

**APLIKASI SATELIT ALTIMETRI UNTUK MENGAMATI MUKA AIR LAUT
DARI TAHUN 2002 SAMPAI 2009
STUDI KASUS: PANTAI UTARA SEMARANG**

Oleh :
Muchlisin Arief*

Abstrak

Pemanasan global di dunia diakibatkan oleh naiknya konsentrasi gas karbondioksida (CO₂) dan gas-gas lainnya di atmosfer, yang mana Kenaikan konsentrasi gas CO₂ melampaui kemampuan daya serap /absorpsi dari tumbuhan-tumbuhan dan laut. Salah satu akibat dari global warming adalah meningkatnya muka air laut anomali. Tinggi muka air laut dapat diamati dengan menggunakan satelit Altimetri. Pada paper ini diterangkan ekstraksi Informasi dari data satelit altimetri kemudian diinterpolasi menggunakan metoda minimum curvature. Berdasarkan perhitungan dari data satelit altimetri, kenaikan muka air laut anomali selama periode 2002 sampai 2009 pada posisi 110°15' BT; 6°15' LS adalah 0.8 meter. Yang berarti rata-rata kenaikan muka air laut anomaly 11.1 milimeter per tahun.

Kata Kunci : Satelit, Altimetri, minimum curvature, tinggi muka laut anomali

Abstract

Global warming in the world caused by rising concentration of carbon dioxide (CO₂) gas and the others gases in the atmosphere. Which increases the carbon dioxide (CO₂) exceeds the absorption of vegetations and marine. One of the consequences caused by global warming are the increasing the sea surface height anomaly. Sea surface height can be measured by altimetry satellite. This paper explained the extraction of information of the altimetry satellite and then interpolated by using minimum curvature method. Based on the calculation of altimetry data. The increasing of the sea surface height anomaly during period 2002 to 2009 at the position 110°15' BT; 6°15' LS is 0.8 meter. It mean the rate of sea surface height anomaly is 11.1 millimeter per years.

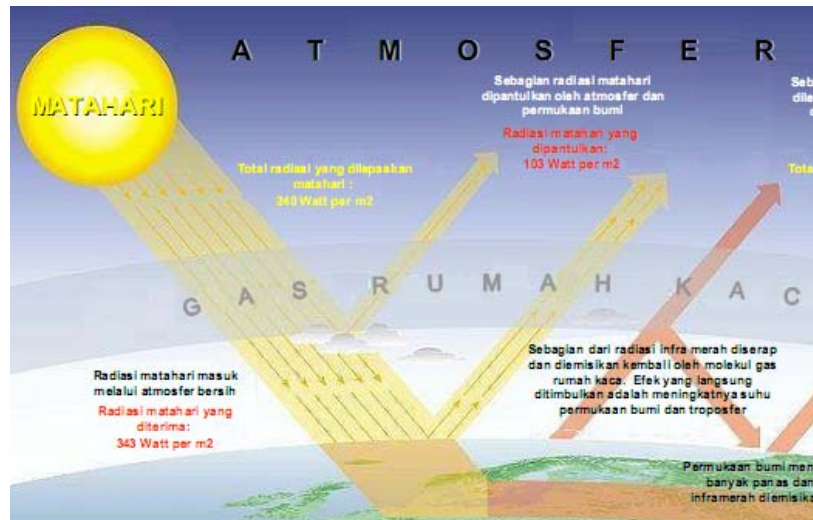
Key Words : Satellite, Altimetric, minimum curvature, sea surface height anomaly

1. PENDAHULUAN

Efek rumah kaca, yang pertama kali diusulkan oleh Joseph Fourier pada 1824, merupakan proses pemanasan permukaan global (*global warming*) suatu benda langit khususnya bumi yang disebabkan oleh komposisi dan keadaan atmosfernya. Efek rumah kaca disebabkan karena naiknya konsentrasi gas karbondioksida (CO₂) dan gas-gas lainnya di atmosfer. Kenaikan konsentrasi gas CO₂ ini disebabkan oleh kenaikan pembakaran bahan bakar minyak (BBM), batu bara dan bahan bakar organik lainnya yang melampaui kemampuan tumbuhan-tumbuhan dan laut untuk mengabsorbnya.

Energi yang masuk ke bumi mengalami : 25% dipantulkan oleh awan atau partikel lain di atmosfer 25% diserap awan 45% diadsorpsi permukaan bumi 5% dipantulkan kembali oleh permukaan bumi. Energi yang diadsorpsi dipantulkan kembali dalam bentuk radiasi infra merah oleh awan dan permukaan bumi. Namun sebagian besar infra merah yang dipancarkan bumi tertahan oleh awan dan gas CO₂ dan gas lainnya, untuk dikembalikan ke permukaan bumi. Dalam keadaan normal, efek rumah kaca diperlukan, dengan adanya efek rumah kaca perbedaan suhu antara siang dan malam di bumi tidak terlalu jauh berbeda. Kejadian tersebut dinamakan pemanasan global.

*Peneliti Pusat Pengembangan Pemanfaatan dan Teknologi Penginderaan Jauh LAPAN



Gambar.1.1 proses pemanasan global/perubahan iklim dunia

Efek rumah kaca juga akan mengakibatkan meningkatnya suhu air laut sehingga air laut mengembang dan terjadi kenaikan permukaan laut yang mengakibatkan negara kepulauan akan mendapatkan pengaruh yang sangat besar. Menurut perhitungan simulasi, efek rumah kaca telah meningkatkan suhu rata-rata bumi 1-5 °C. Bila kecenderungan peningkatan gas rumah kaca tetap seperti sekarang akan menyebabkan pemanasan global antara 1,5-4,5 °C sekitar tahun 2030. Dengan meningkatnya konsentrasi gas CO₂ di atmosfer, maka akan semakin banyak gelombang panas yang dipantulkan dari permukaan bumi diserap atmosfer. Hal ini akan mengakibatkan suhu permukaan bumi menjadi meningkat

Perubahan tinggi muka air laut merupakan suatu fenomena alam yang terjadi secara periodik mulai hitungan jam sampai tahunan. Perubahan juga dapat terjadi akibat kejadian sesaat seperti terjadinya tsunami akibat gempa tengah laut. Efek rumah kaca akibat penggunaan bahan bakar alami secara berlebihan telah dinyatakan sebagai penyebab naiknya iklim dunia atau Global Warming yang saat ini telah menjadi masalah nasional, regional maupun dunia.

Peningkatan muka air laut adalah salah satu akibat yang ditimbulkannya. Akibat lanjutan yang diamati para ahli antara lain perubahan kondisi ekosistem pantai, meningkatnya erosi, makin cepatnya kerusakan bangunan dan terganggunya kegiatan penduduk seperti permukiman, perindustrian, pertanian dan kegiatan lainnya. Kondisi ini cenderung memburuk dengan meningkatnya pemanfaatan kawasan pantai yang berlebihan.

Tujuan dari makalah ini adalah menghitung kenaikan muka air laut (sea level rises) di provinsi Jawa tengah khususnya kota Semarang dan sekitarnya yang diturunkan dari pengamatan satelit altimetri dari tahun 2002 hingga 2009 serta memperkirakan kemungkinan dampak di masa mendatang sebagai akibat meningkatnya muka air laut pada kawasan perkotaan di pinggir pantai khususnya kota Semarang..

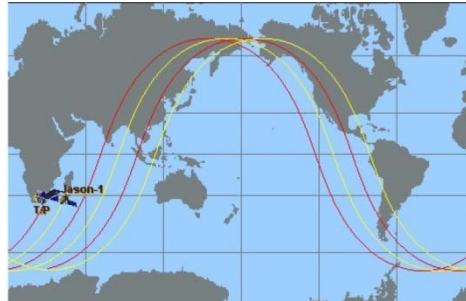
2. LANDASAN TEORI

2.1 Karakteristik satelit Altimetri TOPEX dan Jason

Saat ini ada empat satelit altimetri yang beroperasi, adalah: Dua satelit serie Jason (satelit Jason-1 dan Jason-2) dengan resolusi temporal 10 hari dengan jarak antar lintasan 315 kilometer dan resolusi spasial (*footprint diameter*) 2-20 km. Jason-2 berada pada orbit satelit pendahulunya yang memiliki karakteristik hampir sama yakni TOPEX/Poseidon yang telah berakhir misinya tahun 2005. Sedangkan dua satelit lainnya adalah Envisat dan ERS-2, Envisat memiliki resolusi temporal lebih lama dari dua satelit sebelumnya yaitu 35 hari namun jarak antar lintasan yang dimiliki lebih rapat (90 kilometer). Sedangkan ERS-2 memiliki resolusi temporal dan jarak antar lintasan yang sama dengan Envisat namun masa operasinya lebih pendek.

Satelit Topex/Poseidon merupakan proyek kerjasama antara CNES Perancis dan NASA Amerika yang diluncurkan pada 10 Agustus 1992 dengan tujuan untuk mempelajari karakteristik arus laut, tinggi permukaan laut, *marine geoid*, peran samudera terhadap iklim dunia, model pasang surut

dan tinggi permukaan laut rata-rata (*mean sea level*) terkait pengaruh efek rumah kaca dan SLR. Satelit ini memiliki dua sensor altimetri untuk tujuan tersebut yaitu Topex dan Poseidon. Pada 7 Desember 2001 CNES dan NASA meluncurkan satelit Jason-1 sebagai pelengkap dan penerus operasional satelit altimetri Topex/Poseidon. Pertengahan Februari 2009 (pada siklus ke 262) orbit satelit ini digeser di antara kedua orbit satelit TOPEX/Poseidon dan Jason-2 untuk keperluan satelit tandem untuk tujuan yang sama (Gambar 2.1).



Gambar 2.1. Orbit Tandem Satelit Topex/Poseidon dan Jason-1
(Sumber : Aviso)

Satelit Jason-2 dengan misi OSTM (*Ocean Surface Topography Mission*) telah diluncurkan pada 20 Juni 2008 yang nantinya akan menggantikan satelit Topex/Poseidon dan Jason-1, proyek ini merupakan kerjasama antara CNES, NASA, EUMETSAT dan NOAA. Satelit ini membawa muatan sensor yang sama dengan dua satelit pendahulunya (misi altimetri akurasi tinggi) yaitu altimeter kelas Poseidon (Poseidon-3), radiometer dan tiga sistem penentu lokasi (DORIS) dan memiliki akurasi vertikal hingga 2,5 cm.

Satelit Jason-2 bertujuan untuk melakukan pengukuran altimetri dengan akurasi tinggi secara *near-real time* untuk diintegrasikan dengan model peramalan fenomena di laut (*operational oceanography*) serta memiliki kualitas data yang lebih baik untuk pengukuran di wilayah pantai, danau dan sungai, dll. Adapun karakteristik ketiga satelit tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Karakteristik Satelit TOPEX/Poseidon, Jason-1 dan Jason-2

Satelit	Topex/Poseidon	Jason-1	Jason-2
Diluncurkan	10 Agustus 1992	7 Desember 2001	20 Juni 2008
Misi	Mengukur tinggi permukaan laut	Mengukur tinggi permukaan laut	Mengukur tinggi permukaan laut
Ketinggian	1336 km	1336 km	1336 km
Inklinasi	66,039° (non-sun synchronous)	66,039° (non-sun synchronous)	66,039° (non-sun synchronous)
Resolusi Temporal	9.9156 hari	9.9156 hari	9.9156 hari
Resolusi Spasial	2 – 20 km	2 – 20 km	2 – 20 km
Akurasi vertikal	< 5 cm	< 5 cm	2,5 cm
Jumlah Lintasan per siklus	254	254	254
Jarak antar lintasan pada ekuator	315 km	315 km	315 km
Frekuensi yang dipancarkan (GHz)	Dual-frequency Topex Ku = 13.575 dan C = 5.3 Poseidon-1 Ku = 13.65	Dual-frequency Poseidon-2 Ku = 13.575 dan C = 5.3	Dual-frequency Poseidon-3 Ku = 13.575 dan C = 5.3

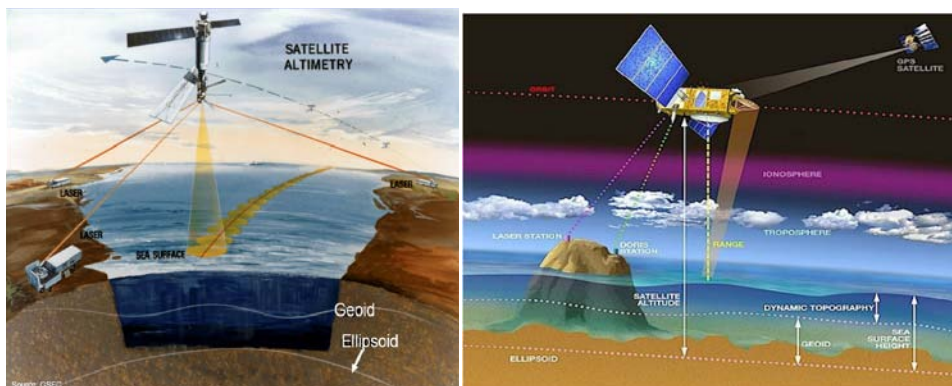
(Sumber: CNES/NASA)

2.2 Prinsip Dasar Satelit Altimetri

Altimetri adalah teknik dasar untuk mengukur ketinggian. Satelit altimetri menggunakan panjang gelombang radar untuk mengukur waktu tempuh bolak-balik pulsa radar dari antenna satelit ke permukaan laut dan kembali lagi ke antenna. Hasil pengukuran satelit altimetri dapat memberikan banyak informasi yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi.

Prinsip dasar pengukuran altimetri adalah satelit altimeter memancarkan gelombang radar dan menganalisa gelombang balik yang dipantulkan oleh permukaan. Ketinggian permukaan ditentukan dari perbedaan antara posisi satelit terhadap suatu permukaan referensi tertentu (pusat bumi atau suatu bidang referensi dari perataan permukaan bumi: bidang elipsoid) dan jarak satelit ke permukaan bumi (dengan menghitung waktu tempuh bolak-balik sinyal radar) (lihat gambar 2.2.).

Selain ketinggian permukaan, dapat juga diukur tinggi gelombang dan kecepatan angin di laut berdasarkan amplitudo, bentuk gelombang balik yang diterima sensor dan koefisien hamburan balik (*backscatter coefficient*) yang dipantulkan oleh kekasaran permukaan obyek. Altimeter memancarkan dua frekuensi, perbandingan dua sinyal terhadap frekuensi yang digunakan dapat diperoleh informasi tingkat curah hujan diatas laut, celah gletser dan sebagainya (Rosmorduc *et al.*, 2009). Adapun kelebihan satelit altimetri ini adalah pengukuran tidak terkendala oleh awan dan beroperasi pada



Gambar 2.2. Prinsip dasar Pengukuran Satelit Altimetri

Prinsip pengukuran tinggi permukaan laut dari satelit altimetry adalah sebagai berikut:

$$SSH = SA - R$$

dimana:

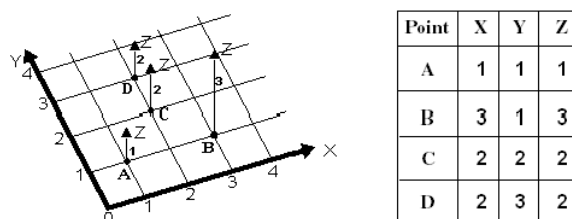
SA = Ketinggian satelit dari bidang referensi (elipsoid)

R = Jarak pengukuran antara permukaan obyek dan satelit

SSH = Ketinggian permukaan obyek dari bidang referensi (elipsoid)

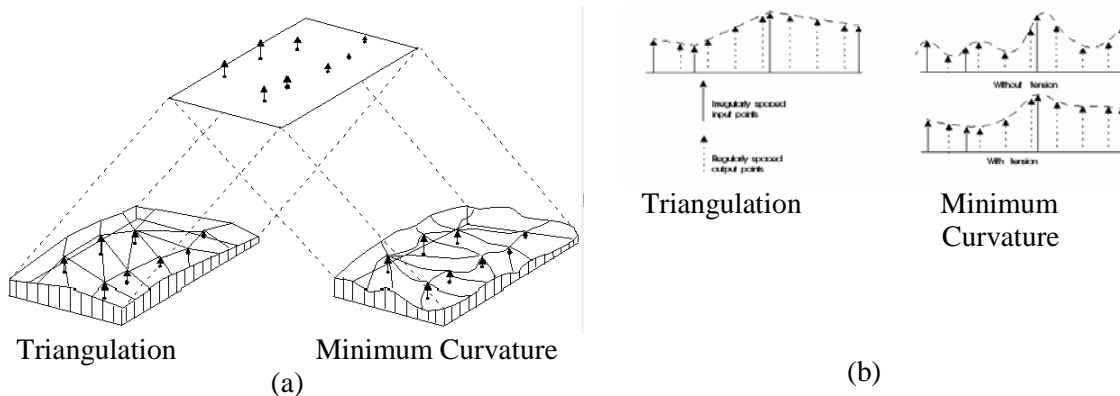
2.3. Interpolasi Minimum Curvature

Gridding adalah suatu metoda untuk membangun suatu *array* (dua dimensi) berangkat dari beberapa nilai *array* yang tersedia, *array* tersebut biasanya dianalogikan dengan sutaru koordinat ruang XYZ dengan nilai *array* equivalent dengan nilai ketinggian suatu permukaan lihat gambar 2.3 dibawah ini. Gambar 2.3. adalah diagram yang menggambarkan bagaimana bagaimana posisi /lokasi tiap titik A,D,C dan D serta nilai yang direpresentasikan dalam koordinat XYZ.



Gambar. 2.3 ilustrasi dari gridding dan nilai serta posisi tiap titik

Dengan demikian array tersebut dapat dipandang sebagai koordinat ruang XYZ dimana Z sebagai nilai ketinggian pada ruang dan X serta Y adalah koordinat. Ada beberapa metoda untuk melakukan interpolasi gridding antara lain: Triangulation dan Minimum Curvature minimum curvature (lihat gambar 2.4 a). Minimum curvature adalah metoda interpolasi yang membangun/menyisipkan nilai suatu titik diantara dua titik pada suatu permukaan (lihat gambar 2.4.b). metoda ini, dapat membangun suatu permukaan secara berulang / repeatitive menggunakan suatu persamaan berorde 2 atau lebih dan pengulangan tersebut akan berhenti hingga limit dari persamaan tersebut convergence.



Gambar.2.4. ilustrasi gridding : metoda gridding (a) dan metoda interpolasi

3. METODOLOGI PEMEROSAN DATA

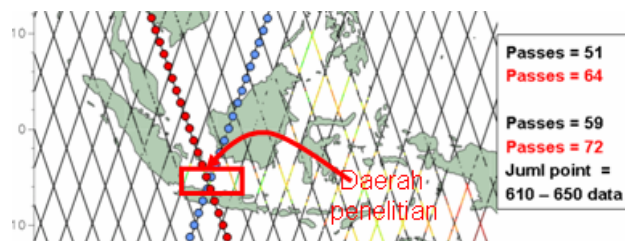
Sabagaimana diketahui bahwa data yang diterima dari satelit altimetry dalam bentuk tabuler dan terdiri dari berbagai informasi baik informasi yang berhubungan dengan posisi satelit maupun informasi data permukaan laut.

Algorithm adalah sebagai berikut :

1. Ekstrak dan kropping data:
 - ☐ Header: jenis satelit, cycle, pass, eq.time, equ.lon
 - ☐ Data: waktu, Lintang, bujur, sea level anomaly (SLA), significant wave height, wind speed
 - ☐ Pemotongan: 100o-120o BT, 0o-10o LS
2. Interpolasi data dengan menggunakan metoda minimum curvature
3. membaca ketinggian permukaan laut pada titik yang sesuai dengan lintang dan bujurnya.
4. Time series analisis data SLA dari tahun 1992 – 2010 dari satelit TOPEX A, JASON 1, JASON 2

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

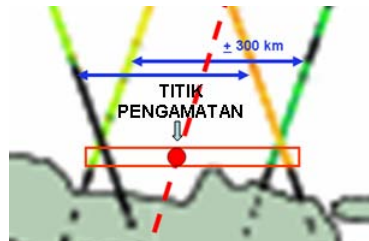
Sebagaimana diketahui bahwa satelit Altimeter mengobservasi permukaan dengan cara mengamati phase dari signal yang direfleksikan permukaan bumi/laut dan waktu perjalanan dari mulai signal di pancarkan sampai signal refleksi signal diterima oleh sensor (travel time) dengan ketelitian yang sangat tinggi. Sehingga satelit hanya mengobservasi daerah yang dibawah track satelit. Lintasan satelit altimeter dapat dilihat pada gambar 4.7 dan gambar 4.8. dibawah ini. Dengan demikian data dari satelit Altimeter berbentuk tabuler (bukan spatial) dan informasinya juga informasi ketinggian permukaan kaut pada titik-titik dibawah track



Gambar. 4.1. Lintasan data satelit TOPEX dan serie JASON

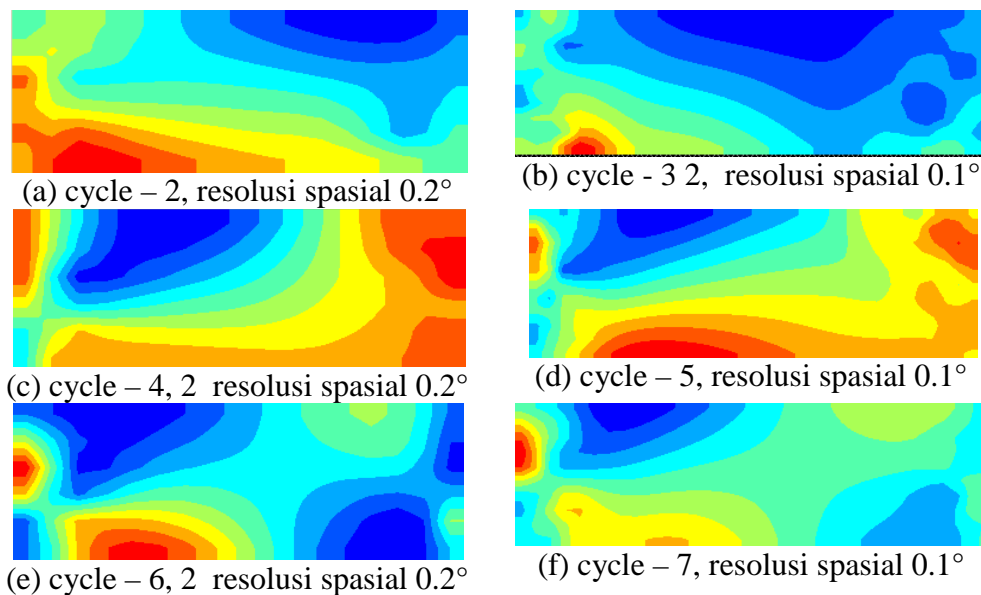
Karena data yang diekstrak berupa data ketinggian muka laut pada titik-titik yang dilewati oleh satelit, maka terjadi kekosongan informasi untuk titik-titik yang berada diantara lintasan satelit (lihat gambar 4.1). Pada gambar 4.1 memperlihatkan bahwa garis yang melintas dari utara ke selatan disebut dengan Passes, sedangkan satelit kembali ke passes awal disebut dengan *cycle* .

Pada gambar 4.2 memperlihatkan bahwa satelit Altimetri yang mengcover daerah penelitian hanya 4 passes, oleh karena itu, data yang diterima harus terlebih dahulu dilakukan *cropping*. Setelah dicropping. Karena jarak antar passes kira-kira 300 km, maka informasi yang diekstrak perlu dilakukan interpolasi, dengan tujuan untuk mengisi kekosongan informasi diantara kedua titik tersebut, sehingga informasi yang dihasilkan mempunyai resolusi spasial 0.2 derajat dan 0.1 serajat (lihat gambar 4.2). Data yang diolah dari tahun adalah data TOPEX/peseidon, Jason 1 dan Jason 2. dan data yang terkumpul dalam kurun waktu 1972-2008 terdapat 363 *cycle* (putaran).



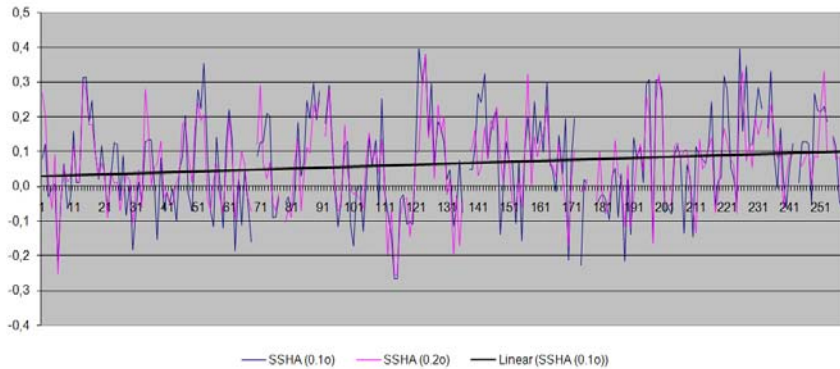
Gambar. 4.2. Track satelit altimetri dan titik pengamatan Pada posisi 110.25 BT dan 6.25 LS

Pada gambar 4.3 memperlihatkan citra hasil ekstraksi dari satelit altimetri yang telah diinterpolasi dengan resolusi spasial 0.2 derajat dan 0.1 derajat (lihat gambar 4.3.a,b,c,d,e,f). Pada gambar gambar 4.3.a,b,c,d,e,f memperlihatkan bahwa warna berkorelasi dengan ketinggian permukaan, warna biru merupakan nilai terendah dengan ketinggian -0.003 meter dan warna merah mempunyai nilai tertinggi 0,2 meter. Dimana warna merah adalah permukaan laut paling tinggi dan warna biru adalah permukaan laut paling rendah. Kalau dilihat perubahannya dari ketinggian permukaan air laut baik muka air laut tertinggi maupun terendah, sepertinya perubahan tersebut mempunyai pola yang tidak tetap



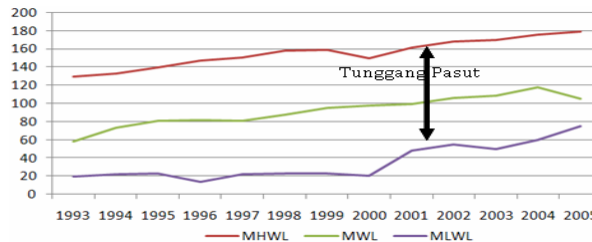
Gambar. 4.3. Citra hasil extraksi data satelit Altimetri yang telah diinterpolasi

Kalau diamati pada titik di posisi 110°15' BT; 6°15' LS dari tahun 2002 sampai dengan 2009, maka akan diperoleh nilai ketinggian muka laut seperti yang tergambar pada gambar 4.4. Pada gambar 4.4. memperlihatkan bahwa fluktuasi ketinggian muka laut baik dengan resolusi spasial 0.1 maupun 0.2 derajat tidak mempunyai pola yang tetap, akan tetapi mempunyai kecenderungan tambah tahun tambah meningkat yang disebut ketinggian muka laut anomali yang disingkat dengan SSHA (Sea Surface Hight Anomali). SSHA digambarkan dengan garis lurus yang mempunyai slope positif. Dengan demikian, dapat dihitung bahwa tinggi muka laut dari tahun 2002 sampai dengan tahun 2009 mempunyai kenaikan sebesar 0.08 meter atau sekitar 0.08 meter. Sehingga dapat dihitung kenaikan rata-rata muka air laut anomali (SSHA) di semarang sebesar 0.08/7 tahun= 11.1 mili meter



Gambar 4.4. Informasi Rata-Rata Tinggi Muka Laut Relatif dari Satelit Jason-1 2002-2009 pada Posisi 110°15' BT; 6°15' LS, dimana warna biru dan violet berturut-turut adalah SSH dengan resolusi 0.1 dan 0.2 derajat.

Berdasarkan data lapangan dari Dinas kelautan Semarang yang mengukur langsung pasang surut (pasut) dari tahun 1993 sampai dengan 2005, memperlihatkan bahwa perbedaan pasang dengan surut (tunggang pasut) rata-rata selama 11 (sebelas) tahun sebesar 120 cm (1,2 m) (lihat gambar 4.5).



Gambar. 4.5. Informasi Kisaran Pasang Surut Pesisir Semarang
 MHWL : Mean Highest Water Level (Rata-rata Air Pasang Tertinggi),
 MWL : Mean Water Level (Rata-rata Air Pasang-Surut), MLWL : Mean
 Lowest Water Level (Rata-rata Air Surut Terendah) ,Range : Tunggang
 Pasut/Pasang Surut

Dengan membandingkan kedua data diatas (gambar 4.4 dengan gambar 4.5) memperlihatkan adanya ekuivalensi bentuk grafik yaitu kecenderungan kenaikan permukaan laut seperti yang terlihat dari data tinggi muka laut relatif SSHA (*Sea Surface Hight Anomali*) dari satelit Jason-1. Kecenderungan kenaikan muka laut terlihat dari ketiga kedudukan permukaan laut akibat pasang surut yaitu dari Rata-rata Air Pasang Tertinggi, Rata-rata Air Pasang-Surut dan Rata-rata Air Surut Terendah. Fakta ini memperkuat bahwa hasil pengukuran satelit dapat digunakan dalam penentuan ketinggian permukaan laut, namun secara kuantitatif nilai hasil pengukuran dapat bervariasi tergantung dari masing-masing faktor yang mempengaruhinya (lokasi pengukuran, instrumen yang digunakan dan faktor-faktor lain).

Dengan melihat grafik pada Gambar 4.4 hasil ini merupakan perbedaan nilai kuantitatif dengan hasil pengukuran stasiun pasut disebabkan ketidaksamaan rentang waktu data yang digunakan, lokasi pengukuran, posisi titik ekstraksi data SSHA dari satelit altimetri terhadap posisi stasiun pasut

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data dari satelit altimetri diperoleh rata-rata kenaikan muka laut relatif 11,1 mm/tahun dari satelit Jason-1A (2002-2009), hal ini ekuivalent dengan data pengukuran tunggang pasut rata-rata di pesisir Semarang dari tahun 1993-2005 sebesar 120 cm.

Adanya perbedaan hasil perhitungan rata-rata kenaikan muka laut relatif dengan beberapa penelitian sebelumnya dimungkinkan karena perbedaan data dan rentang waktu data yang digunakan. Perhitungan rata-rata tinggi muka laut relatif dapat dilakukan dengan metode gridding *minimum curvature* dan software "*Ekstaraksi Data Altimeter*".

Perlu adanya verifikasi dan validasi lapangan terhadap parameter-parameter hasil pengolahan dan analisis untuk mengetahui validitas informasi yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. <http://www.aviso.oceanobs.com/> (akses bulan Maret 2009).
2. <http://www.podaac.jpl.nasa.gov/> (akses bulan Maret 2009).
3. <http://www.envisat.esa.int/> (akses bulan April 2009).
4. <http://sealevel.colorado.edu/maps.php>. CCAR, 2009. "*Sea Level Change*". Colorado Center for Astrodynamics Research, University of Colorado at Boulder website: USA
5. Data satelit altimetri dari AVISO, dalam format NetCDF. Tersedia data *sea level anomaly*, *absolute dynamic topography*, angin, dan gelombang. Alamat situs: http://www.aviso.oceanobs.com/html/donnees/welcome_uk.html.
6. Anindya Wirasatriya A., A. Hartoko., Suripin., 2006. "*Kajian Kenaikan Muka Laut Sebagai Landasan Penanggulangan Rob Di Pesisir Kota Semarang*". Jurnal Pasir Laut, Vol. 1, No.2, Januari 2006 : 31-42.
7. Rosmorduc V., J. Benveniste, O. Lauret, C. Maheu, M. Milagro, dan N. Picot. 2009. "*Radar Altimetry Tutorial*". Editor: J. Benveniste and N. Picot. ESA-CNES. April 2009. diunduh dari: <http://www.altimetry.info>.