

PENGEMBANGAN MODEL IDENTIFIKASI DAERAH BEKAS KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN (*BURNED AREA*) MENGGUNAKAN CITRA MODIS DI KALIMANTAN (MODEL DEVELOPMENT OF BURNED AREA IDENTIFICATION USING MODIS IMAGERY IN KALIMANTAN)

Suwarsono^{*)}, Rokhmatuloh^{)}, Tarsoen Waryono^{**)}**

^{*)}Peneliti Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lapan

^{)}Departemen Geografi Fakultas MIPA, Universitas Indonesia**

e-mail: suwarsono@lapan.go.id

Diterima 12 Agustus 2013; Disetujui 22 Oktober 2013

ABSTRACT

Forest and land fire has become serious threat to global communities since the last two decades, especially related to the aspects of environments and natural resources degradation. Kalimantan is the part of Indonesia that has the most vulnerable area of forest and land fire. Development of spatial models to quickly and effectively identify land and forest fire is required. The objective of the research is to develop appropriate identification algorithm model of burned area derived from MODIS imagery. Methods of the research were developed using variables extracted from MODIS imagery such as vegetation index (NDVI), burn index (NBR), and reflectances. Identification of the burned area was conducted by thresholding methods, calculation of the threshold value of changes in the values of variables NDVI. The NBR, and reflectance for the pixels were expressed as burned area. The separability and accuracy were done to test the validity of each model. The research found that, all algorithm models examined in Kalimantan have good ability to discriminate burned and unburned area. The Δ NBR algorithm model has been identified to have the highest accuracy, of approximately 63,5 %. It was concluded that the most appropriate algorithm model for burned area identification in Kalimantan using MODIS imagery is Δ NBR.

Key words: *Identification, Burned area, NBR, MODIS, Kalimantan*

ABSTRAK

Kebakaran hutan dan lahan telah menjadi ancaman cukup serius bagi masyarakat secara global pada dua dekade terakhir, terutama terkait dengan degradasi aspek-aspek lingkungan dan sumberdaya alam. Kalimantan merupakan daerah di Indonesia yang paling rawan terhadap bencana kebakaran hutan dan lahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model-model algoritma untuk mengidentifikasi area terbakar yang paling sesuai diaplikasikan di Kalimantan menggunakan citra MODIS. Metode penelitian dilakukan dengan menggunakan variabel indeks vegetasi (NDVI), indeks kebakaran (NBR), dan reflektansi dari citra MODIS untuk mengidentifikasi area terbakar. Identifikasi area terbakar dilakukan dengan metode pengambangan (*thresholding*), yaitu perhitungan nilai ambang batas dari perubahan nilai-nilai variabel NDVI, NBR, dan reflektansi untuk piksel-piksel yang dinyatakan sebagai *area terbakar*. Kemudian dilakukan perhitungan tingkat separabilitas dan akurasi untuk menguji validitas tiap-tiap model. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada dasarnya semua model algoritma baik perubahan NDVI, NBR dan reflektansi memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi area terbakar di Kalimantan. Namun demikian, dari semua model algoritma tersebut, hanya model

algoritma perubahan NBR yang memberikan tingkat akurasi paling tinggi, yaitu sebesar 0,635 atau 63,5%. Dengan demikian, model algoritma identifikasi area terbakar yang paling sesuai diaplikasikan untuk daerah Kalimantan dengan menggunakan citra MODIS adalah model algoritma perubahan NBR.

Kata kunci: *Identifikasi, Area terbakar, NBR, MODIS, Kalimantan*

1 PENDAHULUAN

Kebakaran hutan dan lahan telah menjadi perhatian masyarakat global tahun-tahun belakangan ini sebagai isu lingkungan dan ekonomi, terutama sejak kejadian *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) pada tahun 1982/1983, 1994 dan 1997/1998 yang mengakibatkan kebakaran besar di Indonesia (Malingreau et al., 1985; Goldammer and Seibert, 1990; Kita et al., 2000; Tacconi, 2003). Tercatat bahwa pada kebakaran tahun 1997/1998 sebanyak 25 juta hektar lahan di seluruh dunia mengalami kebakaran (Tacconi, 2003). Kebakaran hutan dan lahan dianggap sebagai sebuah potensi ancaman terhadap pembangunan berkelanjutan karena dampak-dampak langsungnya terhadap ekosistem, kontribusinya terhadap peningkatan emisi karbon dan dampak-dampaknya terhadap keanekaragaman hayati (Tacconi, 2003). Lebih lanjut, kebakaran hutan dan lahan yang tidak terkendali merupakan faktor utama yang berkontribusi terhadap degradasi hutan dan lahan di daerah tropis (Hoffman et al., 2003).

Kalimantan merupakan wilayah di Indonesia yang paling rawan terhadap bencana kebakaran hutan dan lahan. Hal ini dapat dilihat dari data statistik bahwa 11,7 juta hektar hutan dan lahan yang terbakar di Indonesia pada periode tahun 1997/1998, sebagian besarnya terdapat di Kalimantan (8,1 juta ha atau 69 %). Sementara, untuk daerah lainnya, luas wilayah yang mengalami kebakaran hutan dan lahan, meliputi; Sumatera (2,1 juta ha), Jawa (0,1 juta ha), Sulawesi (0,4 juta ha), dan Papua (1,0 juta ha) (Tacconi, 2003).

Memperhatikan ancaman bencana kebakaran hutan dan lahan wilayah

Indonesia, terutama Kalimantan, serta dampak-dampak cukup serius yang akan diakibatkannya, maka perlu dilakukan suatu upaya mitigasi bencana. Salah satu upaya yang sangat bermanfaat dalam mendukung upaya mitigasi ini adalah penyediaan informasi sebaran spasial daerah-daerah yang telah mengalami kebakaran hutan dan lahan (area terbakar). Informasi ini sangat berguna bagi pemerintah maupun pihak-pihak terkait lainnya yang menaruh perhatian dalam upaya rehabilitasi lahan pasca kebakaran.

Pengukuran area terbakar secara langsung di lapangan, selain relatif mahal, juga memerlukan waktu yang lama. Lebih-lebih dilakukan pada wilayah yang luas dan sulit terjangkau. Salah satu alternatif metode yang dapat dilakukan untuk penyediaan informasi daerah bekas kebakaran hutan dan lahan secara relatif lebih cepat, dapat dilakukan secara serentak pada daerah yang relatif luas dan sulit terjangkau, biaya yang relatif lebih murah serta dengan tingkat akurasi yang dapat dipertanggungjawabkan adalah dengan memanfaatkan citra penginderaan jauh (Cochrane, 2003). Salah satu jenis citra satelit yang sudah sering digunakan untuk analisis terkait dengan kebakaran hutan dan lahan adalah *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS).

Sebagian besar penelitian-penelitian yang mengkaji pemanfaatan citra penginderaan jauh untuk identifikasi area terbakar dikembangkan di luar wilayah Indonesia, yaitu wilayah subtropis dan lintang sedang, seperti di Canada (Fraser et al., 2000; Li et al., 2000; Fraser et al., 2003; Goetz et al., 2006; Chuvieco et al., 2008), Amerika Serikat

(Kasischke et al., 1995; Key and Benson, 1999; Wagtendonk et al., 2004; Brewer et al., 2005; Cocks et al., 2005; Epting et al., 2005; Roy et al., 2005a; Eidenshink et al., 2007; Giglio et al., 2009), Spanyol (Martin et al., 1995; Salvador et al., 2000; Chuvieco et al., 2002; Lloret et al., 2002; Martin et al., 2002; Chuvieco et al., 2005), Afrika bagian selatan (Roy et al., 1999; Roy et al., 2002; Roy et al., 2005b; Giglio et al., 2009), Rusia (Sukhinin et al., 2004; Roy et al., 2005a; Giglio et al., 2009), dan Amerika bagian selatan (Roy et al., 2005a). Oleh sebab itu, apabila akan diaplikasikan di wilayah Indonesia, atau wilayah yang lebih spesifik lagi, misalnya Kalimantan, informasi area terbakar yang dihasilkan menggunakan model-model tersebut masih perlu dipertanyakan tingkat keakuratannya. Dengan demikian, penelitian ini penting dilakukan untuk mengembangkan model-model identifikasi area terbakar yang sudah ada tersebut di wilayah Indonesia, khususnya Kalimantan hingga dapat diketahui model manakah yang paling tepat untuk dipergunakan berdasarkan tingkat validitasnya.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model identifikasi daerah bekas kebakaran hutan dan lahan (area terbakar) di Kalimantan menggunakan citra MODIS berbasis pada perubahan nilai NBR, NDVI, dan reflektansi. Dengan demikian, dari penelitian ini akan diketahui model identifikasi area terbakar dari citra MODIS yang paling sesuai diaplikasikan untuk daerah Kalimantan.

2 AREA TERBAKAR

Area terbakar (*burned area*) dapat diartikan sebagai daerah di permukaan bumi yang menunjukkan ciri-ciri telah mengalami peristiwa terbakar akibat proses-proses alami atau terbakar oleh manusia baik disengaja atau tidak disengaja dimana pada daerah tersebut sebelumnya merupakan lahan yang didominasi oleh tutupan vegetasi hutan maupun vegetasi non hutan (seperti:

semak, belukar, perkebunan, ladang atau tegalan).

Burned area berbeda dengan *hotspot*. Dalam konteks kebakaran, *hotspot* merupakan suatu daerah di permukaan bumi yang memiliki suhu relatif lebih tinggi dibandingkan daerah di sekitarnya berdasarkan ambang batas suhu tertentu. *Hotspot* hanyalah merupakan indikasi potensi akan terjadinya kebakaran, sehingga belum tentu akan terjadi kebakaran. Jadi dengan kata lain dapat diartikan bahwa *burned area* merupakan kebakaran aktual, sedangkan *hotspot* adalah kebakaran potensial.

Di dalam istilah asing, selain disebutkan sebagai *burned area*, daerah bekas kebakaran hutan dan lahan juga disebutkan oleh beberapa ahli dengan istilah-istilah lainnya yang sinonim, seperti; *burnt area* (Miettinen, 2007; Tansey et al., 2004), *burnt land* (Chuvieco et al., 2002, 2005; Martin & Chuvieco, 1995; Martin et al., 2002), *burnt scar* (Ruecker & Siegert, 2000), maupun *firescar* (Salvador et al., 2000; Eastwood et al., 1998). Dalam penelitian ini, penulis menggunakan istilah "area terbakar" yang diterjemahkan dari istilah *burned area*. Di luar negeri, istilah *burned area* ini dipergunakan oleh lebih banyak ahli (Fraser et al., 2000; Roy et al., 2002; 2005b, 2009; Clark et al., 2003; Sousa et al., 2003; Gitas, 2004; Tansey et al., 2004; Boschetti et al., 2006; Giglio et al., 2009).

Telah banyak penelitian yang mengambil topik terkait dengan pemanfaatan citra satelit penginderaan jauh untuk mengidentifikasi kebakaran hutan dan lahan, termasuk di dalamnya area terbakar. Penelitian-penelitian terkait dengan pemanfaatan citra satelit penginderaan jauh untuk mengidentifikasi area terbakar dilakukan menggunakan jenis citra, model dan lokasi yang berbeda.

Pada banyak penelitian, model identifikasi area terbakar berbasis pada model perubahan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) memberikan

hasil yang baik (Martin & Chuvieco, 1995; Fraser et al., 2003; Roy et al., 1999; Fraser et al., 2000; Goetz et al., 2006; Li et al., 2000; Kasischke & French, 1995; Lloret et al., 2002; Salvador et al., 2000). Sebagian besar dari penelitian-penelitian tersebut menggunakan citra NOAA-AVHRR dan dilakukan di wilayah subtropis dan lintang sedang, seperti Canada, Amerika Serikat, Spanyol, Portugal, dan Afrika Selatan. Model tersebut juga menjadi salah satu pendekatan untuk menghasilkan produk informasi area terbakar secara global bernama *Global Burned Area 2000* (GBA2000) yang diolah dari citra SPOT Vegetation (Fraser et al., 2003; Tansey et al., 2008). Model identifikasi area terbakar berbasis pada model perubahan nilai *Short Wave Vegetation Index* (SWVI) menggunakan citra SPOT Vegetation pada wilayah hutan di Canada juga memberikan hasil yang baik disamping model perubahan NDVI (Fraser et al., 2003).

Selain model perubahan NDVI, model identifikasi area terbakar lainnya yang banyak diterapkan dan juga memberikan hasil yang baik adalah model yang berbasis pada perubahan nilai *Normalized Burn Ratio* (NBR) (Key and Benson, 2002; Epting et al., 2005; Cocker et al., 2005; Wagtendonk et al., 2004; Eidenshink et al., 2007; Brewer et al., 2005; Keeley et al., 2009). Model ini sudah digunakan secara meluas di Amerika Serikat dengan menggunakan citra Landsat. Di samping itu, model identifikasi area terbakar berbasis pada model perubahan nilai *Burned Area Index* (BAI) juga telah dikembangkan oleh Chuvieco et al. (2002) dengan menggunakan citra NOAA-AVHRR di beberapa negara Eropa seperti Spanyol, Italy dan Yunani. Bila dibandingkan dengan model perubahan NDVI, model perubahan BAI memberikan hasil yang lebih baik (Chuvieco et al., 2002).

Terkait dengan citra MODIS, beberapa peneliti telah mengembangkan metode identifikasi area terbakar dari citra ini dengan berbagai model

pendekatan. Roy et al. (1999) telah menginisiasi pengembangan model identifikasi area terbakar menggunakan citra MODIS berdasarkan model perubahan NDVI yang telah diujicobakan terlebih dahulu dengan menggunakan citra NOAA-AVHRR untuk selanjutnya diterapkan pada Citra MODIS. Namun demikian, dengan mengambil lokasi penelitian yang lebih luas di Afrika Selatan, Roy et al. (2002), menemukan bahwa model identifikasi dengan citra MODIS yang paling baik adalah dengan menggunakan pendekatan perubahan nilai pantulan (reflektansi) dari panjang gelombang inframerah kanal 5 dan kanal 7. Model tersebut kemudian dikembangkan lebih lanjut untuk wilayah-wilayah Afrika Selatan, Australia, Amerika Selatan, dan Rusia sebagai prototipe model penentuan area terbakar untuk skala global (Roy et al., 2005a). Lebih lanjut, dalam skala regional, Miettinen (2007) juga telah mencoba mengembangkan model identifikasi area terbakar menggunakan citra MODIS untuk wilayah Semenanjung Asia Tenggara. Menurutnya, untuk wilayah tropis yang banyak tutupan awannya, perlu digunakan citra MODIS komposit multitemporal. Di Indonesia, Roswintarti et al. (2006, 2007) dan Suwarsono et al. (2008, 2009, 2011) pernah berusaha untuk memanfaatkan citra penginderaan jauh untuk mengidentifikasi area terbakar dengan mengambil lokasi di beberapa daerah. Namun demikian, penelitian tersebut hanya bersifat memetakan area terbakar dengan citra MODIS dengan mengaplikasikan suatu model saja dan belum sampai pada tahap pengujian tingkat kemampuan dan tingkat akurasi. Penelitian lain juga pernah dilakukan di Kalimantan Timur oleh Siegert & Hoffmann (2000). Namun penelitian yang dilakukan lebih kepada penggunaan citra SAR (ERS-2) dengan resolusi temporal yang rendah dan belum memanfaatkan data MODIS yang memiliki resolusi temporal lebih tinggi.

3 BAHAN DAN METODE

3.1 Data

a. Citra MODIS

Data MODIS yang dipergunakan adalah data reflektansi kanal 1 hingga 7. Citra yang dipilih adalah citra MODIS tahun 2011 yang diolah secara 8 harian (*MODIS 8-days*) dengan nama produk MOD09A1 dan MOD09Q1. MOD09A1 berisi data reflektansi kanal 3 hingga 7 dengan resolusi spasial 500 meter. Sedangkan MOD09Q1 berisi data reflektansi kanal 1 dan 2 dengan resolusi spasial 250 meter. Baik MOD09A1 maupun MOD09Q1 merupakan produk MODIS standar yang dikeluarkan oleh NASA.

Citra MODIS 8 harian yang dipilih untuk periode sebelum kebakaran, yaitu 8 harian ke-145 (25 Mei-1 Juni), 153 (2 – 9 Juni), 161 (10-17 Juni), 169 (18-25 Juni), dan 177 (26 Juni – 3 Juli). Sedangkan untuk periode setelah kebakaran dipilih citra 8 harian ke-273 (30 September – 7 Oktober), 280 (8 – 15 Oktober), 289 (16-23 Oktober), 297 (24-31 Oktober), dan 305 (1-8 November).

b. Hotspot

Data *hotspot* yang dipergunakan adalah data *hotspot* MODIS bulanan selama kurun waktu 2011. Data *hotspot* ini bersumber dari *website* LAPAN Indofire. Data ini digunakan untuk menetapkan periode puncak kebakaran yang terjadi di tahun 2011. Data *hotspot* ini juga dipergunakan untuk membantu dalam identifikasi area terbakar.

c. Citra Landsat-7 dan SPOT-4

Citra Landsat-7 digunakan untuk membuat peta area terbakar referensi, yaitu peta yang digunakan sebagai acuan untuk menguji tingkat akurasi informasi area terbakar. Nomor *scene* yang dipilih adalah yang mencakup seluruh wilayah Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan (dua provinsi yang dipilih untuk dilakukan deliniasi area terbakar referensi. Tanggal citra sebagian besar dipilih

tahun 2011, yaitu yang mendekati tanggal perekaman citra MODIS yang dipergunakan. Tanggal perekaman citra Landsat-7 yang dipilih tersebut meliputi: *path/row* 117/161 (8 Juli dan 9 Agustus 2011), 117/162 (22 Juni dan 9 Agustus 2011), 117/163 (14 Februari dan 28 Oktober 2011), 118/160 (25 Maret dan 20 November 2011), 118/161 (13 Juni dan 20 November 2011), 118/162 (13 Juni dan 3 Oktober dan 20 November 2011), 119/160 (20 Juni dan 10 Oktober 2011), 119/161 (26 Desember 2010 dan 30 Januari 2012), 119/162 (19 Mei dan 10 Oktober 2011), 120/161 (10 Mei dan 17 Oktober 2011), dan 120/162 (11 Juni dan 17 Oktober 2011).

Citra SPOT-4 yang digunakan yaitu dengan nomor *scene* dan tanggal: 291/356 (16 November 2011), 292/356 (21 Agustus 2011), 294/357 (4 Juli 2011), 295/355 (17 Maret 2011), 297/354 (3 April 2011), 297/355 (14 Februari dan 25 Juli 2011), 297/356 (17 Maret dan 18 November 2011), 297/357 (17 Maret dan 18 November 2011), 298/356 (19 Mei dan 21 Agustus 2011), 299/56 (15 Agustus 2011), 299/358 (15 Agustus 2011), 300/355 (5 Juli 2011), dan 300/356 (5 Juli 2011).

3.2 Metode Analisis Area Terbakar

a. Penentuan periode puncak kebakaran

Periode puncak kebakaran diketahui dari analisis pola intensitas *hotspot* bulanan dari bulan Januari hingga Desember 2011. Berdasarkan pola intensitas *hotspot* bulanan ini dapat diketahui periode sebelum kebakaran (*pre fire*), puncak kebakaran (*peak fire*) dan periode setelah kebakaran (*post fire*). Informasi ini penting untuk menentukan rentang waktu dari citra MODIS yang dipilih untuk identifikasi *area terbakar*.

b. Ekstraksi variable indeks dari citra MODIS

Variabel indeks yang diekstraksi dari citra MODIS harian adalah variabel indeks vegetasi dan indeks kebakaran.

Indeks vegetasi yang digunakan adalah NDVI, sedangkan indeks kebakaran yang digunakan adalah NBR. Untuk menghitung nilai NDVI dilakukan dengan mengadopsi metode Huete et al. (1999). Metode Key and Benson (2002) diadopsi untuk menghitung NBR. Metode NBR tersebut telah dipergunakan oleh Eidenshink et al. (2007) untuk memetakan wilayah kebakaran hutan/lahan di seluruh wilayah Amerika Serikat. Persamaan untuk menghitung kedua variabel tersebut, yaitu sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{B2 - B1}{B2 + B1} \quad (3-1)$$

Keterangan:

NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*

B1 : Reflektansi kanal 1 MODIS (0,620 - 0,670 μm)

B2 : Reflektansi kanal 2 MODIS (0,841 - 0,876 μm)

$$NBR = \frac{B2 - B7}{B2 + B7} \quad (3-2)$$

Keterangan:

NBR: *Normalized Burn Ratio*

B2 : Reflektansi kanal 2 MODIS (0,841 - 0,876 μm)

B7 : Reflektansi kanal 7 MODIS (2,105 - 2,155 μm)

c. Pembuatan citra MODIS komposit multitemporal

Komposit citra MODIS dibuat untuk periode 40 hari (40-*days*) dari data reflektansi citra MODIS 8 harian (8-*days*). Satu periode komposit citra 40 harian terdiri dari 5 citra MODIS 8 harian. Di sini dipilih periode sebelum puncak kebakaran dan setelah puncak kebakaran. Pemilihan komposit 40 hari mengacu hasil penelitian dari Miettinen (2007), yang mensyaratkan minimal 30 hari citra komposit untuk identifikasi di daerah tropis yang banyak terkendala oleh tutupan awan.

d. Delineasi area terbakar referensi dari Citra Landsat-7 dan SPOT-4

Untuk menghitung seberapa besar tingkat akurasi area terbakar yang dihasilkan dari citra MODIS diperlukan data area terbakar pembanding (data referensi). Penentuan area terbakar pembanding dalam penelitian ini menggunakan dasar referensi dari *The Southern Africa Fire Network (SAFNet) regional burned-area product-validation protocol* (Roy et al., 2005b). Area terbakar pembanding dibuat berdasarkan interpretasi visual dengan menggunakan citra multitemporal resolusi lebih tinggi (di sini digunakan Landsat-7 dan SPOT-4) dan pengecekan lapangan yang terbatas terhadap lokasi-lokasi area terbakar. Area terbakar di sini adalah lokasi-lokasi yang permukaan lahannya telah terbakar seluruhnya atau hampir keseluruhan (sekitar >80%). Citra resolusi lebih tinggi yang dipergunakan paling tidak dua tanggal perekaman untuk setiap *scene* yang dipilih, yaitu periode sebelum dan setelah kebakaran dan mempertimbangkan ketersediaannya. Pemilihan tanggal perekaman sebisa mungkin berdekatan dengan rentang periode pengamatan. Pemilihan lokasi *scene* citra lebih mempertimbangkan lokasi persebaran *hotspot* (dari MODIS). Dalam hal ini dilakukan pada daerah-daerah yang memiliki kepadatan tinggi serta mengelompok.

Untuk lebih meyakinkan bahwa area sampel benar-benar merupakan area terbakar, maka perlu dilakukan pengecekan lapangan pada beberapa lokasi yang mudah diakses. Selain itu, juga akan dilakukan pencarian data lokasi-lokasi yang telah mengalami kebakaran hutan dan lahan pada tahun 2011 di instansi-instansi terkait, seperti: Balai Konservasi Sumberdaya Alam (BKSDA) dan Dinas Kehutanan. Daerah yang dipilih untuk didelineasi area terbakarnya yaitu Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan. Pemilihan lokasi didasarkan atas banyak dijumpainya konsentrasi sebaran titik

panas (*hotspot*) di Kalimantan pada tahun 2011 pada kedua provinsi tersebut. Selain itu, secara umum, kedua provinsi tersebut dianggap cukup dapat mewakili kondisi wilayah Kalimantan.

e. Penentuan ambang batas (*Thresholds*) area terbakar

Nilai ambang batas sangat menentukan terhadap tingkat akurasi informasi area terbakar yang dihasilkan. Perhitungan nilai ambang batas dilakukan dengan menghitung rerata (μ) dan standar deviasi (σ) masing-masing nilai reflektansi dan nilai indeks yang diperoleh dari citra MODIS untuk seluruh daerah area terbakar referensi. Mengacu pada Fraser et al (2000), *threshold* yang akan digunakan untuk menentukan area terbakar dalam penelitian ini adalah $\mu + 1\sigma$, μ , dan $\mu - 1\sigma$.

f. Identifikasi area terbakar dari citra MODIS

Area terbakar diidentifikasi dari citra MODIS dengan menggunakan berbagai model berdasarkan *threshold* yang telah diperoleh. Model identifikasi area terbakar yang akan dilakukan meliputi model perubahan NDVI, NBR, dan reflektansi. Sebuah piksel (X_{ij}) dinyatakan sebagai area terbakar jika memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$X_{ij} > t_{BA} \quad (3-3)$$

Dimana t_{BA} merupakan nilai ambang batas (*threshold*) suatu piksel yang dinyatakan sebagai area terbakar.

g. Penghitungan tingkat kemampuan model dalam mengidentifikasi area terbakar

Penghitungan tingkat kemampuan model berbasis nilai reflektansi dan indeks dalam penentuan area terbakar (*Discrimination ability*) dilakukan dengan menghitung nilai *normalized Distance* (D) (Kaufman & Remer, 1994). *Discrimination ability* dalam istilah lain disebut dengan separabilitas (*separability*). Nilai D diperoleh dengan menghitung nilai selisih antara rerata nilai sampel setelah dan

sebelum terbakar dibagi dengan jumlah standar deviasi keduanya (Persamaan 3-4). Semakin tinggi nilai D, maka semakin tinggi kemampuan nilai reflektansi atau indeks dalam mengidentifikasi area terbakar. Nilai $D > 1$ menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang baik dalam membedakan area terbakar dan non area terbakar, sedangkan jika $D < 1$, maka model tersebut mempunyai kemampuan yang rendah. Penghitungan nilai D ini juga dapat digunakan sebagai alat untuk verifikasi model.

$$D = \left| \frac{\mu_2 - \mu_1}{\sigma_2 + \sigma_1} \right| \quad (3-4)$$

Keterangan:

D = *Normalize Distance*

μ_1 = Rerata nilai sampel sebelum kebakaran

μ_2 = Rerata nilai sampel setelah kebakaran

σ_1 = Standar deviasi nilai sampel sebelum kebakaran

σ_2 = Standar deviasi nilai sampel setelah kebakaran

h. Perhitungan tingkat akurasi hasil identifikasi area terbakar dari citra MODIS

Tingkat akurasi area terbakar yang dihasilkan dari citra MODIS dilakukan dengan membandingkannya dengan area terbakar referensi. Berdasarkan data area terbakar hasil identifikasi dari citra MODIS dan data area terbakar referensi, maka tingkat akurasi area terbakar dapat diketahui dengan menghitung nilai *Individual Classification Success Index* (ICSI), yaitu dengan menggunakan rumus 3-5 sebagai berikut (Koukoulas & Blackburn, 2001):

$$ICSI = 1 - \frac{\text{Error of Omm \%} + \text{Error of Comm \%}}{2} \quad (3-5)$$

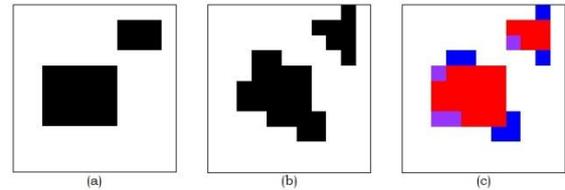
Keterangan:

ICSI = *Individual Classification Success Index*

Omm = *Ommision; area terbakar yang masuk ke kelas lain (non burned area)*

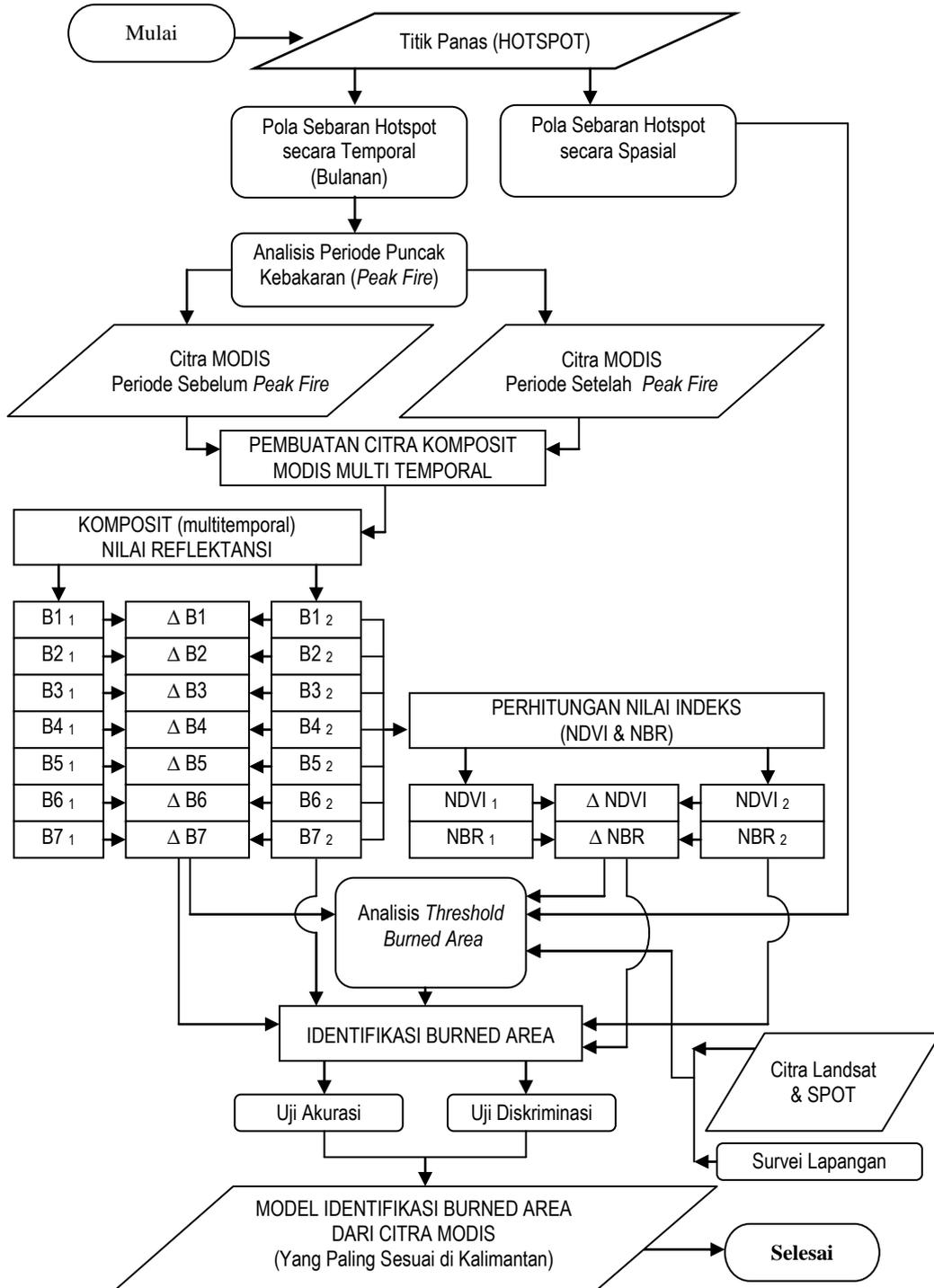
Comm = *Commision; area terbakar tambahan dari kelas lain (non burned area)*

Gambar 3-1 memperlihatkan ilustrasi perhitungan tingkat akurasi area terbakar hasil identifikasi dengan area terbakar referensi. Secara lebih lengkap, metodologi penelitian dapat dijelaskan pada diagram alur seperti tersaji pada Gambar 3-2.



■ **Piksel yang valid** ■ **Ommision error** ■ **Commision error**

Gambar 3-1: Ilustrasi penentuan piksel untuk perhitungan tingkat akurasi area terbakar hasil identifikasi berdasarkan area terbakar referensi. (a) Piksel area terbakar hasil identifikasi, (b) Piksel area terbakar referensi, dan (c) Hasil overlay

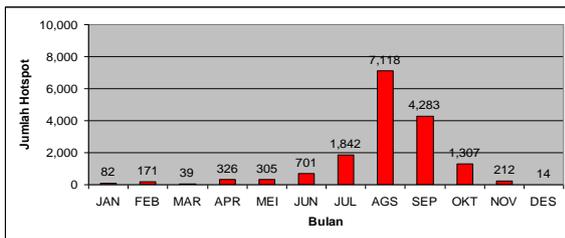


Gambar 3-2: Diagram alur penelitian

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Intensitas *Hotspot* Bulanan

Jumlah *hotspot* di seluruh Kalimantan sepanjang tahun 2011 adalah 16.400 titik. Jumlah *hotspot* mengalami peningkatan mulai Juli dan mencapai puncaknya pada bulan Agustus (7.118 titik), tetapi mengalami penurunan kembali pada bulan November (Gambar 4-1). Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa periode kebakaran pada tahun 2011 di Kalimantan terjadi mulai dari bulan Juli hingga Oktober.



Gambar 4-1: Intensitas *hotspot* bulanan di Kalimantan periode Januari-Desember 2011

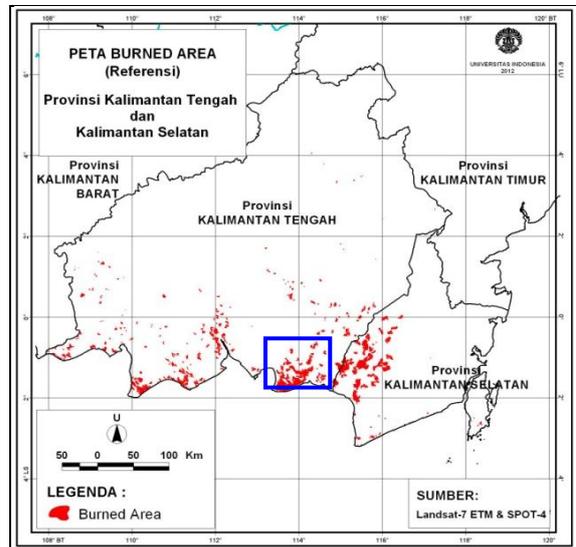
4.2 Kemampuan Variabel Dalam Mendeteksi Area Terbakar

a. Identifikasi dan delineaasi area terbakar dari citra Landsat-7 dan SPOT-4

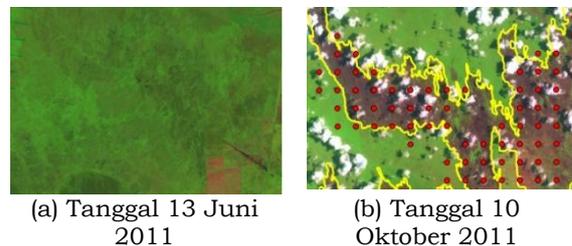
Hasil pembuatan peta area terbakar referensi dari citra Landsat-7 dan SPOT-4 menghasilkan 156 lokasi (*polygon*). Area terbakar referensi yang berhasil dianalisis dan didelineasi dari citra resolusi tinggi tersebut di daerah yang dijadikan lokasi sampel untuk uji akurasi hasil identifikasi area terbakar dari citra MODIS. Area terbakar yang dipetakan tersebut (sebagai referensi) adalah seluruh wilayah Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan. Gambar 4-2 menunjukkan hasil analisis dan delineaasi area terbakar referensi untuk seluruh Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan.

Gambar 4-3 memperlihatkan dari contoh dari hasil analisis dan delineaasi area terbakar dari citra resolusi tinggi Landsat-7 pada saat sebelum dan setelah kebakaran yang digunakan sebagai area terbakar referensi dalam

menguji akurasi model dari citra MODIS (perbesaran dari kotak warna biru pada Gambar 4-2). Sedangkan Gambar 4-4 memperlihatkan kondisi lapangan dari area terbakar.



Gambar 4-2: Hasil analisis dan delineaasi area terbakar referensi dari citra Landsat-7 dan SPOT-4 (Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan). Perbesaran daerah pada kotak warna biru dapat dilihat pada Gambar 4-3.



Gambar 4-3: Contoh hasil analisis area terbakar dari citra resolusi sedang Landsat-7 pada saat sebelum (gambar kiri) dan setelah kebakaran (gambar kanan). Titik-titik warna merah adalah hotspot dan garis kuning adalah batas delineaasi area terbakar. Lokasi: Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah, skala ~1:750.000

Hasil delineaasi area terbakar dari citra Landsat-7 dan SPOT-4 tersebut selanjutnya dipergunakan sebagai *training area*, yaitu area pada citra yang dijadikan sebagai acuan untuk menganalisis nilai variabel baik reflektansi, NDVI maupun NBR pada citra MODIS sebelum dan setelah periode kebakaran hutan dan lahan serta perubahan

nilainya. Selain itu, hasil delineasi area terbakar dari citra Landsat-7 atau SPOT-4 tersebut juga dipergunakan sebagai peta area terbakar referensi untuk menguji tingkat akurasi model-model identifikasi area terbakar berbasis variabel reflektansi, NDVI dan NBR.



Gambar 4-4: Kondisi area terbakar di lapangan. Tampak bekas-bekas kebakaran berupa abu dan arang dari vegetasi yang terbakar. Pada beberapa tempat terlihat singkapan lapisan tanah atas. Pengamatan dilakukan sekitar 6 bulan setelah kebakaran sehingga pada beberapa tempat telah ditumbuhi oleh tumbuhan perintis paku-pakuan

b. Nilai NDVI, NBR, dan Reflektansi area terbakar dari Citra MODIS

Berdasarkan hasil perhitungan terhadap 156 sampel lokasi area terbakar diperoleh hasil bahwa area terbakar memiliki karakteristik nilai reflektansi, NDVI, NBR yang bervariasi (Tabel 4-1 dan 4-2 serta Gambar 4-5 dan 4-6). Kondisi vegetasi sebelum terbakar umumnya berupa semak/belukar, sawah, hutan atau ladang/tegalan.

Setelah peristiwa kebakaran hutan dan lahan, nilai reflektansi kanal 1 MODIS (spektrum merah; 0,620 - 0,670 μm) mengalami peningkatan dari sekitar 4,10% menjadi 8,97% (atau meningkat sekitar 4,87%). Begitu juga dengan nilai reflektansi kanal 3 (spektrum biru; 0,459-0,479 μm), kanal 4 (spektrum hijau; 0,545 - 0,565 μm), serta kanal 6 dan 7 (spektrum panjang gelombang inframerah pendek/ *Short Wave Infrared*), berturut-turut mengalami peningkatan sebesar 4,08%, 3,16%, 4,49%, dan 5,76%. Di samping itu, kebakaran hutan dan lahan juga akan berdampak pada penurunan nilai reflektansi spektrum panjang gelombang inframerah dekat/ *Near Infra Red* MODIS kanal 2 (0,841 - 0,876 μm) dan kanal 5 (1,230-1,250 μm). Masing-masing mengalami penurunan sekitar 7,75% dan 3,80%.

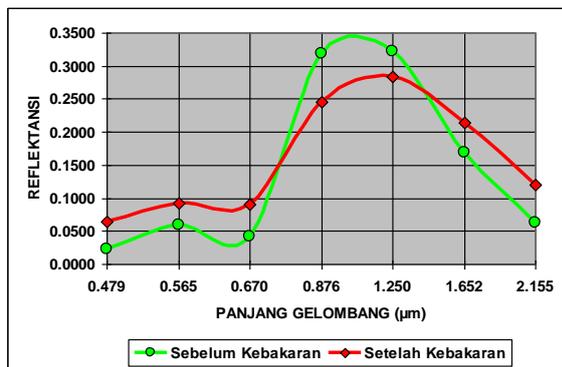
Tabel 4-1: RERATA DAN STANDAR DEVIASI NILAI REFLEKTANSI, NDVI DAN NBR PADA AREA TERBAKAR PADA SAAT SEBELUM KEBAKARAN (*PRE-FIRE*), SETELAH KEBAKARAN (*POST-FIRE*)

VARIABEL	<i>PRE-FIRE</i>		<i>POST-FIRE</i>	
	Rerata	SD	Rerata	SD
B1	0,0410	0,0071	0,0897	0,0485
B2	0,3182	0,0235	0,2458	0,0778
B3	0,0232	0,0063	0,0640	0,0307
B4	0,0599	0,0071	0,0915	0,0309
B5	0,3215	0,0261	0,2836	0,0360
B6	0,1686	0,0139	0,2135	0,0253
B7	0,0624	0,0089	0,1193	0,0212
NDVI	0,7740	0,0336	0,5118	0,1109
NBR	0,6734	0,0419	0,3316	0,1293

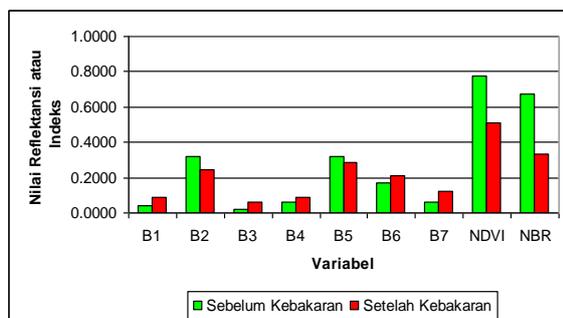
Tabel 4-2: RERATA DAN STANDAR DEVIASI PERUBAHAN NILAI REFLEKTANSI, NDVI DAN NBR PADA AREA TERBAKAR PADA SAAT SEBELUM KEBAKARAN (*PRE-FIRE*), SETELAH KEBAKARAN (*POST-FIRE*)

VARIABEL	RERATA	SD
ΔB1	0,0487	0,0414
ΔB2	-0,0775	0,0543
ΔB3	0,0408	0,0244
ΔB4	0,0316	0,0238
ΔB5	-0,0380	0,0099
ΔB6	0,0449	0,0114
ΔB7	0,0576	0,0123
NDVI	-0,2622	-0,3457
NBR	0,0773	0,0874

Peristiwa kebakaran hutan dan lahan juga akan menurunkan nilai NDVI dari yang sebelumnya sekitar 0,7740 menurun menjadi sekitar 0,5118 (mengalami penurunan sekitar 0,2622). Sedangkan untuk nilai NBR, terjadi juga penurunan dari yang sebelumnya sekitar 0,6734 menurun menjadi sekitar 0,3316 (mengalami penurunan sekitar 0,3457). Gambar 4-6 memperlihatkan lagi dengan jelas perubahan nilai reflektansi, NBR dan NDVI di lokasi area terbakar pada saat sebelum dan setelah kebakaran hutan dan lahan. Nilai reflektansi, NDVI, dan NBR setelah kebakaran berubah bila dibandingkan pada saat sebelum kebakaran karena telah terjadi perubahan kondisi tutupan lahan dari yang semula bervegetasi berubah menjadi lahan-lahan terbuka dengan menyisakan bekas-bekas kebakaran (abu dan arang pohon) serta menyingkapkan lapisan tanah permukaan.



Gambar 4-5: Kurva pantulan di lokasi area terbakar pada saat sebelum kebakaran (*pre-fire*) dan setelah kebakaran (*post-fire*)



Gambar 4-6: Rerata nilai reflektansi, NDVI dan NBR di lokasi area terbakar pada saat sebelum kebakaran (*pre-fire*) dan setelah kebakaran (*post-fire*)

c. Kemampuan Variabel NDVI, NBR, dan Reflektansi Area Terbakar dari Citra MODIS dalam Mendeteksi Area Terbakar

Untuk menghitung separabilitas (*separability*), yaitu kemampuan suatu variabel sebagai indikator dalam mendeteksi area terbakar, digunakan pendekatan nilai *Distance (D-value)* (Kaufman & Remer, 1994). Nilai $D > 1$ menunjukkan bahwa variabel tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi area terbakar. Hasil perhitungan *D-value* terhadap 156 lokasi sampel area terbakar menunjukkan bahwa semua variabel baik NDVI, NBR, maupun reflektansi kanal 1 hingga 7 (panjang gelombang tampak hingga inframerah pendek) memberikan nilai lebih dari 1. Dengan demikian dapat diketahui bahwa pada dasarnya semua variabel baik NDVI, NBR dan reflektansi merupakan indikator yang baik dalam mendeteksi area terbakar. Namun demikian, dari semua variabel tersebut, variabel reflektansi kanal 5, 6, 7, NDVI dan NBR memiliki kemampuan yang relatif lebih tinggi dibandingkan variabel kanal-kanal MODIS lainnya (reflektansi kanal 1, 2, 3 dan 4) (Tabel 4-3).

Tabel 4-3: SEPARABILITAS (*D-VALUE*) VARIABEL REFLEKTANSI, NDVI, DAN NBR PADA AREA TERBAKAR

VARIABEL	D-VALUE
B1	1,18
B2	1,43
B3	1,67
B4	1,33
B5	3,86
B6	3,94
B7	4,66
NDVI	3,39
NBR	3,96

4.3 Kemampuan Variabel Dalam Mendeteksi Area terbakar

a. Nilai ambang batas (*threshold*) NDVI, NBR dan Reflektansi dari Citra MODIS untuk mendeteksi area terbakar

Pada bagian sebelumnya telah diketahui bahwa variabel NDVI, NBR, dan reflektansi B5, B6, dan B7

merupakan indikator-indikator terbaik dalam pendeteksian area terbakar, meskipun dalam tingkatan yang lebih rendah, variabel yang lain juga memiliki kemampuan serupa. Perhitungan nilai ambang batas dilakukan dengan menghitung rerata (μ) dan standar deviasi (σ) masing-masing nilai variabel. Mengacu pada Fraser et al. (2000), *threshold* yang akan digunakan untuk menentukan area terbakar dalam penelitian ini adalah $\mu + 1\sigma$ (nilai rerata ditambah satu standar deviasinya), μ (cukup nilai rerata saja), dan $\mu - 1\sigma$ (nilai rerata dikurangi satu standar deviasinya).

Hasil analisis terhadap 156 sampel area terbakar telah menghasilkan nilai-nilai ambang batas untuk pendeteksian area terbakar dengan menggunakan semua variabel reflektansi (B1 sampai B7), NDVI dan NBR yang diperoleh dari citra MODIS. Nilai-nilai ambang batas tersebut selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3-4.

Tabel 4-3: SEPARABILITAS (D-VALUE) VARIABEL REFLEKTANSI, NDVI, DAN NBR PADA AREA TERBAKAR

(a) Kriteria $\mu - 1\sigma$

Variabel	Nilai	Perubahan
B1	0,0412	0,0073
B2	0,1680	-0,1317
B3	0,0333	0,0164
B4	0,0606	0,0078
B5	0,2476	-0,0478
B6	0,1881	0,0335
B7	0,0981	0,0452
NDVI	0,4009	-0,3395
NBR	0,2024	-0,4331

(b) Kriteria σ

Variabel	Nilai	Perubahan
B1	0,0897	0,0487
B2	0,2458	-0,0775
B3	0,0640	0,0408
B4	0,0915	0,0316
B5	0,2836	-0,0380
B6	0,2135	0,0449
B7	0,1193	0,0576
NDVI	0,5118	-0,2622
NBR	0,3316	-0,3457

(c) Kriteria $\mu + 1\sigma$

Variabel	Nilai	Perubahan
B1	0,1382	0,0901
B2	0,3235	-0,0232
B3	0,0947	0,0652
B4	0,1224	0,0554
B5	0,3195	-0,0281
B6	0,2388	0,0563
B7	0,1405	0,0699
NDVI	0,6227	-0,1849
NBR	0,4609	-0,2583

b. Identifikasi Area Terbakar Menggunakan Beberapa Algoritma

Berdasarkan hasil analisis (seperti tersaji pada Tabel 4-3), maka area terbakar di Kalimantan dapat diidentifikasi menggunakan berbagai variabel sebagai model algoritma, baik variabel reflektansi kanal 1 hingga 7, NDVI, dan NBR. Nilai-nilai variabel tersebut dimasukkan ke dalam persamaan sebagai persyaratan untuk memisahkan daerah yang terbakar (*burned area*) dan tidak terbakar (*unburned area*). Gambar 4-7 memperlihatkan hasil identifikasi *area terbakar* dari citra MODIS dengan menggunakan berbagai variabel sebagai model, baik reflektansi, NDVI, maupun NBR.

4.4 Tingkat Akurasi Model Identifikasi Area Terbakar

Hasil perhitungan tingkat akurasi masing-masing model algoritma dalam mengidentifikasi area terbakar menunjukkan bahwa model algoritma NBR dengan kriteria $\mu+1\sigma$ memiliki tingkat akurasi paling tinggi dibandingkan model-model algoritma lainnya, yaitu dengan besar akurasi 0,635 atau 63,5%. Tingkat akurasi model yang lainnya, yaitu untuk NDVI sebesar 20%, model reflektansi kanal 2 sebesar 20,2%, serta model reflektansi kanal 7 sebesar 31,6%. Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4-4. Berdasarkan hasil perhitungan ini, maka dapat diketahui bahwa model algoritma untuk identifikasi area terbakar yang paling sesuai diaplikasikan untuk daerah Kalimantan dengan menggunakan citra MODIS adalah model algoritma

NBR. Model ini yang selanjutnya akan digunakan untuk mengidentifikasi area terbakar untuk seluruh Kalimantan. Pikel pada citra MODIS yang dinyatakan sebagai area terbakar dengan menggunakan model algoritma NBR, mengikuti dua persyaratan, yaitu:

Syarat 1 : $NBR_2 \leq 0,4609 \dots (4-1)$

Syarat 2 : $\Delta NBR \leq -0,2583 \dots (4-2)$

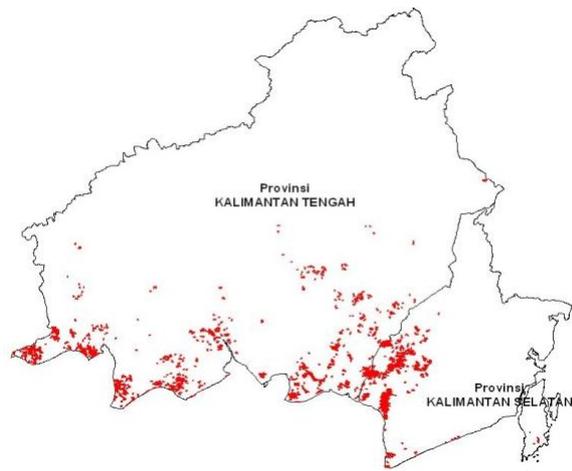
Dimana:

NBR_2 = Nilai NBR setelah kebakaran

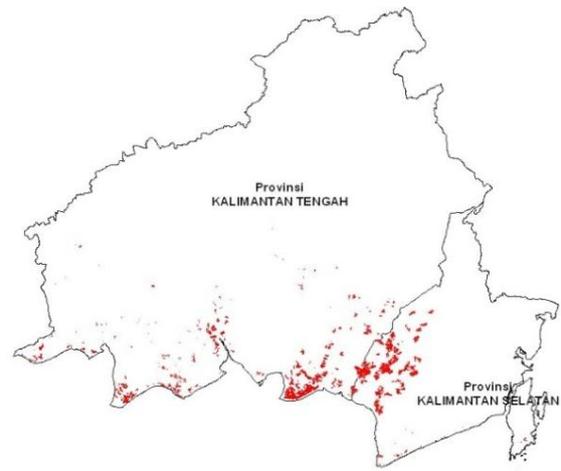
ΔNBR = Perubahan nilai NBR sebelum dan setelah kebakaran

Tabel 4-4: TINGKAT AKURASI TIAP-TIAP MODEL DALAM MENGIDENTIFIKASI AREA TERBAKAR

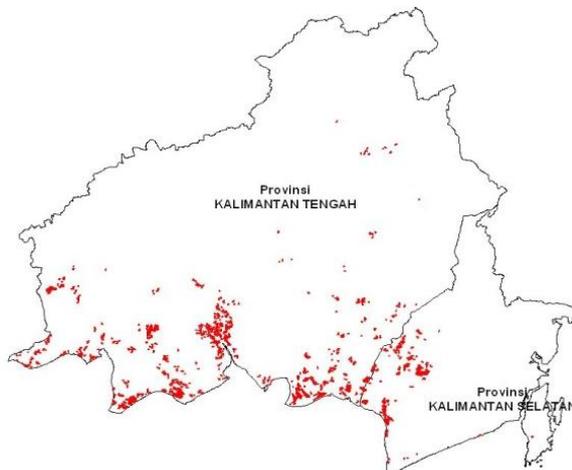
Model	Kriteria	Komisi	Terkoreksi	Omisi	Akurasi
B1	$\mu-\sigma$	57.777	286.892	5.338.245	0,050
	μ	267.478	77.192	337.319	0,113
	$\mu+\sigma$	332.807	11.862	2.034	0,034
B2	$\mu-\sigma$	325.409	19.261	2.534	0,055
	μ	240.605	104.064	171.751	0,202
	$\mu+\sigma$	118.284	226.385	2.969.066	0,068
B3	$\mu-\sigma$	145.526	199.143	4.669.827	0,040
	μ	243.034	101.635	2.697.866	0,033
	$\mu+\sigma$	315.898	28.772	15.021	0,080
B4	$\mu-\sigma$	121.528	223.141	5.527.916	0,038
	μ	250.097	94.572	2.544.180	0,033
	$\mu+\sigma$	322.661	22.008	9.685	0,062
B5	$\mu-\sigma$	291.026	53.643	16.291	0,149
	μ	242.220	102.450	418.353	0,134
	$\mu+\sigma$	212.493	132.176	2.216.511	0,052
B6	$\mu-\sigma$	118.164	226.505	2.845.013	0,071
	μ	165.484	179.186	1.762.081	0,085
	$\mu+\sigma$	218.557	126.112	981.357	0,095
B7	$\mu-\sigma$	106.574	238.095	1.387.026	0,137
	μ	169.391	175.278	648.235	0,177
	$\mu+\sigma$	229.671	114.999	19.787	0,316
NDVI	$\mu-\sigma$	310.555	34.114	4.385	0,098
	μ	226.874	117.795	243.580	0,200
	$\mu+\sigma$	136.275	208.394	1.953.010	0,091
NBR	$\mu-\sigma$	295.473	49.196	2.939	0,142
	μ	199.132	145.537	15.637	0,404
	$\mu+\sigma$	96.269	248.400	46.677	0,635



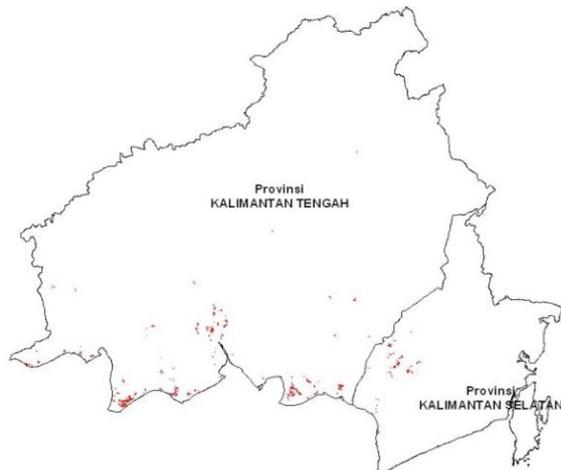
(a) Model NDVI (threshold μ)



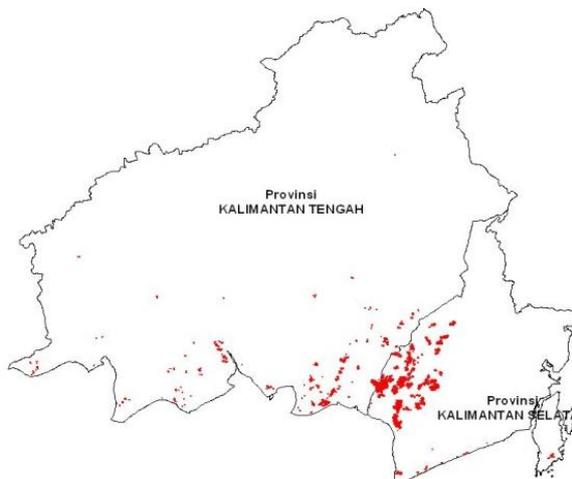
(b) Model NBR (threshold $\mu+1\sigma$)



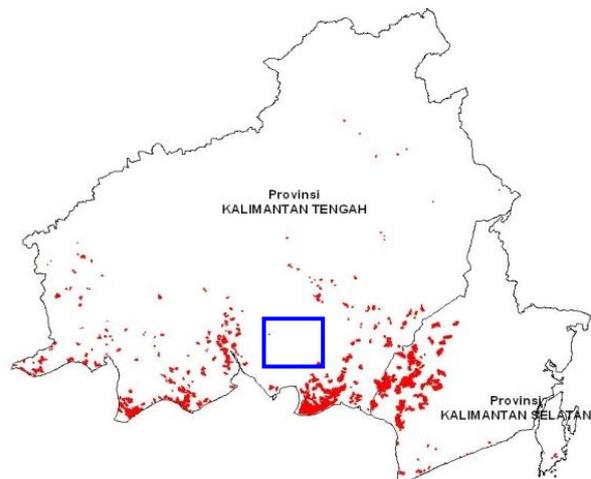
(c) Model B2 (threshold μ)
(Miettinen, 2007)



(d) Model B5 (threshold $\mu-1\sigma$)

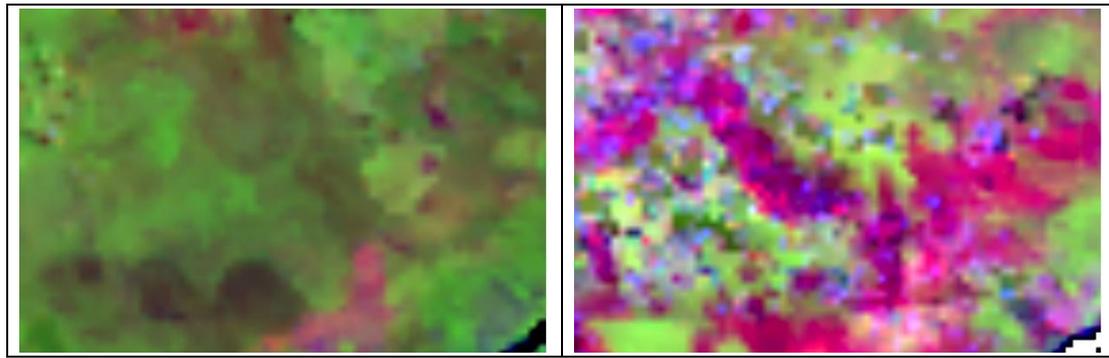


(e) Model B7 (threshold $\mu+1\sigma$)



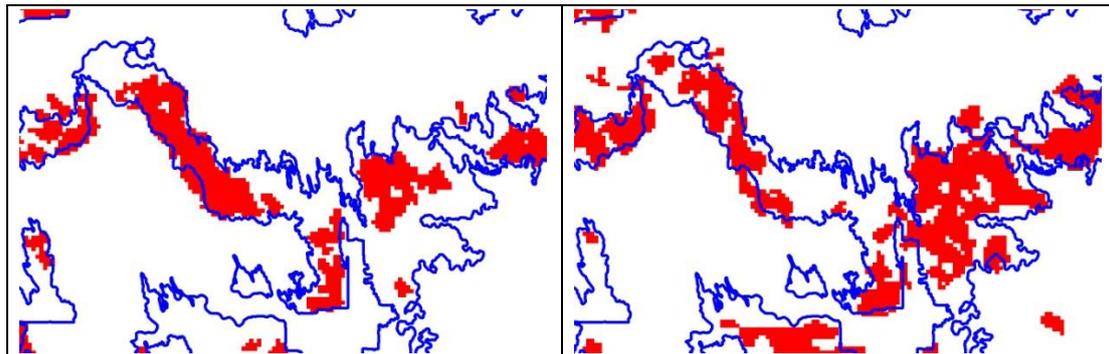
(f) Area terbakar referensi

Gambar 4-7: Hasil identifikasi area terbakar (warna merah) di Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan dari citra MODIS dengan menggunakan berbagai variabel sebagai model. Skala ~ 1 : 6.000.000. Perbesaran pada lokasi kotak warna biru dapat dilihat pada Gambar 4-8



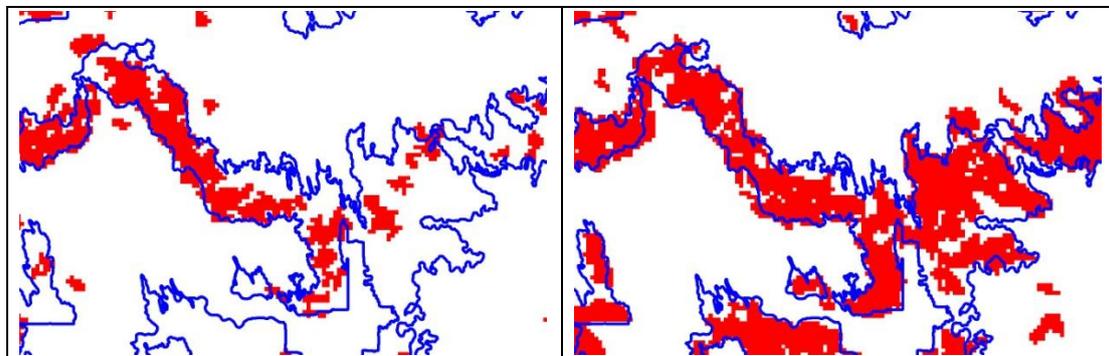
(a) Citra MODIS komposit RGB 621 periode sebelum kebakaran

(b) Citra MODIS komposit RGB 621 Komposit periode setelah kebakaran



(c) Model B2 (Miettinen, 2007)
Akurasi = 0,202

(d) Model B7
Akurasi = 0,316



(e) Model NDVI
Akurasi = 0,200

(f) Model NBR
Akurasi = 0,635

Gambar 4-8: Perbesaran hasil identifikasi area terbakar. Area terbakar dari citra MODIS (warna merah) dan area terbakar dari citra Landsat-7 dan SPOT-4 (garis biru). Area terbakar dari citra Landsat-7 dan SPOT-4 digunakan sebagai data area terbakar referensi untuk uji akurasi. Lokasi: Kabupaten Pulang Pisau, Skala ~1:750.000 (Perbesaran Gambar 4-7)

4.5 Keterbatasan Model NBR Dalam Mengidentifikasi area terbakar di Kalimantan dari Citra MODIS

Penerapan model algoritma NBR dalam mengidentifikasi area terbakar di Kalimantan dari citra MODIS memiliki keterbatasan-keterbatasan. Pertama, yaitu seperti sudah disinggung dalam pembahasan sebelumnya, penerapan

model ini hanya memberikan tingkat akurasi 63,5%. Jadi, meskipun dalam proporsi yang relatif kecil, masih dijumpai adanya komisi (*commision*) dan omisi (*ommision*), yaitu daerah-daerah lain yang tidak terbakar (*non burned area*) yang ikut terdeteksi sebagai *area terbakar* atau daerah-daerah yang sebenarnya terbakar (*burned area*) tetapi

tidak terdeteksi sebagai area terbakar. Adanya komisi dan omisi tersebut diakibatkan oleh kendala utama, yaitu tingginya tutupan awan dan bayangannya di daerah tropis yang mempengaruhi nilai yang dihasilkan oleh perekaman citra optis seperti MODIS. Untuk mengatasi kendala tersebut, dalam penelitian ini sebenarnya telah mengikuti saran yang diajukan oleh Chuvieco et al. (2005) dan Miettinen (2007) serta banyak peneliti sebelumnya, yaitu dengan membuat citra komposit temporal. Namun demikian, masih saja dijumpai adanya komisi dan omisi.

Keterbatasan kedua terkait dengan resolusi spasial citra MODIS. Pada citra MODIS, model NBR ini diterapkan dengan menggunakan perhitungan kanal 2 dan 7. Kanal 2 memiliki resolusi spasial 250 meter, sedangkan kanal 7 mempunyai resolusi spasial 500 meter. Berdasar atas resolusi spasial tersebut, luasan terkecil area terbakar yang masih dapat terdeteksi dengan model ini berkisar 6,25 hingga 25 ha. Namun menurut Miettinen (2007), secara faktual, area terbakar yang terdeteksi pada resolusi spasial 500 meter (luasan 25 ha) di citra MODIS tidak berarti bahwa seluruh piksel tersebut merupakan area terbakar, bisa jadi merupakan area terbakar kecil atau fraksi-fraksi kecil area terbakar yang berukuran kurang dari 25 ha yang terdeteksi sebagai area terbakar satu piksel penuh yang berukuran 25 ha. Demikian pula area terbakar yang terdeteksi pada resolusi spasial 250 meter (luasan 6,25 ha). Tidak berarti bahwa seluruh piksel tersebut merupakan area terbakar, bisa jadi merupakan area terbakar kecil atau fraksi-fraksi kecil area terbakar yang berukuran kurang dari 6,25 ha yang terdeteksi sebagai area terbakar satu piksel penuh yang berukuran 6,25 ha.

Eva & Lambin (1998) juga menyarankan bahwa karena terdapat perbedaan nilai yang kuat antara area terbakar dengan non area terbakar,

meskipun hanya memiliki luasan 40% atau kurang dari ukuran satu piksel, daerah tersebut dapat terdeteksi sebagai area terbakar. Lebih-lebih lagi di daerah tropis Asia Tenggara banyak dijumpai adanya kebakaran-kebakaran kecil berukuran kurang dari 25 ha yang dilakukan oleh masyarakat atau pengusaha kecil (Nicolas, 1998; Bowen et al., 2001; Miettinen, 2007). Juga, berdasarkan informasi dari Dinas Kehutanan Provinsi Kalimantan Tengah dan BKSDA Provinsi Kalimantan Tengah serta pengamatan lapangan, di Kalimantan banyak di jumpai area terbakar berukuran kecil kurang dari 6,25 ha. Dengan demikian, berdasarkan argumentasi tersebut, maka batasan luas area terbakar terkecil yang dihasilkan atas penerapan model NBR di Kalimantan dengan menggunakan citra MODIS adalah 6,25 ha.

5 KESIMPULAN

Model algoritma perubahan NDVI, NBR dan reflektansi pada dasarnya memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi area terbakar di Kalimantan. Namun dari semua model algoritma tersebut, hanya NBR yang memberikan tingkat akurasi paling tinggi (0,635 atau 63,5%). Jadi, model identifikasi area terbakar yang paling sesuai diaplikasikan untuk daerah Kalimantan dengan menggunakan citra MODIS adalah model algoritma perubahan NBR. Mengingat keterbatasan yang dihasilkan dari model ini, baik tingkat akurasi maupun resolusi spasial, maka untuk tujuan pemetaan, skala peta area terbakar yang dihasilkan dengan metode seperti dalam penelitian ini adalah terbatas, yaitu maksimum untuk skala 1:500.000.

Penelitian ini menyarankan perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut terkait dengan kajian model identifikasi area terbakar dengan citra MODIS sebagai pengembangan dari model-model yang sudah diterapkan dalam penelitian ini beserta kajian aspek-aspek spasialnya dengan mengikutsertakan

lokasi lainnya di Indonesia (terutama Sumatera) dan pada rentang waktu yang lebih panjang, terutama yang dapat mewakili periodisasi ENSO di Indonesia.

6 UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini diambil dan dikembangkan dari Tugas Akhir Tesis penulis utama di Program Magister Ilmu Geografi Universitas Indonesia dengan Judul: Daerah Bekas Kebakaran Hutan dan Lahan (*Burned Area*) di Kalimantan. Terima kasih kepada pihak-pihak dari Kementerian Riset dan Teknologi serta Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) yang telah memfasilitasi saya dalam memperoleh biaya dalam melakukan penelitian ini melalui Program Beasiswa Pascasarjana Kementerian Riset dan Teknologi. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Dr. Djoko Harmantyo, M.S., Dr.rer.nat M. Rokhis Khomarudin, M.Si., dan Dr. Bambang Trisakti yang telah memberikan saran dan masukan yang berarti dalam penelitian ini. Kepada Banjarmasin, S.Hut. (Dinas Kehutanan Provinsi Kalteng) dan Andreas Dody, S.Hut. (BKSDA Provinsi Kalteng) kami ucapkan terima kasih atas bantuannya dalam penyediaan data-data lapangan. Juga kepada Janatun Naim, S.Hut. (BPDAS Kahayan) dan Mahfud (Universitas Palangkaraya) yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan survei lapangan.

DAFTAR RUJUKAN

- Bowen, M.R., Bompard, J.M., Anderson, I.P., Guizol, P. & Guyon, A., 2001. *Antropogenic fires in Indonesia: a View from Sumatera, Forest Fire and Regional Haze in Southeast Asia*, Nova Science, Huntington, New York, p.41-46.
- Brewer, C.K., Winne, J.C., Redmond, R.L., Opitz, D.W., & Mangrich, M. V., 2005. *Classifying and Mapping Wildfire Severity: A Comparison of Methods*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 71(11), 1311-1320.
- Chuvienco, E., Englefield, P., Trishchenko, & Luo, Y., 2008. *Generation of Long Time Series of Burn Area Maps of the Boreal Forest from NOAA-AVHRR Composite Data*, Remote Sensing of Environment, 112, 2381-2396.
- Chuvienco, E., Martin, M.P., & Palacios, A., 2002. *Assessment of Different Spectral Indices in the Red-Near-Infrared Spectral Domain for Burned Land Discrimination*, International Journal of Remote Sensing, 23(23), 5103-5110.
- Chuvienco, E., Ventura, G., Martin, M.P., & Gomez, I., 2005. *Assessment of Multitemporal Compositing Techniques of MODIS and AVHRR Images for Burned Land Mapping*, Remote Sensing of Environment, 94, 450-462.
- Cochrane, M. A., 2003. *Fire Science for Rainforests*, Nature, 421, 913-919.
- Cocke, A.E., Fule, P.Z., & Crouse, J.E., 2005. *Comparison of Burn Severity Assessments using Differenced Normalized Burn Ratio and Ground Data*, International Journal of Wildland Fire, 14, 189-198.
- Eidenshink, J., Schwind, B., Brewer, K., Zhu, Z.L., Quayle, B., & Howard, S., 2007. *A Project for Monitoring Trends in Burn Severity*, Fire Ecology Special Issue, 3(1), 3-21.
- Epting, J., Verbyla, D., & Sorbel, B., 2005. *Evaluation of Remotely Sensed Indices for Assessing Burn Severity in Interior Alaska using Landsat TM and ETM+*, Remote Sensing of Environment, 96, 328-339.
- Eva, H. & Lambin, E.F., 1998. *Remote Sensing of Biomass Burning in Tropical Regions: Sampling Issues and Multisensor Approach*, Remote Sensing of Environment, 64, 292-315.
- Fraser, R.H., Fernandes, R., & Latifovic, R., 2003. *Multi-Temporal Mapping of Burned Forest Over Canada using Satellite-Based Change*

- Metric*. Geocarto International, 18 (2), 37-47.
- Fraser, R.H., Li, Z., & Cihlar, J., 2000. *Hotspot and NDVI Differencing Synergy (HANDS): A New Technique for Burned Area Mapping Over Boreal Forests*, *Remote Sensing of Environment*, 72, 362-376.
- Giglio, L., Loboda, T., Roy, D.P., Quayle, B., Justice, & C. O., 2009. *An Active-Fire Based Burned Area Mapping Algorithm for the MODIS Sensor*, *Remote Sensing of Environment*, 113, 408-420.
- Gitas, I.Z., Mitri, G.H., & Ventura, G., 2004. *Object-Based Image Classification for Burned Area Mapping of Creus Cape Spain*, using NOAA-AVHRR imagery. *Remote Sensing and Environment*, 92, 409-413.
- Goetz, S.J., Fiske, G.J., & Bunn, A.G., 2006. *Using Satellite Time-Series Data Sets to Analyze Fire Disturbance and Forest Recovery Across Canada*, *Remote Sensing of Environment*, 101, 352-365.
- Huete, A., Justice, C., & Leeuwen, V.W., 1999. *Modis Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document*, University of Virginia, Department of Environmental Sciences, Charlottesville, Virginia.
- INDOFIRE. Web of Fire Watch Indonesia. Developed by LAPAN, Indonesian Ministry of Forestry, Ministry of Environment, Landgate Australia, AusAID. <http://www.lapan.go.id/indofire>.
- Kasischke, E.S., & French, N.H., 1995. *Locating and Estimating the Extent of Wildfires in Alaskan Boreal Forest using Multiple-Season AVHRR NDVI*, *Remote Sensing of Environment*, 51, 263-275.
- Kaufman, Y.J. & Remer, LA., 1994. *Detection of Forests Fire using Mid-IR Reflectance: an Application for Aerosol Studies*, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32, 672-683.
- Key, C.H., and N.C. Benson. 2002. *Measuring and remote sensing of burn severity*, U.S. Geological Survey wildland fire workshop.
- Kita, k., Fujiwara, M., & Kawakami, S., 2000. *Total Ozone Increase Associated with Forest Fires Over the Indonesian Region and its Relation to the El Nino-Southern Oscillation*, *Atmospheric Environment*, 34, 2681-2690.
- Koukoulas, S. & Blackburn, G.A., 2001. *Introducing New Indices for Accuracy Evaluation of Classified Images Representing Semi-Natural Woodland Environments*, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 67(4), 499-510.
- Li, Z., Nandon, S., Cihlar, J., & Stocks, B., 2000. *Satellite-Based Mapping of Canadian Boreal Forest Fires: Evaluation and Comparison of Algorithms*, *International Journal of Remote Sensing*, 21(16), 3071-3082.
- Lloret, F., Calvo, E., Pons, X., & Delgado, R.D., 2002. *Wildfire and Landscape Patterns in the Eastern Iberia Peninsula*, *Landscape Ecology*, 17, 745-759.
- Malingreau, J.P., Stephens, G., & Fellows, L., 1985. *Remote sensing of forest fires: Kalimantan and north Borneo in 1982-83*, *Ambio* 14, 314-321.
- Martin, M.P., & Chuvieco, E., 1995. *Mapping and Evaluation of Burned Land from Multitemporal Analysis of AVHRR NDVI Images*, *Earsel Advances in Remote Sensing*, 4(3), 7-13.
- Martin, M.P., Delgado, R.D., Chuvieco, E., & Ventura, G., 2002. *Burned Land Mapping using NOAA-AVHRR and Terra-MODIS*, *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Millpress, Rotterdam.

- Miettinen, J., 2007. *Burnt Area Mapping in Insular Southeast Asia using Medium Resolution Satellite Imagery*, Academic dissertation. Department of Forest Resource Management, Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki.
- Nicolas, M.V.J., 1998. *Fighting the Forest Fires: the South Sumatera Experience, Forest fire Prevention and Control Project, Palembang*, Ministry of forestry and estate crops and European Union, Jakarta.
- Roswintarti, O., Khomarudin, M.R., Suwarsono, Effendy, I., & Simatupang, B. F., 2006. *Pemetaan Daerah Bekas Kebakaran (Burned Scar) dengan Data MODIS di Provinsi Sumatera Selatan*, Laporan; Pusat Pengembangan Pemanfaatan dan Teknologi Penginderaan Jauh LAPAN, Jakarta.
- Roswintarti, O., Solichin., Noviar, H., Zubaidah, A., 2007. *Integrating Multi-Product of MODIS Data for Analyzing the 2006 Burnt Area in South Sumatera, Indonesia*, Proceeding; Asian Conference on Remote Sensing (ACRS), Kuala Lumpur, 12-16 November 2007.
- Roy, D.P., & Boschetti, L., 2009. *Southern Africa Validation of the MODIS, L3JRC and GlobCarbon Burned-Area Product*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 47(4). This article has been accepted for inclusion in a future issue of this journal. Content is final as presented, with the exception of pagination.
- Roy, D.P., Frost, P.G.H., Justice, C.O., Landmann, T., Le Reoux, J.L., Gumbo, K., Makungwa, S., Dunham, K., Du Toit, R., Mhwandagara, K., Zacarias, A., Tacheba, B., Dube, O.P., Pereira, J.M.C., Mushove, P., Morisette, J.T., Vannan, S.K.S., & Davies, D., 2005b. *The Southern Africa Fire Network (SAFNet) Regional Burned-Area Product-Validation Protocol*. International Journal of Remote Sensing, 26(4), 4265-4292.
- Roy, D.P., Giglio, L., Kendall, J.D., & Justice, C. O., 1999. *Multi-Temporal Active-Fire Based Burn Scar Detection Algorithm*, International Journal of Remote Sensing, 20(5), 1031-1038.
- Roy, D.P., Jin, Y., Lewis, P.E., & Justice, C.O., 2005a. *Prototyping a Global Algorithm for Systematic Fire-Affected Area Mapping using MODIS Time Series Data*, Remote Sensing and Environment, 97, 137-162.
- Roy, D.P., Lewis, P. E., & Justice, C.O., 2002. *Burned Area Mapping using Multi-temporal Moderate Spatial Resolution Data - a Bi-directional Reflectance Model-Based Expectation Approach*, Remote Sensing and Environment, 83, 263-286.
- Salvador, R., Valeriano, J., Pons, X., & Delgado, R. D., 2000. *A Semi-Automatic Methodology to Detect Fire Scars in Shrubs and Evergreen Forests with Landsat MSS Time Series*, International Journal of Remote Sensing, 21(4), 655-671.
- Siegert, F., & Hoffmann, A.A., 2000. *The 1998 Forest Fires in East Kalimantan (Indonesia): A Quantitative Evaluation using High Resolution, multitemporal ERS-2 SAR images and NOAA-AVHRR hotspot data*, Remote Sensing of Environment, 72, 64-77.
- Sukhinin, A.I., French, N.H.F., Kasischke, E.S., Hewson, J.H., Soja, A.J., Csiszar, I.A., Hyer, E.J., Loboda, T., Conrad, S.G., Romasko, V.I., Pavlichenko, E.A., Miskiv, S.I., & Slinkina, O.A., 2004. *AVHRR-Based Mapping of Fires in Russia: New Products for Fire Management and Carbon Cycle Studies*, Remote Sensing of Environment, 93,546-564.

- Suwarsono, Roswintarti, O., & Noviar, H., 2008. *Analisis Daerah Bekas Kebakaran Hutan dan Lahan (Burned Area) di Provinsi Kalimantan Tengah Tahun 2006 Menggunakan Data Satelit Penginderaan Jauh Terra/Aqua MODIS*. Prosiding; Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia ke-17 (PIT MAPIN XVII), Bandung, 10 Desember 2008.
- Suwarsono, Vetrita, Y., Parwati, & Khomarudin, R., 2011. *Analisis Daerah Bekas Kebakaran Hutan dan Lahan (Burned Area) di Wilayah Kalimantan Tengah Tahun 2009 Berdasarkan Nilai Normalized Burned Ratio (NBR) dari data Landsat-7 SLC-Off*, Prosiding Seminar Nasional Geospasial dalam Pembangunan Wilayah dan Kota, Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (PIT MAPIN) Tahun 2011, Biro Penerbit Planologi UNDIP, Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik-Universitas Diponegoro.
- Suwarsono, Yulianto, F., Parwati, & Suprpto, S., 2009. *Pemanfaatan Data MODIS untuk Identifikasi Daerah Bekas Terbakar (Burned Area) Berdasarkan Perubahan Nilai NDVI di Provinsi Kalimantan Tengah Tahun 2009*, Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Dijital, 6, 54-64.
- Tacconi, L., 2003. *Fires in Indonesia: Causes, Costs, and Policy Implications*< CIFOR Occasional Paper No.38, Bogor, Indonesia.
- Wagtendonk, J.W.V., Root, R.R., & Key, C. H., 2004. *Comparison of AVIRIS and Landsat ETM+ Detection Capabilities for Burn Severity*, Remote Sensing and Environment, 92, 397-408.