

**TEHNIK MENDETEKSI KEBAKARAN HUTAN MELALUI
CITRA SATELIT MULTIWAKTU :
Studi Kasus di Propinsi Sumatera Selatan dan Riau
(*Technique for detecting forest fire using multitemporal satellite
imagery : a case in South Sumatera and Riau Provinces*)**

I NENGAH SURATI JAYA¹⁾, M. IKHWAN²⁾, NURHENDRA²⁾
SOEDARI HARDJOPRAJITNO³⁾

ABSTRACT

This paper describes the techniques for detecting forest and land fire. Of the three change detection techniques evaluated, i.e., post-classification comparison, multitemporal principal component and direct multitemporal classification, the multitemporal principal component, specifically that was derived from variance-covariance matrix (unstandardized principal component) was recognized to be suitable in detecting changes due to forest and land fires. The study found that the delta brightness, delta greenness, stable brightness and stable greenness indices derived from unstandardized multitemporal principal component analysis effectively summarized burnt-forest information. In this study, it was shown that Landsat TM provides information of totally and moderately burnt logged-over forest as well as burnt bush/shrub.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pada akhir abad 20-an ini, kebakaran hutan yang terjadi di Indonesia telah menjadi sorotan dunia baik dari negara tetangga di Asia Tenggara maupun negara-negara Eropa dan Amerika. Seiring dengan banyaknya bantuan dari negara-negara donor untuk mengatasi kebakaran hutan ini, seperti FFMP-JICA (Jepang), GTZ (Jerman), EU (Uni Eropa), USDA Forest Service (Amerika Serikat), pemanfaatan teknologi penginderaan jauh juga semakin meningkat. Hanya saja sumber data penginderaan jauh yang digunakan pada umumnya yang mempunyai resolusi spasial yang rendah untuk mendeteksi lokasi titik-titik api maupun asap. Dalam hal ini citra yang digunakan adalah citra NOAA AVHRR (milik Amerika Serikat) dan GMS (milik Jepang) yang berturut-turut mempunyai resolusi spasial 1 km² dan 5 km x 5 km (*band thermal*). Pemanfaatan citra satelit dengan resolusi spasial halus seperti SPOT dan Landsat Thematic Mapper (TM) secara intensif dalam skala operasional masih jarang dilakukan. Dengan resolusi spasial yang lebih baik serta resolusi spektral yang berbeda diperlukan suatu teknik yang tipikal (khusus).

¹⁾ Staf pengajar dan peneliti pada Lab. Inventarisasi Sumberdaya Hutan, Fakultas Kehutanan IPB, Kampus IPB Darmaga Po. Box. 168 Bogor

²⁾ Alumni Jurusan Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan IPB

³⁾ Staf pengajar dan peneliti pada Lab. Perencanaan Hutan, Fakultas Kehutanan IPB,

Penggunaan citra satelit resolusi spasial tinggi seperti Landsat TM untuk evaluasi kondisi hutan paska kebakaran masih jarang dilakukan. Penggunaannya masih terbatas pada pembuatan peta kelas penutupan hutan umum seperti, hutan primer, hutan bekas tebangan, semak belukar dan tanah kosong. Dalam tulisan ini penulis melakukan evaluasi terhadap beberapa teknik mendeteksi perubahan penutupan hutan dan lahan akibat kebakaran menggunakan citra Landsat TM.

Tujuan penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mencari teknik mendeteksi lokasi serta kondisi hutan paska kebakaran hutan yang efektif, konsisten dan akurat. Tujuan lain yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk menentukan jenis informasi paska kebakaran hutan dan lahan yang dapat diperoleh dari pemanfaatan citra Landsat TM digital.

METODE PENELITIAN

Data citra dan data penunjang

Untuk mencapai tujuan yang diharapkan, dalam penelitian ini digunakan citra Landsat Thematic Mapper (TM) multiwaktu yang direkam pada tanggal 16 Juni 1997 dan 28 Februari 1998 di wilayah Propinsi Riau. Untuk lokasi di Propinsi Sumatera Selatan, citra yang digunakan adalah hasil rekaman tanggal 10 Juli 1997 dan 18 Januari 1998. Citra multiwaktu tersebut berukuran 550 x 800 pixel diharapkan memberikan informasi tentang kondisi penutupan hutan/vegetasi sebelum dan sesudah terjadinya kebakaran hutan dan lahan. Data lain seperti hasil pengecekan lapangan, peta rupa bumi dan peta kerja HPH merupakan data penunjang yang sangat menentukan suksesnya pelaksanaan studi ini.

Perangkat lunak dan perangkat keras

Pengolahan citra digital dilakukan di Laboratorium Penginderaan Jauh Fakultas Kehutanan IPB menggunakan perangkat lunak ILWIS Versi 2.1. for windows yang diinstall pada perangkat keras *personal computer IBM compatible*.

Lokasi studi kasus

Lokasi studi kasus ini dilakukan secara bersamaan di dua lokasi yaitu di Propinsi Riau dan Propinsi Sumatera Selatan.

Lokasi A : Riau

Lokasi penelitian pertama terletak pada koordinat antara 100°45'30" BT dan 100°59'00" BT; dan antara 1°28'15" LU dan 1°38'45" LU, termasuk Kecamatan Tanah Putih, Kabupaten Bengkalis, Riau. Luas areal yang dicakup oleh citra adalah sekitar 16.5 km x 24 km (40.640 Ha).

Lokasi B : Sumatera Selatan

Lokasi penelitian kedua dilakukan di areal HPH PT. Sribunian Trading Coy dan sekitarnya di Kecamatan Pampangan dan Tulung Selatan, Kabupaten Ogan Komering Ilir, Propinsi Sumatera Selatan, yang mencakup luasan sekitar 40.640 Ha (*Quarter-scene*). Secara geografis, lokasi studi ini terletak antara 105°14' dan 105°36' BT; dan antara 2°37' dan 2°55' LS. Secara umum, lokasi studi ini terdiri atas daerah (1) rawa gambut dangkal, (2) dataran pasir banjir bergambut tergenang tetap, (3) rawa gambut dalam dan (4) dataran pasir pada muara sungai.

Metode penelitian

Koreksi geometris dilakukan terhadap citra tahun 1998 baik untuk lokasi Riau maupun Sumatera Selatan dengan kesalahan rata-rata (*Root Mean Squared Error/RMSE*) lebih kecil dari 0.5 pixel. Selanjutnya, citra tahun 1997 diregistrasi dengan citra tahun 1998 yang telah direktifikasi sedemikian rupa, sehingga menghasilkan RMSE lebih rendah dari 0.5 pixel. Dalam penelitian ini, dilakukan evaluasi terhadap tiga metode deteksi sebagaimana diujicobakan oleh Jaya & Kobayashi (1995b), Jaya *et. al.* (1996) dan Jaya (1997) yang meliputi (1) perbandingan paska-klasifikasi/PPK (*Post-Classification Comparison/PCC*), (2) klasifikasi multiwaktu secara langsung/KML (*Direct Multidate Classification/DMC*) dan (3) Analisis Komponen Utama multiwaktu/AKUM (*Multitemporal Principal Component Analysis/MPCA*).

Perbandingan Paska-Klasifikasi/PPK (Post-Classification Comparison/PCC)

Metode ini adalah metode konvensional yang dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi masing-masing citra yang diperoleh dari waktu yang berbeda. Metode klasifikasi yang digunakan dalam klasifikasi masing-masing citra uniwaktu adalah klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dengan metode peluang maksimum (*maximumlikelihood method*). Teknik pemilihan band dilakukan dengan menggunakan analisis separabilitas sebagaimana yang diulas oleh Jaya dan Kobayashi (1995a).

Dalam metode ini, dibuat beberapa kategori yang menggambarkan penutupan lahan pada kondisi waktu perekaman. Masing-masing kategori dibuatkan prototipe-nya melalui pengambilan "*training area*"

Klasifikasi Multiwaktu secara Langsung/KML (Direct Multidate Classification/DMC)

Metode ini adalah metode analisis multiwaktu yang paling sederhana karena dilakukan dengan prosedur yang sama dengan analisis uniwaktu. Hanya saja, klasifikasi ini menggunakan data yang direkam dari waktu yang berbeda sekaligus. Dengan kata lain, dua set data yang direkam pada tahun 1997 dan 1998 diperlakukan sebagai satu set data.

Dalam metode ini, kategori perubahan (*change category*) dibuat secara langsung, dimana setiap kategori menggambarkan satu jenis perubahan penutupan lahan.

Analisis Komponen Utama Multiwaktu /AKUM (Multitemporal Principal Component Analysis/MPCA)

Pada bidang penginderaan jauh, metode ini awalnya dikenal dengan **Transformasi Karhunen-Loeve** yang digunakan untuk berbagai tujuan, seperti untuk mengkodifikasi citra, memampatkan data multispektral, penajaman citra dan untuk deteksi perubahan secara digital. Pada tulisan ini, pemanfaatan transformasi ini dititik beratkan pada deteksi perubahan hutan dan lahan akibat kebakaran melalui evaluasi nilai *eigenvector*-nya.

Pada dasarnya, metode ini adalah teknik statistik peubah ganda (*multivariate statistical technique*) yang sangat berkaitan dengan stuktur internal dari suatu matrik. Analisis ini memecah-mecah suatu matrik menjadi sumbu-sumbu yang orthogonal (saling tegak lurus). Masing-masing sumbu terkait dengan *eigenvalue* dari suatu matrik yang mencerminkan keragaman dari matrik yang bersangkutan. *Eigenvalue* tersebut diurutkan dari nilai yang besar ke nilai yang kecil (*descending order*) yang sekaligus mencerminkan urutan keragaman matrik dari yang besar ke yang kecil. Hasil yang diperoleh dari analisis ini adalah satu set sumbu, dimana kelompok beberapa sumbu pertama mempunyai persentase keragaman yang lebih besar dibandingkan dengan sumbu-sumbu berikutnya.

Deteksi Perubahan dengan Citra Multiwaktu (Change detection with multitemporal imagery)

Pada analisis citra multiwaktu, AKUM dapat menjadi suatu tehnik yang sangat efektif untuk mendeteksi perubahan penutupan lahan sebagaimana yang diperlihatkan oleh penelitian Jaya dan Kobayashi (1996). Pada analisis perubahan menggunakan citra multiwaktu, band-band yang berasal dari dua atau lebih waktu perekaman berbeda diperlakukan sebagai satu set data. Kerangka berfikirnya, nilai-nilai piksel dari tipe penutupan lahan yang berubah dari waktu yang berbeda akan mempunyai korelasi yang sangat rendah, sementara pixel-pixel yang tidak mengalami perubahan akan mempunyai korelasi yang sangat tinggi (bahkan mendekati satu). Pada umumnya, apabila sebagian besar areal tidak mengalami perubahan, piksel-piksel yang tidak mengalami perubahan akan berkumpul pada sumbu pertama atau kedua dan akan terangkum pada sumbu-sumbu berikutnya.

Sebagaimana yang dievaluasi oleh Jaya dan Kobayashi (1996), kriteria perubahan (*changes criteria*) penutupan lahan dikelompokkan menjadi dua, yaitu perubahan kehijauan (*delta greenness*) dan perubahan kecerahan (*delta brightness*). Demikian pula penutupan lahan yang tidak mengalami perubahan (*unchanged land cover*) dikelompokkan atas kestabilan kehijauan (*delta greenness*) dan kestabilan kecerahan (*stable brightness*). Penutupan lahan, baik yang mengalami perubahan maupun yang tidak mengalami perubahan selanjutnya diidentifikasi melalui karakteristik *eigenvector* dari setiap komponen. Ulasan lebih detail tentang tehnik evaluasi dapat dilihat pada studi Jaya dan Kobayashi (1996).

Sistem koordinat yang baru pada metode AKUM dapat dinyatakan dengan persamaan linear dari suatu nilai-nilai piksel yang menghasilkan nilai-nilai piksel pada koordinat baru yang dinyatakan secara matematis sebagai berikut:

$$Y_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n$$

$$Y_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n$$

$$Y_3 = a_{31}X_1 + a_{32}X_2 + \dots + a_{3n}X_n$$

.

.

.

$$Y_n = a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \dots + a_{nn}X_n$$

dimana : $Y_{1,2, \dots, n}$ = koordinat piksel pada sistem koordinat yang baru,
 $a_{11, 12, 13, \dots, nn}$ = konstanta (*eigenvector*),
 $X_{1, 2, 3, \dots, n}$ = koordinat piksel pada sistem koordinat asal dan
 $1, 2, 3, \dots, n$ = jumlah band yang digunakan.

Masing-masing koordinat baru mempunyai orientasi yang selalu tegak lurus dengan sumbu-sumbu yang lain (*orthogonal*). Komponen-komponen hasil transformasi akan mempunyai korelasi yang sangat kecil atau keragaman yang besar. Dengan kata lain, sumbu pertama dibuat sedemikian rupa sehingga diperoleh korelasi yang minimum, sebaliknya mempunyai keragaman data yang tinggi. Dengan persamaan tersebut di atas selanjutnya dibuat citra transformasi yang disebut dengan citra komponen utama (CKU). CKU pertama mempunyai keragaman yang lebih besar dengan CKU ke-2, CKU ke-2 lebih besar dari CKU ke-3 dan seterusnya.

Dalam metode AKUM ini digunakan semua band/saluran reflektif TM yaitu band *visible* (band 1, 2 dan 3), band inframerah dekat (band 4) dan inframerah sedang (band 5 dan 7), sehingga jumlah band yang digunakan adalah 12.

Dari segi komputasi, transformasi dalam Analisis Komponen Utama Multiwaktu (AKUM) ini mencakup tiga tahap, yaitu:

- ✓ Penghitungan matrik ragam-peragam (*variance-covariance*) dan matrik korelasi (*correlation*) menggunakan data mentah citra yang tersedia;
- ✓ Penghitungan *eigenvalue* dan *eigenvector*; dan
- ✓ Pembuatan citra komponen utama.

Komponen utama yang dihitung berdasarkan matrik ragam-peragam disebut dengan **Komponen Utama Multiwaktu Tidak Terstandarisasi** (*unstandardized multitemporal principal component/UMPC*), sementara yang dihitung berdasarkan matrik korelasi disebut dengan **Komponen Utama Multiwaktu Terstandarisasi** (*standardized multitemporal principal component/SMPC*). Oleh karena komponen utama yang dibuat diperoleh dari 12 band (multiwaktu 6 plus 6 atau 12 dimensi), maka metode ini selanjutnya disebut 12-d UMPC dan 12-d SMPC.

Dalam tulisan ini penulis mengevaluasi tingkat akurasi dan konsistensi dari setiap CKU baik yang dihasilkan dari 12-d UMPC maupun 12-d SMPC, khususnya menggunakan komponen utama yang mempunyai ciri khas dan merangkum perubahan lahan yang tercakup oleh data. Dalam studi selanjutnya dilakukan evaluasi apakah 12-d

UMPC dan 12-d SMPC dapat mencirikan adanya perubahan penutupan lahan secara konsisten.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi A : Kecamatan Tanah Putih, Riau

Perbandingan Paska-klasifikasi (Post-classification Comparison)

Berdasarkan hasil evaluasi sebagaimana disajikan pada Tabel 1, meskipun tingkat akurasi yang dihasilkan dari kombinasi band yang lebih banyak (5 dan 6 band) memberikan hasil yang lebih tinggi, peningkatan ketelitian tidak terjadi secara tajam. Sebaliknya penggunaan jumlah band lebih sedikit dari 3, akan menghasilkan akurasi yang kurang memadai (kurang dari 90%). Dari evaluasi akurasi sebagaimana terangkum dalam Tabel 1, penggunaan 3 band, yaitu kombinasi 3-4-5 untuk citra 1997 dan 2-4-7 untuk citra tahun 1998 merupakan kombinasi yang optimal, dengan akurasi 97,22% dan 94,91%.

No.	Kombinasi band untuk Tahun 1997	Akurasi Kappa (%)	Kombinasi band untuk Tahun 1998	Akurasi Kappa (%)
1	3-4	86,92	2-7	91,07
2	3-4-5	97,20	2-4-7	94,91
3	1-2-4-7	99,41	1-2-3-5	97,98
4	1-2-3-4-7	99,49	1-2-3-5-7	99,07
5	1-2-3-4-5-7	99,49	1-2-3-4-5-7	99,07

Klasifikasi citra tahun 1997, akurasi yang dihasilkan dengan kombinasi 2 band (yaitu band 3 & 4) menghasilkan akurasi hanya 86,92%, sementara dengan kombinasi 3 band dapat menghasilkan akurasi 97%. Akurasi dengan kombinasi 4 atau 5 band (1-2-4-7 & 1-2-3-4-7) hanya meningkatkan akurasi sekitar 2,2%. Kecenderungan yang sama juga terjadi pada klasifikasi citra tahun 1998, dimana kombinasi dengan 3 band (yaitu 2-4-7) menghasilkan akurasi yang cukup memadai yaitu 94,9%. Kombinasi dengan 4 atau 5 band hanya meningkatkan akurasi sebesar 3 %.

Baik citra tahun 1997 maupun 1998, akurasi dengan 3 band sebagaimana disebutkan terdahulu mampu membedakan 8 kelas penutupan dengan baik, dengan nilai separabilitas antara 1900 (*good*) s/d 2000 (*excellent*), sebagai berikut :

- Logged over forest/Hutan sekunder
- Perkebunan (sawit, karet, HTI)
- Semak
- Badan air
- Bayangan awan
- Tanah kosong
- Padang rumput/alang-alang
- Belukar
- Awan

Kondisi lapangan dari beberapa penutupan lahan disajikan pada Gambar 1 (a) ~ (c).

Metode Analisis Komponen Utama Multiwaktu (AKUM)

Hasil evaluasi nilai “*eigenvector*” menunjukkan bahwa dari 12 sumbu baru yang dihasilkan dalam transformasi, baik dengan metode 12-d UMPC maupun 12-d SMPC hanya 4 sumbu yang merangkum informasi perubahan maupun tidak adanya perubahan penutupan lahan (Tabel 2). Berdasarkan evaluasi akurasi dan separabilitas dua metode, yaitu 12-d SMPC dan 12-d UMPC diketahui bahwa metode yang terakhir (12 d UMPC) dengan kombinasi PC1-PC2-PC4 (DB-SG-DG) memberikan hasil yang lebih baik, dimana semua kelas perubahan dapat dideteksi dengan baik dengan akurasi (κ) 98,19% dan separabilitas antar kelas (*Transformed Divergence*) lebih besar dari 1900.

Tabel 2. Karakteristik 5 sumbu-sumbu pertama metode 12-d SMPC dan 12-d UMPC

Sumbu	12-d SMPC	12-d UMPC
PC1	<i>delta brightness/DB</i>	<i>delta brightness/DB</i>
PC2	<i>stable greenness/DG</i>	<i>stable greenness/SG</i>
PC3	<i>stable greenness/SG</i>	-
PC4	<i>delta greenness/DG</i>	<i>delta greenness/DG</i>
PC5	<i>stable greenness/SG</i>	<i>stable brightness/SB</i>
Proporsi keragaman	99,8%	96,3%

Keterangan : - PC3 dari 12-d UMPC tidak mempunyai karakteristik khusus

Metode 12-d UMPC mampu merangkum indeks perubahan secara lengkap, yaitu DB, DG, SB dan SG, sementara 12-d SMPC hanya merangkum DB, DG, dan SG.

Metode 12-d SMPC mempunyai kemampuan sedikit lebih rendah, dimana dari seluruh kelas yang diuji, satu pasang kelas mempunyai separabilitas dengan kategori “kurang” (1714) dan satu pasang kelas termasuk kategori “cukup” (1809). κ akurasi yang diperoleh dari kombinasi PC1-PC4-PC5 (DB-DG-SG) adalah 95.04 %. Dengan kata lain, penggunaan matrik ragam-peragam memberikan separabilitas kelas menjadi lebih baik. Proses standarisasi ternyata menghilangkan sebagian informasi pixel-pixel yang menyatakan adanya perubahan penutupan hutan dan lahan.

Metode Klasifikasi Multiwaktu Secara Langsung/KML (Direct Multidate Analysis/DMC)

Pada metode KML ini, dilakukan evaluasi kombinasi band multiwaktu dari 4 band sampai dengan 12 band. Dari masing-masing jumlah band, kemudian dipilih yang terbaik, baik dari segi akurasi maupun separabilitas sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Dari Tabel 2, diketahui bahwa kombinasi 4 band multiwaktu (3₉₇-4₉₇-3₉₈-4₉₈) sudah memberikan hasil yang cukup memadai, yaitu 99,20% serta rata-rata separabilitas (TD-avg) lebih besar dari 1900. Ini menunjukkan bahwa untuk mendeteksi perubahan penutupan lahan dan hutan karena kebakaran, penggunaan band multiwaktu dari panjang gelombang merah (TM band 3) dan daerah inframerah dekat (TM band 4) sudah cukup handal untuk menghasilkan akurasi yang tinggi. Bisa dipahami bahwa kelas-kelas perubahan yang dibuat sangat terkait dengan perubahan biomasa hijau (*green biomass*) dan jumlah chlorophyll.

Tabel 3. Akurasi dari masing-masing kombinasi band

No.	Jumlah band	Band Multiwaktu	Akurasi Kappa (%)	Keterangan
1.	4	3-4	99,20	Semua kombinasi tidak berbeda secara signifikan
2.	6	2-4-5	99,69	
3.	10	1-2-3-5-7	99,69	
4.	8	1-2-3-4	99,85	
5.	8	1-2-3-5	99,85	
6.	10	1-2-3-4-7	99,85	
7.	12	1-2-3-4-5-7	99,85	

Keterangan : garis yang menghubungkan nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa akurasi tersebut tidak berbeda nyata

Studi ini juga menunjukkan bahwa penambahan band dari panjang gelombang lain tidak meningkatkan baik akurasi maupun separabilitas secara nyata. Penambahan band lain hanya menambah ketelitian lebih kecil dari 0,5%. Dari segi prosedur pelaksanaannya, teknik KML ini cukup sederhana dan memberikan hasil yang konsisten, hanya saja perlu dilakukan pengujian secara “coba-coba (*trial-and-error*)” terhadap semua kemungkinan kombinasi band. Tentu saja metode ini memerlukan waktu yang lebih lama dalam rangka memilih kombinasi band yang terbaik. Dari 6 band reflektif yang dapat digunakan perlu dilakukan evaluasi terhadap 63 kombinasi dari satu sampai dengan 6 band multiwaktu, yaitu 6 kombinasi 1 band, 15 kombinasi 2 band, 20 kombinasi 3 band, 15 kombinasi 4 band, 6 kombinasi 5 band dan 1 kombinasi 6 band.

Jika dibandingkan dengan metode 12-d UMPC, meskipun metode 12-d UMPC menghasilkan akurasi sedikit lebih rendah dari metode DMC, metode 12-d cukup konsisten, karena mampu merangkul kelas-kelas perubahan pada delta kecerahan, delta kehijauan, kestabilan kehijauan dan kestabilan kecerahan. Pada saat ini, teknologi komputer yang cukup tinggi menyebabkan proses penghitungan sumbu-sumbu baru dan kodifikasinya menjadi citra 8-bit dapat dilakukan secara cepat. Dengan metoda 12-d UMPC, analisis hanya dituntut untuk mampu mengevaluasi karakteristik nilai-nilai “*eigenvector*”. Contoh peta deteksi perubahan dengan metode MDC dan 12-d UMPC disajikan pada Gambar 2 (a) & (b).

Lokasi B : Sumatera Selatan

Perbandingan Paska-klasifikasi (Post-classification comparison)

Seperti halnya pada Lokasi A, dengan metode klasifikasi terpisah ini (*Independent classification*), kombinasi dengan 3 band memberikan akurasi yang cukup tinggi (lebih besar dari 90%). Citra tahun 1997 terklasifikasi dengan baik dengan kombinasi band 1-4-5 dan dengan Kappa akurasi 96,6% serta rata-rata separabilitas (TD_{avg}) lebih besar dari 1950 (antara “*good*” dan “*excellent*”). Sementara itu, Citra tahun 1998 terklasifikasi secara baik pada kombinasi band 3-4-5, dengan memberikan akurasi 96,7% dan separabilitas rata-rata juga lebih besar dari 1950. Pada penelitian ini, dibuat kelas-kelas hutan sekunder bekas tebang yang merupakan realisasi dari Rencana Karya Lima Tahunan (RKL), hanya saja

tidak semua kelas dapat diidentifikasi melalui citra. Citra hanya mampu membedakan kelas hutan sekunder bekas tebangan muda (< 10 tahun) dan tua (> 10 tahun). Demikian pula untuk kelas tingkat kebakaran, ringan dan sedang tidak dapat dibedakan secara baik. Kedua kelas tingkat kebakaran ini dikelompokkan atas kebakaran ringan/sedang. Kelas terbakar habis pada hutan sekunder muda dan hutan sekunder tua dapat diidentifikasi secara baik. Beberapa potret lapangan dari penutupan hutan di lokasi studi ini disajikan pada Gambar 1 (d) ~ (h). Adapun kelas-kelas yang terklasifikasi pada citra tahun 1997 dan 1998 disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kelas-kelas penutupan yang terklasifikasi pada citra tahun 1997 dan 1998

Citra Tahun 1997	Citra Tahun 1998
1. Tanah kosong	1. Tanah kosong
2. Ht. Sekunder bekas tebangan (< 10 thn)	2. Ht. sekunder bekas tebangan muda < 10 thn
3. Ht. Sekunder bekas tebangan (> 10 thn)	3. Ht. sekunder bekas tebangan tua > 10 thn terbakar sedang*)
4. Badan-badan air (sungai)	4. Ht. sekunder bekas tebangan tua > 10 thn, terbakar habis *)
5. Semak/belukar/persawahan/ladang	5. Ht. sekunder bekas tebangan muda < 10 tahun terbakar ringan/sedang*)
6. Awan	6. Semak/belukar/ladang yang terbakar
7. Bayangan awan	7. Semak/belukar/persawahan tidak terbakar
	8. Badan-badan air
	9. Bayangan awan
	10. Awan

Catatan *) Terbakar habis = jumlah pohon yang terbakar > 75% terbakar
 Terbakar sedang = jumlah pohon yang terbakar berkisar antara 25% s/d 75% dan
 Terbakar ringan = jumlah pohon yang terbakar < 25%

Berdasarkan perbandingan hasil klasifikasi citra tahun 1998 dan 1997 persentase peningkatan dan penurunan masing-masing kelas penutupan hutan disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Persentase penurunan/peningkatan luas kelas penutupan hutan dan hutan terbakar dari tahun 1997 ke tahun 1998

Kelas	Penurunan/peningkatan (%/ha)*	
1. Hutan sekunder muda (\leq 10 th)	-20,38%	20.752 \rightarrow 10.387
2. Hutan sekunder tua (> 10 th)	-19,92%	10.037 \rightarrow 0
3. Hutan sekunder muda terbakar total	+7,01%	0 \rightarrow 3.501,5
4. Hutan sekunder tua terbakar total	+2,99%	0 \rightarrow 1.495,26
5. Hutan sekunder terbakar sedang	+33,6%	0 \rightarrow 16.779,69
6. Rumput/semak/ladang terbakar	+9,66%	0 \rightarrow 4.283,37

Keterangan : *)Tanda + menunjukkan peningkatan, sementara tanda - menyatakan penurunan luas

Dari Tabel 5 tersebut terlihat bahwa estimasi luas hutan yang terbakar dengan metode klasifikasi terpisah sekitar 20.776,49 ha sedangkan kelas rumput/semak atau ladang yang terbakar diperkirakan sekitar 4.823,37 ha. Berdasarkan prosedurnya, metode ini cukup sederhana karena tidak memerlukan metode deteksi perubahan yang “rumit” dan kompleks. Akan tetapi, kelemahan dari metode ini adalah karena mengandung kesalahan yang multiplikatif, dimana akurasi deteksi kelas perubahan adalah hasil perkalian dari akurasi tahun ke-1 dengan akurasi tahun berikutnya (pasangannya). Kesalahan peletakan training area yang berbeda di kedua citra dan pengaruh atmosfer bumi pada waktu perekaman sangat mempengaruhi hasil klasifikasi masing-masing citra. Kelas penutupan yang sama akan teridentifikasi sebagai kelas yang berbeda apabila terjadi kesalahan peletakan training area.

Metode Analisis Komponen Utama Multiwaktu (AKUM)

Dengan metode AKUM ini, penghitungan *eigenvector* dengan standarisasi (12-d SMPC) dan tidak terstandarisasi (12-d UMPC) menghasilkan karakteristik sumbu-sumbu yang baru. Lima kelompok pertama dari 12 sumbu-sumbu baru yang diperoleh disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Karakteristik 5 sumbu-sumbu pertama dengan metode 12-d SMPC dan 12-d UMPC

Sumbu	12-d SMPC	12-UMPC
PC1	<i>delta brightness/DB</i>	<i>delta brightness/DB</i>
PC2	<i>stable brightness/SB</i>	<i>stable greenness/SG</i>
PC3	<i>delta brightness/DB</i>	<i>delta greenness/DG</i>
PC4	-	<i>stable greenness/SG</i>
PC5	-	<i>delta greenness/DG</i>
Proporsi kumulatif keragaman PC1~PC5	99,98%	99,98%

Dari tabel tersebut terlihat bahwa metode 12-d UMPC, menghasilkan sumbu-sumbu baru dengan karakteristik yang lebih variatif. Metode 12-d SMPC hanya merangkum 2 indeks yaitu *delta brightness* (DB) pada PC1 & PC3 dan *stable brightness* (SB) pada PC2, sementara 12-d UMPC merangkum 3 indeks yang tersebar di lima sumbu yaitu *delta greenness* (pada PC1), *stable greenness/SG* (pada PC2 & PC4) dan *delta greenness/DG* (pada PC3 & PC5). Berdasarkan evaluasi akurasi, diperlihatkan bahwa metode 12-d UMPC memberikan akurasi yang lebih baik (99,04%) dibandingkan dengan metode 12-d SMPC (96,75%). Disamping itu jumlah kelas yang bisa didiskriminasi dengan baik oleh 12-d UMPC adalah 11 kelas, sementara metode 12-d SMPC hanya 10 kelas. Ini berarti bahwa metode 12-d UMPC mampu meningkatkan separabilitas antar kelas yang didiskriminasi. Kombinasi dengan 3 komponen sumbu, yaitu PC1/DB, PC2/SG dan PC3/DG, memberikan hasil yang paling baik (Lihat Tabel 7).

Tabel 7. Akurasi hasil klasifikasi dengan metode analisis komponen utama multiwaktu

No.	Metode	Band	Indeks	Akurasi Kappa	Jumlah kelas*)
1.	12-d SMPC	PC1, PC2, PC3	DB, SB, DG	96,75	10
2.	12-d UMPC	PC1, PC2, PC3	DB, SG, DG	99,04	11
		PC2, PC3, PC5	SG, DG, DG	97,44	11
		PC2, PC3, PC4	SG, DG, SG	95,99	11
		PC1, PC2, PC4	DB, SG, SG	90,03	11

Keterangan *) Separabilitas antar kelas berkisar antara 1996~2000

Metode Klasifikasi Secara Multiwaktu Langsung/KML (Direct Multidate Analysis/DMC)

Band-band yang digunakan dalam metode ini didasarkan pada kombinasi band terbaik untuk klasifikasi terpisah (*independent classification*), yaitu kombinasi (a) band 3-4-5 dan (b) band 1-4-5. Sebagai perbandingan, kombinasi semua band TM reflektif 1-2-3-5-7 dievaluasi dengan hasil akurasi sebagaimana diperoleh dengan metode ini disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Akurasi hasil klasifikasi Multiwaktu secara langsung

Jumlah band	Band-band multiwaktu	Akurasi (%)	Jumlah kelas
3 plus 3	3-4-5	99,70	11
	1-4-5	99,70	11
6 plus 6	1-2-3-4-5-7	99,70	11

Dari hasil akurasi tampak bahwa kombinasi band multiwaktu 3-plus-3 sudah menyamai akurasi yang dihasilkan oleh kombinasi semua band reflektif multiwaktu, yaitu 6-plus-6, yaitu 99,7 %. Demikian pula jumlah kelas yang bisa didiskriminasi dengan baik sama yaitu 11 kelas. Dengan metode KML ini, kombinasi 3 band multiwaktu yang baik adalah $3_{97-4_{97-5_{97-3_{98-4_{98-5_{98}}$ atau $1_{97-4_{97-5_{97-1_{98-4_{98-5_{98}}$. Dari tiga metode deteksi perubahan penutupan lahan yang diujicobakan di hutan terbakar Palembang, metode 12-d UMPC memberikan hasil yang bisa diandalkan yaitu 99,04% (*Kappa accuracy*). Hasil ini relatif sama dengan metode klasifikasi langsung (KML) yang menghasilkan akurasi 99,7%. Dengan metode klasifikasi terpisah, akurasi citra perubahan yang dihasilkan adalah 93,4% ($96,69\% \times 96,7\%$).

Dari aspek teknis metode 12-d UMPC menghasilkan akurasi yang cukup tinggi dan prosedur yang ringkas. Baik untuk lokasi penelitian di wilayah hutan Riau (lokasi A) maupun di Palembang (lokasi B), metode 12-d UMPC lebih unggul dibandingkan dengan metode 12-d SMPC. Proses standarisasi yang dilakukan terhadap matrik ragam-peragam dari masing-masing perubahan lahan menurunkan akurasi yang dihasilkan. Sebagaimana juga dinyatakan oleh Morrison (1990), standarisasi hanya diperlukan apabila satuan-satuan peubah yang digunakan berbeda-beda, dimana dalam studi ini, peubah-peubah yang digunakan adalah nilai kecerahan (*brightness value*) masing-masing pixel dari setiap saluran (*band/channel*). Peta deteksi perubahan dengan metode DMC (KML) dan 12-d UMPC untuk studi ini disajikan pada Gambar 2 (c) & (d).

KESIMPULAN

Dari dua lokasi studi kasus yang diuraikan terdahulu, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Data TM cukup efektif digunakan untuk mendeteksi kondisi perubahan penutupan lahan dan hutan paska kebakaran. Untuk lokasi di Propinsi Riau, perubahan penutupan lahan yang ditemukan sebagian besar adalah areal bekas kebakaran hutan sekunder bekas tebangan, kebakaran/pembakaran perkebunan dalam rangka persiapan lahan dan peremajaan tanaman; perubahan dari lahan kosong menjadi lahan yang ditumbuhi padang rumput/semak belukar. Di areal studi kasus Sumatera Selatan, kebakaran umumnya terjadi dalam kawasan hutan di areal bekas tebangan muda dan tua. Tingkat kebakaran yang dapat dideteksi adalah kebakaran sedang dan kebakaran tinggi (terbakar habis).
- Dari beberapa metode deteksi yang diuji, yaitu metode perbandingan paska klasifikasi (PPK), 12-d SMPC, 12-d UMPC dan klasifikasi multiwaktu secara langsung (KML), metode 12-d UMPC cukup efektif digunakan untuk mendeteksi kebakaran hutan dan lahan, dengan akurasi cukup tinggi yaitu 98,14% untuk studi kasus di Riau dan 99,04% untuk studi kasus di Palembang. Metode ini cukup ringkas dan mampu merangkum informasi tentang perubahan akibat kebakaran hutan, dimana perubahan yang terjadi adalah perubahan biomasa hijau (*green biomass*).
- Dibandingkan dengan metode 12-d SMPC, metode 12-d UMPC mampu menghasilkan karakteristik sumbu lebih variatif. Untuk lokasi Propinsi Riau, 12-d SMPC hanya merangkum 3 indeks sementara 12-d UMPC merangkum 4 indeks (lengkap). Untuk lokasi di Propinsi Sumatera Selatan, 12-d SMPC merangkum 2 indeks sedangkan 12-d UMPC merangkum 3 indeks. Dari segi akurasi dan separabilitas metode 12-d UMPC lebih unggul daripada 12-d SMPC.
- Untuk metode klasifikasi langsung, deteksi kebakaran hutan dan lahan yang akurat dapat dilakukan menggunakan band-band yang sangat terkait dengan kandungan biomasa dan kadar air tumbuhan, yaitu TM band 3, 4 dan /atau 5.

Saran

- Kekonsistensi metode 12-d UMPC perlu diuji lebih lanjut untuk mendeteksi kebakaran hutan di wilayah-wilayah lain misalnya di Kalimantan, Sulawesi, NTT ataupun Papua Barat.
- Oleh karena metode AKUM ini sangat terkait dengan keragaman nilai-nilai pixel, maka Evaluasi juga perlu dilakukan apakah metode 12-d UMPC ini cukup efektif untuk mendeteksi proporsi luasan yang kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ketua Proyek ITTO PD 12/93 Rev. 3 (F) , Prof. Dr. Ir. Zahrial Coto, atas bantuan dana untuk melaksanakan studi ini. Kepada semua pihak yang membantu pelaksanaan studi ini juga disampaikan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- Jaya, I N.S. and S. Kobayashi, 1995a, Classification of detailed forest cover types based upon the separability algorithm: a case study in the Yahiko Mountain and Shibata Forest Area. *Journal of Remote Sensing Society of Japan*, 15 (1): 40-53.
- Jaya, I N.S. and S. Kobayashi, 1995b, Change Detection of Forest Vegetation Using Multitemporal Landsat TM data. *Journal of Forest Planning*, 1 (23-38).
- Jaya, I N.S., M.B. Saleh and S. Kobayashi, 1996. Feasibility of Multidate Landsat 5 TM Data for Monitoring Forest Plantation Using Principal Component Algorithm: Evaluation of the eigenstructure and color composite image. *Jurnal Manajmen Hutan Tropika*, 2 (1) : 7-20.
- Jaya, I N.S., 1997. Feasibility of Multidate Landsat 5 TM data for Monitoring Forest Plantation using Principal Component Algorithm (II): Evaluation of Change Detection Accuracy. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*; 3(1): 37-46
- Morrison, D.F., 1990. *Multivariate Statistical Method*. Third Editions. McGraw Hill Book Company, Inc. New York.

Keterangan :

- a. Peta deteksi perubahan penutupan lahan akibat kebakaran dari tahun 1997 ke tahun 1998 menggunakan metode DMC di lokasi A : Riau
Keterangan :
- Tk – Pdr/smk = Lahan kosong → padang rumput/semak belukar
 - Ltbh – Pdr/smk = Lahan terbuka bekas tunggak-tunggak kayu terbakar hangus → padang rumput/semak belukar
 - Lof – Ltbh = Logged over forest → lahan terbuka dengan tunggak-tunggak kayu terbakar hangus
 - Pbn – Ltbh = Perkebunan (sawit/karet) & HTI → lahan terbuka dengan tunggak-tunggak kayu terbakar hangus
 - Phl – awan = Logged-over forest, perkebunan, padang rumput/semak belukar, lahan kosong → tertutup awan
 - Phe – Baw = Logged-over forest, perkebunan, padang rumput/semak belukar, lahan kosong → bayangan awan
 - Non - change = Penutupan lahan yang tidak berubah : perkebunan, logged-over forest, padang rumput/semak belukar & lahan kosong
- b. Peta deteksi perubahan penutupan lahan akibat kebakaran dari tahun 1997 ke tahun 1998 menggunakan metode 12-d UMPC di lokasi A : Riau (Keterangan sama dengan Gambar (a))
- c. Peta deteksi perubahan penutupan lahan akibat kebakaran dari tahun 1997 ke tahun 1998 menggunakan metode DMC di lokasi B : Sumatera Selatan
Keterangan :
- LOF1 – TS = Hutan sekunder > 10 tahun → Hutan terbakar sedang
 - LOF1 – TT = Hutan sekunder > 10 tahun → Hutan terbakar habis
 - LOF2 – TR = Hutan sekunder 0 -10 tahun → Hutan terbakar ringan
 - LOF2 – TS = Hutan sekunder 0 -10 tahun → Hutan terbakar sedang
 - LOF2 – TT = Hutan sekunder 0 -10 tahun → Hutan terbakar habis
 - TK – PR/SW = Tanah kosong → padang rumput/semak/ladang
 - Uncange 1 = Tidak berubah 1
 - Uncange 2 = Tidak berubah 2
- d. Peta deteksi perubahan penutupan lahan akibat kebakaran dari tahun 1997 ke tahun 1998 menggunakan metode 12-d UMPC di lokasi B : Sumatera Selatan (Keterangan sama dengan Gambar (c))