

ANALISA SEDIMEN TERSUSPENSI (*TOTAL SUSPENDED MATTER*) DI PERAIRAN TIMUR SIDOARJO MENGGUNAKAN CITRA SATELIT LANDSAT DAN SPOT

Rashita Megah Putra.M^{*}, Bambang Semedi^{*}, M.Arif Zainul Fuad^{*} dan Syarif Budhiman^{**}

^{*}Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya

^{**}Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN

email : mahardhika.47@gmail.com

Abstract

The Lapindo mud flow caused the raise of suspended sediment concentration in the Eastern part of Sidoarjo coastal waters. Suspended sediments (Total Suspended Matter / TSM) is suspended material (diameter > 1 μ m) which is caught by the millipore with diameter 0.45 and usually consist of silt, fine sand, and small organic matter, which are mostly caused by erosion carried into the water. Landsat and SPOT data were used to determine the concentration of TSM, by using Budhiman algorithm. The data were atmospheric corrected using dark pixel subtraction from the reflectance value of deep waters. Three data satellite images that were used are Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI, and SPOT-4. The purpose of this research was to know the TSM concentration in East Sidoarjo waters from 2007-2013 using Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI, and SPOT-4 and to identify the TSM distribution and to perform data validation from *in situ* measurements. The result shows that in East Sidoarjo waters the increased concentration of TSM was not linear. The concentration of TSM in East Sidoarjo waters ranged between 0-176 mg/l, the concentration can be influenced by some factors such as tides, currents, and precipitation. The statistics result of the validation test shows the coefficient of determination ($R^2=0.895$), that indicated the TSM concentration extracted from satellite images data of Landsat and SPOT determine 89.5% the conditions in field.

Key Words: TSM, Satellite Imagery, East Sidoarjo Waters.

Abstrak

Peristiwa semburan lumpur Lapindo menyebabkan terjadi peningkatan konsentrasi sedimen tersuspensi di perairan pesisir Timur Sidoarjo. Sedimen tersuspensi (*Total Suspended Matter/TSM*) adalah material tersuspensi (diameter > 1 μ m) yang tertahan pada saringan millipore dengan diameter pori 0.45 dan biasanya terdiri dari lumpur, pasir halus dan jasad-jasad renik, yang biasanya disebabkan terbawa oleh air. Data citra satelit Landsat dan SPOT dapat digunakan untuk mengetahui konsentrasi TSM, dengan menggunakan algoritma Budhiman. Koreksi atmosfer menggunakan pengurangan piksel gelap yang menggunakan nilai reflektansi pada laut dalam. Penelitian ini menggunakan tiga data citra satelit yaitu Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI, dan SPOT-4. Tujuan dalam penelitian ini untuk mengetahui konsentrasi sedimen tersuspensi (TSM) di perairan Timur Sidoarjo tahun 2007-2013 menggunakan Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI, dan SPOT-4 dan mengetahui distribusi TSM serta melakukan validasi data menggunakan data survey lapangan. Berdasarkan penelitian TSM di perairan Timur Sidoarjo peningkatan konsentrasi TSM tidak secara linier. Nilai konsentrasi TSM di perairan Timur Sidoarjo berkisar antara 0-176 mg/l, nilai konsentrasi ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pasang surut, arus, dan curah hujan. Berdasarkan hasil uji validasi didapatkan nilai koefisien determinan 0.895, hal tersebut menunjukkan TSM yang dihasilkan oleh citra menggambarkan 89.5% keadaan kondisi di lapangan.

Kata Kunci: TSM, Citra Satelit, Perairan Timur Sidoarjo.

1. Pendahuluan

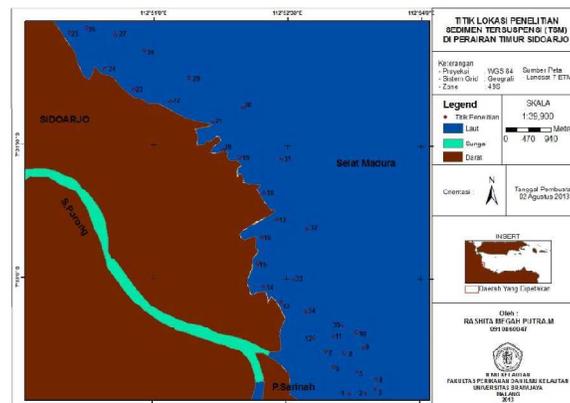
Salah satu permasalahan kondisi pesisir yang terjadi di wilayah Jawa Timur terkait dengan adanya peristiwa semburan lumpur Lapindo adalah pembuangan lumpur di sungai Porong Sidoarjo. Semburan lumpur Lapindo di Kabupaten Sidoarjo terjadi pada tanggal 29 Mei 2006. Pada tanggal 28 Mei 2012 harian Jawa Pos memberitakan selama ini lumpur dari pusat semburan dialirkan ke sungai Porong. Air deras sungai Porong menyebabkan terbawanya lumpur Lapindo menuju muara sungai Porong dan pengaliran lumpur telah menimbulkan sedimentasi di muara Porong dan pesisir Timur Sidoarjo (Sari *et al*, 2013).

Sedimen tersuspensi (*Total Suspended Matter*) dapat mengakibatkan suatu perairan menjadi keruh dan menyebabkan masuknya sinar matahari ke dalam perairan menjadi terhambat. *Total Suspended*

Matter (TSM) merupakan material tersuspensi (diameter > 1 μ m) yang tertahan pada saringan *millipore* dan terdiri dari lumpur, pasir halus dan jasad-jasad renik (Effendi, 2003). Penelitian terkait sedimen tersuspensi di Perairan Timur Sidoarjo telah banyak dilakukan dan dikembangkan, salah satunya dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh. Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh, terutama menggunakan data citra satelit, sangat berguna dalam pemantauan wilayah yang cukup luas seperti di perairan Timur Sidoarjo. Penelitian ini bertujuan memanfaatkan citra satelit Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI, dan SPOT-4 untuk mengetahui dinamika perubahan konsentrasi TSM di perairan Timur Sidoarjo tahun 2007-2013 dan mengetahui distribusi TSM, serta melakukan validasi data menggunakan data survey lapangan.

2. Metodologi

Penelitian dilaksanakan di Perairan Timur Sidoarjo, dimana data TSM diperoleh pada tanggal 26 Juni 2013. Pemilihan titik stasiun yang digunakan dalam penelitian yaitu berdasarkan hasil klasifikasi *unsupervised* (tak terbimbing) terlebih dahulu untuk mendapatkan kelas dan menentukan koordinat sebelum berangkat ke lapangan. Berikut lokasi penelitian TSM di perairan Timur Sidoarjo pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1. Lokasi Penelitian

2.1 Data

Data yang digunakan adalah:

1. Data citra satelit Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI, dan SPOT-4 waktu perekaman tahun 2007-2013 (Tabel 2-1). Pemilihan citra yang digunakan untuk validasi dalam penelitian ini adalah citra Landsat 8 OLI. Data nilai TSM didapatkan dari 35 titik pengamatan di lapangan dan digunakan sebagai data untuk melakukan validasi dan analisa nilai TSM Citra. Data lapangan diambil pada tanggal 26 Juni 2013 disekitar perairan Timur Sidoarjo yang dimulai pukul 09.45 WIB hingga 13.39 WIB pada kedalaman ± 30 cm.

Tabel 2-1. Data Citra Satelit

Citra	Akusisi	Sumber Citra	Data <i>In Situ</i>
Landsat 7 ETM+	5 Agustus 2007	USGS	-
	20 Juni 2008	USGS	-
	23 Juni 2009	USGS	-
	25 Mei 2010	LAPAN	-
	28 Mei 2011	LAPAN	-
	15 Juni 2012	LAPAN	-
	1 Mei 2013	USGS	-
Landsat 8 OLI	26 Juni 2013	USGS	Ada
SPOT-4	19 September 2007	LAPAN	-
	26 Juni 2008	LAPAN	-
	5 Juli 2009	LAPAN	-
	21 Juli 2011	LAPAN	-
	27 Juni 2012	LAPAN	-

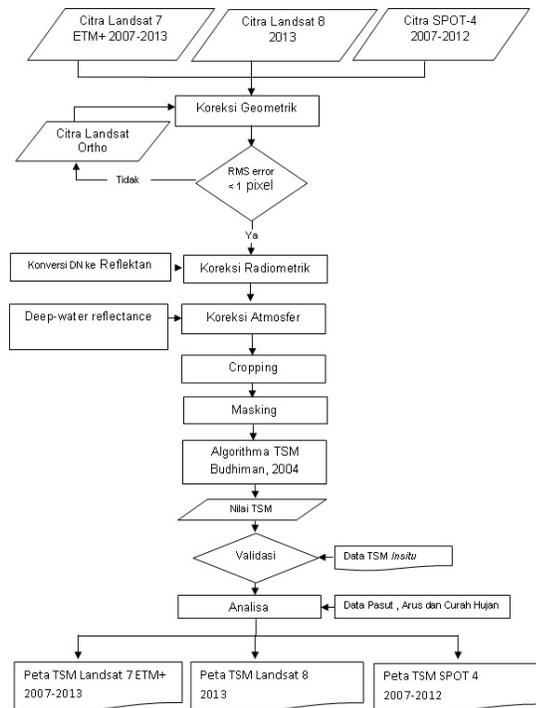
2. Data citra Landsat Orthometrik tanggal 17 Agustus 2000 untuk koreksi geometri.
3. Peta RBI tahun 1999 skala 1:25.000 terbitan BAKOSURTANAL.
4. Prediksi pasang surut perairan Timur Sidoarjo. Sumber : Software Naotide
5. Pola arus perairan Timur Sidoarjo. Sumber www.noaa.aoml.gov
6. Data curah hujan Porong. Sumber BMKG Karang Ploso Malang.

2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah: GPS Navigasi, Perahu Motor, *Suspended Solid Analyzer*, perangkat lunak ERMapper 7.0, ArcGis 9.3, dan Naotide.

2.3 Metode

Penelitian ini menggunakan model algoritma Budhiman (2004). Beberapa penelitian serupa telah dilakukan di perairan Porong Sidoarjo yang juga masih masuk dalam perairan Timur Sidoarjo (Nurjati dan Handayani, 2011 dan Mayasari, 2010) menggunakan model algoritma Budhiman (2004) dengan citra yang berbeda. Perbedaan penelitian ini dengan sebelumnya adalah pada koreksi atmosfer menggunakan pengurangan piksel gelap yang menggunakan nilai reflektansi pada laut dalam. Proses pengolahan data dapat dilihat pada gambar 2-2 dibawah.



Gambar 2-2 Diagram Alir Proses Pengolahan Data

Koreksi atmosfer

Koreksi atmosfer dilakukan dengan mencari nilai reflektan dari suatu perairan di laut dalam (deep water) yang nantinya akan digunakan sebagai acuan piksel gelap (*dark pixel*). Asumsinya adalah, dikarenakan perairan laut dalam adalah perairan yang bebas dari keberadaan sedimen yang tersuspensi, maka seluruh sinar tampak yang masuk ke perairan laut dalam sebagian besar akan diserap oleh molekul air. Sehingga nilai pantulan yang diterima oleh sensor dan berada pada perairan laut dalam adalah nilai pantulan yang berasal dari atmosfer. Nilai ini kemudian dijadikan acuan untuk mengkoreksi kondisi atmosfer di perairan pesisir. Adapun persamaan untuk mencari nilai reflektans dari perairan laut dalam yaitu :

$$\text{Reflektans} = \text{mean} - (2 * \text{Std.Deviasi}) \quad (2-1)$$

Algorithma TSM (Budhiman, 2004)

Untuk perhitungan nilai TSM pada citra satelit Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI, dan SPOT-4 di perairan Timur Sidoarjo memanfaatkan nilai reflektan dari *band* merah. Pada Landsat 8 OLI algorithma yang digunakan hampir sama dengan algorithma pada Landsat 7 ETM+, hal ini dikarenakan nilai dari panjang gelombang band merah pada Landsat 8 OLI hampir sama dengan nilai panjang gelombang band merah pada Landsat 7 ETM+. Berikut algorithma yang digunakan:

$$\text{Landsat 7 dan 8 OLI} : \text{TSM (mg/l)} = 8.1429 * \text{Exp}^{(23.704 * \text{band merah})} \quad (2-2)$$

$$\text{SPOT-4} : \text{TSM (mg/l)} = 7.9038 * \text{Exp}^{(23.942 * \text{band merah})} \quad (2-3)$$

Nilai TSM kemudian diklasifikasikan dalam beberapa kelas rentang konsentrasi untuk memudahkan dalam membaca hasil pengolahan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Seleksi Data Validasi TSM Citra Landsat 8 2013

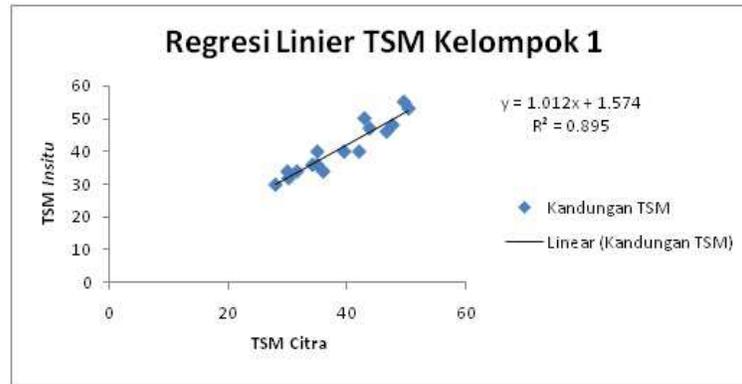
Data lapangan yang diambil pada tanggal 26 Juni 2013, kemudian dibandingkan dengan data citra satelit hasil pengolahan. Pada perbandingan data ini perlu dilakukan proses seleksi data yang nantinya akan digunakan untuk validasi citra satelit. Dalam melakukan penyeleksian data citra yang akan digunakan validasi ada beberapa tahapan yang dilakukan yaitu: 1) Melakukan pemilihan data yang tidak terpengaruh awan setelah pemasukan algoritma, 2) Melakukan klasifikasi secara *unsupervised* (tak terbimbing) dimana titik digunakan telah mewakili beberapa kelasnya, dan 3) Pemilihan berdasarkan *true colour composite* pada peta untuk mengetahui kelompok yang masih terkena efek *haze*. Dari hasil penyeleksian data, didapatkan 2 kelompok yang digunakan untuk validasi data citra satelit, yaitu kelompok 1 letaknya berdekatan dengan laut lepas dan kelompok 2 letaknya berdekatan dengan daratan (Gambar 3-1).



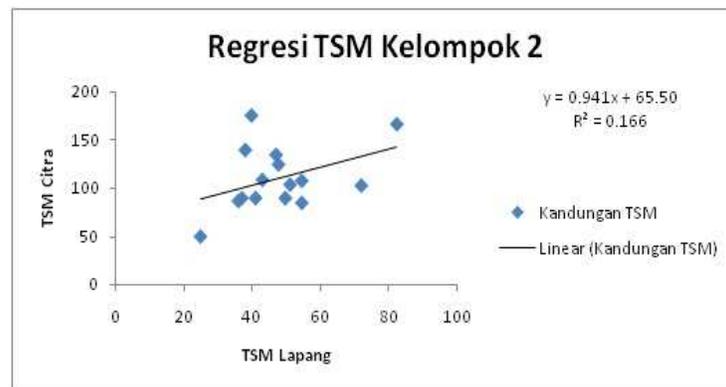
Gambar 3-1 Kelompok Hasil Seleksi Data Citra

3.2 Analisa Statistik Regresi Linier Sederhana

Perhitungan statistik digunakan untuk mengetahui apakah data citra satelit dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi yang ada dilapangan, dengan perbandingan nilai-nilai TSM yang telah dibedakan per kelompok berdasarkan hasil seleksi data. Gambar 3-2 memperlihatkan perhitungan statistik regresi linier sederhana untuk kelompok 1. Nilai R^2 sebesar 0.895 yang diperoleh dari perhitungan tersebut menyatakan bahwa data citra kelompok 1 memiliki nilai dalam memprediksi konsentrasi TSM di lapangan sebesar 89.5%.



Gambar 3-2 Grafik regresi linier sederhana kelompok 1

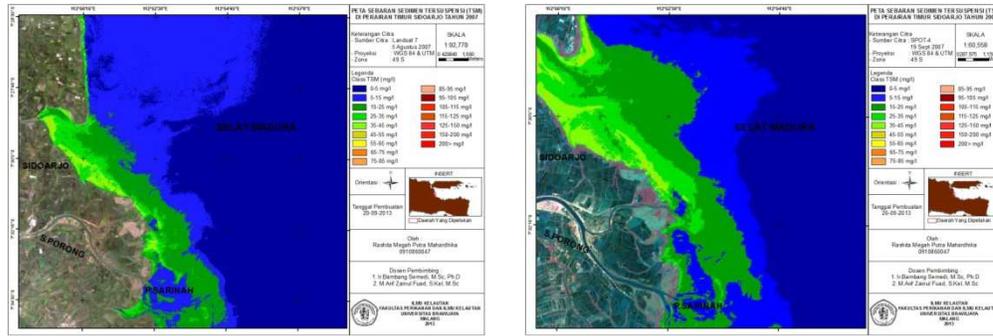


Gambar 3-3 Grafik regresi linier sederhana kelompok 2

Gambar 3-3 memperlihatkan perhitungan statistik regresi linier sederhana untuk kelompok 2. Nilai R^2 sebesar 0.166 yang diperoleh dari perhitungan tersebut menyatakan bahwa data citra kelompok 2 memiliki nilai dalam memprediksi konsentrasi TSM di lapangan sebesar 16.6%. Hasil perhitungan statistik dengan menggunakan regresi linier sederhana didapatkan, bahwa kelompok 1 yang digunakan untuk validasi data citra satelit, dengan nilai R^2 sebesar 0.895.

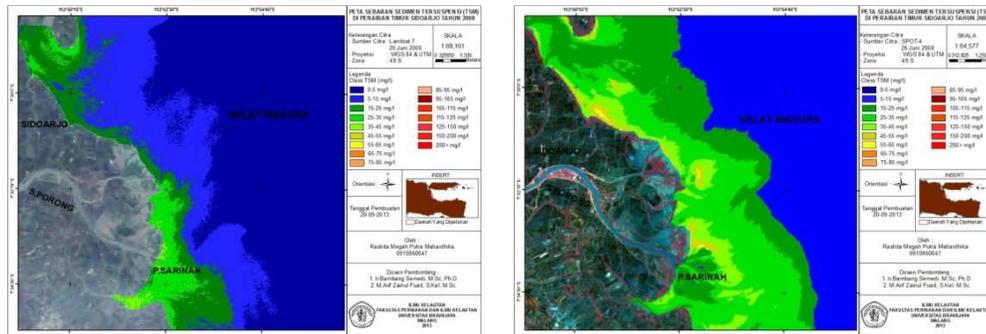
3.3 Analisa TSM Citra Landsat 7, Landsat 8 OLI, dan SPOT-4.

Pada tahun 2007, untuk citra satelit Landsat 7 terlihat hanya memiliki 7 kelas konsentrasi TSM dengan sebaran TSM yang hampir rata, tetapi pada daerah yang dekat dekat mulut muara sungai porong cenderung lebih rendah. TSM bagian sebelah Utara muara sungai Porong lebih tinggi. Untuk citra SPOT-4 tahun 2007 memiliki 8 kelas konsentrasi TSM dengan sebaran yang hampir sama dengan Landsat 7. Dan pada bagian Utara muara sungai Porong lebih banyak sebaran TSM yang terkumpul (Gambar 3-4).



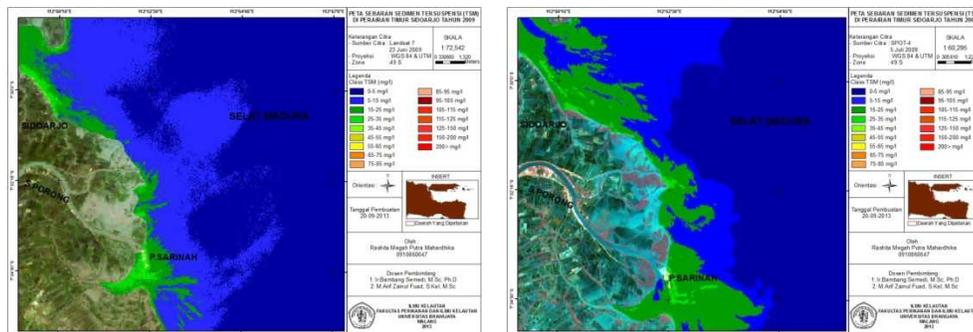
Gambar 3-4 Peta sebaran TSM tahun 2007 Landsat 7 dan SPOT-4

Tahun 2008 untuk citra Landsat 7 hanya memiliki 5 kelas konsentrasi TSM, dengan kondisi TSM pada depan muara sungai Porong lebih terkonsentrasi pada daerah tersebut. Sedangkan pada daerah Utara konsentrasi TSM lebih rendah. Pada SPOT-4 memiliki 6 kelas konsentrasi TSM dan pada bagian depan muara sungai Porong juga mengalami peningkatan dari tahun sebelumnya. Pada bagian Utara juga ditunjukkan adanya peningkatan nilai konsentrasi TSM (Gambar 3-5)

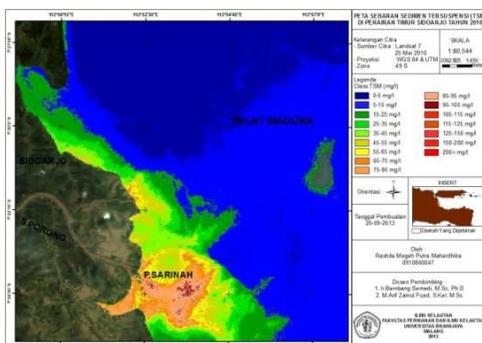


Gambar 3-5 Peta sebaran TSM tahun 2008 Landsat 7 dan SPOT-4

Tahun 2009 Landsat 7 memiliki 5 kelas konsentrasi TSM dan terjadi penurunan luasan TSM yang terbentuk pada depan muara sungai Porong, begitu juga pada daerah Utara muara sungai Porong. Untuk citra SPOT-4 memiliki 6 kelas konsentrasi TSM dan sama dengan kondisi Landsat 7, dimana terjadi penurunan sebaran beberapa kelas TSM di bagian depan muara sungai Porong dan di bagian Utara muara sungai Porong (Gambar 3-6)

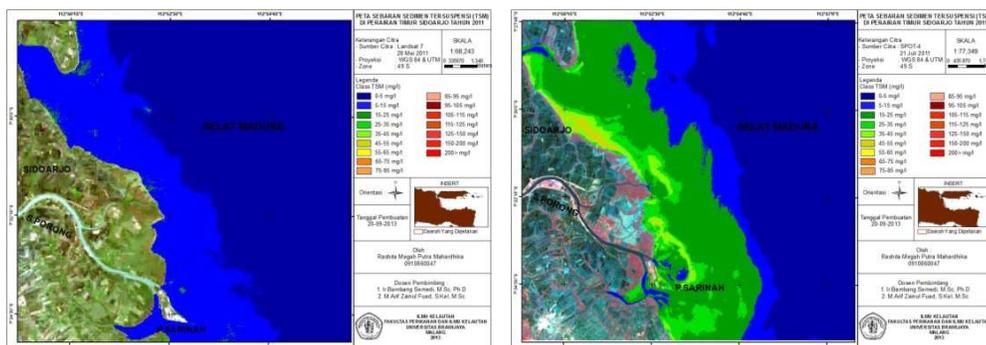


Gambar 3-6 Peta sebaran TSM tahun 2009 Landsat 7 dan SPOT-4



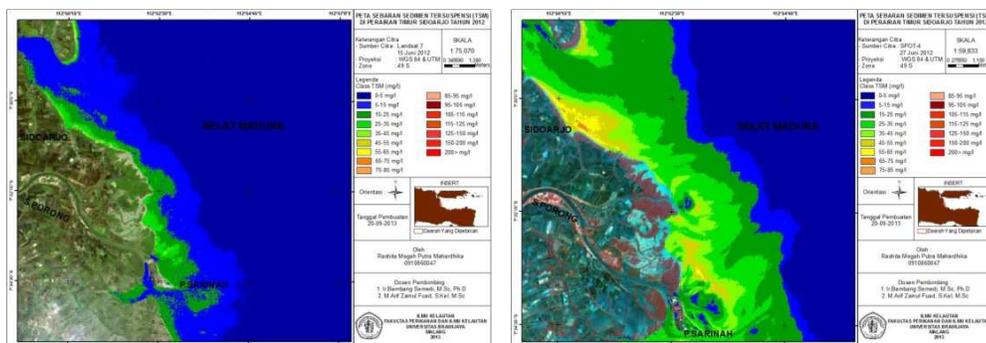
Gambar 3-7 Peta sebaran TSM tahun 2010 Landsat 7

Tahun 2010 citra Landsat 7 memiliki 11 kelas konsentrasi TSM dengan konsentrasi tertinggi di depan muara sungai Porong. Pada tahun ini juga terjadi peningkatan yang cukup drastis dari tahun sebelumnya. Sedangkan SPOT-4 tidak ada data yang terekam dengan baik pada tahun ini di bulan Juni-September dan cenderung tertutup awan tebal (Gambar 3-7)



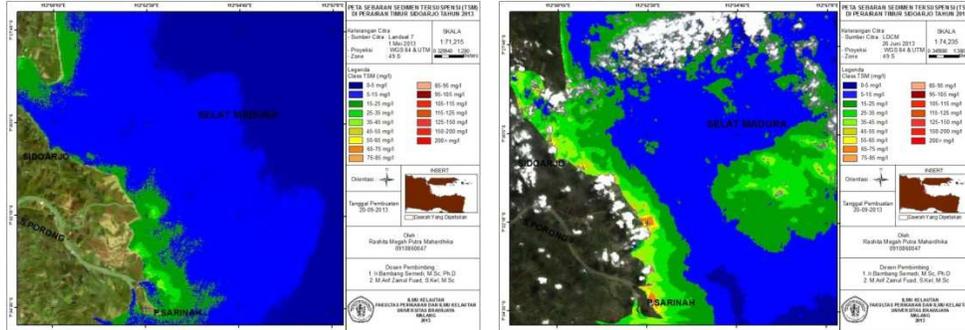
Gambar 3-8 Peta sebaran TSM tahun 2011 Landsat 7 dan SPOT-4

Tahun 2011 citra Landsat 7 terjadi penurunan yang drastis yang hanya memiliki 4 kelas konsentrasi TSM dan terjadi penurunan luasan TSM pada bagian depan muara sungai Porong dan bagian Utara muara sungai Porong. Pada citra SPOT-4 tahun 2011 memiliki 8 kelas konsentrasi TSM dan pada bagian depan muara sungai Porong luasan kelas TSM lebih tinggi dari tahun sebelumnya dan juga lebih tinggi dibanding citra Landsat 2011. Pada bagian utara terlihat konsentrasi TSM lebih tinggi daripada depan muara sungai Porong (Gambar 3-8).



Gambar 3-9 Peta sebaran TSM tahun 2012 Landsat 7 dan SPOT-4

Tahun 2012 citra Landsat 7 memiliki 6 kelas konsentrasi TSM dan pada bagian depan muara sungai Porong luasan TSM mengalami peningkatan dari tahun sebelumnya. Tetapi luasan konsentrasi TSM yang lebih tinggi berada dekat dengan daratan. Untuk citra SPOT-4 8 kelas konsentrasi TSM dan mengalami peningkatan luasan TSM pada bagian depan muara sungai Porong dan Utara (Gambar 3-9).



Gambar 3-10 Peta sebaran TSM tahun 2013 Landsat 7 dan Landsat 8 OLI

Tahun 2013 pada Landsat 7 memiliki 5 kelas konsentrasi TSM dengan luasan TSM mengalami peningkatan pada bagian depan muara sungai Porong, sedangkan pada bagian Utara mengalami penurunan. Pada citra Landsat 8 OLI tahun 2013 memiliki 8 kelas konsentrasi TSM. Ini membuktikan adanya peningkatan pada tahun 2013 dengan perbedaan bulan perekaman. Pada Landsat 8 OLI terlihat pada depan muara sungai Porong konsentrasi TSM juga mengalami peningkatan dengan melihat luasan sebaran TSM yang berada di depan muara sungai Porong (Gambar 3-10).

3.4 Analisa TSM dengan Pasang Surut

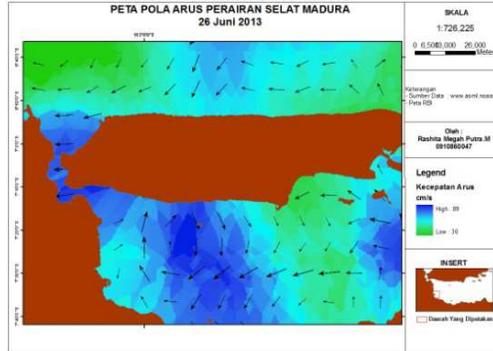
Berdasarkan data pasang surut diketahui bahwa tanggal 26 Juni 2013 terjadi pasang tertinggi yaitu pada pukul 12.00 WIB dan surut terendah pada pukul 19.00 WIB. Dari pengambilan sampel yang dimulai pada pukul 09.49 WIB hingga pukul 13.39 WIB, dimana pada waktu tersebut perairan Timur Sidoarjo menunjukkan kondisi pasang (Gambar 3-11). Hal ini mengakibatkan konsentrasi TSM paling tinggi berada pada daerah dekat dengan darat, karena kondisi pasang mengakibatkan konsentrasi TSM yang terangkut melalui sungai porong lebih tinggi berkumpul di dekat daratan dan mengalami penurunan konsentrasi apabila semakin mendekati laut bebas.



Gambar 3-11 Grafik prediksi pasut perairan Timur Sidoarjo

3.5 Analisa TSM dengan Pola Arus

Pola arus juga mempunyai pengaruh pada sebaran TSM yang terjadi di perairan Timur Sidoarjo, karena perairan ini juga berbatasan dengan Selat Madura dan merupakan daerah pertemuan muara Porong dengan Selat Madura.

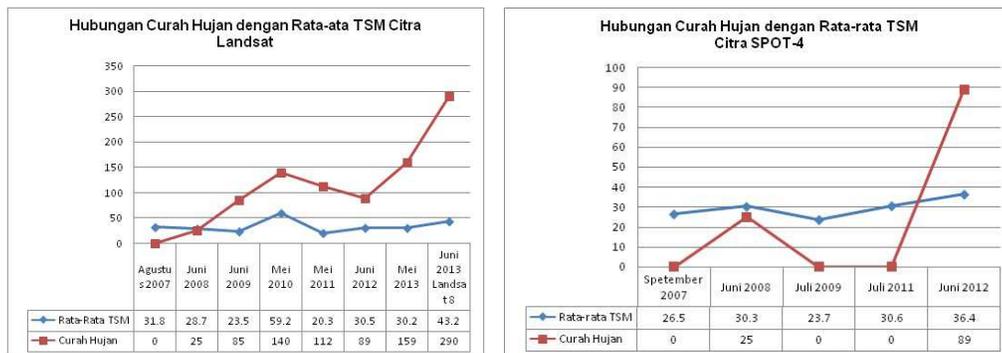


Gambar 3-12. Pola arus perairan Selat Madura

Gambar 3-12 memperlihatkan Selat Madura pada tanggal 26 Juni 2013, dimana arus di sekitar perairan Timur Sidoarjo bergerak dari Utara menuju Selatan yaitu menuju muara Porong, sehingga dapat mengakibatkan konsentrasi tinggi pada daerah yang berdekatan dengan darat.

3.6 Analisa TSM dengan Curah Hujan

Curah hujan di sekitar perairan Timur Sidoarjo memiliki pengaruh terhadap konsentrasi TSM di perairan tersebut. Karena perairan Timur Sidoarjo mendapatkan transport sedimen tersuspensi yang berasal dari sungai Porong dan berakhir di muara sungai Porong. Gambar 3-13 memperlihatkan data curah hujan tahun 2007-2013 yang disesuaikan dengan perekaman citra satelit.



Gambar 3-13 Grafik hubungan curah hujan dengan rata-rata TSM Landsat dan SPOT-4

Gambar 3-13 menunjukkan curah hujan tinggi berasosiasi dengan nilai konsentrasi TSM yang tinggi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa curah hujan mengakibatkan peningkatan akumulasi sedimen yang dibawa oleh arus sungai dan tersuspensi ke perairan Timur Sidoarjo.

4. Penutup

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang analisa sedimen tersuspensi (TSM) menggunakan citra satelit Landsat dan SPOT didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. TSM tertinggi citra Landsat terjadi tahun 2010 dan 2013 dengan nilai konsentrasi 100.2 mg/l dan 82.3 mg/l. TSM tertinggi citra SPOT-4 terjadi pada tahun 2011 dan 2012 dengan nilai konsentrasi 56.6 mg/l dan 71.2 mg/l. Nilai konsentrasi TSM perairan Timur Sidoarjo berkisar 0-176 mg/l.
2. Sebaran TSM di perairan Timur Sidoarjo sangat dinamis dengan pola peningkatan sepanjang tahun. Kenampakan penurunan luasan sebaran TSM terjadi pada citra Landsat tahun 2011 dan citra SPOT-4 tahun 2009. Dinamika tersebut sangat dipengaruhi oleh pola arus, curah hujan dan pasang surut.
3. Kelompok yang digunakan validasi data adalah kelompok 1 dengan nilai R^2 sebesar 0.895. Dengan demikian citra Landsat 8 OLI dapat menggambarkan kondisi TSM di lapangan sebesar 89.5%

4.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada terkait dengan penelitian selanjutnya adalah:

1. Dapat menggunakan citra satelit lain dengan resolusi spasial yang lebih tinggi untuk mengetahui TSM di perairan Timur Sidoarjo dan menggunakan algoritma yang berbeda.
2. Dalam hal pengambilan data harap pertimbangkan cuaca pada waktu pengambilan, serta pengambilan data tidak hanya pada bagian Utara muara sungai Porong saja tetapi mencakup Utara dan Selatan.

5. Daftar Rujukan

- Budhiman, Syarif. 2004. *Mapping TSM Concentrations from Multisensor Satellite Images in Turbid Tropical Coastal Waters of Mahakam Delta, Indonesia*. Thesis ITC, Enschede, The Netherland. Hal 1-81.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius. Yogyakarta
- Mayasari, Ratna. 2010. *Pasca Pembangunan Jembatan Suramadu Dan Peristiwa Lapindo Menggunakan Citra Satelit SPOT-4*. Tugas Akhir ITS. Surabaya.
- Sari, Ayu Eka M; Purnomo,T; Winarsih. 2013. *Kualitas Perairan Estuari Porong Sidoarjo Jawa Timur Berdasarkan Indeks Keanekaragaman Makrozoobentos*. LenteraBio Vol 2. No1 Januari 2013: 81-85
- Nurjati, Chatarina dan Handayani, H.H. 2011. *Penginderaan Jauh Untuk Kandungan TSS di Wilayah Pantai Timur Surabaya Akibat Pembuangan Lumpur Sidoarjo*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah. Hal 5-16.