

**APLIKASI MODEL *FOREST CANOPY DENSITY* CITRA
LANDSAT 7 ETM UNTUK MENENTUKAN INDEKS LUAS TAJUK
(*CROWN AREA INDEX*) DAN KERAPATAN TEGAKAN
(*STAND DENSITY*) HUTAN RAWA GAMBUT
DI DAS SEBANGAU PROVINSI KALIMANTAN TENGAH**

R.M. Sukarna

karnapras@yahoo.co.id

Jurusan Manajemen Hutan Fakultas Pertanian
Universitas Palangkaraya

ABSTRAK

Memantau kegiatan melalui berbagai transformasi indeks vegetasi hutan alam dari citra satelit, seperti Selisih Normalized Vegetation Index (NDVI) telah dilakukan, tetapi tidak memberikan hasil yang maksimal. Model Forest Canopy Density (FCD) melalui algoritma integrasi Lanjutan vegetasi Index (AVI), Baresoil Index (BI), Indeks Suhu (TI) dan Shadow Index (SI) merupakan metode klasifikasi yang efektif untuk memantau perubahan di hutan tropis di Asia seperti India, Myanmar, Malaysia dan Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari struktur variasi kepadatan berdiri rumput di hutan rawa Kalimantan Tengah melalui model aplikasi FCD Citra Land duduk 7 ETM. Hasil analisis menunjukkan bahwa indeks penentuan hutan kanopi yang luas (Indeks atau Cai di Area Crown) Model melalui vegetasi Density (VD) integrasi dan BI AVI tidak memberikan hasil yang optimal. Kelemahan dapat diintegrasikan dengan model dengan model yang VD Scaled Bayangan Index (SSI) integrasi nilai SI dan TI. Hasil integrasi VD dan SSI menghasilkan model Forest Canopy Density (FCD), yang digunakan untuk menentukan nilai dari header indeks lebar (Indeks atau Cai di Area Crown) dan variasi kepadatan berdiri (Stand Density atau SD). Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa antara FCD dan Cai memiliki model hubungan non-linear (peringkat polinomial 2) dengan $R = 0,87$. Pada hubungan antara Cai dan model SD memiliki hubungan dengan linier $R = 0,97$. Dengan model dasar diketahui hubungan matematis antara yang paling optimal dan FCD adalah pada nilai utama $Cai = 5 \text{ m}^2 / \text{ha}$.

Kata kunci: Vegetasi Density Scaled Bayangan Indeks, Forest Canopy Density, Indeks di Area Crown, Stand Density.

ABSTRACT

Monitoring activities through a variety of natural forest vegetation index transformation of satellite imagery, such as Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) has been done, but do not provide the maximum results. Model Forest Canopy Density (FCD) through the integration algorithm Advanced Vegetation Index (AVI), Baresoil Index (BI), Temperature Index (TI) and Shadow Index (SI) is an effective classification method to monitor changes in tropical forests in Asia such as India, Myanmar, Malaysia and Indonesia. This research aims to study the structure of the density variations standing turf in the swamp forests of Central Kalimantan through the application model FCD Citra Land sat 7

ETM. The results of the analysis showed that the index of determining the broad canopy forests (Crown Area Index or Cai) model through Vegetation Density (VD) of integration and BI AVI not provide optimal results. Weakness can be integrated with the model with VD model Scaled Shadow Index (SSI) the integration of the value of SI and IT. Results integration VD and SSI produces models Forest Canopy Density (FCD), which is used to determine the value of the index header wide (Crown Area Index or Cai) and density variations standing (Stand Density or SD). Results of this study concluded that between FCD and Cai has a non-linear relationship model (polynomial rank 2) with $R = 0.87$. On the relationship between Cai and SD model has a relationship with linier $R = 0.97$. With the basic model is known mathematical relationship between the most optimal and FCD are on the primary value $Cai = 5 \text{ m}^2/\text{ha}$.

Kata kunci: *Vegetation Density Scaled Shadow Index, Forest Canopy Density, Crown Area Index, Stand Density.*

PENDAHULUAN

Hutan rawa gambut (*peat swamp forest*) merupakan salah satu tipe hutan hujan tropis yang tumbuh pada lahan rawa bergambut. Di Indonesia, lahan gambut sebagai habitat utama hutan rawa gambut mencapai luas sekitar 20 juta hektar, yang meliputi Sumatera 7,3 juta ha, Kalimantan 6,3 juta ha, Irian Jaya 4,7 juta ha, dan 1,7 juta ha lainnya berada di Sulawesi dan Maluku (Whitmore, 1985). Propinsi Kalimantan Tengah dengan luas wilayah 15.798.359 ha memiliki hutan rawa primer 228.773 ha (1,5%), hutan rawa sekunder 45.927 hektar (0,3%), belukar rawa 1. 979.807 ha (12,92%) dan daerah rawa seluas 549.007 ha (3,58 %) (Wardoyo, 2002). (Boehm *et al.* 2002) 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 gambut antara tahun 1991 – 2001 sebesar 3,3%.

Untuk mempelajari kondisi hutan yang luas dengan perkembangan yang dinamis diperlukan metode pemantauan hutan yang efisien dan efektif. Beberapa penelitian terdahulu melalui algoritma *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), *Modified Soil Adjusted Vegetation Index* (MSAVI) dan *Transformed Soil Adjusted Vegetation Index* (TSAVI) yang dilakukan oleh (Purevdorj *et al.*, 1998), (Shimada *et al.*, 2002), (Boehm *et al.*, 2002), dan penelitian sejenis lainnya belum memberikan hasil klasifikasi yang maksimal. Model FCD yang dikembangkan (Rikimaru, 1996), (Rikimaru dan Miyatake, 1997), (Roy *et al.*, 1997) menggunakan Citra Landsat TM / ETM memberikan hasil klasifikasi hutan alam yang maksimal dengan akurasi antara 80 – 90%.

Untuk memahami kondisi kerapatan tegakan hutan alam secara kuantitatif melalui aplikasi model FCD Citra Landsat, terdapat 2 permasalahan utama pene-

litian yang dihadapi yaitu (1) apakah perbedaan respon spektral yang dihasilkan dari model FCD Citra Landsat 7 ETM dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan kluster hutan rawa gambut secara optimal, (2) apakah kluster hutan yang dihasilkan dari model FCD memiliki kecenderungan yang selaras terhadap perubahan struktur tegakan hutannya. Berdasarkan permasalahan tersebut ada 2 tujuan utama penelitian yang dilakukan yaitu (1) mempelajari model hubungan yang optimal antara *Forest Canopy Density* dan *Crown Area Index* (2) menentukan variasi kerapatan tegakan (*Stand Density*) hutan rawa gambut melalui variasi nilai *Crown Area Index*.

Kawasan hutan yang telah mengalami gangguan sebagai akibat dari kegiatan pembalakan (*logging*), alih fungsi hutan, kebakaran hutan dan kegiatan lainnya menyebabkan terjadinya fragmentasi hutan dan degradasi hutan. Fenomena tersebut berdampak langsung terhadap penurunan kualitas dan kuantitas tegakan hutannya. Untuk mempelajari kondisi hutan yang demikian diperlukan suatu metode evaluasi yang lebih dinamis dan efisien melalui kajian penginderaan jauh satelit yang terintegrasi dengan kajian teristerial.

Dalam sistem penginderaan jauh, perubahan struktur dan komposisi vegetasi hutan terdeteksi oleh sensor satelit sebagai perubahan pada respon spektral kerapatan vegetasi, terutama pada spektrum tampak (*visible*), spektrum inframerah dekat (*Near Infrared*) dan spektrum inframerah tengah (*Middle Infrared*). Struktur penutupan tajuk vegetasi hijau yang rapat akan menghasilkan respon spektral yang rendah pada spektrum tampak (terutama pada saluran merah) karena tingginya serapan oleh pigmen daun (*klorofil*), dan sebaliknya memberikan respon spektral yang tinggi pada spektrum inframerah dekat (De Carolis dan Amodeo, 1977), (Hoffer, 1978) dan (Nemani *et al.*, 1993).

Permasalahan mendasar yang dihadapi dalam sistem penginderaan jauh satelit yang mengandalkan aspek spektral untuk mengkaji vegetasi hutan terutama terletak pada kesalahan-kesalahan yang diakibatkan oleh kejenuhan penyerapan pada saluran merah pada kondisi vegetasi yang sangat rapat. Sebaliknya saluran inframerah dekat tetap memberikan peningkatan pantulan sesuai dengan kondisi kerapatan vegetasinya (Micheal *et al.*, 2004) dan (Liang, 2004). Kelemahan hasil klasifikasi berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan model NDVI dan yang sejenis adalah belum optimalnya hasil klasifikasi hutan terutama disebabkan oleh distribusi arah daun dan warna daun (Bouman, 1992).

Permasalahan tersebut dapat diatasi secara maksimal melalui model FCD yang dikembangkan menggunakan integrasi empat algoritma, yaitu *Advanced Vegetation Index* (AVI), *Baresoil Index* (BI), *Shadow Index* (SI) dan *Temperature Index* (TI). Pada kawasan hutan yang memiliki pohon-pohon yang tinggi dan rapat, akan menyebabkan nilai AVI dan SI yang tinggi, sebaliknya akan terjadi nilai yang rendah untuk BI dan TI. Demikian juga pada kawasan hutan yang sudah

terbuka dimana kondisi pohon-pohonnya yang relatif jarang akan menyebabkan meningkatnya nilai BI dan TI serta menurunnya nilai AVI dan SI (Rikimaru dan Miyatake, 1996), (Roy *et al*, 1997).

Indeks vegetasi seperti RVI, NDVI, SAVI dan lain-lain umumnya memberikan respon spektral yang relatif sama terhadap tipe penutupan vegetasi seperti hutan, belukar, dan semak- semak yang rapat, sehingga sulit untuk dibedakan. Kelemahan tersebut dapat diatasi dengan membuat kluster bayangan kerapatan struktur tajuk pohon melalui analisis *Scaled Shadow Index* (SSI) menggunakan integrasi nilai bayangan tajuk dan nilai suhu pada masing-masing piksel. Pada kawasan hutan yang terdiri dari pohon-pohon dengan strata tajuk yang rapat akan memberikan nilai bayangan tajuk (SI) yang tinggi. Konsekuensinya adalah menurunnya nilai spektral tanah terbuka dan nilai temperatur (TI) pada kawasan tersebut. Keadaan yang demikian akan menghasilkan nilai SSI yang tinggi. Fenomena sebaliknya juga akan terjadi bilamana kawasan hutan tersebut memiliki struktur kerapatan tajuk tegakan yang jarang, sehingga nilai spektral tanah dan nilai spektral suhu akan meningkat, dan hal ini menyebabkan nilai SSI menurun.

Jika variasi nilai SSI diintegrasikan dengan variasi nilai kerapatan vegetasi *Vegetation Density* (VD), maka penentuan dan klasifikasi kerapatan tajuk hutan mampu dibedakan secara maksimal menggunakan model FCD, sehingga dimungkinkan untuk melakukan pendugaan yang lebih baik terhadap variasi kerapatan tegakan hutan yang menyusun kawasan hutan tersebut. (Wang dan Jarvis, 1990) dalam (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, sehingga tajuk merupakan parameter penentu dalam aspek pertumbuhan dan kesehatan vegetasi hutan.

Untuk memahami hubungan yang terjadi antara kenampakan hutan yang dikaji dan dianalisis melalui karakteristik spektral model FCD citra Landsat 7 ETM dengan kondisi aktual hutan di lapangan, maka keterkaitan yang paling utama adalah antara nilai spektral kerapatan tajuk hutan model FCD Citra Satelit dengan nilai indeks luas tajuk hutan (*Crown Area Index* atau CAI) yang diukur di lapangan. Dalam hal ini nilai CAI digunakan sebagai dasar untuk menggambarkan hubungan aktual dengan kondisi kerapatan tegakan (jumlah tegakan per ha). Berdasarkan uraian sebelumnya, dapat dikemukakan 2 hipotesis penelitian, yaitu (1) kajian spektral Citra 7 ETM yang dilakukan melalui integrasi indeks biofisik model FCD akan menghasilkan model klasifikasi hutan rawa gambut yang lebih optimal, (2) hasil klasifikasi kerapatan tajuk model FCD citra satelit memiliki hubungan yang selaras dengan fenomena kerapatan tegakan hutan.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dikembangkan dalam penelitian meliputi 3 tahap kegiatan utama yaitu, (1) melakukan analisis citra satelit untuk membuat model *Forest Canopy Density* (FCD), (2) melakukan survei lapangan dan analisis vegetasi hutan rawa gambut (3) mengembangkan model hubungan yang terbaik antara model FCD dengan CAI untuk model estimasi kerapatan tegakan hutan. Citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah Citra Landsat 7 ETM+ Path/Row 118/062 hasil perekaman tanggal 30 Juli 2006, dan foto udara digital hasil pemotretan tanggal 16 Juli 2004. Seluruh proses dan analisis citra penginderaan jauh menggunakan program *Forest Canopy Density Mapper* (FCD) versi 1.5, program ENVI versi 4.4 dan program Arc View versi 3.3.

Koreksi radiometrik Citra Landsat 7 ETM akibat dari gangguan awan dan bayangan awan (*cloud and clou shadow*), gangguan atmosfer (*atmospheric noise*) menggunakan transformasi dan *filtering*. Selanjutnya koreksi geometrik dilakukan menggunakan Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) untuk menyesuaikan dan membetulkan posisi citra satelit agar sesuai dengan posisi sebenarnya di lapangan.

Setelah semua citra penginderaan jauh dikoreksi, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis spektral citra satelit untuk menentukan variasi dan distribusi kerapatan vegetasi hutan rawa gambut melalui algoritma yang dikembangkan oleh (Rikimaru dan Miyatake, 1996).

$$- \text{Advanced Vegetation Index (AVI)} = ((B4+1) \times (256-B3) \times B43)^{1/3} \quad (1)$$

$$- \text{Baresoil Index (BI)} = ((B5+B3)-(B4+B1) / (B5+B3) + (B4+B1)) \times 100 + 100 \quad (2)$$

$$- \text{Shadow Index (SI)} = ((256-B1) \times (256-B2) \times (256-B3))^{1/3} \quad (3)$$

$$- \text{Temperature Index (TI)} \text{ dari } L = L \text{ min} + ((L \text{ max}-L \text{ min})/255) \times Q \quad (4)$$

dimana B1 adalah saluran biru (Blue), B2 adalah saluran hijau (Green), B3 adalah saluran merah (Red), B4 adalah saluran inframerah dekat (NIR), B5 adalah saluran inframerah tengah (MIR), L adalah nilai radian inframerah thermal, dan Q adalah nilai digital Citra satelit antara 0 – 255.

Untuk menentukan variasi kerapatan vegetasi (*Vegetation Density* atau VD) hutan rawa gambut dilakukan dengan mengintegrasikan antara nilai AVI dan BI melalui Principle Component Analysis (PCA) tahap 1, dan untuk menentukan klasifikasi struktur hutannya dikembangkan model *Scaled Shadow Index* (SSI) melalui integrasi PCA tahap 2 antara nilai SI dan TI. Selanjutnya untuk menentukan kerapatan tajuk model FCD dilakukan dengan mengintegrasikan nilai VD dan SSI melalui PCA tahap 3 menggunakan formulasi berikut

$$- \text{FCD} = (\text{VD} \times \text{SSI} + 1)^{1/2} - 1 \quad (5)$$

Hasil integrasi antara nilai VD dan SSI akan menghasilkan model komposisi dan struktur penutupan lahan seperti pada Tabel 1.

Kegiatan selanjutnya adalah melakukan survei lapangan untuk mengukur, mengamati dan menghitung nilai kuantitatif vegetasi hutan rawa berdasarkan peta kerapatan tajuk hutan model FCD Citra Landsat 7 ETM dengan tahapan kegiatan sebagai berikut :

1. Pada masing-masing kelompok hutan tersebut selanjutnya dibuat 5 kelas berdasarkan kerapatan tajuk hutan model FCD Citra Landsat dengan selang nilai FCD 1 – 20%, FCD 21 – 40%, FCD 41 – 60%, FCD 61 – 80% dan FCD >80%. Dengan demikian terdapat 15 unit satuan hutan rawa gambut.
2. Pada masing-masing unit satuan hutan rawa gambut tersebut dilakukan pengamatan dan pengukuran hutan dengan membuat petak ukur (PU) sejumlah 90 buah dengan ukuran 250 m² untuk tegakan hutan yang berdiameter antara 10 – 60 cm.
3. Pada setiap PU dilakukan pengukuran dan pencatatan jenis vegetasi, diameter batang, tinggi pohon, diameter tajuk, kerapatan tajuk tegakan dan hal lain yang berhubungan dengan penelitian.

Untuk menggambarkan kondisi struktur dan komposisi tegakan hutan, pada setiap anak petak ukur (PU) dilakukan analisis vegetasi sebagai berikut (Dombois dan Ellenberg, 1974).

$$\text{- Kerapatan (btg/ha)} = \frac{\text{Jumlah Individu Suatu Jenis}}{\text{Luas Seluruh PU}} \quad (6)$$

Untuk menghitung indeks luas tajuk (*Crown Area Index* atau CAI) digunakan persamaan berikut:

$$\text{- CAI} = \frac{\text{TLA}}{\text{Luas PU}} \quad (7)$$

Dimana TLA adalah nilai total luas tajuk hutan per PU (m²/m²)

Untuk menentukan analisis hubungan antara nilai kerapatan tajuk model FCD Citra Landsat dan nilai CAI digunakan persamaan regresi linier sederhana (Sudjana, 2001)

$$\text{- } Y = b_0 + b_1 X \quad (8)$$

Berdasarkan hasil analisis varians di atas, jika F hitung ($S^2_{\text{reg}} / S^2_{\text{sis}}$) < F tabel, maka terima H_0 ; artinya regresi yang dihasilkan tidak berarti, demikian juga sebaliknya jika $S^2_{\text{reg}} / S^2_{\text{sis}} > F$ tabel, maka tolak H_0 ; artinya regresi yang dihasilkan berarti. Selanjutnya jika pada taraf nyata tertentu F hitung ($S^2_{\text{TC}} / S^2_{\text{G}}$) < dari F tabel, maka terima H_0 ; artinya bentuk regresi linear. Jika $S^2_{\text{TC}} / S^2_{\text{G}} > F$ tabel, maka tolak H_0 ; artinya bentuk regresi bersifat non linear.

Pengujian hipotesis koefisien regresi menggunakan uji statistik t :

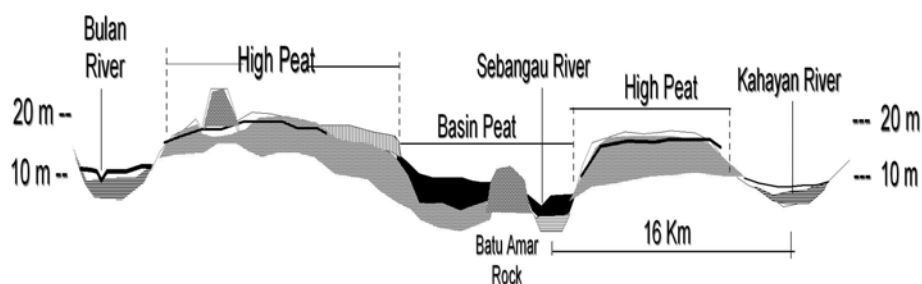
$$\text{Untuk intersep : } t = (\alpha - \alpha_0) / S_a \quad (9)$$

$$\text{Untuk koefisien arah regresi : } t = (\beta - \beta_0) / S_b \quad (10)$$

Dari beberapa tahap hasil uji statistika, dilakukan evaluasi untuk menilai tingkat kecocokan suatu model regresi menggunakan kriteria sebagai berikut:

1. Model regresi yang digunakan mempunyai nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi diantara model lainnya.
2. Model regresi yang digunakan berpengaruh nyata pada taraf uji 95 % berdasarkan hasil uji varian dan hasil uji t.

Secara geografis lokasi penelitian terletak antara $113^{\circ} 45'$ – $114^{\circ} 15'$ Bujur Timur (BT) dan $02^{\circ} 15'$ – $02^{\circ} 45'$ Lintang Selatan (LS). Menurut Administrasi Pemerintahan Propinsi Kalimantan Tengah, bagian Utara lokasi penelitian termasuk dalam wilayah Kodya Palangkaraya, dan bagian Selatan lokasi penelitian termasuk dalam Wilayah Kabupaten Pulang Pisau dengan luas ± 200.000 ha. Topografi lokasi penelitian secara umum datar dengan kelerengannya antara 0 – 2 %. Ketinggian tempat lokasi penelitian berkisar antara 5 – 50 m di atas permukaan laut (RePPProT, 1985). Berdasarkan Peta Geologi Kalimantan Tengah Lembar Palangkaraya Skala 1 : 250.000 tahun 1995 jenis tanah yang umumnya terdapat pada lokasi penelitian adalah Organosol, Aluvial dan Podsol.



Gambar 1. Profil Melintang (*Cross Section*) Lahan Rawa Gambut antara SungaiKahayan, Sungai Sebangau dan Sungai Bulan Kalimantan Tengah (Sieffermann *et al.*, 1993 dalam Hirakawa dan Kurashige, 2000)

(Takahashi, *et al.*, 2003) dan (Boehm, *et al.*, 2006) menunjukkan bahwa tingkat fluktuasi permukaan air tanah pada kawasan hutan rawa yang telah terbuka dapat mengalami penurunan lebih dari 150 cm pada musim kemarau. (Page *et al.*, 1999) menunjukkan bahwa kedalaman air tanah pada hutan rawa gambut kawasan Sebangau yang memiliki penutupan vegetasi hutan yang masih baik secara umum berkisar antara 24 cm – 39 cm. Kondisi iklim pada hutan rawa gambut Sub Das Sebangau Kalimantan Tengah, bertipe iklim A menurut klasifikasi iklim Schmidt dan Ferguson dengan nilai $Q = 13,32$ % dengan rata-rata curah hujan bulanan sebesar 173.96 mm.

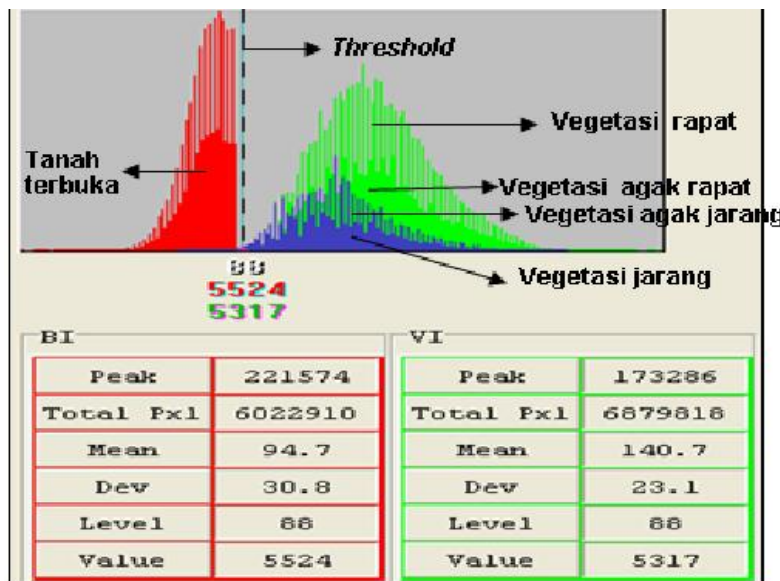
HASIL DAN PEMBAHASAN

Restorasi Citra Satelit

Restorasi citra satelit secara umum dilakukan melalui tahapan koreksi geometrik dan koreksi radiometrik citra. Perbaikan posisi citra satelit dilakukan melalui titik referensi Peta Rupa Bumi Indonesia wilayah Kalimantan Tengah, maupun citra satelit lain yang sudah terkoreksi dengan baik. Dengan demikian posisi kawasan penelitian pada citra satelit dikategorikan sesuai dengan posisi di lapangan berdasarkan datum *World Geodetic System* (WGS 84). Perbaikan nilai spektral yang disebabkan oleh gangguan awan dan bayangan awan serta gangguan atmosfer lainnya dilakukan melalui pemotongan yang dilanjutkan dengan proses normalisasi data menggunakan model perentangan kontras (*stretching*), sehingga didapatkan nilai baru data digital citra satelit antara 0 – 255.

1. Model Analisis Spektral Kerapatan Vegetasi (*Vegetation Density*)

Analisis kerapatan vegetasi merupakan langkah awal dalam model FCD citra satelit yang dikembangkan oleh (Rikimaru dan Miyatake 1996) berdasarkan keterkaitan nilai indeks vegetasi (*vegetation index* atau VI) dan nilai indeks tanah (*baresoil index* atau BI). Hasil analisis pemodelan antara indeks vegetasi (AVI, NDVI, ANVI) dan indeks tanah (BI) melalui *principle component analysis* (PCA) menunjukkan bahwa penggabungan indeks vegetasi dan indeks tanah menghasilkan determinasi kerapatan vegetasi seperti pada Gambar 3. Hasil analisis secara umum menghasilkan lahan terbuka (merah), lahan agak terbuka dari vegetasi (biru), lahan yang bervegetasi cukup rapat (biru-hijau) dan lahan yang bervegetasi rapat (hijau) dengan kadar hubungan berkisar antara 25 – 50%. Hal ini berarti bahwa penerapan AVI, NDVI maupun ANVI perlu lebih ditingkatkan untuk mempelajari fenomena perbedaan kerapatan vegetasi hutan rawa gambut.



Gambar 2. Kurva Hasil Analisis Kerapatan Vegetasi Hutan Rawa Gambut menggunakan *Principle Component Analysis* antara Indeks Vegetasi dan Indeks Tanah Data Spektral Citra Landsat 7 ETM.

2. Model Analisis Spektral Kerapatan Tajuk Hutan (*Forest Canopy Density*)

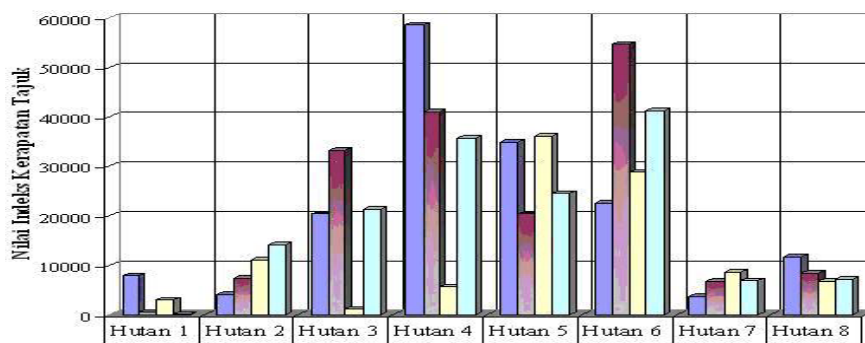
Hasil Analisis menunjukkan bahwa hubungan antara SI dan TI bersifat negatif dengan nilai korelasi -0,765. Hal ini menjelaskan bahwa semakin tinggi nilai bayangan tajuk vegetasi akan semakin kecil nilai suhunya. Sebaliknya hubungan antara BI dan TI bersifat positif dengan nilai korelasi 0.592. Dengan demikian semakin tinggi nilai indeks tanah semakin tinggi nilai indeks suhunya. Melalui integrasi antara indeks suhu (TI) dan indeks bayangan tajuk (SI) dihasilkan algoritma *Advanced Shadow Index* (ASI) yang berfungsi untuk menentukan perbedaan kerapatan vegetasi yang memiliki tajuk atas (*vegetation in the canopy*) dan vegetasi yang memiliki tajuk dekat permukaan tanah (*vegetation on the ground*) yang dikembangkan berdasarkan model *Scaled Shadow Index* (SSI)

Hasil analisis secara terpadu terhadap nilai indeks vegetasi (VI), Indeks tanah (BI), indeks bayangan (SI) dan indek temperatur (TI) data spektral Citra Landsat 7 ETM pada lokasi penelitian hutan rawa gambut Das Sebangau Kalimantan Tengah dapat dikategorikan menjadi 8 kelompok sub sistem hutan yang secara lengkap disajikan pada Tabel 2. Hasil analisis kluster hutan terhadap nilai VI, BI, SI dan TI Citra Landsat 7 ETM menghasilkan 8 model kluster hutan rawa gambut seperti disajikan pada Gambar 3.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Klusterisasi Nilai Spektral Citra Landsat 7 ETM pada Lokasi Penelitian Hutan Rawa Gambut Das Sebangau Kalimantan Tengah

Kelompok vegetasi	Nilai spektral citra landsat 7 ETM +			
	VI	BI	SI	TI
1	74.8	135.6	77.7	200.9
2	66.5	128.8	118.2	205.9
3	90.8	110.1	160.8	195.5
4	75.0	114.3	164.6	193.8
5	70.5	117.5	191.4	195.3
6	87.6	117.6	191.4	195.4
7	127.1	118.3	112.6	205.6
8	140.2	115.7	167.9	200.5

Berdasarkan fenomena pada Gambar 3 dapat dikatakan bahwa kelompok hutan 1, hutan 2, hutan 7 dan hutan 8 merupakan sub sistem hutan rendah yang umumnya didominasi oleh padang rumput, semak dan belukar muda yang sudah banyak mengalami perubahan komposisi maupun struktur hutannya. Sedangkan kelompok hutan 3, hutan 4, hutan 5 dan hutan 6 dapat dikategorikan sebagai sub sistem hutan tinggi yang umumnya didominasi oleh kawasan hutan sekunder yang masih memiliki komposisi dan struktur hutan yang masih baik dan alamiah.



Gambar 3. Model Grafik Kluster Kerapatan Tajuk Hutan Rawa Gambut Das Sebangau Kalimantan Tengah

Untuk mengetahui konsistensi model FCD Citra Landsat 7 ETM yang digunakan dalam penelitian ini, selanjutnya dilakukan pengujian terhadap nilai *Vegetation Density* (VD) dan *Scale d Shadow Index* (SSI). Hasil pengujian menunjukkan bahwa integrasi nilai VD dan nilai SSI Citra Landsat 7 ETM menghasilkan konsistensi terhadap nilai FCD. Dengan demikian hasil analisis ini sesuai dengan yang telah dikembangkan oleh (ITTO/JOFCA, 2003). Hasil pengujian nilai FCD secara lengkap disajikan pada Tabel 3. Model integrasi antara nilai VD dan nilai SSI mengacu pada formulasi yang dikembangkan oleh (Rikimaru dan Miyatake, 1996) dan (Roy *et al*, 1997).

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 3 dapat dijelaskan bahwa faktor utama yang paling berpengaruh terhadap nilai kerapatan tajuk hutan (FCD) adalah nilai SSI. Terlihat bahwa walaupun nilai kerapatan vegetasi (VD) tinggi (91-100%) tetapi nilai SSI rendah (0%), maka nilai FCD cenderung rendah (0%). Hal ini berarti bahwa penentuan kawasan hutan yang memiliki perbedaan dalam hal kerapatan tegakannya dapat dibedakan secara optimal melalui integrasi nilai SSI dan nilai VD data spektral Citra Landsat 7 ETM.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Integrasi Nilai *Vegetation Density* (VD) dan *Scaled Shadow Index* (SSI) terhadap Nilai *Forest Canopy Density* (FCD) Citra Landsat 7 ETM pada Hutan Rawa Gambut Das Sebangau Kalimantan Tengah

VD (%)	SSI (%)	FCD (%)	VD (%)	SSI (%)	FCD (%)	VD (%)	SSI (%)	FCD (%)
1-10	11-20	1-10	31-40	11-20	21-30	71-80	11-20	21-30
1-10	21-30	11-20	31-40	11-20	21-30	71-80	21-30	31-40
1-10	31-40	21-30	31-40	71-80	51-60	71-80	31-40	41-50
1-10	41-50	31-40	31-40	21-30	21-30	71-80	41-50	51-60
1-10	51-60	41-50	31-40	21-40	21-40	71-90	0	0
1-10	61-70	51-60	31-40	61-70	51-60	71-90	31-50	51-60
1-10	71-80	61-70	41-50	0	0	71-90	11-20	31-40
1-10	81-90	71-80	41-50	11-20	21-30	71-90	21-40	41-50
11-20	11-20	11-20	41-50	71-80	61-80	71-90	31-40	51-60
11-20	21-30	11-40	41-50	81-90	51-60	71-90	81-90	81-90
11-20	31-40	21-40	51-60	41-60	51-60	81-90	0	0
11-20	51-60	31-50	61-70	11-20	31-40	81-90	41-50	61-70
11-20	61-70	31-40	61-70	81-90	71-80	81-90	71-80	71-80
21-30	11-20	11-20	61-80	11-20	21-30	81-90	81-90	81-90
21-30	31-40	21-30	61-80	1-10	1-20	91-100	0	0
21-30	61-70	41-50	61-80	21-40	41-50	91-100	11-20	41-50
21-30	71-80	51-60	71-80	0	0	91-100	21-30	41-50
21-30	81-90	51-60	71-80	1-10	11-20	91-100	81-90	81-90

Hasil analisis model FCD Citra Landsat 7 ETM, identifikasi dan Interpretasi foto udara serta hasil pengukuran dan pengamatan lapangan terhadap hutan rawa gambut Das Sebangau Kalimantan Tengah secara detil disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Identifikasi dan interpretasi Peta Kerapatan Tajuk Hutan pada Areal Penelitian Hutan Rawa

No.	Nilai FCD	Penutupan lahan	Luas (ha)	Luas (%)
1	0 - 20 %	Umumnya merupakan areal terbuka, padang rumput, semak dan belukar muda yang jarang	14.645,79	7,17
2	21 – 40 %	Campuran semak dan hutan belukar muda yang agak rapat	10.515,87	5,15
3	41 – 60 %	Campuran semak dan hutan belukar muda yang cukup rapat	49.393,17	24,19
4	61 – 80 %	Campuran hutan belukar muda dan hutan belukar tua yang rapat	118.075,32	57,82
5	> 80%	Hutan belukar tua yang rapat	11.564,64	5,66
Luas Total			204.194,79	100,00

4. Analisis Regresi Korelasi Model FCD dan Model CAI

Untuk mengetahui kondisi kerapatan tegakan hutan rawa gambut adalah melalui model hubungan terbaik antara kerapatan tajuk model FCD Citra Landsat 7 ETM dan indeks luas tajuk (*crown area index* atau CAI) Selanjutnya berdasarkan kadar hubungan antara model FCD dan model CAI dilakukan secara bertahap analisis regresi korelasi antara model CAI dengan nilai kerapatan tegakan (*Stand Density* atau SD) hutan rawa gambut. Hasil analisis pada Tabel 5 menunjukkan rekapitulasi nilai rata-rata antara kelas FCD, CAI dan SD.

Tabel 5. Rekapitulasi Nilai Rata-rata FCD, CAI, dan SD untuk Pohon berdiameter 10–50 cm pada Lokasi Contoh Penelitian Hutan Rawa Gambut Das Sebangau Kalimantan Tengah

No.	Kelas FCD	Nilai Rata-rata	
		Indeks Luas Tajuk (m ² /ha)	Kerapatan (pohon/ha)
1	1 – 20%	1,15	145,56
2	21 – 40%	1,19	156,25
3	41 – 60%	1,73	209,50
4	61 – 80%	2,55	280,65
5	81 – 100%	4,49	447,75

a. Analisis Regresi Korelasi antara Model FCD Citra Landsat dan Indeks Luas Tajuk (*Crown Area Index*) Hutan Rawa Gambut

Hasil analisis korelasi pada Tabel 6 menunjukkan bahwa hubungan antara nilai FCD Citra Landsat 7 ETM dengan nilai indeks luas tajuk hutan (CAI) secara umum memiliki nilai korelasi yang tinggi baik untuk hasil analisis linier, analisis polinomial pangkat-2, maupun hasil analisis polinomial pangkat-3. Namun demikian terlihat bahwa nilai standar eror (SE) pada hasil analisis linier dan hasil analisis polinomial pangkat 3 lebih besar dibandingkan dengan hasil analisis polinomial pangkat 2.

Walaupun hasil analisis varian pada Tabel 6 menunjukkan pengaruh yang signifikan pada taraf uji 1%, tetapi hasil uji t pada Tabel 7 juga menunjukkan bahwa nilai signifikansi yang dihasilkan melalui analisis polinomial pangkat-3 lebih besar dari 5%. Berdasarkan pertimbangan tersebut dapat disimpulkan bahwa model regresi korelasi yang terbaik antara FCD dan CAI adalah model polinomial pangkat 2, karena hasil uji t menunjukkan perbedaan yang signifikan pada taraf uji 1%. Dengan demikian maka bentuk persamaan regresi yang terbaik adalah sebagai berikut:

$$Y = 42,244 X - 4,897 X^2 - 7,504 \tag{11}$$

Tabel 6.Rekapitulasi Hasil Analisis Regresi-Korelasi antara Kerapatan Tajuk Model FCD Citra Landsat 7 ETM dan Indeks Luas Tajuk(*Crown Area Index*) Hutan Rawa Gambut Das Sebangau Kalimantan Tengah

Model analisis	R	SE	Uraian	JKT	df	KT	F	Sig.
Linier	0,82	13,73	Regresi	18237,8	1	18237,8	96,7	0,00
			Residual	9048,4	48	188,5		
			Total	27286,1	49			
Polinomial pangkat-2	0,87	11,96	Regresi	20559,3	2	10279,6	71,8	0,00
			Residual	6726,8	47	143,124		
			Total	27286,1	49			
Polinomial Pangkat-3	0,87	12,05	Regresi	20601,8	3	6867,3	47,26	0,00
			Residual	6684,2	46	145,3		
			Total	27286,1	49			

Tabel 7. Rekapitulasi Nilai Koefisien Regresi dan Hasil Uji t antara Model FCD Citra Landsat 7 ETM dan Indeks Luas Tajuk (*Crown Area Index*) Hutan Rawa Gambut Das Sebangau Kalimantan Tengah

Model analisis	Variabel	Koefisien regresi	Standar eror	Nilai uji t	Sig.
Linier	X ¹	14,820	9,836	9,836	0,000
	Konstanta	21,132	5,457	5,457	0,000
Polinomial pangkat 2	X ¹	42,244	6,935	6,092	0,000
	X ²	-4,897	1,216	-4,027	0,000
Polinomial pangkat 3	Konstanta	-7,504	7,870	-0,953	0,045
	X ¹	32,760	18,862	1,737	0,089
	X ²	-0,699	7,850	-0,089	0,929
	X ³	-0,526	0,971	-0,541	0,591
	Konstanta	-1,533	13,586	-0,113	0,911

Hasil analisis melalui model polinomial pangkat-2 menghasilkan nilai korelasi (R) sebesar 0,868 dan nilai koefisien determinasi (R²) sebesar 0,753. Hal dapat dijelaskan bahwa besarnya kadar hubungan yang terjadi antara variasi kerapatan tajuk yang dikaji melalui nilai spektral Citra Landsat 7 ETM dan variasi nilai kerapatan tajuk yang secara faktual diukur dilapangan hanya sebesar 75,3%. Sebagai konsekuensinya adalah bahwa jika aplikasi model persamaan (11) digunakan dalam menduga variasi kerapatan tajuk hutan secara faktual, maka nilai kecermatan dugaan maksimal adalah 75,30%

b. Analisis Regresi Korelasi antara Indeks Luas Tajuk (CAI) dan Kerapatan Tegakan Hutan Rawa Gambut

Untuk mengetahui variasi sebaran kerapatan tegakan hutan rawa gambut pada masing-masing kelompok kerapatan tajuk hutan, dalam penelitian ini dikembangkan analisis regresi korelasi menggunakan parameter indeks luas tajuk (CAI) hutan. Hasil analisis pada Tabel 8 menunjukkan bahwa nilai korelasi antara CAI dan kerapatan tegakan sebesar 0,974 untuk analisis linier, sebesar 0,982 untuk analisis polinomial pangkat 2 dan sebesar 0,986 untuk analisis polinomial pangkat 3.

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Analisis Varians antara Indeks Luas Tajuk (m²/ha) dan Kerapatan Tegakan (pohon/ha) Hutan Rawa Gambut Das Sebangau Kalimantan Tengah

Model Analisis	R	SE	Uraian	JKT	df	KT	F	Sig.
Linier	0,97	24,82	Regresi	643533,6	1	643533,6	894,9	0,00
			Residual	34516,4	48	719,1		
			Total	678050,0	49			
Polinomial Pangkat-2	0,98	22,62	Regresi	65004,90	2	327002,4	639,2	0,00
			Residual	24045,1	47	511,598		
			Total	678050,0	49			
Polinomial Pangkat-3	0,99	20,18	Regresi	659314,8	3	219771,6	539,6	0,00
			Residual	18735,2	46	407,287		
			Total	678050,0	49			

Hasil analisis varian pada Tabel 8 juga memperlihatkan bahwa perbedaan kerapatan tajuk memberikan pengaruh yang sangat signifikan pada taraf uji 1% terhadap variasi kerapatan tegakan hutan khususnya untuk tegakan tingkat tiang dan pohon yang berdiameter antara 10 – 60 cm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kerapatan tegakan pada hutan rawa gambut memberikan pengaruh yang sangat signifikan dalam menentukan variasi spektral kerapatan tajuk hutan dalam model FCD Citra Landsat 7 ETM.

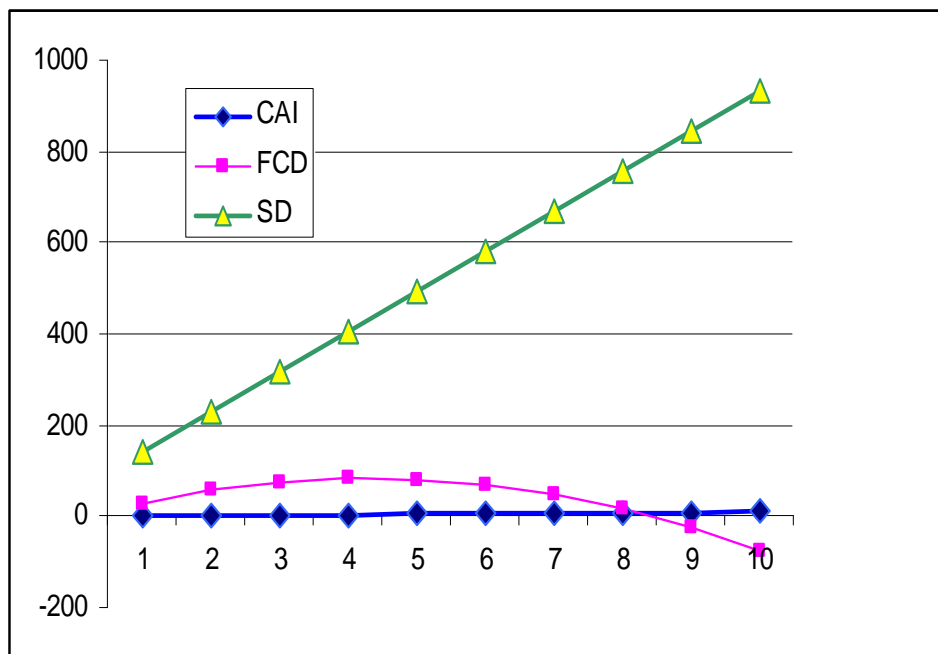
Tabel 9. Rekapitulasi Nilai Koefisien Regresi dan Hasil Uji t antara Indeks Luas Tajuk (*Crown Area Index*) dan Kerapatan Tegakan pada Hutan Rawa Gambut Das Sebangau Kalimantan Tengah

Model Analisis	Variabel	Koefisien	Standar eror	Uji t	Sig.
Linier	X ¹	88,034	2,943	29,915	0,000
	Konstanta	52,234	7,563	6,906	0,000
Polinomial pangkat 2	X ¹	146,276	13,111	11,157	0,000
	X ²	-10,399	2,299	-4,524	0,000
	Konstanta	-8,584	14,880	-0,577	0,567
Polinomial pangkat 3	X ¹	40,368	31,578	1,278	0,208
	X ²	36,472	13,142	2,775	0,008
	X ³	-5,869	1,625	-3,611	0,001
	Konstanta	58,098	22,745	2,554	0,014

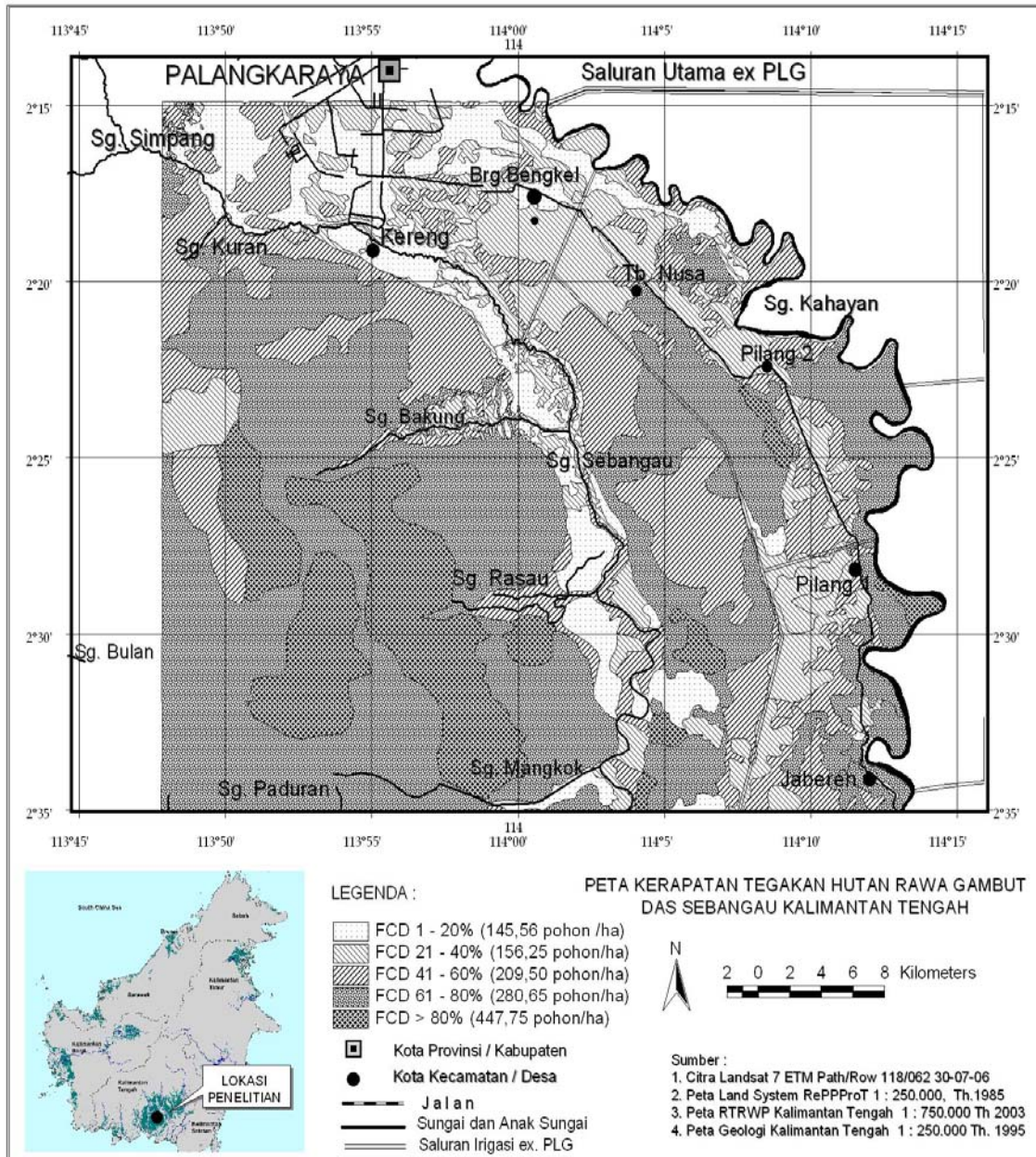
Hasil uji t pada Tabel 9 menunjukkan bahwa model regresi yang lebih representatif dalam menggambarkan hubungan antara indeks luas tajuk dan kerapatan tegakan adalah model persamaan linier pada taraf uji < 1%. Sedangkan hasil analisis model polinomial pangkat-2 memiliki nilai signifikansi > 5% dan model polinomial pangkat-3 memiliki nilai signifikansi > 2%. Dengan demikian maka pilihan model persamaan terbaik adalah model linier dengan persamaan sebagai berikut:

$$Y = 88,034 X + 52,234 \tag{12}$$

Hasil analisis menggunakan model persamaan (11) dan persamaan (12) menunjukkan bahwa hubungan antara kerapatan tajuk model FCD Citra Landsat 7 ETM, indeks luas tajuk (CAI) dan kerapatan tegakan (SD) hasil pengukuran di lapangan memiliki model persamaan yang paling optimal berada pada nilai CAI = 5 m² per ha, nilai FCD = 81,29% dan nilai SD = 492,40 pohon per ha seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Model Grafik Hubungan CAI, FCD dan SD



Gambar 5. Peta Kerapatan Tegakan Hutan Rawa Gambut Das Sebangau Kalimantan Tengah

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Hasil integrasi antara model *Vegetation Density* dan model *Scaled Shadow Index* data spektral Citra Landsat 7 ETM menunjukkan hasil klasifikasi kerapatan tajuk hutan (*Forest Canopy Density*) yang maksimal dalam menggambarkan struktur kerapatan tajuk hutan rawa gambut secara faktual.
2. Hasil analisis regresi korelasi menunjukkan bahwa antara kerapatan tajuk hutan model FCD Citra Landsat 7 ETM dan indeks luas tajuk hutan (*Crown Area Index*).memiliki model hubungan yang bersifat *non-linear* dengan nilai korelasi sebesar 0,87. Hal ini berarti bahwa luas tajuk hutan rawa gambut pada lokasi penelitian dapat dikaji melalui model FCD Citra Landsat 7 ETM dengan nilai validitas $\pm 75\%$.
3. Model hubungan antara indeks luas tajuk hutan dan kerapatan tegakan pada hutan rawa gambut bersifat linear dengan nilai korelasi 0,95. Hal ini berarti bahwa pendugaan kerapatan tegakan melalui model FCD Citra Landsat dapat dilakukan dengan baik.
4. Model hubungan matematis yang paling optimal antara FCD, CAI dan SD berada pada nilai CAI = 5 m² per ha, nilai FCD = 81,29% dan nilai SD = 492,40 pohon per ha.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini merupakan bagian dari hasil penelitian disertasi yang berjudul "Kajian Spektral Citra Satelit untuk Model Keragaman Floristik Hutan Rawa Gambut Das Sebangau Provinsi Kalimantan Tengah". Ucapan terima kasih disampaikan dengan hormat kepada Dr. Hartono, DESS. DEA., Prof. Dr. Ir. Hasanu Simon, Prof. Dr. Dulbahri selaku Tim Promotor dan Drs. Projo Danoedoro, MSc.,PhD. selaku Pengelola Program Studi Penginderaan Jauh Fakultas Geografi UGM yang telah banyak memberikan arahan dan bimbingan dalam penulisan disertasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Boehm, H.D.V. , Siegert, F. and Liews, S.C. 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.
- Boehm, H.D.V., Jauhiainen J. and Limin S., 2006. Peat Land Topography derived from 30m resolution SRTM-X-SAR satellite images for Sebangau catchments and Kahayan area, Kalamangan, Central Kalimantan. Paper on

International Symposium on Nature and Land Management of Tropical Peat land in South East Asia in Bogor, Indonesia. 20.–21. September 2006.

Bouman, B. A. M., 1992. Accuracy of Estimating The Leaf Area Index From Vegetation Indices Derived from Crop Reflectance Characteristics, a Simulation Study. *International Journal of Remote Sensing Vol 13, No, 16 pp. 3069 – 3084.*

De Carolis, C. and Amodeo, P. 1976. Basic Problems in Reflectance and Emittance Properties of Vegetation pp 69–79. In *Remote Sensing Applications in Agriculture and Hydrology 1980*. Rotterdam.

Doruska, P.F. and Mays J.E. 1998. Crown Profile Modeling of Loblolly Pine by Nonparametric Regression Analysis. *Forest Science Vol. 44 No.3. The Society of American Forester. pp 445 - 453.*

Hirakawa, K dan Kurashige, 2000. Preliminary Study of Landforms along the Kahayan River and the Uppermost Area of the Sebangau River with Special Reference to the Tropical Peat Formation. Annual Report 1999-2000 Environmental Conservation and Land Use Management of Wetland Ecosystem in Southeast Asia.

Hoffer, R.M. 1978. Biological and Physical Considerations in Applying Computer Aided Analysis Techniques to Remote Sensor Data. pp 227 – 289. In: *The Quantitative Approach*, McGraw-Hill International Book Company New York.

ITTO / JOFCA, 2003. FCD Mapper Versi-2 User Guide, International Tropical Timber Organization and Japan Overseas Forestry Consultants Association.

Liang, S., 2004. *Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces*. John Wiley and Sons, Canada.

Micheal, A. W., Hall, R.J., Coops, N.C., Franklin, S.E. 2004. High Spatial Resolution Remotely Sensed Data for Ecosystem Characterization. *Bioscience Vol. 54, Iss 6; Washington, pg 511, 11 p*

- Mueller, D. and Ellenberg, H, 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. John Wiley & Sons, New York.
- Nemani, R. L., Pierce, L. S., Running, and Band, L., 1993. Forest Ecosystem Processes at the Watershed Scale: Sensitivity to Remotely-sensed Leaf Area Index estimates. *International Journal of Remote Sensing Vol. 14, No. 13, pp 2519-2534*.
- Page, S.E., Rieley, J.O., Shoty, O.W., Weiss, D., 1999. Interdependence OG Peat and Vegetation in a Tropical Peat Swamp Forest. *Biological Sciences Vol 34 No. 1391pp 1885 – 1897*.
- Purevdorj, Ts. Tateishi, R., Ishiyama, T., Honda, Y. 1998. Relationships between Percent Vegetation Cover and Vegetation Indices. *International Journal of Remote Sensing Vole 19 No. 18. pp 3519 – 3535*.
- Rikimaru, A. 1996. *LANDSAT TM Data Processing Guide for Forest Canopy Density Mapping and Monitoring Model pp 1 – 8*. ITTO Workshop on Utilization of Remote Sensing in Site Assessment and Planting of Logged-over Forest. Bangkok.
- Rikimaru, A and 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*.
- Rikimaru, A., Miyatake, S., Dugan, P. 1999. Sky is the Limit for Forest Management Tool. ITTO Tropical Forest Update.
- Roy P.S., Rikimaru, A., Miyatake, S. 1997. Biophysical Spectral Response Modeling Approach for Forest Density Stratification. *Proceeding of the 18th Asian Conference on Remote Sensing, pp JSB 1– 6. Kuala Lumpur, Malaysia*.
- RePPPProT, 1985. *Laporan Tinjauan Hasil Studi Tahap I Kalimantan Tengah*. Direktorat Bina Program Direktorat Jenderal Penyiapan Pemukiman Departeman Transmigrasi, Jakarta.

- Shimada, S., Takahahi, H., Limin, S., 2002. Prediction of the Hydro period and Phonology a Peat Swamp Forest in Central Kalimantan using MODIS Data. *Proceeding of the International Symposium on Land Management and Biodiversity in Southeast Asia*. Research Centre for Biology, the Indonesia Institute of Sciences, Bogor, Indonesia.
- Sudjana, 2001. *Teknis Analisis Regresi dan Korelasi bagi Para Peneliti*. Tarsito, Bandung.
- Takahashi, H., Usup, A., Hayasaka, H., and Limin S., 2003, Estimation of Ground Water Level in a Peat Swamp Forest as an Index of Peat/Forest Fire. In: *Proceedings of the International Symposium on Land Management and Biodiversity in Southeast Asia* held at Bali, Indonesia, 17–20 September 2002, pp. 311–314.
- Wardoyo, 2002. *Kondisi Hutan*. Makalah Seminar Peranan Pengginderaan Jauh dan SIG dalam Bidang Kehutanan. Balai Pemantapan Kawasan Hutan Wilayah V Kalimantan Tengah dan Selatan, Banjarbaru. 18 hal
- Whitmore, T.C. 1985. *Tropical Rain Forest of the Far ast. Second Edition*. Oxford University Press.