Jurnal Manajemen Hutan Tropika Vol. IX No. 1 : 1-16 (2003) Artikel (*Article*)

EVALUASI KERUSAKAN TEGAKAN TINGGAL AKIBAT PEMANENAN MENGGUNAKAN LANDSAT 7 ETM+ DI HPH PT SRI BUANA DUMAI PROVINSI RIAU

Evaluating Logged Over Stand Using Landsat 7 ETM+ in Sri Buana Dumai Co. Ltd. Concession Area, Riau Province

SUSILAWATI[1] dan I NENGAH SURATI JAYA[2]

ABSTRACT

This paper describes the use of Landsat 7 ETM+ for evaluating logged over stand condition. The digital classification and spatial analysis were performed to identity degree of stand damage and their spatial distribution. The study found that Landsat 7 ETM+ images were powerful to identify logged over stand damage having Kappa and overall accuracies more than 99%, as well as interclass separability more than 1900 (good). There is also a spatial relationship between the stand damage and distance from the logging road.

PENDAHULUAN

Latar belakang

Sejak awal tahun 1970-an, hutan alam produksi di luar Pulau Jawa telah dieksploitasi secara besar-besaran. Ketidaktersediaan informasi handal yang sangat diperlukan dalam pengelolaan hutan merupakan salah satu penyebab laju kerusakan hutan tidak dapat dikendalikan. Kegiatan pengusahaan hutan sampai saat ini sebagian besar masih berorientasi kepada eksploitasi kayu. Kegiatan pemanenan kayu yang meliputi kegiatan penebangan pohon, penyaradan dan pengangkutan secara simultan merupakan faktor penyebab kerusakan tegakan tinggal (Gilmour, 1977). Ada suatu indikasi bahwa tingkat kerusakan tegakan tinggal mempunyai hubungan spasial dengan intensitas pembukaan wilayah, dan jarak dari jalan angkutan. Pada jaman "informasi paska industri", ketersediaan teknologi penginderaan jauh memberikan peluang yang sangat besar dalam menyediakan data/informasi yang handal guna evaluasi kerusakan tegakan. Salah satu citra beresoluasi spasial dan spektral tinggi yang diuji pada penelitian ini adalah Citra Landsat ETM7+.

Secara konvensional, sebaran spasial setiap tingkat kerusakan hutan terhadap jalan angkutan akibat pemanenan dapat diketahui melalui survei lapang sehingga secara langsung dapat melihat kondisi hutannya ini. Namun kegiatan survei lapangan ini

---

[1] Alumni Fakultas Kehutanan IPB, Jurusan Manajemen Hutan
[2] Staf pengajar dan peneliti pada Lab. Inventarisasi Sumberdaya Hutan, Fakultas Kehutanan IPB, Kampus Darmaga P.O. Box. 168 Bogor (e-mail: suratijaya@yahoo.com)

memerlukan waktu, tenaga kerja dan biaya yang tidak kecil. Mengingat laju eksploitasi hutan yang sangat cepat maka data yang dibutuhkan harus berupa data yang "*timely*" cepat, akurat dan efisien.

Hipotesa dalam penelitian ini adalah bahwa tingkat kerusakan tegakan tinggal merupakan fungsi dari jarak jalan angkutan terhadap tebangan. Semakin dekat jarak tegakan dari jalan sarad maka kerusakan semakin tinggi dan biomassa tumbuhan yang ada semakin menurun. Variasi biomasa akibat penebangan, kadar air daun dan khlorofil dari vegetasi pohon dan lantai hutan memungkinkan untuk dapat dideteksi menggunakan band-band dari citra satelit komersial yang ada. Selanjutnya tingkat kerusakan tegakan kemungkinan dapat dideteksi dan diidentifikasi melalui citra satelit menggunakan band-band yang tersedia.

Tujuan

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk

- Mengetahui kemampuan citra satelit Landasat ETM+7 dalam rangka mengevaluasi kerusakan tegakan tinggal akibat kegiatan pemanenan kayu.
- Mengetahui sebaran spasial setiap tingkat kerusakan hutan terhadap jalan angkutan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan tempat penelitian

Lokasi

Penelitian dilakukan di areal HPH PT Sri Buana Dumai Provinsi Riau. Pemeriksaan lapangan selama 1 bulan mulai tanggal 28 Agustus 2001 hingga 30 September 2001. Pengolahan dan analisis data dilakukan di Laboratorium Inventarisasi Sumberdaya Hutan Jurusan Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor, mulai bulan Oktober 2001 sampai dengan bulan Juni 2002.

Data, software dan hardware

Data utama yang diperlukan dalam penelitian ini adalah citra satelit Landsat 7 ETM+ *Path/Row* 127/059 liputan tanggal 26 April 2000. Data pendukung lainnya terdiri dari Peta Rupa Bumi skala 1 : 50.000, Peta Topografi, Peta Vegetasi, Peta Kerja HPH (RKT / RKL), Laporan Hasil Cruising (LHC) dan Laporan Hasil Produksi (LHP) untuk tebangan tahun yang sama yaitu tahun 1995, 1996, 1997, 1999, 2000 dan 2001.

Peralatan yang digunakan adalah seperangkat komputer pribadi (*Personal Computer*) dengan perangkat lunak (*software*) ER Mapper, Arc-Info dan Arc-View. Untuk kegiatan pemeriksaan lapangan digunakan *Global Positioning System* (GPS), kompas, kamera, *Haga hypsometer*, *Phi Band*, tali tambang, parang, *tally sheet* dan alat-alat tulis.

Metode penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam 3 tahap kegiatan yaitu : (1) Pengumpulan data penunjang dan Pengumpulan data lapangan; (2) Analisis digital; dan (3) Evaluasi hasil klasifikasi.

Pengumpulan data penunjang dan data lapangan

Pengumpulan data penunjang dimaksudkan untuk mempermudah langkah kerja penelitian, pengumpulan data lapangan dilaksanakan pada areal bekas tebangan yang dikelompokkan berdasarkan kelas lama waktu setelah penebangan (KLWSP). Kelompok yang diambil terbagi menjadi KLWSP 1 tahun, 2 tahun, 3 tahun, 4 tahun dan 5 tahun. Pada masing-masing KLWSP yang dimaksud dilakukan pengambilan data di sekitar jalan angkutan (jalan utama) dengan radius 0,5 km, 1 km dan > 1 km, masing-masing dilakukan dengan 2 kali ulangan.

Pada masing-masing lokasi yang dimaksud dibuat satu plot contoh. Ukuran plot contoh yang digunakan adalah 20 m x 20 m (tingkat pohon), 10 m x 10 m (tingkat tiang), 5 m x 5 m (tingkat pancang) dan 2 m x 2 m (tingkat semai). Peubah yang diukur adalah jumlah semai dan pancang yang ditemukan, diameter setinggi dada (Dbh), tinggi total, tinggi bebas cabang serta catatan kondisi tiang/pohon untuk tingkat tiang dan pohon.

Untuk menaksir derajat kerusakan pohon, digunakan kriteria Departemen Kehutanan (1993). Pohon dianggap rusak apabila mengalami salah satu atau lebih keadaan berikut:

- Tajuk pohon rusak diatas 30 % atau cabang pohon atau dahan besar patah.
- Luka batang diatas ¼ keliling batang dengan panjang lebih dari 1,5 m.

Selanjutnya besarnya tingkat kerusakan tegakan tinggal dan akibat kegiatan penebangan dan penyaradan dan kriterianya digunakan rumus berikut ini (Elias, 1998):

$$K = R / (P - Q) \times 100\ \%$$

dimana

K = prosentase kerusakan tegakan tinggal;
R = jumlah pohon berdiameter 20 cm up yang rusak;
P = jumlah pohon berdiameter 20 cm up sebelum penebangan; dan
Q = jumlah pohon yang ditebang.

Adapun kriteria kerusakan tegakan berdasarkan prosentase kerusakan tegakan tinggal adalah sebagai berikut :

- Tegakan tinggal disebut rusak ringan jika kerusakan < 25 %
- Tegakan tinggal disebut rusak sedang jika kerusakan antara 25 - 50 %
- Tegakan tinggal disebut rusak berat jika kerusakan >50 %

Analisis digital

Pemotongan citra (*Cropping*)

Pemotongan citra (*cropping*) dilakukan pada areal penelitian agar pengamatan terfokus pada areal tersebut.

Perbaikan citra (*Image Enhancement*)

Guna mendapatkan informasi tentang jaringan jalan angkutan dan sarad yang telah ada maka dilakukan penajaman citra menggunakan *High Pass Filtering* dengan ukuran template adalah 3 x 3 dan 5 x 5. Untuk tujuan visual perentangan histogram (*Histogram Stretching*) juga dilakukan. Penentuan citra komposit dilakukan menggunakan nilai Faktor Indeks Optimum (*Optimum Index Factor* / OIF).

Klasifikasi citra (*Image Classification*)

Setiap tingkat kerusakan tegakan yang dapat diidentifikasi diambil contoh pikselnya sebagai dasar pembuatan areal contoh (*training area*). Dari hasil klasifikasi tersebut, luas masing-masing tingkat kerusakan hutan ditentukan. Kelas-kelas yang dibuat pada citra ada 8 kelas yaitu: Hutan rusak berat (HRB), hutan rusak sedang (HRS), hutan rusak ringan (HRR), hutan kerapatan sedang (KS), pemukiman/tanah kosong (PMK/TK), air, awan dan bayangan awan (BA).

Evaluasi hasil klasifikasi

Evaluasi separabilitas

Evaluasi separabilitas digunakan untuk menguji keterpisahan antar kelas dalam suatu kombinasi band. Metode yang digunakan adalah *Transformed Divergence* (TD) karena metode ini memberikan estimasi terbaik untuk pemisahan kelas dan pengukuran estimasi (Jaya, 1997).

Kriteria keterpisahan nilai transformasi divergensi adalah sebagai berikut :

Nilai Transformasi Divergensi (TDij)	Kriteria Keterpisahan
2000	Sangat baik (*Excellent*)
1900 - < 2000	Baik (*Good*)
1800 - < 1900	Cukup baik (*Fair*)
1600 - < 1800	Kurang baik (*Poor*)
< 1600	Buruk (*Inseparable*)

Sumber : Jaya, 1997.

Evaluasi akurasi

Untuk menguji hasil klasifikasi spektral citra satelit terhadap uji lapangan digunakan matrik konfusi (*confusion matrix*). Pada uji ini piksel terklasifikasi, tidak termasuk daerah contoh, dibandingkan dengan lokasi yang sama pada uji lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemeriksaan lapangan

Kerapatan tegakan tinggal

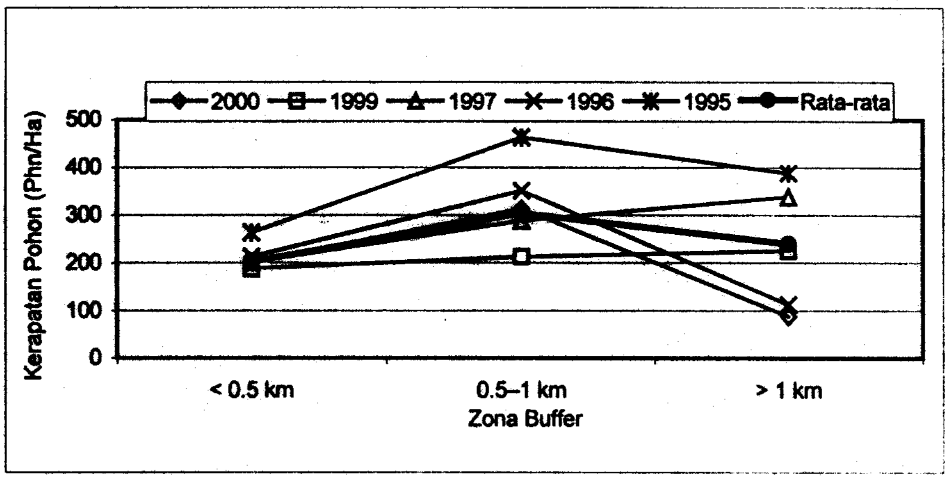
Tingkat pohon

Berdasarkan tahun tebang, kerapatan tegakan cenderung meningkat dengan semakin lamanya waktu setelah penebangan. Besarnya kerapatan pohon tersebut secara berurutan dari yang terbesar adalah areal tebangan tahun 1996 sebesar 279,2 phn/ha, tahun 1995 sebesar 279 phn/ha, tahun 1997 sebesar 275 phn/ha, tahun 1999 sebesar 208,3 phn/ha dan terakhir tahun 2000 sebesar 200 phn/ha. Hal seperti ini terjadi karena semakin lama jangka waktu penebangan maka kerapatan pohonnya semakin besar sebagai akibat dari tumbuh dan berkembangnya tegakan-tegakan yang ditinggalkan pada saat penebangan menjadi pohon.

Kerapatan tingkat pohon yang ditemukan di lapangan dapat dilihat dalam Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Kerapatan pohon pada berbagai zona buffer dan tahun tebang

Tahun Tebang	Kerapatan Pohon (Phn/Ha)			
	< 0,5 km	0,5–1 km	> 1 km	Rata-rata
2000	200,0	312,5	87,5	200,0
1999	187,5	212,5	225,0	208,5
1997	200,0	287,5	337,5	275,0
1996	212,5	350,0	112,5	279,5
1995	262,5	462,5	387,5	279,0
Rata-rata	202,5	302,5	240,0	



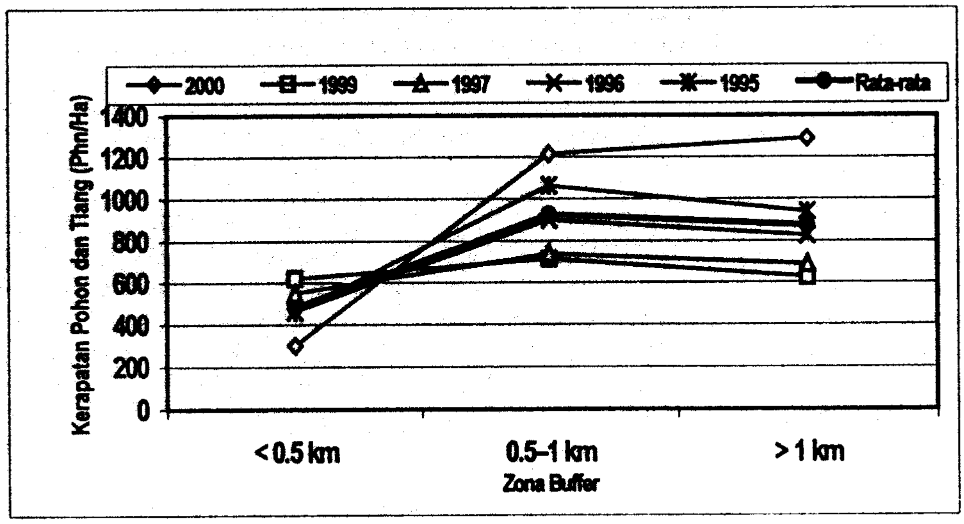
Gambar 1. Grafik kerapatan pohon rata-rata per hektar pada berbagai zona buffer dan tahun tebang.

Kerapatan pohon dan tiang

Tiang merupakan jenis permudaan yang diharapkan dapat tumbuh menjadi pohon sehingga berguna sebagai stok tegakan di masa yang akan datang. Oleh karena itu keberadaan tiang didalam suatu areal hutan merupakan komponen penting bagi pembentukan tegakan di masa yang akan datang. Kerapatan tingkat pohon dan tiang pada areal yang diteliti secara rinci disajikan dalam Tabel 2 dan Gambar 2.

Tabel 2. Kerapatan pohon dan tiang pada berbagai zona buffer dan tahun tebang

Tahun Tebang	Kerapatan Pohon dan Tiang(Phn/Ha)			
	< 0,5 km	0,5–1 km	> 1 km	Rata-rata
2000	300,0	1.212,5	1.287,5	933,3
1999	637,5	712,5	625,0	658,3
1997	550,0	737,5	687,5	658,3
1996	462,5	900,0	825,0	729,2
1995	462,5	1.062,5	937,5	820,8
Rata-rata	482,5	925,0	872,5	



Gambar 2. Grafik kerapatan pohon dan tiang total rata-rata per hektar pada berbagai zona buffer dan tahun tebang.

Untuk kondisi tiang dan pohon (gabungan) terlihat adanya kecenderungan semakin meningkatnya kerapatan tegakan dengan semakin jauhnya jarak dari jalan angkutan. Peningkatan yang tajam tampak secara jelas pada tahun tebang 2000. Pada tahun-tahun lainnya, kerapatan pohon dan tiang pada zona buffer 0,5 – 1 km dan > 1 km adalah relatif sama. Kerapatan tertinggi ada di zona buffer > 1 km, sedangkan kerapatan terendah ada di zona buffer < 0,5 km. Hal demikian bisa terjadi karena beberapa alasan, yaitu (1) dilihat dari kerapatan awalnya, masing-masing areal memiliki kerapatan yang berbeda sebelum dilakukan penebangan, (2) letak areal yang makin dekat dengan jalan memiliki kerapatan yang lebih rendah karena penebangan yang dilakukan lebih besar daripada areal yang letaknya lebih jauh untuk dijadikan sebagai TPn.

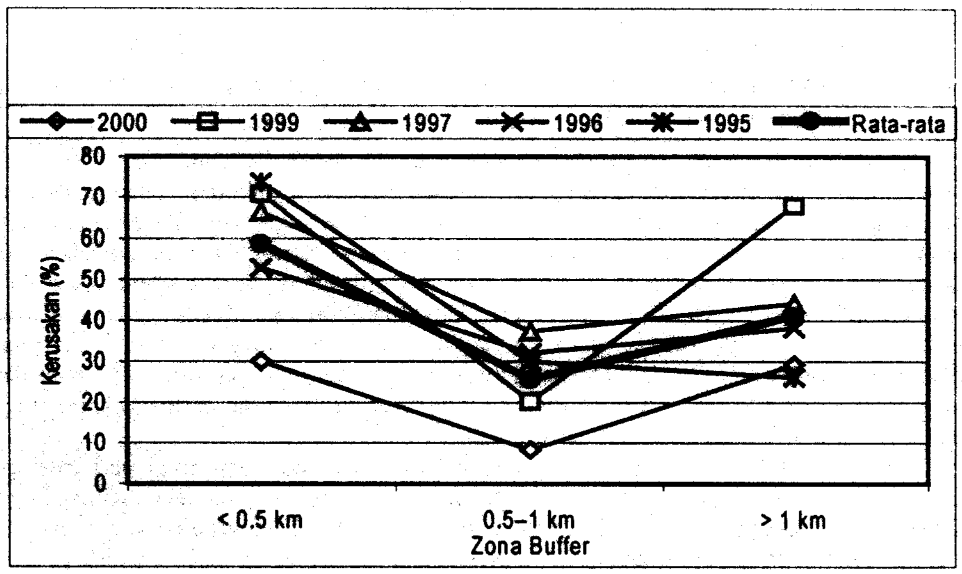
Ditinjau dari kerapatan pohon dan tiang rata-rata keseluruhan areal dari masing-masing tahun tebang, diketahui bahwa kerapatan terbesar terdapat pada tahun tebang 2000 disusul kemudian dengan tahun tebang 1995, 1996, 1997 dan 1999 yang besarnya masing-masing 933,3 phn/ha, 820,8 phn/ha, 729,2 phn/ha dan 658,3 phn/ha. Secara umum terlihat bahwa semakin lama waktu setelah penebangan kerapatan tegakan semakin tinggi. Hal ini terjadi karena tegakan yang ditinggalkan pada waktu penebangan dilakukan telah berkembang menjadi pohon dan tiang. Ditinjau dari masing-masing zona buffer maka zona buffer 0,5 – 1 km memiliki kerapatan terbesar, diikuti zona buffer > 1 km dan < 0,5 km masing-masing sebesar 925 phn/ha, 872,5 phn/ha dan 482,5 phn/ha.

<u>Kerusakan tegakan tinggal</u>

Kerusakan tegakan tinggal umumnya timbul akibat kegiatan penebangan pohon-pohon di sekelilingnya. Tipe kerusakan pohon yang ditemukan meliputi kerusakan patah batang, patah dahan, kulit mengelupas > 1/3 batang, tajuk rusak, patah pucuk dan batang retak. Hasil evaluasi tingkat kerusakan tegakan akibat penebangan menurut kriteria Elias (1998) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kerusakan tegakan tinggal pada berbagai zona buffer dan tahun tebang.

Tahun Tebang	Kerusakan Tegakan Tinggal (%)			
	< 0,5 km	0,5–1 km	> 1 km	Rata-rata
2000	30,0	8,3	29,2	22,5
1999	70,8	20,2	67,9	52,9
1997	66,4	37,3	44,2	49,3
1996	52,8	32,1	38,1	41,0
1995	73,6	29,9	26,1	43,2
Rata-rata	58,7	25,6	41,1	



Gambar 3. Grafik kerusakan tegakan tinggal total rata-rata per hektar pada berbagai zona buffer dan tahun tebang.

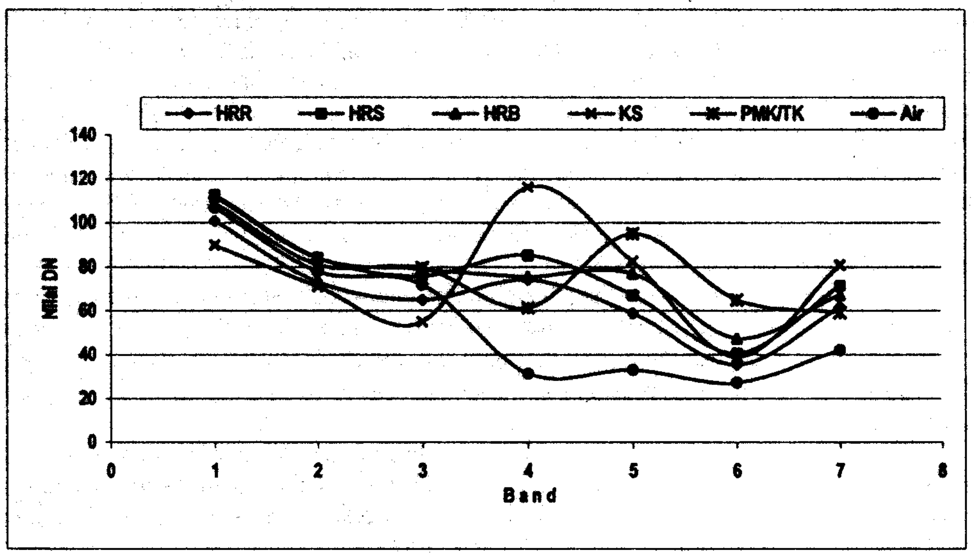
Kerusakan tegakan tinggal tertinggi terjadi di areal bekas tebangan tahun 1999 sebesar 52,955 % diikuti tahun tebang 1997, 1995, 1996 dan 2000 masing-masing sebesar 49,3 %, 43,2 %, 41,0 % dan 22,5 %. Berdasarkan zona buffer, diketahui bahwa tingkat kerusakan tegakan tinggal tertinggi terdapat pada zona buffer < 0,5 km, diikuti oleh zona buffer > 1 km dan terakhir zona buffer 0,5 - 1 km dengan besar masing-masing 58,7 %, 25,6 % dan 41,1 %. Dari sini terlihat bahwa semakin jauh letak zona buffer dari jalan maka kerusakan tegakan tinggal semakin kecil, demikian sebaliknya karena setiap pohon yang ditebang akan disarad menuju TPn di pinggir-pinggir jalan. Peningkatan kerusakan pada zona buffer > 1 km terjadi karena adanya intensitas penebangan yang lebih tinggi yang berasal dari luar perusahaan pengelola. Menurut Siregar (1996), semakin tinggi intensitas penebangan, semakin tinggi pula kerusakan tegakan tinggal yang terjadi.

Tingkat kerusakan tegakan tampaknya berkorelasi dengan kerapatan tegakan (pohon). Hal ini bisa dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Dari kedua gambar tersebut terlihat adanya pola grafik yang saling berlawanan. Pada grafik kerapatan pohon (Gambar 2) pola grafik yang terjadi secara umum berbentuk huruf V terbalik, sedangkan pada grafik kerusakan tegakan (Gambar 3), pola grafiknya berbentuk huruf V. Hal ini berarti bahwa tegakan yang mengalami kerusakan tinggi tingkat kerapatannya rendah dan sebaliknya sebagaimana terjadi pada tahun tebang 2000 dan 1996 serta kerapatan tegakan rata-rata dan tingkat kerusakan tegakan rata-rata.

Klasifikasi dijital

Klasifikasi citra

Jumlah kelas yang dibuat pada citra ada 8 kelas yaitu HRB, HRS, HRR, KS, PMK/TK, Air, Awan dan BA. Klasifikasi didasarkan pada nilai kecerahan (*Brightness Value*/BV atau *Digital Number*/DN) contoh yang diambil dari setiap kelas sebagai area contoh. Karakteristik dari setiap kelas disajikan secara grafis pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik karakteristik reflektansi setiap kelas penutupan hutan dan lahan tanpa kelas Awan dan Bayangan Awan (BA)

Gambar 4 memperlihatkan adanya variasi reflektansi terbesar antar kelas pada band 4 (spektrum inframerah dekat). Variasi terbesar kedua diberikan oleh band 5, selanjutnya diikuti oleh band 7. Hal ini menunjukkan bahwa band 4, 5 dan 7 akan memegang peranan penting dalam klasifikasi penutupan lahan dan hutan. Nilai reflektansi tertinggi pada band 4 adalah Awan diikuti kemudian oleh KS, HRS, HRB, HRR, PMK/TK, BA dan Air. Nilai ini selain dipengaruhi oleh sejumlah biomassa yang ada juga karena kondisi kadar air permukaan tanahnya. Khususnya pada kelas-kelas dengan penutupan tajuk jarang. Penebangan hutan menyebabkan hilangnya sejumlah biomassa tumbuhan. Makin rendah biomassa hutan maka nilai reflektansi pada band inframerah dekat (band 4) makin rendah, sedangkan pada band merah (band 3) makin tinggi, makin rendah kelembaban tanah, reflektansinya baik di daerah band merah maupun inframerah makin tinggi (Jaya, 1997).

Nilai reflektansi vegetasi HRR pada semua band lebih kecil dibandingkan kelas penutupan hutan yang lain (HRB & HRS) karena kondisi hutannya selalu tergenang air yang mempunyai ciri menyerap sinar pada spektrum inframerah, bahkan untuk air dalam dan jernih pada umumnya tidak lagi memantulkan sinar pada panjang gelombang > 0,75 µm (Lillesand dan Kiefer, 1997). Penebangan hutan juga mengakibatkan terjadinya pembukaan tajuk vegetasi sehingga kerapatannya rendah. Nilai pantulan vegetasi dapat dipengaruhi oleh kerapatan tajuk (Lo, 1995). Semakin rapat tajuk maka reflektansinya semakin rendah dan semakin rendah kerapatan tajuk maka reflektansinya semakin tinggi. Hal ini terjadi karena semakin rapat tajuk pohon, cahaya matahari yang masuk ke lantai hutan semakin sedikit sehingga kelembabannya tinggi.

Pada daerah reflektansi sinar tampak, karakteristik reflektansi tiap kelas pada band 3 yang terendah adalah BA disusul kemudian oleh KS, HRR, Air, HRS, HRB, PMK/TK dan Awan. Untuk kelas penutupan vegetasi reflektansi terendah ada pada kelas KS (sebesar 54.992) kemudian HRR, HRS dan HRB masing-masing sebesar 64.918, 75.975 dan 78.885. Sedangkan pada daerah reflektansi sinar tampak yang lain (band 2 dan band 1), kelas penutupan vegetasi yang memiliki nilai reflektansi terendah tetap KS diikuti oleh HRR, HRB dan HRS. Howard (1996) menyatakan bahwa nilai reflektansi pada sinar tampak (band 1, 2 dan 3) dipengaruhi oleh pigmen daun (klorofil). Selanjutnya klorofil akan menyerap energi sangat kuat pada saluran biru (band 1) dan merah (band 3) untuk kegiatan fotosintesis, sedangkan pada saluran hijau (band 2) serapan oleh klorofil lebih sedikit (Lillesand dan Kiefer, 1994).

Radiasi yang diserap dan yang dipantulkan oleh tajuk vegetasi tergantung pada konsentrasi klorofil. Jensen (1986) menyatakan bahwa vegetasi hijau yang sehat umumnya memantulkan 40 % sampai dengan 50 % energi inframerah dekat (0,7 µm sampai 1,1 µm) dan klorofil tanaman menyerap hampir 80 % sampai dengan 90 % energi sinar tampak (0,4 µm sampai 0,7 µm).

Band 8 yang merupakan band dengan spektrum pankromatik menempatkan kelas KS sebagai kelas yang memiliki nilai reflektansi terbesar dibandingkan kelas penutupan vegetasi yang lain, yaitu sebesar 80.803. Selanjutnya diikuti oleh kelas HRS, HRB dan HRR masing-masing sebesar 71.379, 67.173 dan 61.575.

Evaluasi separabilitas

Pada penggunaan satu band, band 8 memiliki nilai rata-rata separabilitas terbesar diantara band-band yang lain, yaitu sebesar 1798,12, menunjukkan nilai keterpisahan yang baik (*fair*). Sedangkan pada kombinasi 2 band, dari 21 kombinasi yang ada, kombinasi band 4-1 merupakan kombinasi terbaik dengan nilai separabilitas sebesar 1980.03 yang terkategori sebagai kombinasi yang sangat baik (*good*).

Untuk kombinasi 3 band, nilai rata-rata separabilitas sebesar 1993,71 menempatkan kombinasi band 5-4-1 sebagai kombinasi terbaik. Disusul kemudian oleh kombinasi band 5-4-3 (sebesar 1993,24), 7-4-2 (sebesar 1992,41) dan 5-4-2 (sebesar 1991,83). Keempat kombinasi ini termasuk kombinasi yang sangat baik (*good*). Untuk kombinasi band 5-4-1, terdapat 23 pasang separabilitas yang sempurna (*excellent*), 4 pasang separabilitas yang sangat baik (*good*) dan 1 pasang separabilitas yang baik (*fair*). Empat pasang yang sangat baik (*good*) tersebut adalah pasangan kelas HRB-HRR (1999,7), HRB-HRS (1999,2), HRB-PMK\TK (1979,8) dan HRS-KS (1999). Sedangkan pasangan yang baik (*fair*) adalah HRR-HRS dengan nilai separabilitas 1846,2.

Hasil klasifikasi menggunakan kombinasi 4 band menempatkan kombinasi band 1-4-5-8 sebagai kombinasi band terbaik dengan nilai rata-rata keterpisahan antar kelasnya 1993,82. Nilai ini sedikit lebih tinggi dibanding nilai separabilitas yang dihasilkan oleh kombinasi 5-4-1. Sedangkan pada kombinasi 5 band, kombinasi band 1-2-4-5-8 merupakan kombinasi band terbaik dari 21 kombinasi yang ada dengan nilai separabilitas sebesar 1997,01. Dari keseluruhan kombinasi band yang dievaluasi, kombinasi seluruh band dan kombinasi band 1-2-3-4-5-8 menempati posisi teratas sebagai kombinasi band terbaik dengan nilai rata-rata separabilitas yang sama, yaitu 1999.29, terkategori sangat baik (*good*). Nilai rata-rata separabilitas tertinggi kedua ditempati oleh kombinasi band 2-3-4-5-8 dan kombinasi band 2-3-4-5-7-8 dengan nilai yang sama pula yaitu 1999,25, juga terkategori sangat baik (*good*).

Untuk 2 kombinasi band terbaik dari seluruh kombinasi yang ada, yaitu kombinasi band 1-2-3-4-5-7-8 dan 1-2-3-4-5-8, hampir seluruh pasangan separabilitas menempati kriteria sempurna (*excellent*) dengan nilai TD 2000, hanya ada 1 pasang separabilitas yang terkategori sangat baik (*good*) dengan nilai TD 1980, yaitu pasangan kelas HRR-HRS. Nilai separabilitas band ini secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 7. Hal seperti ini bisa terjadi karena adanya kesalahan-kesalahan dalam training area, atau kekurangtepatan pemilihan piksel-piksel contoh pada saat *training area.*

Tabel 4. Nilai Separabilitas Antar Kelas Kombinasi Band 1-2-3-4-5-7-8 dan 1-2-3-4-5-8

Kelas	HRR	HRS	Air	BA	Awan	PMK/TK	KS
HRR	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
HRS		1980	2000	2000	2000	2000	2000
Air			2000	2000	2000	2000	2000
BA				2000	2000	2000	2000
Awan					2000	2000	2000
PMK/TK						2000	2000
KS							2000

Dari uraian terdahulu diketahui bahwa penambahan saluran 7 tidak berpengaruh terhadap peningkatan nilai separabilitas antar kelas. Saluran 7 yang merupakan spektrum inframerah pendek dengan panjang gelombang 2,08 – 2,35 μm merupakan spektrum yang berguna dalam pengenalan mineral dan jenis batuan (Lillesand dan Kiefer, 1997). Dengan adanya kenyataan bahwa sebagian besar areal yang diteliti memiliki formasi geologi yang didominasi 90 % bahan organik berupa gambut maka sudah merupakan suatu kewajaran apabila saluran 7 tidak berpengaruh terhadap peningkatan nilai separabilitas.

Evaluasi akurasi

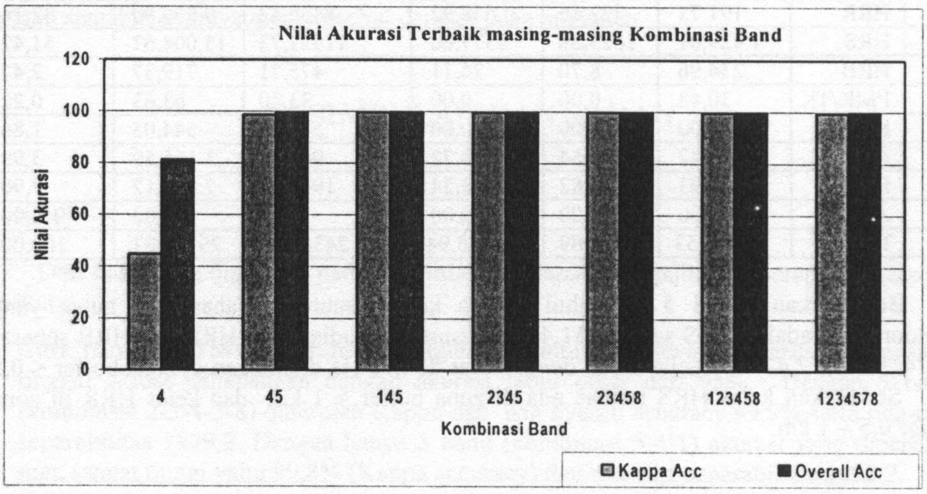
Berdasarkan hasil evaluasi akurasi yang telah dilakukan, kombinasi 5 band yaitu kombinasi band 2-3-4-5-8 menghasilkan ketelitian akurasi tertinggi, ditunjukkan oleh nilai *Kappa Accuracy* dan *Overall Accuracy* masing-masing sebesar 99,9 % dan 99,981 %. Nilai ini lebih tinggi daripada nilai akurasi yang dihasilkan oleh seluruh kombinasi 6 band dan 7 band. Hal ini berarti penambahan band 1 dan/atau band 7 tidak meningkatkan ketelitian. Band 1 yang terletak pada spektrum sinar tampak telah terwakili fungsinya oleh band 2 dan band 3 pada kombinasi band terbaik. Sedangkan band 7 merupakan band yang terletak pada spektrum inframerah pendek berguna dalam pengenalan mineral dan jenis batuan.

Badan Survei Geologi Amerika Serikat (USGS) yang terangkum didalam Lillesand dan Kiefer (1997) menyatakan bahwa ada 2 syarat tingkat ketelitian/akurasi sebagai kriteria utama bagi sistem klasifikasi penutupan lahan, yaitu: (1) tingkat ketelitian klasifikasi/interpretasi minimum dengan menggunakan penginderaan jauh harus tidak kurang dari 85 %, dan (2) ketelitian klasifikasi/interpretasi harus lebih kurang sama untuk beberapa kategori.

Dengan berpedoman pada ketentuan tersebut maka dapat diketahui bahwa hasil ketelitian akurasi seluruh kombinasi 3 band kecuali kombinasi band 1-2-3 adalah tinggi karena nilainya > 85 % untuk *Kappa Accuracy* dan *Overall Accuracy*. Kombinasi band 1-2-3 hanya memiliki ketelitian akurasi sebesar 14,8 % (*Kappa Accuracy*) dan 45,751 (*Overall Accuracy*). Kombinasi 3 band ini muncul sebagai kombinasi dengan nilai akurasi terbaik adalah kombinasi band 5-4-2 dengan nilai *Kappa Accuracy* dan *Overall Accuracy* masing-masing sebesar 99,8 % dan 99,967 %. Nilai ini tidak berbeda jauh dengan nilai akurasi yang dihasilkan oleh kombinasi band 5-4-1 yaitu sebesar 99,8 % untuk *Kappa Accuracy* dan 99.953 untuk *Overall Accuracy*.

Pada kombinasi 2 band, kombinasi band 5-4 menduduki peringkat pertama dalam hal tingkat ketelitian akurasi, yaitu sebesar 98,9 % (*Kappa Accuracy*) dan 99,775 % (*Overall Accuracy*). Dari keseluruhan kombinasi 2 band (sebanyak 21 kombinasi) terdapat 15 kombinasi band yang menurut USGS telah memenuhi syarat yang telah ditetapkan. Sedangkan 6 kombinasi band lainnya tidak memenuhi syarat tersebut dengan nilai akurasi terendah 5,6 % dan 11,343 % untuk *Kappa Accuracy* dan *Overall Accuracy* (dihasilkan oleh kombinasi band 3-1). Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan 2 kombinasi band saja suatu kelas penutupan lahan sudah bisa dianalisa dengan tingkat ketelitian akurasi yang tinggi.

Sedangkan dengan satu band, secara keseluruhan tidak memenuhi syarat yang ditetapkan USGS karena tingkat ketelitian akurasi terbesar (dihasilkan oleh band 4) hanya 45 % untuk *Kappa Accuracy* dan 81.296 untuk *Overall Accuracy*. Jadi dapat dikatakan bahwa 1 band tidak dapat digunakan untuk menganalisa suatu tingkat kerusakan vegetasi dan penutupan lahan.



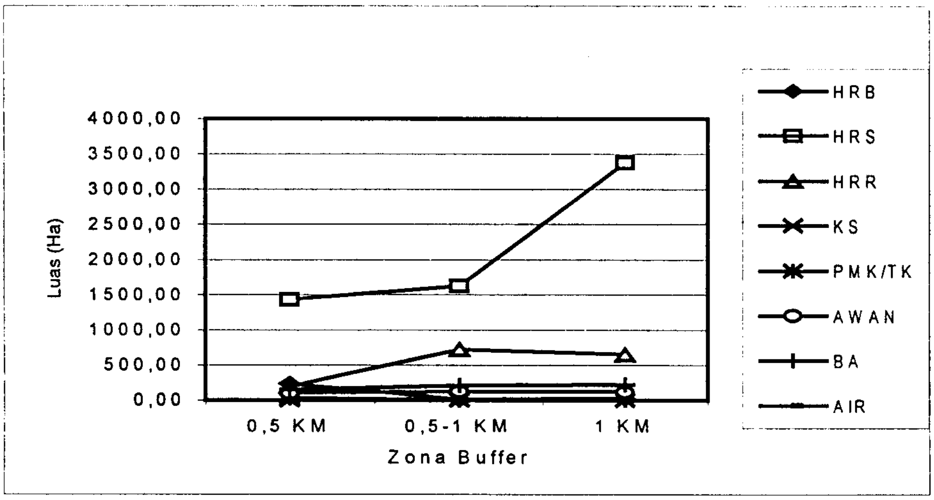
Gambar 5. Grafik nilai akurasi terbaik dari masing-masing kombinasi band.

Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai ketelitian akurasi meningkat tajam pada kombinasi 1 band ke kombinasi 2 band. Sedangkan dari kombinasi 2 band sampai ke kombinasi 7 band (*all band*) tidak terjadi peningkatan ketelitian secara signifikan. Dari seluruh kegiatan evaluasi yang dilakukan maka kombinasi band yang digunakan untuk menganalisa luas masing-masing kelas yang telah dibuat adalah kombinasi band 5-4-1. Kombinasi ini dipilih karena memiliki nilai separabilitas yang tertinggi diantara 3 kombinasi band lainnya dan memiliki nilai *kappa accuracy* yang besarnya sama dengan yang dimiliki oleh kombinasi band dengan nilai OIF tertinggi (kombinasi band 5-4-2) yaitu sebesar 99,8 %. Kombinasi 3 band dipilih karena dengan hanya menggunakan 3 band saja ternyata sudah mampu menganalisa suatu penutupan lahan dengan nilai keakuratan dan keterpisahan antar kelas yang tidak jauh berbeda dengan kombinasi terbaik (6 band), yaitu hanya selisih 5,53 untuk nilai keterpisahan antar kelas. Luas setiap penutupan lahan dan hutan dengan menggunakan kombinasi band 5-4-1 disajikan dalam Tabel 5 dan Gambar 6.

Tabel 5. Luas masing-masing Kelas Menggunakan Kombinasi Band 5-4-1

No	Kelas	Zona Buffer			Areal Non Buffer	Total	Prosentase (%)
		< 0.5 km	0.5-1 km	1-1,5 km			
1	HRR	191,73	722,66	648,92	8465,42	9.379,80	32,14
2	HRS	1.429,01	1623,88	3377,66	11951,73	15.004,62	51,42
3	HRB	234,96	8,70	26,11	475,71	719,37	2,47
4	PMK/TK	30,43	0,00	0,00	33,20	63,63	0,22
5	KS	0,00	0,00	0,00	544,05	544,05	1,86
6	Awan	97,47	121,84	113,72	946,28	1.165,59	3,99
7	BA	150,93	205,82	219,54	1948,42	2.305,17	7,90
8	Air	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	2134,53	2682,89	4385,94	24364,81	29182,23	100,00

Berdasarkan Tabel 5 diketahui bahwa kelas penutupan lahan dan hutan yang mendominasi adalah HRS sebesar 51,42 %, disusul kemudian oleh HRR dan HRB sebesar 32,14 % dan 2,47 %. Kelas HRB dengan luas 234,96 Ha ditemukan di zona buffer < 0,5 km. Sedangkan kelas HRS terluas ada di zona buffer > 1 km dan kelas HRR di zona buffer 0,5 – 1 km.



Gambar 6. Grafik luas masing-masing kelas yang dibuat dengan kombinasi band 5-4-1 pada berbagai zona buffer.

Gambar 7 memperlihatkan pola luas HRS meningkat seiring dengan zona buffer yang makin jauh dengan jalan angkutan. Berbeda dengan kelas HRR yang sedikit menurun pada zona buffer > 1 km dibandingkan zona buffer sebelumnya. Kelas HRB banyak terdapat di zona buffer < 0,5 km (zona buffer yang terdekat dengan jalan angkutan). Kelas

PMK\TK hanya ditemukan di zona buffer ini. Sedangkan untuk kelas KS dan Air tidak ditemukan dalam ketiga zona buffer yang dibuat.

Dengan melihat hasil pengolahan data yang telah dilakukan dapat dikatakan bahwa semakin dekat dengan jalan angkutan tingkat kerusakan hutan semakin berat. Kondisi ini didukung dengan semakin luasnya areal hutan yang mengalami kerusakan ringan seiring dengan semakin jauhnya areal tersebut dengan jalan angkutan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil yang diperoleh pada penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Citra Landsat ETM+ cukup handal digunakan untuk mengevaluasi kerusakan tegakan tinggal akibat penebangan dengan akurasi lebih besar dari 95%. Dengan 5 band (kombinasi 2-3-4-5-8) diperoleh Kappa dan dan overall accuracy 99,9% serta rata-rata separabilitas 1999,2. Dengan hanya 3 band (kombinasi 5-4-1) akurasi yang diperoleh juga sangat tinggi yaitu 99,8% (Kappa accuracy) dan rata-rata separabilitas 1993,7.
2. Hasil evaluasi terhadap keadaan hutan di areal yang diteliti didominasi oleh hutan rusak sedang (51 %) disusul kemudian oleh hutan rusak ringan (32,14 %), hutan rusak berat (2,47 %), kebun sawit (1,86 %) dan tanah kosong (0,22 %), yang luasnya secara berturut-turut 9.379,8 Ha, 15.004,62 Ha, 719,37 Ha, 544,05 Ha dan 63,63 Ha.
3. Areal-areal yang dekat dengan jalan angkutan memiliki tingkat kerusakan yang lebih tinggi dibandingkan dengan areal yang lebih jauh. Hal ini ditunjukkan dengan semakin luasnya kelas HRB di zona buffer < 0,5 km (87,09 %). Luasan ini jauh lebih besar daripada HRB di zona buffer 0,5 – 1 km dan 1 – 1,5 km yang luasnya 3,23 % dan 9,68% dari luas total HRB pada ketiga zona buffer.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang perlu dikaji yaitu :

1. Perlu adanya penelitian lanjutan mengenai tingkat kerusakan tegakan pada berbagai kelas lama waktu setelah penebangan yang lebih jauh lagi, misalnya 5 tahun, 10 tahun, 15 tahun setelah penebangan dan sebagainya.
2. Perlu adanya penelitian lanjutan mengenai tingkat kerusakan tegakan dengan resolusi spasial yang berbeda.
3. Bagi pengusaha hutan yang bersangkutan perlu adanya evaluasi terhadap kondisi hutan di arealnya sehingga dihasilkan suatu kebijakan dalam mengelola hutan yang lebih berorientasi kepada kelestarian dan peningkatan luas areal-areal yang terkategori sebagai hutan rusak ringan.

DAFTAR PUSTAKA

Departemen Kehutanan. 1993. Petunjuk Teknis Tebang Pilih Tanam Indonesia (TPTI) pada Hutan Alam Dataran Rendah. Direktorat Jenderal Pengusahaan Hutan Departemen Kehutanan Republik Indonesia. Jakarta.

Elias. 1998. Forest Harvesting Case Study : *Reduced Impact Timber Harvesting in The Tropical Natural Forest in Indonesia.* FAO. Rome.

Gilmour, D.A. 1977. *Logging Environments, with Particular Reference to Soil and Stream Protection in Tropical Rain Forest Situations.* Guide-lines for Watershed Management. FAO. UN, Rome.

Jaya, I. N. S. 1997. Penginderaan Jauh Satelit untuk Kehutanan. Laboratorium Inventarisasi Hutan Jurusan Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Jensen, J.R. 1986. *Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective.* Department of Geography University of South Carolina. New Jersey.

Lillesand, T. M. dan R. W. Kiefer. 1997. Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra. Penerjemah : Dulbahri, Prapto Suharsono, Hartono dan Suharyadi. Editor : Sutanto. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Lo, C. P. 1995. Penginderaan Jauh Terapan. Penerjemah : Bambang Purowaseso. Pendamping : Sutanto. Universitas Indonesia Press. Jakarta.

Siregar, L.A.M. 1996. Studi Pustaka Kerusakan Hutan Alam Tropika Indonesia Akibat Pemanenan Kayu dengan Sistem Tebang Pilih. Skripsi. Jurusan Teknologi Hasil Hutan Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Sobari, O. 2001. Identifikasi Kelas Potensi Hutan Alam di HPH PT Sri Buana Dumai Provinsi Riau Menggunakan Citra Satelit Landsat 7 ETM+. Skripsi. Jurusan Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Bogor.