

Studi Temporal Perubahan TSS (*Total Suspended Solid*) Di Perairan Sekitar Muara Kali Porong Akibat Pengaruh Lumpur Lapindo Berdasarkan Interpretasi Citra Landsat 8 Oli

Temporal Study of TSS (Total Suspended Solid) Around Porong River Estuary Due To the Influence of Lapindo Mud Based On Landsat 8 OLI Satellite Imagery

Ihsan Dwi Mubarak^{1*}, Rifardi², Afrizal Tanjung².

¹Mahasiswa Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau

²Dosen Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau

*Email: mubarokid.idm@gmail.com

Abstrak

Diterima
10 Oktober 2019

Disetujui
1 Desember 2019

Penelitian ini dilaksanakan pada April 2019 di Perairan sekitar muara Kali Porong Kabupaten Sidoarjo Provinsi Jawa Timur dengan tujuan untuk mengetahui konsentrasi TSS menggunakan citra Satelit Landsat 8 OLI dan menentukan koefisien untuk mempelajari fluktuasi konsentrasi TSS dari tahun ke tahun sebelum dan setelah peristiwa lumpur lapindo menggunakan citra Satelit Landsat 8 OLI. Metode yang digunakan adalah metode survei, dimana lokasi sampling terdiri dari 25 titik sampling dengan jarak antar titik sampling 550 meter dan 3 kali ulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi fluktuasi konsentrasi TSS di Perairan sekitar muara Kali Porong sebelum dan sesudah peristiwa lumpur lapindo pada rentan waktu tahun 2000-2019. Algoritma Budhiman (2004) mendapatkan hasil yang paling baik untuk mengukur konsentrasi TSS di Perairan sekitar muara Kali Porong. Konsentrasi TSS tertinggi ada di muara Kali Porong pada tahun 2008 yaitu 216,07 mg/l. ($R^2 = 0,915$; $r = 0,957$). Pengembangan Algoritma Budhiman (2004) mendapatkan rumus TSS (mg/l) = $-6.7625 + (1.2129 * (8.1429 * (\text{Exp}(23.704 * 0.94 * \text{Band-Red}))))$

Kata kunci: Kali Porong, TSS, Landsat 8, dan Budhiman

Abstract

This research was conducted in April 2019 to determined TSS concentrations using Landsat 8 OLI Satellite imagery and of to the coefficient TSS concentrations at period of before and after Lapindo mudflow event using Landsat 8 OLI satellite imagery in Porong River estuary Sidoarjo Regency East Java Province. TSS from 25 sampling points with 3 replication were taken from the estuary. The result showed that fluctuation of TSS occurred around Porong River estuary before and after Lapindo mudflow event from 2000-2019. Algorithm of Budhiman (2004) got the best result for analyst TSS concentration around Porong River estuary. The highest concentration was in estuary. In 2008, the concentration in estuary was 216,07 mg/l. ($R^2 = 0,915$; $r = 0,957$). The Development of Algorithm of Budhiman (2004) produced formula of TSS (mg/l) = $-6.7625 + (1.2129 * (8.1429 * (\text{Exp}(23.704 * 0.94 * \text{Band-Red}))))$

Keyword: Porong River, TSS, Landsat 8, and Budhiman

1. Pendahuluan

Banjir Lumpur Panas Sidoarjo atau Lumpur Lapindo merupakan peristiwa menyemburnya lumpur panas di lokasi pengeboran PT Lapindo Brantas di Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, sejak tanggal 27 Mei 2006. Lumpur Lapindo di Sidoarjo tersusun atas 70% air dan 30% padatan (Usman *et al.*, 2006). Kadar garam (salinitas) lumpur sangat tinggi (38-40%), sehingga bersifat asin (Arisandi *et al.*, 2011).

Selanjutnya, Kali Porong merupakan percabangan dari Kali Brantas yang berhulu dari Mojokerto, mengalir dan bermuara ke timur yaitu di Selat Madura. Sejak munculnya semburan lumpur Lapindo pada tahun 2006, pemerintah telah menetapkan Kali Porong sebagai pembuangan lumpur Lapindo untuk mencegah jebolnya tanggul Lumpur Lapindo yang selanjutnya dibuang menuju ke laut. Ini membawa dampak lingkungan yang dirasakan oleh warga sekitar Kali Porong, diantaranya penurunan kualitas air pada tambak-tambak warga dan yang saat ini tengah terjadi yakni pendangkalan Kali Porong dikarenakan sedimentasi lumpur yang cukup tebal sehingga mengganggu aliran air di kali Porong.

Sedimen-sedimen tersebut membawa banyak partikel yang mengalir sepanjang Kali Porong salah satunya adalah padatan tersuspensi. Padatan tersuspensi (*total suspended solid*) adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut, dan tidak dapat mengendap langsung. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil daripada sedimen, misalnya tanah liat, bahan-bahan organik tertentu, sel-sel mikroorganisme, dan sebagainya (Fardiaz, 2011).

Pembuangan lumpur yang dialirkan ke laut melalui Kali Porong dan Aloo yang menyebabkan terjadi perubahan konsentrasi TSS dari kondisi alaminya. Penelitian ini bertujuan untuk tujuan untuk mengetahui konsentrasi TSS menggunakan citra Satelit Landsat 8 OLI dan menentukan koefisien untuk mempelajari fluktuasi konsentrasi TSS dari tahun ke tahun sebelum dan setelah peristiwa lumpur lapindo menggunakan citra Satelit Landsat 8 OLI.

2. Bahan dan Metode

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2019 – Mei 2019 di Perairan sekitar Muara Kali Porong Kabupaten Sidoarjo Provinsi Jawa Timur (Gambar 1). Sedangkan analisis TSS dilakukan di Laboratorium Kimia Laut dan Laboratorium Fisika Laut Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau.

2.2 Penentuan Lokasi Sampling

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei. Lokasi pengamatan dan pengambilan sampel pada sekitar Muara Kali Porong Kabupaten Sidoarjo, kemudian sampel dibawa ke laboratorium untuk dianalisis TSS pada sampel. Lokasi pengambilan sampel TSS pada air ditentukan secara *purposive sampling*. Berdasarkan pertimbangan kondisi perairan di Perairan sekitar Muara Kali Porong, maka ditetapkan pengambilan sampel dibagi atas 25 titik sampling, dimana setiap stasiun terdapat 3 ulangan. Setiap titik sampling memiliki jarak sekitar 550 meter (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian dan Titik Sampling

2.3 Pengambilan Sampel dan Analisis Data

Pengambilan sampel dilakukan dengan cara mengambil sampel air permukaan menggunakan botol sampel plastik 250 ml. Sampel yang telah diambil dianalisis di laboratorium menggunakan metode gravimetri (APHA 2540-D, 2012):

$$\text{Total Suspended Solid} = \frac{(A-B) \times 1000}{C}$$

Keterangan :
 A = Berat kertas saring setelah disaring (mg)
 B = Berat kertas saring sebelum disaring (mg)
 C = Volume sampel (ml)

- Analisis TSS Menggunakan Citra Satelit

Tahap Persiapan

- Identifikasi Awal
- Studi Literatur

Tahap Pengumpulan Data

Tahap Analisis

- Pemotongan Citra (Cropping)
- Koreksi Radiometrik dan Atmosfer

$$\rho\lambda = M_p * Q_{cal} + A_p$$

Keterangan :
 $\rho\lambda$ = nilai reflektan pada band ke i ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)
 M_p = Faktor skala pengali radian untuk setiap band (RADIANCE_MULT_BAND_n) dari metadata, n adalah nomor band).
 Q_{cal} = Faktor skala penjumlah Radian untuk band (RADIANCE_ADD_BAND_n dari metadata, dimana n adalah nomor band)
 A_p = Quantized and calibrated standard product pixel values (DN)

$$y = Xa * (L\lambda) - xb \Rightarrow acr = y / (1 + xc * y)$$

Keterangan :
 $\rho\lambda$ = reflektan terkoreksi atmosfer (*Atmospheric Corrected Reflectance*)
 (λ) = citra berformat radian
 Xa, xb, xc = parameter koreksi yang diperoleh dengan menjalankan perangkat lunak 6SV berbasis web yang ada di <http://6s.ltdri.org/>.

- NDWI (*Natural Different Water Index*)

$$NDWI = \text{Green-NIR} / \text{Green+NIR}$$

Keterangan :
 Green = Band Gelombang Hijau
 NIR = Band Infrared

- 6 Algoritma Pengolahan TSS

Syarif Budiman (2004) = $8,1429 * (\exp(23,704 * 0,94 * (\text{Red-Band})))$
 Parwati (2006) = $3,3238 * \exp(34,099 * (\text{Red-Band}))$
 Guzman – Santaella (2009) = $602,63 * (0,0007e47,755 * (\text{Red-Band})) + 3,1481$
 Nurahida Laili (2015) = $31,42 * ((\log(Rrs(\text{Blue-Band})) / (\log(Rrs(\text{Red-Band}))) - 12,719$
 Jaelani (2016) = $1.5212 * (\log(Rrs(\text{Blue-Band})) / \log_{10}(Rrs(\text{Green-Band}))) - 0.3698$
 Doxoran *et al* (2005) = $5.1271 * \text{Exp}(0.0027 * \text{Red-Band})$

- Uji Korelasi, Uji Validasi, dan Uji Regresi Linier Sederhana

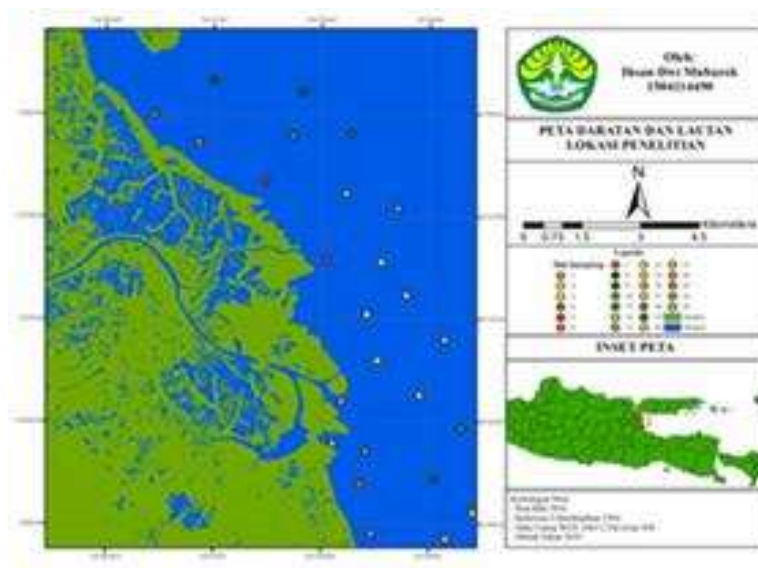
$$NMAE (\%) = \frac{1}{N} \sum |x_{estimate} - x_{measured}| \cdot 100$$

Keterangan :	<i>NMAE</i>	<i>Normalized Mean Absolute Error</i>
	N	= Jumlah data
	<i>X estimated</i>	= Nilai hasil pengolahan
	<i>X measured</i>	= Nilai hasil pengukuran lapangan yang dianggap benar

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 NDWI (*Natural Different Water Index*)

NDWI (*Natural Different Water Index*) diusulkan pertama dalam teknik penginderaan jauh oleh Gao (1996) untuk deteksi kandungan air vegetasi. Indeks ini menggunakan radiances atau reflectances dari saluran merah di sekitar 0,66 μm dan saluran inframerah dekat sekitar 0,86 μm . Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil NDWI (*Natural Different Water Index*)

Saluran merah terletak di wilayah penyerapan klorofil yang kuat, sedangkan saluran inframerah dekat ini terletak pada pantulan tinggi dari kanopi vegetasi. Kedua saluran memiliki kedalaman yang sangat berbeda sepanjang kanopi vegetasi. NDWI menggunakan dua saluran NIR, satu berpusat sekitar pada 0,86 μm , dan yang lainnya di 1,24 μm . Ekstraksi tubuh air dengan menggunakan penginderaan jauh telah menjadi metode yang paling penting dalam penyelidikan sumber daya air, penilaian prediksi bencana banjir dan perencanaan air dengan efektivitas yang cepat dan akurat. NDWI dilakukan untuk memisahkan antara daratan dengan lautan yang bertujuan untuk memudahkan pengukuran konsentrasi nilai TSS di Perairan Sekitar Muara Kali Porong. Dengan nilai daratan= 0 dan perairan= 1.

3.2 Hasil Nilai TSS *In Situ* dan TSS Pengolahan Citra Satelit

Hasil TSS *in situ* dan pengolahan citra satelit landsat 8 yang direkam pada 8 April 2019 dengan menggunakan 6 algoritma pengukuran TSS yaitu: Algoritma Parwati (2006), Algoritma Budhiman (2004), Algoritma Nurahida (2015), Algoritma Jaelani (2016), Algoritma Guzman dan Santella (2009) dan Algoritma Doxoran *et al* (2005), didapatkan nilai TSS sebagai berikut (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil TSS Data *In Situ* dan TSS Pengolahan Citra Satelit

Titik Kordinat (Derajat)		Titik Sampling	TSS In Situ (mg/l)	TSS Parwati (mg/l)	TSS Budhiman (mg/l)	TSS Nur laili (mg/l)	TSS Jaelani (mg/l)	TSS Guzman dan Santella (mg/l)	TSS Doxoran <i>et al</i> (mg/l)
Bujur (x)	Lintang (y)								
112.8797	-7.57	1	73	118.7	82	40	45	430.56	240.46
112.8881	-7.56	2	75	122.7	85	46	57	435.67	226.67
112.8856	-7.54889	3	55	71.4	60	27	28	325.74	113.74
112.8761	-7.53556	4	83	213.25	123	33	36	53.36	294.64
112.8622	-7.51673	5	76	96.25	73	29	25	395.45	147.93
112.8464	-7.50694	6	40	28.5	34	20	28	250.15	99.15
112.8361	-7.50019	7	40	32	35	22	27	271.3	120.87
112.85	-7.49167	8	31	25.4	31	20	22	243.75	107.58
112.8706	-7.49472	9	24	15.3	22	13	17	255.8	103.92
112.8683	-7.50528	10	28	24	30	19	20	252.74	104.64
112.8819	-7.50472	11	21	14	21	14	18	245.83	108.39
112.8807	-7.5194	12	24	20	26	15	19	240.78	122.76
112.8928	-7.52306	13	25	12	19	15	15	255.34	103.72
112.8889	-7.53605	14	18	15	21	14	17	222.57	101.9
112.8947	-7.54417	15	23	24	29	18	27	244.67	109.11
112.9036	-7.555	16	22	13	20	17	19	269.55	112.73
112.8978	-7.56862	17	43	40	41	16	26	352.67	173.89
112.9075	-7.57667	18	36	34	37	17	29	284.75	97.79
112.9012	-7.58882	19	55	66	57	28	33	363.55	183.48
112.9103	-7.59722	20	31	28	32	19	21	279.19	111.2
112.9039	-7.60361	21	38	35	38	25	30	267.55	101.27
112.8867	-7.60222	22	75	90	70	44	49	446.39	225.25
112.8839	-7.59028	23	95	164	104	45	55	493.56	279.7
112.8853	-7.58222	24	100	254	138	49	55	588.34	384.91
112.8777	-7.58026	25	100	144	96	67	69	484.89	255.84

Pengukuran TSS *in situ* mendapatkan nilai konsentrasi di Perairan sekitar Muara kali porong berkisar antara 18-100 mg/l. Sementara hasil analisis TSS menggunakan 6 algoritma berbeda sebagai berikut. Algoritma Parwati (2006) mendapatkan rentang konsentrasi TSS berkisar antara 12-254 mg/l. Sementara Algoritma Budhiman (2004) mendapatkan rentang konsentrasi TSS berkisar antara 21-138 mg/l. Lalu Algoritma Nurahida (2015) mendapatkan rentang konsentrasi TSS berkisar antara 13-67 mg/l. Selanjutnya Algoritma Jaelani (2016) mendapatkan rentang konsentrasi TSS berkisar antara 15-69 mg/l. Algoritma Guzman dan Santella (2009) mendapatkan rentang konsentrasi TSS berkisar antara 53,36-588,34 mg/l. Terakhir Algoritma Doxoran *et al* (2005) mendapatkan rentang konsentrasi TSS berkisar antara 97,39-384,91 mg/l.

3.3 Uji Korelasi Nilai TSS *In Situ* dengan Algoritma TSS Pengolahan Citra Satelit

Proses uji korelasi nilai TSS *in situ* dengan 6 algoritma TSS pengolahan citra satelit landsat menggunakan software SPSS versi 24 (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil Uji Korelasi TSS *In Situ* dengan 6 Algoritma TSS

No.	Algoritma TSS	Nilai Uji Korelasi	Kriteria
1.	Parwati (2006)	0,924	Sangat kuat
2.	Budhiman (2004)	0,957	Sangat kuat
3.	Nurahida (2015)	0,923	Sangat kuat
4.	Jaelani (2016)	0,894	Sangat kuat
5.	Guzman dan Santella (2009)	0,689	Kuat
6.	Doxoran <i>et al</i> (2005)	0,895	Sangat kuat

Algoritma Budhiman (2004), Parwati (2006), Nurahida (2015), Doxoran *et al* (2005) dan Algoritma Jaelani (2016) memiliki korelasi sangat kuat. Sementara Algoritma Guzman dan Santella (2009) memiliki korelasi kuat. Hal ini berdasarkan analisis koefisien korelasi menurut Sugiyono (2017).

3.4 Uji Validasi Nilai TSS *In Situ* dengan Algoritma TSS Pengolahan Citra Satelit

Uji validasi menggunakan software online yang dapat diakses di <https://agrimetsoft.com/calculators/> lalu pilih Mean Absolute Error. Algoritma Budhiman (2004) mendapatkan nilai NMAE paling kecil yaitu 6,52%. Hal ini menunjukkan bahwa Algoritma Budhiman merupakan algoritma yang paling cocok dan sesuai untuk mengukur konsentrasi TSS di Perairan sekitar Muara Kali Porong. Sementara Algoritma Guzman dan Santella memiliki nilai NMAE paling besar dengan 271,29% yang menunjukkan bahwa Algoritma Guzman dan Santella

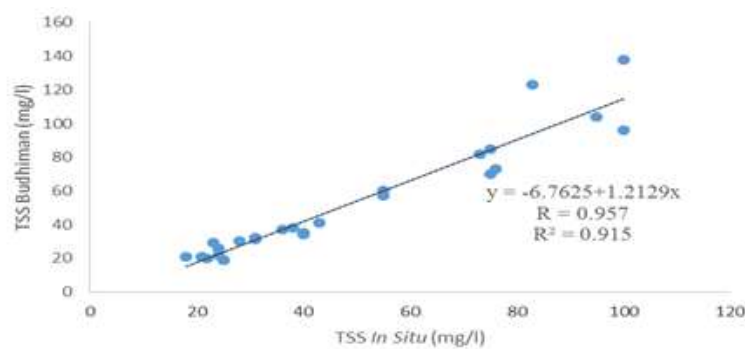
(2009) tidak bisa menggambarkan bagaimana konsentrasi TSS di Perairan sekitar Muara Kali Porong menggunakan citra satelit landsat 8. Hasil Uji Validasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Validasi TSS *In Situ* dengan 6 Algoritma TSS

No.	Algoritma TSS	NMAE (%)
1.	Parwati (2006)	25,56
2.	Budhiman (2004)	6,52
3.	Nurahida (2015)	22,36
4.	Jaelani (2016)	18,08
5.	Guzman dan Santella (2009)	271,29
6.	Doxoran <i>et al</i> (2003)	112,02

3.5. Uji Regresi Linear Sederhana

Hasil uji regresi linear sederhana yang dilakukan terhadap data TSS *In Situ* dengan Algoritma Budhiman (2004) yang memiliki nilai eror paling sedikit yaitu 6,52%. Hasil dari uji regresi linear sederhana ini mendapatkan persamaan $y = -6,7625 + 1,2129x$. Dengan $R^2 = 0,915$. Uji regresi linear menunjukkan kurva positif dimana $R^2 = 0,915$ (mendekati 1). Uji regresi linear sederhana ini juga bertujuan mendapatkan koefisien persamaan yang nanti digunakan untuk pengembangan algoritma Budhiman (2004) yang dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi TSS di Perairan sekitar Muara Kali Porong menggunakan citra satelit. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Regresi Linear Sederhana TSS *In Situ* dengan Algoritma Budhiman

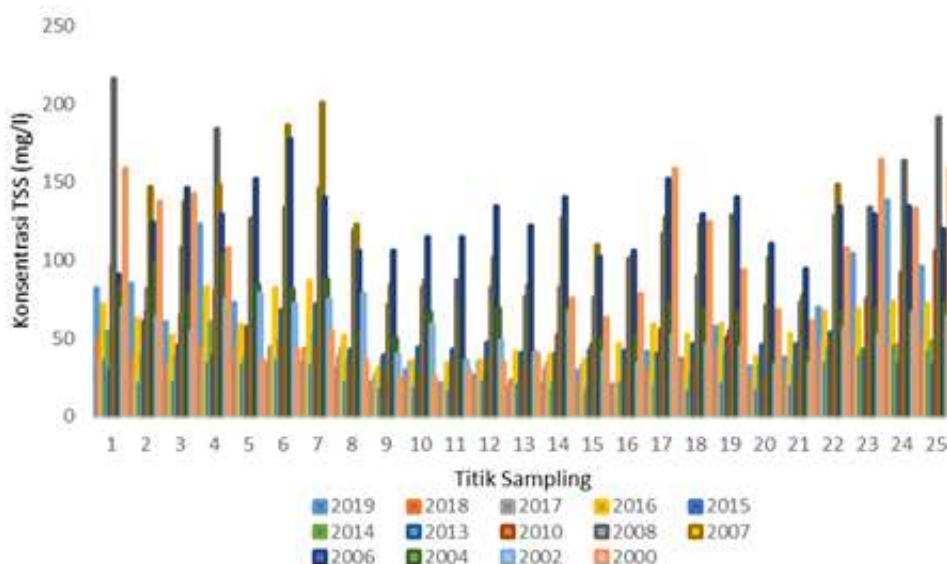
3.6. Nilai Konsentrasi TSS

Konsentrasi TSS menurut Algoritma Budhiman (2004) mengalami fluktuasi dari tahun 2000-2018. Terkhusus pada tahun 2006 terjadinya semburan lumpur lapindo mengalami peningkatan TSS yaitu pada titik sampling 1 (Muara Kali Porong) yaitu 90,96 mg/l jika dibandingkan pada tahun 2004 yaitu 84,56 mg/l. Tahun 2007 nilai konsentrasi TSS yaitu 90,8 mg/l. Konsentrasi tertinggi ada pada titik sampling 7 dengan nilai konsentrasi 200,73 mg/l. Peningkatan terus terjadi pada tahun 2008 dengan nilai konsentrasi 216,07 mg/l. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 4.

Tabel 4. Konsentrasi TSS dari Tahun 2000-2019 di Perairan Sekitar Muara Kali Porong

Titik Sampling	Tahun													
	2000	2002	2004	2006	2007	2008	2010	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	158.68	69.38	84.56	90.96	90.80	216.07	96.43	29.91	54.29	36.25	72.11	37.29	50.07	82
2	137.83	64.05	99.21	124.68	147.13	81.80	67.83	60.7	38.8	20.73	62.56	30.07	37.89	85
3	142.77	54.58	78.06	145.98	137.58	108.43	64.82	45.99	38.7	21.71	51.77	34.24	32.49	60
4	107.71	75.16	103.26	129.70	148.40	184.45	80.82	39.42	60.01	33.69	82.59	43.67	44.86	123
5	36.15	78.23	84.56	151.84	127.57	126.34	56.1	57.56	37.53	32.86	59.14	47.56	40.81	73
6	43.11	72.21	81.24	177.70	186.12	134.03	46.03	68.54	49.62	35.24	81.99	43.76	43.93	34
7	55.16	75.16	88	140.34	200.73	146.17	44.74	71.83	52.71	32.57	86.44	41.72	43.17	35
8	36.15	78.23	54.88	106.50	122.85	119.37	31.9	42.5	35.96	21.86	51.39	43.26	38.61	31
9	24.54	39.63	50.3	106.50	84.20	71.74	30.25	38.95	37.12	17.38	31.27	26.53	23.03	22
10	25.42	59.12	66.53	115.24	87.17	83.13	28.33	44.11	34.21	18.32	35.38	34.52	24.39	30
11	29.26	35.15	36.54	115.24	72.39	87.07	34.15	42.64	31.04	15.71	33.71	21.76	19.09	21
12	34.9	48.41	69.24	134.92	101.71	83.06	37.14	47.35	27.33	21.8	35.46	35.26	24.27	26
13	40.18	41.25	35.11	121.96	84.20	77.25	31.95	40.67	21.85	20.26	41.07	18.47	23.15	19
14	75.74	66.66	69.24	140.34	127.57	83.06	52.08	40.5	22.03	17.6	39.25	33.75	30.17	21

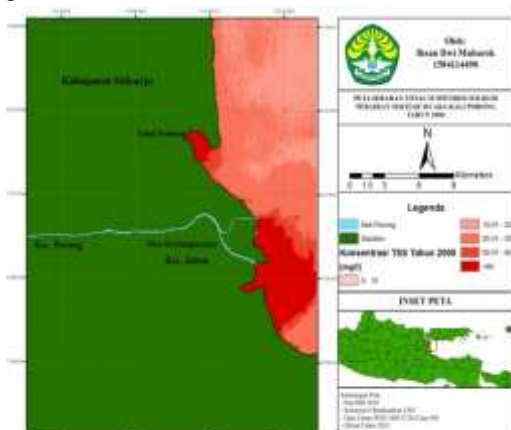
15	63.51	41.25	50.3	102.38	109.68	76.26	46.1	42.66	18.7	15.91	36.57	32.71	19.43	29
16	78.45	33.77	52.35	106.50	101.71	101.39	30.89	41.82	20.09	20.73	46.31	21.11	18.41	20
17	158.68	52.44	72.07	151.84	127.57	117.06	56.11	40.48	40.21	19.41	59.15	27.57	29.12	41
18	124.01	46.51	69.24	129.70	122.85	89.96	35.87	46.37	26.84	16.04	52.01	27.68	35.12	37
19	93.56	44.69	66.53	140.34	122.85	128.76	55.43	50.83	39.94	20.59	59.68	44.78	39.08	57
20	68.14	32.45	35.11	110.78	101.71	70.82	24.37	45.8	32.85	16.89	38.72	30.2	23.39	32
21	61.31	33.77	41.19	94.62	78.06	73.71	24.64	46.14	32.56	18.98	53.32	32.73	26.05	38
22	107.71	56.81	66.53	134.92	148.40	128.76	49.41	53.97	42.92	33.89	67.87	48.63	39.95	70
23	164.36	52.44	69.24	129.70	97.93	133.99	75.79	41.73	42.56	38.69	68.21	49.06	41.16	104
24	133.06	66.66	66.53	134.92	118.30	163.51	92.26	33.9	45.42	44.72	73.28	46.84	45.4	138
25	158.68	64.05	72.07	119.86	113.93	191.73	106.13	33.09	47.62	41.23	71.72	48.35	47.95	96



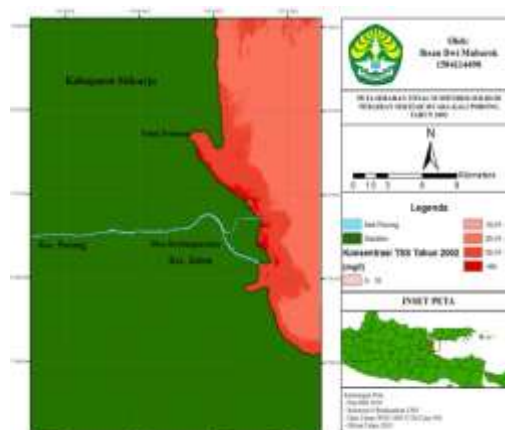
Gambar 4. Konsentrasi TSS Tahun 2000-2019

3.7. Sebaran TSS di Perairan Sekitar Muara Kali Porong dari Tahun 2000-2019

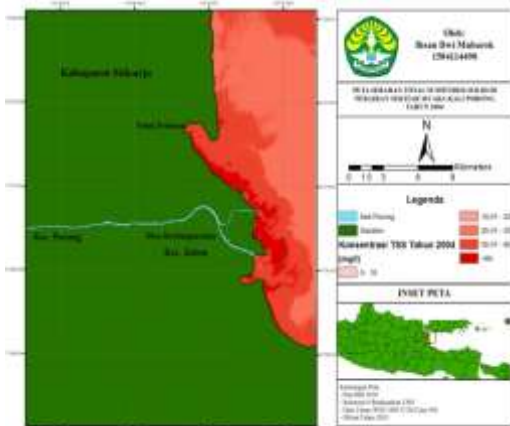
Untuk peta Sebaran dapat dilihat pada Gambar 5 – Gambar 18. Konsentrasi TSS menggunakan Citra Satelit Landsat dari tahun 2000-2018 mendapatkan bahwa konsentrasi TSS tertinggi ada pada muara sungai, baik Muara Kali Porong maupun Muara Kali Aloo yaitu berkisar antara 44,72 mg/l – 216,07 mg/l. Seperti halnya penelitian yang dilakukan oleh Budianto (2017) yang memperoleh konsentrasi TSS tertinggi di sekitar muara sungai.



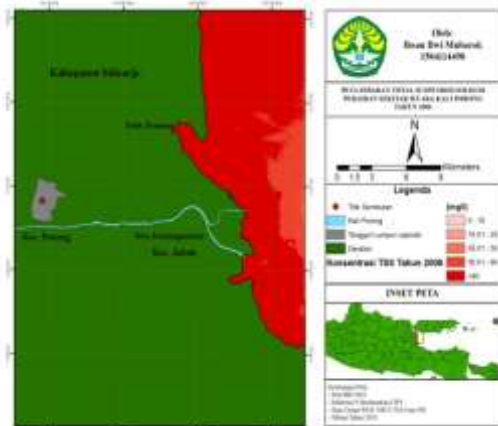
Gambar 5. Sebaran TSS Tahun 2006



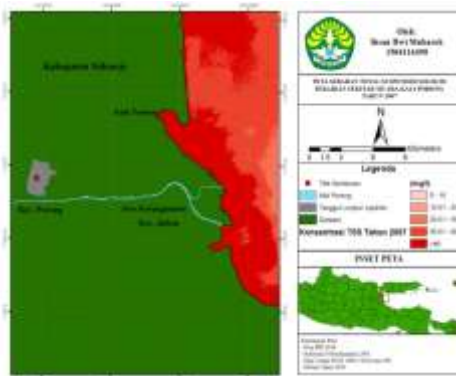
Gambar 6. Sebaran TSS Tahun 2007



Gambar 7. Sebaran TSS Tahun 2008



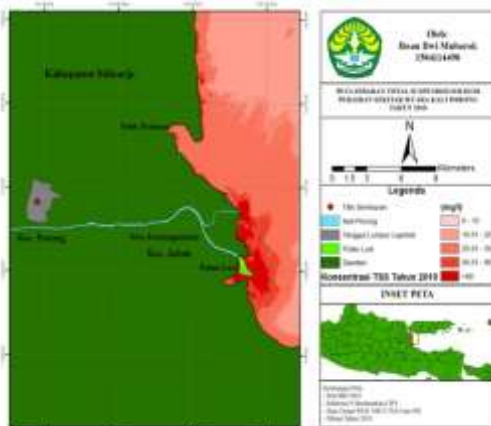
Gambar 8. Sebaran TSS Tahun 2009



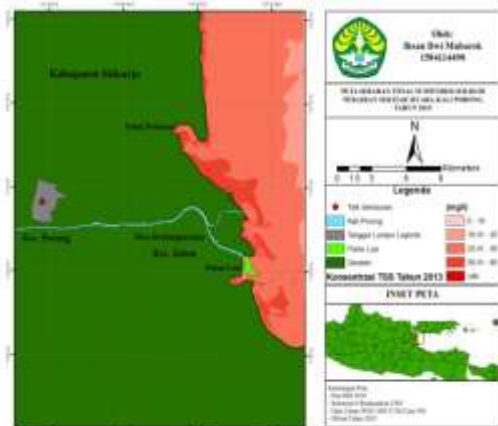
Gambar 9. Sebaran TSS Tahun 2010



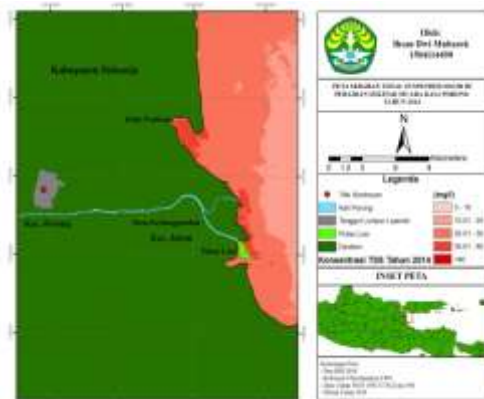
Gambar 10. Sebaran TSS Tahun 2011



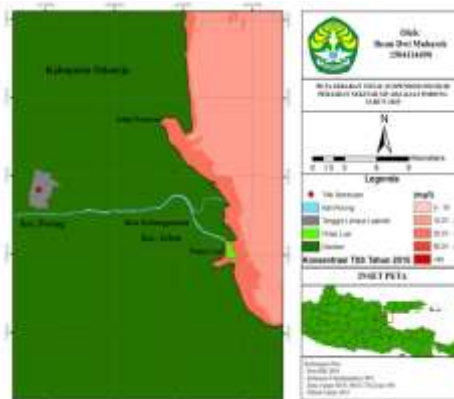
Gambar 11. Sebaran TSS Tahun 2012



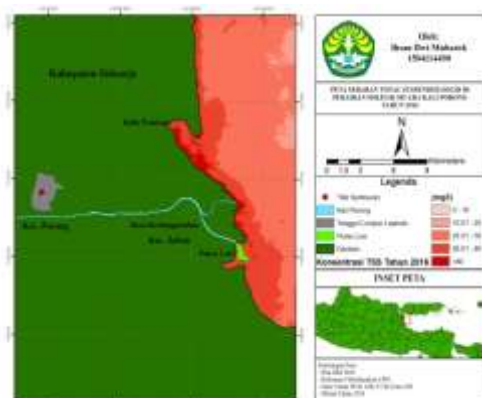
Gambar 12. Sebaran TSS Tahun 2013



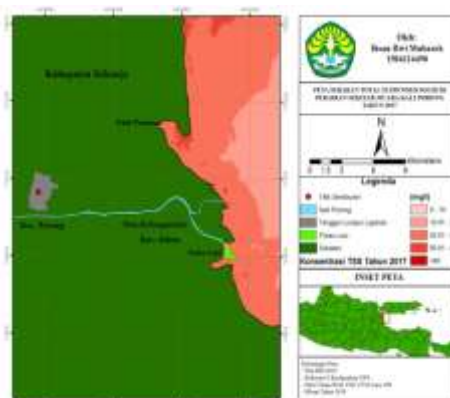
Gambar 13. Sebaran TSS Tahun 2014



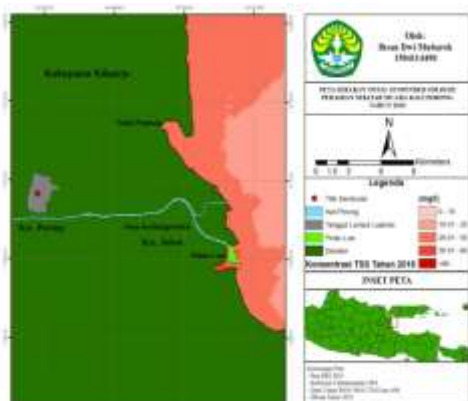
Gambar 14. Sebaran TSS Tahun 2015



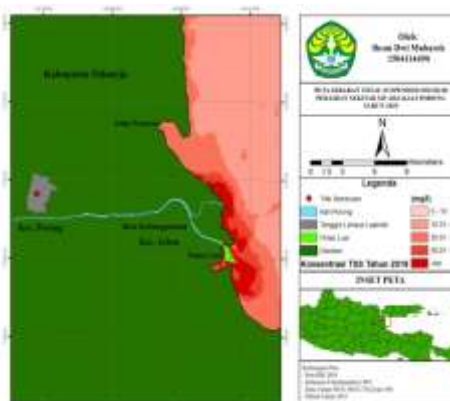
Gambar 15. Sebaran TSS Tahun 2016



Gambar 16. Sebaran TSS Tahun 2017



Gambar 17. Sebaran TSS Tahun 2018



Gambar 18. Sebaran TSS Tahun 2019

Sebaran TSS di Perairan sekitar muara Kali Porong disebabkan oleh:

- Pasang surut air laut, arus, dan angin.

Kecepatan arus di muara Kali Porong berada pada kecepatan 0,46 dan 0,52 cm/detik. Laju aliran air laut merupakan faktor utama dalam perubahan konsentrasi TSS. Air yang mengalir cepat membawa partikel dan sedimen yang lebih besar. Bila terjadi hujan lebat, pasir, lumpur, tanah liat, dan partikel organik lain dapat terbawa dari daratan ke laut. Jika kecepatan atau arah air meningkat, partikel dari sedimen dapat disuspensi (Indeswari, 2018)

- Pembusukan tanaman dan hewan laut

Adanya tanaman dan hewan di dalam laut yang mati dan membusuk akan melepaskan partikel organik tersuspensi yang dapat berkontribusi pada peningkatan ataupun penurunan nilai konsentrasi TSS (Indeswari, 2018)

- Buangan Lumpur Lapindo

Pembuangan lumpur lapindo sejak Tahun 2006 ke muara Kali Porong yang selanjutnya berakhir di Perairan Selat Madura menyebabkan konsentrasi TSS di Perairan sekitar Muara Kali Porong mengalami perubahan (PPLS, 2018). Peningkatan kadar muatan padatan tersuspensi menyebabkan kekeruhan yang dapat mengganggu penetrasi cahaya ke dalam perairan. Keberadaan sedimen tersuspensi di perairan dapat berpengaruh terhadap kualitas air dan organisme akuatik, baik secara langsung maupun tidak langsung seperti kematian dan menurunnya produksi. Partikel-partikel yang tersuspensi di dalam massa air tersebut dapat membatasi nilai produktivitas primer perairan sebagai akibat terhambatnya penetrasi cahaya ke dalam badan air (Huovinen *et al*, 2019).

Fluktuasi konsentrasi TSS di Perairan sekitar muara Kali Porong yang terjadi diduga disebabkan oleh kecepatan arus (baik arus laut maupun arus yang timbul akibat aliran sungai), pasang surut, kekuatan gelombang, aliran turbulensi dan musim (Riyadi, 2009) (Harthanto, 2011) (Hermawan, 2012). Pahlevi (2010) menyatakan bahwa ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya fluktuasi konsentrasi TSS diantaranya:

a) Musim

Waktu perekaman data citra mempunyai waktu perekaman yang berbeda. Perekaman waktu yang berbeda berpengaruh pada berbedanya musim (season) yang terjadi di pesisir Sidoarjo-Pasuruan. Berdasarkan data BMG stasiun Tanjung Perak musim timur (kemarau) terjadi dominan pada bulan Mei hingga Oktober, sedangkan musim penghujan dominan terjadi pada bulan Nopember – Maret. Pancaroba terjadi sekitar bulan April dan Desember. Pada saat musim timur pergerakan lumpur ini cenderung diendapkan ke arah utara oleh dinamika arus dari arah tenggara Kali Porong (Pasuruan). Pada musim barat cenderung tenang, dan sedimen di endapkan di daerah muara.

b) Pasang surut

Pasang surut juga mempengaruhi sebaran sedimen. Jika kondisi pasang maka distribusi air akan terjadi dari laut menuju sungai sehingga distribusi sedimen tersuspensi juga mengalir dari laut menuju sungai, sedangkan jika kondisi surut maka akan terjadi aliran air dari sungai ke laut, sehingga material-material dan sedimen tersuspensi juga akan mengalir dari sungai menuju laut.

c) Arus pasang surut

Arus pasang surut mempengaruhi persebaran sedimen, jika arus kuat maka sedimen tersuspensi akan bergerak mengikuti arus, namun jika arus lemah maka sedimen tersuspensi cenderung diendapkan.

d) Kontur bathimetri

Kecenderungan penyebaran sedimentasi dari kelas tertinggi sampai kelas terendah, menyebar berdasarkan kontur kelerengan perairan Selat Madura, yaitu kondisi perairannya mempunyai bentuk fisiografi yang landai, dengan dicirikan mulai dari kedalaman 10 m, 20 m, 30 m menerus ke arah timur hingga mencapai kedalaman 90 m, (Usman *et al.*, 2006). Sehingga sedimentasi kelas tinggi cenderung mengumpul pada daerah yang mempunyai wilayah bathimetri yang dangkal.

Hal ini senada dengan yang diungkapkan oleh Rifardi (2008) bahwa muatan tersuspensi bisa ditransport oleh kekuatan arus dari air atau udara serta aliran turbulensi. Siswanto dan Syah (2013^b) juga mengatakan bahwa gelombang mempengaruhi sebaran TSS di suatu perairan. Siswanto dan Syah (2013^a) mengatakan bahwa pasang surut memiliki pengaruh besar perubahan TSS di suatu perairan yang dimana bahwa pasang surut mempengaruhi salinitas di suatu perairan. Salinitas berperan terhadap kecepatan pengendapan tersuspensi, semakin tinggi salinitas suatu perairan, semakin cepat pengendapan padatan tersuspensi.

Koefisien korelasi pengembangan algoritma TSS bertujuan untuk mendapatkan rumus yang paling cocok yang dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi TSS di perairan sekitar muara Kali Porong menggunakan Citra Satelit. Pada uji korelasi menunjukkan bahwa Algoritma Budhiman (2004) memiliki nilai korelasi yang sangat kuat antara konsentrasi TSS in situ dan konsentrasi TSS pengolahan citra yaitu ($r = 0,957$) (Sugiyono, 2017). Lalu untuk meyakinkan data menggunakan uji validasi yang menggunakan nilai NMAE (*Normalized Mean Absolute Error*) yang mendapatkan hasil yaitu sebesar 6,52%. Semakin kecil nilai eror maka semakin mendekati kondisi sebenarnya di lapangan (Murahartawaty, 2009). Uji regresi linear sederhana dimaksudkan untuk mendapatkan koefisien tersebut dengan persamaan $y = -6.7625 + 1.2129x$. Hal ini dapat dilihat dari nilai R^2 uji korelasi yang dimana nilai R^2 adalah 0,915. Nilai R^2 dalam keadaan ideal koefisien determinasi mendekati angka 1. Nilai R^2 sebagai pengukur keeratn hubungan antara sumbu y dan sumbu x. Semakin dekat nilai R^2 dengan nilai 1, maka semakin dekat pula titik pengamatan ke garis regresinya dan model tersebut semakin baik (Lestari, 2009). Maka didapatkan algoritma pengembangan konsentrasi TSS dengan rumus: TSS (mg/l) = $-6.7625 + (1.2129 * (8,1429 * (\text{Exp}(23,704 * 0,94 * \text{Band-Red}))))$.

4. Kesimpulan

Konsentrasi TSS di Perairan sekitar Muara Kali Porong tahun 2000-2019 tertinggi berada di Muara Sungai baik muara Kali Porong maupun Muara Kali Aloo berkisar antara 44,72 mg/l – 216,07 mg/l. Sementara konsentrasi TSS mengalami fluktuasi sebelum dan sesudah peristiwa lumpur lapindo. Hal ini dapat dilihat dari pengolahan citra satelit landsat yang menunjukkan fluktuasi konsentrasi TSS dari tahun 2000-2019. Algoritma Budhiman (2004) mendapatkan nilai korelasi dan validasi yang paling cocok untuk selanjutnya dilakukan pengembangan algoritma TSS yang dapat digunakan untuk mengukur Konsentrasi TSS di perairan sekitar Muara Kali Porong dengan rumus: TSS (mg/l) = $-6.7625 + (1.2129 * (8,1429 * (\text{Exp}(23,704 * 0,94 * \text{Band-Red}))))$

5. Referensi

- Arisandi, A., H. Marsoedi, Nursyam dan A. Sartimbul. 2011. Pengaruh Salinitas yang Berbeda terhadap Morfologi, Ukuran dan Jumlah Sel, Pertumbuhan serta Rendemen Karaginan *Kappaphycus alvarezii*. *Jurnal Ilmu Kelautan*.16 (3): 143-150
- Budhiman, S. 2004 . Mapping TSM Concentrations from Multisensor Satellite Images in Turbid Tropical Coastal Waters of Mahakam Delta. [Thesis]. Netherland.
- Budianto, S., dan T. Hariyanto. 2017. Analisis Perubahan Konsentrasi TSS Dampak Bencana Lumpur Sidoarjo Menggunakan Citra Landsat Multi Temporal (Studi Kasus: Sungai Porong, Sidoarjo). *Jurnal Teknik ITS* Vol. 5(1). ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print)
- Doxoran., D.R.C.N. Cherukuru and S.J. Lavender. 2005. Use of Reflectance Band Ratios to Estimate Suspended and Dissolved Matter Concentrations in Estuarine Waters. *Int. J Remote Sens.* 8, 1763–1769.
- Fardiaz, S. 2011. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Guzman, V. R and F. G. Santaella. 2009. Using MODIS 250 m Imagery to Estimate Total Suspended Sediment in a Tropical Open Bay. *International Journal of System Applications, Engineering & Development.* 3(1).
- Hartanto, B.D. 2011. Analisa Pola Penyebaran Sedimen di Kali Porong Akibat Tambahan Sedimen dari Pengaliran Lumpur Sidoarjo. [Skripsi] Universitas Brawijaya Malang.
- Hermawan, C. 2012. Debit Minimum Kali Porong Untuk Menjamin Angkutan Sedimen Sampai ke Muara Kali Porong. [Skripsi] Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Huovinen, P. J. Ramírez. L. Caputo dan I. Gómez. 2019. Mapping of spatial and temporal variation of water characteristics through satellite remote sensing in Lake Panguipulli, Chile. *Journal Science of the Total Environment.* (679) : 196-208.
- Indeswari, L., T. Heriyanto dan C. B. Pribadi. 2018. Pemetaan Sebaran Total Suspended Solid (TSS) Menggunakan Citra Landsat Multi Temporal dan Data In Situ (Studi Kasus : Perairan Muara Sungai Porong, Sidoarjo). *Jurnal Teknik ITS*, 7(1) ISSN 2337-3520 (2310-928X Print).
- Jaelani, L. M., R. Limehuwey, N. Kurniadin, dan A. Pamungkas. 2016. Estimation of TSS and Chl -a Concentration from Landsat 8 -OLI: The Effect of Atmosphere and Retrieval Algorithm. 27,16–23.
- Murahartawaty. 2009. *Peramalan*. Jakarta: Sekolah Tinggi Teknologi Telkom.
- Nurahida, L. 2015. Development of Water Quality Parameter Retrieval Algorithms For Estimating Total Suspended Solids and Chlorophyll-a Concentration Using Landsat-8 Imagery at Poteran Island Water. 55-62.
- Pahlevi, A. M dan Wiweka. 2010. Analisis Sedimentasi di Muara Kali Porong Akibat Pembuangan Lumpur Lapindo Menggunakan Data Citra Satelit Aster. *Jurnal Ilmiah Geomatika* 16 (2).
- Parwati, E., T. Kartika, S. Harini, F. Diah. 2006. Pemodelan Dinamika Spasial Pengelolaan Lahan Pesisir Kabupaten Berau, Kalimantan Timur Menggunakan Data Inderaja. Laporan Akhir Riset Unggulan Kemandirian Kedirgantaran LAPAN.
- Rifardi. 2008. *Ekologi Sedimen Laut Modern*. Unri Press. Pekanbaru.
- Riyadi, A.S. 2009. Pemodelan Aliran Sedimen di Muara Kali Porong. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah. Insitut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Siswanto, A.D. dan A.F. Syah. 2013a. Karakteristik arus di perairan Selat Madura. Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Siswanto, A.D. dan A.F Syah. 2013b. Karakteristik gelombang di perairan Selat Madura, Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia (ISOI). BPPT. Jakarta.
- Sudarto. 1993. Pembuatan Alat Pengukur Arus Secara Sederhana. *Jurnal Oseana LIPI*. XVIII(1) : 35-44.
- Usman, E., M. Salahuddin, DAS. Ranawijaya dan J. P. Hutagaol, 2006. Alternatif Tempat Penempatan Akhir Lumpur Sidoarjo Berdasarkan Aspek Geologi Kelautan. Paper Pendukung, Simposium Nasional: Pembuangan Lumpur Porong-Sidoarjo ke Laut. Surabaya. 13 hlm