

## **DAMPAK MUSIM HUJAN TERHADAP POLA SEBARAN TSM (TOTAL SUSPENDED MATTER) DI DANAU LIMBOTO GORONTALO MENGGUNAKAN DATA LANDSAT-TM**

**Nana Suwargana dan Susanto**

*Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh – LAPAN*

*Jl. Lapan No. 70, Pekayon-Pasar Rebo, Jakarta 13710*

*E-mail :nana.suwargana@gmail.com*

*E-mail:susanto\_lapan@yahoo.com*

### **ABSTRAK**

*Dewasa ini banyak kondisi danau-danau di Indonesia mengalami berbagai masalah, diantaranya mengalami pendangkalan dan penyusutan luas akibat kekeruhan sehingga menyebabkan penurunan kualitas dan volume air. Akibatnya danau sebagai media penyokong daya tampung air seperti untuk irigasi dan tenaga listrik menjadi terganggu dan selain itu, juga dapat menurunkan pendapatan masyarakat sekitar danau tersebut karena produktifitas perikanan yang semakin berkurang. Penurunan kualitas danau ini mengakibatkan terjadi pendistribusian dan penumpukan sedimentasi di perairan danau. Oleh karena itu dalam menjaga kondisi lingkungan danau, khususnya distribusi sediment tersuspensi (Total Suspended Mater/TSM) adalah sangat penting untuk dievaluasi. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan pola sebaran TSM di danau Limboto Provinsi Gorontalo berbasis data penginderaan jauh. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data satelit Landsat-TM (4 data dalam setahun) yang diakuisisi tahun 2002. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi di danau Limboto Gorontalo polanya berfluktuasi, penyebaran sedimentasi hampir merata ke segala arah. TSM paling tinggi di Pupelo nilainya berkisar antara 92 mg/l dan terendah di Kampung Ulu berkisar antara 23 mg/l. Sedangkan hasil insitu yang diperoleh berdasarkan titik sampel tertinggi adalah 222 NTU (Pupelo) dan terendah 15 NTU (Kampung Ulu). Pengaruh naik turunnya TSM dipengaruhi oleh curah hujan, sehingga pemantauan penurunan TSM akan sebanding dengan musim hujan.*

**Kata kunci:** Landsat-TM dan Total Suspended Mater/TSM.

### **ABSTRACT**

*Today many conditions of lakes in Indonesia experienced a variety of issues, including extensive experience shrinkage due to siltation and turbidity that causes a decrease in the quality and volume of water. As a result of the lake as a water capacity of the ancillary media such as for irrigation and electric power became disturbed and in addition, can also lower income communities around the lake is due to the diminishing productivity of fisheries. This resulted in degradation of the lake occurred distribution and accumulation of sediment in the waters of the lake. Therefore, in keeping the environmental conditions of the lake, especially the distribution of suspended sediment (Total Suspended Mater / TSM) is very important to be evaluated. The purpose of this study was to determine the distribution pattern of TSM in the Limboto lake, Gorontalo Province based remote sensing data. The data used in this study were Landsat-TM satellite data (4 data in a year) that was acquired in 2002. The results showed that the distribution of suspended sediment concentrations in the Limboto lake, Gorontalo fluctuating pattern, sedimentation spread almost evenly in all directions. TSM highest in Pupelo value ranges between 92 mg/l and the lowest in Kampung Ulu ranged between 23 mg/l. While the results obtained in situ by the highest point of the sample is 222 NTU (Pupelo) and the lowest is 15 NTU (Kampung Ulu). Effect of rise and fall of TSM is affected by rainfall, so the monitoring of TSM will decrease proportional to the rainy season.*

**Keywords:** Landsat-TM and Total Suspended Mater / TSM.

## PENDAHULUAN

Pemantauan lingkungan danau di Indonesia perlu dilakukan pengamatan secara dini karena selama ini telah mengalami degradasi (penurunan kualitas) yang sebagian besar diakibatkan oleh terjadinya konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian maupun menjadi penggunaan lahan lainnya seperti permukiman, industri dan pertambangan. Konversi/pembukaan lahan yang tidak menggunakan prinsip kelestarian lingkungan dapat mengakibatkan banyak hal negatif, tidak hanya dalam tahap pembukaannya tetapi juga pada tahap penggunaan dan pengelolaannya. Selanjutnya, keterlambatan penanaman pada lahan yang telah dibuka akan menimbulkan erosi tanah pada saat musim hujan, terutama pada daerah dengan kelerengan yang curam. Tingginya erosi pada wilayah DAS mengakibatkan keruhnya wilayah perairan, yang pada gilirannya mengakibatkan gangguan terhadap kehidupan perairan di wilayah sungai, waduk, danau, dan lain-lain. Wilayah tersebut merupakan sumber tenaga listrik, irigasi dan media untuk kehidupan habitat ikan yang hidup di alam bebas. Hal ini sangat penting, karena data lingkungan yang diperoleh dari studi kelayakan oleh beberapa konsultan pada tahun-tahun yang lama tentunya sudah berubah banyak akibat perubahan rona lingkungan. Salah satu dari data lingkungan adalah semakin meningkatnya konsentrasi sedimen tersuspensi (*Total Suspended Mater/TSM*).

Peningkatan konsentrasi *TSM* menyebabkan kekeruhan yang dapat mengganggu penetrasi cahaya ke dalam perairan. Keberadaan *TSM* dapat mengganggu keseimbangan ekosistem perairan yang pada akhirnya akan berdampak buruk bagi kelangsungan hidup manusia, seperti pendangkalan pelabuhan, punahnya beberapa ekosistem perairan, dan kerusakan lingkungan. Energi matahari merupakan input energi bagi ekosistem danau. Energi radiasi diubah/ditransformasikan ke energi potensial melalui proses biokimia seperti fotosintesis. Cahaya matahari diserap dan ditransformasikan menjadi panas oleh partikel-partikel dan air itu sendiri. Kedalaman dari penetrasi cahaya akan dipengaruhi oleh substansi-substansi yang terlarut maupun yang tersuspensi. Pengamatan terhadap penetrasi cahaya pada kolom air dilakukan dengan metoda papan/keeping Secchi. Turbiditas atau kekeruhan merupakan pengukuran terhadap material tersuspensi. Pengukuran di lapangan (*insitu*) dapat dilakukan dengan gravitasimetri atau diekspresikan dalam nepohelometric turbidity unit (NTU). Sedangkan pengukuran dengan menggunakan data penginderaan jauh, satuan parameter turbidity adalah

dengan unit satuan mg/l. Turbiditas sangat mempengaruhi penetrasi cahaya matahari pada suatu kolom air yang seterusnya akan mempengaruhi kecepatan fotosintesis, kadar oksigen yang dihasilkan, maupun kemampuan hewan-hewan air untuk hidup.

Data penginderaan jauh dapat dipakai untuk data, inventarisasi dan sekaligus untuk fungsi pemantauan. Hal ini dimungkinkan karena data penginderaan jauh dapat diperoleh dengan multitemporal. Penginderaan jauh sistem satelit digunakan dalam berbagai penelitian karena di samping kemampuan multispektral dari sensornya, juga karena begitu pesat berkembang dalam pengolahan dan analisis datanya. Bertitik tolak dari latar belakang tersebut telah dilakukan penelitian tentang sebaran konsentrasi *TSM* berdasarkan informasi spektral data digital Landsat TM, ETM + dan SPOT. Oleh karena itu untuk memetakan sebaran *TSM* secara cepat dan terpantau adalah penggunaan teknik penginderaan jauh dan dibantu dengan pendekatan pengambilan sampel (*insitu*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan model deteksi dan pemantauan sebaran *TSM* di perairan danau Limboto Provinsi Gorontalo menggunakan data satelit penginderaan jauh.

## **METODOLOGI**

### **Daerah Studi**

Daerah studi dalam penelitian ini adalah perairan danau Limboto Provinsi Gorontalo,. Gambar 1 menunjukkan perairan danau Limboto Provinsi Gorontalo yang menjadi daerah studi dalam penelitian.



Gambar 1. Citra Landsat Daerah Danau Limboto Provinsi Gorontalo dan Eceng Gondoknya

### Citra yang digunakan

Citra yang digunakan adalah citra multitemporal dalam setahun, citra yang di akuisisi adalah :

1. Citra Landsat 5 ETM path/row 113/060 yang diakuisisi tanggal 25 Februari 2002
2. Citra Landsat 5 ETM path/row 113/060 yang diakuisisi tanggal 14 April 2002
3. Citra Landsat 5 ETM path/row 113/060 yang diakuisisi tanggal 5 September 2002
4. Citra Landsat 5 ETM path/row 113/060 yang diakuisisi tanggal 27 Januari 2003

Keempat citra diambil dari *Global Land Cover Facilities, Institute of Applied Computer Science, University of Maryland, USA* (<http://qlcf.umiacs.umd.edu/landdata/landsat/>).

Citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini ada 4 buah citra yang mencakup wilayah perairan danau Limboto Gorontalo. Semua Citra Landsat 5 TM yang diakuisisi diolah menggunakan *software* ER Mapper 7.0 untuk mendapatkan nilai konsentrasi TSM. Kajian citra penginderaan jauh *multi temporal* ini mempunyai karakteristik *spectral* yang sama. Ke empat data Citra Landsat telah terkoreksi Ortho yang dapat digunakan untuk menganalisis konsentrasi TSM.

### Algoritma Penelitian untuk Pemetaan TSM

Dengan membangun algoritma dan melakukan pendekatan statistik dari beberapa kanal citra satelit dan data pengambilan sampel (*insitu*) maka besaran nilai *digital number* hasil penurunan algoritma dapat diestimasi sebagai konsentrasi Total Suspended Matter (TSM). Suatu hal yang mensyaratkan adanya data konsentrasi TSM\_ *insitu* yang diambil pada waktu yang sama dengan saat satelit melintas, suatu hal yang sangat dibutuhkan untuk mendukung keakuratan dari hasil algoritma yang dibangun. Algoritma untuk menentukan TSM melalui citra satelit ini bersifat sangat spesifik untuk tempat dan waktu tertentu. Namun demikian algoritma yang telah dibangun tersebut masih dapat diterapkan untuk tempat dan waktu yang berbeda walaupun hasilnya kurang akurat. Tetapi setidaknya algoritma tersebut masih dapat memberikan gambaran pola sebaran TSM walaupun tidak melakukan pengambilan sampel (*insitu*) pada waktu yang bersamaan dengan lewatnya lintasan satelit.

Sebelum mengaplikasikan algoritma ke pemetaan TSM, terlebih dahulu dilakukan cropping citra dengan membuat polygon yaitu batas daerah *land-water*

terhadap citra yang telah terkoreksi. Tujuannya adalah untuk memisahkan agar wilayah daratan tidak masuk dalam penghitungan TSM. Agar diperoleh peta sebaran TSM yang akurat diperlukan *real time* data lapangan dan citra yang dianalisis. Karena tidak didapatkan data lapangan konsentrasi TSM perairan danau Limboto yang sama dengan waktu akuisisi citra Landsat, maka dalam penelitian ini hanya diaplikasikan algoritma yang telah dibangun oleh peneliti sebelumnya, yaitu (Syarif Budiman, 2004):  
$$\text{Konsentrasi TSM} = 0,6432 * (\text{ETM1} + \text{ETM3}) / 2 - 5,9063$$
 dengan ETM1, ETM3 = band 1 dan band 3 citra Landsat TM.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Deskripsi Geografi dan Iklim Daerah Penelitian**

Daerah penelitian pola sebaran sedimen tersuspensi yang ditinjau dalam studi ini terletak di kecamatan Limboto, danau Limboto Provinsi Gorontalo. Secara Geografis bentuk danau membentuk segi tiga dan secara administratif daerah penelitian berada pada wilayah kabupaten Gorontalo dengan posisi koordinat  $0^{\circ} 37' 18,42 \text{ N} - 0^{\circ} 32' 44.46 \text{ N}$  dan  $122^{\circ} 56' 9.4 \text{ E} - 123^{\circ} 1' 12.02 \text{ E}$  Serta dengan batas-batas wilayah administrasi sebagai berikut:

- o Sebelah barat : Kecamatan Batudaa dan Kecamatan Limboto
- o Sebelah utara: Kecamatan Telaga
- o Sebelah timur : Kota Gorontalo
- o Sebelah selatan : Kecamatan Batudaaapantai

Wilayah Kecamatan Limboto memiliki ketinggian yang bervariasi antara 1,5 – 6 meter (Departemen Pekerjaan Umum, 2006) di atas permukaan laut, dengan kondisi alam pegunungan, berbukit, berdataran rendah dan berpantai landai. Dataran tinggi terletak di sebelah Selatan membentang memanjang dari barat sampai timur yang merupakan lereng di sebelah selatan danau Limboto. Sebagai inlet, sungai-sungai di DAS Limboto terbagi beberapa Sub-Das diantaranya :

1. Sub-DAS Biyonga
2. Sub-DAS Meluopo
3. Sub-DAS Marisa
4. Sub-DAS Alo
5. Sub-DAS Puhu

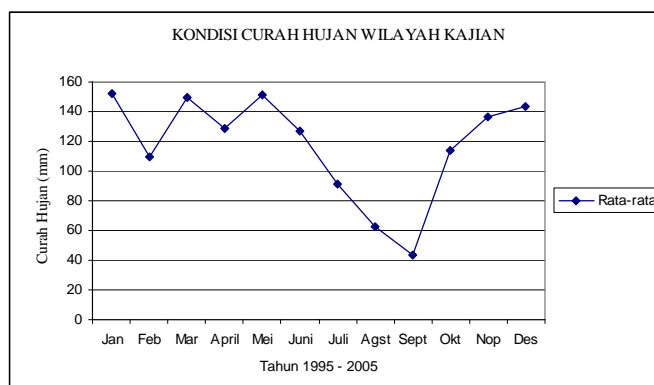
6. Sub-DAS Limboto
7. Sub-DAS Ritengga
8. Sub-DAS Batu Daa
9. Sub-DAS Topdu+Danau

Iklim daerah penelitian menggunakan data stasiun Bandara Jalaludin Gorontalo. Data yang digunakan adalah rata-rata sepuluh terakhir yaitu tahun 1995-2005, data hujan dan suhu disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2 rata-rata curah hujan tahunan sebesar 1411,27 mm, curah hujan bulanan terbesar pada bulan Januari sebesar 151,8 mm, sedangkan terkecil pada bulan september sebesar 43,45 mm.

Tabel 1. Data Curah Hujan Rata-rata Sepuluh Tahun terakhir 1995-2005 dari Stasiun Bandara Jalaludin Gorontalo

Tahun	Jan	Feb	Mar	April	Mei	Juni	Juli	Agus	Sept	Okt	Nop	Des	Total
1995	151	97	77	100	88	156	134	230	132	57	218	205	1645
1996	102	179	168	89	55	286	82	167	49	226	93	88	1584
1997	188	124	298	97	112	3	58	0	1	3	129	81	1094
1998	116	1	12	82	306	90	175	59	53	152	207	299	1552
1999	134	72	296	146	223	113	122	76	35	160	138	92	1607
2000	170	268	110	99	72	263	68	68	39	185	157	98	1597
2001	385	205	147	141	141	262	27	30	48	60	252	145	1843
2002	177	4	126	117	108	82	1	0	0	34	82	127	858
2003	89	56	215	266	192	11	64	46	65	35	82	234	1355
2004	128	100	79	175	138	50	66	0	36	122	61	77	1032
2005	30	103	117	105	231	84	210	17	20	223	85	132	1357
Jumlah	1670	1209	1645	1417	1666	1400	1007	693	478	1257	1504	1578	15524
Rata2	151.82	109.9	149.55	128.82	151.45	127.3	91.545	63	43.45	114	136.7	143.5	1411.27

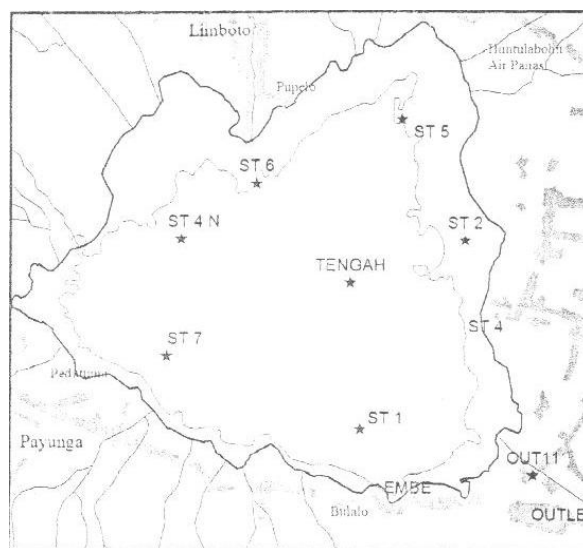
Sumber: Stasiun Bandara Jalaludin Gorontalo, (1995-2006).



Gambar 2. Curah Hujan Berdasarkan Bandara Jalaluddin Tahun 1995-2005

### Pemetaan Sebaran TSM

Karena pada penelitian ini tidak adanya data konsentrasi TSM\_ *insitu* yang sama dengan waktu akuisisi citra, maka sebaran konsentrasi TSM\_satelit didapatkan dengan mengaplikasikan algoritma (korelasi) TSM\_ *insitu* dari data lapangan [Direktorat Sungai Danau dan Waduk, Gorontalo, tanggal 16-17 September 2006]. Data TSM hasil analisis laboratorium ini digunakan sebagai data pembanding (korelasi) terhadap sebaran TSM pada Citra Landsat yang diambil pada bulan Juli 2006 walaupun dengan lintasan satelit berbeda 2 (dua) bulan, namun dalam pengamatan akan dicoba bagaimana perkembangan kondisi TSMnya. Gambar 3 adalah titik kajian untuk pengambilan contoh air, Tabel 2 adalah lokasi pengukuran *insitu* dan Tabel 3 adalah hasil pengukuran pola kecerahan, kedalaman dan NTU di beberapa lokasi danau Limboto berdasarkan data *insitu* [Direktorat Sungai Danau dan Waduk, Gorontalo, bulan September 16-17 September 2006]. Ketiga parameter hasil pengukuran *insitu* digambarkan dalam bentuk grafik ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Peta pengambilan sampel

Sumber : Satuan Kerja Non Vertikal Tertentu Pengendalian Banjir dan Pengamanan Pantai Gorontalo. Direktorat Sungai, Danau dan Waduk. Direktorat Jendral Sumber Daya Air. Departemen Pekerjaan Umum. 2006.

Tabel 2. Lokasi pengukuran di lapangan,

Stasiun	Lokasi	Tanggal	Waktu	Koordinat	
				Longitude	Latitude
St.1	Embe	16-Sep-06	08.45	122° 59' 43.1"	0° 33' 28.1"
St.2	Ohu	17-Sep-06	09.30	123° 03' 24.4"	0° 34' 51.3"
St.3	Tengah	16-Sep-06	09.30	122° 59' 40.3"	0° 34' 41.8"
St.4	H.labohu	17-Sep-06	11.08	122° 58' 16.0"	0° 35' 22.3"
St.5	Pupelo	17-Sep-06	10.08	122° 59' 98.9"	0° 36' 18.7"
St.6	Muara Alo Pahu	16-Sep-06	10.45	122° 58' 48.6"	0° 35' 32.8"
St.7	Pedutuma	16-Sep-06	11.30	122° 58' 04.6"	0° 34' 34.2"
S.Bohu	Muara S.Bohu	17-Sep-06	13.25	122° 52' 80.8"	0° 37' 42.0"
A.Alo	Muara S.Alo	17-Sep-06	14.45	122° 52' 62.0"	0° 38' 94.9"
S.Biyonga	Muara S.Biyonga	18-Sep-06	09.40	122° 58' 87.3"	0° 36' 26.4"
Sumber air panas	Inlet dari Mata air panas	18-Sep-06	11.00	123° 00' 45.6"	0° 36' 75.2"
Out let	Tilote	18-Sep-06	12.50		

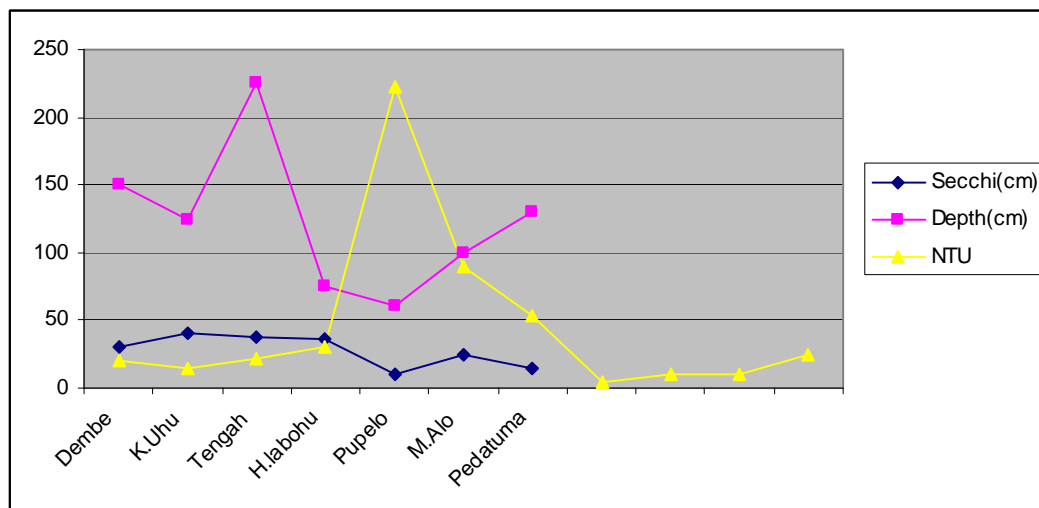
Sumber : Satuan Kerja Non Vertikal Tertentu Pengendalian Banjir dan Pengamanan Pantai Gorontalo. Direktorat Sungai, Danau dan Waduk. Direktorat Jendral Sumber Daya Air. Departemen Pekerjaan Umum, 2006.

Tabel 3. Data Pola Kecerahan, kedalaman dan turbiditas di Danau Limboto berdasarkan data lapangan [Direktorat Sungai Danau dan Waduk, Gorontalo, bulan September 2006].

Stasiun	Lokasi	Kecerahan	kedalaman	NTU
St.1	Embe	30	150	20
St.2	K.Uhu	40	125	15
St.3	Tengah	38	225	22
St.4	H.labohu	36	75	30
St.5	Pupelo	10	60	222
St.6	Muara Alo Pahu	25	100	90
St.7	Pedutuma	15	130	53
S.Bohu	Muara S.Bohu	-	-	5
A.Alo	Muara S.Alo	-	-	10
S.Biyonga	Muara S.Biyonga	-	-	10
Sumber air panas	Inlet dari Mata air panas	-	-	-
Out let	Tilote	-	-	25

Sumber : Satuan Kerja Non Vertikal Tertentu Pengendalian Banjir dan Pengamanan Pantai Gorontalo. Direktorat Sungai, Danau dan Waduk. Direktorat Jendral Sumber Daya Air. Departemen Pekerjaan Umum. 2006.



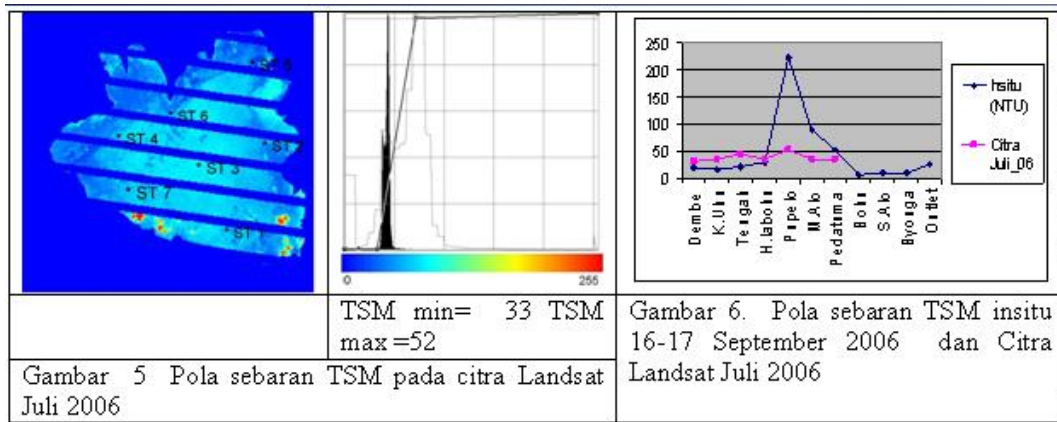


Gambar 4. Pola kecerahan dan kedalaman air di danau Limboto.

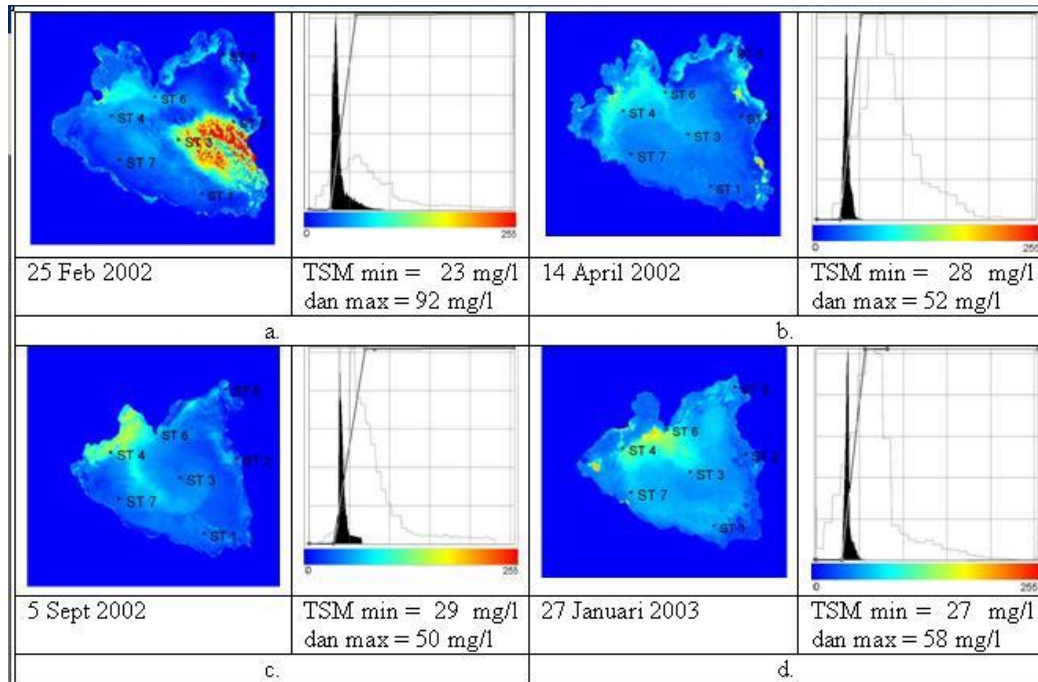
Kedalaman hasil *insitu* di danau Limboto berkisar antara 60-225 cm dengan nilai terendah di Pepelo dan tertinggi dibagian tengah danau. Kecerdasan keeping Secchi berkisar antara 10-42 cm dengan nilai terendah di Pepelo dan tertinggi di Kampung Uhu. Sedangkan nilai NTU tertinggi adalah 222 NTU (Pupelo) dan terendah adalah 15 NTU (Kampung Ulu). Fenomena ini sejalan dengan kedalam keeping Secchi dimana nilai tertinggi adalah di Kampung Uhu dan terendah di Pepole lihat Gambar 4. Nilai NTU di wilayah Dembe, Kampung Uhu, Tengah, dan Huntulabohu masih dibawah 25 NTU, sedang untuk Pupelo, M. Alo, dan Pedatuma lebih dari 50 NTU. Sumber air masuk memiliki nilai NTU dibawah 25 NTU. NTU dapat disebabkan oleh padatan tersuspensi yang berasal dari material mati ataupun yang hidup (plankton).

Besarnya satuan NTU dari citra satelit umumnya diekspresikan dalam TSM dengan satuan mg/l, artinya banyaknya padatan tersuspensi seberat mg didalam 1 (satu) liter sampel air. Sebagai pembandingan TSM dengan citra Landsat pada rekaman bulan Juli 2006 ditampilkan pada Gambar 5 dengan nilai batas kekeruhan yang dipetakan dengan TSM minimum 33 mg/l dan TSM maksimum 52 mg/l. Kalau kita perhatikan pada batas-batas nilai tersebut ada suatu perbedaan antara hasil di *insitu* dengan hasil di citra satelit, perbedaannya dapat dilihat pada Gambar 6. Pada citra satelit nampak penyebaran kekeruhannya hampir merata ke segala arah sehingga nilai TSMnya hampir rata mendekati sama kecuali yang di pinggir batas danau sedikit agak cerah. Sedangkan hasil *insitu* yang diperoleh berdasarkan titik sampel penyebaran

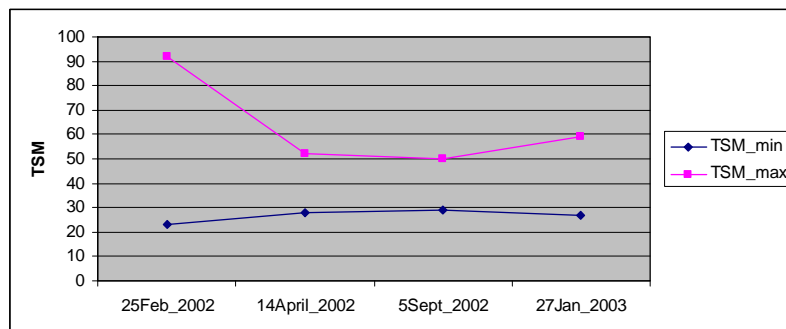
kekeruhannya tidak dapat dijelaskan secara global, namun dijelaskan bahwa TSM paling tinggi nilainya di Pupelo dan terendah di Kampung Ulu.



Peneliti mencoba melakukan pengamatan TSM dengan cara pemantauan dan dilaksanakan dengan mengolah 4 citra satelit yang berbeda bulan dalam setahun. Pemantaun pola sebaran TSM dalam setahun adalah tanggal 5 September 2002, tanggal 14 April 2002, tanggal 25 Februari 2002, dan tanggal 27 Januari 2003. Hasil pengolahan ditampilkan dengan nilai TSM minimum dan TSM maksimum disajikan pada Gambar 7 dan Grafik pola sebaran TSM\_min dan TSM\_max selama setahun disajikan pada Gambar 8. Sedangkan pola sebaran TSM pada setiap titik pengamatan ditampilkan pada Tabel 4. Secara visual nampak ke-empat citra TSM menunjukkan sebaran nilai TSM yang bervariasi. Dari ke-empat citra TSM tersebut nampak dominan nilai TSM paling tinggi di sekitar inlet yaitu di sekitar stasiun ST4, ST5 dan ST6. Keempat citra secara dinamis nampaknya TSM selalu bergerak dan berubah terus ke segala arah dan akhirnya ke hilir menuju outlet dan masuk ke sungai. Pergerakan arus air yang mempengaruhi konsentrasi TSM ini nampaknya tergantung pada kondisi curah hujan. Pada bulan Februari curah hujan di daerah sekitarnya tinggi sehingga nilai TSM identik hampir sama.



Gambar 7 Pola pemantaun sebaran dalam setahun untuk tanggal 5 September 2002, 14 April 2002, 25 Februari 2002, dan 27 Januari 2003.



Gambar 8. Grafik pola sebaran TSM\_min dan TSM\_max selama 4 rekaman yang berbeda waktu selama setahun.

Tabel 4. Pola sebaran TSM pada setiap titik Pengamatan berdasarkan citra Landsat September 2006, 25 Feb 2002, 14 April 2002, 5 Sept 2002, dan 27 Januari 2003

Stasiun	Lokasi	TSM Citra Satelit				
		Sept 2006	Feb 2002	April 2002	Sept 2002	Jan 2003
St.1	Embe	37	28	31	37	35
St.2	Ohu	35	0	32	45	34
St.3	Tengah	45	0	39	42	35
St.4	H.labohu	40	38	42	52	45
St.5	Pupelo	35	27	28	35	37
St.6	M.Alo Pahu	36	33	40	49	35
St.7	Pedutuma	38	29	31	36	32
S.Bohu	M. S.Bohu		-	-	-	-
A.Alo	M. S.Alo		-	-	-	-
S.Biyonga	M.S.Biyonga		-	-	-	-
Sumber air panas	Inlet dari Mata air panas		-	-	-	-
Out let	Tilote		-	-	-	-

Hasil perhitungan dari penurunan algoritma, range nilai TSM pada citra tanggal 25 Februari 2002 diperoleh mencapai batas terendah 23 mg/l dan batas tertinggi 92 mg/l. Nampaknya TSM di tiap titik pengamatan tergolong rendah walaupun dari hasil pengamatan seluruhnya ada beberapa lokasi tergolong tinggi yaitu di Huntulabohu (ST4) mencapai 38 mg/l dan Muara Alo Pahu (ST6) mencapai 33 mg/l. Dari gambar 7.a nampak TSM paling tinggi muncul dari inlet sekitar ST4 dan ST6 dan kemudian terdistribusi ke arah timur tenggara yang TSMnya semakin berkurang, namun di tengah danau ST3 tidak ada data karena tertutup awan. Selanjutnya hasil perhitungan ke tiga citra yaitu tanggal 14 April 2002 diperoleh TSM<sub>min</sub>=23 mg/l dan TSM<sub>max</sub>=52 mg/l, tanggal 5 September 2002 diperoleh TSM<sub>min</sub>=29 mg/l dan TSM<sub>max</sub>=50 mg/l, dan tanggal 27 Januari 2003 diperoleh TSM<sub>min</sub>=27 mg/l dan TSM<sub>max</sub>=58 mg/l. Dari ke-empat citra TSM nampaknya pada setiap bulan terjadi perubahan TSM yang cukup significant. Pada Citra Gambar 7.b dan 7.c nampak alur pendistribusian TSM-nya hampir sama yaitu membuat alur putaran di tengah danau. Sedangkan citra Gambar 7.d pendistribusian TSM-nya hampir merata sama disetiap permukaan danau. Fenomena ini tergantung dari datangnya air dari inlet. Citra Gambar 7.d adalah musim basah (curah hujan tinggi) yaitu jatuh pada bulan Januari 2003. Dinamika

perubahan TSM akan selalu dikaitkan dengan aktivitas masyarakat Limboto pada waktu itu. Seperti berkaitan penguasaan/penggunaan lahan akibat penyurutan air danau, masyarakat umumnya ramai-ramai mematok tanah banau yang kekeringan dijadikan lahan hak milik pribadi.

TSM pada bulan April 2002 dan sebelumnya akan nampak masih banyak, tetapi sedikit menurun ketika direkam pada bulan September 2002. Pada saat kurang curah hujan dan air mulai surut kekeruhan akan berkurang. Tetapi TSM mengalami kenaikan ketika di rekam pada bulan Januari 2003, kenaikan ini karena curah hujan cukup tinggi. Dari gambaran secara global bahwa pengaruh naik turunnya TSM danau Limboto adalah dipengaruhi oleh curah hujan, sehingga pemantauan penurunan dan kenaikan TSM air danau perlu mempertimbangkan persamaan musim (Gambar 2). Bulan Januari – Maret - Mei saat musim hujan dengan curah hujan tinggi.

## **KESIMPULAN**

Pada citra satelit nampak penyebaran kekeruhannya hampir merata ke segala arah sehingga nilai TSMnya hampir rata, kecuali yang di pinggiran batas danau sedikit agak cerah. Dijelaskan bahwa TSM paling tinggi di Pupelo nilainya berkisar antara 92 mg/l dan terendah di Kampung Ulu berkisar antara 23 mg/l yang terkover dari data tanggal 25 Februari 2002. Sedangkan hasil *insitu* yang diperoleh berdasarkan titik sampel penyebaran kekeruhannya dijelaskan bahwa nilai NTU tertinggi adalah 222 NTU (Pupelo) dan terendah adalah 15 NTU (Kampung Ulu).

Pengaruh naik turunnya TSM danau Limboto nampaknya dipengaruhi oleh curah hujan, sehingga pemantauan penurunan dan kenaikan TSM air danau akan perbandingan lurus dengan persamaan musim hujan. Bulan Januari - Maret - Mei saat musim hujan dengan curah hujan tinggi, maka sedimentasi akan naik pula.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Akhyar, Pemetaan Konsentrasi Sebaran TSM (Total Suspended Matter) di Muara Sungai Krueg Aceh dengan Citra Landsat-7 ETM, 2008.
- Budiman, S.: *Mapping TSM Concentrations from Multisensor Satellite Images in Turbid Tropical Coastal Waters of Mahakam Delta, Indonesia*. Master of Science Thesis, ITC, Enschede, The Netherlands (2004).

Citra Landsat: <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/Landsat>.

Ritchie J.C. and Cooper, C.M.: *Comparison of Measured Suspended Sediment Concentrations With Suspended Sediment Concentrations Estimated From Landsat MSS Data*, *Int. J. Remote Sensing* (1988).

Satuan Kerja Non Vertikal Tertentu Pengendalian Banjir dan Pengamanan Pantai Gorontalo. Direktorat Sungai, Danau dan Waduk. Direktorat Jendral Sumber Daya Air. “*Kajian Ekohidrologi Sebagian Dasar Penetapan Pola Pengelolaan Danau Limboto Secara Terpadu*”. Departemen Pekerjaan Umum, 2006.

Stasiun Bandara Jalaludin Gorontalo, “*Data Iklim*”, (1995-2006).