

KARAKTERISTIK REFLEKTANSI DAERAH BEKAS KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN (BURNED AREA) DARI DATA LANDSAT-8 OPERATIONAL LAND IMAGER

REFLECTANCE CHARACTERISTICS OF THE BURNED AREA FROM LANDSAT-8 OPERATIONAL LAND IMAGER

Suwarsono, Yenni Vetrina, Parwati, M. Priyatna, M. Rokhis Khomarudin
Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Pos-el: suwarsono@lapan.go.id

ABSTRACT

Land and forest fires will leave the burned area. This area is characterized by the presence of traces of burning of biomass such as charcoal, ash, and soil are exposed to the surface. Assessment of the burned area is necessary, because this data is needed, especially for the purposes of post-disaster rehabilitation and reconstruction. This study tries to identify the burned area by spectral characteristics of optical data Landsat-8 OLI (Operational Land Imager). The methodology developed through several stages, namely the selection of images, reflectance calculation, generating the color composite image Red Green Blue, making the training sample, as well as statistical analysis of the reflectance values of pixels burned area, which includes analysis of the pixel values of the pre-fire, post-fire and changes (the difference in value before and after the fire), as well as analysis of separability. This study concluded that the fires will cause a decrease in reflectance in the visible spectrum value for channel 1 (blue), 2 (blue), and 3 (green). The greatest decline occurred on near infrared (NIR). The fires will also increase the value of SWIR reflectance, ie, channels 6 and 7. While on channel 4 (red) and 9 (cirrus), did not show significant changes. Channel 7 (SWIR Long) and 5 (NIR) have the highest separability. By using a combination of both channels can be derived formulas Normalized Burn Ratio of Landsat-8.

Keywords: Landsat-8 OLI, reflectance, forest/land fire, burned area

ABSTRAK

Kebakaran hutan dan lahan akan menyisakan daerah bekas-bekas kebakaran (*burned area*). Daerah ini ditandai oleh adanya sisa-sisa pembakaran dari biomassa seperti arang, abu, dan tanah yang tersingkap ke permukaan. Asesmen *burned area* sangat diperlukan, karena data ini sangat dibutuhkan, khususnya untuk keperluan rehabilitasi dan rekonstruksi pasca bencana. Penelitian ini mencoba untuk mengenali *burned area* berdasarkan karakteristik spektralnya dari data optis Landsat-8 OLI (*Operational Land Imager*). Metodologi disusun melalui beberapa tahapan, yaitu pemilihan tanggal perekaman citra, penurunan nilai reflektansi, pembuatan citra komposit warna *Red Green Blue*, pengambilan *training sample*, serta analisis statistik nilai reflektansi piksel *burned area*, yang meliputi analisis nilai piksel *pre-fire*, *post-fire* dan perubahannya (selisih nilai sebelum dan setelah kebakaran), serta analisis separabilitas. Penelitian ini menyimpulkan bahwa peristiwa kebakaran hutan dan lahan akan menyebabkan penurunan nilai reflektansi pada spektrum tampak untuk kanal 1 (*blue*), 2 (*blue*), dan 3 (*green*). Penurunan paling besar terjadi kanal inframerah dekat (NIR). Proses kebakaran juga akan meningkatkan nilai reflektansi kanal-kanal SWIR, yaitu kanal 6 dan 7. Pada kanal 4 (merah) dan 9 (*cirrus*), tidak memperlihatkan perubahan yang berarti. Separabilitas paling tinggi dalam memisahkan daerah terbakar (*burned area*) dan tidak terbakar (*unburned area*) dimiliki oleh kanal 7 (SWIR Long) dan 5 (NIR). Dengan menggunakan gabungan kedua kanal tersebut dapat diturunkan rumusan *Normalized Burn Ratio* dari Landsat-8.

Kata kunci: Landsat-8 OLI, reflektansi, kebakaran hutan/lahan, *burned area*.

PENDAHULUAN

Kebakaran hutan dan lahan telah seolah-olah melekat sebagai peristiwa bencana yang rutin terjadi di wilayah Indonesia, khususnya Sumatera dan Kalimantan. Peristiwa kebakaran hutan dan lahan akan merubah kondisi permukaan lahan dimana sebelumnya berupa lahan yang

didominasi oleh vegetasi menjadi tanah-tanah terbuka beserta arang dan abu yang tersisa. Kondisi demikian tentu saja akan berkontribusi pada terjadinya degradasi hutan dan lahan, merusak ekosistem, mempengaruhi keanekaragaman hayati serta meningkatkan emisi karbon.¹

Informasi mengenai luas dan sebaran spasial daerah bekas kebakaran hutan dan lahan (*burned area*) sangat dibutuhkan, terutama oleh pemerintah dalam mendukung upaya-upaya rehabilitasi lahan. Selain itu, dalam dalam estimasi jumlah karbon yang dilepaskan ke atmosfer akibat kebakaran biomassa, informasi ini sangat dibutuhkan dan merupakan parameter kunci.²

Untuk memperoleh informasi *burned area* secara langsung di lapangan memerlukan biaya yang tidak sedikit sehingga dianggap tidak efisien. Dengan demikian, dibutuhkan suatu sains dan teknologi untuk mengatasi permasalahan ini, yang salah satunya adalah dengan memanfaatkan sains dan teknologi penginderaan jauh.³ Tren dan perkembangan sains dan teknologi penginderaan jauh tidak terlepas dari ketersediaan data yang direkam dari suatu wahana dan sensor. Dengan kehadiran data citra Landsat-8 yang telah tersedia secara meluas membuka peluang dalam pemanfaatannya untuk memberikan informasi *burned area* ini. Penelitian ini mencoba untuk mengkaji potensi pemanfaatan suatu data citra penginderaan jauh untuk aplikasi tertentu, yaitu mengenai *burned area*. Yang pertama kali yang perlu dikaji adalah pemahaman mengenai karakteristik spektral (masing-masing kanal), respon spektral terhadap suatu obyek serta perubahannya, serta kemampuannya dalam membedakan obyek satu dengan obyek lainnya. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji karakteristik nilai reflektansi piksel-piksel *burned area* dari data Landsat-8 *Operational Land Imager*.

Landsat-8 merupakan satelit yang dikembangkan oleh NASA, USGS, Orbital Science Corp., Ball Aerospace & Technology Corp., dan NASA Goddard Space Flight Center. Satelit ini merupakan generasi paling baru dalam seri satelit Landsat, dan diluncurkan pada 11 Februari 2013).⁴ Keunggulan yang dimiliki Satelit Landsat-8 dibandingkan generasi sebelumnya adalah muatan sensor yang dibawanya, yaitu terdiri dari sensor *Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) yang dirancang untuk menyempurnakan sensor pada satelit Landsat-7 ETM+.⁵ Tabel 1 berikut menyajikan perbandingan spektral kanal OLI dari Landsat-8 dan ETM+ dari Landsat-7. Landsat-8 OLI kanal 1 hingga 4 masuk ke dalam spektrum tampak, kanal 5 merupakan masuk spektrum NIR, serta kanal 6 hingga 7 masuk ke dalam spektrum SWIR. Memperhatikan karakteristik spektral kanal-kanal OLI tersebut, maka secara teoritis dapat dipahami

bahwa data ini dapat dipergunakan untuk mendeteksi obyek-obyek air, vegetasi, serta tanah-tanah terbuka.

Tabel 1. Perbandingan spektral kanal OLI and ETM+.⁵

OLI			ETM+		
Bands	Band with (μm)	GSD (m)	Bands	Band with (μm)	GSD (m)
1	0,433 – 0,453	30			30
2	0,450 – 0,515	30	1	0,450 – 0,515	30
3	0,525 – 0,600	30	2	0,525 – 0,605	30
4	0,630 – 0,680	30	3	0,630 – 0,690	30
5	0,845 – 0,885	30	4	0,775 – 0,900	30
6	1,560 – 1,660	30	5	1,550 – 1,750	30
7	2,100 – 2,300	30	7	2,090 – 2,350	30
8	0,500 – 0,680	15	8	0,520 – 0,900	15
9	1,360 – 1,390	30			

Daerah Bekas Kebakaran Hutan dan Lahan (*burned area*)

Burned area merupakan 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 dimana pada daerah tersebut sebelumnya merupakan lahan yang didominasi oleh tutupan vegetasi hutan maupun vegetasi non hutan seperti semak, belukar, perkebunan, ladang atau tegalan).⁶ Dalam konteks kebakaran, *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.⁶

Penelitian terkait pemanfaatan data citra penginderaan jauh satelit untuk identifikasi *burned area* sudah sering dilakukan oleh banyak ahli, terutama peneliti-peneliti luar negeri. Metode yang dilakukan umumnya menggunakan analisis deteksi perubahan nilai piksel (*change detection*), yaitu dengan membandingkan kondisi sebelum terbakar (*pre-fire*) dan setelah terbakar (*post-fire*). Parameter yang dipergunakan meliputi indeks vegetasi, indeks kebakaran maupun nilai reflektansi itu sendiri.⁷

NDVI merupakan indeks vegetasi yang paling umum dipergunakan, seperti yang telah dilakukan oleh Martin & Chuvieco,⁸ Fraser et

al.⁹, Roy et al.¹⁰, Fraser et al.¹¹, Goetz et al.¹², Li et al.¹³, Kasischke & French¹⁴, Lloret et al.¹⁵, Salvador et al.¹⁶ dan Suwarsono et al.¹⁷ Indeks NBR (*Normalized Burn Ratio*) merupakan indeks kebakaran yang paling umum digunakan, seperti yang telah dilakukan oleh Suwarsono et al.⁶, Suwarsono et al.¹⁸, Key and Benson¹⁹, Epting et al.²⁰, Cocke et al.²¹, Wagtendonk et al.²², Eidensink et al.²³, dan Brewer et al.²⁴.

Penelitian ini dilakukan sebagai tahapan awal untuk memahami respon spektral kanal-kanal Landsat-8 OLI pada obyek-obyek *burned area*. Belum banyak penelitian yang mencoba mengkaji pemanfaatan jenis data yang dapat dikatakan masih relatif baru ini untuk identifikasi *burned area*. Dengan demikian, kajian mengenai karakteristik reflektansi daerah bekas kebakaran hutan dan lahan (*burned area*) dari data Landsat-8 *Operational Land Imager* menjadi sangat penting untuk dilakukan.

METODOLOGI

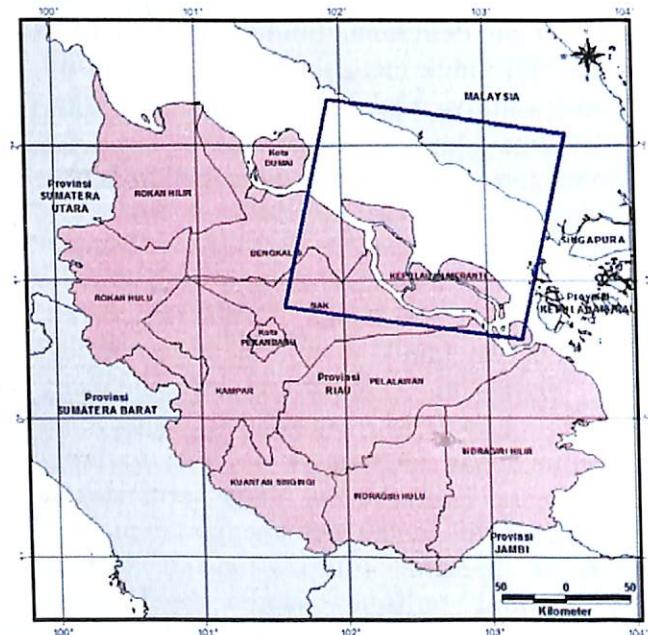
Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang dipilih adalah Provinsi Riau (sebagian wilayah). Lokasi yang dipilih merupakan daerah yang banyak dijumpai lokasi-lokasi kebakaran hutan dan lahan. Menyesuaikan dengan cakupan liputan citra Landsat-8, daerah yang dipilih adalah wilayah Provinsi Riau yang masuk liputan citra (*scene*) *path/row* 126/059, dengan ukuran sekitar 185 km x 185 km. Liputan tersebut mencakup seluruh P. Bengkalis, P. Padang, P. Rangsang, P. Tebing Tinggi, pulau-pulau kecil di sekitarnya dan sebagian Riau daratan. Secara administratif, lokasi penelitian masuk ke dalam empat wilayah kabupaten, yaitu Kabupaten Bengkalis, Siak, Kepulauan Meranti, dan Pelalawan. Gambar 1 menunjukkan lokasi penelitian.

Data

Penelitian ini menggunakan data Landsat-8 kanal-kanal OLI resolusi 30 meter (band 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 9), *path/row* 126/059 yang merekam lokasi penelitian. Diperlukan paling tidak 2 (dua) tanggal perekaman dalam penelitian untuk memahami karakteristik reflektansi suatu daerah yang mengalami perubahan dari satu kondisi ke kondisi lainnya. Dalam hal ini adalah untuk memahami karakteristik reflektansi suatu daerah setelah mengalami kebakaran hutan dan lahan. Tanggal citra yang dipilih yaitu tanggal 28 Januari 2014 dan 21 Juni 2014. Tanggal pertama untuk mengetahui karakteristik sebelum terbakar, sedangkan tanggal kedua untuk memahami

karakteristik setelah terbakar. Level data citra yang dipergunakan adalah Level 1T, yaitu data yang sudah terkoreksi secara radiometrik (L1R) dan terkoreksi geometrik sistematis, menggunakan *Ground Control Points* (GCPs) atau informasi posisi *onboard* untuk *re-sample* data citra untuk proses registrasi ke suatu proyeksi kartografik, dengan referensi WGS 84, G873 atau versi saat ini. Data citra L1T juga sudah terkoreksi secara *terrain* terhadap pergeseran relief (*relief displacement*).²⁵



Gambar 1. Lokasi penelitian (kotak warna biru) yang mencakup seluruh P. Bengkalis, P. Padang, P. Rangsang, P. Tebing Tinggi, pulau-pulau kecil di sekitarnya dan sebagian Riau daratan

Pengolahan dan Analisis Data

Metode penelitian yang dibangun meliputi pengolahan data dan analisis data. Tahapan pengolahan data meliputi; 1) Perhitungan nilai reflektansi (konversi dari nilai kecerahan *brightness value* menjadi *reflectance*; 2) Pembuatan citra komposit warna (RGB); 3) pengambilan *training sample burned area*; 4) Perhitungan statistik reflektansi *burned area*, dan 5) Perhitungan separabilitas perkanal.

Konversi dari nilai *Brightness Values* (BV) ke Reflektansi

Data Landsat-8 yang masih berupa nilai *digital number* (DN) perlu dikonversi ke dalam reflektansi. Nilai reflektansi disini adalah TOA *planetary reflectance*. Untuk mengkonversi menjadi nilai TOA *planetary reflectance*, menggunakan persamaan sebagai berikut.²⁶

$$\rho\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p \quad (1)$$

dimana $\rho\lambda'$ adalah TOA *planetary reflectance* (tanpa koreksi *solar angle*). M_p adalah *Band-specific multiplicative rescaling factor* diambil dari meta data (REFLECTANCE_MULT_BAND_x, dimana x adalah band number), A_p adalah *band-specific additive rescaling factor* diambil dari metadata (REFLECTANCE_ADD_BAND_x, dimana x adalah band number), dan Q_{cal} adalah *quantized and calibrated standard product pixel values* (DN).

Kemudian, *sun angle correction of TOA reflectance* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.²⁶

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\cos(\theta_{sz})} = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{se})} \quad (2)$$

Dengan $\rho\lambda$ adalah TOA *planetary reflectance*, θ_{se} adalah *local sun elevation angle*. *Sun elevation angle* (dalam derajat) untuk pusat *scene* tersedia dalam file metadata (SUN_ELEVATION). θ_{sz} adalah *local solar zenith angle*, $\theta_{sz} = 90^\circ - \theta_{se}$.

Pembuatan Citra Komposit Warna RGB

Citra komposit warna menggunakan teknik pewarnaan RGB (*Red Green Blue*) dengan menempatkan kanal 6 (SWIR) pada layer *Red*, 5 (NIR) pada layer *Green*, dan 4 (*Red*) pada layer *Blue*. Komposisi ini akan menampilkan visualisasi warna alami (*natural color*), dimana vegetasi akan berwarna kehijauan, tanah berwarna coklat kemerahan, air berwarna kebiruan, awan berwarna putih, dan bayangan awan berwarna hitam. Gambar 2 berikut menampilkan visualisasi citra komposit warna RGB 654 dari Landsat-8.

Pengambilan Training Sample Burned Area

Pengambilan training sampel cropping citra pada piksel-piksel *burned area* merupakan tahapan yang sangat vital dalam memahami karakteristik spektral dari obyek *burned area*. Lokasi training sampel yang dipilih harus benar-benar homogen dan mewakili *burned area* untuk seluruh populasi. Pengambilan sampel dilakukan secara acak berstrata (*stratified random sampling*) dengan

memperhatikan tipe vegetasi penutup lahan sebelum terbakar.

Perhitungan Statistik Training Sample Burned Area

Perhitungan statistik terhadap sampel *burned area* meliputi nilai rerata (*mean*), standar deviasi (*deviation standard*), dan *normalized distance* (D-value). Perhitungan D-value dilakukan untuk mengetahui *discrimination ability* atau separabilitas, yaitu kemampuan variabel (reflektansi per band Landsat-8) dalam memisahkan obyek (obyek *burned area* dan *unburned area*). Perhitungan D-value mengacu rumusan yang ditulis oleh Kaufman & Remer.²⁷ Nilai D-value > 1 menunjukkan bahwa band tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam memisahkan obyek. Persamaan 3 berikut dipergunakan untuk menghitung D-value.

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

Dimana D adalah *Normalized Distance*, μ_1 dan μ_2 berturut-turut adalah nilai rerata sampel sebelum dan sesudah terbakar. σ_1 dan σ_2 berturut-turut adalah nilai standar deviasi sampel sebelum dan sesudah terbakar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil identifikasi dari citra Landsat-8 komposit RGB 654, ditemukan empat tipe vegetasi penutup lahan yang mengalami kebakaran hutan/lahan dan berubah menjadi *burned area*. Empat tipe vegetasi penutup lahan tersebut adalah: hutan (*forest*), semak/belukar (*shrubland*), ladang/tegalan (*cropland*), dan perkebunan (*plantation*). *Burned area* pada citra komposit RGB 654 tampak berwarna merah magenta. Gambar 3 memperlihatkan perubahan pada berbagai obyek vegetasi menjadi *burned area* beserta pola reflektansinya.

Hasil perhitungan secara statistik diperoleh pemahaman secara umum bahwa terjadi perubahan nilai dan pola reflektansi pada masing-masing tipe vegetasi akibat proses kebakaran. Untuk vegetasi hutan, tampak terjadi penurunan nilai pada seluruh kanal-kanal tampak (visibel), kanal 1 (*blue*), 2 (*blue*), dan 3 (*green*). Rerata nilai penurunan reflektansi untuk kanal 1 hingga 3 berturut-turut adalah -0,028, -0,022, -0,024. Penurunan paling besar terjadi kanal inframerah dekat (NIR) yang mencapai -0,208. Pola sebaliknya terjadi pada kanal-kanal inframerah

gelombang pendek (*Short Wave Infra Red*), yaitu kanal 6 dan 7. Pada kedua kanal ini, terjadi peningkatan reflektansi masing-masing sebesar 0,083 dan 0,079. Untuk kanal merah (4) dan kanal Cirrus (9) tidak menunjukkan perubahan yang berarti.

Pola perubahan nilai reflektansi akibat peristiwa kebakaran pada lahan bervegetasi hutan tersebut juga mirip untuk tipe vegetasi lainnya yaitu semak/belukar, ladang/tegalan dan perkebunan. Jadi secara umum dapat dikatakan bahwa peristiwa kebakaran hutan dan lahan pada lahan-lahan bervegetasi akan mempengaruhi nilai dan pola reflektansi yang terekam oleh sensor satelit, khususnya sensor OLI pada Landsat-8. Peristiwa ini akan menyebabkan penurunan nilai reflektansi pada spektrum tampak untuk kanal 1 (*blue*), 2 (*blue*), dan 3 (*green*). Penurunan paling besar terjadi kanal inframerah dekat (NIR). Proses kebakaran juga akan meningkatkan nilai reflektansi kanal-kanal SWIR, yaitu kanal 6 dan 7. Sedangkan pada kanal 4 (merah) dan 9 (cirrus), tidak memperlihatkan perubahan yang berarti. Secara lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 6 dan Gambar 4.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *burned area* dari masing-masing tipe vegetasi memiliki nilai *D-value* yang bervariasi (Tabel 7). Secara lebih khusus diketahui bahwa untuk hutan dan perkebunan, separabilitas paling tinggi dimiliki oleh kanal 7. Sedangkan untuk semak/belukar dan ladang/tegalan, separabilitas paling tinggi dimiliki oleh kanal 5. Jadi secara umum, kanal 5 (NIR) dan 7 (SWIR_{Long}) memiliki separabilitas paling tinggi di antara kanal-kanal lainnya untuk dipergunakan dalam memisahkan *burned area* dan *unburned area*.

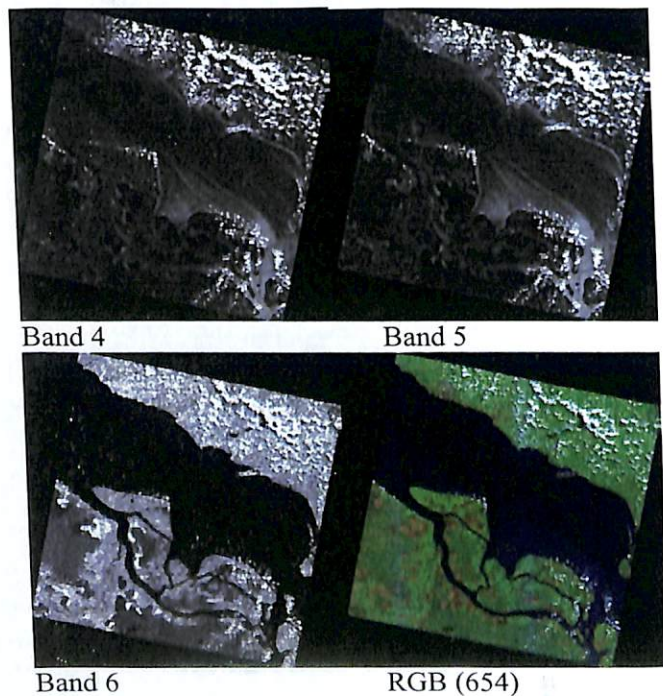
Apabila dikombinasikan untuk memahami fenomena kebakaran hutan dan lahan, khususnya untuk deteksi *burned area*, dari kedua kanal tersebut dapat dirumuskan suatu formulasi indeks kebakaran, yaitu *Normalized Burn Ratio* (NBR) seperti yang sebelumnya telah dikembangkan oleh Key and Benson,²⁸ Martin *et al.*²⁹ dan Bastarika *et al.*³⁰ Rumusan NBR dari data citra Landsat-8 OLI tersebut adalah:

$$NBR_L = \frac{\rho_5 - \rho_7}{\rho_5 + \rho_7} \quad (4)$$

dimana NBR_L merupakan *Normalized Burn Ratio* menggunakan *band 5* dan *band 7* (SWIR_{Long}), serta ρ_5 dan ρ_7 berturut-turut merupakan nilai reflektansi *band 5* dan *band 7*.

KESIMPULAN

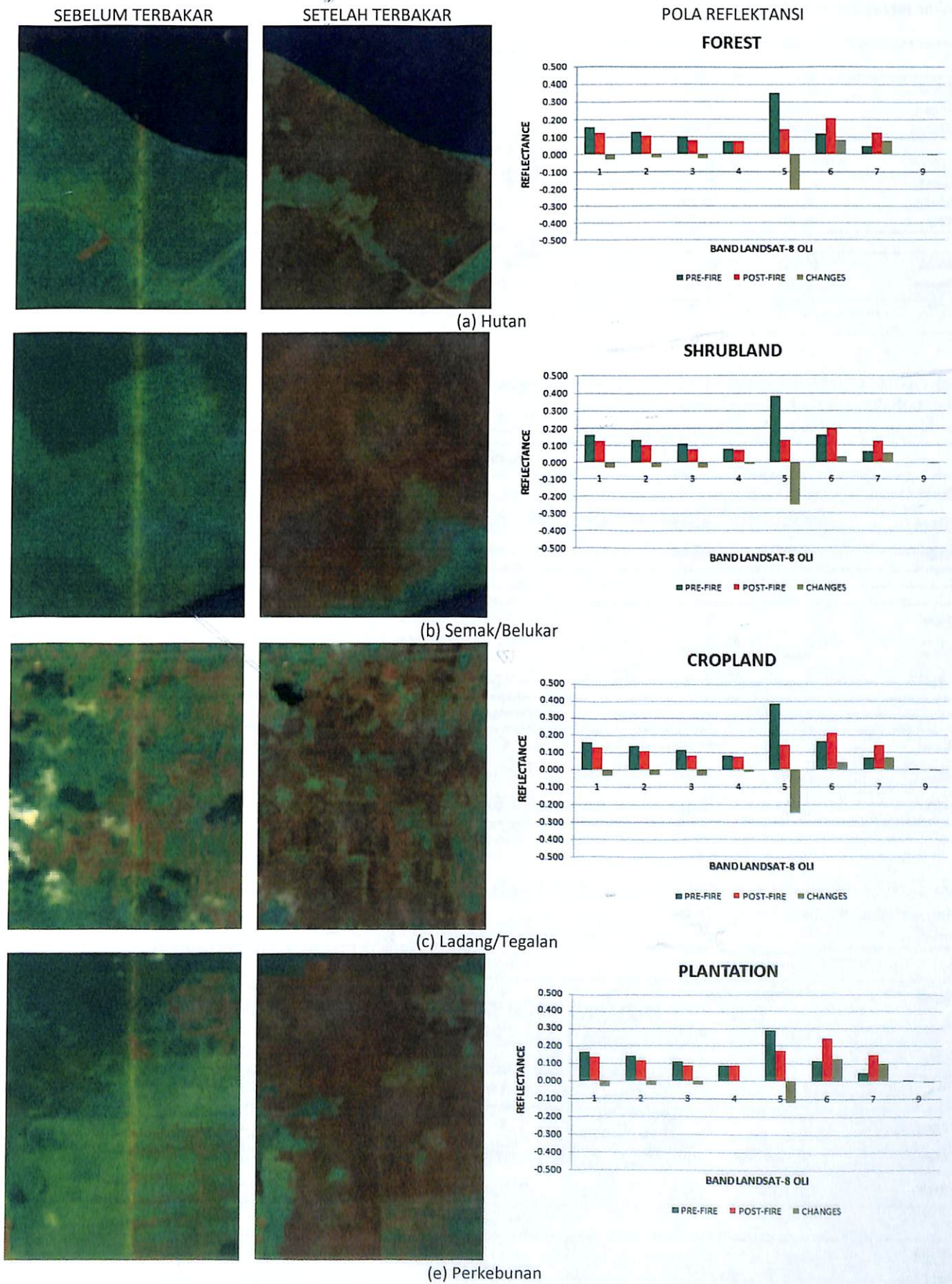
Peristiwa kebakaran hutan dan lahan pada lahan-lahan bervegetasi akan mempengaruhi nilai dan pola reflektansi yang terekam oleh sensor satelit, khususnya sensor OLI pada Landsat-8. Peristiwa ini akan menyebabkan penurunan nilai reflektansi pada spektrum tampak untuk kanal 1 (*blue*), 2 (*blue*), dan 3 (*green*). Penurunan paling besar terjadi kanal inframerah dekat (NIR). Proses kebakaran juga akan meningkatkan nilai reflektansi kanal-kanal SWIR, yaitu kanal 6 dan 7. Sedangkan pada kanal 4 (merah) dan 9 (cirrus), tidak memperlihatkan perubahan yang berarti. Separabilitas paling tinggi untuk memisahkan *burned area* dan *unburned area* dimiliki oleh kanal 7 (SWIR_{Long}) dan 5 (NIR). Dengan menggunakan gabungan kedua kanal tersebut dapat diturunkan rumusan *Normalized Burn Ratio* dari Landsat-8.



Gambar 2. Visualisasi citra komposit warna RGB 654 dari Landsat-8 pada lokasi penelitian (*scene 126/059*, citra tanggal akuisisi 21 Juni 2014).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak Mahdi Kartasmita dan Bapak Taufik Maulana atas segala bentuk diskusi beserta arahan dalam pengembangan riset pemanfaatan data optis untuk kebencanaan kebakaran hutan dan lahan.



Gambar 3. Citra Landsat-8 OLI RGB 654 yang memperlihatkan perubahan pada berbagai obyek vegetasi menjadi *burned area* beserta pola reflektansinya.

Tabel 2. Nilai reflektansi kanal-kanal Landsat-8 OLI pada obyek penutup lahan hutan dan perubahannya setelah terbakar menjadi *burned area*

Pre-fire								
Band	1	2	3	4	5	6	7	9
Mean	0,154	0,128	0,104	0,073	0,350	0,122	0,047	0,005
STD	0,006	0,006	0,007	0,005	0,060	0,025	0,010	0,001
Post-fire								
Band	1	2	3	4	5	6	7	9
Mean	0,127	0,105	0,080	0,076	0,142	0,204	0,126	0,001
STD	0,007	0,009	0,011	0,015	0,037	0,041	0,023	0,001
Changes								
Band	1	2	3	4	5	6	7	9
Mean	-0,028	-0,022	-0,024	0,002	-0,208	0,083	0,079	-0,004
STD	0,009	0,010	0,016	0,016	0,092	0,056	0,025	0,001

Tabel 3. Nilai reflektansi kanal-kanal Landsat-8 OLI pada obyek penutup lahan semak belukar dan perubahannya setelah terbakar menjadi *burned area*

Pre-fire								
Band	1	2	3	4	5	6	7	9
Mean	0,159	0,133	0,111	0,081	0,384	0,159	0,067	0,004
STD	0,006	0,006	0,006	0,009	0,054	0,038	0,028	0,001
Post-fire								
Band	1	2	3	4	5	6	7	9
Mean	0,124	0,102	0,075	0,070	0,131	0,195	0,124	0,001
STD	0,007	0,008	0,009	0,011	0,025	0,028	0,016	0,001
Changes								
Band	1	2	3	4	5	6	7	9
Mean	-0,035	-0,031	-0,036	-0,011	-0,253	0,036	0,058	-0,003
STD	0,011	0,012	0,013	0,016	0,059	0,039	0,024	0,001

Tabel 4. Nilai reflektansi kanal-kanal Landsat-8 OLI pada obyek penutup lahan ladang/tegalan dan perubahannya setelah terbakar menjadi *burned area*

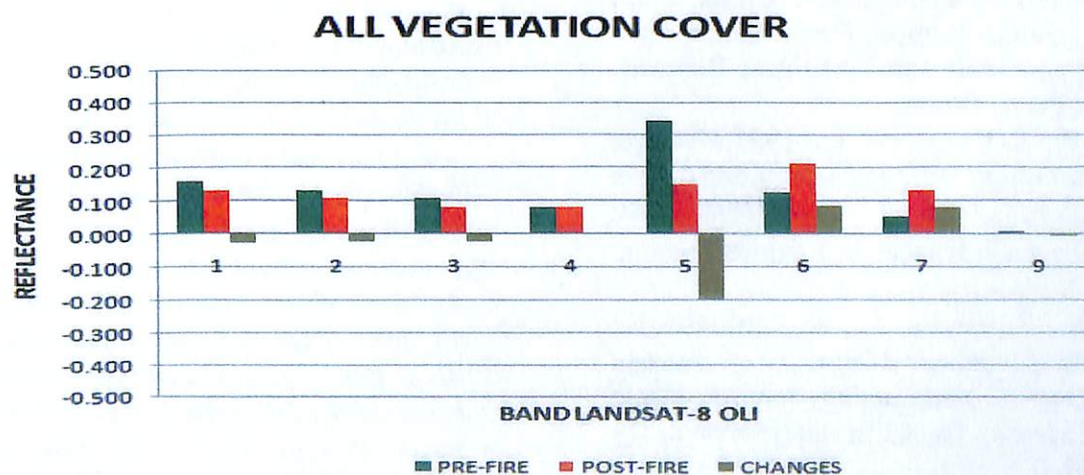
Pre-fire								
Band	1	2	3	4	5	6	7	9
Mean	0,162	0,137	0,115	0,083	0,387	0,167	0,069	0,006
STD	0,010	0,010	0,008	0,009	0,022	0,026	0,017	0,001
Post-fire								
Band	1	2	3	4	5	6	7	9
Mean	0,128	0,106	0,080	0,073	0,142	0,209	0,138	0,001
STD	0,004	0,005	0,006	0,007	0,021	0,022	0,021	0,000
Changes								
Band	1	2	3	4	5	6	7	9
Mean	-0,035	-0,031	-0,035	-0,010	-0,245	0,043	0,070	-0,005
STD	0,008	0,008	0,007	0,010	0,030	0,026	0,016	0,001

Tabel 5. Nilai reflektansi kanal-kanal Landsat-8 OLI pada obyek penutup lahan perkebunan dan perubahannya setelah terbakar menjadi *burned area*

Pre-fire								
Band	1	2	3	4	5	6	7	9
Mean	0,166	0,141	0,111	0,087	0,289	0,115	0,050	0,008
STD	0,005	0,005	0,003	0,004	0,035	0,025	0,010	0,001
Post-fire								
Band	1	2	3	4	5	6	7	9
Mean	0,136	0,115	0,090	0,090	0,168	0,243	0,145	0,001
STD	0,005	0,005	0,005	0,007	0,018	0,017	0,009	0,000
Changes								
Band	1	2	3	4	5	6	7	9
Mean	-0,030	-0,026	-0,021	0,003	-0,121	0,128	0,095	-0,006
STD	0,003	0,003	0,005	0,007	0,038	0,032	0,012	0,001

Tabel 6. Nilai reflektansi kanal-kanal Landsat-8 OLI pada obyek penutup lahan bervegetasi (gabungan hutan, semak belukar, ladang/tegalan, dan perkebunan) dan perubahannya setelah terbakar menjadi *burned area*

Pre-fire								
Band	1	2	3	4	5	6	7	9
Mean	0,157	0,131	0,106	0,077	0,343	0,126	0,050	0,005
STD	0,008	0,008	0,007	0,008	0,062	0,030	0,015	0,002
Post-fire								
Band	1	2	3	4	5	6	7	9
Mean	0,128	0,107	0,081	0,078	0,146	0,211	0,130	0,001
STD	0,008	0,009	0,011	0,015	0,035	0,040	0,021	0,001
Changes								
Band	1	2	3	4	5	6	7	9
Mean	-0,029	-0,024	-0,025	0,001	-0,197	0,085	0,079	-0,004
STD	0,009	0,010	0,014	0,015	0,089	0,056	0,025	0,002



Tabel 7. Separabilitas kanal-kanal Landsat-8 OLI dalam memisahkan obyek *burned area* dan *unburned area* dari masing-masing penutup lahan sebelumnya

PENUTUP LAHAN	SEPARABILITAS						
	1	2	3	4	5	6	7
HUTAN	2,03	1,52	1,32	0,12	2,14	1,25	2,42
SEMAK/BELUKAR	2,68	2,28	2,55	0,57	3,18	0,54	1,31
LADANG/TEGALAN	2,37	2,07	2,64	0,62	5,73	0,88	1,85
PERKEBUNAN	2,97	2,46	2,73	0,24	2,27	3,06	5,13
GABUNGAN	1,86	1,42	1,37	0,02	2,04	1,22	2,18

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Tacconi, L. (2003). *Fires in Indonesia: causes, costs, and policy implications*. CIFOR Occasional Paper No.38, Bogor, Indonesia.
- ²IPCC, 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol.4 Agriculture, Forestry and Other Land Use*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ³Cochrane, M.A., 2003. *Fire science for rainforests*. Nature, 421, 913-919.
- ⁴Landsat Missions Timeline. (<http://landsat.usgs.gov>), diakses 16 April 2013.
- ⁵Irons, J.R., Dwyer, J.L., Barsi, J.A., 2012. *The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission*. Remote Sensing of Environment 122, 11-21.
- ⁶Suwarsono, Rokhmatuloh, & Waryono, T., 2013. *Pengembangan model identifikasi daerah bekas kebakaran hutan dan lahan (burned area) menggunakan citra MODIS di Kalimantan*, Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital, 10(2), 93-112.
- ⁷Suwarsono, 2014. *Deteksi daerah bekas kebakaran hutan/lahan (burned area) menggunakan citra penginderaan jauh, suatu tinjauan*, Bunga Rampai Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Mitigasi Bencana. Crestpent Press. Bogor
- ⁸Martin, 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.
- ⁹Fraser, 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.
- ¹⁰Roy, 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.
- ¹¹Fraser, R.H., Li, Z., & Cihlar, J., 2000. *Hotspot and NDVI Differencing Synergy (HANDS): A New Technique for Burned Area Mapping Over Boreal Foresy*, Remote Sensing of Environment, 72, 362-376.
- ¹²Goetz, 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.
- ¹³Li, 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.
- ¹⁴Kasischke, 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.
- ¹⁵Lloret, F., Calvo, E., Pons, X., & Delgado, R.D., 2002. *Wildfire and Landscape Patterns in the Eastern Iberia Peninsula*, Landscape Ecology, 17, 745-759.
- ¹⁶Salvador, 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.
- ¹⁷Suwarsono, Yulianto, F., Parwati, & Suprpto, T., 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 Digital, 6, pp.54-64.
- ¹⁸Suwarsono, 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.

- ¹⁹Key, C.H., and N.C. Benson, 2002. *Measuring and Remote Sensing of Burn Severity*, U.S. Geological Survey wildland fire workshop.
- ²⁰Epting, 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.
- ²¹Cocke, 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.
- ²²Wagtendonk, 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.
- ²³Eidensink, 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.
- ²⁴Brewer, 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.
- ²⁵USGS, 2012. *Landsat Data Continuity Mission (LDCM) Level 1 (L1) Data Format Control Book (DFCB) Version 6.0*. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- ²⁶Using the USGS Landsat 8 Product. (<http://landsat.usgs.gov>, diakses 16 April 2013).
- ²⁷Kaufman, Y.J., Remer, L.A., 1994. *Detection of forest fire using Mid-IR reflectance: and application fro aerosols study*, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 32, 672-683.
- ²⁸Key, C. H., & Benson, N. C., 1999. *The Normalized Burn Ratio (NBR): A Landsat TM radiometric measure of burn severity*. U.S. Department of the Interior, Northern Rocky Mountain Science Centre. *The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 38(8), 275-280.
- ²⁹Martín, M. P., Gómez, I., & Chuvieco, E., 2005. *Performance of a burned-area index (BAIM) for mapping Mediterranean burned scars from MODIS data*. In J. Riva, F. Pérez-Cabello, & E. Chuvieco (Eds.), *Proceedings of the 5th International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to Forest Fire Management: Fire Effects Assessment* (pp. 193-198). Paris: Universidad de Zaragoza, GOFC-GOLD, EARSeL.
- ³⁰Bastarika, A., Chuvieco, E., & Martin., 2011. *Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors*. *Remote Sensing of Environment*, 115, 1003-1012.