (0.0001 \times 1000)/(9,9156/365) = 3,681 \text{ mm/tahun}$$

Kenaikan muka laut di Perairan Semarang pada descending pass 064 tahun 2006-2016 adalah sebesar 3,681 mm/tahun.

3. Perairan Surabaya

Data satelit altimetri yang digunakan untuk menghitung nilai kenaikan muka laut (Sea Level Rise) di Perairan Surabaya adalah ascending pass 127 periode 2006-2016 dan descending pass 140 periode 2006-2016.



Gambar 9. Grafik SLA pass 127

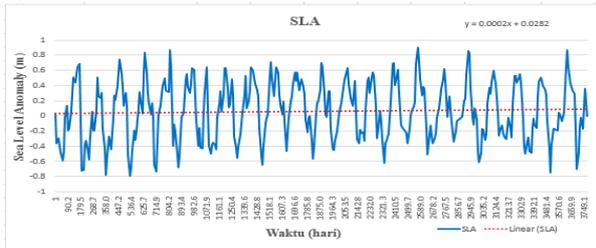
Berdasarkan grafik pada Gambar 9. nilai trend linier nya adalah :

$$y = 0,000009 \times x + 0,0794.....(IV.4)$$

Hasil dari trend linier diatas masih dalam satuan m/cycle, maka perlu diubah dalam satuan mm/tahun untuk memperoleh nilai Sea Level Rise. Perhitungan untuk memperoleh nilai Sea Level Rise adalah :

$$\text{Nilai SLR} = (0,000009 \times 1000)/(9,9156/365) = 0,331 \text{ mm/tahun}$$

Kenaikan muka laut di Perairan Surabaya pada *ascending pass* 127 tahun 2006-2016 adalah sebesar 0,331 mm/tahun



Gambar 10. Grafik SLA *pass* 140

Berdasarkan grafik pada Gambar 10 nilai *trend linier* nya adalah :

$$y = 0,0006 x - 0,0179 \dots \dots \dots (IV.5)$$

Hasil dari *trend linier* diatas masih dalam satuan m/cycle, maka perlu diubah dalam satuan mm/tahun untuk memperoleh nilai *Sea Level Rise*. Perhitungan untuk memperoleh nilai *sea level rise* adalah :

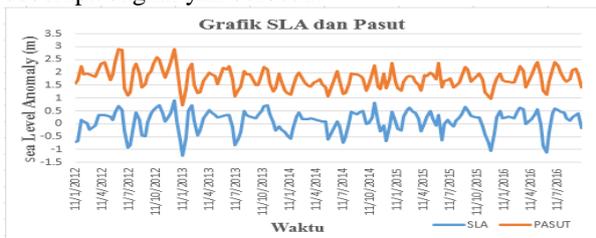
$$\begin{aligned} \text{Nilai SLR} &= (0.0006 \times 1000)/(9,9156/365) \\ &= 7,362 \text{ mm/tahun} \end{aligned}$$

Kenaikan muka laut di Perairan Semarang pada *descending pass* 064 tahun 2006-2016 adalah sebesar 7,362 mm/tahun.

IV.2. Analisis Sea Level Rise dan Pengamatan Pasang Surut

1. Perairan Jakarta

Grafik SLA altimetri *pass* 229 dibandingkan dengan data pengamatan pasang surut dari stasiun pasang surut Jakarta. Gambar 11 dapat dilihat bahwa grafik SLA *pass* 229 dan grafik pasang surut Jakarta mempunyai pola kenaikan yang hampir sama dan ada beberapa bagian yang berbeda.



Gambar 11. Grafil SLA *pass* 229 dengan grafik data pasang surut Jakarta

Tabel 1 dapat dilihat nilai signifikansi dari SLA adalah < 0,05 maka data tidak terdistribusi normal, sedangkan nilai signifikansi dari pasut adalah > 0,05 maka data terdistribusi normal. Data yang tidak terdistribusi normal diakibatkan karena selang waktu data yang digunakan yaitu 9,9156 hari dan adanya kekosongan data pada waktu tertentu. Karena adanya kekosongan data maka selang waktu antara data satu dengan data selanjutnya lebih dari 9,9156 hari.

Tabel 1. Hasil uji normalitas *pass* 229

	Kolmogoror- Smirnov			Shapiro- Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
SLA	0,116	171	0,000	0,939	171	0,000
Pasut	0,062	171	0,200	0,984	171	0,044

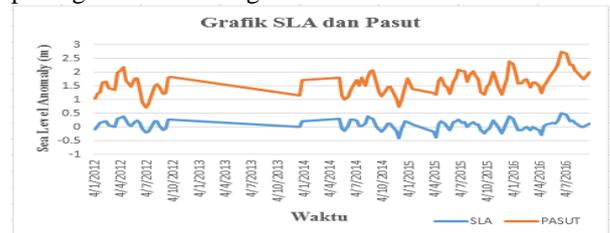
Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil uji korelasi antara pasut dan SLA sebesar -0,356. Dapat disimpulkan bahwa antara data SLA pada *pass* 229 dan data pasang surut Jakarta mempunyai korelasi cukup.

Tabel 2. Hasil uji korelasi *pass* 229

		SLA	Pasut
Spearman's rho	SLA Correlation Coefficient	1,000	-0,356
	Sig. (2-tailed)		0,000
	N	171	171
Pasut	Correlation Coefficient	-0,356	1,000
	Sig. (2-tailed)	0,000	171
	N	171	171

2. Perairan Semarang

Grafik SLA altimetri *pass* 051 dibandingkan dengan data pengamatan pasang surut dari stasiun pasang surut Semarang.



Gambar 12. Grafil SLA *pass* 051 dengan grafik data pasang surut Semarang

Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai signifikansi dari SLA dan pasut adalah > 0,05 maka data terdistribusi normal.

Tabel 3. Hasil uji normalitas *pass* 051

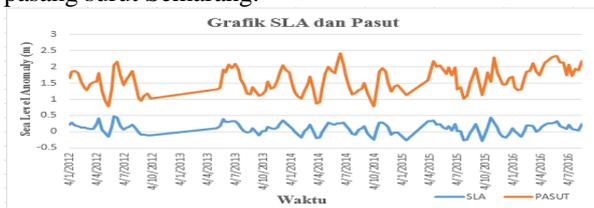
	Kolmogoror- Smirnov			Shapiro- Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
SLA	0,046	111	0,200	0,995	111	0,960
Pasut	0,044	111	0,200	0,991	111	0,648

Tabel 4 menunjukkan bahwa hasil uji korelasi antara pasut dan SLA sebesar 0,488, sehingga dapat disimpulkan bahwa antara data SLA pada *pass* 051 dan data pasang surut Semarang mempunyai korelasi cukup.

Tabel 4. Hasil Uji Korelasi *pass* 051

		SLA	Pasut
SLA	Pearson Correlation	1	0,488
	Sig. (2-tailed)		0,000
	N	111	111
Pasut	Pearson Correlation	0,488	1
	Sig. (2-tailed)	0,000	
	N	111	111

Grafik SLA altimetri *pass* 064 dibandingkan dengan data pengamatan pasang surut dari stasiun pasang surut Semarang.



Gambar 13. Grafil SLA *pass* 064 dengan grafik data pasang surut Semarang

Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai signifikansi dari SLA adalah $> 0,05$ maka data terdistribusi normal, sedangkan nilai signifikansi dari pasut $< 0,05$ maka data tidak terdistribusi normal. Data yang tidak terdistribusi normal diakibatkan karena selang waktu data yang digunakan yaitu 9,9156 hari dan adanya kekosongan data pada waktu tertentu. Karena adanya kekosongan data maka selang waktu antara data satu dengan data selanjutnya lebih dari 9,9156 hari.

Tabel 5. Hasil Uji Normalitas *pass* 064

	Kolmogoror- Smirnov			Shapiro- Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
SLA	0,053	141	0,200	0,990	141	0,395
Pasut	0,082	141	0,023	0,981	141	0,046

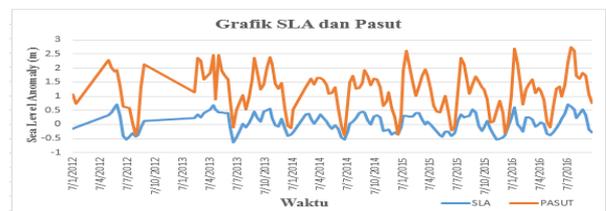
Tabel 6 menunjukkan hasil uji korelasi antara pasut dan SLA sebesar 0,557 sehingga dapat disimpulkan bahwa antara data SLA pada *pass* 064 dan data pasang surut Semarang mempunyai korelasi kuat

Tabel 6. Uji Korelasi *pass* 064

		SLA	Pasut
Spearman's rho Coefficient	SLA Correlation	1.000	0,557
	Sig. (2-tailed)		0,000
	N	141	141
Coefficient	Pasut Correlation	0,557	1.000
	Sig. (2-tailed)	0,000	
	N	141	141

3. Perairan Surabaya

Grafik SLA altimetri *pass* 127 dibandingkan dengan data pengamatan pasang surut dari stasiun pasang surut Surabaya.



Gambar 14. Grafil SLA *pass* 127 dengan grafik data pasang surut Surabaya

Tabel 7 menunjukkan bahwa nilai signifikansi dari SLA adalah $< 0,05$ maka data tidak terdistribusi normal, sedangkan nilai signifikansi dari pasut $> 0,05$ maka data terdistribusi normal. Data yang tidak terdistribusi normal diakibatkan karena selang waktu data yang digunakan yaitu 9,9156 hari dan adanya kekosongan data pada waktu tertentu. Karena adanya kekosongan data maka selang waktu antara data satu dengan data selanjutnya lebih dari 9,9156 hari.

Tabel 7. Hasil uji normalitas *pass* 127

	Kolmogoror- Smirnov			Shapiro- Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
SLA	0,089	145	0,007	0,972	145	0,004
Pasut	0,055	145	0,200	0,983	145	0,063

Tabel 8 menunjukkan bahwa hasil uji korelasi antara pasut dan SLA sebesar 0,521, sehingga dapat disimpulkan bahwa antara data SLA pada *pass* 127 dan data pasang surut Surabaya mempunyai korelasi kuat.

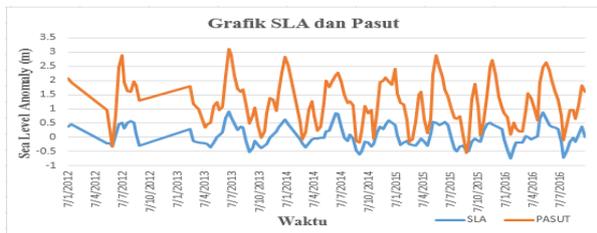
Tabel 8. Hasil uji korelasi *pass* 127

			SLA	Pasut
Spearman's rho Coefficient	SLA	Correlation	1.000	0,521
		Sig. (2-tailed)		0,000
		N	145	145
Coefficient	Pasut	Correlation	0,521	1.000
		Sig. (2-tailed)	0,000	
		N	145	145

Tabel 10. Hasil uji korelasi *pass* 140

			SLA	Pasut
Spearman's rho Coefficient	SLA	Correlation	1.000	0,630
		Sig. (2-tailed)		0,000
		N	144	144
Coefficient	Pasut	Correlation	0,630	1.000
		Sig. (2-tailed)	0,000	
		N	144	144

Grafik SLA altimetri *pass* 140 dibandingkan dengan data pengamatan pasang surut dari stasiun pasang surut Surabaya.



Gambar 15. Grafil SLA *pass* 140 dengan grafik data pasang surut Surabaya

Tabel 9 menunjukkan bahwa nilai signifikansi dari SLA adalah $< 0,05$ maka data tidak terdistribusi normal, sedangkan nilai signifikansi dari pasut $> 0,05$ maka data terdistribusi normal. Data yang tidak terdistribusi normal diakibatkan karena selang waktu data yang digunakan yaitu 9,9156 hari dan adanya kekosongan data pada waktu tertentu. Karena adanya kekosongan data maka selang waktu antara data satu dengan data selanjutnya lebih dari 9,9156 hari.

Tabel 9. Hasil uji normalitas *pass* 140

	Kolmogoror- Smirnov			Shapiro- Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
SLA	0,103	144	0,001	0,971	144	0,004
Pasut	0,046	144	0,200	0,990	144	0,424

Tabel 10 menunjukkan bahwa hasil uji korelasi antara pasut dan SLA sebesar 0,630, sehingga dapat disimpulkan bahwa antara data SLA pada *pass* 140 dan data pasang surut Surabaya mempunyai korelasi kuat.

IV.1. Hasil dan Analisis Perubahan Garis Pantai

Gambar 16 adalah lokasi titik abrasi dan akresi di Kabupaten Demak.



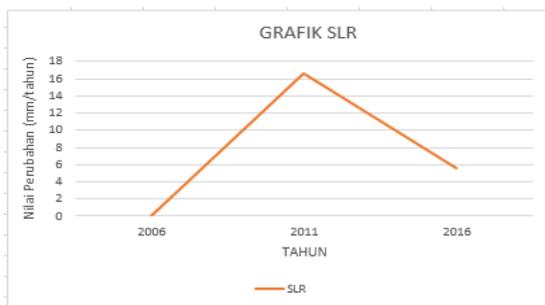
Gambar 16. Titik abrasi dan akresi di Kabupaten Demak

- Keterangan :
- Abrasi
 - Akresi
 - Garis Pantai Tahun 2006
 - Garis Pantai Tahun 2011
 - Garis Pantai Tahun 2016

Titik A pada Gambar 16 menunjukkan abrasi paling kecil di Kecamatan Wedung sebesar -0,3 m. Titik B menunjukkan abrasi paling besar di Kecamatan Wedung sebesar -571,08 m. Titik C menunjukkan abrasi paling besar di Kecamatan Bonang sebesar -434,49 m. Titik D menunjukkan abrasi paling kecil di Kecamatan Bonang sebesar -0,33 m. Titik E menunjukkan abrasi paling besar di Kecamatan Karangtengah sebesar -156,63 m. Titik F menunjukkan abrasi paling kecil di Kecamatan

Karangtengah sebesar -0,17 m. Titik G menunjukkan abrasi paling besar di Kecamatan Sayung sebesar -691 m. Titik H menunjukkan abrasi paling kecil di Kecamatan Sayung sebesar -2,23 m. Titik I menunjukkan akresi paling kecil di Kecamatan Wedung sebesar +1,5 m. Titik J menunjukkan akresi paling besar di Kecamatan Wedung sebesar +512,48 m. Titik K menunjukkan akresi paling besar di Kecamatan Bonang sebesar +268,97 m. Titik L menunjukkan akresi paling kecil di Kecamatan Bonang sebesar +12,2 m. Titik M menunjukkan akresi paling besar di Kecamatan Karangtengah sebesar +68,48 m.

Gambar 17 merupakan grafik SLR dan Gambar 18 merupakan grafik perubahan garis pantai. A merupakan abrasi terbesar di Kecamatan Wedung. B merupakan abrasi terbesar di Kecamatan Bonang. C merupakan abrasi terbesar di Kecamatan Karangtengah. D merupakan abrasi terbesar di Kecamatan Sayung. Gambar 17 menunjukkan nilai SLR naik dari tahun 2006 sampai 2011, namun pada tahun 2011 sampai 2016 mengalami penurunan dibandingkan dari tahun 2006 sampai 2011. Gambar 18 menunjukkan terjadi perubahan garis pantai yaitu abrasi pada titik A, B, C, dan D. Gambar 17 dan Gambar 18 menunjukkan terjadi hubungan antara SLR dan perubahan garis pantai pada tahun 2006 sampai 2011, yang dapat dilihat dari grafik SLR dan perubahan garis pantai yang mengalami kenaikan. Titik A, B, dan D pada tahun 2011 sampai 2016 mengalami kenaikan yang lebih tinggi dari titik C. Grafik SLR pada tahun 2011 sampai 2016 mengalami penurunan. Grafik SLR dan perubahan garis pantai pada tahun 2011 sampai 2016 mempunyai pola kenaikan masing-masing, hal ini disebabkan data perubahan garis pantai yang digunakan kurang banyak sehingga tidak dapat diketahui perubahan pada setiap tahun.



Gambar 17. Grafik SLR



Gambar 18. Grafil SLR dan Perubahan Garis Pantai

Kenaikan muka laut bukan merupakan faktor utama terjadinya perubahan garis pantai di Kabupaten Demak. Menurut Komariah Ervita (2015) dalam penelitiannya yang berjudul “Kajian Perubahan Garis Pantai Kabupaten Demak Tahun 1990-2015 Ditinjau dari Aspek Morfodinamika”, menyatakan bahwa proses erosi banyak terjadi di Kecamatan Sayung yang menyebabkan beberapa dusun tenggelam dan masyarakat direlokasi ke dusun lainnya. Proses Erosi juga terjadi di Kecamatan Karangtengah dan Kecamatan Bonang tetapi luasan dan dampaknya tidak terlalu besar seperti yang terjadi di Kecamatan Sayung. Proses Erosi yang terjadi di Kecamatan Wedung sebagian besar berada di bagian utara dari Delta wulan, sedangkan dibagian selatan lebih didominasi oleh proses akresi yang ditimbulkan oleh sedimentasi dari material hulu yang terbawa oleh Sungai Wulan. Proses Akresi yang terjadi sebagian besar berada dimuara sungai yang mengindikasikan adanya pengendapan material hulu yang terbawa oleh aliran sungai yang kemudian diendapkan dibagian hilir yaitu di daerah pantai.

Erosi di Kecamatan Sayung disebabkan oleh terjadinya penurunan muka tanah. Luthfi Eka Rahmawan (2016) dalam penelitiannya yang berjudul “Survei Pemantauan Deformasi Muka Tanah Kawasan Pesisir Menggunakan Metode Pengukuran GPS di Kabupaten Demak Tahun 2016 (Studi Kasus : Pesisir Kecamatan Sayung, Demak)”, menyatakan bahwa : Laju penurunan muka tanah di Kecamatan Sayung antara +2,078 sampai -8,376 cm/tahun dengan metode pengolahan jaring IGS. Metode jaring lokal CSEM menghasilkan perubahan tinggi +1,341 hingga -5,822 cm/tahun. Sedangkan metode radial berkisar antara +0,130 hingga -8,546 cm/tahun. Pola Penurunan Muka Tanah (PMT) di Sayung memiliki karakteristik bervariasi secara spasial, dengan beberapa metode pengolahan didapatkan kecenderungan penurunan tanah semakin besar mendekati pesisir utara bagian barat Sayung dengan penurunan terbesar berada di Desa Sidogemah dan Bedono. Sejalan dengan hasil tersebut, dua desa ini mengalami dampak terparah akibat PMT berupa banjir rob dan kerusakan infrastruktur.

V Penutup

V.I Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Hasil pengamatan satelit altimetri periode 2006-2016 menunjukkan adanya fenomena *Sea Level Rise* di Laut Utara Jawa dengan rata-rata kenaikan sebesar +6,80 mm/tahun. Kenaikan tertinggi berada pada Perairan Jakarta sebesar +11,043 mm/tahun, dan terendah berada pada Perairan Surabaya dengan nilai kenaikan sebesar +3,85 mm/tahun. Kenaikan di Perairan Semarang sebesar +5,52 mm/tahun.
2. Hasil perhitungan *Digital Analysis Shoreline System* (DSAS) menunjukkan terjadinya abrasi dan akresi garis pantai di wilayah Demak pada tahun 2006-2016. Hampir setiap wilayah di pesisir Demak mengalami abrasi. Rata-rata abrasi yang terjadi di Kabupaten Demak sebesar -119,08 m. Abrasi terbesar yang terjadi di Kecamatan Wedung sebesar -571,08 m. Abrasi terbesar di Kecamatan Bonang -434,49 m. Abrasi paling besar di Kecamatan Karangtengah sebesar -156,63 m. Abrasi paling besar di Kecamatan Sayung sebesar -691 m. Akresi terbesar di Kecamatan Wedung sebesar +512,48 m. Akresi terbesar terjadi di Kecamatan Bonang sebesar +268,97 m. Akresi terbesar di Kecamatan Karangtengah sebesar +68,48 m.
3. Kenaikan muka laut pada tahun 2006 sampai 2011 dan perubahan garis pantai tahun 2006 sampai tahun 2011 mempunyai grafik kenaikan yang sama, yang menunjukkan hubungan antar kenaikan muka laut dan perubahan garis pantai. Kenaikan muka laut dan perubahan garis pantai pada tahun 2011 sampai 2016 mempunyai grafik kenaikan masing-masing. Kenaikan muka laut bukan merupakan faktor utama terjadinya perubahan garis pantai. Proses abrasi di Kecamatan Sayung disebabkan oleh laju penurunan muka tanah. Proses abrasi yang terjadi di Kecamatan Wedung sebagian besar berada di bagian utara, sedangkan dibagian selatan lebih didominasi oleh proses akresi yang ditimbulkan oleh sedimentasi dari material hulu yang terbawa oleh sungai. Proses akresi yang terjadi sebagian besar berada di muara sungai yang mengindikasikan adanya pengendapan material hulu yang terbawa oleh aliran sungai yang kemudian diendapkan dibagian hilir yaitu di daerah pantai. Proses abrasi dan akresi di Kecamatan Karangtengah dan Bonang luasan dan dampaknya tidak terlalu besar seperti yang terjadi di Kecamatan Sayung dan Wedung.

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Konsistensi digitasi agar tidak terjadi kesalahan penghitungan perubahan garis pantai.
2. Mencoba metode lain untuk penentuan batas darat dan air yang digunakan sebagai acuan digitasi garis pantai.
3. Garis pantai yang digunakan lebih banyak, sehingga dapat terlihat perubahan setiap tahun.

Daftar Pustaka

Abidin, H.Z. 2001. *Geodesi Satelit*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Istiqomah, F. 2016. *Pemantauan Perubahan Garis Pantai Menggunakan Aplikasi Digital Shoreline Anaysis System (Dsas) Studi Kasus : Pesisir Kabupaten Demak*. Tugas Akhir Teknik Geodesi Universitas Diponegoro Semarang.

Oktaviani, A. R. 2017. *Analisis Penentuan Lahan Kritis Dengan Metode Fuzzy Logic Berbasis Penginderaan Jauh Dan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus : Kabupaten Semarang)*. Tugas Akhir Teknik Geodesi Universitas Diponegoro Semarang.

Septiangga, B. 2017. *Penginderaan Jauh Untuk Pemantauan Dinamika Batas Daerah Darat di Sebagian Kawasan Pesisir Demak-Jepara*. Departemen Geografi Lingkungan Universitas Gadjah Mada.

Sidabutar, Y. 2016. *Analisis Sea Level Rise Dan Komponen Pasang Surut Dengan Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-2*. Tugas Akhir Teknik Geodesi Universitas Diponegoro Semarang.

Somantri, L. 2008. *Pemanfaatan Teknik Penginderaan Jauh Untuk Mengidentifikasi Kerentanan dan Resiko Banjir*. Jurnal Gea, Jurusan Pendidikan Geografi. Vol.8 No.2.

Tamba, A. 2016. *Analisis Sea Level Rise Dan Penentuan Komponen Pasut Dengan Menggunakan Data Satelit Altimetri Jason-2 Tahun 2011-2014 (Studi Kasus : Perairan Sumatera Bagian Timur)*. Tugas Akhir Teknik Geodesi Universitas Diponegoro Semarang.

Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.

UU No. 23 Tahun 2014 Tentang Pemerintahan Daerah.

Wacano, D dkk. 2013. *Adaptasi Masyarakat Pesisir Kabupaten Demak Dalam Menghadapi Perubahan Iklim dan Bencana Wilayah*

Kepesisiran. Yogyakarta. Kanisius. ISBN:
978-602-7797-25-3.