

Aplikasi Data Penginderaan Jauh untuk Menentukan Indeks Kerentanan Pantai terhadap Kenaikan Air Laut Studi Kasus: Kota Semarang

Muchlisin Arief, Teguh Prayogo, Gatot Winarso, dan Maryani Hartuti

Abstrak

Perubahan iklim diakibatkan oleh adanya perubahan variabel iklim dalam waktu puluhan tahun. Perubahan iklim terjadi karena meningkatnya temperatur bumi global, yang disebabkan oleh kenaikan konsentrasi gas-gas karbon dioksida (CO_2) dan metana (CH_4) di atmosfer. Pemanasan global tersebut memicu antara lain: mencairnya salju di kedua kutub dan kenaikan muka laut. Beberapa indikasi dari meningkatnya muka air laut antara lain adalah garis pantai yang makin naik, sedangkan indikasi adanya kenaikan muka air laut adalah kawasan pantai yang makin berkurang, hilangnya sebagian kawasan hutan bakau serta terjadinya abrasi dan sedimentasi. Pantai utara Kota Semarang merupakan wilayah yang memiliki tingkat kerentanan cukup tinggi terhadap kenaikan muka air laut karena bentuk pantainya landai juga terdiri atas daratan aluvial. Pada paper ini diterangkan kegunaan data penginderaan jauh guna menentukan indeks kerentanan pantai atau Coastal Vulnerability Index (CVI) yang diturunkan dari data satelit altimetri, Landsat, dan SRTM. Berdasarkan perhitungan

dari data satelit altimetri, kenaikan muka air laut selama 7 tahun adalah 70 mm atau sebesar 10 mm/tahun, sedangkan berdasarkan perhitungan dari CVI menggunakan data satelit Landsat, wilayah yang sangat rentan terhadap kenaikan air laut di Kota Semarang yaitu Kecamatan Tugu dan Kecamatan Genuk.

Kata Kunci: *Landsat, altimetri, Indeks Kerentanan Pantai, kenaikan muka air laut*

Abstract

Global climate change caused by the change in climate variables over a period of decades or more. Climate change is happening because the earth's rising global temperatures, caused by rising concentrations of the gases carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) in the atmosphere. Global warming triggers such as: the melting of snow in both polar and sea level rise. While the indication of a rise in water level laiut is a diminishing coastal areas, loss of mangrove forests and the occurrence of abrasion and sedimentation. North coast of Semarang Municipality is a region that has a fairly high level of vulnerability to sea level rise due to the form of beach ramps also consists of alluvial plain. This paper described the application of remote sensind data to determining Vurnability Coastal vulnerability index (CVI) which is derived from the data: satellite altimeter, Landsat, and SRTM. Based on calculations from satellite altimetry data, sea level rise during 2002–2009 (7 years) is 70 mm or around 10 mm/years, while based on the calculation of CVI using Landsat satellite data, the region most vulnerable to rising sea water in the city of Semarang is the district Tugu and the district Genuk

Keywords: *Landsat, Altimetri, coastal Vurneability Index, sea level rise*

1. Pendahuluan

Pemanasan global (*global warming*) adalah proses peningkatan suhu atmosfer, laut, dan daratan bumi. Suhu rata-rata global permukaan bumi telah meningkat 0.74 ± 0.18 °C (1.33 ± 0.32 °F) selama seratus tahun terakhir. Hal ini diperkirakan akan menyebabkan perubahan-perubahan lainnya, seperti intensitas fenomena cuaca yang ekstrem, perubahan jumlah dan pola presipitasi dan naiknya permukaan laut (*Sea Level Rise/SLR*), kehutanan, dan pertanian (lihat Gambar 1.1). Kenaikan muka laut merupakan salah satu fenomena yang disebabkan oleh pemanasan global, dimana pemanasan global tersebut diakibatkan oleh peningkatan suhu global dari tahun ke tahun karena terjadinya efek rumah kaca. Peningkatan temperatur udara tersebut menyebabkan pemuain air laut dan pencairan es di kutub sehingga permukaan laut akan naik serta menimbulkan ancaman, terutama bagi wilayah yang terletak di pinggir pantai atau wilayah/kawasan pesisir (<http://www.climate.org>). Hal ini tidak hanya negara-negara kepulauan kecil yang perlu khawatir tentang kenaikan permukaan air laut. Kenaikan muka air laut meningkatkan risiko banjir, baik sementara maupun permanen lahan pesisir. Sekitar 23% dari populasi dunia tinggal di wilayah pesisir dekat dengan kepadatan penduduk sekitar 3 kali lebih tinggi dari rata-rata global (<http://www.greenpeace.org>).

Kawasan pesisir memiliki potensi yang besar dan penting bagi manusia dan pengembangan wilayah. Wilayah ini merupakan daerah yang paling banyak dieksploitasi untuk berbagai tata guna, seperti kegiatan perikanan, kawasan pemukiman, kawasan industri, dan wisata. Sekitar 60–80% populasi dunia bermukim dan beraktivitas di pesisir (± 50 km dari pantai). Perubahan kondisi fisik pantai akibat kenaikan muka air laut akan memengaruhi kelangsungan hidup penduduk di kawasan tersebut (<http://www.buzzle.com>). Kegiatan lain di kawasan pantai yang akan terganggu, antara lain pelabuhan, gudang, tempat pelelangan ikan, tempat rekreasi, terumbu karang, serta budidaya ikan (tambak), dan sebagainya.

Dampak kenaikan muka laut terhadap kawasan pesisir di antaranya; bertambahnya erosi pantai dan meningkatnya banjir yang dipicu oleh badai, meluasnya inundasi/penggenangan pantai serta kualitas air permukaan dan karakteristik air tanah berubah.

Terkait dengan hal ini, negara-negara maju yang kaya akan menyediakan dana yang sangat besar untuk melindungi daerah pantainya, sedangkan negara-negara miskin mungkin hanya dapat melakukan evakuasi dari daerah pantai. Indonesia adalah salah satu dari negara-negara di Asia yang rentan terhadap dampak kenaikan muka air laut. Hasil kajian para ahli memperkirakan bahwa apabila diasumsikan tidak ada upaya adaptasi dan tidak terjadi perubahan jumlah populasi penduduk Indonesia, maka kenaikan muka air laut setinggi 1 meter saja dapat menyebabkan sekitar 2 juta orang harus mengungsi dari rumahnya (<http://www.greenpeace.org>).



Gambar 1.1 Potensi dampak perubahan iklim terhadap kehidupan

Sumber: <http://www.climate.org>.

Aplikasi Data Penginderaan Jauh untuk Menentukan Indeks Kerentanan Pantai terhadap Kenaikan Air Laut Studi Kasus: Kota Semarang

Berdasarkan hasil pemantauan Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) dan Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal), kenaikan muka air laut di Indonesia rata-rata 5–10 mm per tahun. Kenaikan permukaan air laut 5–10 mm per tahun itu cukup kecil, tetapi dalam hitungan waktu puluhan tahun akan banyak berarti dalam menimbulkan kerusakan lingkungan pesisir. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Asian Development Bank, dampak kenaikan muka air laut dan banjir diperkirakan akan memberikan gangguan yang serius terhadap wilayah-wilayah, seperti Pantai Utara Jawa, bagian timur Sumatera, bagian Selatan Kalimantan, bagian Barat Daya Sulawesi, dan beberapa tempat pada pesisir Barat Papua seperti Kabupaten dan Kota Sorong, Teluk Bintuni, dan Merauke.

Beberapa indikasi dari meningkatnya muka air laut antara lain garis pantai yang makin naik, kawasan pantai yang makin berkurang, hilangnya sebagian kawasan hutan bakau serta terjadinya abrasi. Dampaknya bagi Indonesia adalah pada 2030 permukaan air laut akan bertambah antara 8 sampai 29 cm dari permukaan air laut saat ini. Akibatnya pada 2030 Indonesia diperkirakan akan kehilangan sekitar 2.000 pulau dan bila ditarik garis batas dua mil laut, luas wilayah Indonesia akan berkurang, menyusul menyusutnya panjang pantai di seluruh Indonesia (Murjaya, 2008 *dalam* Kurniadi 2009).

Dihadapkan dengan ancaman tersebut maka diperlukan usaha-usaha untuk mengurangi dampak dari masalah kenaikan muka air laut ini. Salah satu upaya penting yang dapat dilakukan, di antaranya mengurangi masalah efek rumah kaca sehingga dapat memperlambat laju pemanasan global. Beberapa aksi nyata yang dapat dilakukan antara lain: membudayakan gemar menanam pohon, mewajibkan penanaman kembali bibit pohon yang sama dengan jumlah yang lebih banyak setelah melakukan penebangan, tidak membuka lahan dengan cara membakar, hemat energi, penggunaan alat transportasi umum, dan kendaraan yang berbahan bakar ramah lingkungan, serta mengurangi emisi gas buangan.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah mengupayakan adanya sinergi antara kepentingan ekonomi dengan lingkungan dalam pemanfaatan ruang wilayah pesisir.

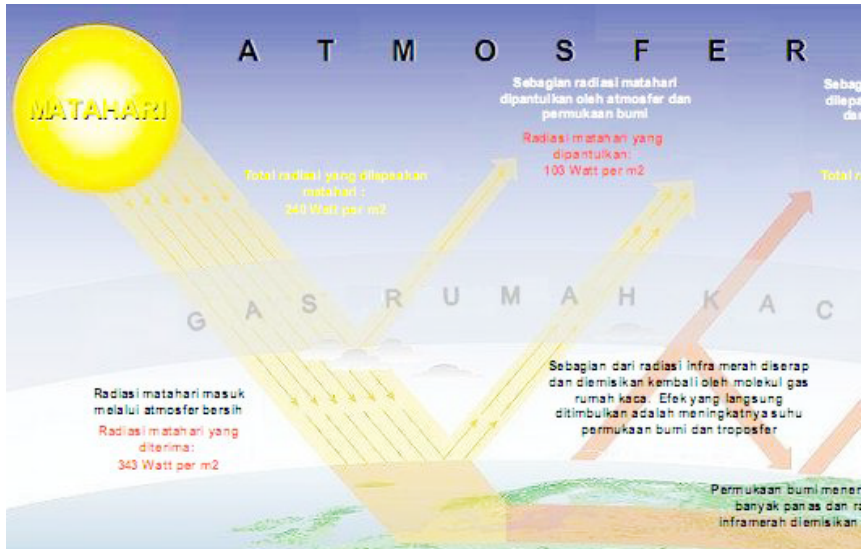
Tujuan dari penelitian ini adalah 1). mengembangkan metode pengolahan data penginderaan jauh untuk penentuan parameter terkait CVI (*Coastal Vulnerability Index*) terhadap SLR (*Sea Level Rise*), 2). mengembangkan analisis dampak kenaikan muka air laut terhadap sumber daya pesisir. Sementara itu, sasarannya kegiatan ini yaitu: 1). tersedianya model pengolahan data inderaja untuk penentuan parameter kenaikan muka air laut terhadap sumberdaya pesisir, 2). tersedianya hasil analisis dampak kenaikan muka air laut terhadap wilayah pesisir.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Dampak Pemanasan Global

Pemanasan global pada dasarnya merupakan fenomena peningkatan suhu pada lapisan atmosfer, air laut dan daratan. Aktivitas manusia seperti pembakaran bahan kayu, batubara, minyak, gas, dan gasoline telah menyebabkan peningkatan konsentrasi selimut gas di atmosfer (gas rumah kaca) sehingga melebihi konsentrasi yang seharusnya. Hal ini menyebabkan radiasi yang dipantulkan bumi terhambat sehingga radiasi terakumulasi di atmosfer yang mengakibatkan suhu rata-rata di seluruh permukaan bumi dan laut meningkat (lihat Gambar 2.1).

Aplikasi Data Penginderaan Jauh untuk Menentukan Indeks Kerentanan Pantai terhadap Kenaikan Air Laut Studi Kasus: Kota Semarang



Gambar 2.1 Proses pemanasan global/perubahan iklim dunia (Sukma, 2011)

Perubahan suhu atmosfer menyebabkan kondisi fisis atmosfer tidak stabil dan mengakibatkan terjadinya anomali parameter cuaca yang akan berlangsung cukup lama serta akan menyebabkan perubahan iklim dunia. Menurut IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) badan yang dibentuk WMO (*World Meteorological Organization*) dan UNEP (*The United Nation of Environment Program*) bahwa suhu rata-rata bumi meningkat sekitar 5 °C (derajat Celcius) dalam kurun waktu 100 tahun terakhir. Laju kenaikan suhu bumi ini, bahkan mencapai rekor tertinggi pada 10 tahun terakhir. Peningkatan suhu permukaan bumi telah menyebabkan pemuain air laut dan mencairnya salju abadi yang menyebabkan naiknya permukaan air laut (*sea level rise*) dan tenggelamnya beberapa wilayah pesisir.

Wilayah pesisir adalah daerah yang akan mengalami dampak buruk dari fenomena kenaikan muka air laut secara global ini. Secara teoretis kenaikan paras muka air laut akan menggenangi sebagian wilayah pesisir, sehingga menyebabkan air laut ini terus merangsek ke arah daratan. Secara umum, kenaikan muka air laut akan mengakibatkan dampak di wilayah pesisir di antaranya: meningkatnya frekuensi dan intensitas banjir, perubahan arus laut serta meluasnya kerusakan mangrove, dan meluasnya intrusi air laut. Dampak lain adalah meningkatnya abrasi pantai, menurunnya kualitas air permukaan, berkurangnya lahan produktif di sektor pertanian, bekunya aktivitas industri dan bisnis yang diakibatkan oleh kerusakan/terganggunya infrastruktur serta dampak serius lainnya adalah berkurangnya atau hilangnya kawasan pantai maupun pulau-pulau kecil (Pattiasina, 2009). Di samping itu, apabila intrusi air laut makin jauh ke arah hulu sungai, salinitas air di wilayah pesisir yang biasanya payau akan bertambah asin. Kondisi ini tentu akan berpengaruh pada ekosistem hutan mangrove dengan terus melakukan migrasi ke arah hulu. Masalah baru segera muncul jika tempat migrasi hutan mangrove ini sudah mencapai ke lokasi permukiman penduduk sehingga tidak mempunyai ruang lagi untuk melakukan migrasi (mangrove akan mengalami kepunahan). Hilangnya hutan mangrove akan menimbulkan kerugian ekonomi, hal ini mengingat fungsi hutan mangrove sebagai tempat pemijahan bagi udang dan beberapa jenis ikan, serta fungsinya sebagai pelindung pantai dari abrasi.

Untuk mengantisipasi ancaman penggenangan lahan oleh air laut akibat kenaikan muka air laut di wilayah pesisir, ada tiga alternatif yang dapat ditempuh, yaitu pola perlindungan (*protective*), pola akomodatif (*accommodative*), dan pola mundur (*retreat*). Pola perlindungan adalah upaya untuk mitigasi dampak kenaikan muka air laut dengan cara membuat bangunan pantai atau merehabilitasi vegetasi pantai, terutama mangrove yang bertujuan melindungi pemukiman, daerah wisata, daerah industri, infrastruktur lain-lain terhadap penggenangan oleh air laut. Pola akomodatif adalah upaya penyesuaian yang dapat dilakukan dengan cara modifikasi model bangunan di wilayah pantai agar aman dari genangan air

laut, terutama pada saat kondisi air pasang dan dapat juga dilakukan penyesuaian dalam pola penggunaan lahan. Sebagai contoh, lahan yang sebelumnya digunakan sebagai lahan pertanian atau budidaya lainnya, dapat dikonversi menjadi lahan-lahan untuk budidaya perikanan. Pola reatret adalah upaya untuk merelokasikan permukiman penduduk, industri dan daerah pertanian ke tempat lain yang lebih tinggi untuk menghindari penggenangan oleh air laut.

2.2 Satelit Altimetri

Satelit altimetri adalah satelit dengan misi mengukur tinggi muka laut yang beroperasi pada ketinggian 1.336 km, dengan inklinasi 66.039° (*non-sun synchronous*), menggunakan panjang gelombang radar untuk mengukur waktu tempuh bolak-balik pulsa radar dari antena satelit ke permukaan laut dan kembali lagi ke antena.

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).

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 berbagai cuaca baik siang maupun malam hari.

Saat ini ada 4 satelit altimetri yang beroperasi, yaitu 2 satelit yang sama 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. Jason-1 memiliki orbit baru di antara kedua orbit satelit TOPEX/Poseidon dan Jason-2. Jason-1 dan Jason-2 merupakan satelit tandem yang bertujuan mengamati tinggi permukaan laut dan sebagainya dengan beda waktu (*time lag*) akusisi 5 hari dan memiliki ketelitian masing masing 5 hingga 2,5 cm. 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). ERS-2 memiliki resolusi temporal dan jarak antar lintasan yang sama dengan Envisat namun masa operasinya lebih pendek.

2.3 *Variable Vulnerability Index*

Indeks Vulnerability Index (CVI) dapat dihitung dengan menggunakan 6 parameter (Pendleton *et al.*, 2004; Shaw *et al.*, 1998; dan Gornitz *et al.*, 1994), yang dapat dikuantifikasi. Metode ini menghasilkan data numerik yang tidak dapat diterjemahkan secara langsung disamakan efek fisik akibat kenaikan muka air laut. Keenam paramater tersebut dapat ditabelkan sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Aplikasi Data Penginderaan Jauh untuk Menentukan Indeks Kerentanan Pantai
terhadap Kenaikan Air Laut Studi Kasus: Kota Semarang

Tabel 2.1 Ranking variabel CVI

Variable	Sangat Rendah	Rendah	Moderate	Tinggi	Sangat Tinggi
Klas CVI	1	2	3	4	5
Geomorphology	Batuan, karang	Karang terjal	Glacial drift	Pantai berbatu (cobble beach)	Pantai berpasir
Shoreline Erosion/accretion	>20	1.0–2.0	-1.0–1.0	-2.0–(-1.0)	<-2.0
Coastal slope (%)	>1.2 >1.9	1.2–0.9 1.9–1.3	0.9–0.6 1.3–0.9	0.6–0.3 0.9–0.6	<0.3 <0.6
Relative sea-level change	<1.8	1.8–2.5	2.5–3.0	3.0–3.4	>3.4
Mean wave height (m)	<0.55 <1.10	0.55–0.85 1.1 2.0	0.85–1.05 2.0–2.25	1.05–1.25 2.25–2.6	>1.25 >2.6
Mean tide range	>6.0	4.0–6.0	2.0–4.0	1.0–2.0	<1.0

Sumber: warna hitam menurut: Pendleton *et al.*, 2004
warna merah menurut: Gornitz *et al.*, 1994

Tabel di atas menunjukkan tanda lebih besar (>) berarti bahwa pengaruh *sea level rise* terhadap pantai tersebut sangat sedikit, bahkan mungkin tidak ada pengaruhnya. Sebaliknya, mungkin ada beberapa daerah di mana pengaruh dari kenaikan permukaan laut bisa menjadi yang terbesar atau lebih kecil dari indeks tersebut.

Setelah setiap bagian dari garis pantai diberi nilai risiko yang didasarkan masing-masing variabel data spesifik, kemudian indeks kerentanan pesisir dihitung sebagai akar kuadrat dari rata-rata geometris, atau akar kuadrat dari produk dari variabel peringkat dibagi dengan jumlah variabel. persamaan untuk menghitung indeks kerentanan pantai dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\sqrt{(A+B+C+D+E+F)}}{6}$$

Di mana : A= Geomorphology, B=Historic shoreline change,
C= Coastal Slope, D= Relative sea-level rise rate,
E= Mean sig. wave height, F= Mean tidal range

3. Metode Penelitian

3.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Citra satelit Landsat Multi-temporal (MSS: 28 September 1972 dan TM: 28 Juni 1991, 28 April 2001 dan Landsat TM 26 Juni 2008)
- Data *Sea Level Anomaly* dari satelit Altimeter Jason 1 A: 17 Januari 2002 – 19 Januari 2009)
- Data DEM-SRTM (2003)
- Informasi tunggang Pasang Surut (1993-2005)

3.2 Metode Penelitian

Pengolahan untuk mengetahui dampak SLR dibagi dalam 2 tahap, tahap pertama adalah pengolahan awal (*preprocessing*) dan tahap kedua adalah pengolahan data untuk dijadikan informasi. Pengolahan tahap ke dua ini dapat dilaksanakan secara digital dan analog.

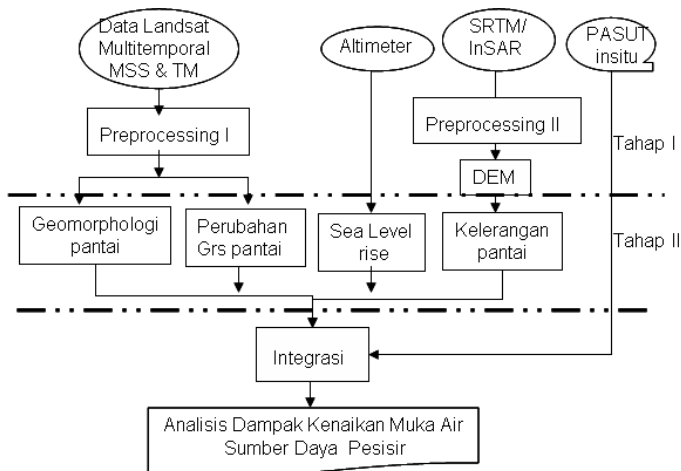
Tahap pertama pengolahan awal data Landsat yang meliputi proses koreksi geometrik dan resampling (penyamaan resolusi spasial citra menjadi 30 meter). Kedua pengolahan tersebut bertujuan agar data dapat diintegrasikan dengan peta administrasi wilayah dan informasi MSS yang

Aplikasi Data Penginderaan Jauh untuk Menentukan Indeks Kerentanan Pantai terhadap Kenaikan Air Laut Studi Kasus: Kota Semarang

mempunyai resolusi spasial 80 meter sama dengan resolusi spasial TM 30 meter. Selanjutnya, koreksi geometrik juga dilakukan terhadap data SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*).

Tahap kedua, pengolahan lanjut dan analisis data secara analog dari Citra Landsat dilakukan untuk menghasilkan informasi garis pantai, tutupan lahan/*land cover* dan geomorfologi. Sedangkan dari data satelit Altimeter dan SRTM-DEM (*Digital Elevation Model*) diproses secara digital untuk menurunkan nilai kenaikan muka air laut dan ketinggian lahan. Pengolahan data pasang surut (pasut) tidak dilakukan karena informasi kisaran tunggang pasut telah diperoleh dari Dinas Kelautan dan Perikanan Kota Semarang.

Terakhir, tahap analisis yaitu mengintegrasikan seluruh informasi yang diperoleh dan dilakukan *scoring* (pembobotan) untuk menurunkan kerentanan pantai akibat SLR. Secara umum alur pengolahan dan analisis data ditunjukkan dalam diagram alir di bawah ini (lihat Gambar 3.1).

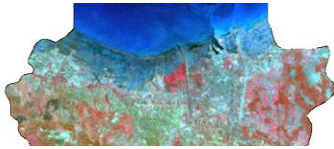


Gambar 3.1 Diagram alir pengolahan data untuk mengetahui dampak SLR terhadap sumber daya pesisir

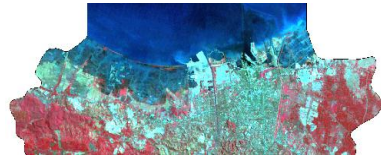
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Informasi Garis Pantai

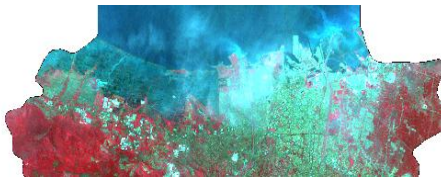
Informasi garis pantai diperoleh dari citra Landsat multi temporal (28 September 1972, 28 Juni 1991, 28 April 2001, dan 26 Juni 2008). Sebelumnya, keempat citra dikoreksi geometrik untuk menyamakan posisi dan lokasi geografisnya sehingga tidak terjadi pergeseran yang dapat menyebabkan kesalahan analisis perubahan garis pantai. Selain itu dilakukan *resampling* citra untuk menyamakan resolusi spasial antara citra Landsat MSS dan TM. Hasil koreksi dan *resampling* keempat citra tersebut disajikan pada Gambar 4.1 di bawah ini.



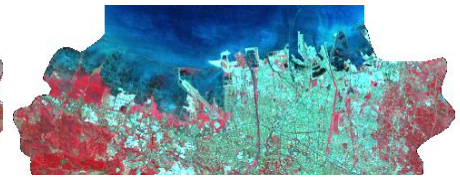
(a) Landsat-MSS RGB 421 tanggal 28 September 1972



(b) Landsat TM RGB 432 tanggal 28 Juni 1991



(c) Landsat TM RGB 432 tanggal 28 April 2001



(d) Landsat TM RGB 432 tanggal 26 Juni 2008

Gambar 4.1 Citra Landsat multitemporal untuk pengolahan dan analisis dampak kenaikan air laut terhadap sumber daya pesisir

Aplikasi Data Penginderaan Jauh untuk Menentukan Indeks Kerentanan Pantai terhadap Kenaikan Air Laut Studi Kasus: Kota Semarang

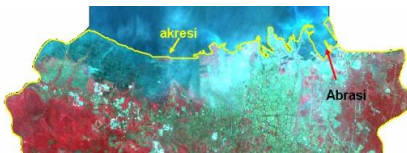
Kemudian, data tersebut dilakukan digitasi secara manual, untuk melihat perubahan garis pantainya, Hasil digitasi yang disuperposisikan keempat data Landsat tersebut di atas dapat dilihat pada gambar 4.2. di bawah ini.



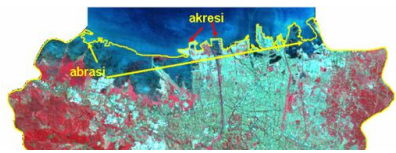
(a) Hasil digitasi garis pantai citra Landsat-MSS RGB 421 tanggal 28 September 1972



(b) Hasil digitasi garis pantai citra Landsat TM RGB 432 tanggal 28 Juni 1991



(c) Hasil digitasi garis pantai citra Landsat TM RGB 432 tanggal 28 April 2001



(d) Hasil digitasi garis pantai citra Landsat TM RGB 432 tanggal 26 Juni 2008

Gambar 4.2 Hasil digitasi garis pantai citra Landsat multi-temporal untuk pengolahan dan analisis dampak kenaikan air laut terhadap sumber daya pesisir

Pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa perubahan garis pantai terjadi di sepanjang pantai kota Semarang (Kecamatan Tugu/Desa Mangkang Wetan, Semarang utara/Desa Tanjung Mas dan plamongan serta Genuk/desa Pedurungan). Secara detail, perubahan garis pantai dari keempat kecamatan tersebut di atas, dapat dilakukan dengan

mengsuperposisikan hasil digitasi, kemudian dihitung luasan perubahannya serta dianalisis penutup lahannya. Hasil proses tersebut diatas dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Analisis rata-rata luas tutupan lahan yang diakibatkan oleh perubahan garis pantai dari tahun 1972 sampai dengan tahun 2008

Lokasi	Perubahan garis pantai							Rata-rata	Penutup lahan
	1972	1991		2001		2008			
	0	+	-	+	-	+	-		
Kec Genuk, Kec. Semarang Utara	0	45	-	-	-	15	-		Kawasan Industri
Kec. Tugu	0	121	-	-	282	-	96		Tambak

Tanda ‘+’ adalah Akresi dan tanda ‘-’ adalah abrasi

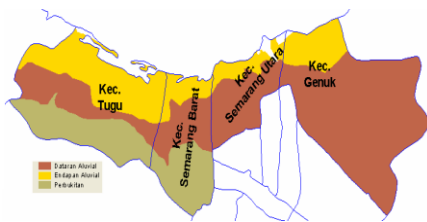
Berdasarkan analisis penggunaan lahannya (*land use*), maju mundurnya garis pantai dapat dilihat pada Tabel 4.1 yang memperlihatkan bahwa perubahan garis pantai (maju mundurnya /abrasi maupun akresi) pantai diakibatkan oleh perubahan penggunaan lahan, dimana proses akresi/majunya garis pantai disebabkan oleh penambahan tambak atau kawasan industri atau perluasan Pelabuhan Tanjung Mas, sedangkan mundurnya garis pantai diakibatkan oleh pengikisan pantai oleh gelombang air laut.

4.2 Informasi Geomorfologi dan Kelerengan Pantai

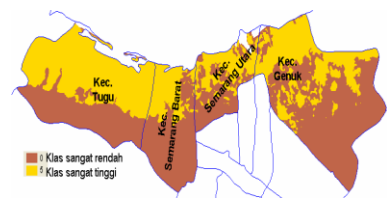
Informasi Geomorfologi pantai dilakukan dengan proses digitasi manual dari data landsat dapat dilihat gambar 4.3(a) di mana kawasan Pantai Semarang terdiri atas daratan aluvial (daratan yang dibentuk hasil proses sedimentasi) di mana material yang terbentuk bisa diakibatkan oleh air sungai atau oleh proses pasang surut air laut. Dengan demikian daratan ini sangat yang dipengaruhi oleh proses pasang surut laut sehingga bila

Aplikasi Data Penginderaan Jauh untuk Menentukan Indeks Kerentanan Pantai terhadap Kenaikan Air Laut Studi Kasus: Kota Semarang

terjadi kenaikan air, daratan ini sangat mudah sekali terkena dampaknya.. sementara kelerengan pantai yang diturunkan dari data SRTM dapat dilihat pada gambar 4.3(b) di mana kelerengan/kemiringan pantai Kota Semarang adalah datar (nol) dan lebih kecil dari 0.3 (nilai 5) yang berarti pantai diseluruh Semarang cukup landai (tidak curam) sehingga kalau terjadi kenaikan air laut maka kenaikan tersebut akan berdampak/berpengaruh besar terhadap wilayah tersebut.



Gambar 4.3(a)
Geomorfologi (Bentuk Lahan) yang diturunkan dari data Landsat



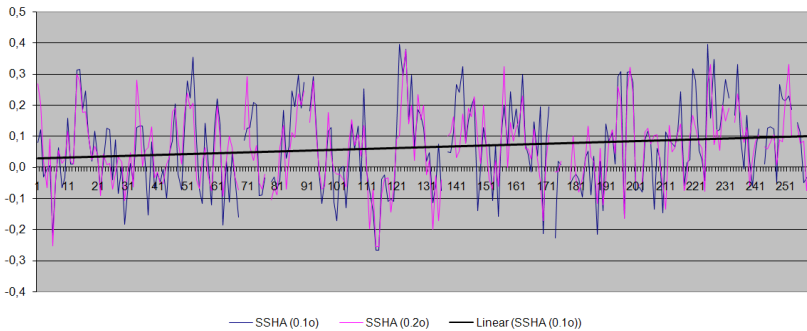
Gambar 4.3(b)
Kemiringan/kelerengan pantai yang diturunkan dari data satelit SRTM kelerengan lebih kecil dari 0,3 adalah pantai tersebut datar

4.1. Informasi Ketinggian Permukaan Air Laut dan Pasang Surut

Sebagaimana diketahui bahwa satelit Altimeter mengobservasi permukaan dengan cara mengamati *phase* dari signal yang direfleksikan permukaan bumi/laut dengan mengamati waktu perjalanan signal dari mulai di pancarkan ke permukaan bumi, kemudian sampai signal reflektansi tersebut diterima oleh sensor (*travel time*) dengan ketelitian

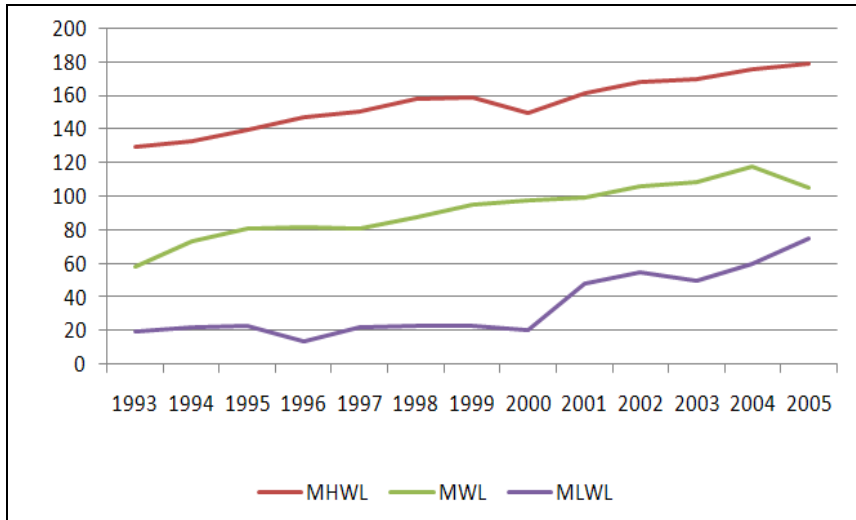
yang sangat tinggi. Dengan demikian, satelit hanya mengobservasi daerah yang di bawah *track satelit*. Lintasan satelit altimeter dapat dilihat pada gambar 4.4(a).

Gambar 4.4(a) memperlihatkan bahwa kenaikan air laut selama 7 tahun (dari tahun 2002 sampai dengan 2009) adalah $(0,4 - (-0,3)) / 7 = 0,1$ cm (kenaikan air laut sebesar 10 mm). Hasil perhitungan dari satelit altimetri ini hampir sesuai dengan data hasil pengukuran/pengamatan pasang surut lapangan yang dilakukan oleh Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP) Kota Semarang (lihat Gambar 7[b]). Hal ini sesuai dengan data dari IPCC (pada tahun 2007) kenaikan muka air laut dunia diperkirakan antara 0,6–1,9 cm.



Gambar 4.4(a) Informasi tinggi muka laut pengolahan data satelit Jason dari tahun 2002 sampai dengan 2009 (posisi 110,25 BT; 65,25LS)

Aplikasi Data Penginderaan Jauh untuk Menentukan Indeks Kerentanan Pantai terhadap Kenaikan Air Laut Studi Kasus: Kota Semarang



Gambar 4.4(b) Informasi kisaran pasang surut Kota Semarang

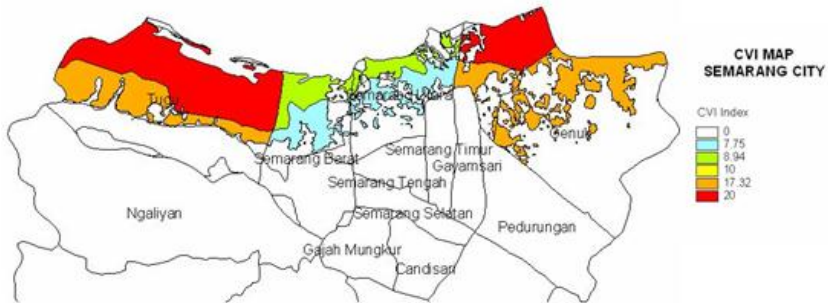
Catatan: MHWL: *Mean Highest Water Level*, MWL: *Mean Water Level*,
MLWL: *Mean Lowest Water Level*

Nilai yang diperoleh dari hasil pengukuran hampir sejalan dengan nilai pengamatan pasang surut air laut di kota Semarang yang dilakukan oleh Dinas Kelautan dan Perikanan Kota Semarang dari 1992 s/d 2005 sebesar 2,4 cm (lihat Gambar 4.4b).

4.3 Analisis Variabel dan Penentuan CVI

Informasi menghitung Indeks Kerentanan Pantai (*Coastal Vulnerability Indeks/CVI*) diperoleh dengan menggabungkan/mengintegrasikan seluruh informasi yang diperoleh dari hasil pengolahan yang telah dilakukan secara spasial (yaitu: informasi spasial maju mundurnya garis pantai). Informasi spasial geomorfologi pantai, informasi spasial elevasi pantai dan informasi spasial pasang surut air laut serta

menjumlahkan indeks dari masing-masing informasi yang diperoleh yaitu: *geomorphology*, *historic shoreline change*, *coastal slope*, *relative*, *sea-level rise rate*, *Mean sig. wave height*, dan *Mean tidal range* maka diperoleh hasil sebagaimana terlihat pada Gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5 Informasi tingkat kerentanan pantai terhadap kenaikan muka air laut

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa untuk mengetahui tingkat kerentanan wilayah terhadap kenaikan muka laut, dapat dilakukan dengan menentukan tingkat kerentanan pantainya. Pada penelitian ini, indeks kerentanan pantai dibagi 6 tingkatan, yaitu mulai tingkatan yang tidak rentan (nilai indeks 0 dan berwarna putih), tingkatan moderate (nilai indeks 8,94 dan berwarna hijau) serta tingkatan yang sangat rentan (nilai indeks 20 dan berwarna merah). Untuk mengetahui tingkat kerentanan wilayah terhadap kenaikan muka laut, dapat disimpulkan bahwa tambah landai serta terdiri dari jenis tanah aluvial maka wilayah tersebut tambah rentan. Sementara sebaliknya, tambah curam suatu wilayah serta terdiri atas batuan maka kenaikan muka laut tidak akan berpengaruh besar pada wilayah tersebut.

Berdasarkan perhitungan tingkat kerentanan indeks pantai (lihat Gambar 8), dapat disimpulkan bahwa wilayah yang termasuk sangat rentan terhadap kenaikan *sea level rise* yaitu hampir seluruh pantai Kota Semarang

rentan terhadap *sea level rise*, terutama kecamatan Tugu dan Genuk (nilai CVI = 20) yang ditunjukkan dengan berwarna merah. Sementara kecamatan Semarang Utara dan Barat (nilai CVI lebih besar 7 dan lebih kecil dari $20/7 < \text{CVI} < 20$) termasuk wilayah yang moderate terhadap *sea level rise*.

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dalam kurun waktu dari 1972 hingga tahun 2008 dengan menggunakan data Satelit Landsat MSS dan ETM dan data satelit Altimetri serta satelit SRTM untuk Kota Semarang dapat disimpulkan bahwa:

1. berdasarkan data SRTM, kenaikan muka air laut dari tahun 2002 hingga 2009 adalah 70 mm/10 tahun atau 10 mm/tahun;
2. majunya garis pantai diakibatkan karena penambahan tambak atau kawasan industri atau perluasan pelabuhan Tanjung Mas, sedangkan mundurnya garis pantai diakibatkan oleh pengikisan pantai oleh gelombang air laut; dan
3. berdasarkan nilai *Coastal Vulnerability Index*, wilayah yang sangat rentan terhadap kenaikan air laut di Kota Semarang adalah Kecamatan Tugu dan Kecamatan Genuk, sedangkan Kecamatan Semarang Utara dan Barat ($7 < \text{nilai CVI} < 20$) termasuk wilayah yang moderate terhadap *sea level rise*.

Daftar Pustaka

Arief, M. 2010. Aplikasi Data Satelit Penginderaan Jauh Landsat untuk Mengamati Perubahan Garis Pantai Kota Semarang. Jurnal Teknologi Vol. 2 Nomor 3. Oktober 2010. ISSN: 2085-1669.

- Arief, M. 2011. Aplikasi Satelit Altimetri untuk Mengamati Muka Air Laut dari Tahun 2002 Sampai 2009, Studi Kasus: Pantai Utara Semarang. Prosiding SIPTEKGAN XV-2011. Seminar Nasional IPTEK Dirgantara XV, LAPAN, November 2011, ISBN: 978-979-1458-51-1
- Braun, A. 2009. *ICESat/CryoSat-2 High-resolution Altimetry for Land/Lake and River Studies*. ASEAN SCOSA Training Course on Radar Altimetry and Its Applications Material. 12–16 Oktober 2009. Bakosurtanal. Bogor.
- Cazaneve, A. dan Nerem, R.S. 2004. *Present-Day Sea level Change: observation and Causes*. Review of Geophysics No. 42 RG3001.
- CCAR. 2009. *Sea Level Change*. Colorado Center for Astrodynamicys Research, University of Colorado at Boulder website: <http://sealevel.colorado.edu/maps.php>. USA.
- Cruz, R.V., Harasawa, H., Lal, M., Wu, S., Anokhin, Y., Punsalma, B., Honda, Y., Jafari, M., Li, C., dan Ninh, N.H. 2007. *Asia Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, dan C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 469–506.
- Diposaptono S., Budiman, dan F. Agus. 2009. Menyiasati Perubahan Iklim di Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil. Buku Ilmiah Popular. Sarana Komunikasi Utama. ISBN: 978-979-1291-16-3. Bogor.
- Gornitz, V.M., Daniels, R.C., White, T.W., dan Birdwell, K.R. 1994. The Development of a Coastal Risk Assessment Database: Vulnerability to Sea-Level Rise in the U.S. Southeast. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 12, p. 327–338.

Aplikasi Data Penginderaan Jauh untuk Menentukan Indeks Kerentanan Pantai
terhadap Kenaikan Air Laut Studi Kasus: Kota Semarang

<http://www.buzzle.com/articles/what-causes-global-warming.html>,

<http://www.climate.org/topics/sea-level/index.html>

<http://www.greenpeace.org/international/en/campaig>

IPCC. 1995. IPCC Second Assessment - Climate Change 1995: A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 64 p.

Khafid. 2000. *Penentuan permukaan Air laut dengan Pemanfaatan Data Satelit Altimetri dan Data Pasang Surut*. Bidang Pemetaan Dasar Kelautan. Badan Koordinasi SURvei dan Pemetaan Nasional. Bogor. Indonesia.

Kurniadi. 2009. *Kerentanan Kawasan Pesisir Dan Pulau-Pulau Kecil Akibat Naiknya Paras Muka Air Laut Di Kabupaten Tulang Bawang*. Buku Kenaikan Muka Laut Relatif dan Kerentanan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil di Indonesia: Status Report Hasil-hasil Penelitian. ISBN 978-979-3768-21-2. Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumberdaya NonHayati. Jakarta.

Meliana, T. 2005. *Studi Daerah Rawan Genangan Di Jakarta Utara Akibat Kenaikan Paras Muka Laut Dan Penurunan Muka Tanah Di Teluk Jakarta*. Tugas Akhir Strata-1 Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung.

Mote, P., Alexander, P., Spencer, R., Hugh, S., dan Lara, W.B. 2008. *Sea Level Rise in the Coastal Waters of Washington State*. A report University of Washington Climate Impacts Group and the Washington Department of Ecology.

National Research Council, 1995. *Sea Level Change*. National Academy Press. Washington D.C.

- Nerem, R.S. dan Mitchum, T. 2001. *Sea Level Change, in: Satellite Altimetry and Earth Science: A Handbook of Techniques and Applications*". (Eds: Fu, L.L. dan Cazaneve, A.). Academic Press. San Diego.
- Pattiasina, T.F. 2009. *Kenaikan Permukaan Air Laut Akibat Pemanasan Global: Ancaman Serius Bagi Wilayah Pesisir Kita*. Tabloid Jubi Online. Fakultas Peternakan Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPPK) Universitas Negeri Papua (UNIPA) Manokwari. <http://www.tabloidjubi.com>. Diperbaharui Rabu, 08 April 2009.
- Prijatna, K. dan Nurmaulia. 2007. *Studi Awal Pemanfaatan Satelit Altimetri untuk Pemantauan Variasi Spasio-Temporal Muka Laut di Indonesia*". Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan VI, ITS Surabaya.
- Prijatna, K., Nganro, N.R., dan Retraubun, A.S.W. 2009. *Menuju Penyusunan Peta Kerentanan Pulau-Pulau Kecil dan Kawasan Pesisir dari Kenaikan Muka Laut di Indonesia*. Buku Kenaikan Muka Laut Relatif dan Kerentanan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil di Indonesia: Status Report Hasil-hasil Penelitian. ISBN 978-979-3768-21-2. Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumberdaya NonHayati. Jakarta.
- Pendleton, E.A., Thieler, E.R., Williams, S.J. 2004. Coastal Vulnerability Assessment of Cape Hettaras National Seashore (CAHA) to Sea Level Rise. USGS Open File Report 2004-1064. Available from <http://pubs.usgs.gov/of/2004/1064/images/pdf/caha.pdf>. Diakses pada tanggal 30 Agustus 2008.
- Rosmorduc, V., Benveniste, J., Lauret, O., Maheu, C., Milagro, M., dan Picot, N. 2009. *Radar Altimetry Tutorial*. Editor: J. Benveniste, J. dan Picot, N. ESA-CNES. April 2009. Diunduh dari: <http://www.altimetry.info>.

Aplikasi Data Penginderaan Jauh untuk Menentukan Indeks Kerentanan Pantai
terhadap Kenaikan Air Laut Studi Kasus: Kota Semarang

- Hadi, S., Radjawane, I.M., Widiaratih, R., dan Riawan, E. 2009. *Dampak Kenaikan Muka Laut Di Pantai Utara Jakarta Dan Kepulauan Seribu*. Buku Kenaikan Muka Laut Relatif dan Kerentanan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil di Indonesia: Status Report Hasil-hasil Penelitian. ISBN 978-979-3768-21-2. Pusat Riset Wilayah Laut
- Shaw, J., Taylor, R.B., Forbes, D.L., Ruz, M.-H., dan Solomon, S. 1998. Sensitivity of the Canadian Coast to Sea-Level Rise, Geological Survey of Canada Bulletin 505, 114 p.
- Sukma, R. 2011, Deforestasi Sumbang 6 GT Emisi Karbon November 23, <http://kkiwarsi.wordpress.com/2011/11/23/deforestasi-sumbang-6-gt-emisi-karbon>.