



UNIVERSITAS INDONESIA

DAERAH BEKAS KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN
(*BURNED AREA*) DI KALIMANTAN

TESIS

SUWARSONO
1006734155

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU GEOGRAFI
DEPOK
JUNI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

DAERAH BEKAS KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN
(*BURNED AREA*) DI KALIMANTAN

Diajukan sebagai salahsatu syarat untuk memperoleh gelar Magister

TESIS

SUWARSONO
1006734155

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU GEOGRAFI
DEPOK
JUNI 2012

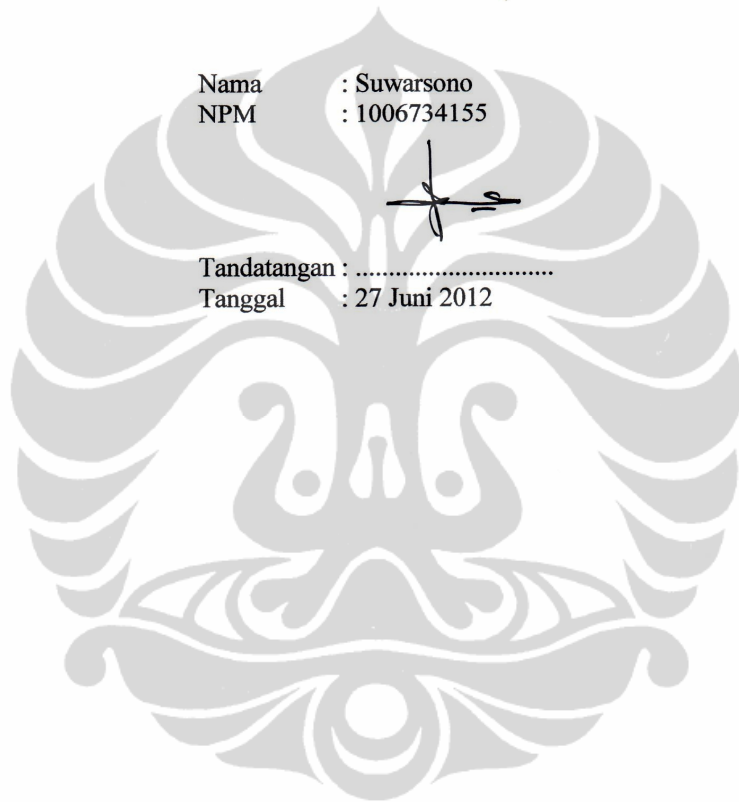
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Suwarsono
NPM : 1006734155



Tandatangan :
Tanggal : 27 Juni 2012



HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Suwarsono
NPM : 1006734155
Program Studi : Magister Ilmu Geografi
Judul Tesis : Daerah Bekas Kebakaran Hutan dan Lahan
(*Burned Area*) di Kalimantan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Pascasarjana Ilmu Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Rokhmatuloh, M.Eng (.....)

Pembimbing : Dr. Ir. Tarsoen Waryono, M.S. (.....)

Penguji : Dr.rer.nat. M. Rokhis Khomarudin, M.Si. (.....)

Penguji : Dr. Bambang Trisakti (.....)

Penguji : Dr. Djoko Harmantyo, M.S. (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 27 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tesis ini. Penulisan tesis ini dilaksanakan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sains Ilmu Geografi pada Program Studi Pascasarjana Ilmu Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Rokhmatuloh, M.Eng dan Dr.Ir. Tarsoen Waryono, M.S. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
2. 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 penyusunan tesis ini.
3. Para Dosen di Departemen Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia yang telah membekali saya dengan banyak ilmu, wawasan dan pengalaman yang berharga, khususnya dalam pengembangan ilmu-ilmu kebumihantian.
4. Deputi Bidang Dinamika Masyarakat Kementerian Riset dan Teknologi beserta staf dan Kepala Biro Umum Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) beserta staf yang telah memfasilitasi saya dalam memperoleh beasiswa untuk melanjutkan jenjang studi magister di Universitas Indonesia melalui Program Beasiswa Pascasarjana Kementerian Riset dan Teknologi.
5. Ir. Agus Hidayat, M.Sc. selaku Kepala Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN dan Dr. Orbita Roswintiarti, M.Sc. selaku Kepala Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh LAPAN atas dukungannya dalam penyelesaian tesis ini.

6. Rekan-rekan di Kalimantan, Andreas Dody, S.Hut., Banjarmasin, S.Hut., Janatun Naim, S.Hut., dan Mahfud yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan survei lapangan.
7. Teman-teman kuliah (Wahyu, Sulma, Rya, Iken, Emi, Ratih, Dini, Wigna, Hartono, Dedeng, Rital, Hermawan, Reza dan Pak Jun), terima kasih atas kerjasama yang telah terjalin selama masa perkuliahan hingga penyusunan tesis ini.
8. Teman-teman sesama peneliti di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh dan Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh LAPAN, terima kasih atas kerjasama yang telah terjalin hingga saat ini.
9. Orang tua dan keluarga, khususnya Ibunda tercinta serta Ayahanda yang telah berpulang ke Rahmatullah. Juga isteri saya Olivia Hanivalentin dan puteri saya Azzahra Salma Thayyibah yang selalu menemani, menyemangati, memberikan dukungan dan panjatan doa-doanya hingga terselesainya tesis ini. Terima kasih juga buat Akung, Uti, *Om* Adit dan *Ate* Metta yang ikut mendukung saya selama perjalanan kuliah.
10. Pihak-pihak lainnya yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini yang tidak dapat saya sebutkan namanya satu persatu

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 27 Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Suwarsono
NPM : 1006734155
Program Studi : Magister Ilmu Geografi
Departemen : Geografi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Daerah Bekas Kebakaran Hutan dan Lahan (*Burned Area*) di Kalimantan

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 27 Juni 2012
Yang menyatakan



(Suwarsono)

ABSTRAK

Nama : Suwarsono
Program Studi : Magister Ilmu Geografi
Judul Tesis : Daerah Bekas Kebakaran Hutan dan Lahan (*Burned Area*)
di Kalimantan

Kebakaran hutan dan lahan telah menjadi ancaman cukup serius bagi masyarakat secara global pada dua dekade terakhir karena kontribusinya terhadap rusaknya ekosistem, peningkatan emisi karbon, penurunan keanekaragaman hayati, gangguan kesehatan, dan kerugian ekonomi. Kalimantan merupakan daerah yang rawan terhadap bencana kebakaran hutan dan lahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui model identifikasi *burned area* yang paling sesuai diaplikasikan di Kalimantan dengan menggunakan citra MODIS serta mengkaji sebaran *burned area* secara spasial (*spatial distribution*). Identifikasi *burned area* dilakukan dengan menggunakan indeks vegetasi (NDVI), indeks kebakaran (NBR), dan nilai reflektansi dari citra MODIS. Analisis sebaran secara spasial dilakukan dengan menumpang-susunkan (*overlay*) antara *burned area* dengan variabel-variabel penutup lahan, curah hujan, elevasi, kemiringan lereng, jenis tanah, dan jarak dengan permukiman. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dari semua model, model NBR memberikan tingkat akurasi paling tinggi, yaitu sebesar 0,635 atau 63,5%. Luas total *burned area* di Kalimantan pada tahun 2011 sekitar 343.290 ha. Sebaran spasial *burned area* di Kalimantan sebagian besar berada pada suatu wilayah yang mempunyai karakteristik; (a) curah hujan bulanan kurang dari 200 mm/bulan, (b) jenis tanah Tropohemists, Tropaquepts, atau Quartzipsaments, (c) penutup lahan semak/belukar, sawah, hutan, atau ladang/tegalan, (d) elevasi di bawah 100 meter dpl, (e) datar dengan kemiringan 0 – 3%, dan (f) relatif dekat dengan permukiman.

Kata kunci:
Identifikasi, *burned area*, NBR, MODIS, sebaran spasial

ABSTRACT

Name : Suwarsono
Study Program : Master of Geography Science
Title : Burned Area in Kalimantan

Forest and land fire has been a serious threat for global communities since two last decades because their contribution to ecosystem damages, carbon emission increasing, biodiversity decreasing, healthy interfering, and also economic lost. Kalimantan is the prone area of the forest and land fire. Objectives of the research are to find out the appropriate identification model of burned area derived from MODIS imagery and to analyze their spatial distribution. The burned area identification was developed by using the variabels extracted from MODIS imagery such vegetation index (NDVI), burn index (NBR), and reflectance values. Then, the spatial distribution was analyzed by using overlay methods between burned area and variabels of rainfall, landcover, elevation, slope, soil type and the distances from settlements. The research concludes that among several models, the NBR model show the highest accuracy, that is 63,5 %. Total of the burned area in Kalimantan for 2011 was about 343,290 hectares. The burned area spatial distribution in Kalimantan mostly located on the regions which have characteristics; (a) rainfall less than 200 mm/month, (b) soil type of Tropohemists, Tropaquepts, or Quartzipsaments, (c) landcover of shrublands, paddy fields, forests, or croplands, (d) elevation less than 100 metres asl, (e) flat regions with slope about 0 – 3%, and (f) relatively near from settlements.

Key Words:

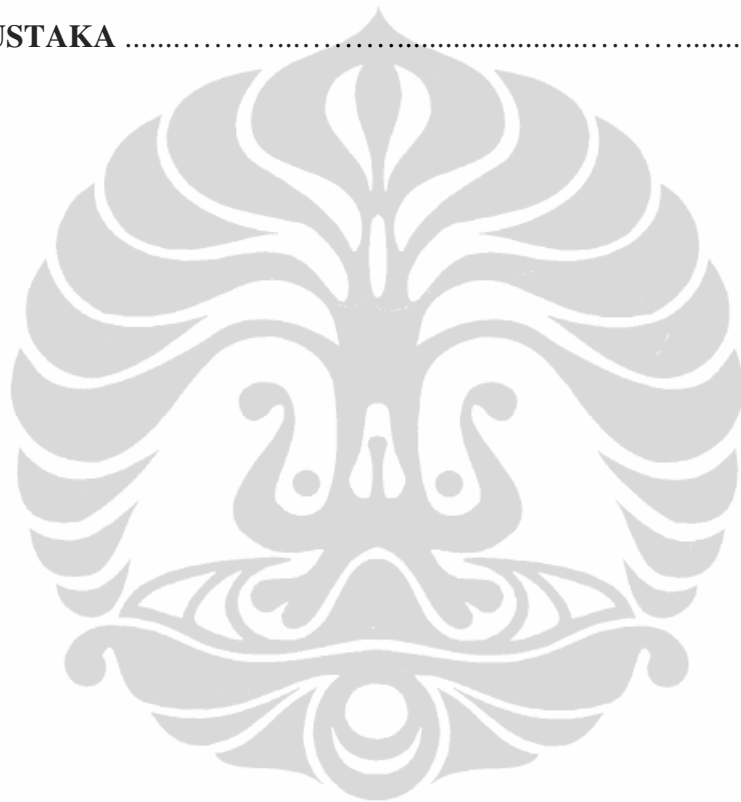
Identification, burned area, NBR, MODIS, spatial distribution

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
KATA PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR GRAFIK.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR SINGKATAN.....	xvii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Penelitian.....	5
2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian “ <i>Burned Area</i> ”	6
2.2 Faktor-faktor penyebab kebakaran hutan dan lahan	7
2.3 Pola sebaran spasial <i>burned area</i>	9
2.4 Metode identifikasi <i>burned area</i> dari citra MODIS.....	11
2.5 Citra Terra/Aqua MODIS	13
3. METODOLOGI	15
3.1 Data dan sumber data	15
3.2 Pengolahan citra untuk memperoleh data <i>burned area</i>	18
3.2.1. Pengolahan data hotspot bulanan	18
3.2.2 Ekstraksi variabel indeks dari citra MODIS	18
3.2.3. Pembuatan komposit citra MODIS multitemporal	19
3.2.4. Pembuatan <i>burned area</i> sebagai data referensi	20
3.2.5. Penentuan ambang batas (<i>thresholds</i>) <i>Burned Area</i>	22
3.2.6. Identifikasi <i>burned area</i> dari citra MODIS	22
3.3 Perhitungan tingkat kemampuan model reflektansi dan indeks dari citra MODIS dalam mengidentifikasi <i>burned area</i>	24
3.4 Perhitungan tingkat akurasi hasil identifikasi <i>burned area</i> dari citra MODIS	25
3.5 Pengolahan data spasial yang bersumber dari peta	25
3.6 Analisis sebaran spasial <i>burned area</i>	26

4. GAMBARAN UMUM WILAYAH PENELITIAN	28
4.1 Letak Geografi dan Administrasi	28
4.2 Curah Hujan	29
4.3 Geologi	32
4.4 Geomorfologi dan Topografi.....	32
4.5 Tanah	34
4.6 Hidrologi	35
4.7 Penutup Lahan (<i>Landcover</i>)	36
4.8 Kependudukan	36
5. HASIL DAN PEMBAHASAN	39
5.1 Hasil	39
5.1.1 Intensitas hotspot bulanan	39
5.1.2 Kemampuan model dalam mendeteksi <i>burned area</i>	40
5.1.2.1 Hasil pengolahan peta <i>burned area</i> dari citra Landsat sebagai <i>burned area</i> referensi	40
5.1.2.2 Nilai NDVI, NBR dan Reflektansi <i>Burned Area</i> dari Citra MODIS	42
5.1.2.3 Kemampuan variabel reflektansi, NDVI, dan NBR dari Citra MODIS dalam mendeteksi <i>burned area</i>	44
5.1.3 Identifikasi <i>burned area</i>	45
5.1.3.1 Nilai ambang batas (<i>threshold</i>) NDVI, NBR dan Reflektansi dari Citra MODIS untuk mendeteksi <i>burned area burned area</i>	45
5.1.3.2 Identifikasi <i>burned area</i> menggunakan beberapa model ..	46
5.1.4 Tingkat akurasi model identifikasi <i>burned area</i>	46
5.1.5 Sebaran spasial <i>burned area</i>	50
5.1.5.1 Sebaran <i>burned area</i> menurut wilayah administrasi	50
5.1.5.2 Sebaran <i>burned area</i> menurut curah hujan	51
5.1.5.3 Sebaran <i>burned area</i> menurut jenis tanah	53
5.1.5.4 Sebaran <i>burned area</i> menurut jenis penutup lahan	54
5.1.5.5 Sebaran <i>burned area</i> menurut ketinggian tempat	55
5.1.5.6 Sebaran <i>burned area</i> menurut kemiringan lereng	56
5.1.5.7 Sebaran <i>burned area</i> jarak dari permukiman	57
5.2 Pembahasan	58
5.2.1 Model identifikasi <i>burned area</i> yang sesuai diaplikasikan di Kalimantan dari citra MODIS	58
5.2.2 Keterbatasan Model NBR dalam mengidentifikasi <i>burned area</i> di Kalimantan dari citra MODIS	59
5.2.3 Analisis pola spasial <i>burned area</i> di Kalimantan	61
5.2.4 Analisis sebaran spasial <i>burned area</i> di Kalimantan	61
5.2.4.1 Analisis sebaran <i>burned area</i> menurut wilayah administrasi	61

5.2.4.2	Analisis sebaran <i>burned area</i> menurut curah hujan	62
5.2.4.3	Analisis sebaran <i>burned area</i> menurut jenis tanah	64
5.2.4.4	Analisis sebaran <i>burned area</i> menurut jenis penutup lahan	66
5.2.4.5	Analisis sebaran <i>burned area</i> menurut ketinggian tempat dan kemiringan lereng	67
5.2.4.6	Analisis sebaran <i>burned area</i> menurut jarak dari permukiman	69
6.	KESIMPULAN DAN SARAN	70
	DAFTAR PUSTAKA	71



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Karakteristik spektral dan spasial Sensor MODIS serta aplikasi.....	14
Tabel 4.1.	Curah hujan rerata tahunan dan luas cakupan wilayahnya selama periode tahun 2011 dan rerata 10 tahun terakhir (2002-2011) di Kalimantan.....	30
Tabel 4.2.	Intensitas curah hujan bulanan selama tahun 2011 dan perbandingannya dengan rerata bulanan selama 10 tahun terakhir (2002-2011) di Kalimantan	31
Tabel 4.3.	Pembagian wilayah Kalimantan menurut batuan penyusunnya	32
Tabel 4.4.	Pembagian wilayah Kalimantan menurut satuan geomorfologi	33
Tabel 4.5.	Pembagian wilayah Kalimantan menurut ketinggian tempat	33
Tabel 4.6.	Pembagian wilayah Kalimantan menurut kemiringan lereng	34
Tabel 4.7.	Pembagian wilayah Kalimantan menurut jenis tanah	35
Tabel 4.8.	Pembagian wilayah Kalimantan menurut jenis penutup lahannya	36
Tabel 4.9.	Jumlah penduduk pada setiap kota/kabupaten di Provinsi Kalimantan Barat tahun 2010	37
Tabel 4.10.	Jumlah penduduk pada setiap kota/kabupaten di Provinsi Kalimantan Tengah tahun 2010.....	37
Tabel 4.11.	Jumlah penduduk pada setiap kota/kabupaten di Provinsi Kalimantan Timur tahun 2010	38
Tabel 4.12.	Jumlah penduduk pada setiap kota/kabupaten di Provinsi Kalimantan Selatan tahun 2010	38
Tabel 5.1.	Rerata dan standar deviasi nilai reflektansi, NDVI dan NBR di lokasi <i>burned area</i>	43
Tabel 5.2.	Rerata dan standar deviasi perubahan nilai reflektansi, NDVI dan NBR di lokasi <i>burned area</i>	43
Tabel 5.3.	Separabilitas (<i>D-Value</i>) variabel reflektansi, NDVI, dan NBR pada lokasi <i>burned area</i>	45

Tabel 5.4.	Nilai ambang batas untuk pendeteksian <i>burned area</i> menggunakan variabel reflektansi, NDVI, dan NBR dari citra MODIS	45
Tabel 5.5.	Tingkat akurasi tiap-tiap model dalam mengidentifikasi <i>burned area</i>	47
Tabel 5.6.	Sebaran <i>burned area</i> pada setiap provinsi	50
Tabel 5.7.	Sebaran <i>burned area</i> menurut wilayah curah hujan tahunan	51
Tabel 5.8.	Sebaran <i>burned area</i> menurut wilayah curah hujan rerata bulanan	52
Tabel 5.9.	Sebaran <i>burned area</i> menurut jenis tanah	53
Tabel 5.10.	Sebaran <i>burned area</i> menurut penutup lahan	54
Tabel 5.11.	Sebaran <i>burned area</i> menurut ketinggian tempat	55
Tabel 5.12.	Sebaran <i>burned area</i> menurut kemiringan lereng	56
Tabel 5.13.	Sebaran lokasi <i>burned area</i> menurut jaraknya dari permukiman	57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	<i>Burned area</i> di Kalimantan Timur	7
Gambar 3.1.	Contoh citra MODIS RGB 621 komposit 8 –harian ke 261 dan ke-289 yang mencakup daerah Kalimantan.....	16
Gambar 3.2.	Contoh <i>burned area</i> di sebagian wilayah Provinsi Kalimantan Tengah yang teramati pada citra Landsat-7 ETM komposit RGB 543	21
Gambar 3.3.	Diagram alur penelitian	27
Gambar 5.1.	Sebaran hotspot di Kalimantan sepanjang tahun 2011	40
Gambar 5.2.	Hasil analisis dan deliniasi <i>burned area</i> referensi dari citra Landsat-7 ETM dan SPOT-4	41
Gambar 5.3.	Contoh hasil analisis <i>burned area</i> dari citra resolusi tinggi Landsat	41
Gambar 5.4.	Peta lokasi verifikasi <i>burned area</i> di Provinsi Kalimantan Tengah dan Selatan	42
Gambar 5.5.	Contoh hasil identifikasi <i>burned area</i> dari citra MODIS ...	48
Gambar 5.6.	Perbesaran hasil identifikasi <i>burned area</i> dari citra MODIS dan Landsat/SPOT-4	49
Gambar 5.7.	Peta Sebaran <i>Burned Area</i> di Kalimantan pada tahun 2011	50
Gambar 5.8.	Peta Sebaran <i>Burned Area</i> menurut wilayah hujan tahun 2011 di Kalimantan	51
Gambar 5.9.	Peta Sebaran <i>Burned Area</i> menurut wilayah hujan rerata bulanan	52
Gambar 5.10.	Peta Sebaran <i>Burned Area</i> di Kalimantan menurut jenis tanah	53
Gambar 5.11.	Peta Sebaran <i>Burned Area</i> di Kalimantan menurut jenis penutup lahan	54
Gambar 5.12.	Peta Sebaran <i>Burned Area</i> di Kalimantan menurut ketinggian tempat	55
Gambar 5.13.	Peta Sebaran <i>Burned Area</i> di Kalimantan menurut kemiringan lereng	56
Gambar 5.14.	Peta Sebaran <i>Burned Area</i> di Kalimantan terhadap lokasi permukiman	57

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1.	Luas cakupan wilayah di Kalimantan pada berbagai interval intensitas curah hujan pada tahun 2011 dan perbandingannya dengan rerata 10 tahun terakhir	30
Grafik 4.2.	Intensitas curah hujan bulanan di Kalimantan sepanjang tahun 2011 dan perbandingannya dengan rerata 10 tahun terakhir (2002-2011)	31
Grafik 5.1.	Intensitas hotspot bulanan di Kalimantan	39
Grafik 5.2.	Kurva pantulan di lokasi <i>burned area</i> pada saat sebelum kebakaran (<i>pre-fire</i>) dan setelah kebakaran (<i>post-fire</i>)	44
Grafik 5.3.	Rerata nilai reflektansi, NDVI dan NBR di lokasi <i>burned area</i> pada saat sebelum kebakaran (<i>pre-fire</i>) dan setelah kebakaran (<i>post-fire</i>)	44
Grafik 5.4.	Pola hubungan antara intensitas curah hujan bulanan dan intensitas hotspot bulanan sepanjang tahun 2011 di Kalimantan	63
Grafik 5.5.	Luas <i>burned area</i> wilayah menurut rerata curah hujan bulanan	64
Grafik 5.6.	Luas <i>burned area</i> wilayah menurut jenis penutup lahan	66
Grafik 5.7.	Pengaruh jarak dari lokasi permukiman terhadap luas <i>burned area</i>	69

DAFTAR LAMPIRAN

TABEL

Tabel 1.	Hasil Analisis Statistik Uji Beda	1
Tabel 2.	Rerata nilai Reflektansi, NDVI dan NBR pada sampel <i>burned area</i> dari citra MODIS pada saat sebelum kebakaran (<i>Pre-Fire</i>)	3
Tabel 3.	Rerata nilai Reflektansi, NDVI dan NBR pada sampel <i>burned area</i> dari citra MODIS pada saat setelah kebakaran (<i>Post-Fire</i>)	7
Tabel 4.	Rerata perubahan nilai Reflektansi, NDVI dan NBR pada sampel <i>burned area</i> dari citra MODIS sebelum dan setelah kebakaran	11

PETA

Peta 1.	Peta Curah Hujan Tahun 2011, Kalimantan dan Sekitarnya
Peta 2.	Peta Curah Hujan Tahunan, Rerata 10 Tahun (2002-2011), Kalimantan dan Sekitarnya
Peta 3.	Peta Jenis Batuan, Kalimantan
Peta 4.	Peta Geomorfologi, Kalimantan
Peta 5.	Peta Ketinggian Tempat, Kalimantan
Peta 6.	Peta Kemiringan Lereng, Kalimantan
Peta 7.	Peta Jenis Tanah, Kalimantan
Peta 8.	Peta Jaringan Sungai, Kalimantan
Peta 9.	Peta Penutup Lahan, Kalimantan
Peta 10.	Peta Sebaran Hotspot, Kalimantan
Peta 11.	Peta Sebaran <i>Burned Area</i> , Kalimantan

DAFTAR SINGKATAN

AVHRR	: Advanced Very High Resolution Radiometer
BIRD	: Bi-Spectral Infrared Detection
BKSDA	: Balai Konservasi Sumberdaya Alam
BMKG	: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
DEM	: Digital Elevation Model
DMSP-OLS	: Defense Meteorological Satellite Program Operational Line Scanner
ERS	: European Remote Sensing
ETM	: Enhanced Thematic Mapper
GOES	: Geostationary Operational Environmental Satellite
HRVIR	: High Resolution Visible Infra Red
KLH	: Kementerian Lingkungan Hidup
LAPAN	: Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NBR	: Normalized Burn Ratio
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
RePPPProT	: Regional Physical Planning Programme Transmigration
RGB	: Red Green Blue
SAFNet	: The Southern Africa Fire Network
SPOT	: Système Pour l'Observation de la Terre (English : System for Earth Observation)
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
SWVI	: Short Wave Vegetation Index
TRMM	: Tropical Rainfall Measuring Mission
USGS	: United States of Geological Survey
USDA	: United States Department of Agriculture
UTM	: Universal Transverse Mercator
VIRS	: Visible and Infrared Scanner
WGS	: World Geodetic System

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 1997/1998 yang mengakibatkan 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).

Peningkatan emisi gas rumah kaca dari kebakaran hutan sudah menjadi permasalahan serius terutama di negara berkembang, termasuk Indonesia, sehingga dengan demikian sangat memerlukan perhatian (UNFCCC, 2007). Di Indonesia saja, Kebakaran hutan dan lahan yang parah terjadi pada periode tahun 1997/1998 telah ikut menyumbangkan emisi karbon sebesar 8,3 % dari total emisi karbon dunia (Archard, et al., 2004). Selain itu, kerugian secara ekonomi yang ditimbulkan oleh kebakaran hutan dan lahan ini mencapai kisaran 2,8 Milyar USD, yang meliputi kerugian akibat degradasi lahan, deforestasi dan akibat polusi udara oleh asap kebakaran (Tacconi, 2003).

Kalimantan merupakan wilayah di Indonesia yang paling rawan terhadap bencana kebakaran hutan dan lahan. Dari 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; Sumatra (2,1 juta ha), Jawa (0,1 juta ha), Sulawesi (0,4 juta ha), dan Papua (1,0 juta ha) (Tacconi, 2003). Di sisi lain, Berdasarkan data dari Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam Kementerian Kehutanan tahun 2007, selama kurun waktu

1997 – 2001, tercatat 840.453 hektar kawasan hutan yang mengalami kebakaran. Dari jumlah tersebut, sebanyak 71 % terdapat di Kalimantan. Tidak berhenti sampai di sini, permasalahan-permasalahan terkait kebakaran hutan dan lahan yang mirip terjadi pada periode tahun 1997/1998 tersebut terulang kembali pada tahun 2002, yang juga bersamaan dengan adanya kejadian ENSO (Tacconi, 2003). Di Kalimantan sendiri, bersamaan dengan adanya kejadian ENSO, pada tahun 2002, 2004, dan 2006 telah terjadi peningkatan intensitas kebakaran hutan dan lahan yang diindikasikan oleh peningkatan hotspot (Adiningsih et al., 2008). Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan merupakan ancaman yang cukup serius dan berpotensi menimbulkan bencana, sehingga sangat memerlukan perhatian yang lebih.

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. Salahsatu upaya yang sangat bermanfaat dalam mendukung upaya mitigasi ini adalah penyediaan informasi sebaran spasial daerah-daerah yang telah mengalami kebakaran hutan dan lahan (*burned area*). Informasi ini sangat berguna bagi pemerintah maupun pihak-pihak terkait lainnya yang menaruh perhatian dalam upaya rehabilitasi lahan pasca kebakaran.

Pengukuran *burned area* 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). Salahsatu jenis citra satelit yang sudah sering digunakan untuk analisis terkait dengan kebakaran hutan dan lahan adalah MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Citra MODIS ini memiliki kemampuan lebih baik dalam mendeteksi kebakaran hutan dan lahan bila dibandingkan dengan jenis citra sebelumnya, seperti : AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), GOES (*Geostationary Operational Environmental*

Satellite), DMSP-OLS (*Defense Meteorological Satellite Program Operational Line Scanner*), TRMM-VIRS (*Tropical Rainfall Measuring Mission – Visible and Infrared Scanner*), dan BIRD (*Bi-Spectral Infrared Detection*). Kelebihan kemampuan sensor MODIS tersebut terkait dengan tingkat saturasi yang lebih tinggi serta memiliki resolusi spasial dan radiometrik yang lebih baik (Cochrane, 2003). Citra satelit ini memiliki kemampuan untuk merekam wilayah yang relatif luas dengan lebar sapuan 2.330 km, memiliki resolusi temporal yang tinggi (2 kali merekam lokasi obyek yang sama dalam sehari), memiliki resolusi spasial dalam tingkat menengah (250 m hingga 1.000 m), serta mampu merekam dalam julat spektral yang rapat (terdiri dari 36 kanal spektral).

Untuk mengidentifikasi *burned area* dengan menggunakan citra MODIS diperlukan suatu model analisis, yaitu terutama dalam bentuk persamaan algoritma dari satu atau beberapa variabel yang diperoleh dari pengolahan citra MODIS tersebut. Variabel tersebut dapat berupa nilai pantulan atau reflektansi (*reflectance*) maupun nilai indeks (*index value*), yaitu kombinasi dari beberapa nilai pantulan. Penelitian-penelitian terdahulu dengan topik terkait dengan pemanfaatan citra penginderaan jauh untuk mengidentifikasi *burned area* banyak menggunakan model-model berbasis perubahan nilai pantulan (mulai dari pantulan panjang gelombang merah hingga inframerah tengah) dan perubahan nilai indeks, seperti NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dan NBR (*Normalized Burn Ratio*).

Sebagian besar penelitian-penelitian yang mengkaji pemanfaatan citra penginderaan jauh untuk identifikasi *burned area* 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; White et al., 1996; Wagtendonk et al., 2004; Brewer et al., 2005; Cocke et al., 2005; Epting et al., 2005; Roy et al., 2005; Eidensink 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), dan Rusia (Sukhinin et al., 2004; Roy et al., 2005; Giglio et al., 2009). Oleh sebab itu, apabila akan diaplikasikan di wilayah Indonesia, atau wilayah yang lebih spesifik lagi, misalnya Kalimantan, informasi

burned area yang dihasilkan dengan menggunakan model-model tersebut masih perlu dipertanyakan tingkat keakuratannya. Sejauh ini belum banyak penelitian yang mencoba mengembangkan model identifikasi *burned area* dengan menggunakan citra penginderaan jauh, terutama citra MODIS, untuk fokus wilayah Kalimantan.

Dalam penelitian ini, akan dilakukan identifikasi *burned area* di wilayah Kalimantan menggunakan citra MODIS dengan menggunakan beberapa model sekaligus untuk kemudian dilakukan pengujian tingkat kemampuan model tersebut dalam mengenali *burned area* dan pengujian tingkat akurasi. Model yang akan dipergunakan adalah model perubahan nilai indeks vegetasi (NDVI), model perubahan nilai indeks kebakaran (NBR), dan model perubahan reflektansi, terutama model perubahan reflektansi kanal 5 dan 7 (Model Roy, 2002) dan model perubahan nilai reflektansi kanal 2 (Model Miettinen, 2007).

Hasil dari penelitian ini diharapkan akan diketahui tingkat kemampuan model dalam mengenali *burned area*, tingkat akurasi tiap-tiap model, dan model identifikasi *burned area* yang paling tepat diaplikasikan khususnya untuk daerah Kalimantan. Selain itu, di dalam penelitian ini juga akan dicoba untuk mengetahui sebaran spasial dari *burned area* di Kalimantan pada berbagai kondisi geografis, seperti iklim, topografi, tanah, dan penutup lahan, dan jarak terhadap permukiman.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini adalah : Model identifikasi *burned area* manakah yang paling sesuai diaplikasikan untuk daerah Kalimantan dengan menggunakan citra MODIS dan bagaimanakah sebaran spasial *burned area* dari model yang paling sesuai tersebut?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- 1) Mengetahui model identifikasi *burned area* yang paling sesuai diaplikasikan di Kalimantan dengan menggunakan citra MODIS, dan
- 2) Menganalisis sebaran spasialnya (*spatial distribution*).

1.4 Batasan Penelitian

Batasan-batasan yang kami pergunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

- a. *Burned area* adalah 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.
- b. Identifikasi adalah upaya untuk mengenali suatu obyek atau fenomena di alam dengan alat dan metode tertentu.
- c. Citra MODIS adalah hasil dari perekaman berupa citra (*imagery*) oleh sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) dari Satelit Terra/Aqua yang dioperasionalkan oleh NASA.
- d. Kalimantan adalah bagian wilayah daratan dari pulau yang dulu bernama Borneo yang masuk ke dalam wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia (Sandy, 1996). Secara administrasi, wilayah ini mencakup Provinsi Kalimantan Tengah, Kalimantan Barat, Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan.
- e. Spasial adalah aspek keruangan suatu objek atau kejadian yang mencakup lokasi, letak, dan posisinya (UU No.4 Tahun 2011 Tentang Informasi Geospasial).

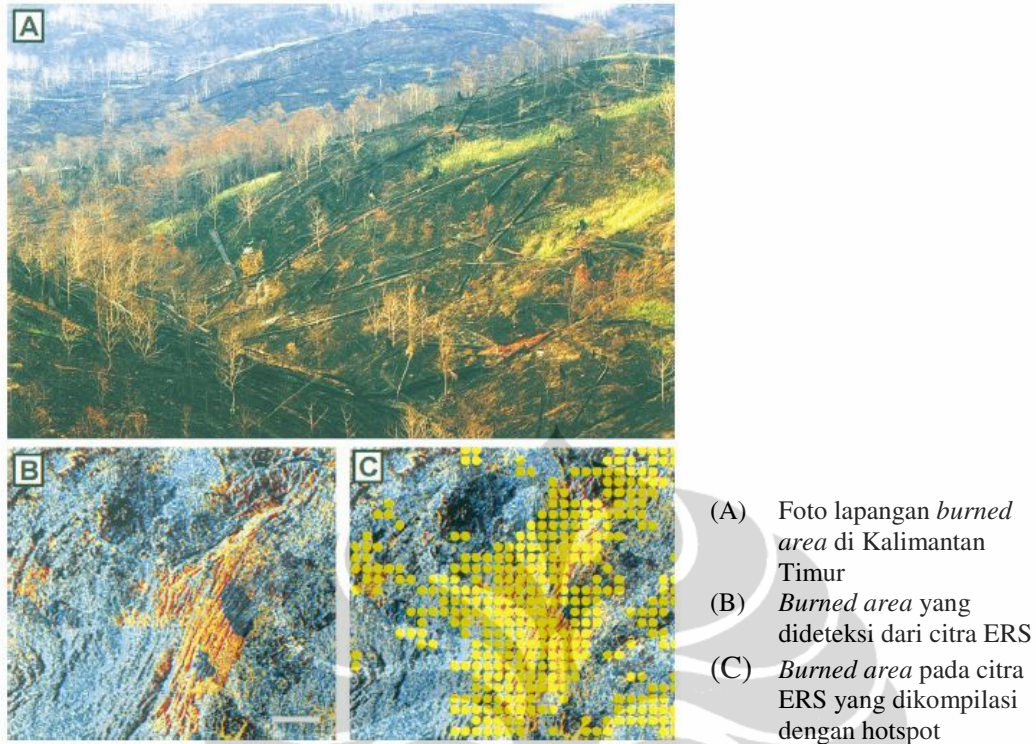
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian “*Burned Area*”

Burned area dapat diartikan secara harfiah 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). Menurut Roy et al. (2005a), *burned area* dicirikan oleh adanya deposit dari arang dan abu yang berasal dari tutupan vegetasi atau bahan bakaran lain yang terbakar dan oleh adanya tanah-tanah yang tersingkap ke permukaan. Perubahan kondisi permukaan lahan dari sebelumnya berupa lahan bervegetasi menjadi non vegetasi tersebut dapat dikenali dengan citra penginderaan jauh maupun pengamatan lapangan (Roy et al., 2005a).

Burned area berbeda dengan hotspot. 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. Gambar 2.1 memperlihatkan foto lapangan *burned area* di Kalimantan Timur, hasil deteksi *burned area* dari citra ERS dan *burned area* yang dikompilasikan dengan hotspot.

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, penyusun menggunakan istilah *burned area* karena 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).



Gambar 2.1. *Burned area* di Kalimantan Timur (Siegert & Hoffmann, 2000)

2.2 Faktor-faktor penyebab kebakaran hutan dan lahan

Faktor-faktor yang menyebabkan kebakaran hutan dan lahan bersifat sangat kompleks yang dipengaruhi oleh alam dan manusia. Berdasarkan faktor iklim, Adiningsih (2005) telah mencoba mengkaji hubungan antara penyimpangan iklim terhadap resiko kebakaran hutan dan lahan di Sumatera. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa pada saat El Nino kuat dan DME positif kuat, sebagian besar wilayah Sumatera (Riau, Sumatera Barat, Jambi, Sumatera Selatan, Bengkulu dan Lampung) memiliki resiko yang tinggi terhadap kebakaran hutan dan lahan. Sebaliknya, pada saat La Nina dan DME negatif, sebagian besar wilayah Sumatera memiliki resiko kebakaran yang tingkatan yang rendah, kecuali pada daerah di pantai Timur Sumatra yang tepat beresiko tinggi. Lebih lanjut, Adiningsih (2005) juga menyebutkan bahwa parameter biofisik yang berpengaruh terhadap resiko kebakaran hutan dan lahan adalah cuaca/iklim, bahan bakaran, vegetasi, dan keadaan lahan. Dalam hal ini, cuaca/iklim direpresentasikan oleh curah hujan, keadaan bahan bakaran dan vegetasi direpresentasikan oleh indeks vegetasi (NDVI), dan keadaan lahan direpresentasikan oleh penutup lahan dan jenis lahan (tanah).

Selain itu, Stolle et al. (2003), yang melakukan kajian mengenai kebakaran hutan dan lahan di Provinsi Jambi Sumatra, memberikan kesimpulan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi kebakaran hutan dan lahan adalah faktor alam (seperti iklim, vegetasi, jenis tanah dan ketinggian tempat), faktor manusia (seperti pengalokasian lahan dan program transmigrasi), serta faktor kebijakan nasional yang memicu pembakaran sepanjang pengalokasian lahan. Lebih lanjut, Bowen et al. (2001) menekankan pada faktor manusia, yaitu pengelolaan lahan yang sangat berperan terhadap terjadinya kebakaran hutan dan lahan di Sumatra (*anthropogenic fires*). Pengelolaan lahan yang berkontribusi terhadap timbulnya kebakaran hutan dan lahan tersebut meliputi; penebangan hutan (*commercial logging*), konversi lahan hutan dan pembukaan wilayah-wilayah perkebunan, pembangunan industri perminyakan (pertambangan), pembakaran oleh petani kecil (*small holder*), pengembangan kawasan transmigrasi (*transmigration scheme*), pembukaan lahan gambut, kebakaran secara tidak disengaja (*accidental fires*), dan pembakaran secara sengaja (*arson*).

Miettinen (2007) telah merangkum banyak penelitian terkait dengan faktor-faktor yang menyebabkan kebakaran hutan dan lahan di wilayah Asia Tenggara. Wilayah Asia Tenggara merupakan sebuah wilayah tropik basah dengan iklim yang relatif stabil sepanjang tahun. Karakteristik ekosistem hutan tropik basah di Asia Tenggara yang belum terganggu pada dasarnya tahan terhadap api (kebakaran) dan kebakaran yang timbul umumnya kecil dan hanya terjadi di musim kemarau yang luar biasa. Namun, aktivitas manusia cenderung merusak ekosistem ini dan membuatnya lebih rentan terhadap kebakaran karena pembukaan tajuk pohon (hutan) yang akan mempercepat kekeringan dan meningkatkan jumlah material kering (pohon, cabang, kayu, ranting dan seresah kering) yang rawan kebakaran. Kondisi tersebut tidak hanya meningkatkan resiko kebakaran, tetapi juga menyebabkan kebakaran menjadi lebih dahsyat dan lebih merusak. Kebakaran hutan di Asia Tenggara telah didokumentasikan sejak akhir abad ke-19 (terutama selama fenomena El Nino, sebagian besar tercatat pada tahun 1982-1983 dan 1997-1998), tetapi penggunaan api dalam pembukaan lahan semakin meningkat di tahun 1990-an. Sejak saat itu, kebakaran biomassa terjadi setiap tahun pada tingkatan yang bervariasi.

Kebakaran tersebut meningkatkan degradasi dan fragmentasi ekosistem alami oleh pembukaan hutan dan konversi lahan menjadi agroekosistem (seperti perkebunan sawit). Dikombinasikan dengan semakin ekstensifnya drainase pada lahan-lahan basah, telah meningkatkan kerentanan terhadap kebakaran secara dramatis dan menyebabkan sebuah siklus kebakaran yang berulang dan lebih lanjut akan merusak ekosistem. Penggunaan api sangat erat kaitannya dengan pengelolaan lahan (baik oleh petani kecil maupun perusahaan perkebunan), meskipun pengapian umumnya disengaja, kebakaran yang tidak diinginkan (tidak terkontrol) juga sering menimbulkan kebakaran besar dan tidak terkendali selama musim kering. Kebakaran yang disengaja maupun tidak disengaja telah menjadi masalah tahunan terutama pada lahan gambut yang dikeringkan dan pada beberapa kejadian telah menghasilkan kebakaran yang dahsyat yang menghasilkan emisi CO₂ yang sangat besar. Pembukaan hutan dengan cara membakar dianggap merupakan cara yang paling murah, mudah dan sederhana bila dibandingkan dengan menggunakan mesin-mesin berat. Selain itu, dengan membakar, maka akan mengurangi efek serangan hama. Dengan demikian, dapat dipahami bahwa kebakaran hutan di Asia Tenggara disebabkan tiga faktor yang saling berkaitan, yaitu oleh faktor alam dan faktor manusia.

2.3 Pola sebaran spasial *burned area*

Duffy et al. (2007) melakukan analisis pola spasial kebakaran hutan dan lahan menggunakan citra penginderaan jauh di Alaska Amerika Serikat. Penelitian tersebut bertujuan untuk memahami hubungan antara karakteristik kebakaran dan vegetasi pada beberapa kondisi topografi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa topografi memainkan peranan kritis dalam menentukan interaksi antara vegetasi dan kebakaran. Dalam penelitian tersebut, kebakaran lebih banyak terjadi pada wilayah dataran dibandingkan dengan wilayah bertopografi kompleks (perbukitan atau pegunungan). Pada wilayah dataran, kebakaran lebih banyak dijumpai pada wilayah hutan berdaun jarum (*coniferous*) bila dibandingkan dengan wilayah hutan berdaun lebar (*broadleaf*). Sedangkan di wilayah dengan topografi perbukitan atau pegunungan, tidak menunjukkan keterkaitan antara kebakaran dengan tipe vegetasi. Selanjutnya Duffy et al. (2007) menekankan bahwa ukuran

kebakaran (*fire size*) dan topografi merupakan faktor penting dalam menentukan interaksi antara kebakaran dan vegetasi. Duffy et al. (2007) menyarankan bahwa untuk memahami pola spasial kebakaran hutan dan lahan pada daerah dengan topografi yang kompleks perlu dikombinasikan dengan aspek-aspek lainnya seperti lereng (*slope*), arah lereng (*aspect*), dan ketinggian tempat (*elevation*).

Parisien et al. (2006) mengkaji pola spasial kebakaran hutan di Canada. Ukuran individu kebakaran hutan yang dibandingkan adalah ukuran kebakaran (*fire size*), bentuk (*shape*), pengelompokan (*clustering*), dan orientasi geografi (*geographic orientation*). Analisis dilakukan dengan menghubungkannya dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kebakaran pada tingkatan zona ekologi (*ecozone*) meliputi topografi, iklim, bahan bakaran, dan faktor-faktor manusia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata antara ukuran spasial pada tiap-tiap *ecozone*. Hasil penelitian ini memberikan pemahaman bahwa parameter topografi, iklim, bahan bakaran, dan manusia sangat berguna untuk menafsirkan variasi spasial kebakaran, seperti ukuran kebakaran, bentuk, dan *clustering*.

Delgado et al. (2004) yang mengkaji pola spasial kebakaran hutan dan lahan di Spanyol dikaitkan dengan parameter lingkungan seperti iklim (*climate*), ketinggian (*altitude*), kemiringan lereng (*slope*), dan penutup lahan (*land cover*). Pola spasial kebakaran tersebut terutama ukuran kebakaran (*fire size*), distribusi kebakaran (*fire distribution*), dan lokasi titik-titik kebakaran (*spots*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar kebakaran terjadi pada kondisi: ketinggian antara 250 – 750 meter, kemiringan lereng 10 – 60%, rerata temperatur tahunan 11 – 12° C, dan rerata curah hujan tahunan 550 – 750 mm/tahun. Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa dalam level bentanglahan (*landscape*), kebakaran terkait erat dengan tipe vegetasi. Semak belukar (*shrublands*) dan hutan pinus (*pine forest*) lebih rentan terbakar dibandingkan dengan hutan berdaun lebar yang hijau sepanjang tahun (*evergreen broadleaf forest*) dan sebagian hutan yang menggugurkan daunnya (*deciduous forest*). Pola ini terkait erat dengan tipe iklim Mediterania.

Miettinen (2007) dalam penelitiannya juga berusaha mengkaji pola dan distribusi ukuran *burned area* di wilayah Asia Tenggara. Ukuran *burned area*

dibedakan menjadi besar berukuran besar (>25 ha) dan berukuran kecil (<25 ha). Hasil penelitian menunjukkan bahwa di wilayah Asia Tenggara banyak dijumpai kebakaran-kebakaran berukuran kecil. Dalam penelitian itu disebutkan pula bahwa kebakaran hutan di Asia Tenggara lebih disebabkan tiga faktor yang saling berkaitan, yaitu oleh faktor-faktor iklim, ekologi, dan faktor manusia. Namun demikian, Miettinen (2007) menyebutkan bahwa hanya variabel jenis tanah yang merupakan indikator yang baik untuk menjelaskan pola dan distribusi spasial *burned area*. Dalam hal ini, *burned area* banyak dijumpai di daerah-daerah basah yang bergambut (*peat soil*). Kondisi ini sesuai dengan hasil penelitian dari Adiningsih et al. (2008), yang menyebutkan bahwa kebakaran hutan dan lahan (yang diindikasikan dengan hotspot) yang terdapat di Indonesia banyak dijumpai pada tanah-tanah gambut. Berdasarkan hasil kajian beberapa literatur di atas dapat diketahui bahwa untuk mengkaji pola spasial *burned area*, perlu dipahami distribusi ukuran (*size*) *burned area* pada kondisi geografis di mana *burned area* berada, seperti iklim, topografi, penutup lahan, tanah, dan juga keterkaitannya dengan faktor manusia.

2.4 Metode identifikasi *burned area* dari citra MODIS

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

Pada banyak penelitian, model identifikasi *burned area* berbasis pada model perubahan NDVI ((*Normalized Difference Vegetation Index*)) 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 salahsatu pendekatan untuk menghasilkan produk informasi *burned area* secara global bernama GBA2000

(*Global Burned Area 2000*) yang diolah dari citra SPOT Vegetation (Fraser et al., 2003; Tansey et al., 2008). Model identifikasi *burned area* berbasis pada model perubahan nilai SWVI (*Short Wave Vegetation Index*) 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 *burned area* lainnya yang banyak diterapkan dan juga memberikan hasil yang baik adalah model yang berbasis pada perubahan nilai NBR (*Normalized Burn Ratio*) (Epting et al., 2005; Cocke et al., 2005; Wagtenonk et al., 2004; Eidensink 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 *burned area* berbasis pada model perubahan nilai BAI (*Burned Area Index*) 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 *burned area* dari citra ini dengan berbagai model pendekatan. Roy et al. (1999) telah menginisiasi pengembangan model identifikasi *burned area* 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 *burned area* untuk skala global (Roy et al., 2005a). Lebih lanjut, dalam skala regional, Miettinen (2007) juga telah mencoba mengembangkan model identifikasi *burned area* menggunakan citra MODIS untuk wilayah Semenanjung Asia Tenggara. Menurutnya, untuk wilayah tropis yang banyak tutupan awannya, perlu digunakan

citra MODIS komposit multitemporal. Di Indonesia, Roswintiarti et al. (2006, 2007) dan Suwarsono et al. (2008, 2009, 2011) pernah berusaha untuk memanfaatkan citra penginderaan jauh untuk mengidentifikasi *burned area* dengan mengambil lokasi di beberapa daerah. Namun demikian, penelitian tersebut hanya bersifat memetakan *burned area* dengan citra MODIS dengan mengaplikasikan suatu model saja dan belum sampai pada tahap pengujian tingkat kemampuan dan tingkat akurasi. Selain itu, penelitian tersebut juga belum sampai pada tahap menjelaskan *burned area* dalam perspektif persebaran spasialnya.

2.5 Citra Terra/Aqua MODIS

Citra MODIS adalah hasil dari perekaman berupa citra (*imagery*) oleh sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) dari Satelit Terra/Aqua yang dioperasionalkan oleh NASA. Kedua satelit tersebut dioperasionalkan oleh badan antariksa Amerika Serikat, NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Satelit Terra diluncurkan pada tanggal 18 Desember 1999, sedang satelit Aqua diluncurkan belakangan, tanggal 4 Mei 2002. Kedua satelit memiliki ketinggian orbit 705 km dan sinkron matahari. Pada saat siang hari, Satelit Terra berada tepat di atas ekuator pada pukul 10:30, sedangkan Satelit Aqua sekitar pukul 1:30. Lebar sapuan (*swath*) sekitar 2330 km dan 10 km nya berada di nadir. Selain periode ulang yang tinggi, sehari dapat merekam sebanyak dua kali pada lokasi obyek yang sama, Kelebihan lain dari satelit ini terletak pada jumlah kanal spektral yang rapat dan mampu merekam pada spektrum tampak, inframerah dekat, inframerah tengah dan inframerah termal. Sensor MODIS memiliki 36 kanal (1-36), dimana kanal 1 dan 2 memiliki resolusi spasial 250 meter, kanal 3-7 memiliki resolusi spasial 500 meter dan kanal 8-36 memiliki resolusi spasial 1000 meter (1 km). Berdasarkan karakteristik spektral dan spasial tersebut, sensor satelit ini memiliki keunggulan bila dibandingkan dengan sensor AVHRR/NOAA maupun SPOT Vegetation. Sumber data dari sensor satelit ini memiliki aplikasi yang luas, dimana NASA dalam pengelompokan utamanya membedakan ke dalam 3 (tiga) aplikasi utama, yaitu ; darat (*Land*), laut (*Ocean*), maupun atmosfer (*Atmosphere*). Selengkapnya dapat

dilihat pada Tabel 2.1. Mencermati karakteristik spektral, spasial dan temporal dari citra MODIS tersebut, maka dapat diketahui bahwa sumber data citra ini dapat dipergunakan untuk mengetahui daerah-daerah yang telah mengalami kebakaran hutan dan lahan.

Tabel 2.1. Karakteristik spektral dan spasial sensor MODIS serta aplikasinya

Kanal (<i>Band</i>)	Rentang Panjang Gelombang (μm)	Resolusi spasial (m)	Aplikasi
1	0,620 - 0,670	250	Batas-batas darat, awan, aerosol
2	0,841 - 0,876	250	
3	0,459 - 0,479	500	Karakteristik darat, awan, aerosol
4	0,545 - 0,565	500	
5	1,230 - 1,250	500	
6	1,628 - 1,652	500	
7	2,105 - 2,155	500	
8	0,405 - 0,420	1.000	Warna laut, fitoplankton, biogeokimia laut
9	0,438 - 0,448	1.000	
10	0,483 - 0,493	1.000	
11	0,526 - 0,536	1.000	
12	0,546 - 0,556	1.000	
13	0,662 - 0,672	1.000	
14	0,673 - 0,683	1.000	
15	0,743 - 0,753	1.000	
16	0,862 - 0,877	1.000	
17	0,890 - 0,920	1.000	
18	0,931 - 0,941	1.000	
19	0,915 - 0,965	1.000	
20	3,600 - 3,840	1.000	Suhu permukaan darat dan awan
21	3,929 - 3,989	1.000	
22	3,929 - 3,989	1.000	
23	4,020 - 4,080	1.000	
24	4,433 - 4,498	1.000	Suhu atmosfer
25	4,482 - 4,549	1.000	
26	1,360 - 1,390	1.000	Uap air, awan Cirrus
27	6,535 - 6,895	1.000	
28	7,175 - 7,475	1.000	
29	8,400 - 8,700	1.000	Karakteristik awan
30	9,580 - 9,880	1.000	Lapisan Ozon
31	10,780 - 11,280	1.000	Suhu permukaan darat dan laut
32	11,770 - 12,270	1.000	
33	13,185 - 13,485	1.000	Ketinggian awan permukaan
34	13,485 - 13,785	1.000	
35	13,785 - 14,085	1.000	
36	14,085 - 14,385	1.000	

Sumber : Jensen, 2005

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Data dan sumber data

Data dan sumber datanya yang dipergunakan dalam penelitian ini meliputi: nilai indeks vegetasi (NDVI), indeks kebakaran (NBR), nilai reflektansi, intensitas curah hujan, ketinggian tempat (elevasi), kemiringan lereng, jenis tanah, penutup lahan, dan lokasi permukiman. Nilai NDVI, NBR dan reflektansi diperoleh dari pengolahan citra MODIS dan dipergunakan untuk mengidentifikasi *burned area*. Sedangkan data intensitas curah hujan, ketinggian tempat, kemiringan lereng, jenis tanah, penutup lahan, dan lokasi permukiman dipergunakan untuk mengetahui sebaran spasial *burned area* yang diperoleh dengan menggunakan model identifikasi tersebut pada berbagai kondisi geografis. Curah hujan merupakan representasi pengaruh dari faktor iklim, ketinggian tempat dan kemiringan lereng merepresentasikan pengaruh dari faktor topografi. Faktor vegetasi akan dicirikan oleh penutup lahan. Sedangkan variabel jarak terhadap lokasi permukiman merepresentasikan pengaruh dari faktor manusia.

a. Indeks Vegetasi, Indeks Kebakaran dan Nilai Reflektansi

Data ini dipergunakan untuk mengidentifikasi *burned area*, yang didasarkan atas perubahan nilainya. Data ini diolah dari citra MODIS reflektansi kanal 1 hingga 7.

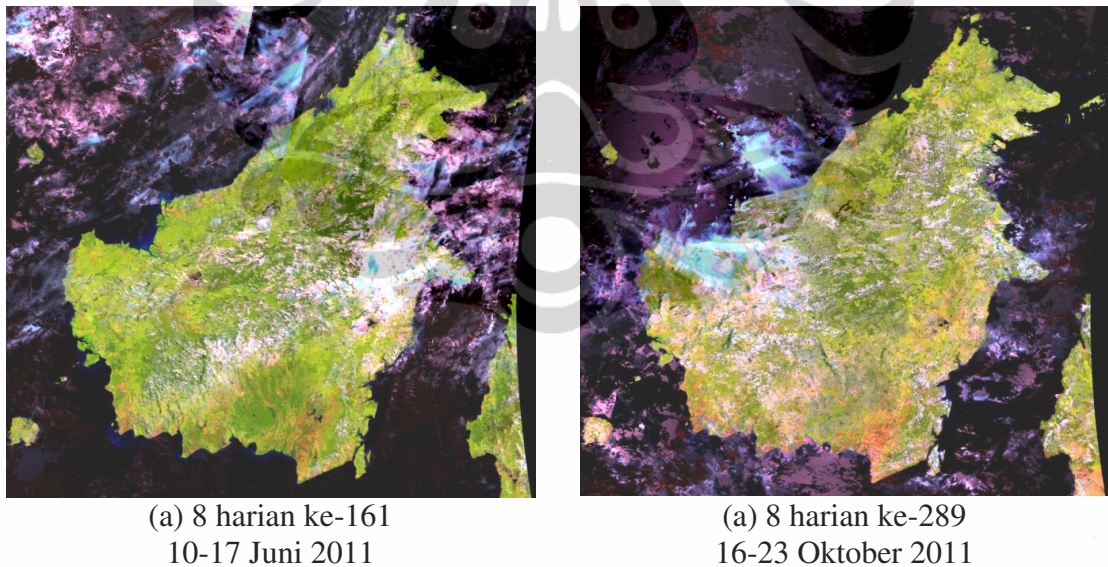
Citra yang dipilih adalah citra MODIS tahun 2011 yang diolah secara 8 harian (*MODIS 8-days*) dengan nama produk MOD09A1 dan MOD09Q1. MOD09A1 berisi data reflektansi kanal 3 hingga 7 dengan resolusi spasial 500 meter. Sedangkan MOD09Q1 berisi data reflektansi kanal 1 dan 2 dengan resolusi spasial 250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

Periode perekaman citra dipilih pada saat sebelum dan setelah puncak kebakaran hutan dan lahan untuk periode tahun 2011 yang mencakup seluruh daerah Kalimantan. Citra ini bersumber dari NASA yang diakuisi dan diproses awal (*pre-processing*) dengan menggunakan

peralatan dari Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN).

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). Gambar 3.1 menunjukkan contoh citra MODIS komposit 8-harian ke 261 dan ke-289 kombinasi kanal 621 untuk yang mencakup seluruh daerah Kalimantan.

Hasil dari analisis data ini berupa informasi *burned area* yang meliputi ukuran (*size*) dan letak (*location*). Ukuran dinyatakan dalam ukuran luas (km²) atau hektar (ha), sedangkan letaknya dinyatakan dalam letak koordinat geografis pada peta (lintang dan bujur).



Gambar 3.1 Contoh citra MODIS RGB 621 komposit 8-harian ke 261 dan ke-289 tahun 2011 yang mencakup daerah Kalimantan

b. Curah hujan

Data curah hujan yang digunakan adalah intensitas curah hujan bulanan (mm/bulan) dan tahunan (mm/tahun). Data ini diperoleh dari NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) dari alamat website: <http://mirador.gsfc.nasa.gov/>. Data intensitas curah hujan bulanan ini diolah dari citra TRMM (*Tropical Rainfall Meteorological Mission*). .

c. Ketinggian tempat (elevasi)

Data ketinggian tempat ini diperoleh dari pengolahan DEM-SRTM (*Digital Elevation Model – Shuttle Radar Topography Mission*) resolusi 90 meter. Data ketinggian tempat dinyatakan dalam m dpl (meter dari permukaan laut).

d. Kemiringan lereng (slope)

Data kemiringan lereng ini diperoleh juga dari pengolahan DEM-SRTM. Data kemiringan lereng dinyatakan dalam persen (%).

e. Tanah

Data jenis tanah ini diperoleh dari Peta Sistem Lahan (*Landsystem*) skala 1 : 250.000 yang diambil dari Peta RePPPProT.

f. Penutup lahan

Data penutup lahan ini diperoleh dari Peta Penutup Lahan (*Landcover*) yang bersumber dari Kementerian Lingkungan Hidup (2006). Data ini dimutakhirkan (*update*) dengan citra Landsat tahun 2010/2011 untuk memperoleh gambaran kondisi landcover terkini.

g. Letak Permukiman

Data lokasi permukiman ini diambil dari *layer* jenis penutup lahan untuk permukiman pada Peta Penutup yang bersumber dari Kementerian Lingkungan Hidup.

Selain data tersebut di atas, dalam penelitian ini juga digunakan data hotspot bulanan selama kurun waktu 2011, citra Landsat ETM dan SPOT-4. Data hotspot digunakan untuk menetapkan periode puncak kebakaran yang terjadi di tahun

2011. Data hotspot ini juga dipergunakan untuk membantu dalam identifikasi *burned area*. Sedangkan citra Landsat atau SPOT-4 digunakan untuk membuat peta *burned area* referensi, yaitu peta yang digunakan sebagai acuan untuk menguji tingkat akurasi informasi *burned area*. Peta dasar yang digunakan adalah Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1 : 250.000.

Citra Landsat yang dipergunakan meliputi seluruh wilayah Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan, yaitu: *Path/Row* 117/161, 117/162, 117/163, 118/160, 118/161, 118/162, 119/160, 119/161, 119/162, 120/161, dan 120/162. Sedangkan citra SPOT-4 yang digunakan yaitu dengan nomor *scene* : 291/356, 292/356, 294/357, 295/355, 297/354, 297/355, 297/356, 297/357, 298/356, 299/355, 299/ 56, 299/358, 300/355, 300/356, dan 302/354. Tanggal perekaman citra dipilih yang mendekati periode sebelum dan setelah puncak kebakaran hutan dan lahan.

3.2 Pengolahan citra untuk memperoleh data *burned area*

3.2.1 Pengolahan data hotspot bulanan

Pengolahan hotspot dilakukan dengan menghitung intensitas hotspot per bulan, dari bulan Januari hingga Desember 2011. Berdasarkan hasil pengolahan ini akan diketahui pola intensitas hotspot selama kurun waktu 2011. Intensitas hotspot ini akan mengindikasikan intensitas potensi terjadinya kebakaran hutan dan lahan secara bulanan yang terjadi di Kalimantan selama tahun 2011. Dari sini, secara umum akan diperoleh informasi periode waktu kapan terjadi peningkatan, puncak, dan penurunan intensitas kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan. Informasi ini penting untuk menentukan rentang waktu dari citra MODIS yang dipilih untuk identifikasi *burned area*, yaitu periode sebelum kebakaran (*pre fire*) dan periode setelah kebakaran (*post fire*).

3.2.2 Ekstraksi variabel 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 Eidensink et al. (2007) diadopsi untuk menghitung NBR. Persamaan untuk menghitung keempat variabel tersebut, yaitu sebagai berikut :

$$NDVI = \frac{B2 - B1}{B2 + B1} \dots\dots\dots (3.1)$$

dimana :

- NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*
- B1 = Reflektansi kanal 1 MODIS
- B2 = Reflektansi kanal 2 MODIS

$$NBR = \frac{B2 - B7}{B2 + B7} \dots\dots\dots (3.2)$$

dimana :

- NBR = *Normalized Burn Ratio*
- B2 = Reflektansi kanal 2 MODIS
- B7 = Reflektansi kanal 7 MODIS

3.2.3 Pembuatan komposit citra MODIS 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 *burned area* di daerah tropis yang banyak terkendala oleh tutupan awan. Sebagai contoh, apabila hotspot telah mengalami peningkatan pada bulan Agustus, mengalami masa puncak pada bulan September dan mengalami penurunan pada bulan Oktober, maka citra yang dipilih adalah citra perekaman sekitar bulan Mei-Juni (untuk periode sebelum puncak kebakaran) dan sekitar bulan Oktober-November (untuk periode setelah puncak kebakaran). Pembuatan citra komposit multi temporal ini mampu meningkatkan kemampuan citra dalam membedakan *burned* dan *unburned* area, menghilangkan sebagian besar awan dan bayangan awan, serta mampu menghasilkan koherensi spasial yang tinggi (Chuvienco et al., 2005).

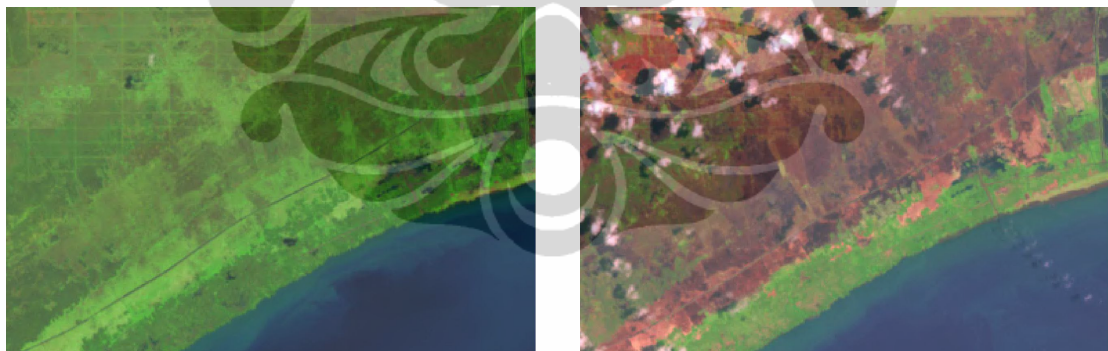
3.2.4 Pembuatan *burned area* sebagai data referensi

Untuk menghitung seberapa besar tingkat akurasi *burned area* yang dihasilkan dari citra MODIS diperlukan data *burned area* pembanding (data referensi). Penentuan *burned area* pembanding dalam penelitian ini menggunakan dasar referensi dari *The Southern Africa Fire Network (SAFNet) regional burned-area product-validation protocol* (Roy et al., 2005b). *Burned area* pembanding dibuat berdasarkan interpretasi visual dengan menggunakan citra multitemporal resolusi lebih tinggi (Landsat-7 ETM dan sekelasnya) dan pengecekan lapangan yang terbatas, dengan mempertimbangkan sumberdaya manusia dan biaya. 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. Mempertimbangkan luas wilayah kajian, kondisi wilayah, ketersediaan citra resolusi tinggi yang terbatas, serta kualitas citra yang sulit diprediksikan (terutama oleh tutupan awan), maka penggunaan teknik sampling acak sulit untuk diaplikasikan. Dengan dasar ini, teknik yang digunakan untuk penentuan lokasi sampel yang dilakukan tidak menggunakan desain statistik. Pemilihan lokasi *scene* citra lebih mempertimbangkan lokasi persebaran hotspot (dari MODIS). Dalam hal ini dilakukan pada daerah-daerah yang memiliki kepadatan tinggi serta mengelompok. Selain itu, perlu juga dipertimbangkan kondisi penutup lahannya. Untuk menghemat waktu, tenaga dan biaya, ukuran *burned area* yang didelineasi memiliki diameter garis lurus minimal 240 meter. Ini juga dengan mempertimbangkan citra MODIS kanal reflektan yang memiliki resolusi spasial 500m.

Mengacu pada *The Southern Africa Fire Network (SAFNet) regional burned-area product-validation protocol* (Roy et al., 2005b), wilayah *burned area* dapat dikenali pada citra Landsat komposit kanal *Red Green Blue* (RGB) 543. Kombinasi kanal ini identik dengan kombinasi RGB 432 pada citra SPOT-4. Gambar 3.2 memperlihatkan contoh *burned area* yang teramati dari citra Landsat-7 ETM. Pada citra tersebut, terlihat dengan jelas lokasi *burned area* di sebagian wilayah Provinsi Kalimantan Tengah yang teramati pada citra Landsat-7 ETM.

Kenampakan *burned area* tersebut akan sangat berbeda pada citra periode sebelum terbakar, yang masih bervegetasi, yaitu cenderung berwarna kehijauan. Untuk melengkapi interpretasi, dapat dipergunakan juga kanal termal (band 6). Selain itu, pada citra Landsat, *burned area* secara visual juga dapat dikenali dengan membuat citra normalisasi dari kanal 5 dan 7. Pada citra tersebut tampak terlihat dengan sangat kontras antara daerah yang terbakar dengan tidak terbakar.

Untuk lebih meyakinkan bahwa area sampel benar-benar merupakan *burned area*, 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 dijadikan dipilih untuk didelineasi *burned area*-nya 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.



(a) Tanggal 13 Juni 2011

(b) Tanggal 3 Oktober 2011

Gambar 3.2 Contoh *burned area* di sebagian wilayah Provinsi Kalimantan Tengah yang teramati pada citra Landsat-7 ETM komposit RGB 543, dimana sebelumnya masih terlihat sebagai daerah bervegetasi

Dalam praktik penelitian sebelumnya, pengujian tingkat akurasi hasil analisis *burned area* yang diperoleh dari citra MODIS dengan menggunakan citra resolusi tinggi tersebut telah sering dilakukan oleh banyak peneliti (Roy et.al, 2002, 2005a, 2005b ; Gitas et al., 2004 ; Fraser et al., 2000; Miettinen, 2007; Li et al., 2000).

3.2.5 Penentuan ambang batas (*thresholds*) *burned area*

Nilai ambang batas sangat menentukan terhadap tingkat akurasi informasi *burned area* 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 *burned area* referensi. Mengacu pada Fraser et al (2000), *threshold* yang akan digunakan untuk menentukan *burned area* dalam penelitian ini adalah $\mu + 1\sigma$, μ , dan $\mu - 1\sigma$.

3.2.6 Identifikasi *burned area* dari citra MODIS

Burned area diidentifikasi dari citra MODIS dengan menggunakan berbagai model berdasarkan *threshold* yang telah diperoleh, yaitu sebagai berikut :

- a. *Burned area* berdasarkan model Δ NDVI, diidentifikasi dengan menggunakan persamaan :

$$BA_{(\Delta NDVI)} = \Delta NDVI > t_{(\Delta NDVI)} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\Delta NDVI = NDVI_2 - NDVI_1 \dots\dots\dots (3.4)$$

dimana :

- $BA_{(\Delta NDVI)}$ = *Burned area* berdasarkan perubahan NDVI
- $t_{(\Delta NDVI)}$ = *Threshold burned area* berdasarkan Δ NDVI
- $NDVI_1$ = NDVI sebelum kebakaran
- $NDVI_2$ = NDVI setelah kebakaran

- b. *Burned area* berdasarkan model Δ NBR, diidentifikasi dengan menggunakan persamaan :

$$BA_{(\Delta NBR)} = \Delta NBR > t_{(\Delta NBR)} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\Delta NBR = NBR_2 - NBR_1 \dots\dots\dots (3.6)$$

dimana :

- $BA_{(\Delta NBR)}$ = *Burned area* berdasarkan perubahan NBR
- $t_{(\Delta NBR)}$ = *Threshold burned area* berdasarkan Δ NBR
- NBR_1 = NBR sebelum kebakaran
- NBR_2 = NBR setelah kebakaran

- c. *Burned area* berdasarkan model $\Delta B2$ (perubahan reflektansi komposit kanal 2 MODIS) (Miettinen, 2007), diidentifikasi dengan menggunakan persamaan :

$$BA_{(\Delta B2)} = \Delta B2 > t_{(\Delta B2)} \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

$$\Delta B2 = B2_2 - B2_1 \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

dimana :

- $BA_{(\Delta B2)}$ = *Burned area* berdasarkan perubahan B2
- $t_{(\Delta B2)}$ = *Threshold burned area* berdasarkan $\Delta B2$
- $B2_1$ = Nilai reflektansi komposit kanal 2 MODIS sebelum kebakaran
- $B2_2$ = Nilai reflektansi komposit kanal 2 MODIS setelah kebakaran

- d. *Burned area* berdasarkan model perubahan reflektansi kanal 5 dan kanal 7 MODIS (Roy et al., 2002), harus memenuhi 2 persyaratan, sebagai berikut :

Syarat (1) :

$$\Delta B5 < 0 \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

dimana:

$$\Delta B5 = \frac{B5_2 - B5_1}{B5_1} \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

Syarat (2) :

$$B5_1 - B7_1 > B5_2 - B7_2 \quad \dots\dots\dots (3.11)$$

dimana :

- $B5_1$ = Nilai reflektansi komposit kanal 5 MODIS sebelum kebakaran
- $B5_2$ = Nilai reflektansi komposit kanal 5 MODIS setelah kebakaran
- $B7_1$ = Nilai reflektansi komposit kanal 7 MODIS sebelum kebakaran
- $B7_2$ = Nilai reflektansi komposit kanal 7 MODIS setelah kebakaran

Selain menggunakan model-model tersebut, pada penelitian ini juga akan dicoba untuk mengidentifikasi *burned area* dengan menggunakan variabel lainnya, yaitu perubahan nilai reflektansi kanal 1, 3, 4, 5, 6, dan 7.

3.3 Penghitungan tingkat kemampuan model reflektansi dan indeks dalam penentuan *burned area*

Penghitungan tingkat kemampuan model berbasis nilai reflektansi dan indeks dalam penentuan *burned area* (*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 3.12). Semakin tinggi nilai D, maka semakin tinggi kemampuan nilai reflektansi atau indeks dalam mengidentifikasi *burned area*. Nilai $D > 1$ menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang baik dalam membedakan *burned area* dan *non burned area*, sedangkan jika $D < 1$, maka model tersebut mempunyai kemampuan yang rendah. Penghitungan nilai D ini juga dapat digunakan sebagai alat untuk verifikasi model.

$$D = \frac{|\mu_2 - \mu_1|}{\sigma_2 + \sigma_1} \dots\dots\dots (3.12)$$

dimana :

- D = *Normalize Distance*
- μ_1 = Rerata sampel sebelum kebakaran
- μ_2 = Rerata sampel setelah kebakaran
- σ_1 = Standar deviasi sampel sebelum kebakaran
- σ_2 = Standar deviasi sampel setelah kebakaran

Berdasarkan hasil uji akurasi dan perhitungan *Discrimination ability*, maka dapat diketahui model mana yang paling sesuai digunakan untuk daerah Kalimantan. Dalam hal ini akan dipilih model yang memiliki *D-value* yang tinggi serta tingkat akurasi paling tinggi.

3.4 Perhitungan tingkat akurasi hasil identifikasi *burned area* dari citra MODIS

Tingkat akurasi *burned area* yang dihasilkan dari citra MODIS dilakukan dengan membandingkannya dengan *burned area* referensi. Berdasarkan data *burned area* hasil identifikasi dari citra MODIS dan data *burned area* referensi, maka tingkat akurasi *burned area* dapat diketahui dengan menghitung nilai ICSI (*Individual Classification Success Index*), yaitu dengan menggunakan rumus 3.13 sebagai berikut (Koukoulas & Blackburn, 2001):

$$\text{ICSI} = 1 - \text{Error of Omm \%} + \text{Error of Comm \%} \dots\dots\dots (3.13)$$

dimana :

- ICSI = *Individual Classification Success Index*
- Omm = *burned area* yang masuk ke kelas lain (*non burned area*)
- Comm = *burned area* tambahan dari kelas lain (*non burned area*)

3.5 Pengolahan data spasial yang bersumber dari peta

Pengolahan data spasial dari yang bersumber dari peta tematik meliputi: penentuan peta dasar (*basemap*), penyamaan georeferensi (sistem proyeksi), pemilihan *layer* dan simplifikasi peta.

Peta dasar yang digunakan sebagai referensi adalah Rupa Bumi Indonesia skala 1 : 250.000 dari Bakosurtanal. Sistem proyeksi yang digunakan adalah Transverse Mercator dengan Datum WGS 84. Semua peta, batas-batas yang dipergunakan mengacu pada peta dasar dengan sistem proyeksi ini. Pemilihan *layer* dilakukan dengan memilih informasi tertentu pada peta yang akan dijadikan variabel. Simplifikasi peta dilakukan apabila diperlukan untuk menyederhanakan tipologi dari *layer* peta yang dijadikan variabel apabila memuat informasi yang kompleks.

Jenis-jenis informasi spasial yang diwujudkan dalam *layer* peta yang memuat variabel-variabel spasial dalam penelitian ini meliputi:

- a. Peta *burned area*, memuat variabel ukuran luas (*size*) *burned area* (km²) pada lokasi-lokasi dengan koordinat tertentu. Peta ini diperoleh dari hasil identifikasi menggunakan citra MODIS, yaitu *burned area*

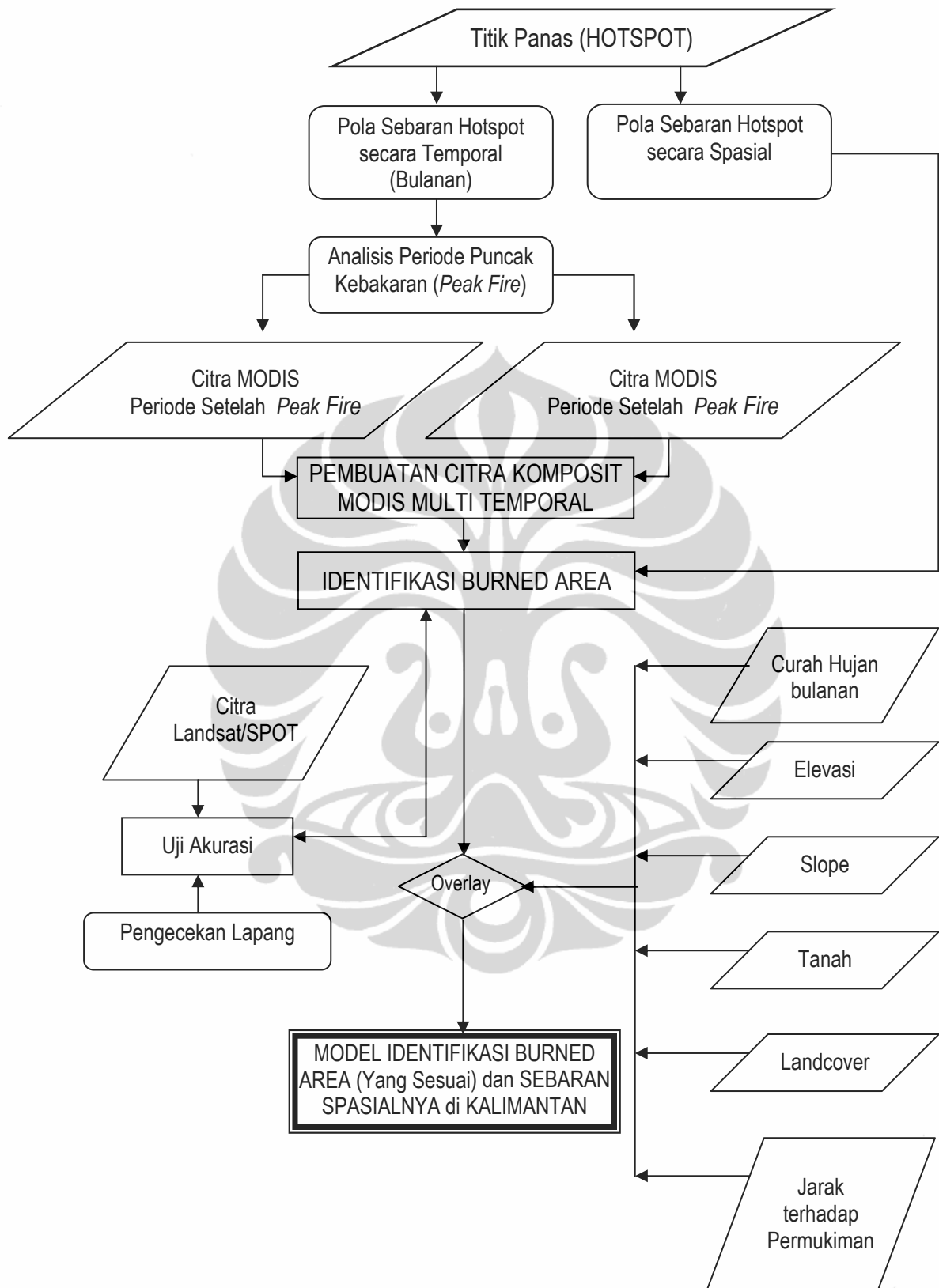
yang dihasilkan dengan model yang memiliki kemampuan dan akurasi yang paling sesuai.

- b. Peta curah hujan, memuat variabel intensitas curah hujan rerata bulanan (mm/bulan) dan tahunan (mm/tahun).
- c. Peta ketinggian tempat, memuat variabel ketinggian tempat (meter dari permukaan laut).
- d. Peta kemiringan, memuat variabel kemiringan lereng (%).
- e. Peta jenis tanah, memuat variabel jenis tanah.
- f. Peta penutup lahan, memuat variabel penutup lahan.
- g. Peta lokasi permukiman, memuat informasi letak permukiman.

3.6 Analisis sebaran spasial *burned area*

Analisis pola spasial *burned area* (*spatial pattern*) dilakukan dengan menggunakan metode *Average Nearest Neighbour* (ANN) (Earickson & Harlin, 1994). Analisis ini dilakukan untuk mengetahui apakah pola spasial *burned area* di Kalimantan memiliki kecenderungan mengelompok (*cluster*) atau menyebar (*disperse*). Analisis sebaran spasial *burned area* (*spatial distribution*) dilakukan dengan menampilkan data *burned area* hasil identifikasi dari citra MODIS dalam bentuk peta, kemudian di-*overlay*-kan dengan data spasial lainnya yang dipilih, yaitu: intensitas curah hujan, ketinggian tempat, kemiringan lereng, jenis tanah, penutup lahan, dan lokasi permukiman.

Hasil *overlay* akan memberikan informasi pola sebaran spasial antara ukuran luas *burned area* yang terdistribusi pada berbagai kondisi curah hujan, ketinggian tempat, kemiringan lereng, jenis tanah, penutup lahan dan jaraknya terhadap lokasi permukiman di Kalimantan. Selanjutnya, berdasarkan pola dan sebaran spasial ini akan diketahui juga karakteristik wilayah di Kalimantan yang banyak dijumpai *burned area*. Untuk membantu dalam analisis sebaran spasial *burned area* akan dipakai metode statistik deskriptif dan menggunakan analisis hubungan atau uji beda antara ukuran luas atau jumlah *burned area* dengan variabel intensitas curah hujan, ketinggian tempat, kemiringan lereng, jenis tanah, penutup lahan serta jaraknya terhadap lokasi permukiman. Gambar 3.3 menyajikan alur penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 3.3. Diagram alur penelitian

BAB 4

GAMBARAN UMUM WILAYAH PENELITIAN

4.1 Letak Geografi dan Administrasi

Daerah penelitian adalah Kalimantan yang dalam penelitian ini merupakan bagian wilayah daratan dari Pulau Kalimantan yang dulu bernama Borneo yang masuk ke dalam wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia, meliputi Provinsi Kalimantan Tengah, Kalimantan Barat, Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan. Secara astronomis, daerah penelitian terletak di antara 4° 24' 11" LU - 5° 6' 7" LS dan 108° 40' 41" BT - 118° 59' 24" BT. Luas seluruh daerah penelitian adalah 537.108 km². Adapun batas-batas daerah penelitian, yaitu:

- Sebelah Utara : Negara Bagian Sabah dan Serawak, Malaysia.
- Sebelah Selatan : Laut Jawa
- Sebelah Barat : Selat Karimata
- Sebelah Timur : Selat Makasar

Berdasarkan sumber dari Badan Pusat Statistik Tahun 2010, pembagian daerah administrasi di Kalimantan, meliputi 4 (empat) provinsi dengan kota atau kabupaten, sebagai berikut:

- Provinsi Kalimantan Barat, dengan luas 147.073 km², mencakup 14 kota/kabupaten, yaitu: Kabupaten Sambas, Bengkayang, Landak, Pontianak, Sanggau, Ketapang, Sintang, Kapuas Hulu, Sekadau, Melawi, Kayong Utara, Kubu Raya, Kota Pontianak dan Kota Singkawang.
- Provinsi Kalimantan Selatan, dengan luas 37.608 km², mencakup 13 kota/kabupaten, yaitu: Kabupaten Tanah Laut, Kotabaru, Banjar, Barito Kuala, Tapin, Hulu Sungai Selatan, Hulu Sungai Tengah, Hulu Sungai Utara, Tabalong, Tanah Bumbu, Balangan, Kota Banjarmasin, dan Kota Banjarbaru.
- Provinsi Kalimantan Tengah, dengan luas 153.771 km², mencakup 14 kota/kabupaten, yaitu: Kabupaten Kotawaringin Barat, Kotawaringin Timur, Kapuas, Barito Selatan, Barito Utara, Sukamara, Lamandau,

Seruyan, Katingan, Pulang Pisau, Gunung Mas, Barito Timur, Murung Raya, dan Kota Palangka Raya.

- Provinsi Kalimantan Timur, dengan luas 198.656 km², mencakup 14 kota/kabupaten, yaitu: Kabupaten Pasir, Kutai Barat, Kutai Kartanegara, Kutai Timur, Berau, Malinau, Bulungan, Nunukan, Penajam Paser Utara, Tana Tidung, Kota Balikpapan, Kota Samarinda, Kota Tarakan, dan Kota Bontang.

4.2 Curah Hujan

4.2.1. Curah hujan tahunan

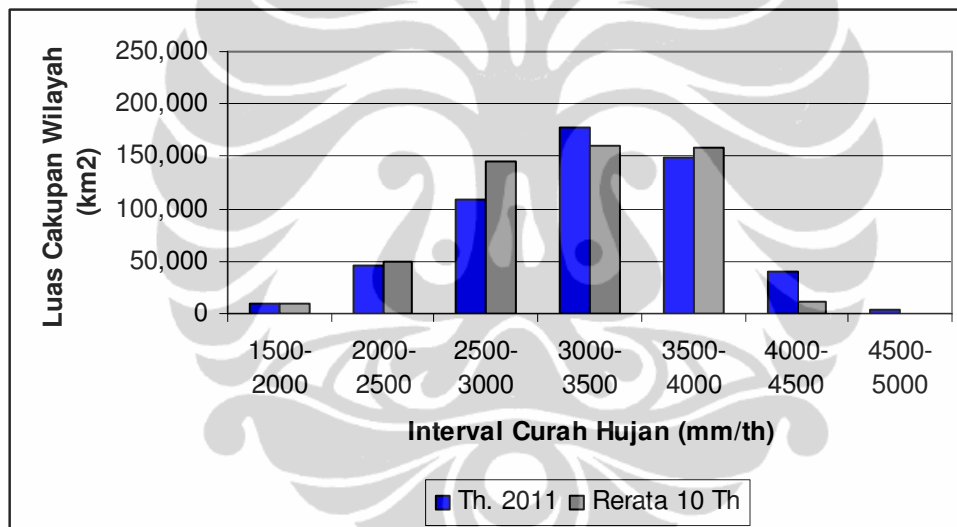
Di Kalimantan, intensitas curah hujan selama tahun 2011 bervariasi sekitar 1.500 mm hingga 5.000 mm, dengan rata-rata di seluruh daerah sebesar 3.254 mm. Intensitas curah hujan ini lebih tinggi bila dibandingkan dengan rerata 10 tahun terakhir (2002-2011), yaitu sebesar 3.169 mm. Sebagian besar daerah (435.937 km² atau 81,2 % luas daerah) memiliki curah hujan dalam kisaran 2.500 – 4.000 mm. Sedangkan sebagian kecilnya berada dalam kisaran 1.500 – 2.500 mm (55.773 km² atau 10,4 % luas daerah) serta dalam kisaran 4.000 – 5.000 mm (45.397 km² atau 8,4 % luas daerah).

Data curah hujan selama 10 tahun terakhir (2002 – 2011) menunjukkan bahwa, meskipun terdapat sedikit perbedaan, namun masih memiliki pola luas cakupan yang mirip, yaitu sebagian besar daerah (464.634 km² atau 86,5 % luas daerah) memiliki curah hujan dalam kisaran 2.500 – 4.000 mm. Sedangkan sebagian kecilnya berada dalam kisaran 1.500 – 2.500 mm (59.641 km² atau 11,1 % luas daerah) serta dalam kisaran 4.000 – 5.000 mm (12.833 km² atau 2,4 % luas daerah). Secara lebih lengkap, luas cakupan wilayah dan persebaran spasialnya dapat dilihat pada Tabel 4.1, Grafik 4.1, Peta 1 dan 2 (terlampir).

Tabel 4.1 Curah hujan rerata tahunan dan luas cakupan wilayahnya selama periode tahun 2011 dan rerata 10 tahun terakhir (2002-2011) di Kalimantan

Interval Curah Hujan (mm)	Luas Cakupan Wilayah			
	Tahun 2011		Rerata 10 Tahun	
	km ²	% luas	km ²	% luas
1.500-2.000	9.085	1,7	10.349	1,9
2.000-2.500	46.689	8,7	49.292	9,2
2.500-3.000	108.863	20,3	145.730	27,1
3.000-3.500	177.751	33,1	160.852	29,9
3.500-4.000	149.323	27,8	158.052	29,4
4.000-4.500	41.012	7,6	12.309	2,3
4.500-5.000	4.385	0,8	524	0,1
<i>Jumlah</i>	<i>537.108</i>	<i>100,0</i>	<i>537.108</i>	<i>100,0</i>

Sumber : diolah dari data TRMM



Grafik 4.1 Luas cakupan wilayah di Kalimantan pada berbagai interval intensitas curah hujan pada tahun 2011 dan perbandingannya dengan rerata 10 tahun terakhir. (Sumber : TRMM)

4.2.2. Curah hujan bulanan

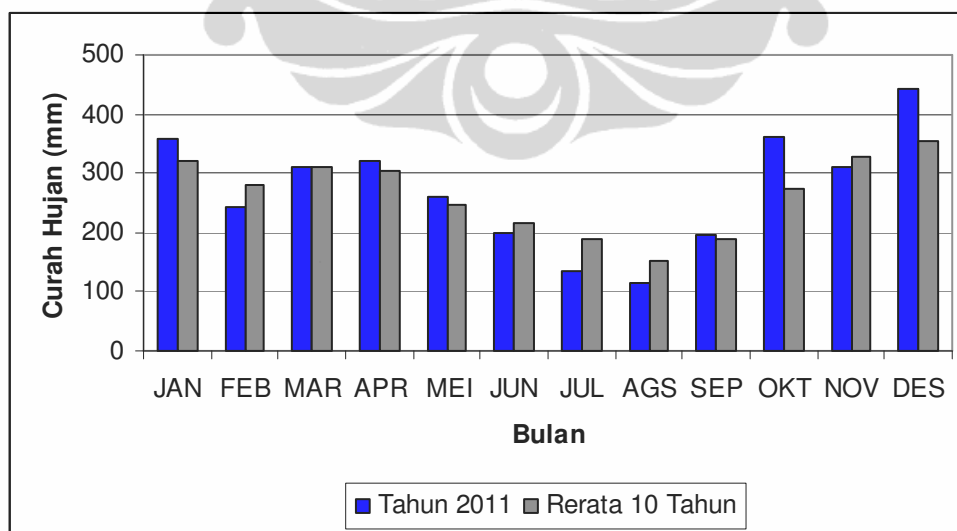
Secara bulanan, sepanjang tahun 2011, intensitas curah hujan di Kalimantan dari bulan Januari hingga Mei berkisar di atas 200 mm/bulan, kemudian mengalami penurunan dari Juni hingga September (berkisar di bawah 200 mm/bulan), dan mengalami peningkatan lagi dari bulan Oktober hingga Desember. Meskipun kondisi tersebut memiliki pola yang mirip dengan curah hujan rerata 10 tahun terakhir (2002-2011), namun apabila dicermati, intensitas

curah hujan selama periode Juni hingga Agustus di tahun 2011 ternyata relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan kondisi rerata 10 tahun terakhir. Selengkapnya dapat dilihat pada Grafik 4.2 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Intensitas curah hujan bulanan selama tahun 2011 dan perbandingannya dengan rerata bulanan selama 10 tahun terakhir (2002-2011) di Kalimantan

No	Bulan	Curah Hujan (mm)	
		Tahun 2011	Rerata 10 Tahun
1	Januari	359	322
2	Februari	245	282
3	Maret	312	312
4	April	322	304
5	Mei	260	245
6	Juni	199	216
7	Juli	134	190
8	Agustus	115	153
9	September	195	189
10	Oktober	360	275
11	November	309	326
12	Desember	443	353
<i>Jumlah</i>		<i>3.254</i>	<i>3.169</i>

Sumber : diolah dari data TRMM



Grafik 4.2 Intensitas curah hujan bulanan di Kalimantan sepanjang tahun 2011 dan perbandingannya dengan rerata 10 tahun terakhir (2002-2011). (Sumber : TRMM)

4.3 Geologi

Berdasarkan Peta Geologi skala 1:250.000 dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, secara umum, sebagian besar daerah Kalimantan tersusun oleh batuan sedimen dengan luas 411.669 km² atau sekitar 76,65% wilayah. Selebihnya tersusun oleh batuan intrusif (60.506 km² atau 11,27%), batuan ekstrusif (43.969 km² atau 8,19%), batuan metamorfik (60.506 km² atau 11,27%), dan batuan tektonik (6.218 km² atau 1,16%). Secara lebih lengkap, pembagian wilayah Kalimantan beserta luasannya menurut batuan penyusunnya dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Peta 3 (terlampir).

Tabel 4.3 Pembagian wilayah Kalimantan menurut batuan penyusunnya

Penyusun	Luas (km²)	% Luas
Ekstrusif (<i>lava, pyroclastic, polymic</i>)	43.969	8,19
Intrusif (<i>granitoid</i>)	60.506	11,27
Metamorfik (<i>schist, meta-sediment, slate, quartzite</i>)	14.745	2,75
Sedimen (<i>alluvium, sandstone, flysch, fine, mudstone, claystone, limestone, conglomerate, marl, chert, shale</i>)	411.669	76,65
Tektonik (<i>ophiolite, melange</i>)	6.218	1,16
Jumlah	537.108	100,00

Sumber : diolah dari Peta Geologi (Pulitbang Geologi)

4.4 Geomorfologi dan Topografi

4.4.1 Satuan Geomorfologi

Secara geomorfologi, daerah Kalimantan sebagian besar terdiri dari wilayah Dataran (*Plains*), Pegunungan (*Mountains*), Perbukitan (*Hills*), Rawa (*Swamps*), Teras Sungai (*Terraces*), Lembah Aluvial (*Alluvial Valleys*), Dataran Aluvial (*Alluvial Plains*), dan Rawa Pasang Surut (*Tidal Swamps*). Selebihnya merupakan wilayah Jalur Meander (*Meander Belts*), Pantai (*Beaches*), dan Danau (*Water*). Apabila diurutkan, di Kalimantan bagian selatan, dari arah wilayah pantai ke daratan, pola umum geomorfologi di Kalimantan meliputi Pantai, Rawa Pasang

Surut, Lembah Aluvial, Rawa, Jalur Meander, Teras Sungai, Dataran, Perbukitan, dan Pegunungan. Pembagian wilayah Kalimantan menurut satuan geomorfologi beserta luasannya secara lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Peta 4 (terlampir).

Tabel 4.4 Pembagian wilayah Kalimantan menurut satuan geomorfologi

Geomorfologi	Luas (km²)	% Luas
Dataran (<i>Plains</i>)	189.336	35,25
Pegunungan (<i>Mountains</i>)	133.768	24,91
Perbukitan (<i>Hills</i>)	80.379	14,97
Rawa (<i>Swamps</i>)	48.166	8,97
Teras Sungai (<i>Terraces</i>)	34.119	6,35
Lembah Aluvial (<i>Alluvial Valleys</i>)	20.441	3,80
Dataran Aluvial (<i>Alluvial Plains</i>)	14.105	2,63
Rawa Pasang Surut (<i>Tidal Swamps</i>)	10.882	2,03
Jalur Meander (<i>Meander Belts</i>)	4.736	0,88
Pantai (<i>Beaches</i>)	1.175	0,22
<i>Jumlah</i>	<i>537.108</i>	<i>100,00</i>

Sumber : diolah dari Peta Landsystem (RePPPProT)

4.4.2 Ketinggian Tempat (Elevasi)

Sebagian besar daerah Kalimantan memiliki ketinggian tempat antara 0-200 meter dpl (371,698 km² atau 69,20%). Hanya sebagian kecil (165.410 km² atau 30,80%) yang memiliki ketinggian lebih dari 200 meter dpl. Pembagian wilayah Kalimantan menurut ketinggian tempat selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Peta 5 (terlampir).

Tabel 4.5 Pembagian wilayah Kalimantan menurut ketinggian tempat

No	Ketinggian Tempat (m dpl)	Luas (km²)	% Luas
1	<100	298.728	55,62
2	100-200	72.970	13,59
3	200-300	35.136	6,54
4	300-400	24.253	4,52
5	400-500	19.735	3,67
	> 500	86.287	16,07
	<i>Jumlah</i>	<i>537.108</i>	<i>100,00</i>

Sumber : diolah dari data DEM SRTM

4.4.3 Kemiringan Lereng

Sebagian besar daerah Kalimantan berada pada kemiringan lereng antara 0 - 3% (302.236 km² atau 56,27%). Hanya sebagian kecil (22.820 km² atau 4,25%) yang memiliki kemiringan lebih dari 30%. Selebihnya berada pada kemiringan antara 3 - 30% (212.052 km² atau 39,48%). Pembagian wilayah Kalimantan menurut kemiringan lereng selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Peta 6 (terlampir).

Tabel 4.6 Pembagian wilayah Kalimantan menurut kemiringan lereng

No	Kemiringan Lereng	Luas (km ²)	% Luas
1	0-3	302.236	56,27
2	3-8	82.125	15,29
3	8-15	58.498	10,89
4	15-30	71.429	13,30
5	>30	22.820	4,25
	<i>Jumlah</i>	537.108	100,00

Sumber : diolah dari data DEM SRTM

4.5 Tanah

Daerah Kalimantan tersusun oleh 14 jenis tanah (dalam tingkatan subgrup) dimana sebagian besar tersusun oleh tanah jenis Tropudults (302.104 km² atau 56,24% luas daerah), Dystropepts (70.243 km² atau 13,08%) dan Tropohemists (57.529 km² atau 10,71%). Selebihnya merupakan tanah-tanah jenis Tropaquepts, Paleudults, Placaquods, Sulfaquents, Fluvaquents, Rendolls, Tropaquults, Tropofluvents, Psammaquents, Quartzipsaments, dan Troposaments. Yang menarik di sini adalah bahwa jenis tanah Tropohemist dan Tropaquepts merupakan tanah yang mengandung bahan organik tinggi (tanah organik/gambut), dimana tanah ini rentan terhadap kebakaran. Pembagian wilayah Kalimantan menurut jenis tanah beserta luasannya secara lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Peta 7 (terlampir).

Tabel 4.7 Pembagian wilayah Kalimantan menurut jenis tanah

No	Jenis Tanah	Luas (km ²)	% Luas
1	Tropudults	302.104	56,24
2	Dystropepts	70.243	13,08
3	Tropohemists	57.529	10,71
4	Tropaquepts	31.746	5,91
5	Paleudults	24.387	4,54
6	Placaquods	19.500	3,63
7	Sulfaquents	10.882	2,03
8	Fluvaquents	8.810	1,64
9	Rendolls	5.321	0,99
10	Tropaquults	2.677	0,50
11	Tropofluvents	2.607	0,49
12	Psammaquents	662	0,12
13	Quartzipsaments	513	0,10
14	Troposaments	128	0,02
	<i>Jumlah</i>	537.108	100,00

Sumber : diolah dari Peta Landsystem (RePPProT)

4.6 Hidrologi

Daerah Kalimantan dialiri oleh sungai-sungai yang sebagian besar berhulu di wilayah perbukitan dan pegunungan di bagian Tengah dan Utara. Sungai-sungai tersebut mengalir ke arah Barat dan bermuara di Selat Karimata, mengalir ke arah Selatan bermuara di Laut Jawa dan mengalir ke arah Timur bermuara di Selat Makasar. Sungai-sungai besar yang mengalir ke arah Barat di antaranya adalah S. Sambas, S. Kapuas, S. Pawai, S. Haur, S. Lida, dan S. Mata-mata. Sungai-sungai besar yang mengalir ke arah Selatan di antaranya adalah S. Jelai, S. Lamandau, S. Pembuang, S. Sampit, S. Mendawai, S. Kahayan, S. Murung, dan S. Barito. Sedangkan sungai-sungai besar yang bermuara ke arah Timur diantaranya adalah S. Mahakam, S. Sebuku, S. Sembakung, S. Kayan, S. Berau, S. Kelai, S. Tengin, S. Kerang, dan S. Apar Besar. Secara lebih jelas, sebaran jaringan sungai di Kalimantan dapat dilihat pada Peta 8 (terlampir).

4.7 Penutup Lahan (*Landcover*)

Sebagian besar penutup lahan di daerah Kalimantan adalah berupa hutan (293.415 km² atau 54,63%), semak/belukar (108.421 km² atau 20,19%), dan ladang/tegalan (74.582 km² atau 13,89%). Selebihnya berupa perkebunan (23.997 km² atau 4,47%), tanah terbuka (9.606 km² atau 1,79%), sawah (9.534 km² atau 1,78%), mangrove (6.507 km² atau 1,21%), permukiman (4.876 km² atau 0,91%), tubuh air (4.027 km² atau 0,75%), dan tambak/empang (2.142 km² atau 0,40%). Pembagian wilayah Kalimantan menurut jenis penutup lahan beserta luasannya secara lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Peta 9 (terlampir).

Tabel 4.8 Pembagian wilayah Kalimantan menurut jenis penutup lahannya

No	Penutup Lahan	Luas (km ²)	% Luas
1	Hutan	293.415	54,63
2	Semak/Belukar	108.421	20,19
3	Ladang/Tegalan	74.582	13,89
4	Perkebunan	23.997	4,47
5	Tanah Terbuka	9.606	1,79
6	Sawah	9.534	1,78
7	Mangrove	6.507	1,21
8	Permukiman	4.876	0,91
9	Tubuh Air	4.027	0,75
10	Tambak/Empang	2.142	0,40
	<i>Jumlah</i>	<i>537.108</i>	<i>100,00</i>

Sumber : diolah dari Peta Penutup Lahan (KLH, 2006) dan citra Landsat tahun 2010/2011

4.8 Kependudukan

Jumlah penduduk seluruh Kalimantan pada tahun 2010 adalah sejumlah 13.787.831 jiwa, meliputi 7.108.546 laki-laki dan 6.679.285 perempuan. Provinsi Kalimantan Barat memiliki jumlah penduduk paling banyak yaitu 4.395.983 jiwa. Sedangkan jumlah penduduk untuk provinsi lainnya berturut-turut mulai dari Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Selatan adalah 2.212.089 jiwa, 3.553.143 jiwa, dan 3.626.616 jiwa. Jumlah penduduk pada setiap kota/kabupaten per provinsi di Kalimantan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.9 hingga 4.12.

Tabel 4.9 Jumlah penduduk pada setiap kota/kabupaten di Provinsi Kalimantan Barat tahun 2010

No	Nama Kota/Kabupaten	Jumlah Penduduk		
		Laki-laki	Perempuan	Laki-laki + Perempuan
01	Sambas	244.604	251.516	496.120
02	Bengkayang	112.152	103.125	215.277
03	Landak	172.373	157.276	329.649
04	Pontianak	118.980	115.041	234.021
05	Sanggau	211.859	196.609	408.468
06	Ketapang	222.258	205.202	427.460
07	Sintang	188.433	176.326	364.759
08	Kapuas Hulu	113.452	108.708	222.160
09	Sekadau	93.899	87.735	181.634
10	Melawi	91.529	87.116	178.645
11	Kayong Utara	48.835	46.759	95.594
12	Kubu Raya	254.946	246.024	500.970
13	Kota Pontianak	277.971	276.793	554.764
14	Kota Singkawang	95.612	90.850	186.462
Jumlah		2.246.903	2.149.080	4.395.983

Sumber : BPS, 2011

Tabel 4.10 Jumlah penduduk pada setiap kota/kabupaten di Provinsi Kalimantan Tengah tahun 2010

No	Nama Kota/Kabupaten	Jumlah Penduduk		
		Laki-laki	Perempuan	Laki-laki + Perempuan
01	Kotawaringin Barat	124.799	111.004	235.803
02	Kotawaringin Timur	197.527	176.648	374.175
03	Kapuas	168.139	161.507	329.646
04	Barito Selatan	63.309	60.819	124.128
05	Barito Utara	63.106	58.467	121.573
06	Sukamara	23.879	21.073	44.952
07	Lamandau	33.709	29.490	63.199
08	Seruyan	75.235	64.696	139.931
09	Katingan	76.657	69.782	146.439
10	Pulang Pisau	62.430	57.632	120.062
11	Gunung Mas	51.508	45.482	96.990
12	Barito Timur	50.104	47.268	97.372
13	Murung Raya	50.336	46.521	96.857
14	Kota Palangka Raya	113.005	107.957	220.962
Jumlah		1.153.743	1.058.346	2.212.089

Sumber : BPS, 2011

Tabel 4.11 Jumlah penduduk pada setiap kota/kabupaten di Provinsi Kalimantan Timur tahun 2010

No	Nama Kota/Kabupaten	Jumlah Penduduk		
		Laki-laki	Perempuan	Laki-laki + Perempuan
01	Pasir	122.567	107.749	230.316
02	Kutai Barat	87.611	77.480	165.091
03	Kutai Kartanegara	330.173	296.507	626.680
04	Kutai Timur	139.034	116.603	255.637
05	Berau	96.594	82.485	179.079
06	Malinau	33.854	28.726	62.580
07	Bulungan	60.275	52.388	112.663
08	Nunukan	75.171	65.670	140.841
09	Penajam Paser Utara	74.951	67.971	142.922
10	Tana Tidung	8.391	6.811	15.202
11	Kota Balikpapan	288.847	268.732	557.579
12	Kota Samarinda	377.283	350.217	727.500
13	Kota Tarakan	101.518	91.852	193.370
14	Kota Bontang	75.421	68.262	143.683
Jumlah		1.871.690	1.681.453	3.553.143

Sumber : BPS, 2011

Tabel 4.12 Jumlah penduduk pada setiap kota/kabupaten di Provinsi Kalimantan Selatan tahun 2010

No	Nama Kota/Kabupaten	Jumlah Penduduk		
		Laki-laki	Perempuan	Laki-laki + Perempuan
01	Tanah Laut	152.385	143.948	296.333
02	Kotabaru	151.586	138.556	290.142
03	Banjar	257.320	249.519	506.839
04	Barito Kuala	138.357	137.790	276.147
05	Tapin	84.626	83.251	167.877
06	Hulu Sungai Selatan	105.766	106.719	212.485
07	Hulu Sungai Tengah	121.518	121.942	243.460
08	Hulu Sungai Utara	102.351	106.895	209.246
09	Tabalong	111.086	107.534	218.620
10	Tanah Bumbu	139.686	128.243	267.929
11	Balangan	56.504	55.926	112.430
12	Kota Banjarmasin	312.740	312.741	625.481
13	Kota Banjarbaru	102.285	97.342	199.627
Jumlah		1.836.210	1.790.406	3.626.616

Sumber : BPS, 2011

BAB 5

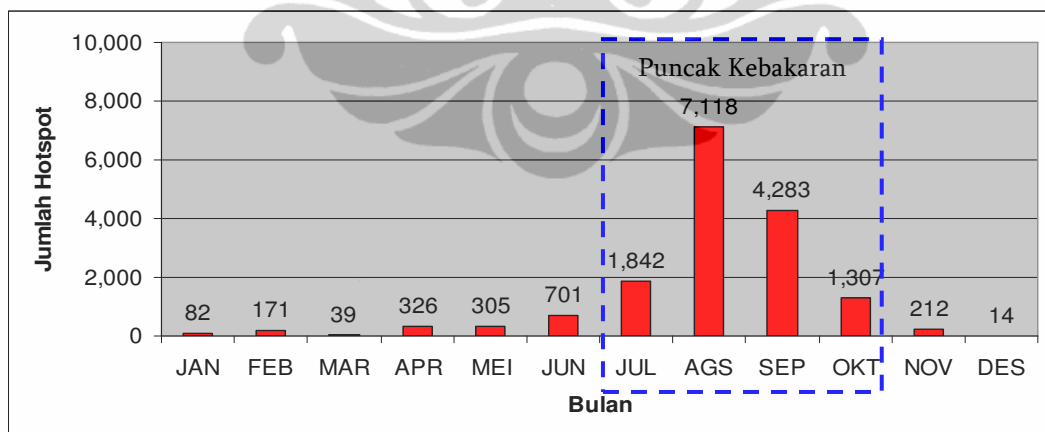
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil

Hasil yang dipaparkan dalam penelitian ini meliputi intensitas hotspot bulanan, kemampuan model dalam mendeteksi *burned area*, hasil identifikasi *burned area*, hasil pembuatan peta *burned area* dari citra Landsat sebagai peta referensi, hasil pengujian tingkat akurasi model identifikasi *burned area*, dan hasil analisis sebaran spasial *burned area* pada berbagai kondisi geografis.

5.1.1 Intensitas hotspot bulanan

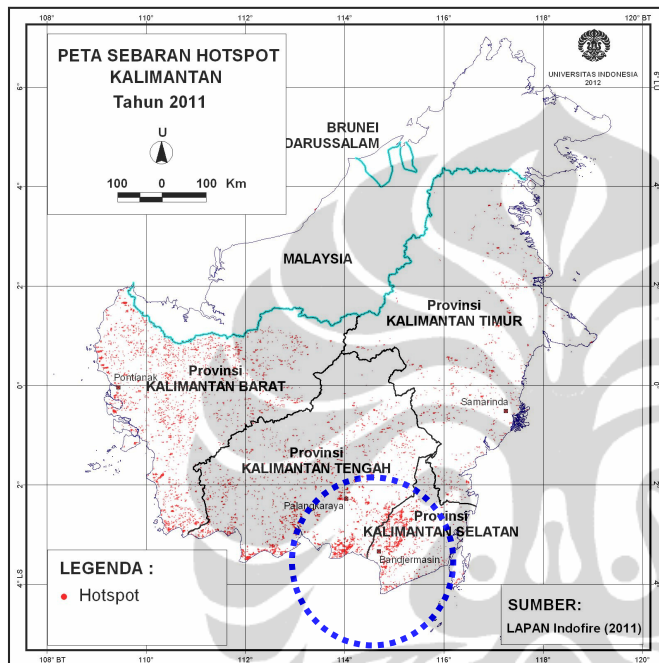
Jumlah hotspot di seluruh Kalimantan sepanjang tahun 2011 adalah 16.400 titik. Jumlah hotspot mengalami peningkatan mulai Juli dan mencapai puncaknya pada bulan Agustus (7.118 titik), tetapi mengalami penurunan kembali pada bulan November (lihat Grafik 5.1). Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa periode kebakaran pada tahun 2011 di Kalimantan terjadi mulai dari bulan Juli hingga Oktober. Kondisi ini diperkuat juga dengan adanya penurunan curah hujan bulanan pada bulan-bulan tersebut.



Grafik 5.1 Intensitas hotspot bulanan di Kalimantan

Berdasarkan data intensitas hotspot secara bulanan tersebut, seperti telah diuraikan sebelumnya pada Bab Metodologi, maka periode perekaman citra MODIS yang dipilih untuk periode sebelum kebakaran, yaitu sekitar bulan Mei-

Juni. Sedangkan untuk periode setelah kebakaran, yaitu sekitar bulan Oktober-November. Gambar 5.1 memperlihatkan secara spasial sebaran hotspot pada tahun 2011 di Kalimantan. Berdasarkan Gambar tersebut dapat diketahui bahwa sebaran hotspot pada tahun 2011 di Kalimantan sebagian besar terkonsentrasi di Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan.

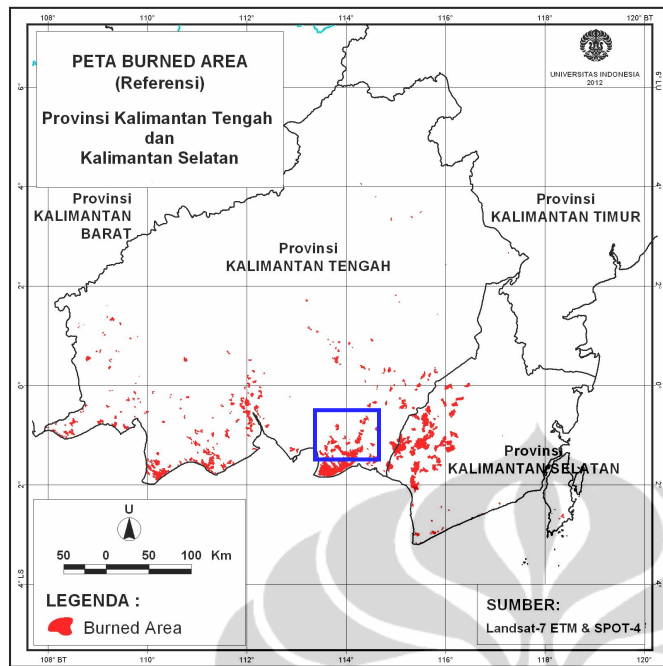


Gambar 5.1 Sebaran hotspot di Kalimantan sepanjang tahun 2011. Lingkaran putus-putus (warna biru) menunjukkan konsentrasi sebaran hotspot yang tinggi.

5.1.2 Kemampuan variabel dalam mendeteksi *burned area*

5.1.2.1 Hasil pengolahan peta *burned area* dari citra Landsat sebagai *burned area* referensi

Terdapat 156 lokasi *burned area* yang berhasil dianalisis dan didelineasi dari citra resolusi tinggi (Landsat-7 dan SPOT-4) di daerah yang dijadikan lokasi sampel. Daerah yang dijadikan lokasi sampel adalah seluruh wilayah Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan. Gambar 5.2 menunjukkan hasil analisis dan delineaasi *burned area* referensi untuk seluruh Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan. Sedangkan Gambar 5.3 memperlihatkan perbesaran dari contoh hasil analisis dan delineaasi *burned area* dari citra resolusi tinggi Landsat-7 pada saat sebelum dan setelah kebakaran (perbesaran dari Gambar 5.2). Sedangkan Gambar 5.4 menunjukkan lokasi verifikasi lapangan *burned area* referensi hasil delineaasi.

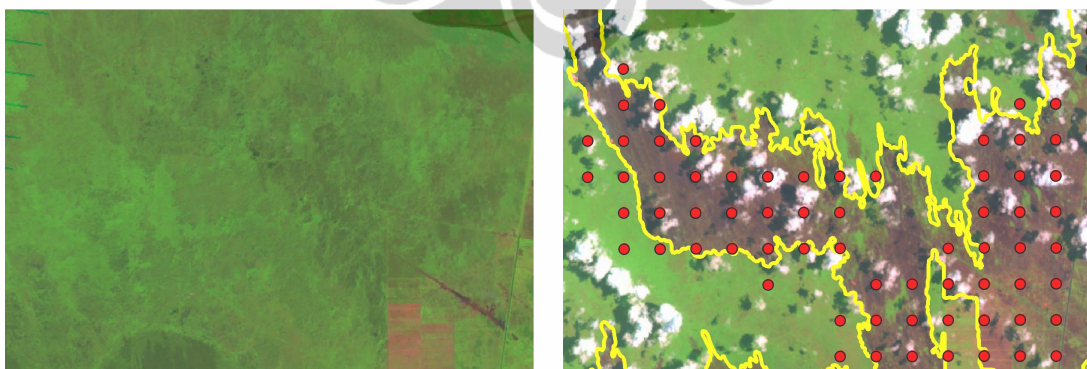


Gambar 5.2

Hasil analisis dan deliniasi *burned area* referensi dari citra Landsat-7 dan SPOT-4 (Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan).

Perbesaran daerah pada kotak warna biru dapat dilihat pada Gambar 5.3.

Hasil deliniasi *burned area* dari citra Landsat-7 atau 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 deliniasi *burned area* dari citra Landsat-7 atau SPOT-4 tersebut juga dipergunakan sebagai peta *burned area* referensi untuk menguji tingkat akurasi model-model identifikasi *burned area* berbasis variabel reflektansi, NDVI dan NBR.



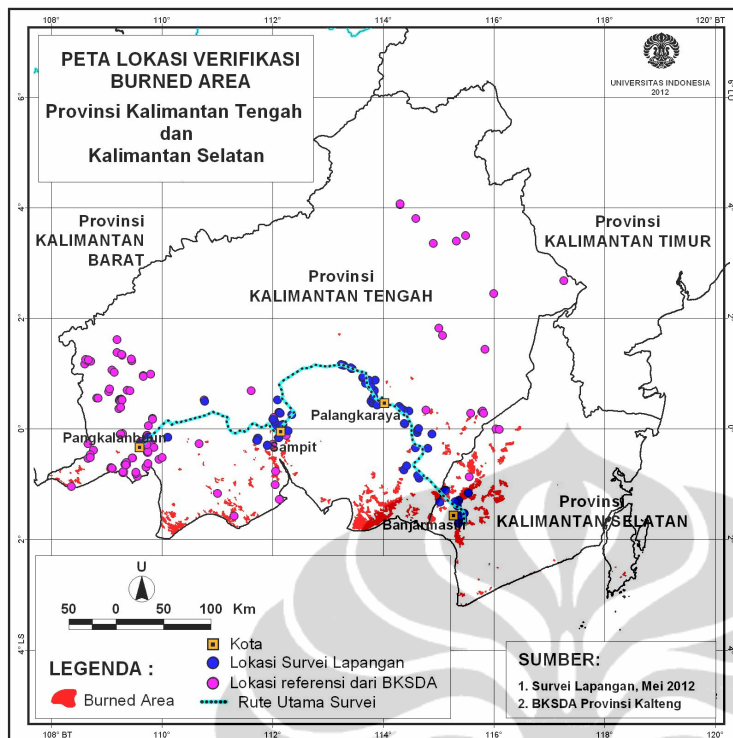
(a) Tanggal 13 Juni 2011

(b) Tanggal 10 Oktober 2011

Gambar 5.3

Contoh hasil analisis *burned area* dari citra resolusi tinggi Landsat-7 pada saat sebelum (gambar kiri) dan setelah kebakaran (gambar kanan). Titik-titik warna merah adalah hotspot dan garis kuning adalah batas deliniasi *burned area*.

Lokasi : Kabupaten Pulang Pisau, Kalimantan Tengah, skala ~1:375.000



Gambar 5.4
Peta lokasi verifikasi *burned area* referensi dengan data lapangan di Provinsi Kalimantan Tengah dan Selatan.

Verifikasi terhadap peta hasil delineasi *burned area* referensi dari citra Landsat-7 dan SPOT-4 tersebut dilakukan dengan data lapangan dan informasi lokasi kebakaran dari instansi terkait (BKSDA dan Dinas Kehutanan Provinsi Kalimantan Tengah). Gambar 5.4 menunjukkan lokasi verifikasi *burned area* di Provinsi Kalimantan Tengah dan Selatan.

5.1.2.2 Nilai NDVI, NBR dan Reflektansi *Burned Area* dari Citra MODIS

Berdasarkan hasil perhitungan terhadap 156 sampel lokasi *burned area* diperoleh hasil bahwa *burned area* memiliki karakteristik nilai reflektansi, NDVI, NBR yang bervariasi (lihat Tabel 5.1 dan 5.2 serta Grafik 5.2 dan 5.3).

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 5.1 Rerata dan standar deviasi nilai reflektansi, NDVI dan NBR di lokasi *burned area* pada saat sebelum kebakaran (*pre-fire*), setelah kebakaran (*post-fire*)

Sebelum Kebakaran (<i>Pre-Fire</i>)									
Nilai	Reflektansi							NDVI	NBR
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7		
Mean	0,0410	0,3182	0,0232	0,0599	0,3215	0,1686	0,0624	0,7740	0,6734
SD	0,0071	0,0235	0,0063	0,0071	0,0261	0,0139	0,0089	0,0336	0,0419
Setelah Kebakaran (<i>Post-Fire</i>)									
Nilai	Reflektansi							NDVI	NBR
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7		
Mean	0,0897	0,2458	0,0640	0,0915	0,2836	0,2135	0,1193	0,5118	0,3316
SD	0,0485	0,0778	0,0307	0,0309	0,0360	0,0253	0,0212	0,1109	0,1293

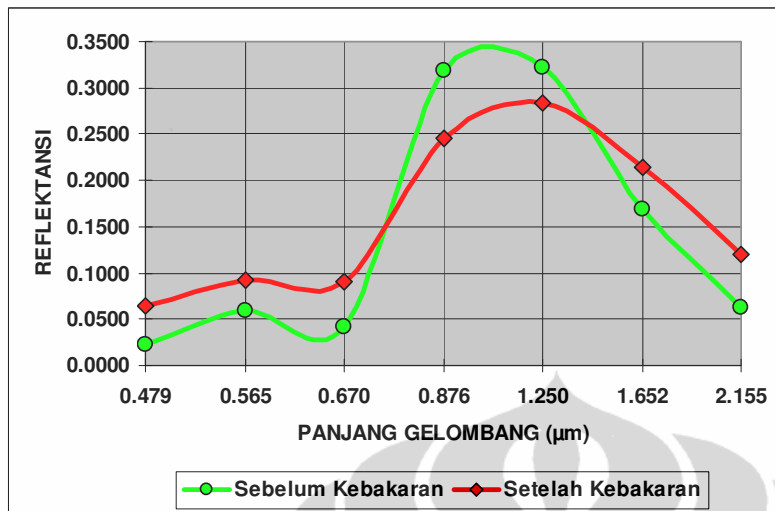
Mean : rerata SD : Standard Deviation

Tabel 5.2 Rerata dan standar deviasi perubahan nilai reflektansi, NDVI dan NBR di lokasi *burned area* pada saat sebelum kebakaran (*pre-fire*) dan setelah kebakaran (*post-fire*)

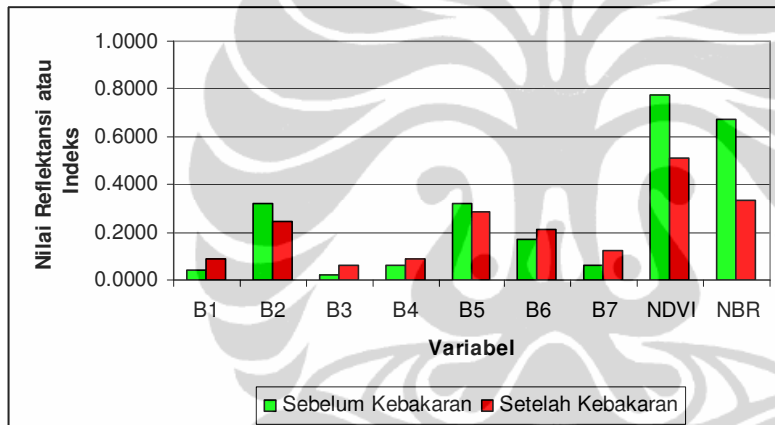
Nilai	Perubahan Reflektansi							Δ NDVI	Δ NBR
	Δ B1	Δ B2	Δ B3	Δ B4	Δ B5	Δ B6	Δ B7		
Mean	0,0487	-0,0775	0,0408	-0,0316	-0,0380	0,0449	-0,0576	-0,2622	-0,3457
SD	0,0414	0,0543	0,0244	0,0238	0,0099	0,0114	0,0123	0,0773	0,0874

Mean : rerata SD : Standard Deviation

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). Grafik 5.2 memperlihatkan lagi dengan jelas perubahan nilai reflektansi, NBR dan NDVI di lokasi *burned area* pada saat sebelum dan setelah kebakaran hutan dan lahan.



Grafik 5.2
Kurva pantulan di lokasi *burned area* pada saat sebelum kebakaran (*pre-fire*) dan setelah kebakaran (*post-fire*)



Grafik 5.3
Rerata nilai reflektansi, NDVI dan NBR di lokasi *burned area* pada saat sebelum kebakaran (*pre-fire*) dan setelah kebakaran (*post-fire*)

5.1.2.3 Kemampuan variabel reflektansi, NDVI, dan NBR dari Citra MODIS dalam mendeteksi *burned area*

Untuk menghitung separabilitas (*separability*), yaitu kemampuan suatu variabel sebagai indikator dalam mendeteksi *burned area*, digunakan pendekatan nilai Distance (*D-value*) (Kaufman & Remer, 1994). Nilai $D > 1$ menunjukkan bahwa variabel tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi *burned area*. Hasil perhitungan *D-value* terhadap 156 lokasi sampel *burned area* menunjukkan bahwa semua variabel baik NDVI, NBR, maupun reflektansi kanal 1 hingga 7 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 *burned area*. 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) (lihat Tabel 5.3).

Tabel 5.3 Separabilitas (*D-Value*) variabel reflektansi, NDVI, dan NBR pada lokasi *burned area*

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

5.1.3 Identifikasi *burned area*

5.1.3.1 Nilai ambang batas (*threshold*) NDVI, NBR dan Reflektansi dari Citra MODIS untuk mendeteksi *burned area*

Pada bagian sebelumnya telah diketahui bahwa variabel NDVI, NBR, dan reflektansi B5, B6, dan B7 merupakan indikator-indikator terbaik dalam pendeteksian *burned area*, 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 *burned area* 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).

Tabel 5.4 Nilai ambang batas untuk pendeteksian *burned area* menggunakan variabel reflektansi, NDVI, dan NBR dari citra MODIS

Variabel	Ambang Batas					
	$\mu - 1\sigma$		μ		$\mu + 1\sigma$	
	Nilai	Perubahan	Nilai	Perubahan	Nilai	Perubahan
B1	0,0412	0,0073	0,0897	0,0487	0,1382	0,0901
B2	0,1680	-0,1317	0,2458	-0,0775	0,3235	-0,0232
B3	0,0333	0,0164	0,0640	0,0408	0,0947	0,0652
B4	0,0606	0,0078	0,0915	0,0316	0,1224	0,0554
B5	0,2476	-0,0478	0,2836	-0,0380	0,3195	-0,0281
B6	0,1881	0,0335	0,2135	0,0449	0,2388	0,0563
B7	0,0981	0,0452	0,1193	0,0576	0,1405	0,0699
NDVI	0,4009	-0,3395	0,5118	-0,2622	0,6227	-0,1849
NBR	0,2024	-0,4331	0,3316	-0,3457	0,4609	-0,2583

Hasil analisis terhadap 156 sampel lokasi *burned area* telah menghasilkan nilai-nilai ambang batas untuk pendeteksian *burned area* 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 5.4.

5.1.3.2 Identifikasi *burned area* menggunakan beberapa model

Berdasarkan hasil analisis (seperti tersaji pada Tabel 5.4), maka lokasi *burned area* di Kalimantan dapat diidentifikasi dengan menggunakan berbagai variabel sebagai model, 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 5.5 memperlihatkan hasil identifikasi *burned area* dari citra MODIS dengan menggunakan berbagai variabel sebagai model, baik reflektansi, NDVI, maupun NBR.

5.1.4 Tingkat akurasi model identifikasi *burned area*

Hasil perhitungan tingkat akurasi masing-masing model dalam mengidentifikasi *burned area* menunjukkan bahwa model NBR dengan kriteria $\mu+1\sigma$ memiliki tingkat akurasi paling tinggi dibandingkan model-model 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 5.5. Berdasarkan hasil perhitungan ini, maka dapat diketahui bahwa model identifikasi *burned area* yang paling sesuai diaplikasikan untuk daerah Kalimantan dengan menggunakan citra MODIS adalah model NBR. Model ini yang selanjutnya akan digunakan untuk mengidentifikasi *burned area* untuk seluruh Kalimantan. Piksel pada citra MODIS yang dinyatakan sebagai *burned area* dengan menggunakan model NBR, mengikuti dua persyaratan, yaitu :

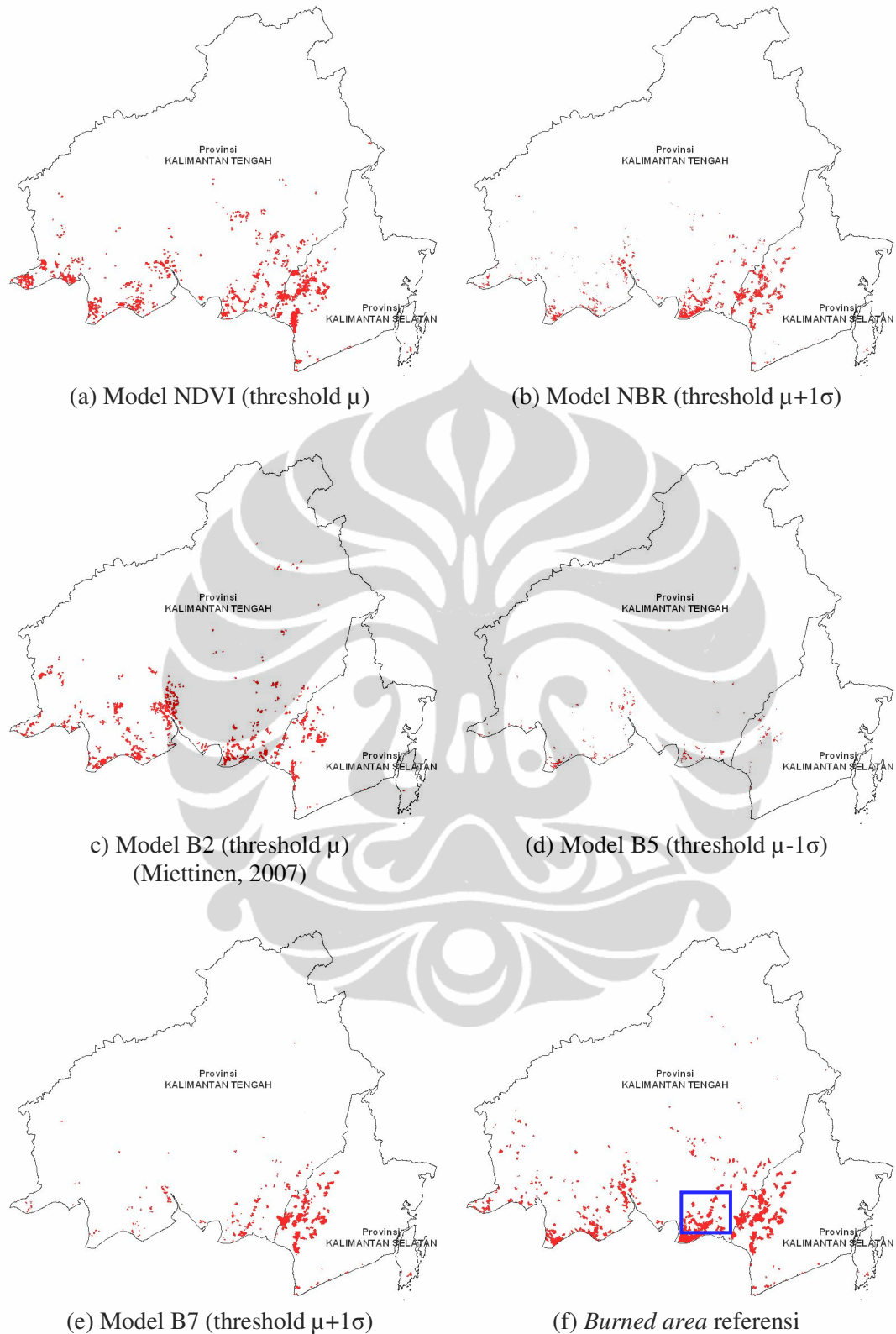
$$\text{Syarat 1 : } \text{NBR}_2 \leq 0,4609 \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

$$\text{Syarat 2 : } \Delta\text{NBR} \leq -0,2583 \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

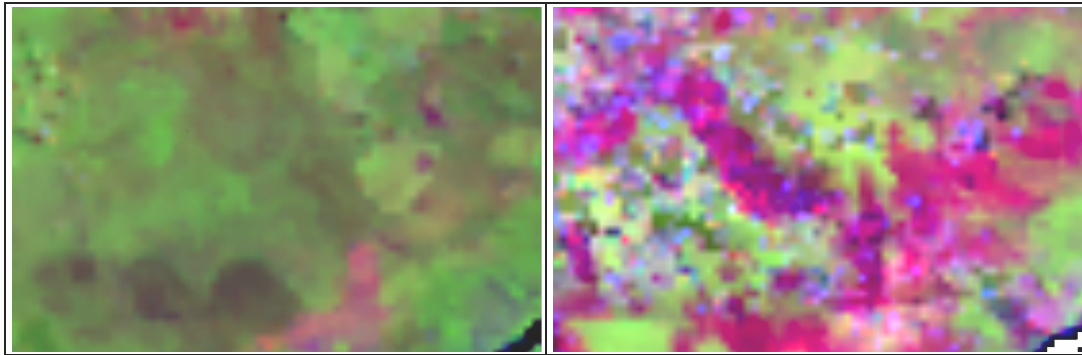
dimana, NBR_2 = Nilai NBR setelah kebakaran
 ΔNBR = Perubahan nilai NBR sebelum dan setelah kebakaran

Tabel 5.5 Tingkat akurasi tiap-tiap model dalam mengidentifikasi *burned area*

Model	Kriteria Thresholds	Komisi	Terkoreksi	Omisi	Jumlah	Akurasi
B1	$\mu - \sigma$	57.777	286.892	5.338.245	5.682.914	0,050
	μ	267.478	77.192	337.319	681.988	0,113
	$\mu + \sigma$	332.807	11.862	2.034	346.703	0,034
B2	$\mu - \sigma$	325.409	19.261	2.534	347.203	0,055
	μ	240.605	104.064	171.751	516.420	0,202
	$\mu + \sigma$	118.284	226.385	2.969.066	3.313.735	0,068
B3	$\mu - \sigma$	145.526	199.143	4.669.827	5.014.496	0,040
	μ	243.034	101.635	2.697.866	3.042.535	0,033
	$\mu + \sigma$	315.898	28.772	15.021	359.690	0,080
B4	$\mu - \sigma$	121.528	223.141	5.527.916	5.872.585	0,038
	μ	250.097	94.572	2.544.180	2.888.849	0,033
	$\mu + \sigma$	322.661	22.008	9.685	354.354	0,062
B5	$\mu - \sigma$	291.026	53.643	16.291	360.960	0,149
	μ	242.220	102.450	418.353	763.022	0,134
	$\mu + \sigma$	212.493	132.176	2.216.511	2.561.180	0,052
B6	$\mu - \sigma$	118.164	226.505	2.845.013	3.189.683	0,071
	μ	165.484	179.186	1.762.081	2.106.751	0,085
	$\mu + \sigma$	218.557	126.112	981.357	1.326.026	0,095
B7	$\mu - \sigma$	106.574	238.095	1.387.026	1.731.695	0,137
	μ	169.391	175.278	648.235	992.905	0,177
	$\mu + \sigma$	229.671	114.999	19.787	364.456	0,316
NDVI	$\mu - \sigma$	310.555	34.114	4.385	349.054	0,098
	μ	226.874	117.795	243.580	588.249	0,200
	$\mu + \sigma$	136.275	208.394	1.953.010	2.297.680	0,091
NBR	$\mu - \sigma$	295.473	49.196	2.939	347.609	0,142
	μ	199.132	145.537	15.637	360.306	0,404
	$\mu + \sigma$	96.269	248.400	46.677	391.347	0,635
Roy		343.690	979	311	344.980	0,003

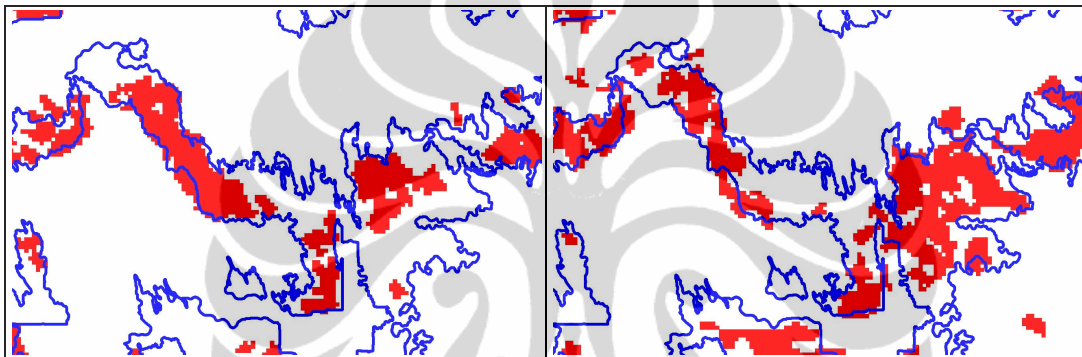


Gambar 5.5. Hasil identifikasi *burned area* (warna merah) di Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan dari citra MODIS dengan menggunakan berbagai variabel sebagai model. Skala ~ 1 : 6.000.000. Perbesaran pada lokasi kotak warna biru dapat dilihat pada Gambar 5.6.



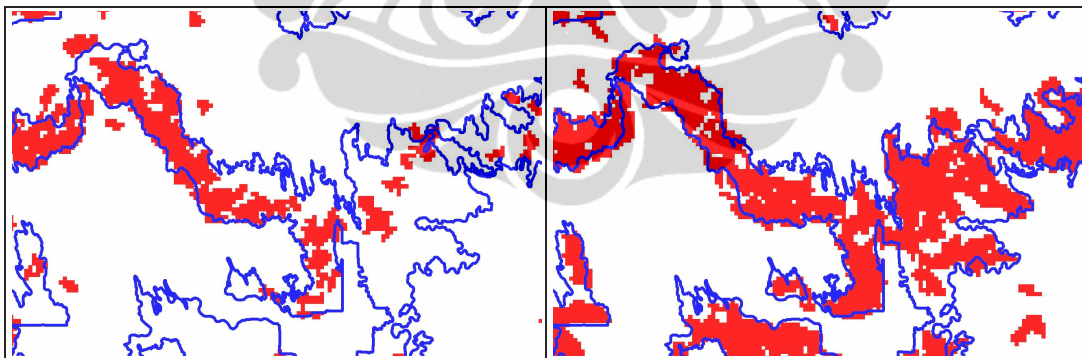
(a) Citra MODIS komposit RGB 621 periode sebelum kebakaran

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 5.6. Perbesaran hasil identifikasi *burned area*.
Burned area dari citra MODIS (warna merah) dan *Burned area* dari citra Landsat dan SPOT-4 (garis biru). *Burned area* dari citra Landsat dan SPOT-4 digunakan sebagai data *burned area* referensi untuk uji akurasi.

Lokasi : Kabupaten Pulang Pisau, Skala ~1:750.000
(Perbesaran Gambar 5.5)

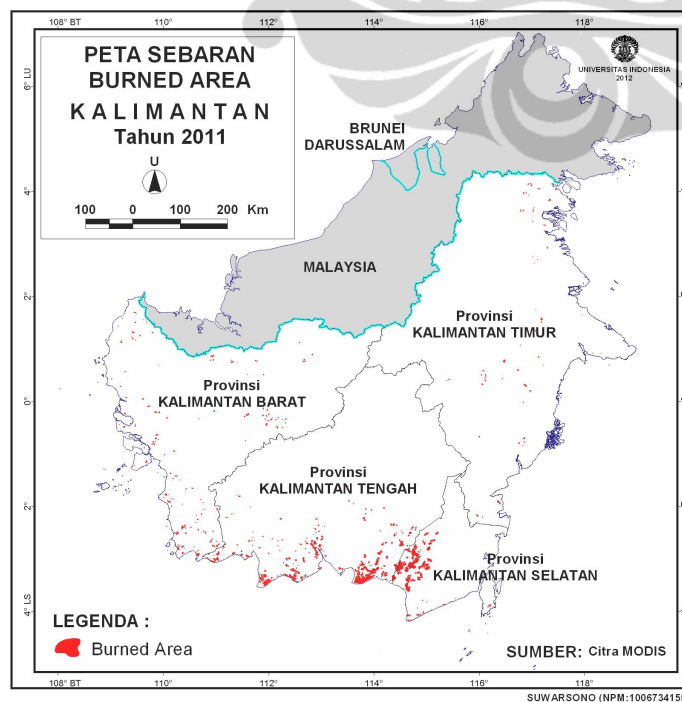
5.1.5 Sebaran spasial *burned area*

5.1.5.1 Sebaran *burned area* menurut wilayah administrasi

Berdasarkan hasil identifikasi *burned area* dari citra MODIS menggunakan model NBR, diketahui bahwa luas total *burned area* di Kalimantan pada tahun 2011 adalah 343.290 ha atau 3.432,90 km². Sebagian besar *burned area* terdapat di Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan (85,91%). Luas sebaran *burned area* menurut provinsi, yaitu Provinsi Kalimantan Tengah (172.669 ha), Kalimantan Selatan (122.260 ha), Kalimantan Barat (34.584 ha) dan Kalimantan Timur (13.778 ha). Jumlah seluruh *burned area* adalah 748 lokasi, dengan ukuran berkisar antara 6,25 ha hingga 34.925 ha. Sedangkan rata-rata luasnya adalah 459 ha. Sebaran spasial *burned area* pada tahun 2011 di setiap provinsi selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan peta pada Gambar 5.7.

Tabel 5.6 Sebaran *burned area* pada setiap provinsi

No	Provinsi	Jumlah Lokasi	Luas (ha)		% Luas
			Rerata	Total	
1	Kalimantan Tengah	313	552	172.669	50,30
2	Kalimantan Selatan	77	1.588	122.260	35,61
3	Kalimantan Barat	255	136	34.584	10,07
4	Kalimantan Timur	103	134	13.778	4,01
	<i>Jumlah</i>	748	459	343.290	100,00



Gambar 5.7

Peta Sebaran *Burned Area* di Kalimantan pada tahun 2011

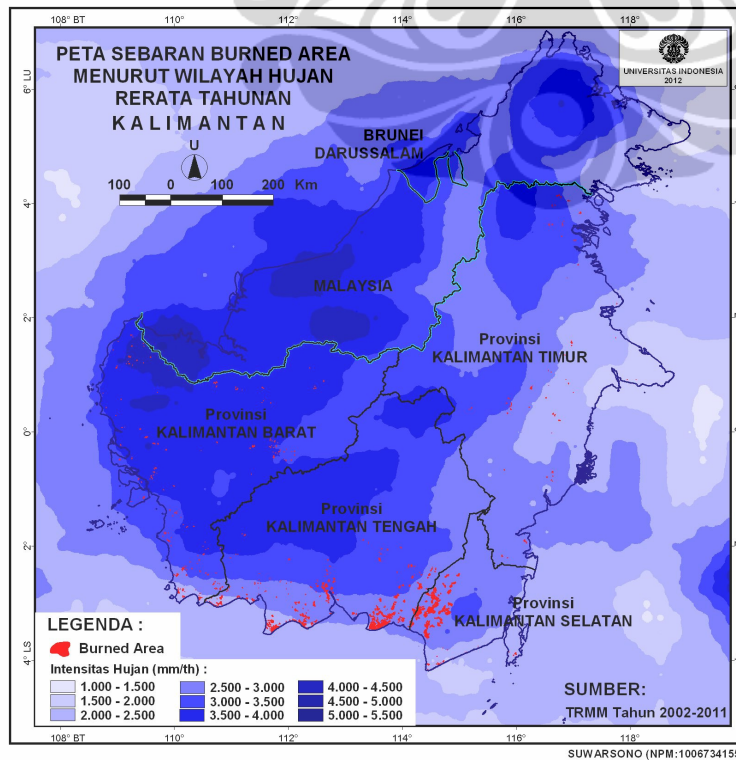
5.1.5.2 Sebaran *burned area* menurut curah hujan

a. Sebaran *burned area* menurut curah hujan tahunan

Berdasarkan data tahun 2011, sebagian besar *burned area* (95,48%) berada pada wilayah dengan curah hujan tahunan berkisar antara 2.000 – 4.000 mm/th. Namun demikian, kondisi tersebut agak sedikit berbeda apabila dilihat secara rerata tahunan dari 10 tahun terakhir (tahun 2002-2011), yaitu sebagian besar *burned area* (94,36%) berada pada wilayah dengan curah hujan rerata tahunan berkisar antara 2.000 – 3.500 mm/th. Sebaran *burned area* menurut wilayah curah hujan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan peta pada Gambar 5.8.

Tabel 5.7 Sebaran *burned area* menurut wilayah curah hujan tahunan

Curah Hujan (mm/th)	Tahun 2011		Rerata Tahunan	
	Luas (ha)	% Luas	Luas (ha)	% Luas
1.500-2.000	11.345	3,30	3.338	0,97
2.000-2.500	37.647	10,97	53.900	15,70
2.500-3.000	31.849	9,28	219.686	63,99
3.000-3.500	214.263	62,41	50.359	14,67
3.500-4.000	44.002	12,82	11.889	3,46
4.000-4.500	4.162	1,21	4.027	1,17
4.500-5.000	22	0,01	92	0,03
<i>Jumlah</i>	<i>343.290</i>	<i>100,00</i>	<i>343.290</i>	<i>100,00</i>



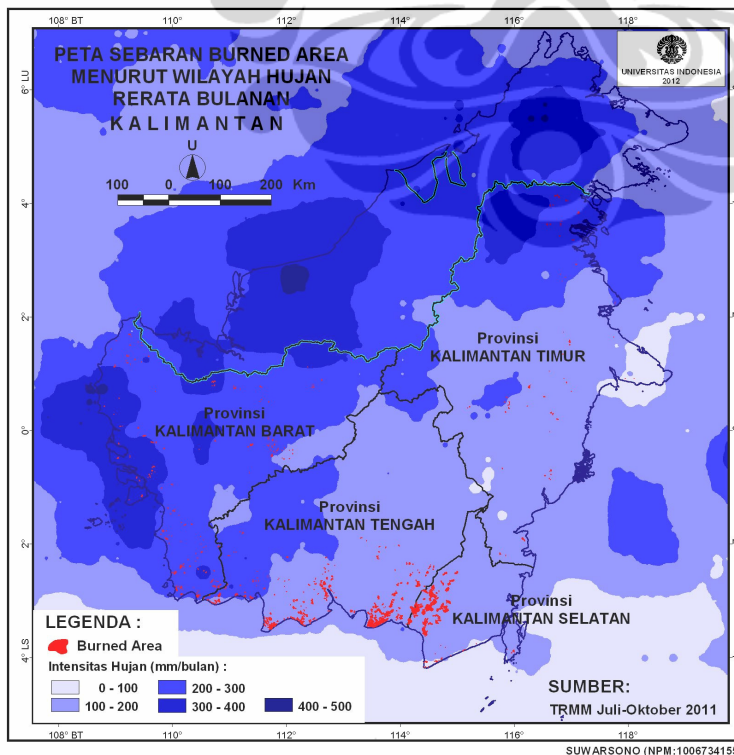
Gambar 5.8
Peta Sebaran *Burned Area* menurut wilayah hujan tahunan 2011 di Kalimantan

b. Sebaran *burned area* menurut curah hujan bulanan

Berdasarkan rerata bulanan dari bulan Juli - Oktober 2011 (periode kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan), sebagian besar *burned area* (87,94%) berada pada wilayah dengan curah hujan rerata bulanan berkisar antara 0 – 200 mm/bulan. Sedangkan pada wilayah dengan curah hujan bulanan yang lebih tinggi, memiliki *burned area* dengan luasan yang relatif lebih kecil. Sebaran *burned area* menurut wilayah curah hujan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan peta pada Gambar 5.9.

Tabel 5.8 Sebaran *burned area* menurut wilayah curah hujan rerata bulanan

Curah Hujan (mm/bulan)	Luas (ha)		% Luas
	Rerata	Total	
0 - 100	99	494	0,14
100-200	594	301.379	87,79
200-300	123	33.455	9,75
300-400	110	7.941	2,31
400-500	22	22	0,01
<i>Jumlah</i>		<i>343.290</i>	<i>100,00</i>



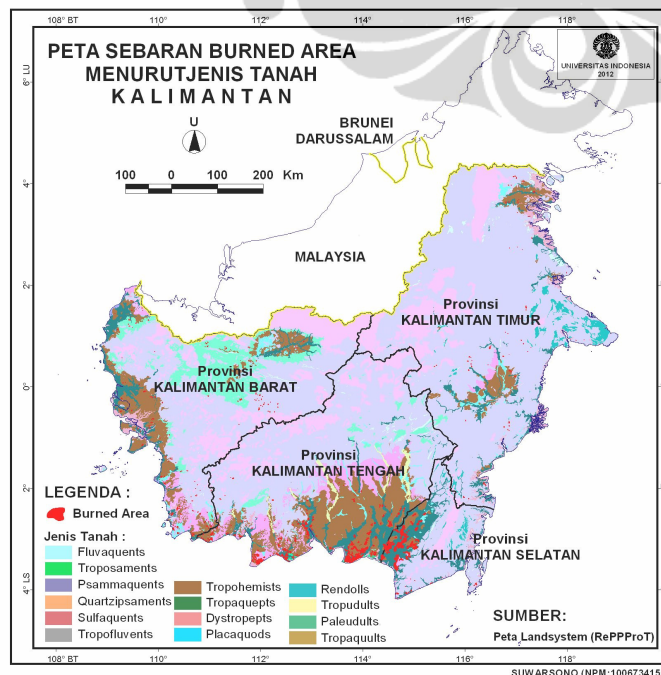
Gambar 5.9
Peta Sebaran *Burned Area* menurut wilayah hujan rerata bulanan (Juli-Oktober 2011) di Kalimantan

5.1.5.3 Sebaran *burned area* menurut jenis tanah

Sebagian besar *burned area* terdapat pada jenis tanah Tropaquepts (156.333 ha atau 45,54%) dan Tropohemists (113.030 ha atau 32,93%). Sedangkan sebaran *burned area* pada jenis tanah yang lainnya (Tropudults, Placaquods, Quartzipsaments, Fluvaquents, Sulfaquents, Paleudults, Psammaquents, Dystropepts, dan Tropofluvents masing-masing memiliki persentase luasan kurang dari 10%. Sebaran *burned area* menurut jenis tanah selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan peta pada Gambar 5.10.

Tabel 5.9 Sebaran *burned area* menurut jenis tanah

No	Jenis Tanah	Luas (ha)		% Luas
		Rerata	Total	
1	Tropaquepts	763	156.333	45,54
2	Tropohemists	276	113.030	32,93
3	Tropudults	87	22.953	6,69
4	Placaquods	141	19.364	5,64
5	Quartzipsaments	614	11.672	3,40
6	Fluvaquents	147	8.677	2,53
7	Sulfaquents	215	5.598	1,63
8	Paleudults	100	4.989	1,45
9	Psammaquents	56	335	0,10
10	Dystropepts	29	317	0,09
11	Tropofluvents	12	23	0,01
<i>Jumlah</i>			343.290	100,00



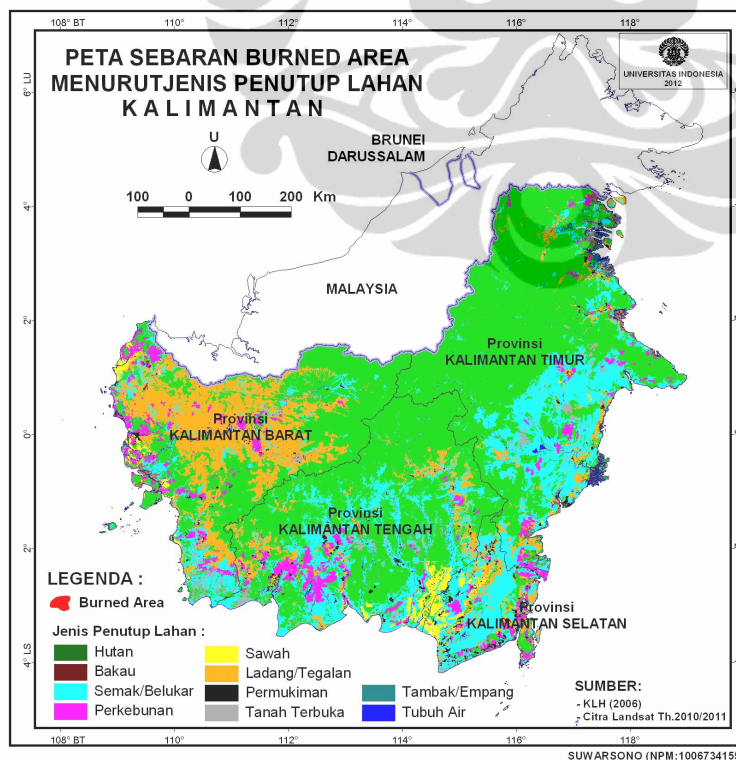
Gambar 5.10
Peta Sebaran *Burned Area* di Kalimantan menurut jenis tanah

5.1.5.4 Sebaran *burned area* menurut jenis penutup lahan

Sebagian besar *burned area* terdapat pada penutup lahan berupa semak/belukar (148.111 ha atau 43,14%), sawah (74.819 ha atau 21,79%), hutan (61.704 ha atau 17,97%), perkebunan (20.135 ha atau 5,87%), dan ladang/tegalan (38.665 ha atau 11,26%). Memperhatikan data tersebut, maka dapat perlu dicermati bahwa kebakaran masih menjadi ancaman pada penutup lahan hutan. Sebaran *burned area* menurut jenis penutup lahan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan peta pada Gambar 5.11.

Tabel 5.10 Sebaran *burned area* menurut jenis penutup lahan

No	Penutup Lahan	Luas (ha)		% Luas
		Rerata	Total	
1	Semak/Belukar	325	148.111	43,14
2	Sawah	771	74.819	21,79
3	Hutan	158	61.704	17,97
4	Perkebunan	169	20.135	5,87
5	Ladang/Tegalan	157	38.521	11,22
	<i>Jumlah</i>		343.290	100,00



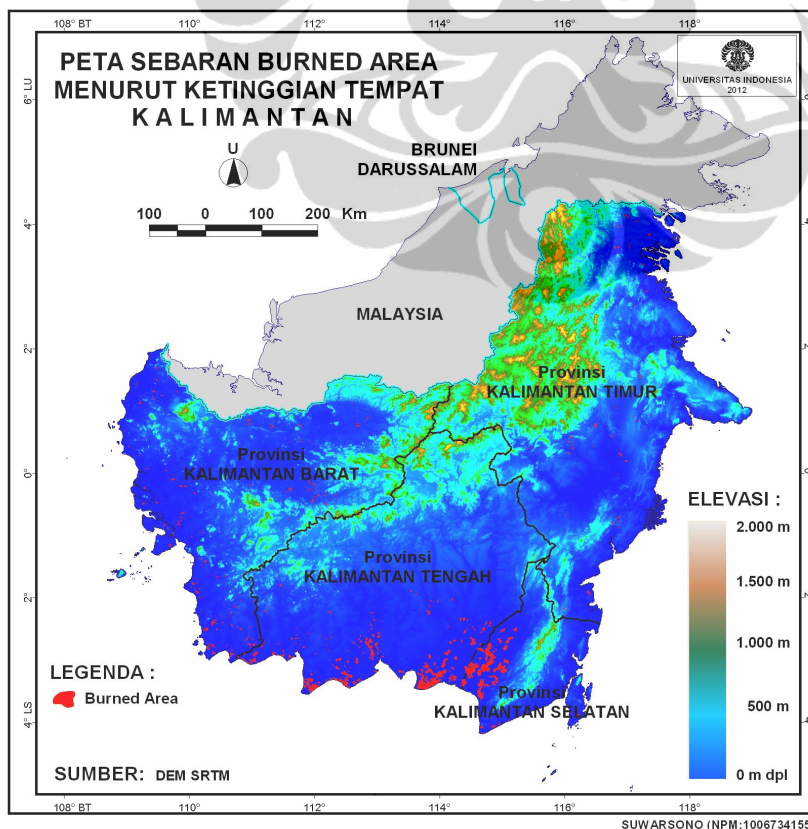
Gambar 5.11
Peta Sebaran *Burned Area* di Kalimantan menurut jenis penutup lahan

5.1.5.5 Sebaran *burned area* menurut ketinggian tempat

Sebagian besar *burned area* terdapat pada ketinggian tempat di bawah 100 meter dpl (339.584 ha atau 98,92%). Luas *burned area* menurut ketinggian tempat pada rentang elevasi yang lain, yaitu; 0 – 200 m dpl (3.344 ha atau 0,97%), 200 – 300 m dpl (245 ha atau 0,07%), dan 300 – 400 m dpl (118 ha atau 0,03%). Sebaran *burned area* menurut ketinggian tempat selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan peta pada Gambar 5.12.

Tabel 5.11 Sebaran *burned area* menurut ketinggian tempat

No	Ketinggian Tempat (m dpl)	Luas (ha)		% Luas
		Rerata	Total	
1	<100	246	339.584	98,92
2	100-200	84	3.344	0,97
3	200-300	82	245	0,07
4	300-400	59	118	0,03
5	> 400		0	0,00
	<i>Jumlah</i>		343.290	100,00



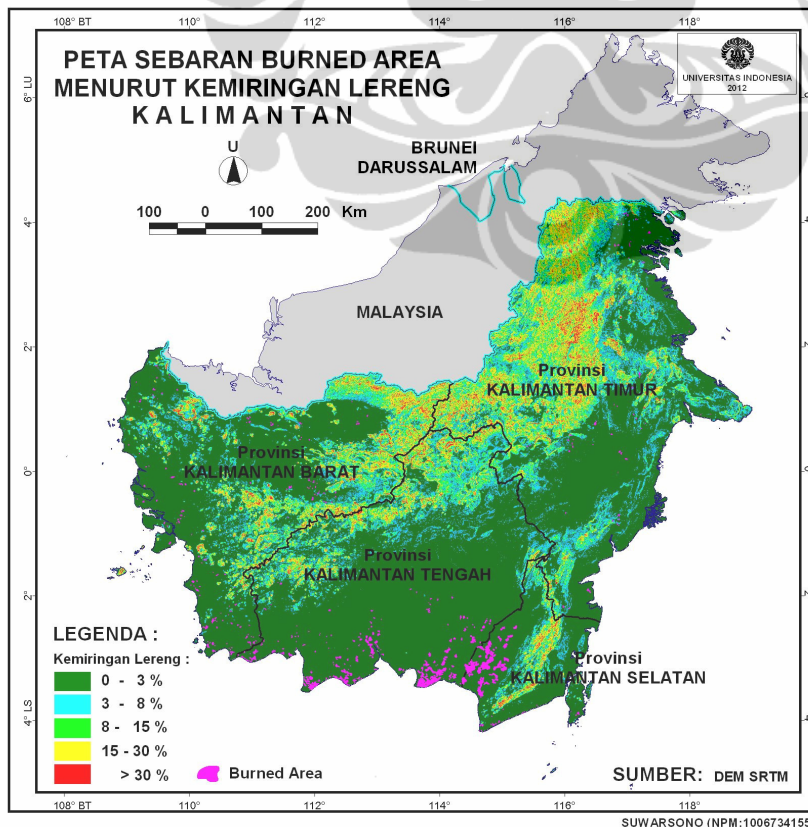
Gambar 5.12
Peta Sebaran
Burned Area di
Kalimantan
menurut
ketinggian
tempat

5.1.5.6 Sebaran *burned area* menurut kemiringan lereng

Sebagian besar *burned area* terdapat pada daerah datar dengan kemiringan lereng antara 0 – 3% (336.374 ha atau 97,92%). Luas *burned area* menurut ketinggian lereng pada rentang *slope* yang lain, yaitu; 3 – 8% (5.584 ha atau 1,63%), 8 – 15% (456 ha atau 0,13%), dan 15 – 30% (1.100 ha atau 0,32%). Sebaran *burned area* menurut kemiringan lereng selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan peta pada Gambar 5.13.

Tabel 5.12 Sebaran *burned area* menurut kemiringan lereng

No	Kemiringan Lereng	Luas (ha)		% Luas
		Rerata	Total	
1	0-3	344	336.150	97,92
2	3-8	122	5.584	1,63
3	8-15	82	456	0,13
4	15-30	35	1.100	0,32
5	>30		0	0,00
	<i>Jumlah</i>		343.290	100,00



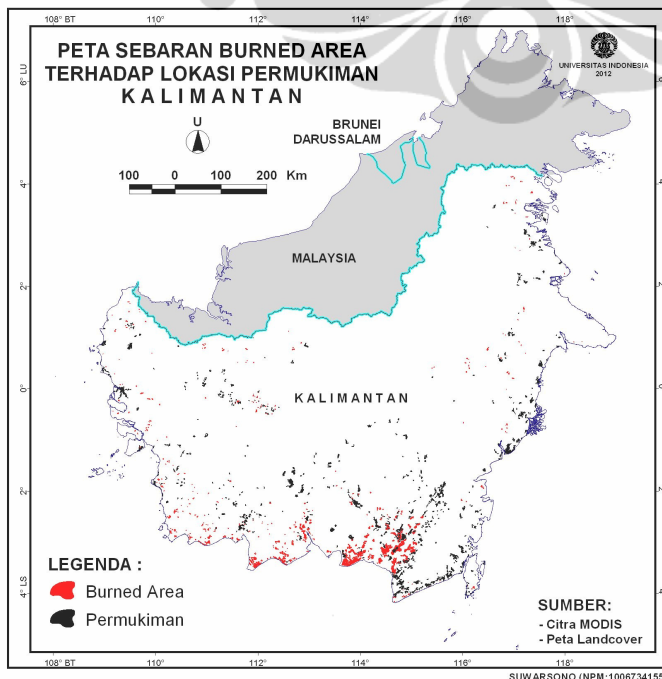
Gambar 5.13
Peta Sebaran
Burned Area di
Kalimantan
menurut
kemiringan
lereng

5.1.5.7 Sebaran *burned area* menurut jarak dari permukiman

Sebagian besar *burned area* berlokasi antara 0 hingga 15 km dari permukiman (247.901 ha atau 72%). Luas *burned area* terhadap permukiman pada radius yang lebih jauh yaitu; 15 – 30 km (60.108 ha atau 18%) dan 30 – 75 km (35.281 ha atau 10%). Pada jarak lebih dari 75 km tidak dijumpai adanya *burned area*. Sebaran *burned area* menurut jaraknya dari permukiman selengkapny dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan peta pada Gambar 5.14.

Tabel 5.13 Sebaran lokasi *burned area* menurut jaraknya dari permukiman

Jarak (km)	Luas <i>Burned Area</i> (ha)	% Luas
0-5	107.430	31.29
5-10	89.190	25.98
10-15	51.280	14.94
15-20	33.302	9.70
20-25	15.515	4.52
25-30	11.291	3.29
30-35	6.682	1.95
35-40	5.233	1.52
40-45	2.978	0.87
45-50	3.697	1.08
50-55	5.051	1.47
55-60	3.599	1.05
60-65	4.945	1.44
65-70	2.780	0.81
70-75	316	0.09
Jumlah	343.290	100.00



Gambar 5.14
Peta Sebaran
Burned Area di
Kalimantan
terhadap lokasi
permukiman

5.2 Pembahasan

5.2.1 Model identifikasi *burned area* yang sesuai diaplikasikan di Kalimantan dari citra MODIS

Peristiwa kebakaran hutan dan lahan akan berdampak pada peningkatan nilai reflektansi spektrum panjang gelombang tampak (*visible*), dari spektrum warna biru, hijau hingga ke merah (MODIS kanal 1, 3 dan 4). Peningkatan juga terjadi pada spektrum panjang gelombang inframerah pendek (*Short Wave Infra Red / SWIR*) dari MODIS kanal 6 dan 7. Di sisi lain, kejadian kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan berakibat pada penurunan nilai reflektansi spektrum panjang gelombang inframerah dekat (*Near Infra Red / NIR*) dari kanal MODIS kanal 2 dan 5. Selain itu, nilai NDVI dan NBR juga mengalami penurunan. Di sini dapat diartikan bahwa, kebakaran hutan dan lahan akan berdampak pada penurunan nilai indeks vegetasi dan indeks kebakaran.

Kondisi ini terjadi karena kebakaran hutan dan lahan berakibat pada hilangnya sebagian besar atau keseluruhan vegetasi yang tumbuh di permukaan lahan. Jadi lahan yang sebelumnya masih berupa vegetasi (memberikan nilai NDVI dan NBR yang relatif lebih tinggi), akibat terbakar, dalam rentang waktu yang relatif pendek, berubah menjadi tanah terbuka yang menyisakan bekas-bekas kebakaran (arang atau abu). Pada beberapa lokasi survei di lapangan, meskipun pengamatan dilakukan telah berselang sekitar 6 bulan dari puncak periode kebakaran di tahun 2011 dan pada *burned area* tersebut sudah mulai ditumbuhi oleh vegetasi perintis, terutama jenis paku-pakuan, namun demikian masih dapat dijumpai adanya sisa-sisa kebakaran, terutama arang dari bagian kayu pohon yang terbakar.

Memperhatikan perubahan nilai pantulan dari semua kanal reflektansi MODIS (kanal 1 sampai 7) serta perubahan pada nilai NDVI dan NBR, maka secara teoritik, semua variabel tersebut memiliki peluang digunakan sebagai variabel indikator untuk model identifikasi *burned area*. Ini dibuktikan dengan hasil uji kemampuan yang ternyata memberikan hasil bahwa semua variabel baik NDVI, NBR dan reflektansi memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi *burned area* (memberikan *D-value* > 1). Dengan demikian, variabel-variabel

tersebut dapat dijadikan sebagai model untuk identifikasi *burned area* di daerah Kalimantan.

Namun demikian, berdasarkan hasil uji akurasi dari hasil penerapan model, ternyata tidak semuanya memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi. Hasil uji akurasi menunjukkan bahwa model NBR dengan kriteria *threshold* $\mu+1\sigma$ memiliki tingkat akurasi paling tinggi dibandingkan model-model lainnya, yaitu dengan besar akurasi 0,635 atau 63,5%. Tingkat akurasi model lainnya yang lebih rendah namun masih mendekati akurasi model NBR yaitu; model NDVI sebesar 20% (dengan kriteria *threshold* μ), model reflektansi kanal 2 sebesar 20,2% (dengan kriteria *threshold* μ), serta model reflektansi kanal 7 sebesar 31,6% (dengan kriteria *threshold* $\mu+1\sigma$). Model NBR memiliki tingkat akurasi paling tinggi karena model ini merupakan kombinasi dari dua variabel reflektansi dari kanal 2 dan 7. Hal ini dihubungkan dengan hasil perhitungan perubahan nilai reflektansi sebelum dan setelah kebakaran, dimana kanal 2 memberikan respon penurunan nilai reflektansi yang paling tinggi, sedangkan kanal 7 memberikan respon peningkatan nilai reflektansi yang paling tinggi.

Dengan demikian, berdasarkan hasil uji kemampuan dan uji akurasi, dapat diketahui bahwa model identifikasi *burned area* yang paling sesuai diaplikasikan untuk daerah Kalimantan dengan menggunakan citra MODIS adalah model NBR.

5.2.2 Keterbatasan Model NBR dalam mengidentifikasi *burned area* di Kalimantan dari citra MODIS

Penerapan model NBR dalam mengidentifikasi *burned area* 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 *burned area* atau daerah-daerah yang sebenarnya terbakar (*burned area*) tetapi tidak terdeteksi sebagai *burned area*. 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 *burned area* yang masih dapat terdeteksi dengan model ini berkisar 6,25 hingga 25 ha. Namun menurut Miettinen (2007), secara faktual, *burned area* yang terdeteksi pada resolusi spasial 500 meter (luasan 25 ha) di citra MODIS tidak berarti bahwa seluruh piksel tersebut merupakan *burned area*, bisa jadi merupakan *burned area* kecil atau fraksi-fraksi kecil *burned area* yang berukuran kurang dari 25 ha yang terdeteksi sebagai *burned area* satu piksel penuh yang berukuran 25 ha. Demikian pula *burned area* yang terdeteksi pada resolusi spasial 250 meter (luasan 6,25 ha). Tidak berarti bahwa seluruh piksel tersebut merupakan *burned area*, bisa jadi merupakan *burned area* kecil atau fraksi-fraksi kecil *burned area* yang berukuran kurang dari 6,25 ha yang terdeteksi sebagai *burned area* satu piksel penuh yang berukuran 6,25 ha. Eva & Lambin (1998) juga menyarankan bahwa karena terdapat perbedaan nilai yang kuat antara *burned area* dengan *non burned area*, meskipun hanya memiliki luasan 40% atau kurang dari ukuran satu piksel, daerah tersebut dapat terdeteksi sebagai *burned area*. 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 *burned area* berukuran kecil kurang dari 6,25 ha. Dengan demikian, berdasarkan argumentasi tersebut, maka batasan luas *burned area* terkecil yang dihasilkan atas penerapan model NBR di Kalimantan dengan menggunakan citra MODIS adalah 6,25 ha.

Implikasi dari keterbatasan resolusi spasial tersebut adalah terkait dengan skala peta *burned area* yang dihasilkan. Berdasarkan Tobler's Rule, penelitian ini menyarankan bahwa skala peta *burned area* yang dihasilkan dengan metode seperti dalam penelitian ini adalah terbatas untuk skala menengah, yaitu 1:500.000.

5.2.3 Analisis pola spasial *burned area* di Kalimantan

Berdasarkan perhitungan *Average Nearest Neighbourhood* (ANN), diperoleh nilai ANN sebesar 0,32. Oleh karena < 1 , maka diketahui bahwa pola sebaran *burned area* di Kalimantan adalah mengelompok (*cluster*). Pola demikian tentu saja ada penyebabnya dan tidak terjadi secara kebetulan. Dalam hal ini, adanya pola mengelompok mengindikasikan bahwa eksistensi *burned area* di Kalimantan secara spasial terjadi karena adanya pengaruh dari faktor geografis yang bersifat dominan. Pembahasan selanjutnya akan mencoba menjelaskan sebaran spasial *burned area* terhadap faktor-faktor geografis yang mempengaruhinya, yaitu; iklim, topografi, penutup lahan, tanah, dan faktor manusia. Sebelumnya akan dibahas terlebih dahulu sebaran spasial *burned area* menurut wilayah administrasi.

5.2.4 Analisis sebaran spasial *burned area* di Kalimantan

5.2.4.1 Analisis sebaran *burned area* menurut administrasi

Seperti telah dijelaskan pada bagian terdahulu, jumlah seluruh *burned area* adalah 748 lokasi dengan ukuran berkisar antara 6,25 ha hingga 34.925 ha. Sedangkan rata-rata luasnya adalah 459 ha. Namun demikian, ukuran luas rata-rata *burned area* bervariasi untuk tiap-tiap provinsi. Provinsi Kalimantan Selatan, meskipun secara jumlah adalah paling sedikit, namun di tiap-tiap lokasi *burned area* memiliki rata-rata luas paling tinggi, yaitu lebih dari 1.500 ha. Sedangkan di Provinsi Kalimantan Barat, meskipun secara jumlah adalah lebih banyak, namun memiliki luas rata-rata yang relatif lebih kecil, yaitu kurang dari 150 ha. Dengan demikian dapat dipahami bahwa kebakaran hutan dan lahan yang terjadi di Provinsi Kalimantan Selatan lebih kuat mengalami penyebaran dibandingkan dengan Provinsi lainnya, terutama Kalimantan Barat, yang hanya bersifat hanya bersifat lokal.

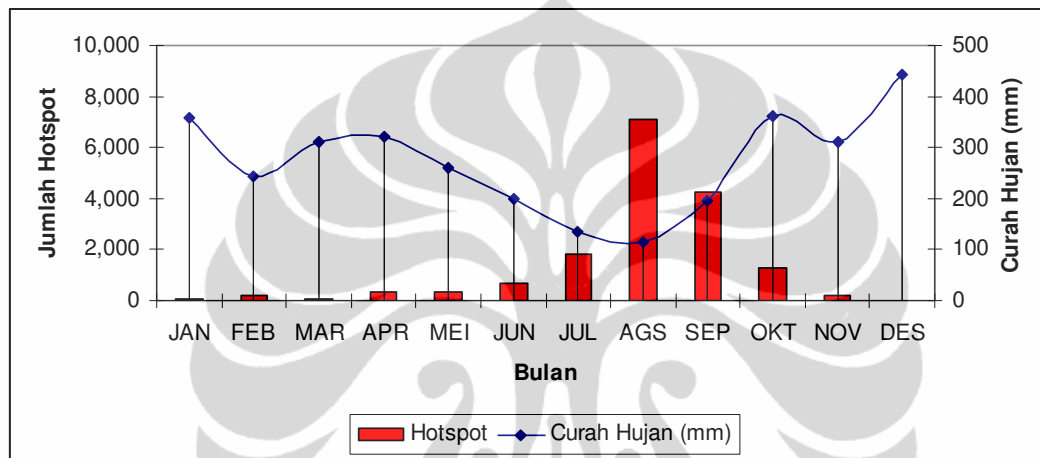
Lebih lanjut, Miettinen (2007) membedakan ukuran luas *burned area* menjadi dua, yaitu *burned area* besar (*large burned area*) dan *burned area* kecil (*small burned area*). *Burned area* kecil berukuran 25 ha ke bawah, sedangkan *burned area* besar berukuran lebih dari 25 ha. Pembagian tersebut didasarkan atas studi dari Nicholas (1998) dan Bowen et al (2001) yang menyatakan bahwa pembakaran yang dilakukan oleh masyarakat atau perusahaan kecil jarang yang melebihi angka 25 ha. Dari 748 lokasi tersebut, 570 lokasi (76%) merupakan *burned area* besar dan 178 lokasi (24 %) merupakan *burned area* kecil. Dengan demikian, apabila dilihat dari aspek antropogenik, dapat diindikasikan bahwa, pada tahun 2011, kebakaran hutan dan lahan yang terjadi di Kalimantan sebagian besar tidak dilakukan oleh masyarakat atau perusahaan kecil.

5.2.4.2 Analisis sebaran *burned area* menurut wilayah curah hujan

Terdapat fenomena yang menarik untuk dibahas disini, yaitu secara regional, berdasarkan data *Southern Oscillation Index* (SOI) dari Bureau of Meteorology Australia (BoM), di wilayah Indonesia bagian tengah dan timur pada tahun 2010 dan 2011 sedang mengalami episode La Nina (ekstrim basah). Kondisi secara regional tersebut juga memberikan pengaruh terhadap daerah Kalimantan. Pengaruh tersebut yaitu, intensitas curah hujan tahun 2011 di Kalimantan sebesar 3.254 mm, lebih tinggi bila dibandingkan dengan rerata 10 tahun terakhir (2002-2011), yaitu sebesar 3.169 mm.

Yang menjadi pertanyaan di sini adalah, mengapa meski secara regional mengalami kondisi ekstrim basah, namun di Kalimantan masih tetap saja terjadi peristiwa kebakaran hutan dan lahan. Fakta penting yang perlu dicermati dari hasil penelitian ini yaitu dari hasil analisis intensitas curah hujan bulanan sepanjang tahun 2011 menunjukkan bahwa besar intensitas curah hujan mengalami penurunan pada bulan Mei hingga September (di bawah 200 mm/bulan), dan intensitas hujan pada Juni hingga Agustus di tahun 2011 masih lebih rendah dibandingkan rerata bulanan dari 10 tahun terakhir. Jadi, di sini ada celah, yaitu lebih rendahnya intensitas curah hujan bulanan dari nilai rata-ratanya, bersama-sama dengan faktor yang lain ikut berkontribusi terhadap terjadinya kebakaran hutan dan lahan.

Apabila dikaitkan antara intensitas curah hujan bulanan dan intensitas hotspot bulanan sepanjang tahun 2011, terlihat pola terjadinya penurunan intensitas curah hujan yang cenderung akan diiringi dengan peningkatan intensitas hotspot (lihat Grafik 5.4). Di sini memberikan indikasi adanya pengaruh curah hujan terhadap kejadian kebakaran hutan dan lahan. Kondisi ini terjadi karena curah hujan akan meningkatkan kandungan air dan kelembaban lapisan tanah bagian atas yang mampu menurunkan potensi terjadinya kebakaran.



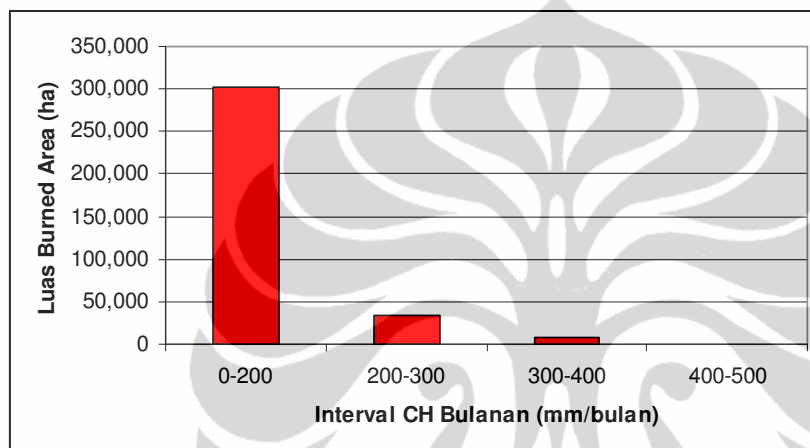
Grafik 5.4 Pola hubungan antara intensitas curah hujan bulanan dan intensitas hotspot bulanan sepanjang tahun 2011 di Kalimantan.

Secara spasial, berdasarkan data sebaran *burned area* menurut wilayah curah hujan rerata bulanan, dapat diketahui bahwa luas sebaran *burned area* bervariasi menurut wilayah curah hujan rerata bulanan. Variasi tersebut adalah, sebagian besar *burned area* (87,94%) berada pada wilayah dengan curah hujan rerata bulanan berkisar antara 0 – 200 mm/th. Selain itu, wilayah yang memiliki besar intensitas curah hujan bulanan yang lebih rendah memiliki luas *burned area* yang lebih rendah pula (lihat Grafik 5.5). Dengan demikian, fakta ini membuktikan lagi bahwa faktor curah hujan ikut berkontribusi pada terjadinya kebakaran hutan dan lahan.

Di sisi lain yang masih ada kaitannya, fenomena kebakaran hutan dan lahan yang terjadi di Kalimantan pada periode La Nina ini memiliki kemiripan dengan apa yang dihasilkan oleh Adiningsih (2005), yaitu, meskipun dalam periode La Nina, pada daerah di pantai Timur Sumatera tetap memiliki resiko

kebakaran yang tinggi. Kondisi tersebut ternyata ada kaitan dengan kondisi tanah di wilayah pantai Timur Sumatera yang banyak tersebar tanah-tanah gambut.

Hasil uji beda antara luas *burned area* pada berbagai kategori kondisi curah hujan bulanan dengan menggunakan Chi Kuadrat menunjukkan bahwa variabel curah hujan memberikan nilai sigma 0,000 (<0.05) pada tingkat kepercayaan 95% (lihat Lampiran 1). Artinya bahwa bahwa terdapat perbedaan yang nyata antara luas *burned area* dan curah hujan bulanan.



Grafik 5.5.
Luas *burned area* wilayah menurut rerata curah hujan bulanan

5.2.4.3 Analisis sebaran *burned area* menurut jenis tanah

Sebagian besar *burned area* di Kalimantan terdapat pada jenis tanah Tropaquepts (156.373 ha atau 45,52%) dan Tropohemists (113.094 ha atau 32,92%). Di sini dapat dipahami bahwa kedua jenis tanah tersebut banyak mengandung gambut yang mudah terbakar. Dalam hal ini gambut berperan sebagai sumber bahan bakar bawah permukaan (*below ground fuel loads*) untuk terjadinya proses pembakaran. Selain di Kalimantan, daerah-daerah lainnya di Indonesia yang memiliki jenis tanah yang banyak mengandung gambut juga mengalami resiko kebakaran hutan dan lahan yang tinggi, terutama di Sumatera (Adiningsih, 2005) dan Papua (Adiningsih et al., 2008).

Di samping itu, apabila dicermati, kebakaran juga mudah terjadi pada jenis tanah Quartzipsaments (tanah kuarsa). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa di Kalimantan, hampir seperempat dari luas lahan yang terdapat pada jenis tanah ini mengalami kebakaran. Jauh berbeda dengan proporsi jenis tanah Tropaquepts dan

Tropohemists di Kalimantan yang terbakar, yaitu masing-masing sekitar 2 dan 7 persen. Quartzsaments merupakan jenis tanah yang mengandung lebih dari 90% mineral silikat (kuarsa, kalsedon atau opal) yang tahan akan pelapukan (Soil Survey Staff, 1992). Kandungan mineral kuarsa pada tanah ini mudah untuk memancarkan panas sehingga mampu memicu terjadinya kebakaran.

Lebih lanjut, berdasar pada penelitian Wasis (2003), dapat diketahui bahwa kebakaran hutan dan lahan akan mempengaruhi sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Dari sisi biologi, terjadi penurunan sifat biologi tanah seperti total mikroorganisme, total fungi dan C-mic. Kondisi tersebut tentunya sangat merugikan karena mikroorganisme yang dapat meningkatkan produktivitas lahan seperti keberadaan bakteri penambat nitrogen dan bakteri pelarut fosfat yang membantu ketersediaan unsur hara tanah dapat hilang. Di sisi lain, ditinjau dari sifat fisiknya, pembakaran lahan juga telah menyebabkan terjadinya pemadatan tanah dan meningkatkan porositas tanah. Di lain pihak, menurut Wasis (2003), terutama untuk jenis tanah gambut, ditinjau dari aspek kimia, pembakaran lahan akan justru akan memberikan keuntungan tersendiri, yaitu mampu meningkatkan kandungan hara seperti N, P, K, Ca, Mg dan Na serta bahan organik. Selain itu, pembakaran lahan secara nyata meningkatkan sanggaan tanah seperti meningkatnya pH tanah, KTK tanah dan kejenuhan basa. Meningkatnya sanggaan tanah secara langsung akan meningkatkan ketersediaan unsur hara. Dengan demikian, terjadinya pembakaran hutan dan gambut merupakan upaya untuk meningkatkan kesuburan tanah secara mudah dan murah. Praktek pengelolaan lahan dengan cara membakar ini hampir dilakukan seluruh kawasan budidaya di Provinsi Kalimantan Tengah (Wasis, 2003). Namun demikian, ditinjau dari aspek yang lain, pada kondisi penutup lahan yang sama, kebakaran pada tanah-tanah yang mengandung gambut tentu saja akan meningkatkan emisi karbon ke atmosfer yang relatif lebih tinggi dibandingkan tanah-tanah non gambut. Dengan demikian, untuk jenis tanah ini sangat memerlukan perhatian yang lebih serius.

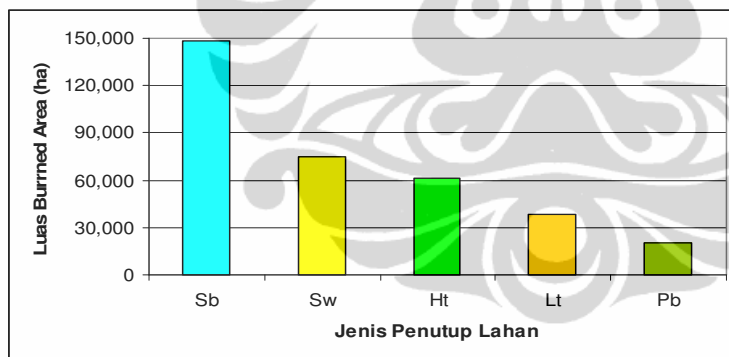
Memerhatikan sebaran spasialnya, *burned area* pada tanah gambut banyak terkonsentrasi di bagian Selatan dan Tenggara wilayah Provinsi Kalimantan Tengah serta bagian Selatan dan Baratdaya Provinsi Kalimantan Selatan, yaitu tepatnya pada lahan eks Proyek Lahan Gambut Sejuta Hektar (Mega-Rice

Project). Mengingat sebagian besar *burned area* terdapat pada lahan di atas tanah gambut (78,47%), maka penelitian ini menegaskan bahwa perlu perhatian yang serius dalam pengelolaan lahan gambut di Kalimantan dalam konteks pencegahan meningkatnya emisi karbon yang diakibatkan oleh kebakaran hutan dan lahan pada tanah jenis ini.

Hasil uji beda antara luas *burned area* pada berbagai kategori jenis tanah dengan menggunakan metode Chi Kuadrat menunjukkan bahwa variabel jenis tanah memberikan nilai sigma 0,000 (<0.05) pada tingkat kepercayaan 95% (lihat Lampiran 1). Artinya bahwa terdapat perbedaan yang nyata antara jenis tanah dan luas *burned area* yang terjadi.

5.2.4.4 Analisis sebaran *burned area* menurut jenis penutup lahan

Seperti telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, sebagian besar *burned area* terdapat pada penutup lahan berupa semak/belukar (148.111 ha atau 43,14%), sawah (74.819 ha atau 21,79%), hutan (61.704 ha atau 17,97%), perkebunan (20.135 ha atau 5,87%), dan ladang/tegalan (38.665 ha atau 11,26%).



Grafik 5.6.

Luas *burned area* wilayah menurut jenis penutup lahan.
 Sb: Semak/Belukar
 Sw : Sawah
 Ht : Hutan
 Lt : Ladang/Tegalan
 Pb : Perkebunan

Pengaruh penutup lahan tersebut terhadap kebakaran hutan dan lahan adalah adanya vegetasi di atasnya yang dapat berfungsi sebagai sumber bahan bakaran (*fuel loads*). Terdapat tiga syarat utama untuk terjadinya kebakaran, yaitu: adanya pemicu atau pemantik, tersedianya bahan bakaran dan kondisi cuaca yang memungkinkan (Wilgen and Scholes, 1997). Di sini ketersediaan bahan bakaran mutlak ada, karena api tidak akan menjalar tanpa adanya bahan bakar yang tersedia sehingga faktor utama yang mengontrol kebakaran adalah bahan bakaran (Archibald et al., 2008). Menurutnya lagi disebutkan bahwa manusia merupakan

agen utama pemicu kebakaran (yang memulai melakukan pembakaran), meskipun ada pemicu lainnya yang bersifat alami seperti petir (*lightening*).

Berdasarkan data yang diperoleh dalam penelitian ini, kebakaran masih menjadi ancaman bagi hutan di Kalimantan. Selain itu, memperhatikan data tersebut, kebakaran yang terjadi pada lahan hutan, perkebunan, dan ladang/tegalan merupakan indikasi kuat kebakaran yang dipicu oleh faktor manusia. Sedangkan kebakaran yang terjadi pada lahan semak/belukar dapat terjadi karena faktor alami, manusia, maupun kombinasi keduanya. Yang perlu diperhatikan di sini adalah, mengapa kebakaran juga banyak terjadi pada lahan sawah, bahkan dengan ukuran yang paling luas (rata-rata 771 ha). Setelah dilakukan kompilasi dengan data jenis tanah, hampir keseluruhan (98 %) lahan sawah yang terbakar terdapat pada jenis tanah Tropaquepts dan Tropohemists yang mengandung bahan gambut yang mudah terbakar. Lahan sawah tersebut banyak yang berlokasi pada lahan eks Proyek Lahan Gambut Sejuta Hektar (Mega-Rice Project), yang terdapat di Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan.

Hasil uji beda antara luas *burned area* pada berbagai kategori jenis penutup lahan dengan menggunakan metode Chi Kuadrat menunjukkan bahwa variabel jenis penutup lahan memberikan nilai sigma 0,000 (<0.05) pada tingkat kepercayaan 95% (lihat Lampiran 1). Artinya bahwa terdapat perbedaan yang nyata antara jenis tanah dan luas *burned area* yang terjadi.

5.2.4.5 Analisis sebaran *burned area* menurut ketinggian tempat dan kemiringan lereng

Kemiringan lereng dan ketinggian tempat menentukan cepat lambatnya api bereaksi, yaitu berpengaruh pada penjarangan dan kecepatan pembakaran. Kedua faktor topografi ini akan mempengaruhi arah dan kecepatan angin. Elevasi juga memberikan pengaruh terhadap suhu dan kelembaban udara. Arah dan kecepatan angin, suhu, kelembaban udara dan hujan merupakan faktor-faktor cuaca berpengaruh terhadap penjarangan dan kecepatan pembakaran (Finney, 1998).

Menurut Kulawoski et al (2002), vegetasi yang terdapat pada daerah dengan elevasi tinggi akan mudah mengalami kebakaran. Sedangkan Finney (1998) mengatakan bahwa daerah dengan kemiringan lereng yang terjal, api akan

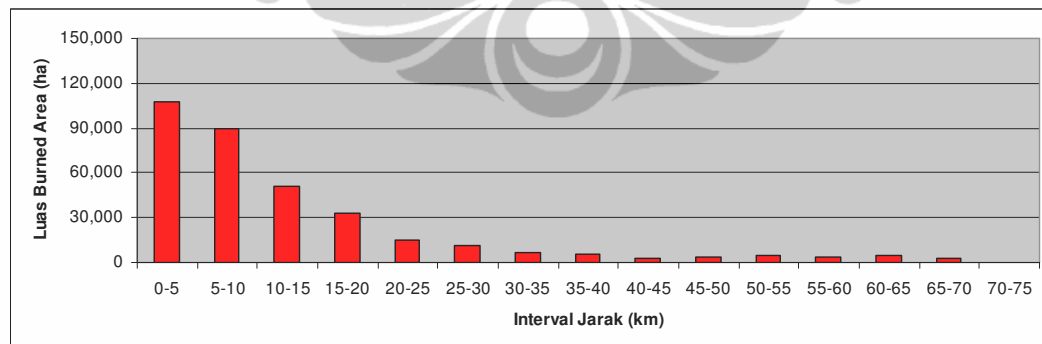
lebih mudah dan lebih cepat menjalar sehingga menghasilkan intensitas kebakaran yang hebat. Namun demikian, sebaliknya justru terjadi untuk daerah Kalimantan, karena sebagian besar *burned area* terdapat pada ketinggian tempat di bawah 100 meter dpl. Hanya sebagian kecil saja yang berada di antara 100 hingga 400 meter dpl. Kondisi ini terjadi karena ada faktor lainnya yang lebih kuat berpengaruh terhadap terjadinya kebakaran dimana faktor tersebut berada pada wilayah elevasi rendah. Selain itu dapat diketahui bahwa tidak dijumpai *burned area* yang berada di ketinggian tempat lebih dari 400 meter dpl. Sebagian besar *burned area* terdapat pada daerah datar dengan kemiringan lereng 0 – 3%. Hanya sebagian kecil saja yang berada pada kemiringan lereng antara 15 – 30%. Selain itu dapat diketahui bahwa tidak dijumpai *burned area* yang berada pada kemiringan lereng yang lebih terjal (lebih dari 30 persen). Berdasarkan fakta bahwa lebih banyaknya *burned area* pada daerah dataran dan elevasi rendah tersebut, maka perlu dikaitkan dengan aspek yang lain, yaitu aksesibilitas atau kemudahan dalam mencapai lokasi. Dikaitkan dengan hasil kajian dari Bowen et al. (2001), kebakaran hutan dan lahan banyak diakibatkan oleh faktor manusia (*anthropogenic fires*). Di sini, semakin tinggi elevasi dan semakin curam lereng, maka semakin sulit wilayah tersebut dijangkau oleh manusia untuk membakar lahan, kecuali dengan usaha-usaha (*effort*) yang lebih (biaya, peralatan, waktu dan sumber daya manusia). Atau dengan kata lain, dalam usahanya untuk membuka lahan dengan pembakaran, manusia akan lebih mudah menjangkau wilayah-wilayah yang datar dan pada elevasi yang rendah dibandingkan wilayah-wilayah yang tinggi dan curam.

Hasil uji beda antara luas *burned area* pada berbagai kategori elevasi dan kemiringan lereng dengan menggunakan metode Chi Kuadrat menunjukkan bahwa variabel elevasi dan kemiringan lereng memberikan nilai sigma 0,000 (<0.05) pada tingkat kepercayaan 95% (lihat Lampiran 1). Artinya bahwa terdapat perbedaan yang nyata antara elevasi dan kemiringan lereng dengan luas *burned area* yang terjadi.

5.2.4.6 Analisis sebaran *burned area* menurut jarak dari permukiman

Jarak *burned area* terhadap lokasi permukiman merepresentasikan faktor manusia terhadap terjadinya kebakaran hutan dan lahan. Jarak merupakan aspek dalam geografi yang merupakan inti dari pola spasial (*spatial pattern*), susunan (*arrangement*) dan penjajaran (*juxtaposition*) (Earickson & Harlin, 1994). Di dalam studi geografi, terdapat penekanan pada pentingnya variabel jarak serta pengaruhnya terhadap kuat dan lemah interaksi antar obyek atau fenomena satu dengan lainnya di dalam konteks keruangan. Demikian juga, dalam hal ini ada pengaruh jarak antara lokasi kebakaran dan lokasi permukiman terhadap luasan kebakaran yang terjadi. Dalam konteks ini adalah, semakin jauh dari lokasi permukiman, maka akan semakin rendah pengaruh manusia sehingga semakin rendah pula tingkat kebakaran hutan dan lahan yang terjadi.

Fakta menunjukkan bahwa sebagian besar *burned area* berlokasi antara 0 hingga 15 km dari permukiman (72%). Dapat dikatakan bahwa pada radius tersebut kebakaran hutan dan lahan terjadi dalam skala yang intensif. Selain itu, hasil analisis juga menunjukkan bahwa semakin jauh dari permukiman, maka luas *burned area* semakin berkurang hingga tidak ditemukan *burned area* pada jarak di atas 75 km dari permukiman (seperti ditunjukkan pada Grafik 5.7). Di sini terlihat dengan nyata bahwa faktor manusia berpengaruh terhadap terjadinya kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan.



Grafik 5.7 Pengaruh jarak dari lokasi permukiman terhadap luas *burned area*

Hasil uji beda antara luas *burned area* terhadap kategori jarak terhadap permukiman dengan menggunakan metode Chi Kuadrat menunjukkan bahwa variabel jarak memberikan nilai sigma 0,000 (<0.05) pada tingkat kepercayaan 95% (lihat Lampiran 1). Artinya bahwa terdapat perbedaan yang nyata antara jarak terhadap permukiman dengan luas *burned area* yang terjadi.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Model NDVI, NBR dan reflektansi pada dasarnya memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi *burned area* di Kalimantan. Namun dari semua model tersebut, hanya NBR yang memberikan tingkat akurasi paling tinggi (0,635 atau 63,5%). Jadi, model identifikasi *burned area* yang paling sesuai diaplikasikan untuk daerah Kalimantan dengan menggunakan citra MODIS adalah model NBR.

Luas total *burned area* di Kalimantan pada tahun 2011 yang diperoleh dari citra MODIS dengan menerapkan model NBR tersebut sekitar 343.290 ha. Pola spasial *burned area* di Kalimantan adalah mengelompok (*cluster*) dan dipengaruhi oleh faktor curah hujan, tanah, penutup lahan, topografi dan manusia. Sebaran spasial *burned area* di Kalimantan sebagian besar berada pada suatu wilayah yang mempunyai karakteristik; (a) curah hujan bulanan kurang dari 200 mm/bulan, (b) jenis tanah Tropohemists, Tropaquepts (kedua jenis tanah ini memiliki kandungan gambut yang tinggi) atau Quartzipsaments (tanah dengan kandungan kuarsa yang tinggi), (c) penutup lahan berupa semak/belukar, sawah, hutan, atau ladang/tegalan, (d) elevasi rendah (di bawah 100 meter dpl), (e) datar dengan kemiringan 0 – 3%, dan (f) berjarak relatif dekat dengan permukiman.

6.2. Saran

Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut terkait dengan kajian model identifikasi *burned area* 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.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih E.S. (2005). *Penyimpangan iklim dan resiko kebakaran hutan dan lahan di sumatera*. Disertasi. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Adiningsih E.S., Roswintiarti, O., Buono, A., Suwarsono, Ramadhan, A., Ismail, A., Dyahwathi, N. (2008). *Climatic Change and Fire Risks in Indonesia*. Final Report Submitted to Center for International Forestry Research (CIFOR) Bogor Indonesia.
- Archard, F., Eva, H.D., Mayaux, P., Stibig, H.J., & Belward, A. (2004). Improved estimates of net carbon emissions from land cover change in the tropics for the 1990s. *Global Biogeochemical Cycles*, 18, GB2008, doi:10.1029/2003GB002142
- Badan Pusat Statistik. (2011). Sensus Penduduk Tahun 2010. [Http://sp2010.bps.go.id](http://sp2010.bps.go.id)
- Wasis, B. (2003). Dampak kebakaran hutan dan lahan terhadap kerusakan tanah. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, IX(2), 79-86.
- Boschetti, L., Brivio, P.A., Eva, H.D., Gallego, J., Baraldi, A., & Gregoire, J.M. (2006). A sampling method for the retrospective validation of global burned area products. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(7), 1765-1773.
- Bowen, M.R., Bompard, J.M., Anderson, I.P., Guizol, P. & Guyon, A. (2001). Antropogenic fires in Indonesia: a view from Sumatra. 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.
- Bureau of Meteorology. (2012). *Southern Oscillation Index*. Government of Australia. [Http://www.bom.gov.au/climateglossarysoi.shtml](http://www.bom.gov.au/climateglossarysoi.shtml)
- Chuvieco, 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.
- Chuvieco, 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.
- Chuvieco, 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.

- Clark, J., Parsons, A., Zajkowski, T., & Lannom, K. (2003). *Remote Sensing Imagery Support for Burned Area Emergency Response Teams on 2003 Southern California Wildfires*. Project Report Operations, Remote Sensing Applications Center, United States Department of Agriculture.
- 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.
- Delgado, R.D., Lloret, F., & Pons, X. (2004). Spatial patterns of fire occurrence in Catalonia, NE, Spain. *Landscape Ecology*, 19, 731-745.
- Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam, Departemen Kehutanan Republik Indonesia (2007, November 20). Luas Kebakaran Hutan Menurut Propinsi. Desember 3, 2011.
<http://www.dephut.go.id/index.php?q=id/node/1084> 2011-12-03 01:00 am
- Duffy, P.A., Epting, J., Graham, J.M., Rupp, T.S., & McGuire, A.D. (2007). Analysis of Alaskan burn severity patterns using remotely sensed data. *International Journal of Wild Fire*, 16, 277-284.
- Earickson, R. & Harlin, J. (1994). *Geographic Measurement and Quantitative Analysis*. Macmillan College Publishing Company, Inc. New York.
- Eidensink, 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.
- Finney, M.A. (1998). *FARSITE: Fire Area Simulator-Model Development and Evaluation*. Forest Service, United States Department of Agriculture. Research Paper RMRS-RP-4 Revised.
- Fraser, R.H., Li, Z., & Cihlar, J. (2000). Hotspot and NDVI differencing synergy (HANDS): A new technique for burned area mapping over boreal forest. *Remote Sensing of Environment*, 72, 362-376.
- 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.

- 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.
- Hoffman, W.A., Schroeder, W., & Jackson, R.B. (2003). Regional feedbacks among fire, climate, and tropical deforestation. *Journal of Geophysical Research*, 108(D23), 4721. doi:10.1029/2003JD003494.
- 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.
- Jensen, J.R. (2005). *Introductory digital image processing, a remote sensing perspective*. Pearson Prentice Hall. New Jersey.
- 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.
- 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
- 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.
- Kulakowski, D. & Veblen, T.T. (2002). Influences of fire history and topography on the pattern of a severe wind blowdown in a Colorado subalpine forest. *Journal of Ecology*, 90, 806-819.
- 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>
- Keeley, J.E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 18,116-126.
- 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.
- 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 Sumatra experience. Forest fire prevention and control project, Palembang*. Ministry of forestry and estate crops and European Union, Jakarta.
- Parisien, M.A., Peters, V.S., Wang, Y., Little, J.M., Bosch, E.M., & Stocks, B.J. (2006). Spatial patterns of forest fires in Canada. *International Journal of Wild Fire*, 15, 361-374.
- Roswintiarti, 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.
- Roswintiarti, O., Solichin., Noviar, H., Zubaidah, A. (2007). Integrating multi-product of MODIS data for analyzing the 2006 burnt area in South Sumatra, Indonesia. *Proceeding; Asian Conference on Remote Sensing (ACRS), Kuala Lumpur, 12-16 November 2007*.
- 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., 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.
- 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., 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., Morissette, 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., & 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.*
- Ruecker, G., & Siegert, F. (2000). Burn scar mapping and fire damage assessment using ERS-2 SAR images in East Kalimantan, Indonesia. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B7), 1286-1292.
- 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.
- Sandy, I Made. (1996). *Geografi Regional Republik Indonesia*. Buku Teks. Jurusan Geografi – FMIPA Universitas Indonesia dan PT. Indograph Bakti. Depok.
- 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.
- Soil Survey Staff. (1992). *Kunci Taksonomi Tanah*. Kerjasama SMSS Technical Monograph No.6. Agency for International Development, United States Department of Agriculture dan Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Litbang Pertanian. Bogor
- Stolle, F., Chomitz, K.M., Lambin, E.F., & Tomich. (2003). *Land use and vegetation fires in Jambi Province, Sumatra, Indonesia*. *Forest Ecology and Management*, 179, 277-292.
- Sousa, A.M.O., Pereira, J.M.C., & Silva, J.M.N. (2003). Evaluating the performance of multitemporal image compositing algorithms for burned area analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 24(6), 1219-1236.
- Suwarsono, Roswintiarti, 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, 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.

- Suwarsono, Vetrita, Y., Parwati, & Khomarudin, R. (2011). Analisis daerah bekas kebakaran hutan dan lahan (*burned area*) di wilayah Kalimantan Tengah tahun 2009 berdasarkan nilai NBR (*Normalized Burned Ratio*) 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.*
- Tacconi, L. (2003). *Fires in Indonesia: causes, costs, and policy implications.* CIFOR Occasional Paper No.38, Bogor, Indonesia.
- Tansey, K., Gregorie, J.M., Binaghi, E., Boschetti, L., Brivio, P.A., Ershov, D., Flasse, S., Fraser, R., Graetz, D., Maggi, M., Peduzzi, P., Pereira, J., Silva, J., Sousa, A., & Stroppiana, D. (2004). A global inventory of burned areas at 1 km resolution for the year 2000 derived from SPOT VEGETATION data. *Climatic Change*, 67, 345-377.
- Tansey, K., Gregorie, J.M., Defourny, P., Leigh, R., Pekel, J.F., Bogaert, E.V., & Bartholome, E. (2008). A new, global, multi-annual (2000-2007) burnt area product at 1 km resolution. *Geophysical Research Letters*, 35, doi:10.1029/2007GL031567.
- UNFCCC.(2008). *Report of the Conference of the Parties of its thirteenth session, Bali 2007.* FCCC/CP/2007/6/Add.1.
- 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.

Tabel 1. Hasil analisis statistik Uji Beda
Luas *Burned Area* menurut wilayah Curah Hujan Bulanan, Penutup Lahan, Jenis Tanah, Elevasi, Kemiringan Lereng, dan Jaraknya dari lokasi permukiman.
(Metode : Chi Kuadrat)

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Luas Burned Area	745	460.8016	1917.45308	6.25	34922.36
CH Bulanan	745	2.49	.658	1	5
Landcover	745	2.60	1.517	1	5
Jenis Tanah	745	2.95	1.859	1	10
Elevasi	745	1.04	.225	1	4
Lereng	745	1.10	.395	1	4
Jarak	745	3.23	1.570	1	8

Test Statistics

	Luas Burned Area	CH Bulanan	Landcover	Jenis Tanah	Elevasi	Lereng	Jarak
Chi-Square	1791.481 ^a	942.054 ^b	277.409 ^b	1011.523 ^c	2018.850 ^d	1786.667 ^d	436.713 ^e
df	601	4	4	9	3	3	7
Asymp. Sig.	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

- a. 602 cells (100.0%) have expected frequencies less than 5. The minimum expected cell frequency is 1.2.
b. 0 cells (.0%) have expected frequencies less than 5. The minimum expected cell frequency is 149.0.
c. 0 cells (.0%) have expected frequencies less than 5. The minimum expected cell frequency is 74.5.
d. 0 cells (.0%) have expected frequencies less than 5. The minimum expected cell frequency is 186.3.
e. 0 cells (.0%) have expected frequencies less than 5. The minimum expected cell frequency is 93.1.

CH Bulanan

	Observed N	Expected N	Residual
0-100	4	149.0	-145.0
100-200	432	149.0	283.0
200-300	247	149.0	98.0
300-400	61	149.0	-88.0
400-500	1	149.0	-148.0
Total	745		

Landcover

	Observed N	Expected N	Residual
Semak/Belukar	287	149.0	138.0
Sawah	57	149.0	-92.0
Hutan	209	149.0	60.0
Perkebunan	48	149.0	-101.0
Ladang/Tegalan	144	149.0	-5.0
Total	745		

Jenis Tanah

	Observed N	Expected N	Residual
Tropaquepts	115	74.5	40.5
Tropohemists	272	74.5	197.5
Tropudults	188	74.5	113.5
Placaquods	74	74.5	-.5
Quartzipsaments	10	74.5	-64.5
Fluvaquents	28	74.5	-46.5
Sulfaquents	9	74.5	-65.5
Paleudults	43	74.5	-31.5
Psammaquents	3	74.5	-71.5
Dystropepts	3	74.5	-71.5
Total	745		

Elevasi

	Observed N	Expected N	Residual
0-100	717	186.3	530.8
100-200	26	186.3	-160.3
200-300	1	186.3	-185.3
300-400	1	186.3	-185.3
Total	745		

Lereng

	Observed N	Expected N	Residual
0-3	685	186.3	498.8
3-8	47	186.3	-139.3
8-15	8	186.3	-178.3
15-30	5	186.3	-181.3
Total	745		

Jarak

	Observed N	Expected N	Residual
0-5	73	93.1	-20.1
0-5	213	93.1	119.9
5-10	188	93.1	94.9
10-15	132	93.1	38.9
15-20	60	93.1	-33.1
20-25	50	93.1	-43.1
25-30	20	93.1	-73.1
30-35	9	93.1	-84.1
Total	745		

Semua variabel memberikan nilai sigma 0,000 (<0.05) yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata luas *burned area* pada tiap-tiap Curah Hujan Bulanan, Penutup Lahan, Jenis Tanah, Elevasi, Kemiringan Lereng, dan Jaraknya dari lokasi permukiman. Tingkat kepercayaan 95 %.

Tabel 2. Rerata nilai Reflektansi, NDVI dan NBR pada sampel *burned area* dari citra MODIS pada saat sebelum kebakaran (*pre-fire*)

No, Sampel	REFLEKTANSI							NDVI	NBR
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7		
1	0,0439	0,2686	0,0189	0,0538	0,2862	0,1586	0,0615	0,7189	0,6268
2	0,0541	0,2864	0,0271	0,0647	0,3156	0,1781	0,0678	0,6834	0,6183
3	0,0379	0,2426	0,0195	0,0477	0,2455	0,1309	0,0528	0,7291	0,6432
4	0,0438	0,2356	0,0225	0,0509	0,2630	0,1493	0,0589	0,6870	0,6004
5	0,0402	0,2789	0,0204	0,0530	0,2995	0,1690	0,0641	0,7459	0,6244
6	0,0374	0,3613	0,0188	0,0630	0,3448	0,1594	0,0459	0,8119	0,7742
7	0,0360	0,3230	0,0180	0,0607	0,3091	0,1592	0,0513	0,8003	0,7262
8	0,0401	0,2693	0,0201	0,0546	0,3005	0,1744	0,0624	0,7406	0,6241
9	0,0452	0,3222	0,0225	0,0674	0,3315	0,1845	0,0666	0,7540	0,6577
10	0,0378	0,2814	0,0174	0,0559	0,3027	0,1612	0,0607	0,7629	0,6437
11	0,0380	0,2094	0,0193	0,0458	0,2389	0,1405	0,0586	0,6926	0,5621
12	0,0329	0,2917	0,0165	0,0499	0,2871	0,1316	0,0417	0,7962	0,7493
13	0,0355	0,2283	0,0171	0,0457	0,2256	0,1336	0,0528	0,7313	0,6244
14	0,0465	0,3242	0,0229	0,0668	0,3442	0,1746	0,0602	0,7507	0,6860
15	0,0438	0,2257	0,0219	0,0519	0,2742	0,1827	0,0785	0,6744	0,4862
16	0,0392	0,2844	0,0180	0,0507	0,2743	0,1376	0,0518	0,7570	0,6917
17	0,0528	0,2717	0,0256	0,0568	0,3060	0,1575	0,0651	0,6712	0,6112
18	0,0466	0,4062	0,0240	0,0736	0,3759	0,2275	0,0941	0,7923	0,6231
19	0,0330	0,2360	0,0166	0,0457	0,2647	0,1586	0,0606	0,7531	0,5918
20	0,0403	0,2991	0,0224	0,0549	0,2302	0,1465	0,0558	0,7654	0,6901
21	0,0322	0,3193	0,0155	0,0525	0,3021	0,1410	0,0442	0,8145	0,7566
22	0,0351	0,2699	0,0170	0,0505	0,2748	0,1380	0,0460	0,7686	0,7065
23	0,0420	0,3033	0,0208	0,0546	0,3343	0,1853	0,0720	0,7545	0,6144
24	0,0624	0,3620	0,0302	0,0756	0,3854	0,2332	0,1009	0,7073	0,5645
25	0,0336	0,3428	0,0178	0,0574	0,3190	0,1492	0,0475	0,8212	0,7557
26	0,0365	0,2962	0,0185	0,0528	0,3143	0,1628	0,0563	0,7793	0,6790
27	0,0378	0,2511	0,0191	0,0488	0,2650	0,1268	0,0434	0,7382	0,7049
28	0,0452	0,2910	0,0215	0,0605	0,3163	0,1898	0,0776	0,7307	0,5791
29	0,0500	0,2650	0,0287	0,0638	0,2726	0,1573	0,0676	0,6819	0,5961
30	0,0439	0,2878	0,0212	0,0591	0,3238	0,1837	0,0731	0,7339	0,5940
31	0,0369	0,3695	0,0259	0,0700	0,3353	0,1571	0,0505	0,8182	0,7612
32	0,0633	0,3006	0,0292	0,0717	0,3648	0,2282	0,0976	0,6408	0,4975
33	0,0353	0,3408	0,0173	0,0497	0,2893	0,1237	0,0385	0,8134	0,7972
34	0,0273	0,2970	0,0136	0,0451	0,2752	0,1213	0,0355	0,8316	0,7870
35	0,0372	0,3147	0,0182	0,0608	0,5351	0,1651	0,0516	0,7881	0,7181
36	0,0285	0,2983	0,0136	0,0453	0,2844	0,1345	0,0401	0,8255	0,7638
37	0,0463	0,3298	0,0251	0,0655	0,3489	0,2196	0,0831	0,7531	0,5992
38	0,0277	0,2815	0,0145	0,0476	0,2794	0,1331	0,0416	0,8209	0,7425
39	0,0520	0,3725	0,0227	0,0736	0,3821	0,2163	0,0830	0,7574	0,6369

(Lanjutan)

No, Sampel	REFLEKTANSI							NDVI	NBR
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7		
40	0,0235	0,2911	0,0192	0,0464	0,3213	0,1538	0,0533	0,8489	0,6919
41	0,0384	0,3527	0,0190	0,0625	0,3600	0,1672	0,0539	0,8017	0,7333
42	0,0314	0,3814	0,0151	0,0531	0,3111	0,1278	0,0329	0,8475	0,8415
43	0,0214	0,3261	0,0098	0,0405	0,2979	0,1493	0,0512	0,8809	0,7286
44	0,0324	0,3497	0,0164	0,0584	0,3230	0,1376	0,0382	0,8297	0,8040
45	0,0413	0,2509	0,0200	0,0537	0,2832	0,1625	0,0596	0,7171	0,6167
46	0,0263	0,3206	0,0139	0,0514	0,3030	0,1402	0,0383	0,8482	0,7868
47	0,0496	0,3917	0,0267	0,0804	0,4026	0,2440	0,0985	0,7744	0,5986
48	0,0529	0,4157	0,0283	0,0820	0,3664	0,1997	0,0738	0,7748	0,6988
49	0,0366	0,3228	0,0202	0,0554	0,2960	0,1396	0,0491	0,8006	0,7377
50	0,0348	0,3177	0,0184	0,0542	0,3106	0,1606	0,0536	0,8018	0,7121
51	0,0391	0,2398	0,0204	0,0474	0,2535	0,1445	0,0547	0,7147	0,6253
52	0,0386	0,3533	0,0179	0,0626	0,3337	0,1697	0,0587	0,8048	0,7149
53	0,0337	0,3477	0,0177	0,0607	0,3415	0,1662	0,0533	0,8232	0,7348
54	0,0402	0,2183	0,0209	0,0492	0,2642	0,1795	0,0748	0,6888	0,4894
55	0,0396	0,2644	0,0203	0,0553	0,2856	0,1599	0,0577	0,7383	0,6401
56	0,0455	0,4006	0,0232	0,0751	0,4058	0,2173	0,0751	0,7957	0,6841
57	0,0388	0,2970	0,0199	0,0542	0,3098	0,1722	0,0636	0,7669	0,6450
58	0,0453	0,3365	0,0274	0,0658	0,3488	0,1946	0,0762	0,7651	0,6294
59	0,0257	0,3084	0,0175	0,0512	0,2684	0,1309	0,0427	0,8466	0,7569
60	0,0363	0,3499	0,0181	0,0611	0,3281	0,1435	0,0392	0,8113	0,7979
61	0,0814	0,4185	0,0502	0,0971	0,4044	0,2168	0,0899	0,6767	0,6499
62	0,0271	0,3400	0,0126	0,0479	0,3198	0,1638	0,0530	0,8539	0,7310
63	0,0503	0,3975	0,0265	0,0803	0,3815	0,2188	0,0818	0,7732	0,6572
64	0,0364	0,2545	0,0173	0,0461	0,2634	0,1358	0,0528	0,7488	0,6559
65	0,0377	0,3130	0,0173	0,0542	0,2740	0,1513	0,0544	0,7848	0,7051
66	0,0351	0,3522	0,0126	0,0485	0,3351	0,1721	0,0597	0,8395	0,7080
67	0,0402	0,2673	0,0202	0,0526	0,2742	0,1449	0,0560	0,7374	0,6523
68	0,0353	0,2997	0,0170	0,0536	0,3086	0,1433	0,0417	0,7885	0,7561
69	0,0460	0,3631	0,0235	0,0604	0,3530	0,2023	0,0775	0,7771	0,6472
70	0,0176	0,2603	0,0095	0,0333	0,3702	0,1029	0,0292	0,8733	0,7989
71	0,0334	0,3308	0,0260	0,0614	0,3545	0,1268	0,0442	0,8285	0,7708
72	0,0380	0,2869	0,0162	0,0530	0,3084	0,1532	0,0524	0,7664	0,6921
73	0,0341	0,3901	0,0185	0,0595	0,3715	0,1793	0,0688	0,8374	0,7004
74	0,0524	0,3344	0,0162	0,0630	0,3752	0,2178	0,0971	0,7273	0,5489
75	0,0344	0,3485	0,0173	0,0543	0,3476	0,1380	0,0430	0,8195	0,7795
76	0,0429	0,2623	0,0208	0,0558	0,3030	0,1673	0,0650	0,7177	0,6021
77	0,0544	0,3655	0,0251	0,0712	0,4052	0,2449	0,1035	0,7393	0,5578
78	0,0280	0,3418	0,0121	0,0466	0,4257	0,1336	0,0381	0,8509	0,8011
79	0,0397	0,2069	0,0211	0,0490	0,2656	0,1828	0,0799	0,6778	0,4429
80	0,0519	0,3859	0,0348	0,0825	0,3781	0,2369	0,1065	0,7632	0,5664
81	0,0427	0,4020	0,0210	0,0707	0,3703	0,2024	0,0670	0,8071	0,7138
82	0,0395	0,2791	0,0194	0,0563	0,3047	0,1656	0,0603	0,7456	0,6356

(Lanjutan)

No, Sampel	REFLEKTANSI							NDVI	NBR
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7		
83	0,0539	0,2413	0,0253	0,0552	0,2514	0,1447	0,0622	0,6338	0,5913
84	0,0400	0,2935	0,0218	0,0598	0,3076	0,1601	0,0550	0,7588	0,6826
85	0,0499	0,3356	0,0203	0,0573	0,3046	0,1556	0,0594	0,7411	0,6992
86	0,0262	0,2986	0,0120	0,0429	0,2847	0,1251	0,0367	0,8389	0,7812
87	0,0532	0,3484	0,0204	0,0599	0,3091	0,1563	0,0607	0,7361	0,7044
88	0,0551	0,4085	0,0538	0,0975	0,3206	0,1746	0,0679	0,7618	0,7156
89	0,0388	0,2687	0,0203	0,0577	0,3146	0,1782	0,0659	0,7475	0,6058
90	0,0565	0,3275	0,0335	0,0714	0,3599	0,2319	0,1109	0,7032	0,4923
91	0,0357	0,3178	0,0172	0,0578	0,3225	0,1553	0,0451	0,7980	0,7518
92	0,0335	0,3177	0,0225	0,0541	0,3240	0,1807	0,0660	0,8099	0,6562
93	0,0224	0,2710	0,0093	0,0362	0,2482	0,1135	0,0342	0,8528	0,7811
94	0,0603	0,3697	0,0431	0,0831	0,3810	0,1897	0,0675	0,7333	0,6898
95	0,0269	0,3210	0,0146	0,0481	0,2795	0,1364	0,0432	0,8466	0,7627
96	0,0329	0,3611	0,0165	0,0590	0,3478	0,1781	0,0585	0,8321	0,7184
97	0,0392	0,2967	0,0259	0,0574	0,3255	0,1738	0,0642	0,7653	0,6453
98	0,0281	0,2729	0,0129	0,0411	0,2551	0,1151	0,0347	0,8140	0,7754
99	0,0398	0,3201	0,0205	0,0605	0,3192	0,1908	0,0839	0,7772	0,5868
100	0,0381	0,2926	0,0251	0,0614	0,3253	0,1808	0,0638	0,7696	0,6418
101	0,0363	0,3640	0,0170	0,0517	0,2769	0,1272	0,0398	0,8183	0,8036
102	0,0459	0,3093	0,0230	0,0588	0,3093	0,1787	0,0734	0,7410	0,6161
103	0,0496	0,4208	0,0200	0,0716	0,3777	0,2045	0,0737	0,7908	0,7020
104	0,0380	0,2838	0,0178	0,0540	0,3150	0,1762	0,0593	0,7628	0,6549
105	0,0563	0,2913	0,0447	0,0725	0,3103	0,1848	0,0743	0,6791	0,5921
106	0,0386	0,2658	0,0207	0,0555	0,2826	0,1617	0,0601	0,7460	0,6314
107	0,0266	0,2988	0,0053	0,0415	0,3083	0,1447	0,0460	0,8389	0,7324
108	0,0568	0,2855	0,0246	0,0652	0,3304	0,1944	0,0840	0,6650	0,5465
109	0,0468	0,2799	0,0234	0,0547	0,2969	0,1852	0,0841	0,7107	0,5338
110	0,0269	0,2577	0,0179	0,0409	0,2832	0,1825	0,0808	0,8128	0,5323
111	0,0418	0,2951	0,0230	0,0596	0,3128	0,1856	0,0778	0,7528	0,5854
112	0,0468	0,3789	0,0224	0,0753	0,3932	0,2062	0,0723	0,7801	0,6788
113	0,0365	0,3611	0,0157	0,0595	0,3581	0,1917	0,0655	0,8154	0,6919
114	0,0172	0,3758	0,0096	0,0412	0,3371	0,1749	0,0572	0,9125	0,7357
115	0,1035	0,4099	0,1025	0,1423	0,4516	0,2314	0,1002	0,5897	0,6031
116	0,0269	0,3844	0,0045	0,0458	0,3873	0,1981	0,0670	0,8707	0,7030
117	0,0369	0,2666	0,0180	0,0486	0,2612	0,1480	0,0598	0,7575	0,6337
118	0,0296	0,3577	0,0121	0,0516	0,3357	0,1696	0,0561	0,8464	0,7279
119	0,0301	0,3121	0,0117	0,0449	0,2855	0,1516	0,0476	0,8214	0,7370
120	0,0421	0,2752	0,0139	0,0422	0,2209	0,1231	0,0408	0,7358	0,7406
121	0,0294	0,3588	0,0157	0,0554	0,3296	0,1647	0,0495	0,8483	0,7578
122	0,0313	0,3448	0,0569	0,0976	0,3371	0,1813	0,0751	0,8335	0,6478
123	0,0370	0,3516	0,0183	0,0612	0,3405	0,1769	0,0595	0,8096	0,7106
124	0,0266	0,2994	0,0155	0,0481	0,2783	0,1254	0,0349	0,8358	0,7922
125	0,0339	0,3711	0,0141	0,0505	0,3801	0,1935	0,0672	0,8335	0,6933

(Lanjutan)

No, Sampel	REFLEKTANSI							NDVI	NBR
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7		
126	0,0308	0,3654	0,0441	0,0793	0,3307	0,1801	0,0757	0,8443	0,6640
127	0,0144	0,2481	0,0087	0,0301	0,2556	0,1149	0,0311	0,8900	0,7767
128	0,0651	0,3905	0,0387	0,0886	0,3637	0,1942	0,0792	0,6926	0,6534
129	0,0334	0,3585	0,0675	0,0972	0,3914	0,1856	0,0738	0,8225	0,6588
130	0,0699	0,3460	0,0228	0,0670	0,3333	0,2041	0,0948	0,6667	0,5700
131	0,0350	0,3111	0,0164	0,0529	0,2713	0,1214	0,0387	0,7988	0,7820
132	0,0381	0,2794	0,0194	0,0525	0,3151	0,1573	0,0482	0,7592	0,7047
133	0,0376	0,2224	0,0197	0,0488	0,3120	0,1774	0,0729	0,7106	0,5064
134	0,0179	0,2983	0,0121	0,0386	0,2860	0,1336	0,0365	0,8862	0,7830
135	0,0693	0,3601	0,1071	0,1372	0,3553	0,2025	0,0949	0,6788	0,5863
136	0,0490	0,2725	0,0163	0,0454	0,3034	0,1508	0,0684	0,6918	0,5982
137	0,0247	0,2460	0,0092	0,0374	0,2613	0,1204	0,0345	0,8170	0,7518
138	0,0237	0,2928	0,0084	0,0336	0,2923	0,1853	0,0789	0,8497	0,5757
139	0,0926	0,3415	0,0723	0,1048	0,3780	0,1981	0,0837	0,5734	0,6056
140	0,0322	0,2779	0,0173	0,0489	0,2887	0,1543	0,0553	0,7918	0,6673
141	0,0293	0,3031	0,0171	0,0496	0,3492	0,1467	0,0470	0,8225	0,7295
142	0,0538	0,4344	0,0193	0,0705	0,4417	0,2476	0,0998	0,7775	0,6248
143	0,2266	0,4863	0,1942	0,2274	0,4294	0,3157	0,1868	0,4080	0,4294
144	0,0287	0,3168	0,0090	0,0498	0,3307	0,1633	0,0508	0,8343	0,7238
145	0,0624	0,3743	0,0341	0,0824	0,3807	0,2631	0,1291	0,7202	0,4938
146	0,0213	0,3229	0,0096	0,0435	0,3140	0,1632	0,0503	0,8765	0,7305
147	0,0337	0,3577	0,0446	0,0733	0,3054	0,1579	0,0676	0,8263	0,6830
148	0,0297	0,2897	0,0151	0,0483	0,3175	0,1289	0,0390	0,8137	0,7630
149	0,0445	0,2762	0,0145	0,0575	0,2886	0,1852	0,0839	0,7213	0,5350
150	0,0341	0,2881	0,0180	0,0501	0,3155	0,1235	0,0359	0,7885	0,7785
151	0,0324	0,3895	0,0278	0,0735	0,3417	0,1611	0,0498	0,8465	0,7735
152	0,0178	0,3747	0,0095	0,0367	0,3079	0,1533	0,0470	0,9095	0,7770
153	0,0364	0,2707	0,0183	0,0499	0,3776	0,1309	0,0349	0,7630	0,7715
154	0,0376	0,3563	0,0158	0,0572	0,2768	0,1557	0,0480	0,8090	0,7628
155	0,0359	0,3809	0,0194	0,0665	0,3215	0,1477	0,0502	0,8280	0,7670
156	0,0437	0,3711	0,0199	0,0651	0,4148	0,2280	0,0880	0,7879	0,6145

Sumber : Analisis

Tabel 3. Rerata nilai Reflektansi, NDVI dan NBR pada sampel *burned area* dari citra MODIS pada saat setelah kebakaran (*post-fire*)

No Sampel	REFLEKTANSI							NDVI	NBR
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7		
1	0,1329	0,2514	0,1037	0,1265	0,2870	0,2385	0,1424	0,3723	0,0243
2	0,0759	0,1709	0,0485	0,0746	0,1876	0,1755	0,1115	0,3882	0,0193
3	0,1109	0,2076	0,0821	0,1023	0,1866	0,1779	0,0977	0,3215	0,0330
4	0,0924	0,1877	0,0550	0,0763	0,2693	0,2533	0,1639	0,3653	0,0059
5	0,0483	0,1836	0,0253	0,0481	0,2325	0,1889	0,1018	0,5928	0,0285
6	0,0822	0,2085	0,0470	0,0668	0,2813	0,2792	0,1705	0,4416	0,0095
7	0,1854	0,1655	0,1454	0,1583	0,2951	0,2282	0,1476	0,2899	0,0187
8	0,1111	0,2105	0,0578	0,0804	0,2451	0,2266	0,1539	0,3979	0,0122
9	0,0258	0,1379	0,0189	0,0298	0,1884	0,1592	0,0871	0,7108	0,0216
10	0,0634	0,1386	0,0601	0,0709	0,1789	0,1458	0,0923	0,3976	0,0186
11	0,0902	0,2019	0,0543	0,0744	0,2721	0,2397	0,1444	0,4109	0,0144
12	0,1241	0,2398	0,0981	0,1189	0,2903	0,2402	0,1476	0,3601	0,0223
13	0,1726	0,2684	0,1169	0,1367	0,3081	0,3078	0,2309	0,2512	0,0045
14	0,0388	0,1691	0,0194	0,0424	0,2493	0,1837	0,0953	0,6136	0,0267
15	0,0856	0,2970	0,0618	0,0939	0,3164	0,2286	0,1112	0,6085	0,0459
16	0,1338	0,2478	0,1036	0,1324	0,2366	0,2225	0,1228	0,3796	0,0287
17	0,1791	0,2845	0,1611	0,1866	0,2392	0,2311	0,1274	0,2369	0,0387
18	0,0464	0,1607	0,0273	0,0553	0,2075	0,1262	0,0635	0,5472	0,0430
19	0,2083	0,2684	0,1520	0,1712	0,3383	0,3479	0,2309	0,2314	0,0045
20	0,0911	0,2701	0,0505	0,0858	0,3385	0,2563	0,1466	0,5431	0,0290
21	0,0735	0,1976	0,0879	0,1035	0,2512	0,1812	0,1035	0,4817	0,0304
22	0,0605	0,1725	0,0293	0,0458	0,2315	0,1923	0,1171	0,4984	0,0184
23	0,0825	0,1913	0,0479	0,0672	0,2518	0,2348	0,1538	0,4071	0,0090
24	0,1068	0,2338	0,0493	0,0782	0,2827	0,2528	0,1567	0,4660	0,0160
25	0,0898	0,2252	0,0488	0,0763	0,3094	0,1628	0,0857	0,4989	0,0407
26	0,0391	0,1768	0,0208	0,0452	0,2324	0,1865	0,1014	0,6340	0,0267
27	0,0744	0,1744	0,0558	0,0719	0,2178	0,1677	0,0974	0,4014	0,0280
28	0,0377	0,2013	0,0126	0,0475	0,2911	0,2124	0,1139	0,6854	0,0261
29	0,1089	0,2041	0,0697	0,0947	0,2502	0,2449	0,1845	0,3404	0,0038
30	0,0393	0,2409	0,0176	0,0522	0,2925	0,2149	0,1066	0,7223	0,0386
31	0,0866	0,2570	0,0462	0,0721	0,3760	0,1682	0,0856	0,5447	0,0468
32	0,0865	0,2133	0,0668	0,0872	0,2665	0,2291	0,1396	0,4497	0,0200
33	0,2209	0,3427	0,1618	0,1881	0,2453	0,2219	0,1099	0,3068	0,0473
34	0,0719	0,2939	0,0314	0,0706	0,3253	0,1993	0,0918	0,6130	0,0520
35	0,1095	0,2210	0,0949	0,1144	0,3080	0,2271	0,1303	0,3637	0,0235
36	0,1204	0,2486	0,0858	0,1108	0,3129	0,2573	0,1558	0,3686	0,0231
37	0,0735	0,2339	0,0380	0,0765	0,3021	0,2590	0,1486	0,5398	0,0212
38	0,0420	0,2669	0,0193	0,0533	0,3124	0,2008	0,1008	0,7334	0,0451
39	0,1279	0,2353	0,1095	0,1381	0,2789	0,2382	0,1705	0,3024	0,0155

No Sampel	REFLEKTANSI							NDVI	NBR
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7		
40	0,1476	0,2887	0,0700	0,1114	0,3340	0,2376	0,1237	0,3701	0,0395
41	0,0633	0,2103	0,0537	0,0734	0,2362	0,2001	0,1148	0,5649	0,0269
42	0,1326	0,2629	0,0999	0,1216	0,3154	0,2327	0,1229	0,3670	0,0337
43	0,0507	0,2411	0,0315	0,0668	0,2909	0,1773	0,0903	0,6547	0,0443
44	0,0894	0,2103	0,1025	0,1128	0,2638	0,2057	0,1191	0,4122	0,0277
45	0,0494	0,2001	0,0506	0,0866	0,2758	0,1985	0,1042	0,6142	0,0298
46	0,0742	0,2022	0,0540	0,0749	0,2457	0,2090	0,1307	0,5238	0,0203
47	0,1340	0,2729	0,0755	0,1038	0,3128	0,2789	0,1852	0,3776	0,0163
48	0,0879	0,1676	0,0707	0,0875	0,2116	0,1849	0,1306	0,3057	0,0120
49	0,0970	0,1733	0,0830	0,0980	0,2538	0,2346	0,1558	0,3365	0,0018
50	0,1976	0,2981	0,1781	0,2050	0,3609	0,1854	0,1113	0,2930	0,0380
51	0,0525	0,1835	0,0271	0,0466	0,2280	0,1996	0,1161	0,5526	0,0215
52	0,1068	0,1870	0,0986	0,1145	0,2122	0,1666	0,0989	0,2832	0,0297
53	0,0699	0,2623	0,0416	0,0775	0,3476	0,1639	0,0796	0,5943	0,0524
54	0,1009	0,2974	0,0956	0,1137	0,3328	0,2458	0,1218	0,5298	0,0414
55	0,0830	0,2381	0,0528	0,0891	0,2609	0,2071	0,1010	0,5380	0,0385
56	0,1698	0,2702	0,1534	0,1609	0,2202	0,2065	0,1234	0,5062	0,0459
57	0,0418	0,1783	0,0205	0,0434	0,2229	0,1888	0,1031	0,6195	0,0266
58	0,0641	0,2384	0,0335	0,0648	0,3015	0,2032	0,1157	0,5626	0,0316
59	0,0478	0,2297	0,0317	0,0679	0,2583	0,1829	0,1025	0,6490	0,0379
60	0,0582	0,2459	0,0301	0,0627	0,3120	0,2187	0,1143	0,6463	0,0367
61	0,0708	0,2564	0,0312	0,0718	0,3469	0,1559	0,0676	0,5601	0,0570
62	0,1009	0,2492	0,0937	0,1143	0,2738	0,2227	0,1260	0,4212	0,0319
63	0,1069	0,2144	0,0861	0,1068	0,2409	0,2086	0,1321	0,3500	0,0229
64	0,0720	0,2597	0,0357	0,0654	0,3335	0,2480	0,1356	0,5598	0,0308
65	0,0853	0,2281	0,0944	0,1027	0,2615	0,1919	0,1131	0,4583	0,0291
66	0,1388	0,3077	0,1048	0,1340	0,3930	0,2843	0,1626	0,3715	0,0323
67	0,0490	0,1550	0,0368	0,0598	0,2311	0,1918	0,1197	0,5342	0,0134
68	0,0684	0,1945	0,0465	0,0707	0,2720	0,2069	0,1159	0,5261	0,0236
69	0,1044	0,3426	0,0483	0,1106	0,3997	0,2599	0,1365	0,5361	0,0426
70	0,0843	0,2556	0,0387	0,0651	0,2610	0,1482	0,0727	0,5023	0,0556
71	0,1084	0,2578	0,0938	0,1212	0,2831	0,1676	0,0846	0,4592	0,0474
72	0,0871	0,1512	0,0912	0,1037	0,2124	0,1845	0,1242	0,2961	0,0035
73	0,0540	0,2390	0,0208	0,0491	0,2723	0,2358	0,1446	0,6276	0,0200
74	0,0643	0,2202	0,0514	0,0739	0,2874	0,2238	0,1221	0,5565	0,0284
75	0,2696	0,4076	0,1356	0,1607	0,2233	0,2197	0,1162	0,2792	0,0513
76	0,1672	0,3047	0,1056	0,1394	0,2545	0,1998	0,1041	0,3473	0,0475
77	0,0871	0,2383	0,0508	0,0803	0,2998	0,2586	0,1528	0,5605	0,0187
78	0,2771	0,3077	0,1360	0,1494	0,3410	0,2437	0,1375	0,4395	0,0517
79	0,0940	0,2716	0,0907	0,1184	0,3214	0,2564	0,1370	0,5269	0,0317
80	0,0769	0,1966	0,1226	0,1455	0,3334	0,2695	0,1725	0,4884	0,0031
81	0,0597	0,2366	0,0370	0,0711	0,2366	0,2346	0,1414	0,5881	0,0238
82	0,0211	0,1430	0,0603	0,0658	0,2185	0,1514	0,0767	0,7993	0,0284

No Sampel	REFLEKTANSI							NDVI	NBR
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7		
83	0,0938	0,2525	0,0475	0,0830	0,3466	0,2930	0,1721	0,4557	0,0186
84	0,0570	0,1944	0,0443	0,0653	0,2097	0,1610	0,0937	0,5235	0,0325
85	0,0615	0,1839	0,0433	0,0573	0,2302	0,1741	0,0912	0,4841	0,0346
86	0,0381	0,2885	0,0106	0,0509	0,3341	0,1938	0,0805	0,7688	0,0561
87	0,1019	0,2069	0,0959	0,1021	0,2571	0,2057	0,1161	0,3375	0,0358
88	0,0689	0,1695	0,0436	0,0752	0,2237	0,1649	0,0882	0,4524	0,0316
89	0,0626	0,2017	0,0638	0,0949	0,2977	0,2070	0,1174	0,5641	0,0245
90	0,0484	0,2403	0,0248	0,0552	0,3214	0,2519	0,1454	0,6231	0,0200
91	0,1138	0,2906	0,0949	0,1206	0,3230	0,2195	0,1211	0,4987	0,0401
92	0,1003	0,2296	0,1041	0,1234	0,2726	0,1931	0,1009	0,3901	0,0381
93	0,0697	0,2504	0,0297	0,0616	0,3520	0,1774	0,0979	0,5617	0,0439
94	0,0462	0,2709	0,0013	0,0481	0,3088	0,1588	0,0785	0,6987	0,0532
95	0,0447	0,2020	0,0217	0,0492	0,2304	0,1639	0,0960	0,6101	0,0327
96	0,0552	0,2304	0,0540	0,0777	0,3182	0,2149	0,1115	0,5988	0,0344
97	0,2080	0,3382	0,2103	0,2429	0,1299	0,2138	0,1130	0,3071	0,0460
98	0,0428	0,2129	0,0225	0,0499	0,2727	0,1860	0,0957	0,6543	0,0368
99	0,1524	0,2934	0,1034	0,1320	0,2446	0,2348	0,1246	0,4492	0,0352
100	0,1192	0,2515	0,1044	0,1294	0,3198	0,2672	0,1622	0,3585	0,0213
101	0,0513	0,2830	0,0219	0,0649	0,3747	0,1821	0,0939	0,6903	0,0512
102	0,0974	0,3037	0,0500	0,0926	0,3784	0,3480	0,2149	0,5138	0,0171
103	0,0771	0,2069	0,0639	0,0769	0,2437	0,1824	0,1092	0,4667	0,0288
104	0,0755	0,2028	0,0692	0,0978	0,2889	0,2101	0,1143	0,4873	0,0249
105	0,0560	0,2152	0,0313	0,0594	0,2732	0,1587	0,0807	0,5785	0,0445
106	0,0801	0,2792	0,0568	0,0890	0,3074	0,2290	0,1258	0,5578	0,0376
107	0,0317	0,1674	0,0163	0,0449	0,2553	0,1539	0,0753	0,6408	0,0331
108	0,0619	0,2020	0,0350	0,0630	0,2635	0,1989	0,1101	0,5238	0,0280
109	0,1574	0,3218	0,0897	0,1396	0,2639	0,2772	0,1752	0,3872	0,0275
110	0,0677	0,2568	0,0310	0,0752	0,3834	0,2068	0,0991	0,5714	0,0409
111	0,0803	0,2863	0,0363	0,0789	0,3304	0,2329	0,1261	0,5718	0,0379
112	0,0935	0,2525	0,0589	0,0825	0,2847	0,2228	0,1335	0,4740	0,0298
113	0,0637	0,3078	0,0511	0,0834	0,3180	0,2356	0,1216	0,6431	0,0422
114	0,0987	0,2927	0,1224	0,1505	0,2456	0,2547	0,1234	0,5249	0,0380
115	0,0355	0,1840	0,0183	0,0473	0,3011	0,1768	0,0857	0,6526	0,0329
116	0,0666	0,2075	0,0744	0,0794	0,2690	0,2057	0,1229	0,5119	0,0253
117	0,0565	0,2977	0,0288	0,0704	0,3157	0,2235	0,1216	0,6872	0,0418
118	0,1313	0,2674	0,1176	0,1249	0,2829	0,2150	0,1516	0,4169	0,0255
119	0,0491	0,2737	0,0320	0,0766	0,3515	0,1914	0,1028	0,6968	0,0448
120	0,1672	0,2742	0,1245	0,1479	0,2993	0,2744	0,1746	0,2676	0,0193
121	0,0593	0,2393	0,0893	0,1139	0,3143	0,2330	0,1221	0,5566	0,0280
122	0,0578	0,2814	0,0302	0,0657	0,3335	0,1547	0,0724	0,6527	0,0584
123	0,0408	0,2693	0,0073	0,0499	0,3073	0,2030	0,1039	0,7256	0,0427
124	0,0597	0,2749	0,0429	0,0748	0,3137	0,2418	0,1190	0,6352	0,0388
125	0,0933	0,2909	0,0823	0,1007	0,3027	0,2255	0,1085	0,5192	0,0457

No Sampel	REFLEKTANSI							NDVI	NBR
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7		
126	0,1008	0,2362	0,1367	0,1724	0,3269	0,2690	0,1803	0,4518	0,0091
127	0,0199	0,2444	0,0057	0,0278	0,2450	0,1271	0,0486	0,8413	0,0655
128	0,0358	0,2713	0,0215	0,0500	0,2671	0,1892	0,0973	0,7614	0,0467
129	0,0728	0,3476	0,0357	0,0761	0,3833	0,2157	0,1190	0,6605	0,0513
130	0,1142	0,3110	0,0502	0,0990	0,3522	0,2342	0,1303	0,4510	0,0435
131	0,0454	0,1889	0,0212	0,0588	0,3343	0,2146	0,1036	0,6018	0,0274
132	0,0465	0,2105	0,0522	0,0822	0,2945	0,2318	0,1230	0,6392	0,0263
133	0,0503	0,2992	0,0429	0,0785	0,2001	0,2294	0,1053	0,7362	0,0483
134	0,0497	0,2672	0,0194	0,0410	0,2473	0,1414	0,0690	0,7047	0,0589
135	0,0446	0,2347	0,0164	0,0483	0,2725	0,1769	0,0827	0,6723	0,0469
136	0,0664	0,1831	0,0296	0,0505	0,2817	0,2330	0,1269	0,4682	0,0184
137	0,1293	0,2919	0,0651	0,0868	0,2931	0,2048	0,1031	0,4145	0,0463
138	0,0612	0,3211	0,0300	0,0779	0,3622	0,1630	0,1014	0,6780	0,0518
139	0,3685	0,4473	0,2608	0,2963	0,3262	0,1930	0,1013	0,0978	0,0610
140	0,2449	0,3631	0,0816	0,0979	0,2537	0,1765	0,0977	0,3070	0,0499
141	0,0775	0,1933	0,0417	0,0613	0,2552	0,1948	0,1061	0,4330	0,0290
142	0,2091	0,3937	0,1278	0,1526	0,3764	0,2715	0,1512	0,3503	0,0431
143	0,0701	0,2668	0,0298	0,0670	0,3058	0,2202	0,1110	0,5906	0,0408
144	0,1711	0,2547	0,2128	0,2166	0,2892	0,2437	0,1582	0,2515	0,0194
145	0,0617	0,2965	0,0262	0,0707	0,3633	0,2992	0,1711	0,6543	0,0263
146	0,0302	0,3126	0,0148	0,0529	0,3627	0,1932	0,0659	0,8215	0,0649
147	0,0614	0,2181	0,0319	0,0634	0,3073	0,1503	0,0714	0,5600	0,0506
148	0,0415	0,2874	0,0215	0,0640	0,2690	0,2227	0,0856	0,7463	0,0548
149	0,0822	0,2177	0,0369	0,0869	0,3125	0,2932	0,1961	0,4517	0,0053
150	0,0709	0,2471	0,1881	0,2264	0,2533	0,2582	0,1477	0,5535	0,0251
151	0,0757	0,2713	0,0644	0,0740	0,2297	0,2360	0,0973	0,3180	0,0467
152	0,0277	0,3506	0,0171	0,0543	0,3447	0,1944	0,0685	0,8540	0,0674
153	0,0834	0,2957	0,0528	0,0827	0,2190	0,2475	0,1356	0,5600	0,0373
154	0,0393	0,3300	0,0141	0,0578	0,2122	0,1965	0,0664	0,7505	0,0635
155	0,0357	0,2938	0,0180	0,0536	0,2455	0,1286	0,0463	0,7830	0,0728
156	0,0935	0,2517	0,0628	0,0930	0,2742	0,2366	0,1440	0,4807	0,0259

Tabel 4. Rerata perubahan nilai Reflektansi, NDVI dan NBR pada sampel *burned area* dari citra MODIS sebelum dan setelah kebakaran

No Sampel	REFLEKTANSI							Δ NDVI	Δ NBR
	Δ B1	Δ B2	Δ B3	Δ B4	Δ B5	Δ B6	Δ B7		
1	0,0891	-0,0172	0,0849	0,0727	0,0007	0,0799	0,0809	-0,3466	-0,0384
2	0,0217	-0,1156	0,0214	0,0099	-0,1281	-0,0026	0,0437	-0,2952	-0,0425
3	0,0731	-0,0350	0,0625	0,0546	-0,0589	0,0471	0,0449	-0,4076	-0,0313
4	0,0486	-0,0479	0,0325	0,0253	0,0062	0,1041	0,1050	-0,3216	-0,0542
5	0,0081	-0,0953	0,0049	-0,0049	-0,0670	0,0199	0,0377	-0,1532	-0,0340
6	0,0448	-0,1529	0,0282	0,0038	-0,0635	0,1198	0,1246	-0,3703	-0,0679
7	0,1494	-0,1576	0,1274	0,0976	-0,0140	0,0690	0,0963	-0,5104	-0,0539
8	0,0710	-0,0587	0,0377	0,0258	-0,0554	0,0522	0,0915	-0,3426	-0,0503
9	-0,0193	-0,1843	-0,0037	-0,0376	-0,1432	-0,0252	0,0205	-0,0432	-0,0441
10	0,0256	-0,1428	0,0427	0,0150	-0,1238	-0,0153	0,0316	-0,3653	-0,0457
11	0,0522	-0,0075	0,0349	0,0286	0,0332	0,0991	0,0858	-0,2817	-0,0418
12	0,0911	-0,0518	0,0816	0,0689	0,0032	0,1085	0,1058	-0,4361	-0,0526
13	0,1372	0,0401	0,0997	0,0911	0,0824	0,1743	0,1781	-0,4802	-0,0579
14	-0,0077	-0,1550	-0,0035	-0,0244	-0,0949	0,0091	0,0351	-0,1371	-0,0419
15	0,0418	0,0713	0,0399	0,0419	0,0422	0,0459	0,0327	-0,0659	-0,0027
16	0,0945	-0,0366	0,0857	0,0817	-0,0377	0,0849	0,0710	-0,3774	-0,0405
17	0,1263	0,0128	0,1355	0,1298	-0,0668	0,0736	0,0623	-0,4342	-0,0224
18	-0,0002	-0,2455	0,0033	-0,0183	-0,1684	-0,1013	-0,0306	-0,2451	-0,0193
19	0,1753	-0,0230	0,1354	0,1255	0,0736	-0,1894	0,1965	-0,5218	-0,0579
20	0,0508	-0,0290	0,0282	0,0310	0,1084	0,1098	0,0909	-0,2224	-0,0400
21	0,0413	-0,1217	0,0724	0,0510	-0,0509	0,0402	0,0593	-0,3328	-0,0453
22	0,0254	-0,0974	0,0123	-0,0047	-0,0433	0,0543	0,0711	-0,2702	-0,0523
23	0,0404	-0,1120	0,0271	0,0126	-0,0825	0,0495	0,0818	-0,3474	-0,0524
24	0,0444	-0,1282	0,0191	0,0026	-0,1026	0,0196	0,0559	-0,2413	-0,0405
25	0,0561	-0,1175	0,0310	0,0188	-0,0096	0,0136	0,0382	-0,3223	-0,0349
26	0,0026	-0,1194	0,0023	-0,0076	-0,0819	0,0238	0,0451	-0,1453	-0,0412
27	0,0366	-0,0768	0,0367	0,0230	-0,0472	0,0410	0,0539	-0,3368	-0,0425
28	-0,0075	-0,0897	-0,0089	-0,0130	-0,0252	0,0225	0,0363	-0,0454	-0,0318
29	0,0589	-0,0609	0,0410	0,0309	-0,0224	0,0876	0,1169	-0,3416	-0,0558
30	-0,0047	-0,0468	-0,0035	-0,0070	-0,0313	0,0312	0,0334	-0,0116	-0,0208
31	0,0498	-0,1125	0,0203	0,0021	0,0408	0,0111	0,0351	-0,2734	-0,0293
32	0,0232	-0,0873	0,0376	0,0154	-0,0983	0,0009	0,0421	-0,1911	-0,0298
33	0,1857	0,0019	0,1445	0,1383	-0,0440	0,0982	0,0713	-0,5066	-0,0324
34	0,0446	-0,0031	0,0177	0,0255	0,0501	0,0780	0,0563	-0,2185	-0,0267
35	0,0723	-0,0937	0,0766	0,0536	-0,2271	0,0619	0,0787	-0,4244	-0,0484
36	0,0919	-0,0498	0,0722	0,0655	0,0285	0,1228	0,1158	-0,4569	-0,0533
37	0,0272	-0,0959	0,0129	0,0110	-0,0468	0,0394	0,0656	-0,2133	-0,0387
38	0,0143	-0,0146	0,0049	0,0058	0,0330	0,0677	0,0592	-0,0875	-0,0292
39	0,0760	-0,1372	0,0868	0,0646	-0,1032	0,0218	0,0875	-0,4549	-0,0482

No Sampel	REFLEKTANSI							Δ NDVI	Δ NBR
	Δ B1	Δ B2	Δ B3	Δ B4	Δ B5	Δ B6	Δ B7		
40	0,1241	-0,0024	0,0508	0,0650	0,0127	0,0838	0,0704	-0,4788	-0,0297
41	0,0248	-0,1425	0,0346	0,0108	-0,1238	0,0329	0,0609	-0,2368	-0,0464
42	0,1012	-0,1184	0,0847	0,0686	0,0043	0,1049	0,0900	-0,4806	-0,0505
43	0,0293	-0,0850	0,0217	0,0263	-0,0071	0,0280	0,0390	-0,2262	-0,0285
44	0,0569	-0,1393	0,0861	0,0544	-0,0592	0,0681	0,0809	-0,4174	-0,0527
45	0,0081	-0,0508	0,0305	0,0329	-0,0074	0,0361	0,0446	-0,1028	-0,0319
46	0,0479	-0,1184	0,0401	0,0235	-0,0573	0,0688	0,0924	-0,3244	-0,0584
47	0,0844	-0,1188	0,0488	0,0234	-0,0898	0,0350	0,0868	-0,3968	-0,0435
48	0,0350	-0,2481	0,0424	0,0055	-0,1548	-0,0147	0,0569	-0,4691	-0,0579
49	0,0604	-0,1495	0,0628	0,0427	-0,0422	0,0949	0,1067	-0,4640	-0,0720
50	0,1628	-0,0196	0,1597	0,1508	0,0503	0,0248	0,0577	-0,5088	-0,0332
51	0,0134	-0,0563	0,0067	-0,0008	-0,0255	0,0551	0,0614	-0,1622	-0,0410
52	0,0682	-0,1663	0,0808	0,0519	-0,1215	-0,0030	0,0402	-0,5216	-0,0418
53	0,0361	-0,0854	0,0239	0,0168	0,0061	-0,0022	0,0263	-0,2289	-0,0211
54	0,0607	0,0791	0,0747	0,0645	0,0686	0,0663	0,0470	-0,1590	-0,0075
55	0,0434	-0,0263	0,0325	0,0337	-0,0247	0,0472	0,0433	-0,2003	-0,0255
56	0,1242	-0,5001	0,1302	0,0857	-0,1856	-0,0108	0,0484	-0,2895	-0,0225
57	0,0030	-0,1186	0,0006	-0,0108	-0,0870	0,0167	0,0395	-0,1473	-0,0379
58	0,0188	-0,0981	0,0061	-0,0010	-0,0473	0,0086	0,0395	-0,2024	-0,0313
59	0,0221	-0,0787	0,0142	0,0167	-0,0101	0,0520	0,0598	-0,1976	-0,0378
60	0,0219	-0,1040	0,0120	0,0016	-0,0160	0,0752	0,0751	-0,1649	-0,0431
61	-0,0106	-0,1621	-0,0191	-0,0254	-0,0575	-0,0608	-0,0223	-0,1166	-0,0080
62	0,0738	-0,0909	0,0811	0,0664	-0,0460	0,0588	0,0729	-0,4327	-0,0412
63	0,0566	-0,1831	0,0596	0,0264	-0,1406	-0,0103	0,0503	-0,4232	-0,0428
64	0,0355	0,0052	0,0183	0,0192	0,0702	0,1121	0,0828	-0,1890	-0,0348
65	0,0475	-0,0849	0,0771	0,0486	-0,0125	0,0406	0,0587	-0,3265	-0,0414
66	0,1037	-0,0446	0,0922	0,0855	0,0579	0,1121	0,1029	-0,4679	-0,0385
67	0,0088	-0,1123	0,0166	0,0072	-0,0431	0,0469	0,0637	-0,2032	-0,0518
68	0,0330	-0,1052	0,0295	0,0171	-0,0366	0,0636	0,0742	-0,2624	-0,0520
69	0,0584	-0,0205	0,0249	0,0501	0,0466	0,0576	0,0590	-0,2409	-0,0222
70	0,0667	-0,0048	0,0292	0,0318	-0,1092	0,0454	0,0435	-0,3711	-0,0243
71	0,0750	-0,0730	0,0678	0,0598	-0,0714	0,0408	0,0404	-0,3692	-0,0297
72	0,0490	-0,1357	0,0750	0,0507	-0,0960	0,0313	0,0718	-0,4703	-0,0657
73	0,0199	-0,1511	0,0023	-0,0104	-0,0992	0,0565	0,0758	-0,2098	-0,0500
74	0,0120	-0,1142	0,0353	0,0110	-0,0878	0,0060	0,0250	-0,1708	-0,0265
75	0,2352	0,0591	0,1182	0,1064	-0,1243	0,0817	0,0732	-0,5403	-0,0267
76	0,1243	0,0424	0,0848	0,0836	-0,0485	0,0324	0,0392	-0,3704	-0,0128
77	0,0327	-0,1272	0,0257	0,0090	-0,1054	0,0137	0,0493	-0,1788	-0,0371
78	0,2491	-0,2695	0,1239	0,1029	-0,0847	0,1101	0,0993	-0,4114	-0,0284
79	0,0543	0,0647	0,0696	0,0693	0,0558	0,0736	0,0572	-0,1508	-0,0126
80	0,0250	-0,1893	0,0877	0,0630	-0,0446	0,0327	0,0659	-0,2748	-0,0535
81	0,0170	-0,1654	0,0160	0,0004	-0,1337	0,0322	0,0745	-0,2191	-0,0476
82	-0,0184	-0,1361	0,0409	0,0095	-0,0863	-0,0142	0,0164	0,0537	-0,0352

No Sampel	REFLEKTANSI							Δ NDVI	Δ NBR
	Δ B1	Δ B2	Δ B3	Δ B4	Δ B5	Δ B6	Δ B7		
83	0,0399	0,0112	0,0222	0,0278	0,0952	0,1483	0,1098	-0,1782	-0,0406
84	0,0170	-0,0991	0,0225	0,0055	-0,0979	0,0009	0,0387	-0,2354	-0,0357
85	0,0116	-0,1517	0,0230	0,0000	-0,0744	0,0186	0,0318	-0,2570	-0,0353
86	0,0119	-0,0101	-0,0014	0,0080	0,0494	0,0687	0,0438	-0,0701	-0,0220
87	0,0488	-0,1415	0,0755	0,0422	-0,0520	0,0494	0,0555	-0,3986	-0,0346
88	0,0137	-0,2391	-0,0102	-0,0223	-0,0969	-0,0097	0,0203	-0,3093	-0,0399
89	0,0239	-0,0670	0,0435	0,0371	-0,0170	0,0288	0,0515	-0,1834	-0,0361
90	-0,0081	-0,0872	-0,0087	-0,0162	-0,0385	0,0199	0,0345	-0,0801	-0,0292
91	0,0781	-0,0272	0,0777	0,0629	0,0005	0,0642	0,0761	-0,2993	-0,0351
92	0,0668	-0,0881	0,0816	0,0693	-0,0514	0,0124	0,0349	-0,4198	-0,0275
93	0,0473	-0,0205	0,0204	0,0254	0,1038	0,0639	0,0636	-0,2911	-0,0342
94	-0,0141	-0,0988	-0,0418	-0,0351	-0,0722	-0,0309	0,0110	-0,0346	-0,0158
95	0,0178	-0,1191	0,0071	0,0011	-0,0492	0,0275	0,0528	-0,2365	-0,0435
96	0,0223	-0,1307	0,0375	0,0187	-0,0296	0,0368	0,0530	-0,2333	-0,0374
97	0,1688	0,0415	0,1844	0,1855	-0,1956	0,0400	0,0488	-0,4581	-0,0186
98	0,0147	-0,0600	0,0096	0,0088	0,0175	0,0709	0,0610	-0,1597	-0,0407
99	0,1125	-0,0267	0,0829	0,0715	-0,0746	0,0440	0,0408	-0,3280	-0,0235
100	0,0811	-0,0411	0,0793	0,0680	-0,0056	0,0865	0,0984	-0,4111	-0,0429
101	0,0149	-0,0810	0,0049	0,0132	0,0978	0,0549	0,0541	-0,1280	-0,0292
102	0,0515	-0,0056	0,0271	0,0338	0,0691	0,1693	0,1416	-0,2273	-0,0445
103	0,0275	-0,2138	0,0439	0,0053	-0,1340	-0,0221	0,0356	-0,3241	-0,0414
104	0,0375	-0,0810	0,0514	0,0438	-0,0262	0,0339	0,0551	-0,2755	-0,0406
105	-0,0002	-0,0761	-0,0133	-0,0132	-0,0372	-0,0261	0,0064	-0,1006	-0,0147
106	0,0415	0,0135	0,0361	0,0335	0,0248	0,0672	0,0658	-0,1883	-0,0255
107	0,0051	-0,1314	0,0110	0,0034	-0,0530	0,0092	0,0293	-0,1981	-0,0401
108	0,0051	-0,0834	0,0104	-0,0022	-0,0669	0,0045	0,0261	-0,1412	-0,0267
109	0,1106	0,0418	0,0664	0,0848	-0,0330	0,0920	0,0911	-0,3235	-0,0259
110	0,0408	-0,0009	0,0132	0,0343	0,1002	0,0243	0,0183	-0,2414	-0,0124
111	0,0385	-0,0088	0,0133	0,0193	0,0176	0,0473	0,0483	-0,1810	-0,0206
112	0,0467	-0,1264	0,0365	0,0073	-0,1085	0,0166	0,0612	-0,3061	-0,0381
113	0,0272	-0,0533	0,0354	0,0238	-0,0400	0,0439	0,0561	-0,1723	-0,0270
114	0,0815	-0,0830	0,1128	0,1094	-0,0915	0,0797	0,0662	-0,3876	-0,0356
115	-0,0680	-0,2260	-0,0842	-0,0950	-0,1505	-0,0546	-0,0145	0,0629	-0,0274
116	0,0397	-0,1769	0,0700	0,0335	-0,1183	0,0077	0,0559	-0,3589	-0,0450
117	0,0196	0,0311	0,0108	0,0218	0,0545	0,0755	0,0619	-0,0703	-0,0216
118	0,1017	-0,0903	0,1055	0,0733	-0,0528	0,0454	0,0955	-0,4296	-0,0473
119	0,0190	-0,0384	0,0204	0,0317	0,0660	0,0399	0,0552	-0,1246	-0,0289
120	0,1250	-0,0010	0,1106	0,1057	0,0784	0,1513	0,1338	-0,4682	-0,0547
121	0,0299	-0,1195	0,0736	0,0585	-0,0153	0,0683	0,0726	-0,2916	-0,0478
122	0,0265	-0,0634	-0,0267	-0,0319	-0,0036	-0,0266	-0,0027	-0,1808	-0,0064
123	0,0038	-0,0823	-0,0111	-0,0113	-0,0332	0,0261	0,0444	-0,0840	-0,0284
124	0,0331	-0,0245	0,0274	0,0267	0,0354	0,1164	0,0841	-0,2006	-0,0404
125	0,0594	-0,0802	0,0682	0,0502	-0,0774	0,0320	0,0413	-0,3143	-0,0237

No Sampel	REFLEKTANSI							Δ NDVI	Δ NBR
	Δ B1	Δ B2	Δ B3	Δ B4	Δ B5	Δ B6	Δ B7		
126	0,0700	-0,1292	0,0926	0,0931	-0,0038	0,0889	0,1047	-0,3925	-0,0573
127	0,0055	-0,0037	-0,0030	-0,0023	-0,0106	0,0122	0,0175	-0,0487	-0,0122
128	-0,0293	-0,1191	-0,0172	-0,0386	-0,0966	-0,0050	0,0181	0,0688	-0,0186
129	0,0394	-0,0110	-0,0318	-0,0211	-0,0081	0,0301	0,0452	-0,1620	-0,0146
130	0,0443	-0,0350	0,0274	0,0320	0,0189	0,0301	0,0356	-0,2157	-0,0135
131	0,0104	-0,1222	0,0048	0,0059	0,0630	0,0933	0,0649	-0,1970	-0,0508
132	0,0084	-0,0689	0,0329	0,0298	-0,0206	0,0746	0,0748	-0,1200	-0,0442
133	0,0127	0,0768	0,0233	0,0297	-0,1119	0,0520	0,0324	0,0256	-0,0023
134	0,0318	-0,0311	0,0073	0,0024	-0,0387	0,0078	0,0325	-0,1815	-0,0194
135	-0,0248	-0,1254	-0,0907	-0,0889	-0,0829	-0,0256	-0,0122	-0,0065	-0,0117
136	0,0174	-0,0894	0,0134	0,0051	-0,0218	0,0821	0,0585	-0,2237	-0,0415
137	0,1046	0,0459	0,0560	0,0494	0,0318	0,0844	0,0685	-0,4025	-0,0289
138	0,0375	0,0283	0,0216	0,0443	0,0699	-0,0223	0,0225	-0,1717	-0,0058
139	0,2759	0,1059	0,1884	0,1916	-0,0518	-0,0051	0,0176	-0,4756	0,0005
140	0,2127	0,0852	0,0643	0,0490	-0,0350	0,0222	0,0425	-0,4848	-0,0169
141	0,0482	-0,1097	0,0246	0,0117	-0,0940	0,0482	0,0591	-0,3895	-0,0440
142	0,1553	-0,0407	0,1085	0,0821	-0,0654	0,0239	0,0514	-0,4273	-0,0194
143	-0,1565	-0,2195	-0,1645	-0,1604	-0,1236	-0,0955	-0,0758	0,1826	-0,0022
144	0,1425	-0,0621	0,2038	0,1668	-0,0414	0,0804	0,1074	-0,5828	-0,0530
145	-0,0007	-0,0779	-0,0079	-0,0116	-0,0174	0,0360	0,0420	-0,0658	-0,0231
146	0,0090	-0,0103	0,0053	0,0094	0,0487	0,0300	0,0156	-0,0550	-0,0082
147	0,0277	-0,1396	-0,0127	-0,0098	0,0019	-0,0076	0,0038	-0,2663	-0,0177
148	0,0117	-0,0023	0,0064	0,0157	-0,0485	0,0938	0,0466	-0,0673	-0,0215
149	0,0377	-0,0585	0,0223	0,0294	0,0239	0,1080	0,1121	-0,2697	-0,0482
150	0,0368	-0,0410	0,1701	0,1763	-0,0622	0,1347	0,1118	-0,2350	-0,0528
151	0,0434	-0,2433	0,0367	0,0005	-0,1120	0,0750	0,1311	-0,5285	-0,0880
152	0,0099	-0,0241	0,0077	0,0176	0,0368	0,0411	0,0215	-0,0555	-0,0104
153	0,0470	0,0250	0,0345	0,0328	-0,1586	0,1166	0,1007	-0,2030	-0,0399
154	0,0016	-0,0263	-0,0017	0,0006	-0,0646	0,0408	0,0184	-0,0585	-0,0128
155	-0,0002	-0,0872	-0,0014	-0,0129	-0,0760	-0,0191	-0,0039	-0,0450	-0,0040
156	0,0498	-0,1194	0,0429	0,0279	-0,1406	0,0087	0,0559	-0,3072	-0,0356

