

PEMANFAATAN TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH UNTUK MENILAI STATUS EKOSISTEM DANAU

**Bambang Trisakti, Arum Tjahyaningsih, Mukhoriyah, Nana Suwargana,
Joko Santo Cahyono dan Dipo Yudhatama**
Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN

e-mail : btris01@yahoo.com

ABSTRAK

Banyak danau di wilayah Indonesia mengalami degradasi yang diakibatkan karena konversi lahan yang tidak terkendali di daerah tangkapan air (DTA) danau, dan meningkatnya polusi air ke perairan danau. Kementerian Lingkungan Hidup telah mengeluarkan Pedoman Pengelolaan Ekosistem Danau yang memuat parameter-parameter yang berpengaruh terhadap status ekosistem danau, yang terdiri dari ekosistem terestrial DTA, ekosistem sepadan danau dan ekosistem perairan danau. Tujuan penulisan ini, sebagai Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN, untuk pembuatan parameter-parameter yang menjadi indikasi status ekosistem danau berdasarkan data satelit penginderaan jauh, dan melakukan analisis perubahan status ekosistem danau dari waktu ke waktu. Kegiatan penelitian dilakukan pada beberapa danau yang termasuk dalam program penyelamatan 15 danau prioritas 2010-2014, dan data yang digunakan adalah citra satelit multi temporal (multi waktu) dan multi sensor (Landsat TM/ETM+/8, SPOT-4 dan IKONOS). Hasil kegiatan memperlihatkan bahwa pemanfaatan teknologi satelit penginderaan jauh menggunakan citra satelit multi temporal dan multi sensor sangat berpotensi untuk memetakan beberapa parameter kunci status ekosistem danau dan melihat perubahan parameter tersebut dari waktu ke waktu dengan cukup akurat. Beberapa parameter yang dapat dipetakan adalah: perubahan lahan/vegetasi, koefisien aliran permukaan, laju erosi, luas permukaan air danau, sebaran vegetasi air dan kualitas air. Metode pemetaan laju erosi masih memerlukan kajian dan verifikasi lebih lanjut, sedangkan metode pemetaan beberapa parameter lain (perubahan lahan/vegetasi, sebaran keramba budidaya, koefisien limpasan, luas permukaan air danau, sebaran vegetasi air dan kualitas air) telah dapat digunakan untuk memberi gambaran mengenai perubahan status ekosistem danau.

Kata Kunci: Penginderaan jauh, status ekosistem danau, multi temporal, perubahan lahan.

PENDAHULUAN

Permasalahan Ekosistem Danau

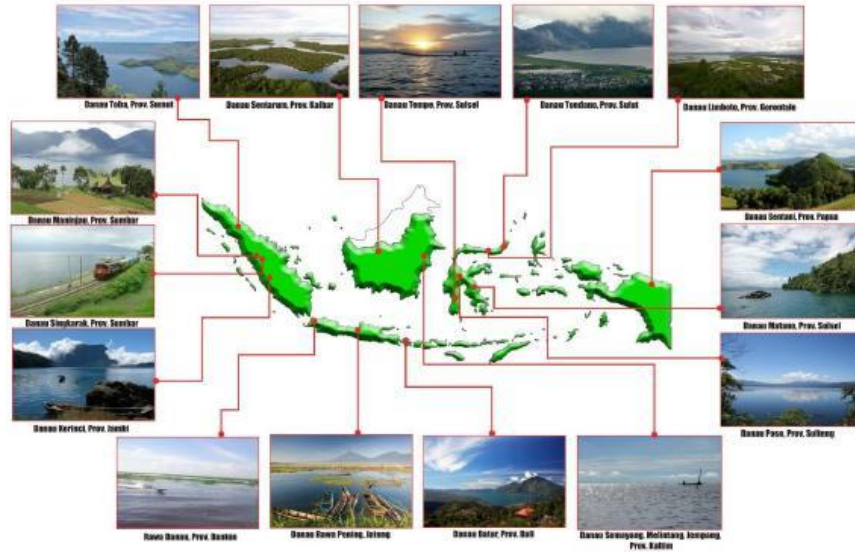
Dewasa ini sebagian besar daerah aliran sungai (DAS) dan danau di Indonesia telah mengalami degradasi (penurunan kualitas) yang diakibatkan oleh pertambahan penduduk, konversi lahan hutan, polusi dan erosi (Fahmudin dan Widiyanto, 2004). Konversi/pembukaan lahan yang tidak menggunakan prinsip kelestarian lingkungan dapat mengakibatkan banyak hal negatif, tidak hanya dalam tahap pembukaannya tetapi juga pada tahap penggunaan dan pengelolaannya. Pembukaan lahan hutan secara besar-besaran dan keterlambatan penanaman pada lahan yang telah dibuka akan menimbulkan

erosi tanah pada saat musim hujan. Tingginya erosi pada wilayah daerah tangkapan air (DTA) mengakibatkan keruhnya wilayah perairan, yang selanjutnya mengakibatkan gangguan terhadap kehidupan perairan sungai dan danau. Degradasi yang terjadi pada danau mengakibatkan terjadinya pendangkalan dan penyempitan danau, peningkatan sebaran eceng gondok, penurunan volume air dan penurunan kualitas air. Hal ini akan berdampak kepada penurunan produktifitas perikanan, penurunan produksi listrik dan terganggunya aktifitas pariwisata. Gambar 1 memperlihatkan Danau Limboto yang mengalami penyempitan luas, pertumbuhan gulma air (eceng gondok) yang sangat tinggi, sehingga mengganggu aktifitas nelayan setempat. Degradasi danau pada akhirnya mengakibatkan peningkatan ancaman bahaya bencana dan penurunan pendapatan masyarakat, khususnya para nelayan di sekitar danau.



Gambar 1. Peningkatan sebaran eceng gondok di Danau Limboto

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (KLH, 2012), kerusakan yang terjadi pada ekosistem danau adalah: Kerusakan lingkungan dan erosi lahan, pendangkalan dan penyempitan danau, pencemaran kualitas air danau, kehilangan keanekaragaman hayati, pertumbuhan gulma air, pertumbuhan alga yang berlebihan (*alga bloom*) dan perubahan fluktuasi muka air danau. Oleh karena itu, KLH telah memprakarsai pelaksanaan Konferensi Nasional Danau Indonesia pertama pada tahun 2009 yang menghasilkan suatu Kesepakatan Bali tentang pengelolaan danau berkelanjutan, dan kedua pada tahun 2011 yang menegaskan kembali 15 danau prioritas periode 2010-2014 berdasarkan parahnya tingkat kerusakan dan dampaknya terhadap kehidupan masyarakat.



Gambar 2. Lima belas (15) danau prioritas 2010-2014 (KLH, 2011)

KLH telah mengeluarkan Pedoman Pengelolaan Ekosistem Danau yang memuat parameter yang berpengaruh terhadap status/kualitas status ekosistem terestrial DTA dan ekosistem perairan danau, seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2. 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. Kriteria status ekosistem terestrial DTA (KLH, 2008)

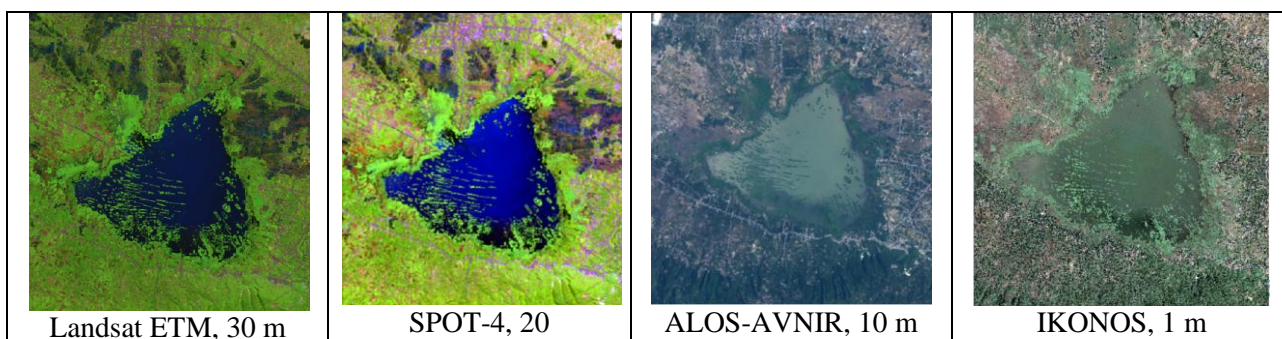
PARAMETER DANAU	STATUS EKOSISTEM DANAU		
	BAIK	TERANCAM	RUSAK
EKOSISTEM TERESTRIAL DAERAH SEMPADAN AIR			
Penutupan vegetasi pada lahan DTA	> 75 %	30 – 75 %	<30 %
Koefisien Regim Sungai yg masuk ke danau (Q max/Q Min)	< 50	50 -120	> 120
Erosi lahan DTA	Tingkat Erosi masih dibawah toleransi	Tingkat Erosi telah menyamai batas toleransi	Tingkat Erosi telah melebihi batas toleransi
Dampak Pendangkalan Danau	Tidak terjadi pendangkalan	Pendangkalan rerata/ tahunan < 2 % dari keda laman danau	a) Pendangkalan rerata/ tahunan ≥ 2 % dari kedalaman danau b) Pendangkalan menyebabkkan ekosistem tipe danau sangat dangkal berubah jadi ekosistem rawa
Pembuangan Limbah	Ada pembuangan limbah dan ada sistem pengendalian pencemaran air, serta sesuai dg Daya Tampung Pencemaran Air Danau (DTPAD)	Ada pembuangan limbah dan tdk ada sistem pengendalian pencemaran air, akan tetapi tdk melampaui DTPAD	Ada pembuangan limbah dan sistem pengendalian pencemaran air tdk ada/ kurang baik, serta telah melampaui DTPAD

Tabel 2. 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 terkontrol, tdk memenuhi perizinan & tidak memenuhi DTD

Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Satelit

Saat ini teknologi penginderaan jauh satelit berkembang dengan sangat cepat, sehingga dapat menyediakan berbagai data penginderaan jauh optik dan SAR (*Sinthetic Aperture Radar*) dengan karakteristik resolusi spasial, temporal dan spektral yang berbeda-beda. Data-data tersebut menjadi sumber data yang penting untuk pembuatan informasi spasial sumber daya alam dan lingkungan yang akurat, konsisten dan aktual. Gambar 3 memperlihatkan contoh data penginderaan jauh satelit dengan sensor optik dalam berbagai resolusi yang dapat digunakan untuk penyediaan informasi perubahan fisik ekosistem danau.



Gambar 3. Data penginderaan jauh satelit sensor optik dalam berbagai resolusi

Pemanfaatan data penginderaan jauh satelit untuk pembangunan dan pengembangan metode penilaian dan pemantauan kualitas DTA dan danau sudah dilakukan juga oleh banyak peneliti seperti: pemantauan perubahan penutup lahan di daerah aliran sungai (Kartika et al. (2012), Priasty (2014)), perhitungan koefisien aliran permukaan, debit air dan erosi (Trisakti et al. (2013), Suroso dan Susanto (2006), Pratisto dan Danoedoro (2008)). Honda et al. (1998) mengembangkan metode NDVI-slope untuk pendugaan laju erosi tanah berbasis data satelit penginderaan jauh, yang menggunakan informasi spasial kemiringan lereng dan data Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Kedua parameter ini dihubungkan dengan laju erosi aktual yang dikumpulkan dari pengukuran lapangan. Metode ini sederhana tapi dapat menduga laju dan besarnya erosi dengan cukup baik pada beberapa lokasi kajian (Honda et al. (1998), Hazaika dan Honda (2001), udayakumara et al. (2010), Gunawan et al.(2011)).Selanjutnya untuk kajian pemantauan danau, Li *et al.* (2004) melakukan analisis hubungan antara kecerahan perairan danau (water clarity) dengan beberapa data satelit multispectral dan hyperspectral. Mostafa dan Soussa (2006) memanfaatkan data penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk memantau sedimen dan perubahan bentuk morfologi danau, dan Trisakti (2013) mengembangkan model pemetaan luas permukaan air danau dan sebaran vegetasi air.

Pemanfaatan data satelit tidak hanya dalam lingkup kajian dan pengembangan model, tapi sudah masuk kedalam fase pemanfaatan untuk 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.

Pada danau-danau yang termasuk dalam program nasional 15 danau prioritas, potensi data penginderaan jauh telah digunakan dalam pemantauan perubahan parameter ekosistem danau. Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN, khususnya, Bidang Sumber Daya Wilayah Darat, telah melakukan kajian dan pengembangan metode pemanfaatan data penginderaan jauh untuk pembuatan parameter-parameter yang

menjadi indikasi status ekosistem danau, dan melakukan analisis perubahan status ekosistem danau dari waktu ke waktu. Kegiatan tersebut telah dilaksanakan selama periode 2011-2013. Tulisan ini menjelaskan mengenai beberapa parameter fisik DTA dan perairan danau yang menjadi indikasi status ekosistem danau perairan yang diturunkan menggunakan data penginderaan jauh. Hasil ini diharapkan dapat diterapkan untuk mendukung program nasional penyelamatan danau prioritas.

BAHAN DAN METODE

Lokasi dan Data

Lokasi kajian adalah beberapa danau yang termasuk dalam 15 danau prioritas dalam program penyelamatan dan pengelolaan danau 2010-2014 (KLH, 2011). Data citra yang digunakan adalah data multi temporal Landsat TM/ETM+/8 (Resolusi spasial 30 m) dan data SPOT 4 (resolusi spasial 20 m) selama periode 2000-2013. Selain itu digunakan juga data Digital Elevation Model (DEM) SRTM X-C band dengan resolusi spasial 30 m. Data resolusi tinggi seperti IKONOS (resolusi spasial 1 m) dan SPOT-6 (resolusi spasial 1.6 m) digunakan untuk mengidentifikasi dan memantau objek-objek tertentu yang mempunyai luasan kecil.

Metode Penelitian

Kegiatan dibagi menjadi 3 tahapan, yaitu: standarisasi data (koreksi data), pembuatan parameter fisik DTA dan perairan danau, serta pemantauan perubahan parameter ekosistem danau selama periode tertentu.

Pada tahap standarisasi data, Data Landsat TM/ETM+ dikoreksi geometrik dan radiometrik untuk memperbaiki kesalahan posisi dan kesalahan spektral piksel karena pengaruh sudut matahari yang berubah-ubah, dan normalisasi untuk data berbeda waktu dan berbeda sensor (Trisakti dan Nugroho, 2012). Untuk wilayah perairan dilakukan koreksi atmosferik dengan metode penghilangan nilai objek gelap (dark pixel subtraction). Objek gelap pada lokasi kajian adalah perairan dalam sehingga metode koreksi dengan asumsi adanya objek gelap dapat dilakukan. Metode koreksi dijelaskan pada publikasi sebelumnya (Trisakti et al., 2014)

Selanjutnya tahap pembuatan parameter fisik DTA dan perairan danau. Parameter fisik DTA yang dibuat adalah perubahan lahan/vegetasi, koefisien aliran permukaan dan laju erosi. Metode pembuatan perubahan penutup lahan, koefisien limpasan dan pendugaan debit air permukaan telah dijelaskan dalam Mukhoriyah dan Trisakti (2014) dan Trisakti et al. (2013), sedangkan metode pendugaan laju erosi tanah dijelaskan dalam Trisakti (2013). Parameter fisik perairan danau adalah luas permukaan air danau, sebaran vegetasi air dan kualitas air. Metode pembuatan parameter fisik perairan danau dijelaskan secara lengkap di Trisakti et al. (2014).

Pada tahap terakhir adalah melakukan pemantauan perubahan parameter-parameter selama periode tertentu dengan menggunakan data multi temporal. Hal ini agar dapat diketahui kecenderungan dan nilai perubahannya. Analisis status ekosistem danau dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperoleh dengan persyaratan status ekosistem danau yang dikeluarkan oleh KLH seperti pada Tabel 1 dan 2.

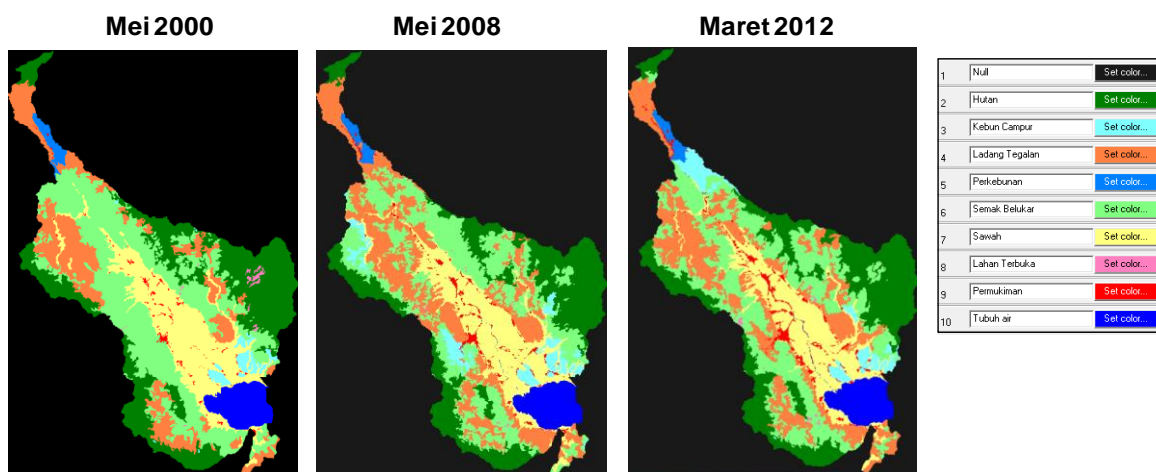
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemantauan Parameter Fisik DTA

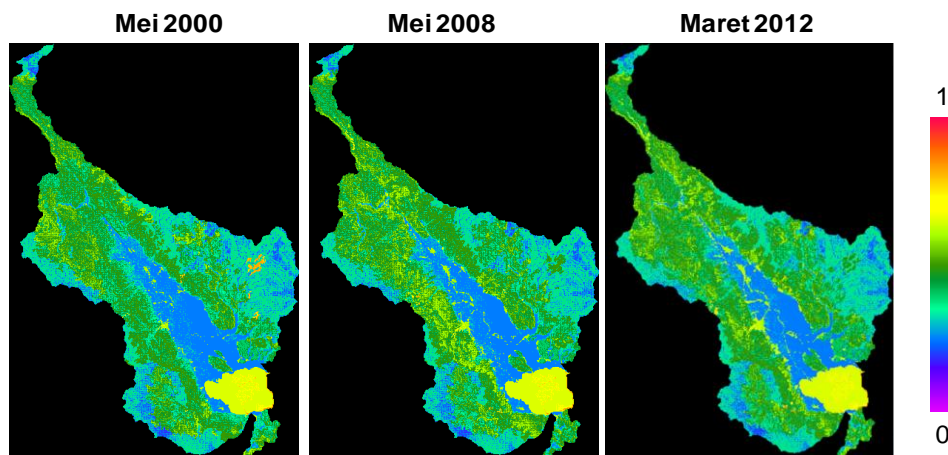
Parameter fisik di wilayah DTA dibuat berbasis data satelit penginderaan jauh. Pemantauan dilakukan dengan menggunakan data multi temporal (berlainan waktu) untuk melihat trend peningkatan atau penurunan dari parameter tersebut. Gambar 4 memperlihatkan hasil klasifikasi penutup lahan di DTA Danau Kerinci selama periode 2000-2012. Hasil analisis memperlihatkan bahwa tutupan lahan hutan relatif tidak berubah, tetapi terjadi peningkatan luasan lahan permukiman dan ladang/tegalan di wilayah DTA.

Perubahan lahan di DTA berpengaruh kepada peningkatan koefisien aliran permukaan (run-off), yang selanjutnya akan berdampak pada terjadinya peningkatan laju erosi tanah di wilayah ini. Gambar 5 dan Gambar 6 memperlihatkan sebaran koefisien aliran permukaan selama periode 2000-2012 dan sebaran laju erosi selama periode 2009-2012 di DTA Danau Kerinci. Koefisien limpasan mempunyai nilai dari 0 sampai 1. Nol (0) berarti semua air yang jatuh ketanah diserap sehingga tidak terjadi aliran permukaan dan satu (1) berarti semua air yang jatuh ketanah menjadi aliran permukaan.

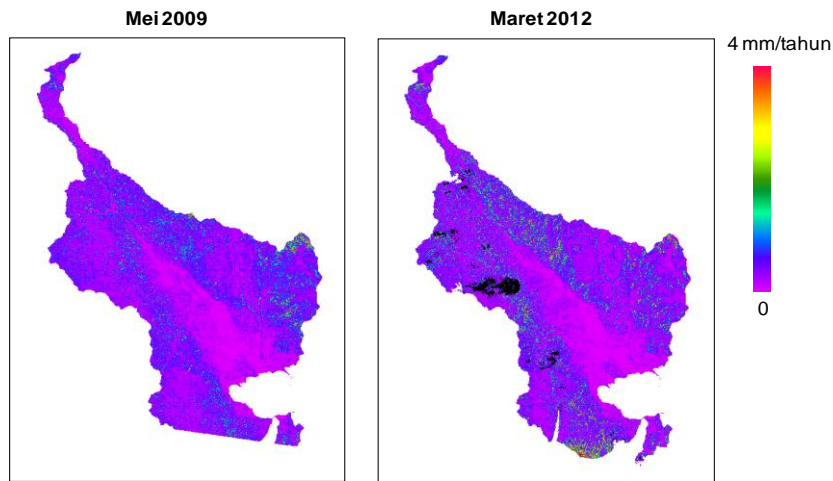
Berdasarkan hasil perhitungan rata-rata koefisien aliran di DTA Danau Kerinci diperoleh hasil bahwa diperkirakan terjadi peningkatan koefisien aliran permukaan dari 0,473 menjadi 0,481. Sedangkan rata-rata laju erosi diperkirakan bertambah dari 0,39 mm/tahun menjadi 0,46 mm/tahun. Hasil ini hanya memberikan gambaran terjadinya peningkatan koefisien aliran dan laju erosi, tetapi mengenai nilai besarnya peningkatan belum dilakukan verifikasi di lapangan.



Gambar 4. Perubahan lahan di DTA Danau Kerinci selama periode 2000-2012



Gambar 5. Perubahan koefisien aliran permukaan periode 2000-2012 di DTA Danau Kerinci



Gambar 6. Perubahan laju erosi periode 2009-2012 di DTA Danau Kerinci

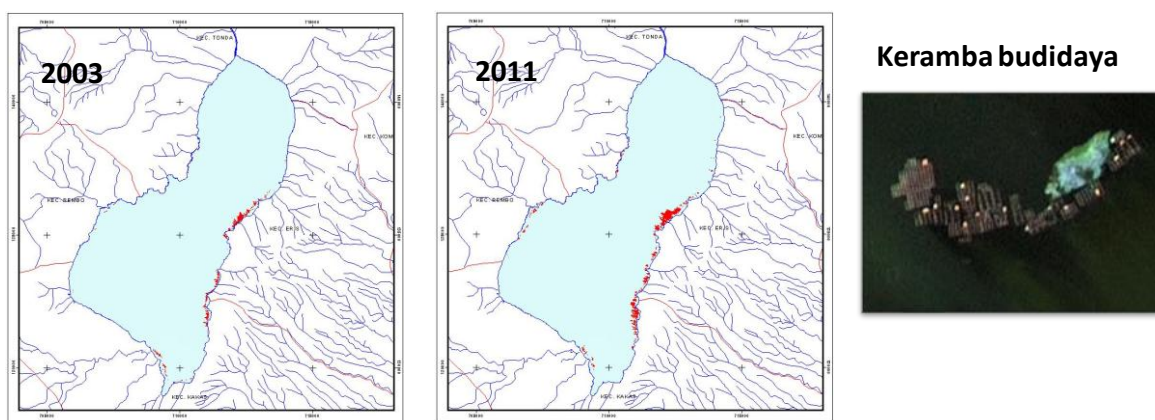
Pemantauan Parameter Fisik Perairan Danau

Parameter fisik perairan danau dibuat berbasis data satelit penginderaan jauh. Parameter perairan seperti keramba budidaya harus diidentifikasi dan dipantau dengan menggunakan data satelit resolusi tinggi seperti data IKONOS dan SPOT-6. Sedangkan parameter lainnya menggunakan data satelit resolusi menengah (Landsat TM/ETM+/8 dan SPOT-4). Data multi temporal digunakan untuk melihat trend peningkatan atau penurunan dari parameter-parameter perairan danau. Gambar 7 memperlihatkan contoh sebaran keramba budidaya di perairan Danau Tondano selama periode 2003-2011. Citra satelit SPOT-6 memperlihatkan kondisi eksisting sebaran keramba budidaya di perairan danau. Vegetasi air (pada umumnya eceng gondok) terlihat menyebar di bagian atas dari keramba yang teridentifikasi dengan objek berwarna hijau. Berdasarkan hasil perhitungan luasan sebaran keramba budidaya di perairan ini, luas keramba meningkat menjadi 2 kali lipatnya selama periode 2003-2011, yaitu dari 35,8 ha menjadi 65,7 ha.

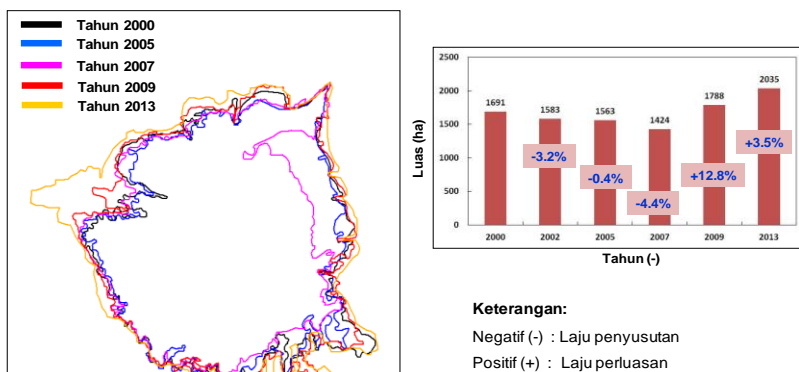
Pada penelitian sebelumnya telah dikembangkan metode penentuan batas permukaan air danau (Trisakti, 2013), dimana batas permukaan air danau perlu dibuat dengan mempertimbangkan keberadaan sebaran vegetasi air, dan pemantauan perubahan luasan perlu menggunakan citra multi temporal pada bulan atau musim yang sama. Gambar 8 memperlihatkan perubahan batas permukaan air danau yang sangat dinamis dari waktu ke waktu di Danau Rawa Pening selama periode 2000-2013. Hasil

perhitungan luasan memperlihatkan luasan permukaan air danau mengalami penyusutan dan perluasan dari tahun ke tahun, ini diperkirakan berkaitan erat dengan kondisi curah hujan dan besarnya laju sedimentasi yang terjadi. Gambar 9 memperlihatkan sebaran vegetasi air (eceng gondok) di Danau Rawa Pening selama periode 2000-2013. Sebaran vegetasi air semakin meningkat, tersebar, tidak terkendali dan tentunya mengganggu fungsi danau. Pada tahun 2013, vegetasi air telah menutupi 45% dari luas permukaan air Danau Rawa Pening.

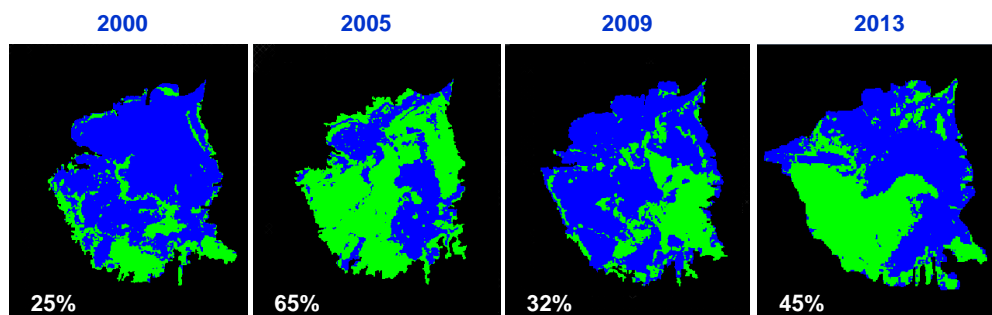
Erosi tanah yang terjadi di DTA danau mempengaruhi kualitas air di perairan danau. Gambar 10 memperlihatkan sebaran konsentrasi Total Suspended Solid (TSS), dan sebaran kecerahan perairan di perairan Danau Rawa Pening selama periode 2000-2013. Konsentrasi TSS semakin meningkat dari tahun ketahun yang menggambarkan tingkat kekeruhan yang semakin tinggi. Sementara kecerahan perairan berbanding terbalik dengan besarnya konsentrasi TSS, dimana kecerahan perairan Danau Rawa Pening semakin menurun dari tahun ke tahun.



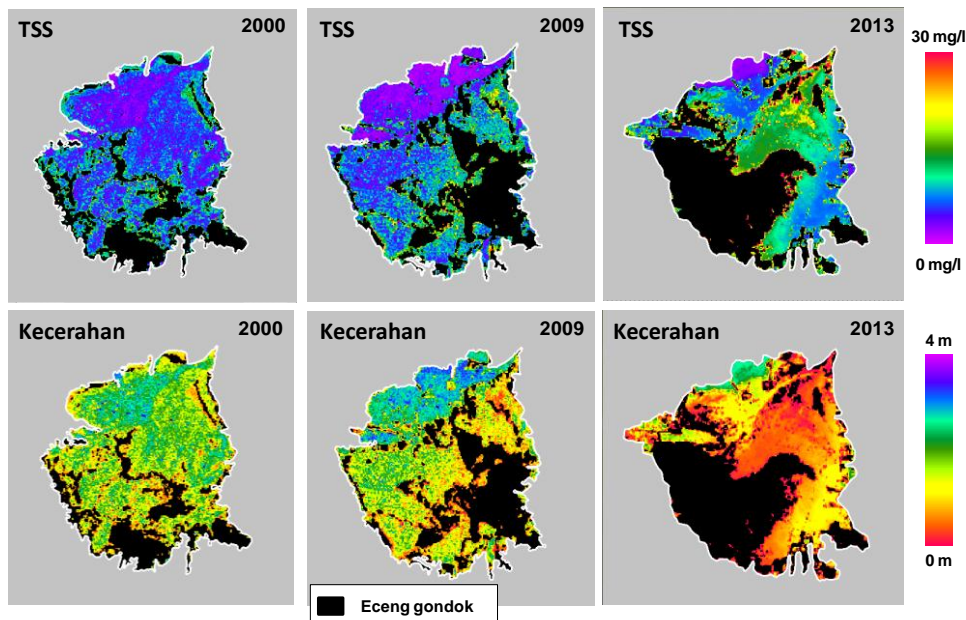
Gambar 7. Sebaran keramba budidaya di Danau Tondano selama periode 2003-2011



Gambar 8. Perubahan batas permukaan air Danau Rawa Pening selama periode 2000-2013



Gambar 9. Sebaran vegetasi air Danau Rawa Pening selama periode 2000-2013



Gambar 10. Kosentrasi Total TSS dan sebaran kecerahan perairan Danau Rawa Pening selama periode 2000-2013

KESIMPULAN

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh - LAPAN, khususnya, Bidang Sumber Daya Wilayah Darat, telah mengkaji dan mengembangkan metode pemanfaatan data penginderaan jauh untuk pembuatan parameter-parameter yang menjadi indikasi status ekosistem danau, dan melakukan analisis perubahan status ekosistem danau dari waktu ke waktu. Beberapa hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- Metode ekstraksi sebaran parameter fisik DTA (Penutup lahan, koefisien aliran permukaan dan laju erosi) dan sebaran parameter perairan danau (Keramba budidaya, luas permukaan air danau, vegetasi air, dan kualitas air) telah berhasil dikaji dan dikembangkan. Walaupun metode ekstraksi beberapa parameter masih membutuhkan verifikasi dengan data lapangan, tetapi beberapa parameter lainnya telah dapat digunakan untuk memberi gambaran mengenai kondisi ekosistem danau.
- Pemanfaatan data satelit penginderaan jauh dalam berbagai resolusi spasial dan temporal dapat digunakan untuk mengidentifikasi objek dengan tingkat kedetilan berbeda dan dapat melihat tren peningkatan atau penurunan setiap parameter dari waktu ke waktu, yang selanjutnya akan menjadi masukan untuk menentukan status ekosistem danau.

DAFTAR PUSTAKA

- 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, May 2002
- Fahmudin A. dan Widiyanto, 2004, *Petunjuk Praktik Konservasi Tanah Pertanian Lahan Kering*, World Agroforestry Centre ICRAF Southeast Asia, Bogor. Indonesia.
- Gunawan G., Sutjiningsih D., dan Soeryantono H., 2011, *Evaluation Of Erosion Based On GIS And Remote Sensing For Supporting Integrated Water Resources Conservation Management Case Study: Manjunto Watershed, Bengkulu Province-Indonesia*, *Dinamika Teknik Sipil*, Vol.11, No.3, September 2011
- Hazarika M.K. dan Honda K., 2001, *Estimation of Soil Erosion Using Remote Sensing and GIS, Its Valuation and Economic Implications on Agricultural Production*, *Proceeding, The 10th International Soil Conservation Organization Meeting held*

- May 24-29, Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory
- Honda K., Samarakoon L., dan Ishibashi A., 1998, *Erosion Control Engineering And Geoinformatics: River Planform Change And Sediment Yield Estimation In A Watershed Of Siwalik, Nepal*, p.63-70, In R.B. Singh et al. (ed) *Space Informatics for Sustainable Development*, Oxford & IBH Publishing Co.Pvt. Ltd., New Delhi.
- Jiangui Liu, Tom Hirose, Mark Kapfer and John Bennett, 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
- Kartika T., Parsa I. M., Harini S., 2012, Analisis Perubahan Penutup Lahan Di Daerah Tangkapan Air Sub Das Tondano Terhadap Kualitas Danau Tondano Menggunakan Data Satelit Penginderaan Jauh, *Prosiding Seminar Nasional Limnologi VI 2012, Bogor 16 Juli 2012*
- 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
- Mostafa M.M. and Soussa H. K., 2006, *Monitoring Of Lake Nasser Using Remote Sensing And Gis Techniques*, ISPRS Commission VII Mid-term Symposium "Remote Sensing: From Pixels to Processes", Enschede, the Netherlands, 8-11 May 2006
- Mukhoriyah dan Trisakti B., 2014, Kajian Kondisi Daerah Tangkapan Air Danau Kerinci Berdasarkan Perubahan Penutup Lahan Dan Koefisien Aliran Permukaan, *Prosiding Seminar SINAS Inderaja April 2014*
- Powell R., Brooks C., French N., and Shuchman R., 2008, *Remote Sensing of Lake Clarity*, Michigan Tech Research Institute (MTRI), May 2008
- Pratisto A. dan Danoedoro P., 2008, *Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap*

- Respond Debit Dan Bahaya Banjir (Studi Kasus Di DAS Gesing, Purworejo Berdasarkan Citra Landsat TM Dan ASTER VNIR)*, PIT MAPIN XVII, Bandung
- Priasty, E. W, “*Analisis Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Daerah Aliran Sungai di Kabupaten Bengkulu Utara*”, Jurnal Bengkulu Mandiri. Bengkulu. 2014.
- Ruiqiu Liand Jonathan Li, 2004, *Satellite Remote Sensing Technology for Lake Water Clarity Monitoring: An Overview*, International Society for Environmental Information Sciences, Environmental Informatics Archives, Volume 2 (2004), 893-901
- Suroso dan Susanto H.A., 2006, *Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir Daerah Aliran Sungai Banjaran*, Jurnal Teknik Sipil, Vol.3, No.2.
- 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 2012
- 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 2013
- Trisakti B., 2013, *Kajian Penentuan Luas Danau Dan Sebaran Vegetasi Air dengan Metoda Penginderaan Jauh*, Jurnal Limnotek, Vol.20, No.1, 2013
- Trisakti B., 2013, *Pengembangan Model Standar Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Untuk Pemantauan Sumberdaya Air*, Laporan Akhir Bidang Sumberdaya Wilayah Darat, Pusfatja-LAPAN, 2013
- Trisakti B., Suwargana N., Cahyono J.S., 2014, *Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Untuk Memantau Parameter Status Ekosistem Perairan Danau (Studi Kasus: Danau Rawa Pening)*, Prosiding Seminar SINAS Inderaja April 2014
- Udayakumara E.P.N., Shrestha R.P., Samarakoon L., dan Schmidt-Vogt D., 2010, *People`s Perception and Socioeconomic Determinants of Soil Erosion: A Case Study of Samanlawewa Watershed*, Sri Lanka, International Journal of Sediment Research, Vol. 25, No. 4, 2010, pp.323-33