

PERUBAHAN STRUKTUR DAN KOMPOSISI HUTAN RAWA GAMBUT MENGGUNAKAN CITRA PENGINDERAAN JAUH DAN PENDEKATAN EKOLOGIS DI KAWASAN BEKAS PENGEMBANGAN LAHAN GAMBUT PROVINSI KALIMANTAN TENGAH**RADEN MAS SUKARNA**

Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Palangka Raya

*Email: radenmassukarna@gmail.com

ABSTRACT

Peatland project of one million hectares to agricultural land between 1995 and 1998, the so-called Mega Rice Project (MRP) in Central Kalimantan province, have significantly changed both structure and composition of peat swamp forest (PSF) as well as the balance of ecological functions. These quick changes have not been fully followed by real evaluation activities due to large area and limited access. To answer these problems, this study aimed to estimate these changes between 2003 and 2010 using remote sensing techniques and ecological approach on approximately 368,000 ha of ex-MRP area. The results showed that the application of remote sensing imagery through Forest Canopy Density (FCD) models were able to determine both forest classification and distribution effectively, including its ecological conditions. The natural and sub-natural PSF area had decreased by 1.49%, semi natural and its transition increased by 3.69%. Non natural and its transition increased by 4.39%. These facts illustrate that PSF on ex-MRP area was decreasing in term of its endemic species diversity with index between 0.5 and 2.5. Consequently, its ecological or ecosystem functions were also unstable.

Keywords: *peat swamp forest, remote sensing, ecology, structure and forest composition*

INTISARI

Pengembangan lahan gambut (PLG) satu juta hektar untuk lahan pertanian antara tahun 1995-1998 di Provinsi Kalimantan Tengah telah menyebabkan perubahan yang nyata terhadap struktur dan komposisi hutannya, dan secara langsung memberikan dampak terhadap keseimbangan fungsi ekologisnya. Perubahan hutan rawa gambut (HRG) yang relatif cepat belum sepenuhnya dapat diikuti dengan kegiatan evaluasi riil, karena luasnya kawasan dan akses yang terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan perubahan struktur dan komposisi HRG antara tahun 2003-2010 menggunakan teknik penginderaan jauh dan pendekatan ekologis dikawasan bekas PLG dengan luas ± 368.000 ha. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi citra penginderaan jauh melalui model kerapatan kanopi hutan, berhasil menentukan klasifikasi dan distribusi perubahan struktur dan komposisi HRG dan kondisi ekologisnya secara efektif. Kawasan HRG dengan kondisi ekologis alamiah dan sub alamiah telah berkurang luasnya sebesar 1,49 %, kawasan hutan semi alamiah dan transisi ke semi alamiah bertambah luasnya sebesar 3,69 %, dan kawasan hutan transisi dan non alamiah bertambah luasnya sebesar 4,39 %. Fakta ini menggambarkan bahwa kawasan HRG bekas PLG saat ini mengalami penurunan keragaman jenis-jenis endemik dengan indeks antara 0,5 - 2,5 yang mengakibatkan kurang stabilnya fungsi ekologi atau ekosistemnya.

Katakunci: *hutan rawa gambut, penginderaan jauh, ekologi, struktur dan komposisi hutan*

PENDAHULUAN

Pada tahun 1995 Provinsi Kalimantan Tengah ditetapkan sebagai wilayah pengembangan lahan gambut (PLG) untuk ekstensifikasi lahan pertanian seluas lebih dari 1 juta ha yang memicu terjadinya kerusakan hutan rawa gambut (HRG) yang masif. Dampak langsung yang ditimbulkan saat ini adalah terjadinya fragmentasi hutan yang menyebabkan menurunnya kualitas dan kuantitas biodiversitas hutan baik flora maupun faunanya. Fragmentasi hutan secara langsung juga menyebabkan terjadinya perubahan pada struktur dan komposisi hutan, yang berpengaruh langsung terhadap perubahan kondisi ekologisnya. Boehm *et al.* (2002) menjelaskan bahwa laju kerusakan HRG antara tahun 1991-2001 sebesar 3,3 %. Kondisi ekosistem HRG yang letaknya strategis sebagai kawasan penyangga (*buffer*) untuk kawasan hilir DAS Kahayan, DAS Kapuas dan DAS Barito, maka mengkaji kembali kondisi ekosistem rawa terutama pada aspek struktur dan komposisi hutannya dipandang perlu untuk dilakukan. Hal ini terkait dengan pentingnya untuk mengetahui fungsi struktur hutan rawa dan komposisinya dalam mempertahankan kestabilan ekosistem secara keseluruhan.

Kawasan hutan rawa dengan gambut sebagai media tempat tumbuh umumnya mudah rusak dan sangat sulit untuk dikembalikan. Selain itu, kawasan hutan rawa yang sudah terbuka umumnya menyebabkan fungsi hidrologi alamiahnya menjadi tidak stabil, akibatnya terjadi banjir pada musim hujan dan kebakaran lahan dan hutan pada musim kemarau, sehingga menimbulkan efek rumah kaca dan musnahnya keanekaragaman hayati. Dengan demikian, maka salah satu langkah awal yang harus dilakukan adalah melakukan kajian terhadap perubahan struktur dan komposisi HRG di kawasan bekas PLG Provinsi Kalimantan Tengah. Perubahan

kondisi struktur dan komposisi HRG merupakan indikator awal untuk mendeskripsikan kondisi dan fenomena ekosistem dan tempat tumbuhnya. Jika berdasarkan hasil kajian pada satuan lahan terdapat struktur dan komposisi hutan rawa yang baik, maka satuan lahan tersebut memiliki keadaan ekosistem yang stabil. Demikian juga sebaliknya, jika pada suatu satuan lahan terdapat kondisi struktur dan komposisi hutan rawa yang rusak maka kondisi ekosistemnya kurang stabil. Ratmini (2012) menjelaskan bahwa kawasan HRG yang ekosistemnya mengalami deforestasi dan degradasi berat akan berdampak besar terhadap kondisi lingkungan setempat maupun lingkungan sekelilingnya, dan rentan terhadap terjadi banjir pada musim hujan dan kebakaran lahan pada musim kemarau.

Perkembangan dan perubahan kondisi hutan rawa pasca PLG satu juta hektar yang relatif cepat belum dapat diikuti oleh kegiatan penilaian dan pemetaan kondisi hutan yang memadai, detil dan menyeluruh karena biaya yang mahal dan waktu yang lama. Permasalahan yang dihadapi adalah bagaimana mengembangkan model pemantauan perubahan HRG secara efektif agar informasi kondisi HRG secara berkala dapat diketahui dan diperbaharui dengan baik. Metode dan teknik yang saat ini banyak digunakan untuk memantau perubahan hutan adalah dengan mempelajari perubahan tajuk atau kanopi hutan melalui citra penginderaan jauh. Tajuk pohon merupakan gambaran dari total luas daun yang banyak berperan dalam penyerapan radiasi matahari, fotosintesis dan transpirasi. Fungsi-fungsi ini tentunya akan berkaitan dengan sifat-sifat fisiologi pohon dalam pembentukan pertumbuhan secara keseluruhan. Doruska dan Mays (1998) menjelaskan bahwa luas total daun dan distribusi spasialnya yang ditunjang oleh bentuk tajuk memainkan peran yang sangat besar dalam hal menyerap radiasi, fotosintesis

dan transpirasi. Fungsi tajuk pohon akan menjadi parameter penentu terhadap pertumbuhan parameter lainnya seperti tinggi pohon maupun diameter batang dan merupakan peubah-peubah terbaik untuk menaksir volume tegakan (Paine, 1993). Tegakan diklasifikasikan rapat apabila terdapat penutupan tajuk $> 70 \%$, sedang apabila terdapat penutupan tajuk antara $40 - 70 \%$, dan jarang apabila terdapat penutupan tajuk $< 40 \%$ (Manan, 1992).

Berdasarkan uraian di atas, maka tajuk atau kanopi hutan dapat digunakan sebagai parameter untuk mempelajari struktur dan komposisi hutan secara berjenjang melalui teknik penginderaan jauh. Menurut (Dombois dan Ellenberg, 1974), komponen-komponen struktur vegetasi terdiri atas (1) struktur vertikal, yaitu stratifikasi pada lapisan tajuk, (2) struktur horizontal, yaitu distribusi spasial dari individu dan populasi spesies, (3) struktur kuantitatif, yaitu jumlah dari setiap spesies di dalam komunitas. Van Gils dan van Wijngaarden (1984) menjelaskan bahwa struktur vegetasi hutan umumnya terdiri dari struktur hutan (*forest*), belukar (*woodland*), semak belukar (*shrubland*), semak (*bushland*) dan padang rumput (*grassland*) yang masing-masing memiliki tipe floristik sendiri. Kedudukan struktur vegetasi hutan umumnya membentuk kanopi paling atas, strata menengah, semak, dan kanopi vegetasi yang dekat dengan permukaan tanah (*layers nearer to the ground*).

Sejak tahun 1990 sampai tahun 2003, *Japan Overseas Forestry Consultants Association* (JOFCA) dan *International Timber Trade Organization* (ITTO) berhasil mengembangkan model *Forest Canopy Density* (FCD) yang berbasis data digital Citra Landsat untuk mengklasifikasikan kondisi penutupan kanopi hutan tropis antara lain di India, Myanmar, Malaysia dan Indonesia secara efektif dengan tingkat kecermatan $> 90 \%$

(Rikimaru,1996). Model FCD pada prinsipnya dikembangkan untuk mengurangi kesalahan klasifikasi penutupan lahan khususnya kawasan hutan yang terdiri atas beberapa lapisan kanopi dan bersifat heterogen dengan mengkombinasikan nilai indeks vegetasi, indeks tanah, indeks bayangan tajuk dan indeks temperatur (Rikimaru dan Miyatake, 1997). Percobaan ini mengilhami penelitian lain seperti yang telah berhasil dilakukan oleh Biradar *et al.* (2005) yang menggunakan model FCD untuk menentukan perencanaan dan implementasi pelaksanaan reforestasi dan aforestasi yang cukup berhasil di bagian selatan distrik Dehradun negara bagian Uttaranchal. Joshi *et al.* (2006) membandingkan model FCD dengan metode lain. Hasilnya model FCD lebih teliti dibandingkan dengan *multi linier regression and maximum likelihood classification*. Panta dan Kim (2006) menggunakan model FCD untuk mengetahui perubahan biofisik dan sosial masyarakat di Nepal antara tahun 1988-2001 dengan hasil yang teliti dan efektif. Mon *et al.* (2012) menerapkan model FCD untuk memantau hutan tropis di Myanmar, dan melaporkan bahwa model FCD sangat efektif dan rendah biaya. Berdasarkan uraian dari beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan model FCD, maka penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan model FCD terhadap perubahan-perubahan yang terjadi pada struktur dan komposisi hutan rawa gambut termasuk kondisi ekologisnya.

BAHAN DAN METODE

Metode yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan metode penginderaan jauh secara bertingkat melalui tahapan (1) menentukan kelas kerapatan kanopi hutan berdasarkan model FCD Citra Landsat 7 ETM hasil perekaman 22 Mei 2003 dan Citra Landsat 5 TM hasil perekaman 10 Pebruari

2010 path/row 118/062, (2) melakukan verifikasi kelas struktur kerapatan kanopi hutan menggunakan foto udara digital format kecil skala 1:100 sampai dengan skala 1:500 hasil perekaman tanggal 16 Juli 2004, (3) melakukan survei dan pengukuran parameter tegakan di lapangan yang dilaksanakan tahun 2011.

Lokasi Penelitian

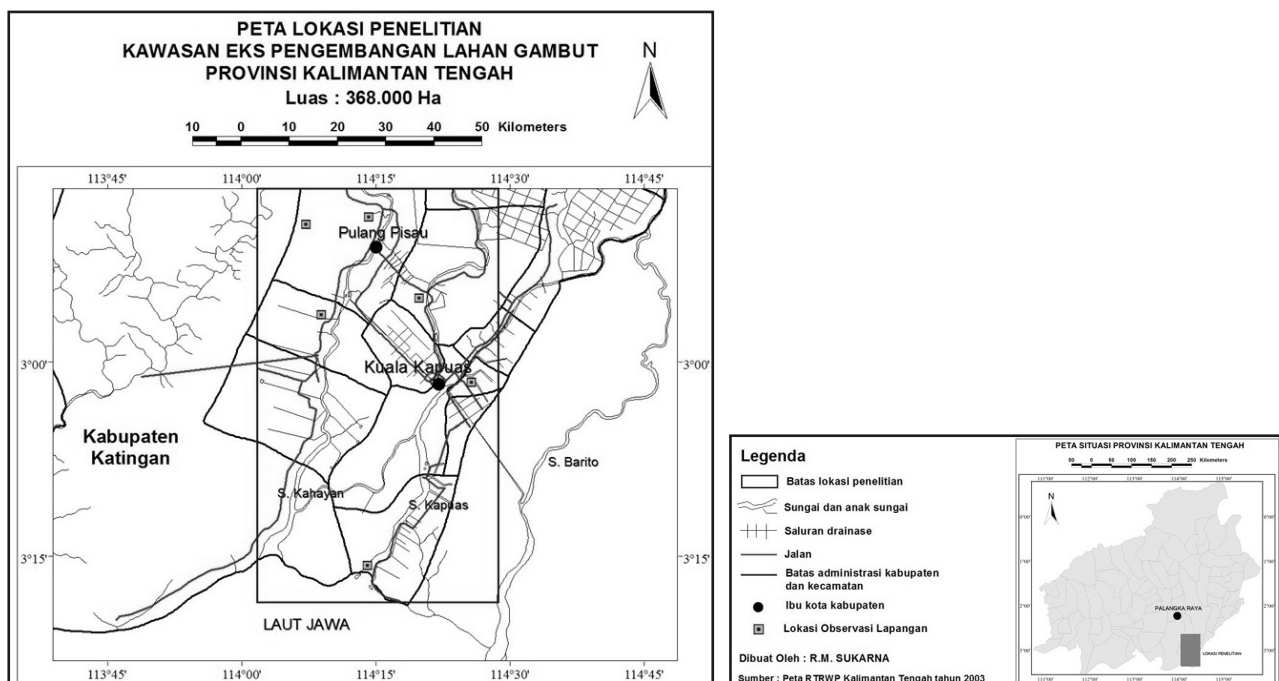
Penelitian ini dilaksanakan di sebagian kawasan bekas pengembangan lahan gambut (PLG) satu juta hektar Provinsi Kalimantan Tengah yang secara geografis terletak antara 114° 00' - 114° 30' Bujur Timur (BT) dan 02° 36' - 03° 25' Lintang Selatan (LS) dengan luas ± 368.000 ha. Lokasi ini termasuk dalam bagian Selatan DAS Kahayan dan bagian selatan DAS Kapuas yang secara administrasi pemerintahan termasuk dalam wilayah Kabupaten Pulang Pisau dan Kabupaten Kapuas Provinsi Kalimantan Tengah (Gambar 1).

Pra-Pengolahan Citra

Pra-pengolahan citra Landsat 7 ETM tahun 2003 dan Citra Landsat 5 TM tahun 2010 dilakukan pertama melalui koreksi radiometrik untuk menghilangkan gangguan awan, bayangan awan dan air menggunakan histogram saluran 1, 2 dan 3, sehingga didapatkan citra yang bebas dari gangguan tersebut. Langkah kedua adalah melakukan koreksi geometrik terhadap dua citra tersebut melalui *image to image registration* berbasis *World Geodetic System 1984* (WGS 84) menggunakan algoritma *nearest-neighborhood*. Setelah dilakukan koreksi radiometrik dan geometrik, selanjutnya dua citra tersebut dinormalkan menggunakan transformasi linier. Melalui langkah pra-pengolahan citra tersebut diharapkan bias nilai digital piksel dua citra satelit secara statistik sudah dapat diminimalkan dan posisi dan kordinat dua citra tersebut sudah sama.

Analisis Kerapatan Kanopi Hutan Model FCD

Berdasarkan citra yang sudah terkoreksi secara radiometrik dan geometrik, selanjutnya dilakukan analisis spektral kerapatan kanopi hutan



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian pada Bekas Kawasan PLG Provinsi Kalimantan Tengah

menggunakan model FCD dengan mengintegrasikan empat indeks biofisik dengan formulasi sebagai berikut (Rikimaru, 2003).

Advanced Vegetation Index (AVI)

$$AVI = \{(B4+1) \times (256-B3) \times (B43)\}^{1/3} \dots\dots\dots (1)$$

Baresoil Index (BI)

$$BI = \left\{ \frac{(B5+B3)-(B4+B1)}{(B5+B3)+(B4+B1)} \right\} \times 100 + 100 \dots\dots\dots (2)$$

Shadow Index (SI)

$$SI = \{(256-B1) \times (256-B2) \times (256-B3)\}^{1/3} \dots\dots\dots (3)$$

Temperature Index (TI) dari L

$$TI = \left\{ \frac{L_{min} + (L_{max} - L_{min})}{255} \right\} \times Q \dots\dots\dots (4)$$

dimana B1, B2, B3, B4, B5, adalah Band/Saluran Citra Landsat; L adalah nilai B6, Q adalah nilai digital Citra Landsat.

Berdasarkan empat indeks biofisik tersebut dikembangkan analisis kluster hutan menggunakan formulasi berikut.

Forest Cluster (FC)

$$FC = (V1 \times S1 \times (256-B1) + 1)^{1/3} \dots\dots\dots (5)$$

Penentuan kluster hutan tersebut merupakan langkah awal untuk menentukan kawasan berhutan dan tidak berhutan dengan kriteria dasar sebagai berikut (Tabel 1).

a) Jika nilai AVI tinggi, nilai BI rendah, nilai SI tinggi dan nilai TI rendah, maka kawasan tersebut merupakan kluster hutan rapat

b) Jika nilai AVI sedang, nilai BI rendah, nilai SI sedang dan nilai TI sedang, maka kawasan tersebut merupakan kluster hutan yang jarang

c) Jika nilai AVI tinggi, nilai BI rendah, nilai SI rendah dan nilai TI sedang, maka kawasan tersebut merupakan kluster padang rumput

d) Jika nilai AVI rendah, nilai BI tinggi, nilai SI rendah dan nilai TI tinggi, maka kawasan tersebut merupakan kluster lahan terbuka

Untuk meningkatkan model kluster hutan menjadi kelas kerapatan kanopi hutan (FCD) pada masing masing satuan lahan, selanjutnya dilakukan integrasi nilai *vegetation density* (VD) dan nilai *scaled shadow index* (SSI) menggunakan formulasi berikut.

Forest Canopy Density (FCD)

$$FCD = (VD \times SII + 1)^{1/2} - 1 \dots\dots\dots (6)$$

dimana nilai VD didapatkan dari integrasi nilai AVI dan BI, dan nilai SSI didapatkan melalui transformasi linier nilai SI.

Survei Lapangan

Untuk memudahkan survei lapangan, dalam penelitian ini zona klasifikasi kerapatan kanopi HRG dibagi enam kelas FCD, yaitu (1) zona hutan dengan kerapatan kanopi 0 %, (2) zona hutan dengan kerapatan kanopi 1-20 %, (3) zona hutan dengan kerapatan kanopi 21-40 %, (4) zona hutan dengan kerapatan kanopi 41-60 %, (5) zona hutan dengan kerapatan kanopi 61-80 % dan (6) zona hutan dengan kerapatan kanopi 81-100 %. Pada masing-masing

Tabel 1. Karakteristik kombinasi antara empat indek utama

| Indek | Hutan Rapat | Hutan Jarang | Padang Semak | Lahan Terbuka |
|-------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| AVI | Tinggi | Sedang | Tinggi | Rendah |
| BI | Rendah | Rendah | Rendah | Tinggi |
| SI | Tinggi | Sedang | Rendah | Rendah |
| TI | Rendah | Sedang | Sedang | Tinggi |

Sumber : Rikimaru, 1996

zona kerapatan kanopi hutan tersebut dibuat 10 buah petak ukur (PU) contoh (*sampling area*). Pengukuran tegakan dilakukan di dalam PU ukuran 20x20 m untuk pohon dan 10x10 m untuk tiang menggunakan *line plots systematic sampling* dengan jarak antar PU 20 m. Pengamatan dan pengukuran obyek meliputi kerapatan kanopi hutan, tinggi pohon, diameter batang, dan jenis.

Analisis Struktur dan Komposisi Hutan Rawa Gambut

Penentuan struktur hutan dilakukan melalui analisis foto udara digital pada masing-masing kelas kerapatan kanopi hutan model FCD yang dilanjutkan dengan verifikasi dan validasi data hasil pengukuran di lapangan. Berdasarkan hasil survai lapangan dilakukan analisis vegetasi untuk menghitung Indeks Keragaman Jenis (H') Shannon-Wiener menurut Ludwig dan Reynolds (1988).

Hubungan antara kerapatan kanopi model FCD, struktur hutan dan komposisi jenis serta ekologiannya dikembangkan melalui kriteria dan indikator menurut Sukarna (2009) dan Sukarna (2014).

- Nilai FCD 81-100 % dan $H' = 3,25$, adalah kawasan HRG yang memiliki struktur dan komposisi jenis yang belum banyak mengalami perubahan (masih alamiah).
- Nilai FCD 61-80 % dan $2,75 < H' < 3,25$, adalah kawasan HRG yang memiliki struktur dan komposisi jenis yang mengalami perubahan ringan (sub-alamiah).
- Nilai FCD 41-60 % dan $2,25 < H' < 2,75$ adalah kawasan HRG yang memiliki struktur dan komposisi yang mengalami perubahan sedang (semi-alamiah).
- Nilai FCD 21-40 % dan $1,75 < H' < 2,25$ adalah kawasan HRG yang memiliki struktur dan

komposisi yang mengalami perubahan yang agak berat (transisi ke non-alamiah)

- Nilai FCD 1-20 % dan $1,25 < H' < 1,75$ adalah kawasan HRG yang memiliki struktur dan komposisi jenis yang mengalami perubahan berat (transisi ke non alamiah)
- Nilai FCD 0 % dan nilai $H' < 1,25$ adalah kawasan HRG yang memiliki struktur dan komposisi hutan yang mengalami perubahan total (non alamiah).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil transformasi indeks vegetasi melalui *Principle Component Analysis* (PCA) terhadap data spektral Citra Landsat 7 ETM tahun 2003 menunjukkan bahwa nilai korelasi AVI dan BI bersifat negatif dengan nilai (r) -0,724. Demikian juga dengan nilai korelasi antara AVI dan BI untuk Citra Landsat 5 TM tahun 2010 bersifat negatif dengan nilai korelasi (r) -0,700. Hasil tersebut menunjukkan bahwa besarnya koefisien determinasi (r^2) adalah $\pm 0,5$. Hal ini berarti bahwa 50 % penggunaan model PCA AVI dan BI ditentukan oleh faktor lain, sehingga masih memerlukan perbaikan klasifikasi spektral yang dapat dilakukan melalui penajaman berbagai kombinasi saluran untuk mengurangi jenuhnya nilai spektral (Liang, 2004). Kesalahan pendugaan kerapatan vegetasi dari data spektral citra satelit disebabkan oleh pengaruh vegetasi lapisan bawah, latar belakang pantulan, restorasi citra, perbedaan waktu pengukuran lapangan dan perolehan data satelit serta resolusi spasial yang belum cukup untuk mengkaji variabilitas permukaan lahan. Untuk mengurangi kesalahan tersebut banyak dilakukan melalui pendekatan transformasi indeks vegetasi (Micheal *et al.*, 2004).

Namun demikian, penggunaan indeks vegetasi juga masih memiliki banyak kelemahan yaitu bahwa

nilai maksimum indeks vegetasi tidak tergantung pada kepadatan pohon atau hutan, sehingga tidak efektif digunakan untuk menentukan struktur hutan alam yang heterogen. Untuk menghindari kesalahan identifikasi dan klasifikasi terhadap struktur vegetasi hutan rawa, dilakukan pengembangan metode dengan memasukkan nilai indeks bayangan tajuk (*shadow index* atau SI) dan indeks temperatur (*temperature index* atau TI). Rikimaru dan Miyatake (1997) menjelaskan bahwa nilai maksimum indeks vegetasi tidak tergantung pada kepadatan pohon atau hutan, sehingga akan jenuh terlebih dahulu jika dibandingkan dengan indeks bayangan (SI). Sebaliknya, nilai SI sangat tergantung pada jumlah vegetasi yang tinggi seperti pohon dengan bayangan tajuk yang signifikan. Semakin rapat vegetasi pohon maka akan menyebabkan bayangan yang lebih banyak. Dengan demikian, nilai SI yang tinggi akan menyebabkan terjadinya penurunan nilai indeks temperatur (TI).

Hasil analisis *scatter diagram* pada Tabel 2 menunjukkan bahwa hubungan antara SI dan TI bersifat negatif dengan nilai korelasi -0,583 dan -0,411. Hal ini menjelaskan bahwa semakin tinggi nilai bayangan tajuk vegetasi pada hutan rawa akan semakin menurun nilai suhunya. Sebaliknya hubungan antara BI dan TI bersifat positif dengan nilai korelasi 0,561 dan 0,489. Hal ini berarti bahwa semakin tinggi nilai indeks tanah pada lokasi

penelitian akan semakin tinggi nilai indeks suhunya. Melalui integrasi antara nilai VI, nilai BI, nilai TI, dan nilai SI dapat ditentukan secara efektif kluster hutan yang mampu secara maksimal membedakan vegetasi tajuk atas (*vegetation in the canopy*) dan vegetasi yang memiliki tajuk dekat permukaan tanah (*vegetation on the ground*).

Hasil analisis klusterisasi hutan berdasarkan data Citra Landsat 7 ETM tahun 2003 dan Citra Landsat 5 TM tahun 2010 pada Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukkan bahwa kluster hutan yang jarang atau hutan terbuka memiliki nilai rata-rata indeks vegetasi (VI) dan nilai rata-rata bayangan tajuk pohon (SI) yang relatif rendah, dan sebaliknya memiliki nilai rata-rata indeks tanah terbuka (BI) dan nilai rata-rata indeks temperatur permukaan (TI) yang tinggi. Demikian juga hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kawasan hutan yang rapat memiliki nilai rata-rata VI dan SI yang tinggi, dan nilai rata-rata BI dan TI yang rendah. Berdasarkan nilai kluster hutan dan indikator nilai VI, BI, SI dan TI tersebut, dapat dikelompokkan menjadi 5 zona kluster hutan, yaitu 1) kluster hutan yang jarang, 2) kluster hutan yang agak jarang, 3) kluster hutan yang agak rapat, 4) kluster hutan yang rapat, dan 5) kluster hutan yang sangat rapat.

Penentuan kluster hutan berdasarkan formula 5 dengan kombinasi indikator VI, BI, SI dan TI perlu ditingkatkan lagi dengan melakukan analisis

Tabel 2. Rekapitulasi hasil analisis korelasi antara AVI, BI, SI dan TI untuk Citra Landsat Tahun 2003 dan Citra Landsat tahun 2010 pada lokasi penelitian

| Kombinasi | Citra Landsat 7 ETM tahun 2003 | | | Kombinasi | Citra Landsat 5 TM tahun 2010 | | |
|-----------|--------------------------------|--------|-----------|-----------|-------------------------------|--------|-----------|
| | Korelasi | Slope | Intercept | | Korelasi | Slope | Intercept |
| AVI-BI | -0,460 | -0,217 | 124.674 | AVI-BI | -0,483 | -0,113 | 122.844 |
| SI-TI | -0,583 | -0,039 | 181.014 | SI-TI | -0,411 | 0,104 | 149.723 |
| AVI-SI | 0,341 | 0,331 | 98.561 | AVI-SI | 0,306 | 0,219 | 108.055 |
| BI-SI | -0,517 | -0,453 | 190.923 | BI-SI | -0,540 | -0,638 | 206.516 |
| BI-TI | 0,561 | 0,111 | 155.469 | BI-TI | 0,489 | 0,527 | 82.571 |

Sumber: Analisis scatter diagram nilai spektral citra landsat 2003 dan citra landsat 2010

Tabel 3. Nilai spektral kluster HRG model FCD Citra Landsat Tahun 2003 pada lokasi penelitian

| Kluster Hutan | Nilai Sub Kluster Hutan | Nilai Indeks Vegetasi (VI) | Nilai Indeks Tanah (BI) | Nilai Indeks Bayangan Tajuk (SI) | Nilai Indeks Temperatur (TI) |
|---------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Jarang | (1) 124 | 90,4 | 118,8 | 155,6 | 183,9 |
| | (2) 126 | 76,5 | 112,0 | 183,0 | 176,1 |
| Agak jarang | (1) 136 | 153,1 | 105,3 | 109,6 | 203,8 |
| | (2) 136 | 133,5 | 112,5 | 130,2 | 187,5 |
| | (3) 136 | 118,7 | 113,9 | 149,0 | 184,6 |
| Agak rapat | (1) 145 | 117,0 | 109,6 | 180,1 | 179,0 |
| | (2) 151 | 97,9 | 92,1 | 216,6 | 158,8 |
| Rapat | (1) 158 | 158,9 | 103,2 | 162,1 | 180,0 |
| Sangat rapat | (1) 163 | 143,4 | 101,2 | 195,4 | 173,7 |

Sumber: Hasil analisis kluster hutan citra Landsat 7 ETM path/row 118/062 tahun 2003

Tabel 4. Nilai spektral kluster HRG model FCD Citra Landsat Tahun 2010 pada lokasi penelitian

| Kluster Hutan | Nilai Sub Kluster Hutan | Nilai Indeks Vegetasi (VI) | Nilai Indeks Tanah (BI) | Nilai Indeks Bayangan Tajuk (SI) | Nilai Indeks Temperatur (TI) |
|---------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Jarang | (1) 121 | 103,9 | 127,1 | 134,5 | 167,2 |
| Agak jarang | (1) 134 | 104,3 | 120,7 | 170,3 | 165,8 |
| | (2) 135 | 124,6 | 121,8 | 148,5 | 166,8 |
| | (3) 140 | 145,9 | 119,0 | 137,0 | 167,1 |
| Agak rapat | (1) 147 | 175,1 | 114,2 | 127,9 | 170,6 |
| | (2) 148 | 135,0 | 115,4 | 171,8 | 166,1 |
| | (3) 155 | 159,3 | 112,8 | 162,5 | 166,0 |
| Rapat | (1) 161 | 183,8 | 107,1 | 154,8 | 166,5 |
| | (2) 164 | 158,1 | 107,2 | 189,3 | 165,3 |
| Sangat rapat | (2) 164 | 184,2 | 112,1 | 183,7 | 167,3 |

Sumber: Hasil analisis kluster hutan citra Landsat 7 ETM path/row 118/062 tahun 2010

kombinasi antara VI dan BI untuk mendapatkan model kerapatan vegetasi (*Vegetation Density Model/VDM*) yang maksimal secara horisontal dan melakukan analisis transformasi linier nilai bayangan tajuk dan temperatur (SI) untuk mendapatkan pengaruh kerapatan tajuk hutan secara vertikal yang menghasilkan nilai *scaled shadow index* (SSI). Integrasi nilai VDM dan SSI menghasilkan nilai kerapatan kanopi hutan (*Forest Canopy Density*)

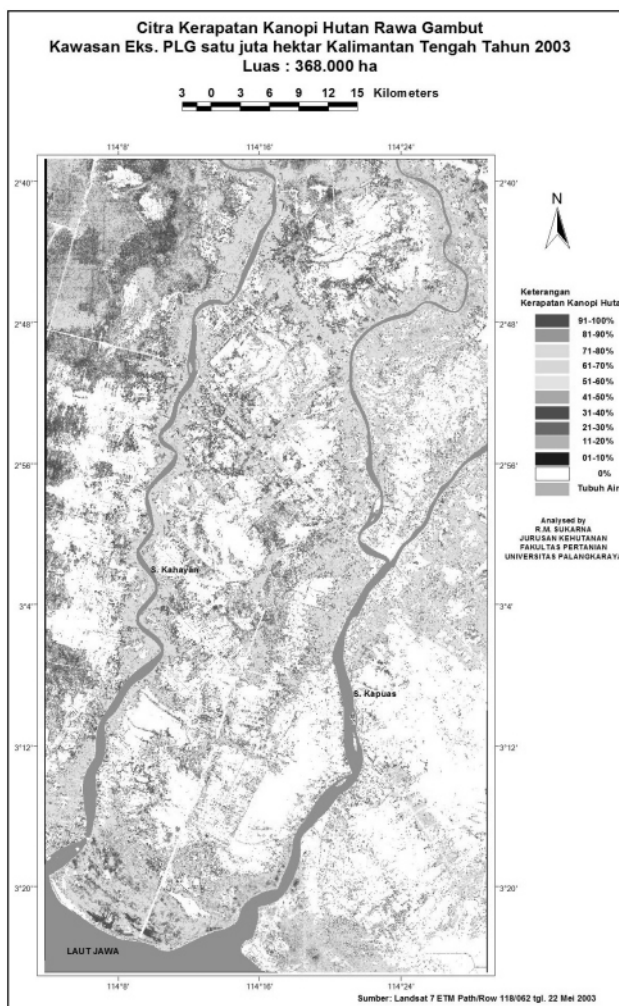
yang berfungsi untuk menentukan perbedaan kerapatan kanopi hutan berdasarkan struktur tajuk secara vertikal. Hasil klasifikasi kerapatan kanopi hutan model FCD (Gambar 2 dan 3) cukup representatif dan efektif dalam menentukan klasifikasi struktur hutan rawa gambut seperti dilaporkan oleh Deka *et al.* (2012) dan Banerjee *et al.* (2014). Hasil klasifikasi Citra FCD tersebut selanjutnya diverifikasi menggunakan foto udara dan survei

lapangan, sehingga didapatkan 5 kelompok areal berhutan dan 1 kelompok areal tidak berhutan (Tabel 5).

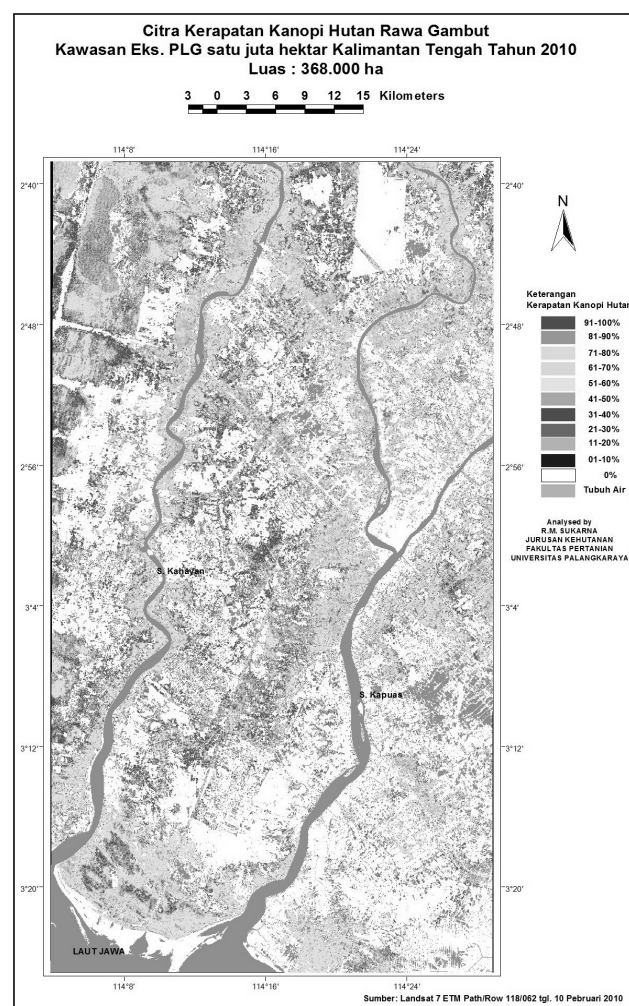
Hasil penelitian menunjukkan bahwa kawasan hutan rawa gambut (HRG) dengan kerapatan kanopi 0 % umumnya didominasi oleh lahan terbuka, padang rumput dan semak-semak. Selama periode tahun 2003-2010, luas kawasan HRG yang terbuka bertambah ± 570 ha per tahun. Hasil pengamatan penelitian menunjukkan bahwa bertambahnya lahan terbuka tersebut lebih disebabkan akibat kebakaran hutan dan lahan gambut yang terjadi hampir setiap tahun khususnya pada musim kemarau. Hal ini didukung dari hasil penelitian Boehm *et al.* (2002)

yang menjelaskan bahwa laju degradasi hutan rawa gambut antara tahun 1991-1997 sebesar 1,9 % per tahun dan meningkat menjadi 6,5 % per tahun antara tahun 1997-2000, sehingga laju rata-rata degradasi hutan rawa antara tahun 1991-2001 sebesar 3,3 %. Dari tahun 1997 sampai dengan tahun 2000 juga terjadi peningkatan terhadap luas areal hutan bekas tebangan (*logged over area*) dari 39.566 ha menjadi 56.891 ha dan peningkatan lahan terbuka dari 54.914,4 ha pada tahun 1991 menjadi 166.130,6 ha pada tahun 2001.

Hasil observasi pada kawasan HRG dengan interval kerapatan kanopi 1-20 % umumnya didominasi oleh padang rumput, semak rendah, dan



Gambar 2. Peta Kerapatan Kanopi Hutan Rawa Gambut Model FCD Citra Landsat 7 ETM Path/Row 118/062 Tahun 2003



Gambar 3. Peta Kerapatan Kanopi Hutan Rawa Gambut Model FCD Citra Landsat 5 TM Path/Row 118/062 Tahun 2010

Tabel 5. Klasifikasi perubahan penutupan struktur vegetasi hutan rawa gambut pada lokasi penelitian antara tahun 2003 sampai dengan tahun 2010.

| No. | Nilai FCD (%) | Hasil Klasifikasi Penutupan Struktur Vegetasi Hutan Rawa Gambut | Luas (ha) Tahun 2003 | Luas (ha) Tahun 2010 | Luas (ha) Perubahan antara Tahun 2003-2010 |
|-----------------|---------------|---|----------------------|----------------------|--|
| 1 | 0-0 | Lahan kosong dan padang rumput | 187.310,16 | 191.333,16 | +4.023,00 |
| 2 | 1-20 | Rumput, semak, belukar muda jarang | 16.636,41 | 4.521,06 | -12.115,35 |
| 3 | 21-40 | Semak, belukar muda agak rapat | 33.664,59 | 35.512,06 | +1.848,33 |
| 4 | 41-60 | Semak dan belukar muda rapat | 75.290,76 | 87.020,10 | +11.729,34 |
| 5 | 61-80 | Hutan rapat | 50.396,22 | 46.962,36 | -3.433,86 |
| 6 | 81-100 | Hutan sangat rapat | 4.300,74 | 2.249,28 | -2.051,46 |
| Luas Total (ha) | | | 367.598,88 | 367.598,88 | - |

Sumber: Hasil analisis model FCD citra Landsat 7 ETM path/row 118/062 tahun 2003, citra Landsat 5 TM tahun 2010, interpretasi foto udara tahun 2004 dan survai lapangan tahun 2011.

pohon-pohon kecil berdiameter 5-10 cm yang distribusinya jarang. Selama periode tahun 2003-2010 kawasan hutan yang tergolong kritis ini berkurang jumlahnya ± 12.000 ha atau ± 1.700 ha per tahun. Berkurangnya luas kawasan hutan kritis ini diikuti dengan meningkatnya pertumbuhan vegetasi hutan (*regrowth*) pada kelas kerapatan kanopi 21-40 % dan 41-60 % selama waktu 7 tahun sebesar ± 13.500 ha atau ± 1.925 ha per tahun. Perubahan positif ini tidak terlepas dari peran aktif Pemerintah Daerah Provinsi Kalimantan Tengah, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan dukungan masyarakat Kalimantan Tengah yang berkomitmen kuat untuk melakukan restorasi dan rehabilitasi terhadap kawasan HRG khususnya di bekas kawasan PLG.

Perubahan struktur dan komposisi kawasan hutan rawa gambut dengan interval kerapatan kanopi antara 61-80 % merupakan hutan yang rapat yang umumnya didominasi oleh pohon-pohon berdiameter antara 10-60 cm. Selama periode tahun 2003-2010, hutan yang tergolong rapat ini mengalami penurunan sebesar ± 3.433 ha atau ± 490 ha per tahun. Demikian juga untuk kawasan HRG

dengan interval kerapatan kanopi 81-100 % yang merupakan hutan yang sangat rapat telah mengalami penurunan sebesar ± 2.051 ha atau rata-rata ± 293 ha per tahun. Berdasarkan hasil observasi lapangan diketahui bahwa hutan yang rapat dan sangat rapat yang mengalami banyak penurunan ini umumnya didominasi oleh hutan gelam (*Melaleuca leucadendron*) dan tumeh (*Combretum rotundatum*). Jenis kayu gelam merupakan jenis pioner yang dominan tumbuh pada kawasan HRG marginal dengan tingkat keasaman yang tinggi. Saat ini kayu gelam memberikan dampak yang positif terhadap perekonomian masyarakat lokal, karena bernilai cukup ekonomis untuk menunjang pembangunan infrastruktur jalan maupun bangunan perumahan khususnya di Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan. Sementara itu, hutan yang rapat dengan jenis-jenis endemik hutan rawa umumnya tidak banyak mengalami perubahan dan gangguan.

Namun demikian, penurunan kelas kerapatan kanopi hutan ternyata juga diikuti oleh menurunnya jumlah strata kanopi pohon, tinggi pohon dan keragaman jenisnya (Tabel 6). Penurunan tiga atribut hutan tersebut digunakan untuk menentukan zona

ekologisnya, yaitu (1) kawasan hutan yang kondisi struktur dan komposisi jenisnya tidak mengalami penurunan, dikategorikan sebagai zona hutan alamiah, (2) kawasan hutan yang mengalami sedikit penurunan struktur dan komposisi keragaman jenis yaitu dengan penurunan H' 0,5 dikategorikan sebagai zona hutan sub alamiah, (3) kawasan hutan yang cukup banyak mengalami penurunan terhadap struktur dan komposisi jenis yaitu dengan penurunan H' 1,0 dikategorikan sebagai zona hutan semi alamiah, (4) kawasan hutan yang telah banyak mengalami penurunan struktur dan komposisi jenis yaitu dengan penurunan H' 1,50 dikategorikan sebagai zona hutan yang sedang mengalami transisi ke semi alamiah, (5) kawasan hutan yang banyak sekali mengalami penurunan struktur dan komposisi jenisnya yaitu dengan penurunan H' 2,0 dikategorikan sebagai zona hutan yang sedang mengalami transisi berat menuju kawasan non alamiah, (6) kawasan hutan terbuka yang tidak memiliki struktur dan komposisi jenis pohon, dengan

penurunan indeks 2,50 dikategorikan sebagai kawasan non alamiah.

Berdasarkan klasifikasi zona ekologi pada Tabel 7 diketahui bahwa komposisi jenis pada kawasan hutan yang alamiah dan sub alamiah umum masih didominasi oleh jenis-jenis dari famili Sapotaceae seperti jenis nyatoh (*Palaquium* spp.), famili Apocynaceae seperti jelutung (*Dyera lowii*), famili Anacardiaceae seperti terentang (*Canmosperma* sp.), bintangur (*Calophyllum* spp.) dan geronggang (*Cratoxylon arborescens*), famili Dipterocarpaceae seperti belangeran (*Shorea belangeran*), dan kayu asam (*Mangifera* spp.) dari famili Anacardiaceae dan gelam (*Melaleuca leucadendron*). Pada kawasan hutan yang semi alamiah dan kawasan transisi umumnya didominasi oleh jenis tumeh (*Combretum rotundatum*) dari famili Anisophylleaceae, jenis jambu-jambu (*Eugenia* spp.) dari famili Myrtaceae dan gelam (*Melaleuca leucadendron*). Pada kawasan hutan rawa yang terbuka umumnya ditemui jenis-jenis perdu dan rumput seperti kelakai

Tabel 6. Hubungan kerapatan kanopi hutan, strata kanopi, tinggi pohon, indeks keragaman jenis dan zona ekologi pada lokasi penelitian

| Kerapatan kanopi hutan (FCD) | Strata kanopi | Tinggi pohon (m) | Indeks keragaman jenis (H') | Penurunan indeks keragaman jenis | Luas perubahan kawasan hutan 2003-2010 (%) | Zonasi ekologi |
|------------------------------|---------------|------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|----------------|
| Terbuka (0 %) | - | - | - | 2,50 | +1,09 | Non-alamiah |
| Jarang (1-20 %) | 1 | 5 - 15 | $1,25 < H' < 1,75$ | 2,00 | -3,30 | Transisi 1 |
| Agak jarang (21-40 %) | 1 - 2 | 15 - 20 | $1,75 < H' < 2,25$ | 1,50 | +0,50 | Transisi 2 |
| Agak rapat (41-60 %) | 1 - 3 | 15 - 20 | $2,25 < H' < 2,75$ | 1,00 | +3,19 | Semi-alamiah |
| Rapat (61-80 %) | 2 - 3 | 20 - 30 | $2,75 < H' < 3,25$ | 0,50 | -0,93 | Sub-alamiah |
| Sangat rapat (81-100 %) | 3 - 4 | 30 - 40 | $\geq 3,25$ | 0 | -0,56 | Alamiah |

Sumber : Hasil analisis model FCD citra Landsat, foto udara dan observasi lapangan tahun 2011

Tabel 7. Jenis-jenis dominan hutan rawa gambut pada masing masing zona ekologi

| Zona Ekologi | Jenis Dominan |
|-------------------------|---|
| Non-alamiah | kelakai (<i>Stenochlaena palutris</i>), jenis pakis (<i>Osmanda cinnamomea</i>), purun (<i>Lepironia articulata</i>), rasau (<i>Pandanus helicopus</i>), perdu rawa (<i>Thorachostachyum bancanum</i>), alang-alang (<i>Imperata cylindrica</i>), melastoma (<i>Melastoma melabothricum</i>), dan keramunting (<i>Rhodomytus tomentosa</i>) |
| Transisi 1 | tumeh (<i>combretucarpus rotundatus</i>), gelam (<i>Melaleuca leucadendron</i>), kelakai (<i>Stenochlaena palutris</i>), jenis pakis (<i>Osmanda cinnamomea</i>), purun (<i>Lepironia articulata</i>), rasau (<i>Pandanus helicopus</i>), perdu rawa (<i>Thorachostachyum bancanum</i>) |
| Transisi 2 | tumeh (<i>combretucarpus rotundatus</i>), gelam (<i>Melaleuca leucadendron</i>), jambu-jambu (<i>Eugenia spp</i>) |
| Semi-alamiah | tumeh (<i>combretucarpus rotundatus</i>), jambu-jambu (<i>Eugenia spp</i>), gelam (<i>Melaleuca leucadendron</i>), belangeran (<i>Shorea belangeran</i>) |
| Sub-alamiah dan Alamiah | jelutung (<i>Dyra lowii</i>), nyatoh (<i>Palaquium spp.</i>), terentang (<i>Camnosperma sp.</i>), bintangur (<i>Calophyllum spp.</i>), geronggang (<i>Cratoxylon arborescens</i>), belangeran (<i>Shorea belangeran</i>), gelam (<i>Melaleuca leucadendron</i>) dan kayu asam (<i>Mangifera spp.</i>) |

(*Stenochlaena palutris*), jenis pakis (*Osmanda cinnamomea*), purun (*Lepironia articulata*), rasau (*Pandanus helicopus*), perdu rawa (*Thorachostachyum bancanum*), alang-alang (*Imperata cylindrica*), melastoma (*Melastoma melabothricum*), dan keramunting (*Rhodomytus tomentosa*). Perbedaan komposisi jenis pada masing masing zona ekologi tersebut disebabkan oleh adaptasi vegetasi akibat perubahan ekosistemnya. Radjagukguk (2003) menjelaskan bahwa lahan gambut bersifat rapuh (*fragile*), jika lahan gambut dibuka dan dibuat drainase berlebihan akan mengalami subsidensi, kehilangan (kebakaran, dekomposisi), pengerutan tak balik dan erosi sehingga praktis tidak terbarukan (*non renewable*).

Penurunan luas kawasan HRG yang alamiah dan sub alamiah khususnya di lokasi penelitian sebesar 1,49 % atau 5.500 ha selama periode tahun 2003 sampai tahun 2010 nampaknya relatif kecil, karena luas areal hutan tersebut yang tersisa dari kegiatan PLG berdasarkan hasil analisis Citra Landsat hanya \pm 50.000 ha. Sementara itu jika ditinjau secara

menyeluruh akan nampak terlihat bahwa kawasan hutan rawa gambut yang saat ini mengalami degradasi dan deforestasi di lokasi penelitian luasnya \pm 300.000 ha. Perbandingan luas seperti ini secara ekologis tentu tidak menguntungkan khususnya untuk ekosistem di bagian selatan Daerah Aliran Sungai (DAS) Kapuas dan bagian selatan DAS Kahayan Provinsi Kalimantan Tengah. Lahan gambut yang terbuka mengalami subsidensi secara kontinyu dan fungsi hidrologi alamiahnya sebagai penahan air yang besar (*water holding capacity*) menjadi terganggu. Akibatnya terjadi banjir pada musim hujan dan kebakaran lahan dan hutan pada musim kemarau. Page dan Rieley (1995) menjelaskan dampak regional dapat terjadi pada fungsi keseimbangan air (*water balance*) dan habitat, dampak global dapat berupa dinamisasi karbon (*carbon dynamics*), efek rumah kaca (*greenhouse effect*) dan musnahnya keanekaragaman hayati (*biodiversity*).

Sebagai perbandingan, Page *et al.* (1999) melaporkan bahwa hutan rawa gambut yang masih

baik di kawasan Sebangau Kalimantan Tengah (di luar kawasan PLG) memiliki ketinggian maksimum kanopi utama mencapai 45 m, lapisan kanopi kedua antara 25-35 m, lapisan kanopi tengah antara 15-25 m, dan lapisan kanopi di bawahnya dengan ketinggian 8-15 m. Jika diperhatikan terlihat bahwa kondisi hutan rawa gambut di luar kawasan PLG memiliki struktur kanopi yang cukup lengkap, dimana masih terdapat pohon dominan, pohon kodominan, pohon tengah dan pohon strata bawah. Lebih lanjut dijelaskan bahwa kondisi hidrologi pada kawasan ini lebih stabil dengan kedalaman air tanah antara 24-39 cm dibandingkan dengan kondisi hidrologi pada kawasan eks PLG dengan kedalaman air tanah > 150 cm.

Kawasan HRG eks PLG yang mengalami perubahan struktur dan komposisi yang berat, tingkat kerusakannya relatif lebih parah dibandingkan dengan kawasan hutan rawa gambut maupun kawasan hutan lahan kering bekas pemanenan kayu. Hasil penelitian Suwarna *et al.* (2014) menyebutkan bahwa kerusakan tegakan tinggal hutan rawa gambut akibat pemanenan kayu hanya sebesar 40 % yang dikelompokkan dalam kerusakan berat 77 %, kerusakan sedang 14 % dan kerusakan ringan sebesar 9 %. Muhdi *et al.* (2012) menemukan kerusakan tegakan tinggal akibat pemanenan kayu dengan teknik konvensional dan *Reduce Impact Logging* pada hutan lahan kering masing-masing sebesar 38,10 % dan 23,52 %. Demikian juga hasil penelitian kerusakan tegakan tinggal pada kawasan HRG di Sungai Kumpeh dan Sungai Air Hitam Laut, Jambi (Mawazin, 2013).

KESIMPULAN

Aplikasi teknik penginderaan jauh melalui model FCD Citra Landsat cukup efektif digunakan sebagai dasar untuk menentukan perubahan kerapatan kanopi hutan rawa gambut (HRG) antara tahun 2003-2010 dengan luas areal penelitian \pm 368.000 ha. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa perubahan kerapatan kanopi hutan tersebut diikuti juga oleh perubahan struktur dan komposisi jenisnya. Penurunan indeks keragaman jenis masing masing terjadi pada hutan sub alamiah sebesar 0,5; pada hutan semi alamiah dan transisinya sebesar 1,0-1,5; pada hutan transisi ke non alamiah dan non alamiah yang sudah terbuka sebesar 2,0-2,5. Selain penurunan indeks keragaman jenis selama kurun waktu tujuh tahun tersebut, juga terjadi penambahan luas degradasi hutan alamiah dan sub alamiah sebesar 1,49 %; penambahan luas hutan semi alamiah dan transisinya yang mengalami pertumbuhan sebesar 3,69 %; penambahan luas degradasi hutan transisi menuju non alamiah sebesar 3,30 % dan penambahan luas deforestasi hutan sebesar 1,09 %. Berdasarkan fakta tersebut dapat disimpulkan bahwa sebagian besar kawasan HRG bekas PLG pada lokasi penelitian telah mengalami degradasi dan deforestasi, sehingga menyebabkan fungsi ekologisnya menurun dan keseimbangan ekosistemnya juga terganggu.

DAFTAR PUSTAKA

- Banerjee K, Panda S, Bandyopadhyay J & Jain MK. 2014. Forest canopy density mapping using advance geospatial technique. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology* **1(7)**, 358-363.
- Biradar CM, Saran S, Raju PLN & Roy PS. 2005. Forest canopy density stratification: how relevant is biophysical spectral response modelling approach? *Geocarto International Journal* **20(1)**, 1-7.

- Boehm HDV, Siegert F & Liews SC. 2002. Remote sensing and aerial survey of vegetation cover change in lowland peat swamp of Central Kalimantan during the 1997 and 2002 fires. *Proceeding of the International Symposium on Land Management and Biodiversity in Southeast Asia*. Research Centre for Biology, the Indonesia Institute of Sciences, Bogor, Indonesia.
- Deka J, Tripathi OK & Khan ML. 2012. Implementation of forest canopy density model to monitor tropical deforestation. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, DOI 10.1007/s12524-0224-5.
- Dombois M & Elenberg H. 1974. *Aims and Methos of Vegetation Ecology*. hlm 112-119. Wiley International Edition. John Wiley and Sons, New York.
- Doruska PF & Mays JE. 1998. Crown profile modelling of Loblolly Pine by nonparametrik regression analysis. *Journal of Forest Science* **44** (3), 445-453.
- Liang S. 2004. *Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces*. John Wiley and Sons, Canada, 528 hlm.
- Joshi C, Leeuw JD, Skismore AK, van Duren IC, van Oosten H. 2006. Remotely sensed estimation of forest canopy density: A comparison of the performance of four methods. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **8**, 84-95.
- Ludwig JA & Reynolds JF. 1988. *Statistical Ecology, A Primer on Method and Computing*. hlm 85-86. John Wiley and Sons. New York.
- Manan S. 1992. *Manual Kehutanan*, Bab Silvikultur. Hlm 1-42. Departemen Kehutanan RI, Jakarta.
- Mawazin. 2013. Tingkat kerusakan tegakan tinggal di hutan rawa gambut Sungai Kumpeh – Sungai Air Hitam Laut Jambi. *Indonesian Forest Rehabilitation Journal. Pusat Litbang Konservasi dan Rehabilitas, Bogor* **1(1)**, 39-50
- Micheal AW, Hall RJ, Coops NC & Franklin SE. 2004. High spatial resolution remotely sensed data for ecosystem characterization. *Washington. Bioscience* **54(6)**, 11-17
- Mon MS, Mizoues N, Htun NZ, Kjisa T, Yoshida S. 2012. Estimating forest canopy density of tropical mixed deciduous vegetation using landsat data: a Comparison of three classification approaches. *International Journal of Remote Sensing* **33(4)**, 1042-1057.
- Muhdi, Elias, Murdiaso D & Matangaran JR. 2012. Kerusakan tegakan tinggal akibat pemanenan kayu *Reduce Impact Logging* dan konvensional di hutan alam tropika (Studi kasus di areal IUPHHK PT. Inhutani II Kalimantan Timur). *Jurnal Manusia dan Lingkungan* **19(3)**, 303-311.
- Page SE & Rieley JO. 1995. Biodiversity and Sustainability of Tropical Peatlands. *Proceeding of the International Symposium on Biodiversity, Environmental Importance and Sustainability of Tropical Peat and Peatlands, Central Kalimantan, Indonesia*.
- Page SE, Rieley JO, Shotyk OW & Weiss D. 1999. Interdependence of peat and vegetation in a tropical peat swamp forest. *Journal of Biological Sciences* **34(1391)**, 1885-1897.
- Paine DP. 1993. *Fotografi Udara dan Penafsiran Citra untuk Pengelolaan Sumberdaya*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta. 833 hlm.
- Panta M & Kim K. 2006. Spatio-temporal dynamic alteration of forest canopy density based on site associated factors: view from tropical forest of Nepal. *Korean Journal of Remote Sensing* **22(5)**, 1-11.
- Radjagukguk B. 2003. Fungsi alamiah sumberdaya gambut. Makalah seminar : *Management of Peatland in Central Kalimantan, Palangka Raya*.
- Ratmini S. 2012. Karakteristik dan pengelolaan lahan gambut untuk pengembangan pertanian. *Jurnal Lahan Suboptimal* **1(2)**, 197-206.
- Rikimaru A. 1996. LANDSAT TM data processing guide for forest canopy density mapping and monitoring model. *ITTO Workshop on Utilization of Remote Sensing in Site Assessment and Planting of Logged-over Forest*. Bangkok, July 30-August 1, 1996 pp 1-8.
- Rikimaru A. 2003. Concept of FCD Mapping Model and Semi-Expert System. FCD Mapper Versi-2 User Guide, International Tropical Timber Organization and Japan Overseas Forestry Consultants Association, hlm. 32-45.
- Rikimaru A & Miyatake S. 1997. Development of forest canopy mapping and monitoring model using Indices of vegetation, bare soil and shadow pp. *Proceeding of the 18th Asian Conference on Remote Sensing, E6. 1-6, Kuala Lumpur, Malaysia*.
- Sukarna RM. 2009. Kajian Spektral Citra Landsat 7 ETM+ untuk Pemodelan Floristik Hutan Rawa di Taman Nasional Sebangau Provinsi Kalimantan Tengah. *Disertasi (Tidak Dipublikasikan)*. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

- Sukarna RM. 2014. Kajian bentang lahan ekologi floristik hutan rawa gambut berbasis Citra Penginderaan Jauh di Sub Das Sebangau Kalimantan Tengah. *Jurnal Hutan Tropis. Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat* **2(1)**, 52-59.
- Suwarna U, Matangaran JR, Harmawan F. 2014. Kerusakan tegakan tinggal akibat pemanenan kayu di Hutan Alam Rawa Gambut. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* **21(1)**, 83-89.
- Van Gils HAMJ & Van Wijngaarden W. 1984. Vegetation structure in reconnaissance and semi-detailed vegetation surveys. *ITC Journal* **3**, 213-218.

INDEKS PENULIS

Abdul Azis, 48
Afif Sumaryanto, 93
Daryono Prehaten, 71
Endah Wahyuningsih, 25
Ganis Lukmandaru, 57, 93
Hadi Sofyan, 1
Haryono Supriyo, 71
Heru Setiawan, 12
Indriyatno, 25
Irwan Mahakam Lesmono Aji, 25
Mahdi Santoso, 48
Mudji Susanto, 57
Muhammad Ali Imron, 1
Muhammad Husni Idris, 25
Mukhlison, 37
Nunuk Supriyatno, 81
Raden Mas Sukarna, 129
Rima Vera Ningsih, 25
Ris Hadi Purwanto, 81
Rohman, 81
Satyawan Pudyatmoko, 1
Siti Fatimah, 57
Sitti Latifah, 25
Sofyan P. Warsito, 81
Sri Nugroho Marsoem, 108
SutjiptoA. Hadikusumo, 48, 93
T.A. Prayitno, 48
Terry M.Frans, 123

INDEKS SUBJEK

- Air pollution*, 37
Analisis gerombol, 60, 65-68
Anti rayap, 49
Anti-termite, 48
Boraks, 94
Borax, 93
Cadangan karbon, 25-28, 31-36
Cagar alam Jantho, 1
Carbon stock, 25, 35
Casualty per cent, 81
Cellulose, 57
Cluster analysis, 57
Coastal water, 12
Cocoon, 123
Cold soaking, 93
Cricula trifenestrata, 123
Cryptotermes cynocephalus Light, 93, 94
Cryptotermes sp, 48, 51, 56
Curah hujan, 108-112, 116-120
Daya jelajah harian, 1
Ecology, 129, 142
Ekologi, 129-131, 134, 139-141, 143
Ekstrak daun, 49, 55, 56
Elevasi, 71-74, 76, 77, 79
Elevation, 71
Eucalyptus pellita, 57-63, 66, 68, 69
Filament, 123
Forest, 25, 35
Growth rate, 108
Gubal, 93-95, 98-100, 102-104, 106
Gunungkidul, 108-110, 112, 120-122
Heavy metal, 12
Hutan kota, 37-44, 46, 47
Hutan normal, 81, 82, 85, 88-91
Hutan rawa gambut, 129-131, 134, 136-138, 140-143
Hutan tanaman jati, 81-84, 91, 92
Increment, 108
Kimia kayu, 57-59, 63, 67-69
Kokon, 123-128
Kota Yogyakarta, 37, 39, 47
Laju pertumbuhan, 108-110, 115, 120
Leaf extract, 48
Logam berat, 12-24
Mangrove, 12-24
Natural preservative, 48
Normal forest, 81
Nutrients, 71
Orthosiphon sp, 48, 49, 55, 56
Peat swamp forest, 129, 142
Pemilihan jenis pohon, 37, 38, 42
Pencemaran udara, 37, 38, 41-44, 47
Pengawet alami, 48, 49, 56
Pengawetan kayu, 98, 100, 103, 106, 107
Penginderaan jauh, 129-131, 141, 143
Perairan pesisir, 12-14
Perilaku, 1-10
Perum Perhutani, 81-86, 88, 90-92
Pinus merkusii, 71-80
Primates, 1
Produksi getah, 71-76, 79, 80
Protected areas, 1

Rainfall, 108, 121, 122
Reintroduction, 1
Remote sensing, 129, 142
Rendaman dingin, 94, 95, 98-100, 106, 107
Resin production, 71, 79
Riap, 82, 88, 108, 114, 116-120, 122
Sap wood, 93
Seleksi pohon, 62, 63, 66
Senaru Lombok, 25-27
Sericin, 123
Serisin, 123-128
Sifat tanah, 71-73
Silk, 123-125, 128
Soil properties, 71
South Sulawesi, 12
Structure and forest composition, 129
Struktur dan komposisi hutan, 129
Sulawesi Selatan, 12, 14
Sutera, 123-125, 128
Teak forest plantation, 81
Tectona grandis L.f., 93, 108, 109, 121, 122
Tree selection, 57
Tree species selection, 37
Unsur hara, 71, 73, 75-79
Urban forest, 37, 47
Vegetasi, 25, 27-29, 35
Vegetation, 25
Wildlife conservation, 1
Wood chemistry, 57, 68
Wood preservation, 93, 95, 106
Yogyakarta city, 37