

PEMANFAATAN DATA PENGINDERAN JAUH UNTUK MEMANTAU PARAMETER STATUS EKOSISTEM PERAIRAN DANAU (STUDI KASUS: DANAU RAWA PENING)

Bambang Trisakti^{*)}, Nana Suwargana^{*)}, dan Joko Santo Cahyono^{*)}

^{*)}Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN

e-mail : btris01@yahoo.com

Abstract

Several lakes in Indonesia has experienced degradation (decreased quality) that is caused by the conversion of land in the catchment area, soil erosion, and water pollution from agriculture and households. This research is done in order to utilize remote sensing data to monitor several parameters that are used as appraisers lake ecosystem status in accordance with Guidelines for the Management of Lake Ecosystem by Ministry of Environment. Monitoring was done on the Lake of Rawa Pening using Landsat TM/ETM+ over the period 2000-2013. Sun angle correction and atmospheric correction performed through the process of data standardization by removal of dark pixels using histogram adjustment methods. Moreover, RGB composite (R:NIR+SWIR, G:NIR, B:NIR-RED) was used for the identification of aquatic plant (*Eichhornia crassipes*) to delineate the boundary of the lake. Further samples were collected to classifying aquatic plants with Maximum Likelihood method. Total Suspended Matter (TSM) parameter and water brightness derived using Doxaran and field measurement model. The results showed that the quality of the lake has decreased during the period 2000-2013. It can be determined from the rate of constriction and expansion of a dynamic water surface of the lake as well as the uncontrolled spread of aquatic plants which cover 45% of the surface area of the lake, increasing TSM concentration and decreasing of water brightness. Most of the lake waters has a brightness of less than 2.5 m which indicating the status of the tropical waters of the lake in hypertrophic class.

Key Words: *Lake ecosystem, Satellite data, Eichhornia crassipes, Water quality*

Abstrak

Sebagian danau di Indonesia telah mengalami degradasi (penurunan kualitas) yang diakibatkan oleh terjadinya konversi lahan di daerah tangkapan air, tingginya erosi tanah, dan polusi air dari pertanian dan rumah tangga. Pada kegiatan ini dilakukan pemanfaatan data penginderaan jauh untuk memantau beberapa parameter yang digunakan sebagai penilai status ekosistem danau sesuai dengan Pedoman Pengelolaan Ekosistem Danau dari Kementerian Lingkungan Hidup. Pemantauan dilakukan pada Danau Rawa Pening menggunakan data satelit Landsat TM/ETM+ selama periode 2000-2013. Pada proses standarisasi data dilakukan koreksi sudut matahari dan koreksi atmosferik dengan cara penghilangan piksel gelap menggunakan metode histogram adjustment. Komposit RGB (R:NIR+SWIR, G:NIR, B:NIR-RED) digunakan untuk identifikasi vegetasi air (eceng gondok), sehingga dapat dilakukan deliniasi batas permukaan air danau. Selanjutnya sampel dikumpulkan untuk klasifikasi eceng gondok dengan metode Maximum Likelihood. Parameter Total Suspended Matter (TSM) dan Kecerahan Perairan diturunkan menggunakan model Doxaran dan model dari pengukuran lapangan. Hasil memperlihatkan bahwa Danau Rawa Pening mengalami penurunan kualitas selama periode 2000-2013, yang terlihat dengan laju penyempitan dan perluasan permukaan air danau yang dinamis, menyebarnya eceng gondok secara tidak terkendali sehingga menutupi 45% dari luas permukaan danau, meningkatnya konsentrasi TSM dan menurunnya Kecerahan Perairan. Sebagian besar perairan Danau Rawa Pening mempunyai Kecerahan Perairan kurang dari 2.5 m yang mengindikasikan status tropik perairan danau dalam kelas hipertropik.

Kata Kunci: *Ekosistem perairan danau, Data satelit, Eceng gondok, Kualitas air*

1. Pendahuluan

Dewasa ini sebagian besar ekosistem danau di Indonesia telah mengalami degradasi (penurunan kualitas) yang mengakibatkan terjadinya permasalahan konservasi sumberdaya air, penyediaan air baku, banjir dan sebagainya. Ekosistem danau terdiri dari daerah tangkapan air (DTA) danau, sempadan danau dan perairan danau. Secara umum kerusakan yang terjadi pada ekosistem danau (KLH, 2012) adalah Kerusakan lingkungan dan erosi lahan yang disebabkan oleh penebangan hutan di DTA secara illegal dan pengelolaan lahan yang tidak sesuai dengan daya dukungnya, pendangkalan dan penyempitan danau yang berdampak sangat nyata karena lambat laun status danau berubah menjadi rawa dan selanjutnya menjadi

lahan daratan, pencemaran kualitas air danau yang mengganggu pertumbuhan biota akuatik dan pemanfaatan air danau, pertumbuhan alga yang berlebihan atau marak alga (*alga bloom*) yang disebabkan oleh penyuburan air danau akibat pencemaran limbah organik dan zat penyubur, dan perubahan fluktuasi muka air danau yang disebabkan oleh kerusakan DTA serta pengambilan air dan tenaga air, sehingga mengganggu keseimbangan ekologis daerah sempadan danau.

Kementerian Lingkungan Hidup telah mengeluarkan Pedoman Pengelolaan Ekosistem Danau yang memuat parameter yang berpengaruh terhadap status/kualitas status ekosistem terestrial DTA, ekosistem sepadan danau dan ekosistem perairan danau. Tabel 1-1 memperlihatkan kriteria status ekosistem perairan danau berdasarkan pedoman dari KLH (KLH, 2008). Perubahan kondisi parameter tersebut dari waktu ke waktu dapat menjadi indikator apakah kondisi DTA dan danau masih baik, terancam atau rusak. Oleh karena itu pemantauan terhadap parameter tersebut sangat penting dalam mendukung kegiatan pengelolaan danau prioritas di Indonesia.

Tabel 1-1. Kriteria status ekosistem perairan danau (KLH, 2008)

PARAMETER DANAU	STATUS EKOSISTEM DANAU		
	BAIK	TERANCAM	RUSAK
EKOSISTEM AKUATIK			
Status Trofik	Oligotrof-Mesotrof	Eutrof	Hypereutrop
Status Mutu Air	Tidak Tercemar	Tercemar Sedang	Tercemar Berat
Keanekaragaman Hayati	Masih terdapat jenis fauna /flora endemik & asli	Berkurangnya jenis fauna /flora endemik & asli	Hilangnya jenis fauna /flora endemik dan asli
Jejaring Makan (Food Web)	Tingkat trofik seimbang (produsen primer/sekunder, konsumen/tersier)	Tingkat trofik tidak seimbang	Tidak terjadi tingkat trofik
Tutupan Tumbuhan Air	Terkendali tidak menyebar dan tidak mengganggu fungsi danau	Kurang terkendali dan mengganggu fungsi danau	Menyebarkan tidak terkontrol sangat mengganggu fungsi danau
Alga/ganggang biru (<i>Microcystis</i>)	Sedikit	Banyak	Blooming
Limbah Pakan Perikanan Budidaya	Jumlah produksi ikan dan penggunaan pakan sesuai dg Daya Tampung Danau (DTD) dan perizinan	Jumlah produksi ikan dan penggunaan pakan melebihi DTD, tetapi memenuhi perizinan	Kegiatan budidaya ikan dan pemakaian pakan tdk terkendali, tdk memenuhi perizinan & tidak memenuhi DTD

Pemanfaatan data penginderaan jauh satelit untuk pembangunan dan pengembangan metode penilaian dan pemantauan parameter ekosistem perairan danau sudah dilakukan oleh beberapa peneliti, seperti: Trisakti *et al.* (2013) melakukan kajian pengembangan metode penentuan luas permukaan air danau dan identifikasi vegetasi air yang menutupi permukaan air Danau Limboto, Brezonikn *et al.* (2002) melakukan pemetaan parameter kualitas air (khususnya: Klorofil dan kecerahan perairan) danau di wilayah Amerika Serikat, dan Li *et al.* (2004) menyampaikan hasil kajian bahwa pemantauan dapat dilakukan untuk berbagai ukuran danau menggunakan citra berbeda resolusi spasial. Bahkan di luar negeri, pemanfaatan data satelit tidak hanya dalam lingkup kajian dan pengembangan model, tapi sudah masuk kedalam fase pemanfaatan untuk mendukung kegiatan operasional pemantauan kualitas air dan kondisi tropik danau. Brezonik *et al.* (2002), Liu *et al.* (2007) dan Powell *et al.* (2008) telah membuat model pemetaan parameter kualitas air (klorofil, kecerahan perairan, suhu dan suspended solid) dan

pemetaan status tropik danau menggunakan data Landsat TM/ETM+, dan telah menerapkan model tersebut secara operasional untuk memantau kondisi beberapa danau di Amerika dan Kanada. Status tropik perairan mengindikasikan tingkat kesuburan perairan karena berbagai macam unsur hara yang masuk ke perairan tersebut. Semakin tinggi tingkat kesuburan perairan akan mengakibatkan semakin cepatnya pertumbuhan alga (alga bloom) yang selanjutnya menyebabkan kematian ikan akibat permukaan air tertutup oleh lapisan alga sehingga mengurangi kandungan oksigen terlarut di dalam air.

Pemanfaatan data satelit untuk kegiatan pemantauan ekosistem danau di Indonesia, umumnya masih bersifat kajian dan hanya sedikit yang berlanjut sampai tingkat operasional. Hal ini disebabkan belum dilakukannya standarisasi prosedur pengolahan data sehingga informasi yang diperoleh tidak konsisten, yang selanjutnya mengakibatkan model algoritma yang dihasilkan cenderung bersifat spesifik untuk data dan lokasi tertentu. Pada kegiatan ini dilakukan pemanfaatan data penginderaan jauh untuk memantau beberapa parameter yang digunakan sebagai penilai status ekosistem danau sesuai dengan Pedoman Pengelolaan Ekosistem Danau dari Kementerian Lingkungan Hidup

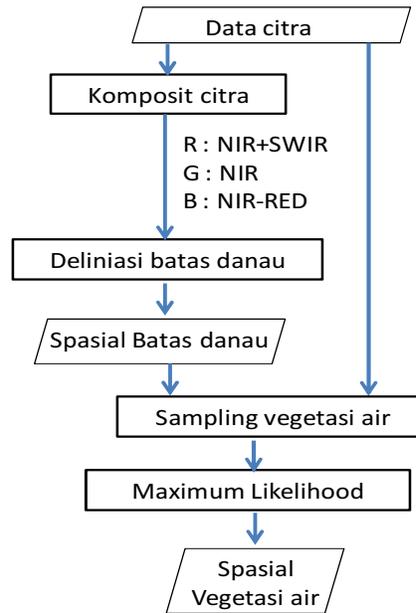
2. Metode Penelitian

Lokasi kajian adalah Danau Rawa Pening yang merupakan salah satu dari 15 danau prioritas dalam program penyelamatan dan pengelolaan danau 2010-2014 (KLH, 2011). Data yang digunakan adalah citra satelit multi temporal Landsat TM/ETM+ selama periode 2000-2013. Kegiatan dibagi menjadi 3 tahapan, yaitu: tahap standarisasi data, tahap pemetaan batas permukaan air danau dan sebaran eceng gondok, dan tahap pemetaan kualitas air (TSM dan kecerahan perairan).

Data Landsat TM/ETM+ dikoreksi geometrik dan radiometrik untuk memperbaiki kesalahan posisi dan kesalahan spektral piksel karena pengaruh pencahayaan matahari (Trisakti dan Nugroho, 2012) dan koreksi atmosferik. Koreksi matahari dilakukan untuk menghilangkan perbedaan nilai digital piksel yang disebabkan posisi matahari yang berbeda. Proses koreksi dilakukan dengan merubah nilai digital piksel menjadi nilai radian (radiasi dari objek ke sensor) dan merubah lagi menjadi reflektansi. Selanjutnya melakukan koreksi atmosferik dengan mengasumsikan bahwa adanya objek yang menyerap seluruh energi gelombang elektromagnetik, sehingga tidak ada pantulan/hamburan gelombang elektromagnetik dari objek tersebut yang masuk ke sensor. Dengan kata lain bila piksel objek pada citra mempunyai nilai, maka itu adalah nilai hamburan balik atmosfer yang masuk ke sensor. Objek gelap pada lokasi kajian adalah perairan sehingga metode koreksi dengan asumsi adanya objek gelap dapat dilakukan. Tahapannya adalah mencari nilai piksel minimum pada setiap band yang diasumsikan sebagai piksel objek gelap, kemudian nilai tersebut dipakai untuk mengurangi nilai piksel pada seluruh citra, sehingga nilai piksel minimum menjadi 0.

Tahap kedua adalah pemetaan batas permukaan air danau dan sebaran vegetasi air (Gambar 2-1). Pemetaan luas permukaan air danau dilakukan dengan identifikasi vegetasi air menggunakan komposit RGB ($R=NIR+SWIR$, $G=NIR$, $B=NIR-Red$), dimana vegetasi air di atas air berwarna putih dan terbedakan secara tegas dari vegetasi di sekitarnya, selanjutnya melakukan deliniasi batas danau Trisakti *et al.* (2011). Berdasarkan hasil survei lapangan, warna putih tebal pada vegetasi air berarti kondisi vegetasi air dengan

tingkat kehijauan yang tinggi yang disebabkan vegetasi air tersebut masih cukup mendapatkan air (tumbuh diatas air atau pada tanah yang basah yang masih menjadi bagian danau), sedangkan warna putih tipis berarti kondisi vegetasi air dengan tingkat kehijauan rendah karena vegetasi air kurang mendapat air dari bagian bawahnya (tanah telah mengering dan bukan menjadi bagian danau). Deliniasi batas permukaan air danau dilakukan dengan memasukan vegetasi air dengan warna putih tebal.



Gambar 2-1. Diagram alir pemetaan luas danau dan vegetasi air

Tahapan pemetaan sebaran vegetasi air dilakukan dengan mengkroping citra menggunakan batas permukaan air danau, melakukan pengambilan sampel untuk 3 kelas (vegetasi air, tubuh air dan tanah) dengan total 45 sampel, dan melakukan klasifikasi menggunakan metode Maximum Likelihood Enhance Neighbour untuk mendapatkan sebaran vegetasi air di wilayah danau.

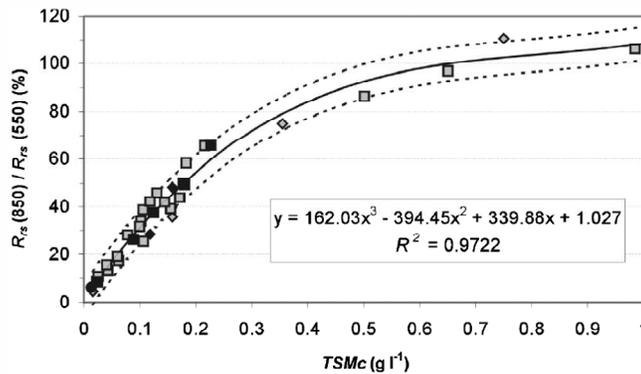
Selanjutnya dilakukan perhitungan rata-rata penyempitan/perluasan permukaan air danau pertahun dan perhitungan persentase tutupan vegetasi air di Danau Rawa Pening. Rata-rata pertahun penyempitan/perluasan permukaan air danau dan persentase tutupan vegetasi dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$S = \frac{(A2-A1)/A1}{n2-n1} \times 100 \% \quad (2-1)$$

$$\text{Persentase tutupan vegetasi} = (\text{Luas vegetasi air}/\text{Luas danau}) \times 100\% \quad (2-2)$$

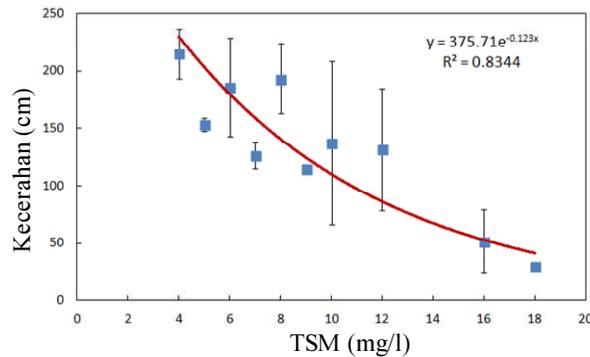
dimana, S adalah rata-rata penyempitan (-) atau perluasan (+), A1 dan A2 adalah luas tahun awal dan tahun terakhir, n1 dan n2 adalah tahun awal dan tahun terakhir.

Tahapan pemetaan kualitas air dengan menggunakan model algoritma ekstraksi TSM yang dikembangkan oleh Doxaran *et al.* (2002). Gambar 2-2 memperlihatkan model algoritma Doxaran, korelasi antara TSM dengan rasio band NIR/Green, model ini dibangun berbasis hasil pengukuran spektrometri pada berbagai konsentrasi TSM (10 – 1000 mg/l), dan telah diterapkan pada data Landsat. Sedangkan model Kecerahan Perairan dibangun dari data pengukuran lapangan. Hasil pengukuran TSM dan Kecerahan Perairan di Danau Tondano pada tahun 2012, dan hasil pengukuran TSM dan Kecerahan Perairan di Danau Kerinci pada tahun 2013 digabungkan untuk mendapatkan algoritma Kecerahan Perairan berbasis nilai TSM seperti Gambar 2-3 (Trisakti *et al.*, 2013). Selanjutnya algoritma ini digunakan untuk memetakan Kecerahan Perairan daerah kajian, selanjutnya Kecerahan menjadi indikator tingkat kesuburan perairan.



re 4. Ratio of reflectance [$R_{rs}(850\text{ nm})/R_{rs}(550\text{ nm})$] plotted against TSM_c . Date of measurements: July (rhombus), August (circles) and September (squares) 2000 (grey points) and 2001 (black points). Plot of the third order polynomial regression and the $\pm 7\%$ reflectance ratio uncertainty which includes all points in the range 0.010–1.000 $g\ l^{-1}$.

Gambar 2-2. Algoritma TSM yang dikembangkan oleh Doxaran *et al.* (2002)

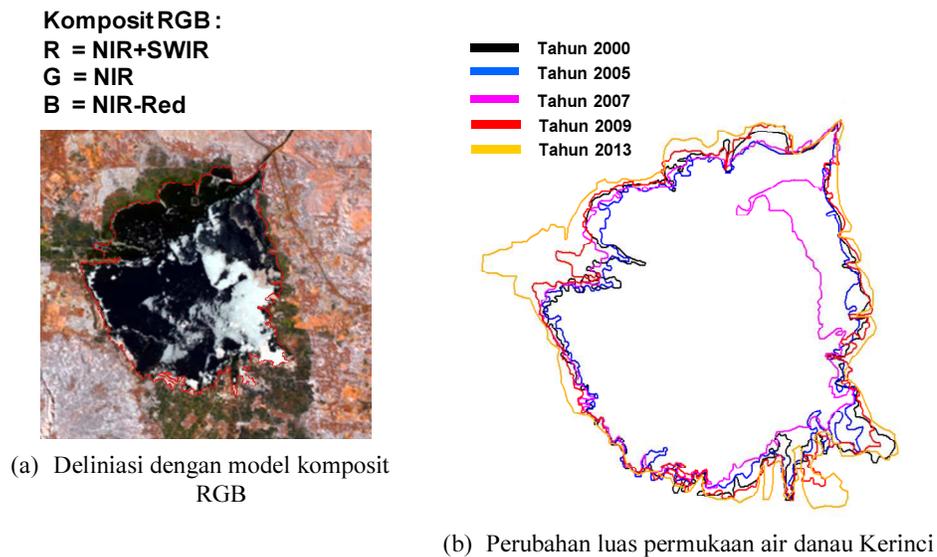


Gambar 2-3. Model korelasi antara TSS dan Kecerahan perairan danau

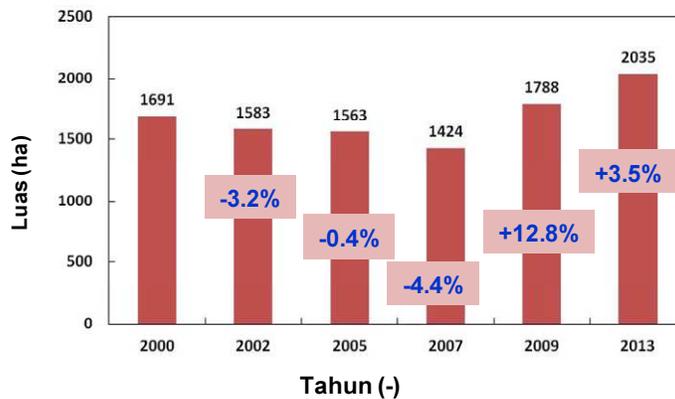
3. Hasil dan Diskusi

Gambar 3-1 memperlihatkan contoh hasil deliniasi luas permukaan air Danau Rawa Pening dengan komposit RGB (R: NIR+SWIR, G: NIR, B: NIR-Red), dan hasil pemetaan luas Danau Rawa Pening pada tahun 2000, 2005, 2007, 2009 dan 2013. Eceng gondok terlihat dengan penampakan wana putih. Deliniasi batas danau dibuat dengan mempertimbangkan adanya tutupan vegetasi air di atasnya. Hasil pemetaan luas permukaan air danau menggunakan data Landsat multi temporal memperlihatkan bahwa bentuk dan luas danau berubah-ubah setiap tahun, mengalami penyempitan dan perluasan.

Perubahan luas permukaan air danau dan rata-rata penyempitan pertahun dan perluasan Danau Rawa Pening diperlihatkan pada Gambar 3-2. Luas permukaan air Danau Rawa Pening mengalami penyempitan selama periode 2000-2007. Laju penyempitan tertinggi terjadi pada tahun 2007 mencapai 4,4% pertahun. Tetapi pada periode 2007-2013, luas Danau Rawa Pening bertambah dengan laju perluasan mencapai 3,5% - 12,8% pertahun. Luas permukaan air Danau Rawa Pening pada tahun 2013 adalah sebesar 2.035 ha.

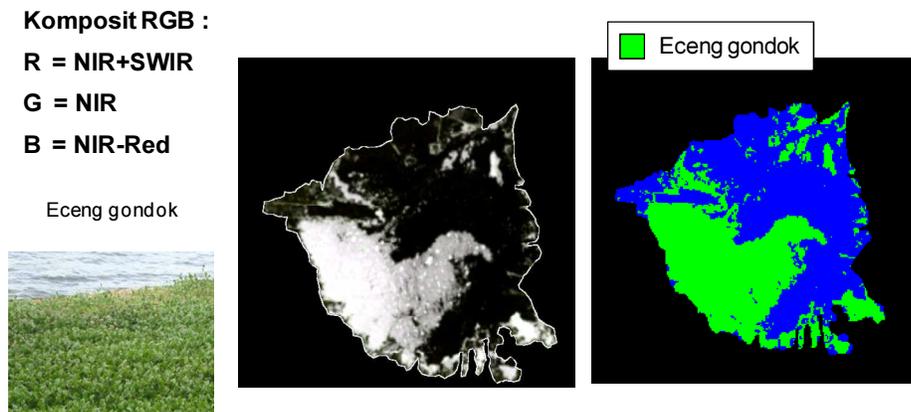


Gambar 3-1. Hasil pemetaan luas permukaan air Danau Kerinci periode 2000-2012



Gambar 3-2. Luas permukaan air Danau Rawa Pening periode 2000-2012, negatif (-) adalah laju penyempitan dan positif (+) adalah laju perluasan pertahun

Eceng gondok adalah salah satu vegetasi air yang banyak berkembang di atas permukaan air danau (Gambar 3-3). Komposit warna dibuat dengan memilih kombinasi kanal yang mempunyai nilai spektral paling tinggi untuk eceng gondok berdasarkan hasil analisis perbedaan spektral dari sampel vegetasi. Eceng gondok di danau mempunyai tingkat kehijauan dan aktifitas fotosintesis yang tinggi, sehingga memiliki pantulan yang tinggi pada kanal NIR dan SWIR, serta memiliki pantulan rendah pada kanal merah. Oleh karena itu dengan kombinasi warna RGB (R: NIR+SWIR, G: NIR, B: NIR-Red) maka piksel eceng gondok akan mempunyai nilai tinggi pada warna R, G dan B, yang kemudian membentuk gabungan warna putih. Informasi sebaran spasial eceng gondok diperoleh dengan melakukan klasifikasi secara digital menggunakan metode klasifikasi *Maximum Likelihood Enhanced Neighbour*. Hasil klasifikasi sebaran eceng gondok pada tahun 2013 diperlihatkan pada **Gambar 3-4**, eceng gondok berhasil dipisahkan dengan cukup akurat (Akurasi > 95%)

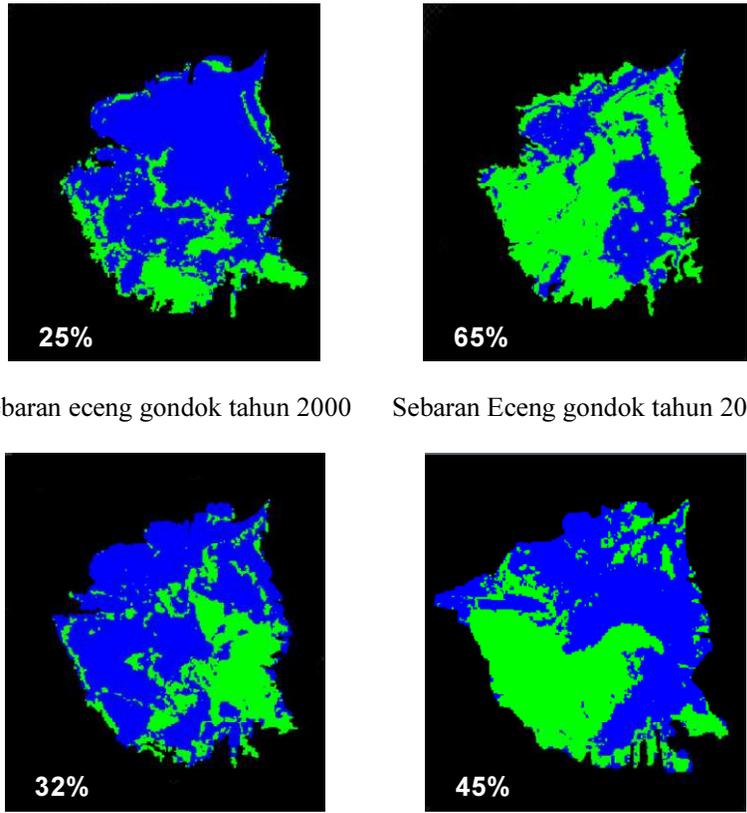


Gambar 3-3. Penampakan dan hasil klasifikasi eceng gondok

Gambar 3-4 memperlihatkan sebaran eceng gondok di Danau Rawa Pening periode 2000-2013. Huruf putih pada bagian kiri bawah menunjukkan persentase luas tutupan eceng gondok terhadap luas danau. Pertumbuhan eceng gondok berfluktuasi selama periode 2000-2013, perkembangan eceng gondok yang signifikan terjadi pada tahun 2005 dan 2013. Persentase luas tutupan eceng gondok sekitar 25% pada tahun 2000, mengalami peningkatan menjadi 65% pada tahun 2005, menurun kembali menjadi 32% pada tahun 2009 dan selanjutnya meningkat kembali menjadi 45% pada tahun 2013. Pertambahan eceng gondok yang sangat cepat akan mengakibatkan terganggunya aktifitas budidaya perikanan, rusaknya keindahan danau dan pendangkalan danau yang semakin cepat. Beberapa danau di Indonesia, seperti Danau Limboto dan Danau Tempe mengalami peningkatan sebaran eceng gondok yang sangat cepat, dimana luas sebaran eceng gondok mencapai 30% - 60% dari luas permukaan air danau tersebut. Hal ini mengakibatkan eceng gondok menjadi permasalahan paling utama yang harus diselesaikan untuk pemulihan dan pengelolaan danau yang lestari.

Berdasarkan Pedoman Pengelolaan Ekosistem Danau, kondisi eceng gondok yang menyebar, tidak terkendali dan mengganggu fungsi danau menjadi dasar bahwa status danau tersebut dalam kondisi rusak. Kalau dianalisis maka kondisi sebaran eceng gondok di perairan Danau Rawa Pening sangat tidak

terkendali, menyebar di seluruh bagian danau dan mengganggu berbagai fungsi danau dan aktifitas masyarakat.



Sebaran eceng gondok tahun 2000 Sebaran Eceng gondok tahun 2005

Sebaran eceng gondok tahun 2009 Sebaran eceng gondok tahun 2013

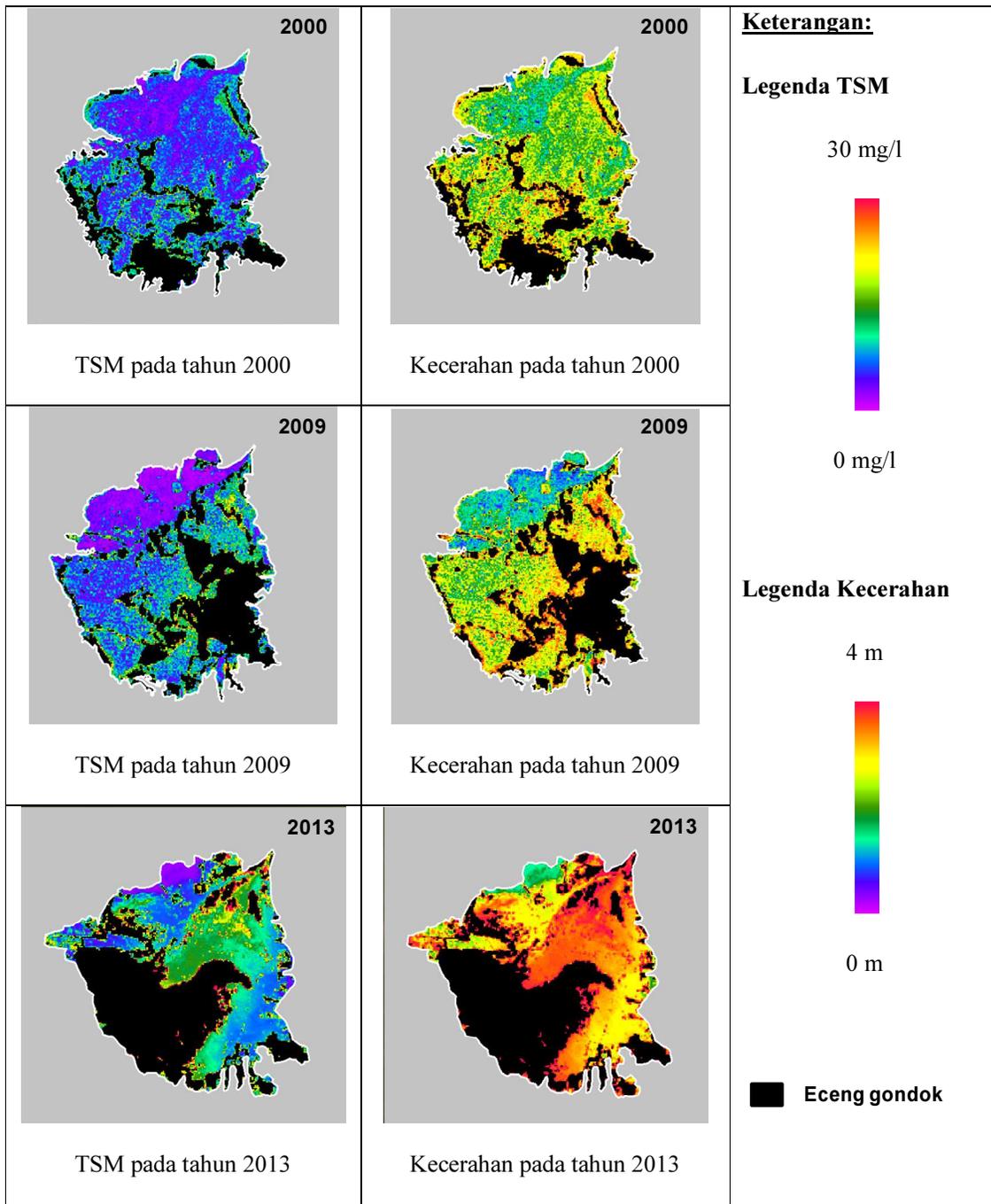
Gambar 3-4. Pemantauan sebaran eceng gondok di perairan Danau Rawa Pening

Gambar 3-5 memperlihatkan sebaran TSM dan Kecerahan Perairan di Danau Rawa Pening pada tahun 2000, 2009 dan 2013. Warna hitam adalah sebaran eceng gondok pada tahun tersebut. Sebaran TSM pada tahun 2000 berkisar kurang dari 15 mg/l, tetapi konsentrasi TSM meningkat mencapai 20 mg/l pada tahun 2009, dan semakin meningkat mencapai 30 mg/l pada tahun 2013. Konsentrasi TSM yang tinggi pada tahun 2013 tersebar di bagian tengah perairan Danau Rawa Pening.

Tabel 3-1. Kategori status tropik danau metode UNEP-ILEC

STATUS TROFIK	KADAR RATA-RATA			
	TOTAL N, (mg/L)	TOTAL P, (mg/L)	Klorofil – a (ug/L)	KECERAHAN (m)
Oligotrofik	≤ 650	< 10	< 2	>10
Mesotrofik	≤ 750	< 30	< 5	>4
Eutrofik	≤ 1900	< 100	< 15	≥ 2,5
Hypertrofik	> 1900	≥ 100	≥ 200	< 2,5

Sumber : KLH,2009, Modifikasi OECD1982,MAB 1989, UNEP-ILEC,2001



Gambar 3-5. TSM dan Kecerahan perairan di Danau Rawa Pening tahun 2000, 2009 dan 2013

Pola Kecerahan Perairan berbanding terbalik dengan pola TSM. Kecerahan Perairan cukup tinggi (> 3m) terdapat pada bagian atas perairan danau yang tingkat konsentrasi TSM yang rendah, sedangkan Kecerahan Perairan rendah (<2m) terdapat di hampir sebagian besar danau, khususnya bagian tengah dan timur danau yang mempunyai TSM yang tinggi. Pada umumnya Kecerahan Perairan tahun 2000 mempunyai nilai yang berkisar dari 1-3 meter, tetapi bersama dengan bertambahnya waktu maka tingkat Kecerahan Perairan di Danau Rawa Pening semakin berkurang. Kecerahan Perairan pada tahun 2013 mencapai kurang dari 2 meter pada hampir seluruh bagian Danau Rawa Pening. Berdasarkan Pedoman Pengelolaan Ekosistem Danau pada Tabel 1-1 dan Tabel 3-1, danau berada dalam status rusak bila

perairan danau berada dalam kondisi hipertropik yang diindikasikan dengan kecerahan kurang dari 2.5 meter. Berdasarkan nilai Kecerahan perairan dari citra satelit, maka sebagian besar wilayah Danau Rawa Pening dalam kondisi hipertropik.

4. Kesimpulan

Pemanfaatan data satelit penginderaan jauh multi temporal telah dilakukan untuk memantau parameter yang digunakan sebagai penilai status ekosistem perairan danau sesuai dengan Pedoman Pengelolaan Ekosistem Danau dari KLH untuk Danau Rawa Pening. Beberapa kesimpulan yang diperoleh adalah:

- 1) Danau Rawa Pening mengalami penurunan kualitas selama periode 2000-2013, yang terlihat dengan laju penyempitan dan perluasan permukaan air danau yang dinamis, menyebarnya eceng gondok secara tidak terkendali sehingga menutupi 45% dari luas permukaan danau
- 2) Terjadinya peningkatan konsentrasi TSM dan penurunan Kecerahan Perairan Danau Rawa Pening. Sebagian besar perairan danau mempunyai Kecerahan Perairan kurang dari 2.5 m yang mengindikasikan status tropik perairan danau dalam kelas hipertropik

5. Daftar Rujukan

- Brezonik, P.L., Kloiber S. M., Olmanson L. G., and Bauer M. E. 2002. *Satellite and GIS Tools to Assess Lake Quality*, Water Resources Center, Technical Report 145, on May.
- Doxaran D., Froidefond J.M. and Castaing P. 2002. *A Reflectance Band Ratio Used to Estimate Suspended Matter Concentration in Sediment-dominated Coastal Waters*, 2002, Int. J. Remote Sensing, Vol.23, No. 23, Pp. 5079-5085.
- KLH. 2008. *Pedoman Pengelolaan Ekosistem Danau*, Kementerian Lingkungan Hidup.
- KLH. 2011. *Profil 15 Danau Prioritas Nasional 2010-2014*, Kementerian Lingkungan Hidup.
- KLH. 2012. *Grand Design Penyelamatan Ekosistem Danau Indonesia*, Kementerian Lingkungan Hidup.
- Li, R. dan Li, J. 2004. *Satellite Remote Sensing Technology for Lake Water Clarity Monitoring: An Overview*, International Society for Environmental Information Sciences, Environmental Informatics Archives, Volume 2, 893-901.
- Liu, J., Hirose T., Kapfer M. and 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, Ottawa, Ontario, Canada.
- Miao, Z. 2009. *Radiometric and Atmospheric Correction*. Power point Lecture.
- Powell, R., Brooks C., French N., and Shuchman R. 2008. *Remote Sensing of Lake Clarity*, Michigan Tech Research Institute (MTRI), on May.
- Trisakti, B. dan Nugroho G. 2012. *Standarisasi Koreksi Data Satelit Multi Temporal dan Multi Sensor (Landsat TM/ETM+ dan SPOT-4)*, Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Dijital, Vol.7, Juni.
- Trisakti, B. 2013. *Kajian Penentuan Luas Danau Dan Sebaran Vegetasi Air dengan Metoda Penginderaan Jauh*, Jurnal Limnotek, Vol.20, No.1.
- Trisakti B. 2013. *Pengembangan Model Standar Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Untuk Pemantauan Sumberdaya Air*, Laporan Akhir Bidang Sumberdaya Wilayah Darat, Pusfatja-LAPAN.