EVALUASI PERUBAHAN LINGKUNGAN WILAYAH PESISIR SURABAYA TIMUR SIDOARJO DENGAN MENGGUNAKAN CITRA SATELIT MULTITEMPORAL

Grace Idolayanti Moko¹, Wiweka²,

(Diterima tanggal : 14 Agustus 2011; Disetujui tanggal : 14 Desember 2011)

ABSTRAK

Wilayah pesisir merupakan daerah pertemuan antara darat dan laut; ke arah darat meliputi bagian daratan, baik kering maupun terendam air, yang masih dipengaruhi sifat – sifat laut seperti pasang surut, angin laut, dan perembesan air asin; sedangkan ke arah laut wilayah pesisir mencakup bagian laut yang masih dipengaruhi oleh proses – proses alami yang terjadi di darat seperti sedimentasi dan aliran air tawar, maupun yang disebabkan oleh kegiatan manusia di darat seperti penggundulan hutan dan pencemaran. Surabaya Timur – Sidoarjo merupakan daerah yang relatif mengalami perubahan. Di kawasan pesisir ini juga mengalami peristiwa penting yaitu peristiwa lumpur Lapindo. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk memantau perubahan pada wilayah pesisir. Salah satunya menggunakan teknologi penginderaan jauh. Hal ini dilakukan karena data penginderaan jauh memiliki wilayah cakupan yang luas, cepat, serta efisien. Data yang digunakan adalah citra satelit ALOS/AVNIR-2 tahun 2006 dan 2008 serta SPOT-4 tahun 2009. Data tersebut digunakan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan, garis pantai, serta tingkat kekeruhan air laut. Metode klasifikasi terbimbing digunakan untuk mengetahui tutupan lahan di wilayah pesisir Surabaya Timur – Sidoarjo, sedangkan kekeruhan air laut menggunakan algoritma Total Suspended Solid (TSS). Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan perubahan tutupan lahan yang signifikan pada kelas pemukiman, rumput/tanah kosong, dan empang. Dimana sejak tahun 2006 hingga 2009, luasan pemukiman selalu bertambah yaitu 184,7 ha, sedangkan empang dan rumput/tanah kosong mengalami penurunan luasan yaitu kelas empang sebesar 48,04 ha dan rumput/tanah kosong sebesar 199,31 ha. Untuk tingkat kekeruhan air laut, nilai yang mendominasi wilayah perairan Surabaya – Sidoarjo adalah 0-200mg/l. Sejak tahun 2006 hingga 2009 terjadi perubahan garis pantai yang diikuti dengan terjadinya perubahan daratan. Pada tahun 2006 – 2008 perubahan daratan sebesar 51,01 ha sedangkan tahun 2008 – 2009 perubahannya sebesar 18,92 ha.

Kata kunci : Pesisir, Tutupan Lahan, Garis Pantai, Kekeruhan Air Laut, SPOT-4, ALOS/AVNIR-2

ABSTRACT

Coastal region is an area of encounter between land and sea; landward coastal areas include parts of the mainland, either dry or submerged with water, which is still influenced by the characteristic of ocean such as tides, ocean breezes, and salinity intrusion, while on the seaward coastal areas includes part of the sea that is still influenced by natural process that occurs on land such as sedimentation and freshwater streams, as well as those caused by human activities on land such as deforestation and pollution. East Surabaya - Sidoarjo is a coastal area that is relatively unchanged. Also in this coastal region experienced many important events, one of this event called Lapindo mud. There are several methods that can be used to monitor changes in coastal territory. One of them using a multitemporal remote sensing technology. This is done because the remote sensing data has an extensive coverage area, quickly and efficient. The data used is ALOS/AVNIR-2 satellite imagery in 2006 and 2008 and SPOT-4 in 2009. The data is used to analyze changes in land cover, shoreline, and the level of sea water turbidity. Supervised classification methods is used to determine land cover in coastal areas of Surabaya - Sidoarjo, while the turbidity of seawater using an algorithm Total Suspended Solid (TSS).

Based on the results of the study, significant changes in land cover in the class settlement has been found, the grass / bare soil, and ponds. Where from 2006 to 2009, the residential area of 184.7 ha is always increasing, while the ponds and the grass / bare soil decreased the area of 48.04 ha of ponds class and grass / bare soil of 199.31 ha. For sea water turbidity levels, the class that dominated the territorial waters of Surabaya - Sidoarjo is 0-200mg / l. From 2006 to 2009 changes in the coastline which was followed by changes in the mainland. In the year 2006 - 2008 The land change alteration is 51,01ha while in 2008 to 2009 the alteration is 18.92.

Keywords: Coastal Area, Land Cover, Shorelines, Sea Water Turbidity, SPOT-4, ALOS/AVNIR-2

---

¹Teknik Geomatika-ITS, Surabaya, 60111, Indonesia

²Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN, Jl. LAPAN 70 Pekayon-Pasar Rebo, Jakarta, Indonesia Email : wiweka@yahoo.com

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Surabaya dan Sidoarjo merupakan pusat kegiatan perindustrian di wilayah Indonesia bagian timur yang mengalami perkembangan yang cukup pesat, tidak terkecuali pesatnya pertumbuhan penduduk. Pertumbuhan penduduk yang pesat menyebabkan kebutuhan akan lahan menjadi semakin besar.

Salah satu peristiwa yang terjadi di pesisir Surabaya Timur – Sidoarjo yaitu peristiwa Lumpur Lapindo yang terjadi pada 29 Mei 2006 di Desa Renokenongo, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Mayasari (2010) menggunakan citra satelit Landsat 7 ETM+ tahun 2003 dan 2006 serta SPOT-4 tahun 2009, didapatkan bahwa nilai *Total Suspended Sediment* (TSS) yang dominan untuk wilayah Surabaya – Sidoarjo adalah 25-125 mg/l.

Untuk mengetahui besarnya perubahan – perubahan tersebut dapat digunakan teknologi penginderaan jauh yang berbasis citra satelit. Teknologi ini mampu memberikan informasi spasial dipermukaan bumi baik darat maupun laut secara signifikan.

Perumusan Masalah

Seberapa jauh citra satelit ALOS/AVNIR-2 dan SPOT-4 dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan tutupan lahan, perubahan garis pantai, serta perubahan tingkat kekeruhan air laut wilayah pesisir dan perairan Surabaya Timur – Sidoarjo yang terjadi pada tahun 2006 sampai tahun 2009.

Batasan Masalah

Wilayah studi yang digunakan adalah wilayah pesisir dan perairan Surabaya Timur sampai pesisir Sidoarjo.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra satelit ALOS/AVNIR-2 tahun 2006 dan 2008 serta SPOT-4 tahun 2009.

Hasil penelitian adalah analisis perubahan tutupan lahan, perubahan garis pantai, serta perubahan kekeruhan air laut di wilayah pesisir dan perairan Surabaya Timur dan Sidoarjo yang disajikan dalam bentuk peta.

Tujuan dan Manfaat

Tujuan dalam penelitian ini, yaitu menganalisis perubahan tutupan lahan, perubahan garis pantai, dan perubahan tingkat kekeruhan air laut wilayah pesisir dan perairan pesisir Surabaya Timur – Sidoarjo yang disebabkan oleh adanya peristiwa Lumpur Lapindo dengan menggunakan citra satelit multitemporal.

Manfaat yang dapat diambil yaitu memberikan informasi berupa peta tutupan lahan, perubahan garis pantai, serta informasi hasil identifikasi perubahan tingkat kekeruhan air laut wilayah pesisir dan perairan yang diharapkan dapat digunakan sebagai landasan dalam rencana tata ruang wilayah pesisir.

Informasi geospasial yang dihasilkan pada penelitian ini merupakan bagian dari target pemantauan, deteksi, identifikasi parameter fisis yang ada di daratan, lautan serta udara dalam rangka pembangunan database dan analisis spasial lingkungan Surabaya berbasiskan data penginderaan jauh.

METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Kegiatan Penelitian ini dilakukan di sekitar pesisir Surabaya Timur – Sidoarjo. Daerah penelitian secara administratif termasuk dalam wilayah Kotamadya Surabaya dan Kabupaten Sidoarjo

Data dan Peralatan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

Citra satelit ALOS/AVNIR-2 6-10-2006 dan 11-7-2008 serta SPOT-4 21-7-2009.

Citra satelit Landsat Ortho.

Peta RBI area Surabaya dan Sidoarjo.

Data pengukuran sampel air laut.

Gambar 1. Lokasi Penelitian

Gambar 2.

(a) Citra ALOS/AVNIR-2 tahun 2006 kombinasi band 321, (b) Citra ALOS/AVNIR-2 tahun 2008 kombinasi band 321, (c) Citra SPOT-4 path/row 297/364 tahun 2009 kombinasi band 123, (d) Citra SPOT-4 path/row 297/365 tahun 2009 kombinasi band 123

Gambar 3. Citra Landsat Ortho ETM-7+ Kombinasi Band 321

Sedangkan peralatan yang digunakan adalah:
 Perangkat Lunak (*Software*)
ER Mapper 7.0, *Matlab*, *ArcGis 9.3*
 Peralatan Lapangan

Water Quality Checker dan *GPS* navigasi

Pengolahan Data

Adapun untuk diagram alir tahapan pengolahan data adalah sebagai berikut :

Gambar 4. Diagram Alir Pengolahan Data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Koreksi Geometrik

Desain jaring SoF untuk koreksi geomteri setiap citra pada Gambar 5.

Berikut ini tabel hasil koreksi geometrik dan perhitungan *strength of figure (Sof)*.

Konversi DN ke Reflektan

Konversi DN ke Reflektan dilakukan pada citra satelit SPOT-4 menggunakan input nilai reflektan. Persamaan yang digunakan :

Digital Number (DN) ke Spectral Radiance

$$L_{\lambda} = DN / (G_{\lambda} * A_{\lambda}) + B_{\lambda} \dots\dots\dots (1)$$

Spectral Radiance ke Reflectance

$$\rho_p = \frac{\pi \times L_{\lambda} \times d}{ESUN_{\lambda} \times \cos \theta_s} \dots\dots\dots (2)$$

Tabel 1. Hasil Koreksi Geometrik Dan Perhitungan So

Citra	Total RMSe	Rata-rata RMSe	Besar SoF
ALOS/AVNIR-2 tahun 2006	8,578	0,343	0,000545
ALOS/AVNIR-2 tahun 2008	6,600	0,264	0,000798
SPOT-4 Tahun 2009 path/row 297/364	1,964	0,196	0,006250
SPOT-4 Tahun 2009 path/row 297/365	2,390	0,239	0,006250

Keterangan :

L = Spectral Radiance At Sensor Aperture ($mWcm^{-2}.ster^{-1}.\mu m^{-1}$).

DN = Digital Number

G_{λ} = Gain

A_{λ} = Absolute Correction

B_{λ} = Bias

ρ = Unitless Planetary Reflectance At The Satellite (Dalam Skala 0-1).

π = 3.141593

d^2 = Earth Sun Distance In Astronomical Units.

JD = Julian Day (Day Number In The Year Of Image Acquisition).

$ESUN$ = Mean Solar Exoatmospheric Spectral Irradiance ($mW.cm^{-2}.\mu m^{-1}$ atau $Wm^{-2}.\mu m^{-1}$).

θ_s = Sun Zenith (degree) = 90° -Sun Elevation

Gambar 5. Desain Jaring SoF : (a) ALOS/AVNIR Tahun 2006, (b) ALOS/AVNIR-2 Tahun 2008, (c) SPOT-4 Multispektral Tahun 2009 Path/Row 297/364, (d) SPOT-4 Tahun 2009 Path/Row 297/365

Tabel 2. Hasil Konversi DN Ke Reflektan

Tanggal Citra	Band	Nilai DN	Radians	Nilai Reflektan
SP4_21-07-2009_297/364	1	12 - 254	9,73325634 - 206,0205841	0,022454 - 0,475281
	2	47 - 255	21,26450157 - 115,3712311	0,05766 - 0,312836
	3	75 - 255	42,54144287 - 144,6408997	0,171934 - 0,584575
	4	1 - 255	0.01354523096 - 3,454033852	0.000247 - 0,063028
SP4_21-07-2009_297/365	1	12 - 254	9,73325634 - 206,8316956	0,022529 - 0,478733
	2	31 - 255	14,02552223 - 115,3712311	0,038157 - 0,313872
	3	50 - 255	28,36096191 - 144,6408997	0,115002 - 0,586512
	4	1 - 255	0,01354523096 - 3,454033852	0,000248 - 0,063237

Penggabungan Citra (Mosaiking)

Penggabungan citra dilakukan pada citra satelit SPOT-4, karena area penelitian berada dalam 2 *scene* yang bertampalan. Sedangkan pada citra ALOS/AVNIR-2 tidak dilakukan penggabungan citra karena area penelitian berada pada 1 *scene* saja. Proses ini dilakukan pada citra yang sudah terkoreksi.

Gambar 6. Hasil Penggabungan Citra Pada SPOT-4 Kombinasi Band 123

Pemotongan Citra (*Cropping*)

Pemotongan citra dilakukan untuk membuat pengolahan citra menjadi lebih fokus pada wilayah yang akan diteliti. Ada 2 tahapan yang dilakukan, yaitu pemotongan citra berdasarkan hasil digitasi dari peta RBI untuk menentukan batasan area penelitian, setelah itu proses pemotongan citra yang dilakukan untuk mendapatkan wilayah daratan dan lautan, dimana vektor yang digunakan merupakan hasil digitasi dari proses masking pada setiap citra masing – masing tahun, sehingga didapatkan 6 batas area yang berbeda yaitu 3 vektor daratan dan 3 vektor lautan. Proses masking terbagi menjadi dua proses, yaitu masking daratan dan lautan. Hal tersebut dibedakan, karena dalam proses klasifikasi tutupan lahan menggunakan area daratan sedangkan klasifikasi kekeruhan air laut menggunakan area lautan. Berikut ini contoh hasil pemotongan citra:

Gambar 7. Hasil Pemotongan Citra SPOT-4 Tahun 2009 Area Penelitian(a), SPOT-4 Tahun 2009 Area Daratan(b), ALOS/AVNIR Tahun 2008 Area Lautan(c)

Klasifikasi

Citra ALOS AVNIR-2 dan SPOT-4 yang sudah terkoreksi dan dipotong sesuai area penelitian tersebut selanjutnya dilakukan proses klasifikasi. Proses klasifikasi dilakukan dengan menggunakan metode terselia berdasarkan kemiripan maksimum (*maximum likelihood*) karena hasil klasifikasi pada metode ini lebih peka terhadap pola tanggapan spektral dan lebih teliti dibandingkan metode klasifikasi tak terselia.

Pada penelitian ini, citra yang digunakan dibagi menjadi 6 kelas, yaitu: (1) Pemukiman, (2) Empang, (3) Tegalan/ladang, (4) Rumput/tanah kosong, (5) Badan air, (6) Hutan rawa, dimana pembagian kelas ini mengacu pada peta Rupa Bumi Indonesia (RBI).

Berikut ini hasil luasan kelas tutupan lahan masing – masing citra, sebagai berikut :
Tabel 3. Luasan Kelas Tutupan Lahan Tahun 2006
Berikut ini peta hasil klasifikasi tutupan lahan tahun 2006 – 2009:

Tabel 3. Luasan Kelas Tutupan Lahan Tahun 2006

Tahun	Kelas	Luas (Ha)
2006	Tegalan/Ladang	389,36
	Rumput/Tanah Kosong	711,51
	Hutan Rawa	1436,57
	Pemukiman	806,46
	Empang	14233,36
	Badan Air	230,17
Total		17807,43

Tabel 4. Luasan Kelas Tutupan Lahan Tahun 2008

Tahun	Kelas	Luas (Ha)
2008	Tegalan/Ladang	315,99
	Rumput/Tanah Kosong	483,94
	Hutan Rawa	1627,93
	Pemukiman	981,5
	Empang	14231,08
	Badan Air	218
Total		17858,44

Tabel 5. Luasan Kelas Tutupan Lahan Tahun 2009

Tahun	Kelas	Luas (Ha)
2009	Tegalan/Ladang	397,88
	Rumput/Tanah Kosong	426,88
	Hutan Rawa	1594,44
	Pemukiman	991,16
	Empang	14185,32
	Badan Air	243,84
Total		17839,52

(a)

(b)

(c)

Gambar 8. Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan Tahun 2006 (a), 2008 (b), 2009 (c)

Penerapan Algoritma TSS

Algoritma TSS digunakan untuk mendapatkan kandungan nilai TSS (mg/l) pada citra dengan cara memasukkan persamaan algoritma ke dalam *tool formula editor* pada *software ER Mapper 7.0*. Persamaan algoritma yang digunakan pada citra ALOS/AVNIR-2 dan SPOT-4 berbeda. Pada citra ALOS/AVNIR menggunakan nilai *digital number* (DN) sedangkan SPOT-4 menggunakan nilai reflektan

a. ALOS/AVNIR-2 (Hendrawan dan Asai 2008)

$$TSS(mg/L) = -1.315b_1 + 2.371b_2 - 0.791b_3 + 9.649 \dots\dots(3)$$

$b_1 = Digital\ Number\ band\ 1$

$b_2 = Digital\ Number\ band\ 2$

$b_3 = Digital\ Number\ band\ 3$

b. SPOT-4 (Budhiman, 2004)

$$TSS(mg/L) = 7.9038 * \exp(23.942 * red\ band) \dots\dots(4)$$

$red\ band = refleksi\ tan\ band\ 2$

Hasil klasifikasi dari masing – masing citra kemudian dikelaskan dengan nilai interval 50 mg/l. Namun hasil klasifikasi pada setiap tahunnya menghasilkan range nilai TSS yang berbeda – beda sehingga jumlah kelas setiap tahunnya berbeda.

Adapun sebaran kekeruhan secara lebih detail dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 6. Luasan Kelas Kekeruhan Tahun 2006

Kelas	Keterangan (mg/l)	Luasan (Ha)
1	0-50	1836,87
2	51-100	2706,24
3	101-150	4463,95
4	151-200	6755,92
5	201-250	8913,54
6	251-300	4788,16

Tabel 7. Luasan kelas kekeruhan tahun 2008

Kelas	Keterangan (mg/l)	Luasan (Ha)
1	0-50	4285,63
2	51-100	6407,14
3	101-150	10352,97
4	151-200	8235,47

Tabel 8. Luasan Kelas Kekeruhan Tahun 2009

Kelas	Keterangan (mg/l)	Luasan (Ha)
1	0-50	4728,32
2	51-100	3622
3	101-150	5582,48
4	151-200	5788,96
5	201-250	4894,04
6	251-300	3722,4
7	301-350	1015,12

(a)

(b)

(c)

Gambar 9. Hasil Peta Sebaran Kekeruhan Air Laut Tahun 2006 (A), 2008 (B), 2009 (C)

Digitasi Garis Pantai

Penentuan garis pantai secara cepat dan praktis dapat dilakukan dengan cara interpretasi visual pada citra sekaligus melakukan *on screen digitizing* pada citra tersebut. Digitasi dilakukan setelah melakukan proses masking, yaitu pemisahan daratan dengan lautan. Digitasi dilakukan dengan menggunakan *software ER Mapper 7.0*. Berikut ini hasil digitasi garis pantai tahun 2006, 2008, dan 2009.

Gambar 10. Garis Pantai Tahun 2006 (a), 2008 (b), dan 2009 (c)

ANALISIS

Uji Ketelitian Klasifikasi

Adapun citra yang diujikan ke lapangan adalah citra tahun terakhir, yaitu citra SPOT-4 dengan akuisisi 21 Juli 2009.

Uji ketelitian dilakukan dengan menggunakan perhitungan *confusion matrix*. Caranya yaitu dengan membandingkan sampel titik – titik koordinat pada tiap – tiap jenis kelas tutupan lahan hasil klasifikasi, dengan kondisi koordinat sebenarnya dilapangan untuk mengetahui kebenaran hasil dari klasifikasi. Jika hasil perhitungan *confusion matrix* $\geq 80\%$ maka klasifikasi citra dianggap benar (Short, 1982 dalam Adry, 2009).

Dari hasil perhitungan *confusion matrix* yang sudah dilakukan, didapatkan hasil ketelitian seluruh hasil klasifikasi (KH) untuk citra SPOT-4 bulan Juli 2009 sebesar 86%. Dengan hasil perhitungan ketelitian klasifikasi yang

didapatkan sebesar 86%. maka klasifikasi dianggap benar karena nilainya lebih besar dari 80%.

Tabel 9. Matriks Uji Ketelitian Klasifikasi Tutupan Lahan

N o	Kelas	1	2	3	4	5	6	T	O	MA
1	Tegalan/Ladang	3	0	0	0	0	0	3	0	100
2	Rumput/Tanah Kosong	0	4	0	0	0	0	4	0	100
3	Pemukiman	0	0	6	0	0	0	6	0	100
4	Badan Air	0	0	0	2	0	0	2	0	100
5	Hutan Rawa	0	0	0	0	1	4	5	4	20
6	Empang	0	0	0	0	0	10	10	0	100
	Total	3	4	6	2	1	14	30	5	86,6
	Komisi	0	0	0	0	0	4	4	13	

T=total, O=omisi

ANALISIS PERUBAHAN LUASAN TUTUPAN LAHAN

Berikut ini merupakan perubahan penutup lahan yang terjadi pada tahun 2006 – 2009.

Tabel 10. Perubahan Luas Penutup Lahan Tahun 2006-2008

Kelas	Luasan (Ha)		Perubahan Luasan	
	2006	2008	+	-
Tegalan/Ladang	389,36	315,99	0	73,37
Rumput/Tanah Kosong	711,51	483,94	0	227,57
Hutan Rawa	1436,57	1627,93	191,36	0
Pemukiman	806,46	981,5	175,04	0
Empang	14233,36	14231,08	0	2,28
Badan Air	230,17	218	0	12,17

+ = Bertambah, - = Berkurang

Tabel 11. Perubahan Luas Penutup Lahan Tahun 2008-2009

Kelas	Luasan (Ha)		Perubahan Luasan	
	2006	2008	+	-
Tegalan/Ladang	315,99	397,88	81,89	0
Rumput/Tanah Kosong	483,94	426,88	0	57,06
Hutan Rawa	1627,93	1594,44	0	33,49
Pemukiman	981,5	991,16	9,66	0
Empang	14231,08	14185,32	0	45,76
Badan Air	218	243,84	25,84	0

Berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat bahwa terdapat beberapa perubahan luasan yang terjadi, ada yang mengalami penambahan dan ada juga yang berkurang. Terlihat bahwa dari tiga tahun terakhir kelas Rumput/tanah kosong

dan Empang, selalu mengalami penurunan luasan. Hal tersebut dapat disebabkan karena adanya perubahan fungsi lahan, menjadi Pemukiman, Hutan rawa, maupun Tegalan/ ladang, karena pada kelas-kelas tersebut mengalami penambahan luasan. Hal ini diperkuat dengan penelitian yang dilakukan Yulianti (2010) yang menjelaskan bahwa pada tahun 2006-2009 terjadi penambahan luas hutan mangrove, penambahan ini terjadi karena adanya proses sedimentasi yang berasal dari lumpur Sidoarjo yang terjadi pada kawasan pesisir Surabaya-Sidoarjo serta adanya rehabilitasi hutan mangrove.

ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI

Gambar 11. Lokasi Perubahan Daratan

Garis pantai diperoleh dari hasil digitasi, dimana digitasi dilakukan per piksel pada citra. Sehingga dari hasil digitasi tersebut didapatkan panjang garis pantai. Perhitungan panjang garis pantai hasil digitasi dilakukan menggunakan *software ER Mapper 7.0*. Perubahan panjang garis pantai dipengaruhi oleh bentuk garis pantai yang tidak lurus. Secara lebih rinci, perubahan panjang garis pantai dan perubahan daratan tahun 2006 ke 2009 dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 12. Perubahan Garis Pantai
Tahun 2006 - 2009

Tahun	Panjang Garis Pantai (km)	Perubahan (km)
2006	106,87	0
2008	98,82	- 8,05
2009	92,38	- 6,44

Tabel 13. Perubahan Daratan
Tahun 2006 - 2009

Tahun	Luas (ha)	Perubahan Luas Daratan (ha)
2006	17807,43	0
2008	17858,44	+ 51,01
2009	17839,52	- 18,92

Berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat terjadi perubahan garis pantai yang diikuti dengan adanya perubahan daratan. Perubahan tersebut dapat disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah:

- Sedimen yang dibawa oleh sungai – sungai yang bermuara di pantai Surabaya-Sidoarjo, misalnya Sungai Brantas dan Sungai Porong.
- Reklamasi yang dilakukan oleh penduduk di daerah pantai atau developer.
- Sedimen yang berasal dari pembuangan lumpur Lapindo melalui Kali Porong.

Menurut Widjiharti (2008) di sepanjang Pantai Timur Sidoarjo, sejak tahun 1945 s.d. 1997 telah terjadi proses angkutan sedimen secara terus menerus yang menimbulkan penambahan daratan kearah laut sebesar $\pm 144,615 \text{ m}^2/\text{th}$ dan mengakibatkan lokasi muara – muara sungai bergeser dari lokasi muara semula. Untuk prediksi sampai tahun 2010 diperoleh hasil pengamatan bahwa di lokasi penelitian secara kumulatif masih akan terjadi penambahan daratan pada setiap tahun namun dengan angka luas penambahan yang makin mengecil. Selain itu, menurut Mayasari (2010), terjadi perubahan daratan yang cukup signifikan antara 2 periode, 147,978 ha antara tahun 2003 sampai 2006 dan 213,888ha antara tahun 2006 sampai 2009. Dari hasil ini diindikasikan bahwa terjadi peningkatan laju sedimentasi.

Analisis Hasil Algoritma

Nilai TSS hasil pengolahan citra bervariasi. Pada tahun 2006 berkisar antara 0 – 300 mg/l, tahun 2008 antara 0 – 200 mg/l, sedangkan tahun 2009 nilai TSS meningkat yaitu berkisar 0 – 350 mg/l.

Angka kekeruhan yang paling tinggi terjadi pada tahun 2009, nilai kekeruhan yang didapat mencapai 350 mg/l. Kisaran nilai kekeruhan pada wilayah perairan Surabaya – Sidoarjo berkisar antara 0 - 200 mg/l. Sedangkan penelitian yang dilakukan Mayasari (2010), menjelaskan bahwa dari tahun 2003 ke 2009, persebaran kelas sedimentasi relatif tetap pada masing-masing kelas sedimentasi. Sebaran sedimentasi di sepanjang pantai Surabaya – Sidoarjo didominasi oleh nilai TSS 25-125 mg/l. Namun terdapat perbedaan hasil antar keduanya. Hal ini dapat disebabkan karena adanya perbedaan waktu pada uji lapangan/*ground truth*. Penelitian yang dilakukan oleh Mayasari (2010), dilakukan pada Maret 2010, sedangkan dalam penelitian ini uji lapangan dilakukan pada bulan Mei 2011. Selain itu, area penelitiannya berbeda. Untuk penelitian yang dilakukan Mayasari (2010) area penelitiannya berada pada pesisir Surabaya – Sidoarjo secara keseluruhan, sedangkan pada penelitian ini dilakukan pada pesisir Surabaya Timur – Sidoarjo.

Tabel 14. Perbandingan Luasan Kelas Kekeruhan

Kelas	Keterangan (mg/l)	Luasan (Ha)		
		2006	2008	2009
1	0-50	1836,87	4285,63	4728,32
2	51-100	2706,24	6407,14	3622
3	101-150	4463,95	10353	5582,48
4	151-200	6755,92	8235,47	5788,96
5	201-250	8913,54		4894,04
6	251-300	4788,16		3722,4
7	301-350			1015,12

Analisis Hasil *Ground Truth*

Ground Truth dilakukan pada tanggal 4 Mei 2011 - 7 Mei 2011 di perairan Surabaya Timur-Sidoarjo. Berikut ini adalah tabel di perairan Surabaya Timur dan perbandingan hasil pengolahan citra SPOT-4 dengan hasil uji lapangan yang dilakukan dengan menggunakan alat *Water Quality Checker*.

Tabel 15. Perbandingan Hasil Uji Lapangan Dengan Pengolahan Citra SPOT-4

No	Koordinat		Hasil	Hasil	Δ (mg/l)
	X (m)	Y (m)	Citra (mg/l)	Lapangan (mg/l)	
1	698647	9199429	260,5	103,7	156,81
2	699003	9199084	245,7	97,7	147,95
3	699259	9199085	212,1	90,5	121,59
4	699597	9199090	183,1	121,3	61,83
5	699947	9199085	200	124,4	75,59
6	700404	9199083	158,1	111,5	46,61
7	700744	9198987	172,7	131,7	40,97
8	701263	9198896	162,8	95,6	67,23
9	701684	9199028	140,6	77	63,58
10	701944	9199052	128,7	35,6	93,12
11	702893	9198985	121,4	29,2	92,18
12	703439	9199134	122,68	32,9	89,78
13	703845	9199195	114,5	17,7	96,75
14	704177	9199155	107,9	12,1	95,82
15	704599	9199130	107,9	11,8	96,12
16	705093	9199096	98,92	14,4	84,52
17	705418	9199062	93,18	14,8	78,38
18	705816	9199025	93,18	15,9	77,28
19	706310	9199042	98,82	17,2	81,62
20	706548	9199060	98,82	26	72,82
21	707143	9199082	90,48	13,2	77,28
22	707524	9199095	82,85	13,8	69,05
23	707800	9198643	87,87	16,4	71,47
24	707955	9197933	85,32	9,9	75,42
25	708011	9196882	90,48	22,6	67,88
26	705445	9195013	136,5	72,2	64,32
27	704093	9191940	162,8	58,7	104,12
28	704380	9193448	188,6	45,2	143,38
29	704285	9194252	172,7	51,3	121,37
30	704472	9194920	158,1	115,2	42,91
31	703773	9195066	172,7	82,2	90,47
32	703673	9195581	162,8	84,5	78,32
33	703477	9196105	200	94,8	105,19
34	703075	9196475	253	63,5	189,46
35	702792	9196982	212,1	80,2	131,89
36	702246	9197297	276,3	97,4	178,87
37	701455	9197852	310,7	67,8	242,91
38	700992	9198435	224,9	57,6	167,32
39	700306	9198883	188,6	77,3	111,28
40	699631	9198516	238,5	66	172,53
41	706807	9163216	104,8	56,2	48,6
42	707451	9162789	95,96	42,7	53,26
43	708561	9162450	158,1	13,6	144,51
44	709687	9162165	144,8	4,4	140,37
45	710562	9161670	158,1	4,1	154,01
46	711002	9161113	125	12,7	112,3
47	710255	9160906	149,1	2,6	146,49
48	709572	9160582	153,5	5,6	147,93
49	709168	9160133	144,8	14,8	129,97
50	708635	9160132	158,1	14,3	143,8
51	708411	9160171	167,7	18,6	149,07
52	707971	9160119	192,2	22,3	171,9
53	707438	9160101	208,2	27,7	180,5
54	707444	9160610	172,7	40,9	131,77
55	707408	9160942	140,6	76,6	63,98
56	707393	9161464	99,4	39,4	60,04
57	706915	9161548	174,4	24,5	149,9
58	706439	9161688	162,8	74,9	87,9
59	705939	9161816	162,8	111,2	51,6
60	705372	9162416	132,2	56,2	76,0
61	704877	9161750	149,1	41,9	107,19
62	707187	9161630	167,7	41,1	126,57
63	706136	9161543	183,1	46,2	136,9
64	708283	9161768	162,8	50,4	112,4

Nilai TSS hasil yang diperoleh dari

pengambilan sampel lapangan mempunyai nilai yang berbeda dengan kelas TSS dari hasil pengolahan citra. Adapun perbedaan tersebut antara lain dapat disebabkan beberapa hal berikut:

Perbedaan musim pengambilan data lapangan dan tanggal akuisisi citra, dimana citra memiliki akuisisi pada musim kemarau, dan pengambilan data data lapangan dilakukan pada bulan Mei, dimana sedang terjadi musim pancaroba, peralihan musim kemarau ke musim penghujan.

Kondisi pada saat pengambilan data lapangan, pengambilan data dilakukan setelah turun hujan sehingga akan berbeda dengan pengambilan data yang dilakukan pada saat tidak turun hujan.

Uji korelasi dilakukan dengan membandingkan hasil TSS citra dengan hasil *ground truth*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana korelasi atau kedekatan hasil TSS pengolahan citra dengan hasil lapangan.

Untuk mengetahui kekuatan hubungan antara dua peubah yaitu hasil pengolahan citra dan data pengukuran lapangan, perlu dilakukan perhitungan korelasi.

Berikut ini grafik yang menunjukkan korelasi antara data lapangan dan hasil pengolahan citra. Uji korelasi ini dilakukan dengan membandingkan hasil TSS citra dengan hasil *ground truth*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana korelasi atau kedekatan hasil TSS pengolahan citra dengan hasil lapangan. Pada uji korelasi ini didapatkan nilai $r^2=0,299$, seperti pada gambar 4.19.

Dengan persamaan sebagai berikut :

Gambar 12. Grafik hasil TSS citra dan data lapangan

Pada uji korelasi ini didapatkan nilai $r^2=0,299$. Dengan persamaan sebagai berikut :

$$y = 0,385x - 11,48$$

Nilai $r^2=0,299$ bermakna bahwa **0,299** atau **29,9%** diantara keragaman total nilai lapangan (y) tidak dapat dijelaskan oleh hubungan liniernya dengan nilai citra (x). Sehingga dapat disimpulkan antara hasil citra dan data lapangan mempunyai hubungan linier yang sangat lemah. Berikut ini distribusi nilai TSS hasil pengukuran lapangan dan hasil pengolahan citra. Hubungan linier sempurna bila $r = +1$ atau -1 . Bila r mendekati $+1$ atau -1 , hubungan antara dua peubah itu kuat dan dapat dikatakan terdapat korelasi yang tinggi antara keduanya. Akan tetapi, bila r mendekati nol, hubungan linier antara X dan Y sangat lemah atau mungkin tidak ada sama sekali. (Walpole, 1995)

Gambar 13. Pola Distribusi Nilai TSS Lapangan Dan Hasil Pengolahan Citra SPOT-4

Grafik di atas menunjukkan pola distribusi nilai TSS hasil pengolahan citra pada SPOT-4 tahun 2009 dengan hasil pengukuran lapangan. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa antara hasil pengolahan citra dan data lapangan mempunyai kecenderungan pola yang sama. Namun, masih terdapat perbedaan pola pada titik – titik tertentu.

Analisis Berdasarkan Musim

Sesuai data curah hujan dan pencatatan angin yang diperoleh dari BMKG stasiun Tanjung Perak, Surabaya, diketahui bahwa citra satelit yang digunakan berada pada satu musim yang sama dimana musim pada saat musim kemarau pengaruh angin timur lebih dominan. Hal ini terjadi pada bulan Mei-Oktober.

Sedangkan pada saat pengambilan data lapangan, yaitu pada bulan Mei tahun 2011, tercatat bahwa terjadi peralihan musim antara musim penghujan ke musim kemarau yaitu musim pancaroba sehingga menyebabkan terjadi perbedaan hasil lapangan dengan hasil pengolahan citra.

Analisis Berdasarkan Pasang Surut

Pasang surut mempengaruhi tingkat kekeruhan air laut. Jika pada kondisi pasang, maka distribusi air akan terjadi dari laut menuju sungai sehingga distribusi partikel - partikel tersuspensi juga mengalir dari laut menuju sungai, sedangkan jika saat kondisi surut maka akan terjadi aliran air dari sungai ke laut, sehingga material dan partikel tersuspensi juga akan mengalir dari sungai menuju laut. Berikut ini tabel pasang surut berdasarkan data pasang surut yang dikeluarkan oleh Dinas Hidrografi dan Oceanografi TNI AL (Dishidros).

Tabel 16. Kondisi Pasang Surut Citra Yang Digunakan

Citra	Akuisisi	Tinggi Pasut (m)	Keterangan
Alos/AVNIR-2	6 Oktober 2006 10:30 WIB	2,3	Menuju Surut
Alos/AVNIR-2	11 Juli 2008 10:30 WIB	1,6	Menuju Surut
SPOT-4 297/364	21 Juli 2009 02:37:08 WIB	1,6	Menuju Surut
SPOT-4 297/365	22 Juli 2009 02:37:16 WIB	1,6	Menuju Surut

Sedangkan pada saat pengambilan data lapangan dilakukan pada bulan Mei sekitar pukul 09.00 – 13.00, dimana pada saat itu, kondisi di wilayah perairan Surabaya – Sidoarjo dalam kondisi menuju pasang.

Tabel 17. Kondisi Pasut Saat Pengukuran Sampel Air Laut

Tanggal	Waktu	Tinggi Pasut (m)
04 Mei 2011	9:00	2,4
	10:00	2,6
	11:00	2,7
	12:00	2,5
	13:00	2,2
07-Mei-11	9:00	2
	10:00	2,3
	11:00	2,5
	12:00	2,6
	13:00	2,6

KESIMPULAN

Hasil koreksi geometrik pada semua citra dalam penelitian ini menghasilkan nilai $RMSe \leq 1$ piksel, sehingga koreksi geometrik dianggap benar. Dan kekuatan jaring yang diperoleh memenuhi syarat ketelitian, yaitu mendekati (0).

Berdasarkan hasil klasifikasi tutupan lahan tahun 2006 hingga 2009 didapatkan kelas Rumput/tanah kosong dan Empang setiap tahunnya berkurang, sehingga terjadi alih fungsi lahan menjadi Pemukiman, yang ditandai dengan penambahan luasan Pemukiman setiap tahunnya.

Hasil uji ketelitian untuk klasifikasi citra SPOT4 bulan Juli 2009 menunjukkan tingkat kebenaran sebesar 86%, sehingga hasil klasifikasi dianggap benar.

Berdasarkan hasil algoritma TSS, nilai kekeruhan yang dominan untuk area Surabaya-Sidoarjo adalah 0 – 200 mg/l, hal itu berarti perairan Surabaya – Sidoarjo memiliki tingkat kekeruhan yang tinggi.

Diperoleh r^2 sebesar 0,299 bermakna bahwa 0,29 atau 29,9% diantara keragaman total nilai lapangan (y) tidak dapat dijelaskan oleh hubungan liniernya dengan nilai citra (x). Sehingga hasil citra dan data lapangan mempunyai hubungan linier yang sangat lemah.

Sejak tahun 2006 hingga 2009 terjadi perubahan garis pantai yang diikuti dengan terjadinya perubahan daratan. Pada tahun 2006 – 2008 perubahan daratan sebesar 51,01 ha sedangkan tahun 2009 – 2009 perubahannya sebesar 18,92 ha.

Peristiwa Lumpur Lapindo mempengaruhi wilayah pesisir Surabaya Timur – Sidoarjo, terlihat dengan adanya penambahan daratan dan meningkatnya kekeruhan air laut pada area tersebut, yang disebabkan karena adanya pembuangan lumpur lapindo ke kali porong.

DAFTAR PUSTAKA

1. Adry, R. 2009. *Evaluasi Perubahan Garis Pantai dan Tutupan Lahan Wilayah Pesisir Surabaya dan Sidoarjo*. Surabaya : Teknik Geomatika FTSP-ITS.
2. Arifin, I. 2009. *Studi Perubahan Muatan Padatan Tersuspensi (TSM) di Selat Madura Akibat Pembuangan Lumpur Lapindo*. Surabaya : Teknik Geomatika FTSP-ITS.
3. Budiman, S. 2004. *Mapping TSM Concentrations from Multisensor Satellite Image in Turbid Tropical Coastal Waters of Mahakam Delta Indonesia*. ITC The Netherlands.
4. Dahuri, R. Dkk. 1996. *Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir Dan Lautan Secara Terpadu*. Jakarta: P.T. Pradnya Paramita.
5. Lillesand T.M., and Kiefer R.W., 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Second Edition, John Wiley & Sons, New York.
6. Lukitasari, F. 2009. *Evaluasi Perubahan Tutupan Lahan Wilayah Pesisir Surabaya Timur Menggunakan Citra SPOT-4 Mutispektral dan Peta LPI (Lingkungan Pantai Indonesia) Tahun 1983*. Surabaya : Teknik Geodesi FTSP-ITS.
7. Ladys, M. 2011. *Teknik Penentuan Perubahan Garis Pantai Utara Di Pesisir Jawa Tengah Dengan Teknologi Penginderaan Jauh Di LAPAN*. Palembang : Program Studi Ilmu Kelautan-UNSRI.
8. Mayasari, R. 2010. *Analisis Sedimentasi Pantai Surabaya-Sidoarjo Pasca Pembangunan Jembatan Suramadu Dan Peristiwa Lapindo Menggunakan Citra Satelit Spot-4*. Surabaya : Teknik Geomatika FTSP-ITS.
9. Pahlevi, A. M. 2009. *Analisis Sedimentasi Di Muara Kali Porong Akibat Pembuangan Lumpur Lapindo Menggunakan Data Citra Satelit Aster*. Surabaya : Teknik Geomatika FTSP-ITS.
10. Purwadhi, S. H. 2001. *Interpretasi Citra Digital*. Grasindo. Jakarta.

11. Rais, J. 2003. *Pedoman Penentuan Batas Wilayah Laut Kewenangan Daerah Menurut UU No. 22 Tahun 1999*. Jakarta.
12. Sukojo, B.M. 2006. *Modul Ajar Hitung Kerangka Geodesi*. Surabaya : Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
13. Susiati, H., Kusratmoko, E., dan Poniman, A., 2010. *Pola Sebaran Sedimen Tersuspensi Melalui Pendekatan Penginderaan Jauh Di Perairan Pesisir Semenanjung Muria - Jepara*. Jurnal Teknologi Pengolahan Limbah Volume 13, ISSN 1410-9565
14. Sutikno. 1999. *Karakteristik Bentuk Pantai Materi Perkuliahan Geografi Pesisir Dan Kelautan*. Yogyakarta : UGM
15. Thoha, A.S. 2008. *Karakteristik Citra Satelit*. Medan: Departemen Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.
16. Walpole, R. E. *Pengantar Statistika*. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.
17. Yuliati, E, A. 2010. *Analisis Perubahan Ekosistem Di Pantai Surabaya-Sidoarjo Pasca Pembangunan Jembatan Suramadu Dan Peristiwa Lapindo Dengan Citra Multitemporal*. Surabaya : Teknik Geomatika FTSP ITS