



JURNAL SEGARA

<http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/segara>

ISSN : 1907-0659

e-ISSN : 2461-1166

Nomor Akreditasi: 766/AU3/P2MI-LIPI/10/2016

PERUBAHAN KONDISI DANAU LIMBOTO YANG TERDETEKSI DENGAN TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH

THE CHANGING CONDITION IN DETECTED OF LAKE LIMBOTO USING REMOTE SENSING TECHNOLOGY

Atriyon Julzarika & Esthi Kurnia Dewi

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh - LAPAN

Diterima: 12 Maret 2018; Diterima Setelah Perbaikan: 19 November 2018; Disetujui: 30 Desember 2018

ABSTRAK

Saat ini data penginderaan jauh sudah mengalami perkembangan yang pesat, baik dalam aspek sensor, wahana, maupun spesifikasi resolusinya. Data penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengidentifikasi sumber daya alam dan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan kondisi Danau Limboto yang Terdeteksi dengan Teknologi Penginderaan Jauh. Sumber daya perairan danau ini berupa kualitas air, luas permukaan, dan vegetasi air. Data yang digunakan adalah Landsat. Data tersebut digunakan untuk mengetahui perubahan danau secara visual serta perhitungan kualitas air, luas permukaan, dan vegetasi air (*hidrofit*)nya. Pada penelitian ini, kualitas air hanya difokuskan pada parameter TSS dan kecerahan. Kedua parameter ini bisa diekstraksi dengan metode *e-SMART*. Metode ini menggunakan *band* inframerah dekat pada citra Landsat. Hasil yang diperoleh adalah informasi spasial kualitas air, luas permukaan danau, dan vegetasi air di Danau Limboto. Hasil ekstraksi kualitas air ini dilakukan uji dengan data lapangan. Uji akurasi menggunakan metode geostatistik *non* parameter (uji *Fischer*). Hasil uji akurasi yang diperoleh adalah 95 % pada tingkat kepercayaan 1,96 σ . Uji akurasi dilakukan dengan membanding hasil pengukuran di citra dengan data lapangan. Hasil penelitian ini diharapkan bisa digunakan juga untuk membantu kegiatan nasional serupa, yaitu pemantauan 15 danau prioritas di Indonesia.

Kata kunci: Danau Limboto, kualitas air, vegetasi air, luas permukaan danau, penginderaan jauh.

ABSTRACT

Currently remote sensing data has experienced rapid development, both in the aspect of sensors, vehicles, and resolution specifications. Remote sensing data can be used to identify natural and environmental resources. This study aims to identify the changing condition in detected of Lake Limboto using Remote Sensing Technology. The lake's water resources are in the form of water quality, lake surface area, and water vegetation. The data of landsat are used to determine changes in the lake visually as well as the calculation of water quality, surface area, and water vegetation. In this study, water quality was only focused on Total Suspended Solid and Light Attenuation parameters. These two parameters can be extracted using the e-SMART method. This method uses a near infrared band on Landsat images. The results obtained are spatial information on water quality, lake surface area, and water vegetation in Lake Limboto. The results of this water quality extraction were tested with field data. Accuracy test using non-parameter geostatistical method (Fischer test). The test results obtained by accuracy are 95% at the confidence level of 1.96 σ . Accuracy test is done by comparing the measurement results in imagery with field data. The results of this study are expected to be used also to assist similar national activities, namely monitoring 15 priority lakes in Indonesia.

Keywords: Lake Limboto, water quality, aquatic plants, lake surface area, remote sensing.

PENDAHULUAN

Pada saat ini, daerah tangkapan air dan danau di Indonesia banyak yang mengalami degradasi yang disebabkan oleh terjadinya konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian atau penggunaan lahan lainnya, seperti perumahan, industri dan pertambangan (KLH, 2012). Pembukaan lahan yang tidak mengikuti prinsip-prinsip kelestarian lingkungan dapat menyebabkan banyak hal negatif, tidak hanya pada tahap pembukaan, tetapi juga pada penggunaan dan pengelolaan tahap pembukaan lahan pada skala besar dan keterlambatan tanam menyebabkan erosi tanah selama musim hujan. Erosi yang tinggi di daerah tangkapan air akan meningkatkan kekeruhan air dan mengganggu kehidupan air sungai dan danau yang terdapat di daerah hulu daerah tangkapan air.

Pemanfaatan data penginderaan jauh untuk memantau dan mengevaluasi kualitas ekosistem danau telah banyak dilakukan, seperti: pemantauan perubahan tutupan lahan di daerah aliran sungai (Kartika *et al.*, 2015; Priasty, 2014), pemantauan perubahan luas permukaan danau (Mostafa & Soussa, 2006; Trisakti, 2013), pemetaan dan penilaian tingkat kualitas air danau (Doxaran *et al.*, 2002; Liu *et al.*, 2007), pendugaan debit air dan estimasi laju erosi tanah di daerah tangkapan air dan daerah aliran sungai (Suroso & Susanto, 2006; Pratisto & Danoedoro, 2008; Carolita *et al.*, 2013; Hazarika & Honda, 2001). Lebih jauh lagi pada tingkat operasional, Brezonik *et al.* (2002) dan Powell *et al.* (2008) mengembangkan model algoritma ekstraksi klorofil, kecerahan perairan dan *Total Suspended Solid* (TSS) di perairan danau (Li & Li, 2004), dan menerapkan model tersebut untuk memantau perubahan indeks status tropis perairan (Soeprbowati & Suedy, 2010). Selain status tropik beberapa parameter perairan danau lainnya yang juga telah dipantau secara operasional menggunakan gabungan antara teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografi adalah pemantauan luas permukaan air, level muka air, suhu dan TSS di Macedonia dan Yunani (Mariantthi *et al.*, 2011). Selain itu juga penggunaan data penginderaan jauh untuk pemantauan perubahan luas permukaan air danau (penyusutan dan perluasan) pada danau dengan ukuran kecil di bagian tenggara Brasil (Maillard *et al.*, 2012), dan pemantauan pertumbuhan vegetasi air di Malheur Lake, Oregon (Adjei, 2015).

Kegiatan penelitian pengembangan di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh (Pusfatja), Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional yang berkaitan dengan pemantauan kualitas ekosistem danau dilakukan secara lebih terarah pada periode 2011-2017, saat itu kegiatan dikaitkan dengan program nasional penyelamatan 15 danau prioritas. Pada kegiatan ini dilakukan kajian mengenai standarisasi

pengolahan data multi sensor dan multi temporal, kajian parameter ekosistem daerah tangkapan air dan kajian parameter untuk menilai kualitas ekosistem perairan danau (Miao, 2009; Trisakti & Nugroho, 2012; Trisakti *et al.*, 2013; Trisakti *et al.*, 2014; dan Julzarika, *et al.*, 2017). Pada kajian parameter ekosistem daerah tangkapan air telah dilakukan pengamatan perubahan lahan secara multi temporal, dan pendugaan koefisien *run-off*, debit air permukaan dan laju erosi tanah dengan menggunakan data multi temporal. Sedangkan untuk kajian parameter ekosistem perairan danau telah dilakukan pengembangan metode pemetaan luas permukaan air danau, sebaran vegetasi air, lokasi penempatan karamba jaring apung dan kualitas air danau (meliputi kecerahan dan TSS). (Julzarika *et al.*, 2017). Beberapa kegiatan seperti pemetaan penutup lahan di Daerah Tangkapan Air (DTA) luas permukaan air danau, sebaran vegetasi air dan lokasi karamba jaring apung telah dioperasionalkan, sedangkan kualitas air, sebaran *run-off* dan laju erosi membutuhkan verifikasi dan validasi model sebelum dioperasionalkan.

Metode yang perlu ditingkatkan/dikembangkan dan diharapkan dapat dioperasionalkan oleh beberapa user berkaitan dengan pemantauan danau, yaitu status tropik perairan danau. Status tropik menjadi indikator utama untuk melihat kondisi perairan danau, apakah masih dalam keadaan baik, terancam atau rusak. Selain itu, peningkatan status tropik perairan danau menjadi mesotropik menjadi salah satu indikator kinerja utama dari KLHK. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan Danau Limboto yang teridentifikasi dengan teknologi penginderaan jauh.

METODE PENELITIAN

Ekosistem Danau

Kriteria baku kerusakan danau meliputi unsur-unsur ekosistem danau (KLH, 2008), yaitu: a) Ekosistem perairan; b) Ekosistem sempadan; dan c) Ekosistem terestrial.

a. Kriteria Status Ekosistem Perairan

Parameter yang digunakan sebagai indikator untuk menentukan status ekosistem perairan ditunjukkan dalam Tabel 1. Penentuan status ekosistem perairan (baik, terancam dan rusak) perlu ditetapkan terlebih dahulu kelas air dan baku mutu air danau, penentuan status mutu air serta penentuan status trofik danau (Zulfia & Aisyah, 2013). Selanjutnya adalah parameter keanekaragaman hayati, jejaring makanan, tutupan tumbuhan air, alga/ganggang biru (*Microcystis*) dan limbah pakan perikanan budi daya.

b. Kriteria Status Ekosistem Sempadan

Parameter danau dan kegiatan manusia pada

Tabel 1. Kriteria Status Ekosistem Perairan

Parameter Danau	Baik	Status Ekosistem Danau Terancam	Rusak
Ekosistem Akuatik			
Status Trofik	<i>Oligrof-Mesotrof</i>	Eutrof	<i>Hypereutrof</i>
Standar Mutu Air	Tidak tercemar	Tercemar sedang	Tercemar berat
Keanekaragaman Hayati	Masih terdapat jenis fauna/flora endemik dan asli	Berkurangnya jenis fauna/flora endemik dan asli (<i>indigenaus</i>)	Hilangnya jenis fauna/flora endemik dan asli; banyak ditemukan jenis introduksi/ <i>invasive</i>
Jejaring makan (<i>food web</i>)	Tingkat trofik seimbang (produsen <i>primer/sekunder</i> , konsumen/ <i>tersier</i>)	Tingkat trofik tidak seimbang	Tidak terjadi tingkat trofik
Tutupan Tumbuhan Air	Terkendali tidak menyebar dan tidak mengganggu fungsi	Kurang terkendali dan danau mengganggu fungsi danau	Menyebar tidak terkendali sangat mengganggu fungsi danau
Ekosistem Terrestrial Daerah Tangkapan Air (DTA)			
Penutupan vegetasi pada lahan DTA	> 75 %	30-75 %	< 30 %
Koefisien rem sungai (Q_{max}/Q_{min}) masuk danau	< 50	50-120	> 120
Erosi lahan DTA	Tingkat erosi masih dibawah batas toleransi erosi	Tingkat erosi telah menyamai batas toleransi erosi	Tingkat erosi telah melebihi batas toleransi erosi

Sumber:(KLH, 2008) dan (KLH, 2011)

sempadan tersebut yang dinilai adalah sempadan Danau, sempadan pasang surut, dan pembuangan limbah.

c. Kriteria Status Ekosistem Terestrial

Indikator yang berdampak langsung kepada ekosistem danau adalah luas penutupan vegetasi dan tingkat erosi yang disebabkan oleh penggunaan lahan dan pengolahannya antara lain; pengolahan lahan pertanian, perkebunan dan permukiman. Apabila kondisinya baik, maka debit air yang masuk danau akan terkendali dengan baik secara alamiah. Selain itu juga tingkat sedimentasi danau akan rendah karena rendahnya tingkat erosi.

Danau Limboto

Danau Limboto merupakan danau besar yang terletak di Kabupaten Gorontalo. Danau dengan luas sekitar 3.000 hektar ini merupakan muara dari lima sungai besar, yakni Sungai Bone Bolango, Sungai Alo, Sungai Daenaa, Sungai Bionga, dan Sungai Molalahu. Pada 1950-an, Danau Limboto memiliki kedalaman hingga 27 m. Namun, saat ini kedalaman Danau Limboto tinggal sekitar 7-8 m saja. Kedalaman yang seperti ini menjadikan Danau Limboto tidak seperti

danau biasanya yang berbentuk seperti kolam alami. Danau Limboto memiliki bentuk permukaan berlumpur.

Kondisi geologi Danau Limboto

Menurut sejarah geologi, Danau Limboto terbentuk sekitar 2 juta tahun silam. Sebelum terbentuk, Dataran Interior Paguyaman-Limboto itu berupa laut. Danau yang terbentuk tadinya adalah sebuah kaldera dari gunung api yang meletus ribuan tahun lalu. Selain itu, proses tektonik yang terus aktif membuat kawasan danau itu terangkat.

Wilayah Gorontalo yang ditempati oleh Cekungan Air Tanah Limboto berada pada bagian lengan utara Sulawesi, dimana sebagian besar daerah ini ditempati oleh satuan batuan Gunung Api Tersier. Di wilayah bagian tengah daerah ini dijumpai dataran rendah berbentuk memanjang yang terbentang dari arah barat-barat laut ke timur-tenggara yang diduga semula merupakan danau dengan pusatnya berada di Danau Limboto. Wilayah Cekungan Limboto dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) satuan morfologi, yaitu: satuan morfologi pegunungan berlereng terjal, satuan morfologi perbukitan bergelombang dan satuan morfologi dataran rendah.

Kualitas Air

Kualitas air adalah kondisi kualitatif air yang diukur dan atau diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metode tertentu berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Pasal 1 Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 tahun 2003). Kualitas air dapat dinyatakan dengan parameter kualitas air. Parameter ini meliputi parameter fisik, kimia, dan mikrobiologis (Masduqi & Slamet, 2009).

Kualitas air dapat diketahui dengan melakukan pengujian tertentu terhadap air tersebut (KLH, 2009). Pengujian yang dilakukan adalah uji kimia, fisika, biologi, atau uji kenampakan (bau dan warna). Pengelolaan kualitas air adalah upaya pemeliharaan air sehingga tercapai kualitas air yang diinginkan sesuai peruntukannya untuk menjamin agar kondisi air tetap dalam kondisi alamiahnya (Yuningsih *et al.*, 2014). Agar kualitas air minum tetap terjaga maka Menteri Kesehatan RI menetapkan pengawasan yang ditetapkan pada Peraturan Menteri Kesehatan RI nomor 736/MENKES/PER/VI/2010 tentang "Tata Laksana Pengawasan Kualitas Air Minum maka daerah tangkapan untuk air baku yang berasal dari mata air seperti danau dan sungai maka inspeksi sanitasi dilakukan dua kali dalam setahun yaitu pada musim penghujan dan musim kemarau". Klasifikasi dan kriteria mutu air berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air pada pasal 8 menyatakan bahwa mutu air ditetapkan menjadi 4 kelas yaitu :

- Kelas satu, air digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- Kelas dua, air digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudi dayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- Kelas tiga, air yang digunakan untuk pembudi dayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- Kelas empat, air dapat digunakan untuk mengairi, pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 klasifikasi mutu air ditetapkan menjadi 4 kelas. kelas 1 dan kelas 2 maksimal TSS yang diperbolehkan 50 mg/l sedangkan kelas 3 dan kelas 4 maksimal 400 mg/l seperti tertera dalam Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan klasifikasi standarisasi TSS,

Tabel 2. Standarisasi TSS

Golongan	TSS (mg/l)	Klasifikasi Air
1	≤ 20	Jernih
2	40 ≤ TSS ≤ 80	Keruh
3	≥ 150	Kotor

(Sumber: PP No.82 Tahun 2001, Kementerian Lingkungan Hidup (KLH, 2001))

namun jika dilihat untuk kelas 1 dan kelas 2 nilai standar TSS sama yaitu maksimal 50 mg/l sedangkan kelas 3 dan kelas 4 nilai standar TSS juga sama yaitu 400 mg/l, sehingga akan menyulitkan pada saat menentukan nilai TSS hasil estimasi termasuk kelas 1 atau kelas 2, kelas 3 atau kelas 4. Oleh sebab itu dicoba mencari standarisasi TSS yang lain, dan diperoleh standar TSS dari Pemerintahan Michigan. yang menyatakan jika TSS kurang dari 20 mg/l maka termasuk air jernih, jika TSS 40-80 mg/l termasuk air keruh sedangkan jika lebih dari 150 mg/l termasuk air kotor, seperti dalam Tabel 3.

Tabel 3. Standarisasi TSS

Golongan	TSS (mg/l)	Klasifikasi Air
1	≤ 20	Jernih
2	40 ≤ TSS ≤ 80	Keruh
3	≥ 150	Kotor

(Sumber : www.michigan.gov, (DEQ, 2016))

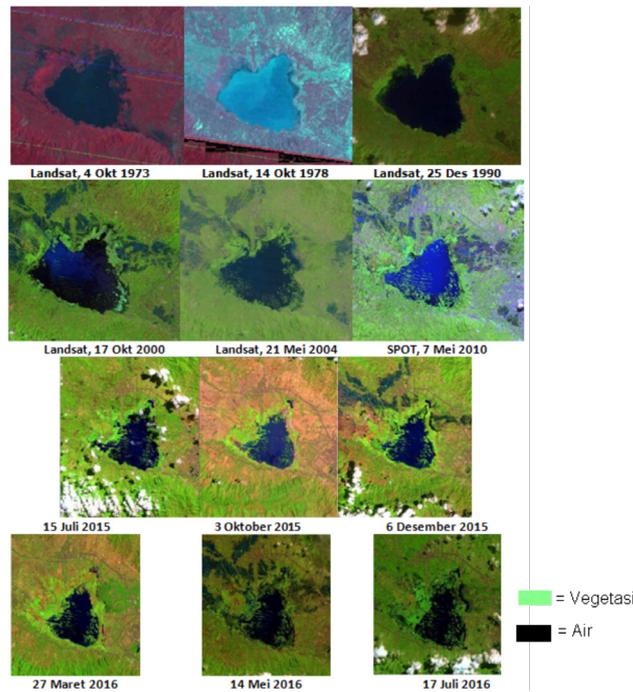
Kualitas air ini dideteksi dari data penginderaan jauh dengan menggunakan metode e-SMART (Dewi, *et al.*, 2017). Metode ini dikembangkan di LAPAN dan bisa untuk ekstraksi parameter TSS dan kecerahan (Dewi *et al.*, 2017). Metode ini diaplikasikan pada band inframerah dekat citra Landsat. Metode ini bisa digunakan jika citra Landsat sudah terkoreksi geometrik dan radiometrik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi pemantauan Danau Limboto pada 1973 - 2017 dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan citra dapat dilihat Danau Limboto pada 1973 dan 1978 secara visual luas permukaannya belum tertutup vegetasi air. Pada 2000 luas permukaan mengalami perluasan namun mulai ada vegetasi air yang tumbuh di sekitardanau. Pada 2004 Danau mulai mengalami penurunan luas permukaan air. Pada 2016 Luas permukaan semakin sempit dan badan air banyak tumbuhan air seperti enceng gondok.

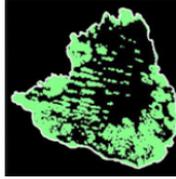
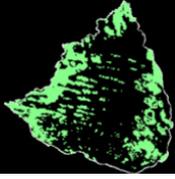
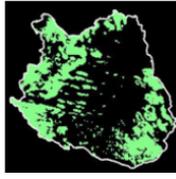
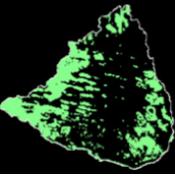
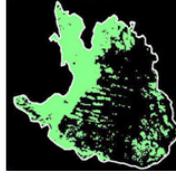
Perubahan penutup lahan di danau Limboto

Luas sebaran vegetasi air pada danau limboto



Gambar 1. Perubahan visual Danau Limboto dengan citra satelit.

Tabel 4. Perubahan luas permukaan air danau Limboto

No	Data yang digunakan	Informasi luas permukaan dan vegetasi air	No	Data yang digunakan	Informasi luas permukaan dan vegetasi air
1.	Landsat 8 (15 Juli 2015) 	Persentase vegetasi air sebesar 34 %. Warna hijau pada gambar merupakan vegetasi air. Sebaran vegetasi air meliputi sisi barat, timur, dan utara. Vegetasi air umumnya terletak di pinggiran danau Limboto.	4.	Landsat 8 (27 Maret 2016) 	Persentase vegetasi air sebesar 46 %. Warna hijau pada gambar merupakan vegetasi air. Sebaran vegetasi air meliputi sisi barat, timur, dan selatan. Vegetasi air umumnya terletak di pinggiran danau Limboto
2.	Landsat 8 (3 Oktober 2015) 	Persentase vegetasi air sebesar 31 %. Warna hijau pada gambar merupakan vegetasi air. Sebaran vegetasi air meliputi sisi barat, timur, dan utara. Vegetasi air umumnya terletak di pinggiran danau Limboto.	5.	Landsat 8 (14 Mei 2016) 	Persentase vegetasi air sebesar 34 %. Warna hijau pada gambar merupakan vegetasi air. Sebaran vegetasi air meliputi sisi barat dan timur. Vegetasi air umumnya terletak di pinggiran danau Limboto
3.	Landsat 8 (6 Desember 2015) 	Persentase vegetasi air sebesar 33 %. Warna hijau pada gambar merupakan vegetasi air. Sebaran vegetasi air meliputi sisi barat dan timur. Vegetasi air umumnya terletak di pinggiran danau Limboto	6.	Landsat 8 (17 Juli 2016) 	Persentase vegetasi air sebesar 43 %. Warna hijau pada gambar merupakan vegetasi air. Sebaran vegetasi air meliputi sisi barat dan tengah. Vegetasi air umumnya terletak di pinggiran danau Limboto

dilihat dari citra satelit Landsat 8 OLI menunjukkan kenaikan dan penurunan (Tabel 4). Pada Juli 2015 mencapai angka tertinggi yaitu 34% dari seluruh luasan permukaan sedangkan pada Desember 33% dan yang terendah pada Oktober 31%.

Perubahan luas permukaan dan vegetasi air danau Limboto

Perubahan luas permukaan permukaan dan vegetasi air Danau Limboto dapat dilakukan pemantauan dengan data penginderaan jauh. Citra satelit yang digunakan adalah Landsat 8. Pada citra Landsat dengan tanggal akuisisi 1 Juli 2015, diperoleh hasil hitungan luas permukaan danau sebesar 2.110,68 Ha dan luas vegetasi air sebesar 713,16 Ha. Kemudian pada citra Landsat tanggal akuisisi 1 Oktober 2015, diperoleh hasil hitungan luas permukaan danau menurun menjadi 1751,22 Ha dan luas vegetasi air menurun menjadi 537,75 Ha (Tabel 5).

Pada citra Landsat (1 Desember 2015), diperoleh hasil hitungan luas permukaan danau sebesar 1.755,99 Ha dan luas vegetasi air 573,75 Ha. Kemudian pada citra Landsat tanggal akuisisi 1 Maret 2016, diperoleh hasil hitungan luas permukaan danau menurun menjadi 1.549,44 Ha dan luas vegetasi air naik menjadi 716,94 Ha. Pada citra Landsat (14 Mei 2016), diperoleh hasil hitungan luas permukaan danau sebesar 1.819,53 Ha dan luas vegetasi air 627,93 Ha. Pada citra Landsat (1 Juli 2016), diperoleh hasil hitungan luas permukaan

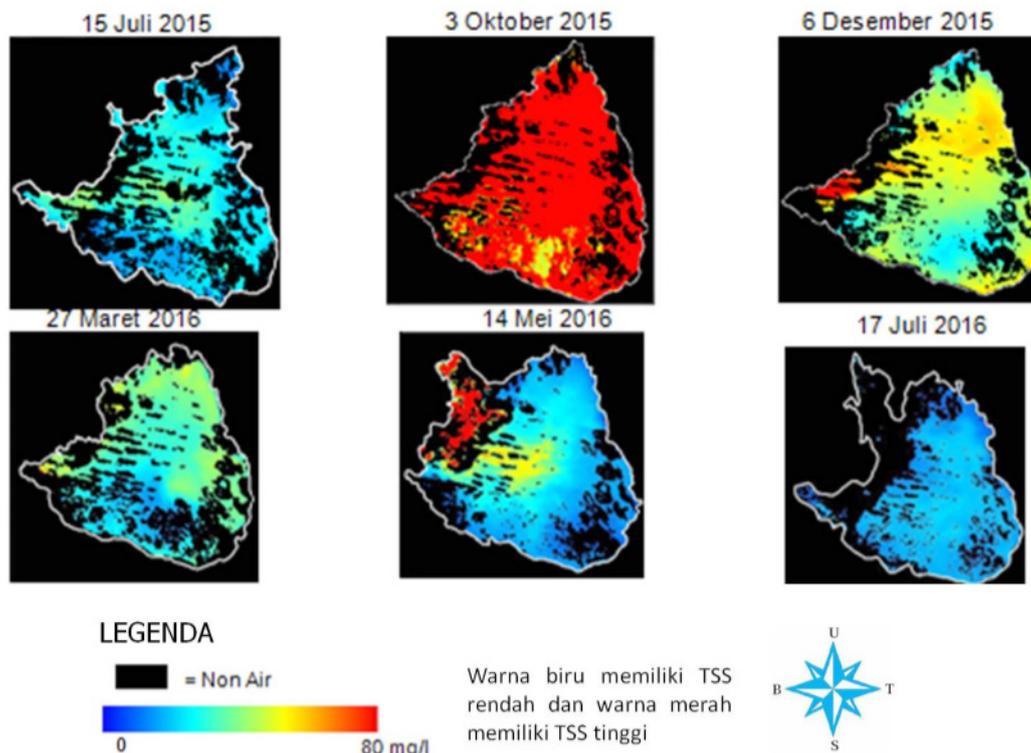
Tabel 5. Perubahan luas permukaan dan vegetasi air danau Limboto

No	Tanggal Akuisisi	Luas Permukaan Danau (Ha)	Luas Air Vegetasi (Ha)
1	1 Juli 2015	2.110.68	713.16
2	1 Oktober 2015	1.751.22	537.75
3	1 Desember 2015	1.755.99	573.75
4	1 Maret 2016	1.549.44	716.94
5	1 Mei 2016	1.819.53	627.93
6	1 Juli 2016	2.186.92	946.35

danau yang naik signifikan menjadi sebesar 2186,92 Ha dan luas vegetasi air naik drastis menjadi 946,35 Ha.

Sebaran TSS danau limboto

Nilai TSS dan Kecerahan di danau Limboto dilakukan koreksi TOA dan koreksi Atmosferik dengan algoritma DOS. Selanjutnya nilai TSS yang dihitung menggunakan Algoritma TSS dari Model (Trisakti *et al.*, 2016). Analisis kualitas air untuk parameter TSS di perairan Limboto antara 0 - 80 mg/L. Gambar 2 menunjukkan nilai TSS pada Oktober 2015, TSS tinggi mencapai 80 mg/L, Desember 70 mg/L dan Juli 60 mg/L. Pada 2016 TSS paling rendah terjadi pada Juli 40 mg/L, Maret 60 mg/L dan Mei 80 mg/L.



Gambar 2. Perubahan sebaran TSS danau Limboto.

Menurut data BMKG pada Juli 2015 tidak ada hujan. Hujan mulai ada pada Oktober dan lebih sering pada Desember. Puncak hujan terjadi pada Mei dan Juli 2016. Konsentrasi TSS di Danau Limboto pada musim penghujan lebih sedikit, air hujan melarutkan materi-materi padatan sehingga konsentrasi TSS berkurang. Hal ini bisa terjadi karena Daerah Aliran Sungai (DAS) Limboto sering terjadi banjir yang membawa material masuk ke danau sehingga TSSnya menjadi lebih tinggi. Kondisi ini berbeda di setiap danau karena tergantung pada kondisi DAS dan Daerah Tangkapan Air (DTA) serta karakter hujannya.

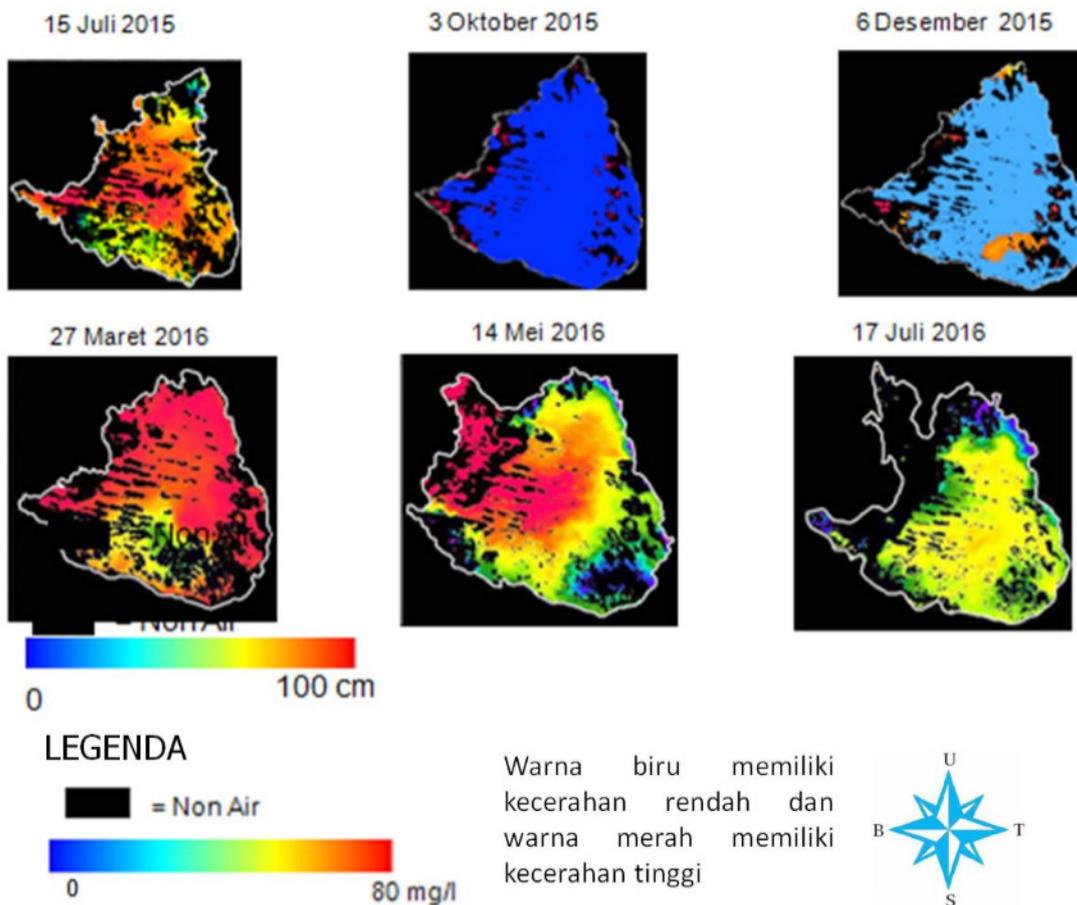
Sebaran kecerahan danau Limboto

Algoritma Kecerahan dari model (Trisakti *et al.*, 2016) diterapkan pada citra Landsat yang telah terkoreksi *Atmosferik Dark Object Subtract (DOS)*. Analisis kualitas air untuk parameter kecerahan di perairan Limboto menunjukkan nilai 0 - 100 cm. Gambar 3 menunjukkan nilai kecerahan pada Juli 2015 sebesar 100 cm, Oktober 20 cm, dan Desember 40 cm. Pada 2016 kecerahan pada Juli sebesar 70 cm, Maret 100 cm, dan Mei 65 cm. Menurut data BMKG pada 2015 tidak ada hujan pada Juli, hujan mulai ada pada Oktober dan lebih sering pada Desember. Pada

Mei dan Juli 2016 terjadi puncak hujan.

Uji akurasi

Uji akurasi ini meliputi pengecekan kondisi hasil pembuatan informasi spasial TSS dan kecerahan dari citra satelit yang dibandingkan dengan pengukuran lapangan. Uji akurasi ini menggunakan uji geostatistik non parameter dengan metode uji *Fischer* pada tingkat kepercayaan 95 % (1,96σ). Uji ini digunakan untuk mendeteksi kesalahan besar (*blunder*) dan pengecekan setiap data yang diuji (*data snooping*). Sebanyak 20 titik dilakukan pengukuran sampel TSS dan kecerahan. Hasil yang diperoleh adalah 19 titik masuk dalam kondisi yang mirip dengan kondisi TSS dan kecerahan. 19 titik yang diuji bebas blunder dan bernilai benar. 19 titik tersebut telah memenuhi nilai torensi 95 % pada uji *Fischer*. 19 titik ini berada pada kedalaman 1,5-3 m sehingga diperoleh nilai TSS dan kecerahan yang mirip dengan citra satelit. 1 titik pengukuran tidak sesuai dengan TSS dan kecerahan di citra satelit. Hal ini disebabkan oleh lokasi titik tersebut didekat awan tipis. Kondisi tersebut menyebabkan terjadi blunder secara geostatistik pada titik tersebut. Secara keseluruhan nilai akurasi yang diperoleh adalah 19 titik benar dari 20 titik pengukuran (95 % benar) pada



Gambar 3. Perubahan sebaran kecerahan danau Limboto, warna hitam adalah non air.

tingkat kepercayaan 1,96σ.

KESIMPULAN

Data penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan kondisi Danau Limboto melalui parameter TSS, kecerahan dan vegetasi air. Konsentrasi TSS di pantau pada musim kemarau lebih tinggi dibandingkan dengan musim penghujan terbukti pada Oktober 2015 (curah hujan rendah) konsentrasi TSSnya 80 mg/L, sedangkan dimusim penghujan Juli 2016 (curah hujan tinggi) konsentrasi TSSnya 40 mg/L. Konsentrasi Kecerahan berbanding terbalik dengan TSS, Konsentrasi kecerahan pada musim hujan lebih cerah dibandingkan pada musim penghujan dengan hasil penelitian pada Oktober 2015 (curah hujan tinggi) sebesar 20 cm dan Juli 2016 (curah hujan rendah) sebesar 100 cm. Perubahan luas vegetasi air danau Limboto menunjukkan tutupan vegetasi terendah pada Oktober 2015 menutup 31% dan tertinggi di bulan Maret 2016 sebesar 46% dari seluruh luas permukaan Danau Limboto. Tingkat akurasi penerapan koreksi atmosferik dan algoritma yang digunakan sebesar 95% dibandingkan dengan hasil pengukuran lapangan.

PERSANTUNAN

Terima kasih banyak kepada alm. Dr. Bambang Trisakti atas bimbingannya selama penelitian ini terutama dalam litbang pemanfaatan data penginderaan jauh untuk sumber daya danau. Selain itu terima kasih juga kepada Tri Rani Puji Astuti, ST., M.Eng. yang telah banyak membantu dalam penelitian Danau Limboto ini. Terima kasih banyak kepada Pustatja LAPAN yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adjei, Z.Y. (2015). Using Remote Sensing to Explore the Time History of Emergent Vegetation at Malheur Lake, Oregon. Theses. Department of Civil and Environmental Engineering, Brigham Young University.

Brezonik, P.L., Kloiber, S.M., Olmanson, L.G. & Bauer, M.E. (2002). Satellite and GIS Tools to Assess Lake Quality. Water Resources Center, Technical Report 145, May 2002. Carolita, I., Trisakti, B., & Noviar, H. (2013). Environmental Quality Changes of Singkarak Water Catchment Area Using Remote Sensing Data, *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 10(2):142-148.

DEQ (Department of Environmental Quality). (2016). Michigan Water Quality Standards. www.michigan.gov. diakses pada Oktober 2016. Michigan, Amerika Serikat.

Dewi, E.K., Julzarika, A. & Trisakti, B. (2017). *Juknis Pengolahan Kualitas Air Danau (TSS & Kecerahan) dengan Citra Landsat 8 OLI*. LAPAN. Jakarta.

Doxaran, D., Froidefond, J.M. & Castaing, P. (2002). A Reflectance Band Ratio Used to Estimate Suspended Matter Concentration in Sediment-dominated Coastal Waters. *Int. J. Remote Sensing*, 23(23): 5079-5085.

Hazarika, M.K. & Honda, K. (2001). Estimation of soil erosion using remote sensing and GIS: its valuation and economic implications on agricultural production. In: Stott, D.E., Mohtar, R.H., Steinhardt, G.C. (Eds.), *Sustaining the Global Farm*. Purdue University and USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, pp. 1090-1093.

Julzarika, A., Trisakti, B. & Dewi, A.K. (2017). *Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Sumber Daya Air*. Laporan akhir penelitian 2017. LAPAN. Jakarta.

Kartika, T., Trisakti, B. & Suwargana, N. (2015). *Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Landsat-8 untuk Mengamati Nilai TSS dan Kecerahan Perairan Danau Toba, Sumatera Utara*. Prosiding Sinasideraja 2015. Jakarta.

KLH (Kementerian Lingkungan Hidup). (2001). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.

KLH (Kementerian Lingkungan Hidup). (2008). *Pedoman Pengelolaan Ekosistem Danau*. Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.

KLH (Kementerian Lingkungan Hidup), (2009). *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009 Tentang Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau Dan/Atau Waduk*. Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.

KLH (Kementerian Lingkungan Hidup). (2011). *Profil 15 Danau Prioritas Nasional 2010-2014*. Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.

KLH (Kementerian Lingkungan Hidup). (2012). *Grand Design Penyelamatan Ekosistem Danau Indonesia*. Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.

Li, R. & Li, J. (2004). *Satellite Remote Sensing Technology for Lake Water Clarity Monitoring: An*

- Overview. International Society for Environmental Information Sciences, *Environmental Informatics Archives*, 2: 893-901.
- Liu, J., Hirose, T., Kapfer, M. & Bennett, J., (2007). Operational Water Quality Monitoring Over Lake Winnipeg Using Satellite Remote Sensing Data. Our Common Borders - Safety, Security, and the Environment Through Remote Sensing, October 28 - November 1, 2007, Ottawa, Ontario, Canada
- Mailard, P., Pivari, M.O. & Luis, C.H.P. (2012). Remote Sensing for Mapping and Monitoring Wetlands and Small Lakes in Southeast Brazil. *Open Journal Intech*, 2: 23-46.
- Masduqi, A. & Slamet, A. (2009). Satuan Operasi Untuk Pengolahan Air. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
- Marianthi, S., Eleni, C. & Eleni, K. (2011). Monitoring Lake Ecosystems Using Integrated Remote Sensing / Gis Techniques: An Assessment in the Region of West Macedonia, Greece. DOI: 10.5772/27926. *Open Journal Intech*, ISBN 978-953-307-724-6.
- Miao, Z. (2009). Radiometric and Atmospheric Correction. Power point Lecture.
- Powell, R., Brooks, C., French, N. & Shuchman, R. (2008). Remote Sensing of Lake Clarity. Michigan Tech Research Institute (MTRI), May 2008.
- Pratisto, A., & Danoedoro, P. (2008). The impact of land use changes against flood discharge and flood hazard (case study in Gesing Watershed, Purworejo, based on Landsat TM and ASTER VNIR image. Proceedings of the Annual Scientific Meeting of the Indonesian Remote Sensing Society (PIT-MAPIN), Bandung.
- Priasty, E.W. (2014). Analisis Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Daerah Aliran Sungai di Kabupaten Bengkulu Utara, *Jurnal Bengkulu Mandiri*. Bengkulu.
- Peraturan Pemerintah (PP). (2001). PP No.82 Tahun 2001 Tentang Klasifikasi Mutu Air. Kementerian Lingkungan Hidup.
- Soeprbowati, T.R. & Suedy, S.W.A. (2010). Status Trofik Danau Rawapening Dan Solusi Pengelolaannya. *Jurnal Sains & Matematika*, 18 (4): 158-169.
- Suroso dan Susanto H.A. (2006). Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir Daerah Aliran Sungai Banjaran, *Jurnal Teknik Sipil*, 3(2): 75-80.
- Trisakti, B. & Nugroho, G. (2012). Standarisasi Koreksi Data Satelit Multi Temporal dan Multi Sensor (Landsat TM/ETM+ dan SPOT-4), *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital*, 9(1): 25-34.
- Trisakti, B. (2013). Kajian Penentuan Luas Danau dan Sebaran Vegetasi Air dengan Metoda Penginderaan Jauh, *Jurnal Limnotek*, 20(1): 10-20.
- Trisakti B., Carolita I., dan Susanto. (2013). Pemetaan Run-off dan Debit Aliran Permukaan di Daerah Tangkapan Air (DTA) Danau Singkarak, Prosiding Nasional Sains Geoinformasi 2013, Yogyakarta 25-26 September.
- Trisakti, B., Suwargana, N. & Cahyono, J. K. (2014). Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Untuk Memantau Parameter Status Ekosistem Perairan Danau (Studi Kasus: Danau Rawa Pening). Seminar Nasional Penginderaan Jauh Nasional 2014.
- Trisakti, B. (2016). Pemanfaatan Standar Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Untuk Pemantauan Perubahan Lahan. Laporan kegiatan pusat pemanfaatan penginderaan jauh, LAPAN, Jakarta.
- Yuningsih, H.D., Soedarsono, P., & Anggoro, S. (2014). Hubungan Bahan Organik Dengan Produktivitas Perairan pada Kawasan Tutupan Eceng Gondok, Perairan Terbuka dan Keramba Jaring Apung di Rawa Pening Kabupaten Semarang Jawa Tengah. *Diponegoro Journal of Maquares*. 3(1): 37-43.
- Zulfia, N. & Aisyah. (2013). Trophic Status Of Rawa Pening Waters Evaluated From The Nutrients (No3 Dan Po4) And Chlorophyll-a, *BAWAL*, 5(3): 189-199.

