

KAJIAN METODE PENENTUAN LUAS PERMUKAAN AIR DANAU DAN SEBARAN VEGETASI AIR BERBASIS DATA SATELIT PENGINDERAAN JAUH

Bambang Trisakti

*Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh - LAPAN
Jl. Lapan No.70, Pekayon-Pasar Rebo, Jakarta 13710
E-mail: btris01@yahoo.com

ABSTRAK

Danau mempunyai peran penting sebagai penyimpan kekayaan plasma nutfah, penyedia air minum, air untuk pertanian, perikanan, pembangkit listrik dan pariwisata. Konversi lahan, tingginya sedimentasi dan polusi di daerah aliran sungai mengakibatkan timbulnya permasalahan di danau, seperti: penurunan kualitas air, penyebaran vegetasi air (contoh: eceng gondok), serta pendangkalan dan penurunan volume danau. Penelitian ini, mengkaji metode penentuan luas permukaan air danau menggunakan data satelit berbeda waktu dan sensor perekaman (Landsat dan SPOT-4). Lokasi kajian adalah Danau Limboto di Pulau Sulawesi. Standarisasi data satelit dilakukan dengan melakukan koreksi orthorektifikasi (membuat citra tegak lurus terhadap sensor), koreksi radiometrik (koreksi matahari) dan normalisasi citra menggunakan invariant target, sehingga data tidak terganggu oleh kesalahan posisi, perbedaan waktu dan perbedaan sensor. Vegetasi air diidentifikasi dengan model komposit warna yang mempertimbangkan nilai spektral dari setiap kanal. Batas permukaan air danau dideliniasi dengan dan tanpa memperhatikan sebaran vegetasi air. Selanjutnya, batas permukaan air yang dihasilkan dibandingkan dengan batas dari data Ikonos. Hasil memperlihatkan bahwa standarisasi data satelit harus dilakukan untuk citra berbeda waktu dan sensor agar diperoleh hasil yang akurat dan konsisten. Pengujian dengan data IKONOS memperlihatkan bahwa batas permukaan air danau dengan memperhatikan sebaran vegetasi air menggunakan komposit RGB (Red: NIR+SWIR, Green: NIR, Blue: NIR-Merah) lebih akurat dibandingkan dengan batas permukaan air danau tanpa memperhatikan sebaran vegetasi air, dengan selisih luas permukaan air danau antara data SPOT-4 dan data referensi (IKONOS) adalah sebesar 5%. Pemantauan luas permukaan air danau Limboto selama periode 1990-2011 menunjukkan bahwa, Danau Limboto mempunyai kecenderungan luas yang semakin menurun.

Kata kunci: Luas permukaan air danau, vegetasi air, Landsat, SPOT-4

PENDAHULUAN

Ekosistem danau di Indonesia menyimpan kekayaan plasma nutfah, mensuplai air permukaan dan penyedia air untuk pertanian, sumber air baku masyarakat, pertanian, pembangkit listrik tenaga air, pariwisata, dan lain-lain. Dewasa ini banyak daerah aliran sungai 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 telah menimbulkan masalah tidak hanya terhadap lingkungan DAS, tapi juga terhadap danau di wilayah tersebut. Fahmudin dan Widiyanto (2004) menjelaskan beberapa akibat dari degradasi danau adalah: pendangkalan dan

penyempitan danau, penurunan volume air, penurunan kualitas air, dan penurunan produktivitas perikanan. Hal-hal tersebut akan mengakibatkan terjadinya peningkatan ancaman bahaya dan penurunan pendapatan masyarakat di sekitar danau.

Dalam Konferensi Nasional Danau Indonesia II (KNDI II) 13-14 Oktober 2011 di Semarang, Kementerian Lingkungan Hidup menegaskan 15 danau prioritas yang memerlukan penanganan segera untuk pemulihannya. Permasalahan yang terjadi adalah masalah dalam tingkat kebersihan dan tingginya perkembangan biakan eceng gondok yang menutupi perairan sehingga diperlukan langkah-langkah untuk memperbaiki kualitas airnya, tingkat sedimentasi yang tinggi dari bagian hulu sungai sehingga mengakibatkan terjadinya pendangkalan dan penyempitan danau, pengaruh perubahan iklim dan perlunya komitmen pemerintah dalam pengawasan dan penjagaan kelestarian dari setiap danau. Danau-danau yang termasuk didalam 15 danau prioritas adalah Danau Toba (Sumatera Utara), Danau Maninjau dan Danau Singkarak (Sumatera Barat), Danau Kerinci (Jambi), Rawa Danau (Banten), Danau Rawapening (Jawa Tengah), Danau Batur (Bali), Danau Tempe dan Danau Matano (Sulawesi Selatan), Danau Poso (Sulawesi Tengah), Danau Tondano (Sulawesi Utara), Danau Limboto (Gorontalo), Danau Sentarum (Kalimantan Barat), Danau Cascade Mahakam (Semayang, Melintang, Jempang), dan Danau Sentani (Kalimantan Timur).

Dewasa ini perkembangan teknologi satelit penginderaan jauh berjalan sangat cepat, sehingga dapat menyediakan berbagai data penginderaan jauh optik dan *Sinthetic Aperture Radar* (SAR) dengan karakteristik resolusi spasial, temporal dan spektral yang berbeda-beda. Sehingga, data satelit penginderaan jauh merupakan salah satu sumber data yang penting dan efisien untuk pembuatan informasi spasial yang akurat, konsisten, dan aktual mengenai sumber daya alam dan lingkungan, khususnya untuk memantau perubahan yang terjadi pada suatu wilayah dari tahun ke tahun. Pemanfaatan data satelit penginderaan jauh untuk mendukung kegiatan pengelolaan dan konservasi danau telah dilakukan oleh beberapa peneliti baik di dalam dan luar negeri. Brezonik *et al.* (2002) melakukan pemantauan kualitas danau dengan mengukur kandungan klorofil dan kecerahan perairan menggunakan landsat TM dan ETM+, Liu *et al.* (2007) melakukan pemantauan kualitas air danau (Total Suspended Solid, Surface Temperature, chlorophyll a dan surface alga bloom) menggunakan citra NOAA AVHRR dan MODIS dan Li *et al.* (2007) 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. Penelitian mengenai pengelolaan danau juga dilakukan di Indonesia, seperti Firman (2006) yang memetakan luas danau menggunakan data satelit Landsat, tetapi pada umumnya pemantauan kualitas danau di Indonesia dilakukan secara operasional dengan menggunakan data lapangan, seperti luas danau dan pengukuran kualitas air. Selain itu penelitian-penelitian yang telah dilakukan, khususnya di Indonesia mempunyai permasalahan dengan masih belum dilakukannya standarisasi data satelit, yang berkaitan dengan koreksi orthorektifikasi dan radiometrik. Hal itu mengakibatkan kurangnya konsistensi pada informasi dari data satelit, khususnya bila menggunakan data multi temporal (berbeda waktu perekaman data) dan data multi sensor (data yang direkam dengan menggunakan sensor yang berbeda).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk mengkaji metode penentuan luas permukaan air danau menggunakan data satelit penginderaan jauh. Lokasi kajian adalah Danau Limboto, Provinsi Gorontalo, yang merupakan salah satu dari 15 danau prioritas program Pemerintah. Standarisasi data dilakukan untuk mendapatkan data yang tidak terganggu oleh kesalahan posisi, perbedaan waktu dan perbedaan sensor. Selanjutnya, dilakukan identifikasi vegetasi air dan penurunan batas permukaan air danau dari data satelit Landsat dan SPOT-4. Hasil luas danau yang diperoleh di verifikasi dengan data IKONOS pada waktu yang berdekatan. Metode ini diharapkan dapat menghasilkan luas permukaan air danau secara konsisten dan akurat, sehingga dapat digunakan untuk mendukung kegiatan pemantauan dan pengelolaan danau-danau prioritas lainnya.

METODOLOGI

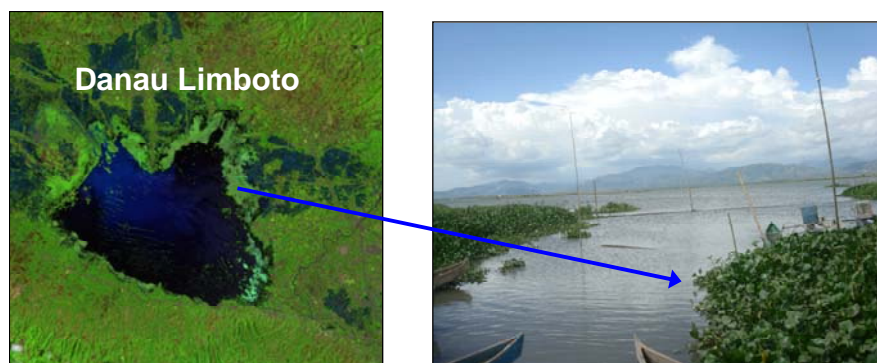
Lokasi dan Data

Lokasi penelitian adalah Danau Limboto di Kabupaten Gorontalo, Provinsi Gorontalo. Kondisi Danau Limboto yang lebih detil diperlihatkan pada Gambar 1, terpantau adanya vegetasi air yang tersebar di bagian pinggir dan tengah danau. Berdasarkan laporan Departemen PU terdapat 21 jenis vegetasi air di Danau Limboto, tetapi secara umum vegetasi air yang tumbuh di Danau Limboto adalah tanaman eceng

gondok dan sedikit kangkung yang digunakan masyarakat lokal dalam budidaya ikan. Lokasi ini dipilih karena beberapa alasan yaitu:

- Ketersediaan data yang lengkap, baik data Landsat, SPOT-4, Ikonos dan informasi lainnya. Sehingga, dapat dilakukan standarisasi data dan pengujian tingkat akurasi.
- Danau Limboto adalah salah satu dari 15 danau prioritas tahun 2010-2014, dengan permasalahan utama adalah pendangkalan dan penyempitan danau.

Data yang digunakan terdiri dari data Landsat TM/ETM multi temporal periode 1989 - 2002, data SPOT-4 tanggal 7 Mei 2010, dan Data Ikonos tahun 2010



Gambar 1. Lokasi penelitian di Danau Limboto dan sebaran vegetasi

Metode Penelitian

Diagram alir diperlihatkan pada Gambar 2. Data Landsat dikoreksi ortho dan koreksi radiometrik, yang meliputi: koreksi jarak dan posisi matahari dan koreksi terrain. Orthorektifikasi dilakukan dengan menggunakan sekitar 25 titik control point (CP) dari data Landsat Ortho dan DEM SRTM. Titik CP terdistribusi secara merata di seluruh citra, sehingga koreksi dapat dilakukan secara akurat dengan kesalahan kurang dari 1 piksel. Koreksi matahari untuk citra Landsat dilakukan dengan merubah nilai digital number ke reflektansi merujuk kepada Landsat Manual Book, sedangkan untuk SPOT dilakukan dengan menggunakan Persamaan (1) dan (2). Berbeda dengan citra Landsat yang mempunyai koefisien koreksi yang sama, koefisien koreksi untuk SPOT dinamis sehingga perlu dilakukan pengecekan pada website CNES (*Centre National d'Etudes Spatiales*) dan header data setiap perekaman.

$$L_{TOA}^k = \frac{X^k}{A_k \cdot G_m^k} + B \quad (1)$$

Dimana,

L_{TOA}^k : Radiance di atas atmosfer

X^k : Nilai digital piksel

A^k : Koefisien kalibrasi

G_m^k : Gain

B : Bias

$$\rho_{TOA}^k = \frac{\pi \cdot L_{TOA}^k}{E_s^k \cdot \cos \theta_s \cdot (d_0/d)^2} \quad (2)$$

Dimana :

ρ_{TOA}^k : Reflectance di atas atmosfer

L_{TOA}^k : Radiance di atas atmosfer

E_s^k : Irradiance matahari

$\cos \theta$: Sudut zenith matahari

d_0/d : Rasio jarak bumi matahari

Selanjutnya dilakukan normalisasi antara data untuk menghilangkan pengaruh perbedaan sensor dan perbedaan waktu perekaman. Metode yang digunakan adalah dengan regresi linear sederhana, dengan menentukan persamaan regresi nilai spectral objek yang sama (*invariant target*) pada 2 citra yang berbeda (Trisakti et al., 2011).

Data satelit dapat membedakan penampakan berbagai jenis penutup lahan di permukaan bumi, seperti: tubuh air, vegetasi, lahan terbuka dan penutup lahan lainnya. Berdasarkan kemampuan tersebut maka pada kegiatan ini dipetakan luas permukaan air danau secara 2 dimensi. Adanya vegetasi air yang tersebar di permukaan air danau, menyebabkan perlunya memperhatikan keberadaan vegetasi air. Identifikasi vegetasi air dilakukan dengan mengambil sampel nilai spektral untuk vegetasi air dan vegetasi non air. Hasil sampel nilai spektral tersebut dijadikan acuan untuk membuat model komposit warna *Red Green Blue* (RGB) sintesis yang dapat memisahkan penampakan vegetasi air dengan vegetasi non air dengan lebih jelas dan akurat. Selanjutnya komposit RGB tersebut

digunakan untuk mengetahui sebaran vegetasi air, dan mendeliniasi secara visual batas permukaan air danau

Batas permukaan air danau di buat dengan mempertimbangkan dan tanpa mempertimbangkan keberadaan vegetasi air. Luas permukaan air danau dengan memperhatikan vegetasi air berarti vegetasi air dalam danau dimasukan sebagai bagian danau, sehingga luas permukaan air danau adalah total luas penampakan air danau dan luas penampakan vegetasi air di permukaan air danau. Sedangkan luas danau tanpa memperhatikan vegetasi air berarti luas danau dengan penampakan air tanpa mengikut sertakan penampakan vegetasi air di permukaan air. Ketelitian hasil deliniasi dengan dan tanpa mempertimbangkan sebaran vegetasi air diuji dengan menggunakan data satelit resolusi sangat tinggi IKONOS. Pengujian dilakukan untuk melihat batas deliniasi mana yang paling mendekati dengan kondisi sebenarnya, selanjutnya dilakukan perbandingan luas permukaan air danau antara luas permukaan air danau dari data SPOT-4 dan data Ikonos.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Tahapan Koreksi dan Normalisasi

Data data multitemporal Landsat dan SPOT-4 yang sebelum (atas) dan setelah (bawah) melalui tahap koreksi ortho, radiometrik dan normalisasi diperlihatkan pada Gambar 3. Hasil pengujian terhadap data setelah proses orthorektifikasi, diperoleh bahwa pergeseran piksel antar data Landsat dan SPOT adalah kurang dari 1 piksel. Data Landsat dan SPOT-4 mempunyai kisaran spektral band yang berbeda, ditambah lagi kondisi atmosfer yang berbeda pada setiap waktu perekaman, mengakibatkan adanya perbedaan nilai digital dari piksel yang merupakan objek yang seharusnya sama pada kedua data. Perbedaan nilai digital mengakibatkan perbedaan penampakan pada citra seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3 (atas). Tetapi perbedaan tersebut dapat dikurangi dan dihilangkan dengan proses radiometrik sehingga dihasilkan data terkoreksi Gambar 3 (bawah).

Korelasi nilai spektral untuk objek yang sama antara data Landsat TM 1990 dan Landsat ETM+ 2000, serta data SPOT-4 2010 dan Landsat ETM+ 2000 sangat tinggi, dengan koefisien determinasi berkisar 0.78 sampai 0,98. Hal ini berarti bahwa objek yang sama pada kedua data mempunyai nilai spektral yang sangat mendekati. Tabel 1

memperlihatkan koefisien determinasi dari persamaan korelasi antara SPOT-4 2010 dan Landsat ETM+ 2000. Analisis secara visual penampakan pada data Landsat multi temporal dan SPOT-4 yang telah terkoreksi memperlihatkan bahwa obyek-obyek penutup lahan yang sama pada ke tiga data yang berbeda waktu dan sensor perekaman mempunyai penampakan warna yang sangat mirip, seperti penampakan vegetasi, lahan terbuka, air dan vegetasi air yang tersebar di bagian pinggir dan tengah Danau Limboto.

Tabel 1. Korelasi antara SPOT-4 2010 dan Landsat ETM+ 2000

Band	Persamaan	Koefisien determinasi
Band 2 (hijau)	$Y = 0.02 X - 4.31$	0.881
Band 3 (merah)	$Y = 0.02 X - 0.44$	0.779
Band 4 (NIR)	$Y = 0.02 X - 13.18$	0.913
Band 5 (SWIR)	$Y = 0.19 X - 7.30$	0.955

Metode Penentuan Luas Permukaan Air Danau

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa untuk memetakan luas permukaan air danau perlu dilakukan kajian identifikasi vegetasi air dengan menggunakan metode pengambilan training sampel. Training sampel diambil mewakili vegetasi air dan non air, selanjutnya nilai spektral dari vegetasi air dan vegetasi non air dianalisis untuk mendapatkan parameter yang dapat digunakan untuk membedakan kedua objek tersebut. Gambar 4 memperlihatkan perbedaan nilai spektral vegetasi air dan vegetasi non air untuk setiap band pada data SPOT-4 dan Landsat ETM+ 2000. Berdasarkan gambar tersebut dapat disimpulkan 2 hal utama, yaitu:

1. Nilai spektral band NIR dan SWIR untuk vegetasi air lebih tinggi dibandingkan dengan nilai vegetasi non air pada kedua data (SPOT dan Landsat)
2. Nilai spektral band Merah paling rendah, dan nilai tersebut relatif tidak berbeda antara objek vegetasi air dan vegetasi non air. Sehingga selisih nilai NIR dan Merah (NIR-Merah) untuk vegetasi air akan lebih tinggi dibandingkan vegetasi non air

Berdasarkan 2 hal tersebut diatas, maka dilakukan pembuatan komposit dengan menggunakan band-band baru yang mampu menampilkan nilai spektral dominan dari vegetasi air. Band baru adalah sebagai berikut.

Band 1 : NIR + SWIR

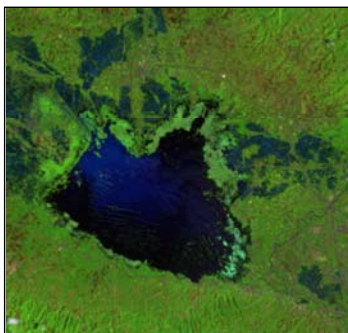
Band 2 : NIR

Band 3 : NIR - Merah

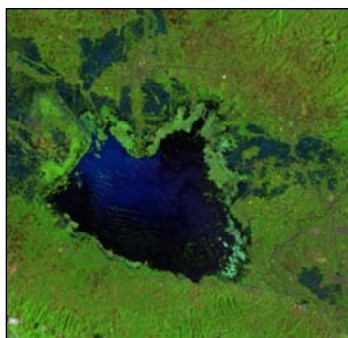
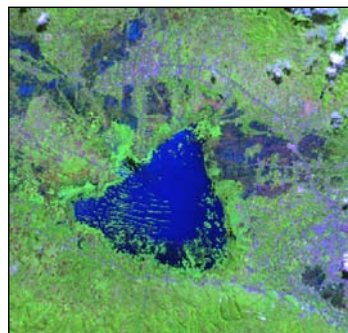
Landsat, 1990



Landsat, 2000



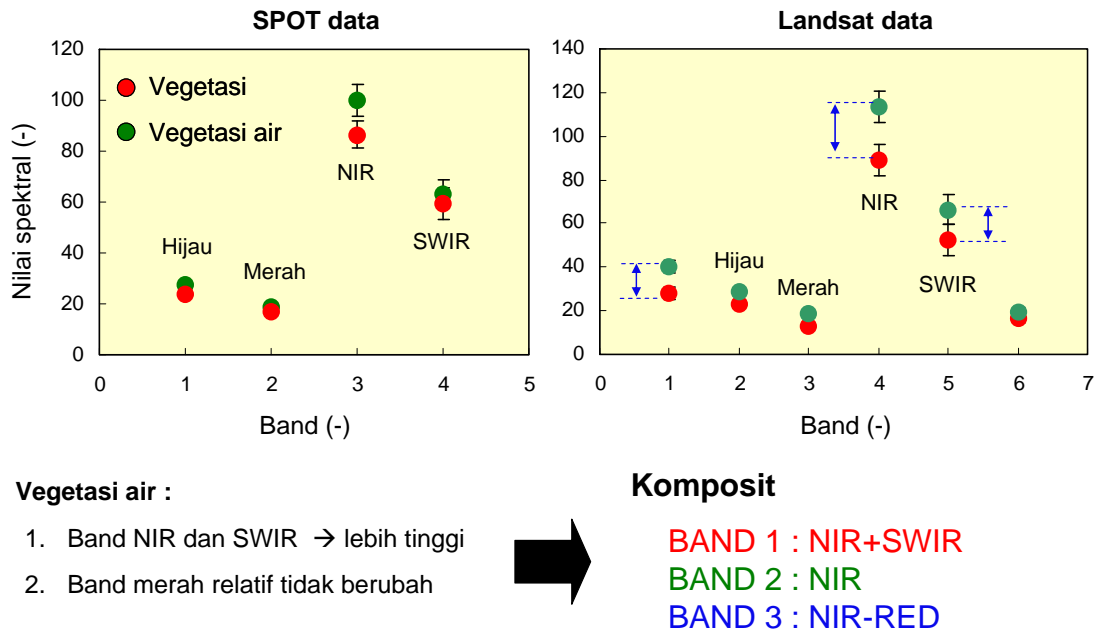
SPOT, 2010



Gambar 3. Data Landsat dan SPOT-4 setelah melalui tahapan koreksi dan normalisasi

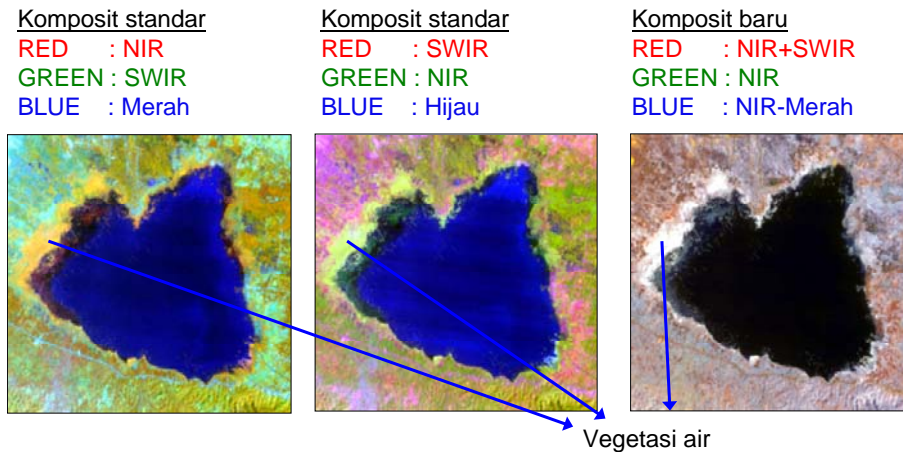
Gambar 5 memperlihatkan perbandingan komposit RGB data Landsat dengan menggunakan berbagai band untuk identifikasi vegetasi air. Komposit RGB NIR-SWIR-Merah umumnya digunakan untuk mengidentifikasi hutan mangrove (vegetasi pada tanah berair/berawa), dimana nilai spektral mengandung informasi vegetasi dan air di bawahnya. Komposit RGB SWIR-NIR-Hijau umumnya digunakan untuk penampakan pewarnaan alami (tanah berwarna merah, vegetasi berwarna hijau, dan air berwarna biru). Sedangkan komposit RGB yang terakhir adalah komposit RGB baru yang diperoleh berdasarkan analisis sampel nilai spektral dari vegetasi air dan vegetasi non air. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa vegetasi air mempunyai penampakan warna yang berbeda pada setiap komposit RGB. Vegetasi air pada komposit RGB baru ditampilkan dengan warna putih, yang berarti bahwa vegetasi air mempunyai nilai spektral yang tinggi pada setiap bandnya dibandingkan objek-objek lainnya. Perbandingan antara komposit RGB baru dengan komposit RGB lainnya,

memperlihatkan bahwa komposit RGB baru lebih mampu menampilkan vegetasi air secara tegas dan terpisah dari penutup lahan lainnya. Sehingga komposit RGB baru akan digunakan untuk mengidentifikasi sebaran vegetasi air di Danau Limboto.

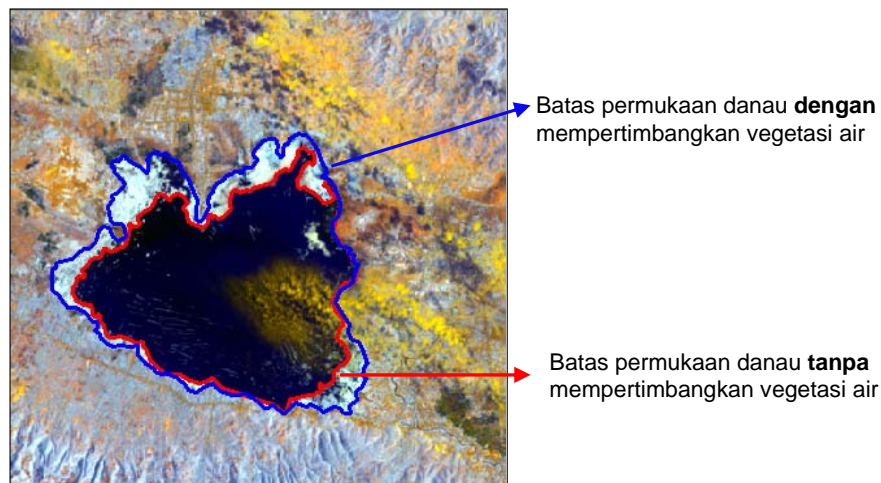


Gambar 4. Perbedaan nilai spektral vegetasi air dan vegetasi non air setiap band pada data SPOT-4 dan Landsat

Berdasarkan hasil survei lapangan, diperkirakan bahwa 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). Berdasarkan hal tersebut maka deliniasi dengan memperhatikan vegetasi air dilakukan pada batas vegetasi air dengan warna putih tebal. Hasil deliniasi secara visual luas permukaan air danau dengan dan tanpa memperhatikan sebaran vegetasi air untuk data Landsat TM 1990 diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Perbandingan komposit RGB data Landsat untuk identifikasi vegetasi air



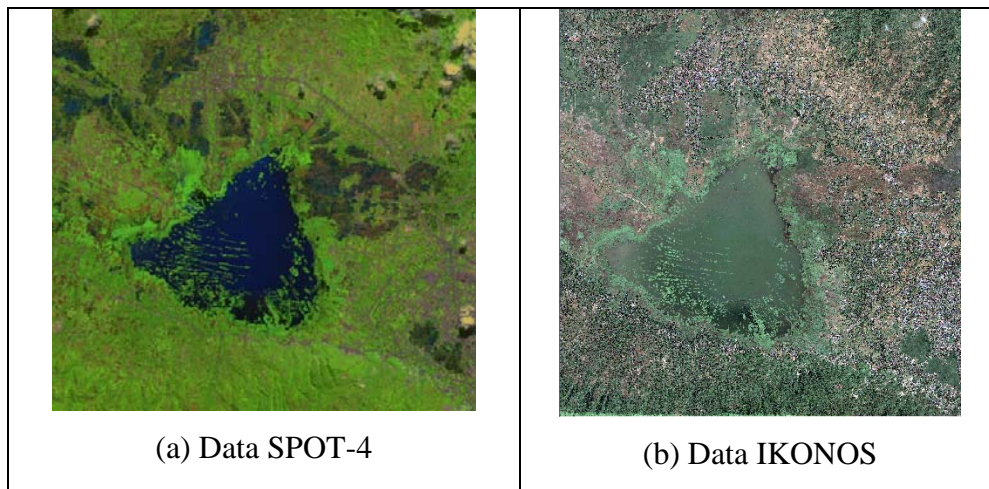
Gambar 6. Batas permukaan air danau dengan dan tanpa vegetasi air menggunakan data Landsat

Verifikasi dan Implementasi Metode

Verifikasi terhadap hasil deliniasi luas permukaan air danau dilakukan dengan membandingkan hasil deliniasi yang diperoleh dengan data satelit resolusi tinggi IKONOS. Gambar 7 memperlihatkan data SPOT-4 dan data IKONOS, terlihat bahwa kedua data mempunyai penampakan yang mirip (terutama sebaran vegetasi airnya) yang berarti tanggal perekaman kedua data sangat berdekatan (walaupun tidak diketahui secara pasti bulan perekaman data IKONOS), sehingga kedua data dapat dibandingkan.

Gambar 8 memperlihatkan perbandingan hasil deliniasi batas permukaan air danau tanpa memperhatikan vegetasi air (garis putih) menggunakan data SPOT dan hasil

deliniasi batas permukaan air danau menggunakan data IKONOS (garis biru), kemudian kedua hasil tersebut dioverlaykan diatas data IKONOS. Terlihat bahwa garis batas tanpa vegetasi air (garis putih) berbeda sangat jauh dengan batas yang dibuat dari data IKONOS, hal ini disebabkan resolusi spasial SPOT-4 yang lebih rendah (20 m) sehingga tidak dapat mengidentifikasi adanya air diantara vegetasi air yang terletak di pinggir danau, sedangkan IKONOS sangat detil sehingga dapat dengan mudah mengidentifikasi vegetasi air yang terletak di bagian dalam danau.



Gambar 7. Penampakan data SPOT-4 dan IKONOS

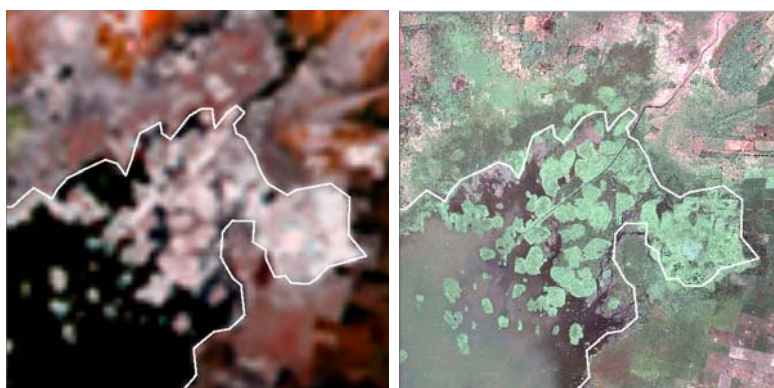


Gambar 8. Perbandingan batas permukaan air danau tanpa vegetasi air dari data SPOT (garis putih) dan batas permukaan air danau dari data IKONOS (atas) pada citra IKONOS

Gambar 9 memperlihatkan perbandingan hasil deliniasi batas permukaan air danau dengan vegetasi air (garis putih) menggunakan data SPOT dan dioverlaykan terhadap data IKONOS. Penampakan pada data IKONOS memperlihatkan bahwa vegetasi air yang mempunyai tingkat kehijauan tinggi terpisahkan secara cukup akurat dari vegetasi air dengan tingkat kehijauan rendah. Selain itu, dapat dilihat juga bahwa vegetasi air dengan tingkat kehijauan tinggi berada pada daerah yang berair atau tanah yang basah sehingga merupakan bagian dari luas permukaan air danau. Selanjutnya Tabel 2 memperlihatkan luas permukaan air danau dengan vegetasi air yang dipetakan dengan data SPOT-4, luas permukaan air danau yang dipetakan data IKONOS dan selisih luasan antara kedua luasan tersebut. Perbedaan antara kedua luasan tersebut adalah 146 ha, atau sekitar 5,4%.

Tabel 2. Perbandingan hasil luas permukaan air danau Limboto berdasar data 2010

Luas Danau	Berbasis SPOT	Berbasis IKONOS	Persentase selisih
Dengan vegetasi air	2696 ha	2550 ha	5.4%



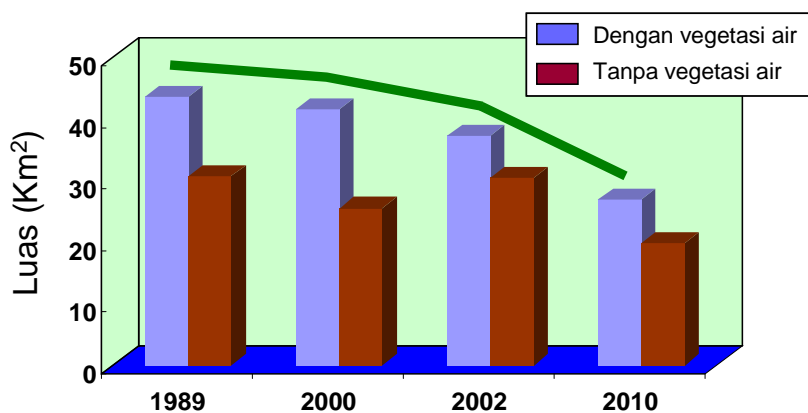
Gambar 8. Batas permukaan air danau dengan vegetasi air dari data SPOT, yang ditampilkan diatas data SPOT (kiri) dan data IKONOS (kanan)

Metode penentuan luas permukaan air danau diterapkan untuk memantau perubahan luas danau Limboto selama periode 1989-2010. Pemantauan dilakukan pada musim yang sama (musim hujan) dengan menggunakan data Landsat TM/ETM+ multi

temporal untuk bulan April tahun 1989, 2000, 2002 dan data SPOT untuk bulan Mei tahun 2010. Hasil penelitian sebelumnya memperlihatkan bahwa pemantauan sebaiknya dilakukan pada waktu dan musim yang sama (Trisakti, 2011). Gambar 9 memperlihatkan perubahan luas permukaan air danau Limboto selama periode 1989-2010. Berdasarkan hasil pemantauan tersebut dapat diketahui bahwa luas permukaan air danau Limboto mengalami tren yang semakin menurun. Tren ini sesuai dengan informasi yang dipublikasi melalui laporan atau website yang melaporkan bahwa luasan danau Limboto semakin menurun. Hasil perhitungan luas permukaan air danau diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perubahan luas permukaan air Danau Limboto tahun 1989 - 2010

Tahun	1989	2000	2002	2010
Luas (Km ²) dengan vegetasi air	43.6	41.5	37.3	27



Gambar 9. Perubahan luas permukaan air danau selama periode 1989-2010

KESIMPULAN

Kajian metode untuk menentukan luas permukaan air danau dilakukan dengan menggunakan data yang berbeda waktu dan sensor (Landsat TM/ETM+ dan SPOT-4), beberapa kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- Standarisasi koreksi data orthorektifikasi dan radiometrik perlu dilakukan untuk menghilangkan kesalahan posisi dan mengurangi perbedaan nilai spektral piksel pada

objek yang sama akibat perbedaan waktu dan sensor perekaman, sehingga pemetaan batas permukaan air danau dapat dilakukan secara konsisten dan akurat.

- Komposit RGB (Red: NIR+SWIR, Green: NIR, Blue: NIR-Merah) baru yang diperoleh berbasis pengambilan sampel nilai spektral dapat digunakan untuk memisahkan vegetasi air dan vegetasi non-air secara lebih tegas, dibandingkan komposit RGB yang umum digunakan.
- Verifikasi dengan data IKONOS dan hasil survei lapangan menunjukkan bahwa batas permukaan air danau dengan memperhatikan sebaran vegetasi air lebih akurat, dengan selisih luas permukaan air danau terhadap citra referensi (IKONOS) sebesar 5%.
- Hasil pemantauan terhadap luas permukaan air danau Limboto memperlihatkan bahwa luasan danau mengalami tren yang semakin menurun selama periode 1989-2010.

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.
- Firman M., 2006, *Studi Konservasi Danau Limboto Kabupaten Gorontalo*, Master Thesis, Civil Engineering, ITB, Bandung
- 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, 2007, Ottawa, Ontario, Canada
- Li R. and 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 (2004), 893-901
- 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

Suzanne F. and Wu X., 2009, *General Guidelines for Terrain Correction of Landsat TM Images*, INCAS Project

Trisakti B., Susanto, Suwargana N., Julzarika A. dan Nugroho G., 2011, *Pengembangan Model Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) dan Danau*, Laporan akhir kegiatan 2011, Bidang Sumberdaya Wilayah Darat, Pusfatja, LAPAN