

Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Landsat-8 untuk Identifikasi Daerah Terkena Bencana Erupsi Gunungapi Studi Kasus : Gunungapi Kelud

Hidayat¹, Suwarsono¹, Wiweka¹, Jalu Tejo Nugroho¹, dan Totok Suprpto¹

¹ Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN, Email :hid_lpn06@yahoo.com

Abstrak –Indonesia memiliki sekitar 129 gunungapi aktif yang berpotensi mengalami erupsi dan menimbulkan bencana. Bencana yang berasal dari erupsi gunungapi dapat berasal dari semburan lava pijar, jatuhnya piroklastik, dan juga dari aliran lahar dingin. Kejadian besar bencana erupsi gunungapi di awal tahun 2014, yaitu erupsi Gunungapi Kelud telah menimbulkan dampak bencana yang nyata yang telah merugikan kesehatan, menelan korban jiwa manusia, kerusakan permukiman, lahan pertanian, serta rusaknya infrastruktur. Mengingat dampak-dampak yang ditimbulkan oleh erupsi gunungapi tersebut maka diperlukan suatu upaya mitigasi bencana. Kehadiran citra Landsat-8 yang sudah dapat diterima sejak awal tahun 2013 membawa tantangan tersendiri di dalam pemanfaatannya untuk aplikasi di bidang kegunungpian. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi daerah terkena bencana erupsi gunungapi dengan memanfaatkan kanal-kanal pada citra Landsat 8, baik kanal reflektif maupun kanal termal. Penelitian mengambil obyek kajian G. Kelud yang mengalami erupsi pada tanggal 13-14 Februari tahun 2014 yang lalu. Metoda deteksi yang dikembangkan didasarkan pada pola reflektansi dan suhu kecerahan dari obyek material yang dirupsikan. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa pola reflektansi dan termal material hasil erupsi memiliki nilai yang spesifik dan dapat dipergunakan sebagai dasar untuk deteksi daerah terkena erupsi gunungapi. Spektrum inframerah Landsat-8 Band 5 (0.845 – 0.885 μm), Band 6 (1.560 – 1.660 μm) dan band 7 (2.11 – 2.29 μm) merupakan tiga band yang paling sensitif untuk deteksi obyek material erupsi (piroklastik) G. Kelud. Selain itu, daerah yang tertutup oleh material produk erupsi G. Kelud memiliki pola suhu yang spesifik. Berdasarkan nilai TB band 10, lava memiliki kisaran suhu lebih tinggi dibandingkan lahar dan ashfall, dan lahar memiliki kisaran suhu lebih tinggi dibandingkan ashfall. Pemakaian satu band (band 10) sudah cukup untuk mewakili kondisi suhu permukaan obyek piroklastik.

Kata kunci :Landsat-8, identifikasi, bencana erupsi, Gunung Kelud.

PENDAHULUAN

Menurut catatan dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi Indonesia memiliki sekitar 129 gunungapi aktif. Gunungapi aktif di Indonesia terbagi dalam tiga kelompok berdasarkan sejarah letusannya, yaitu tipe A sebanyak 79 buah, adalah gunung api yang pernah meletus sejak tahun 1600, tipe B sebanyak 29 buah adalah yang diketahui pernah meletus sebelum tahun 1600 serta tipe C sebanyak 21 buah yang merupakan lapangan solfatar dan fumarola (Bemmelen, 1949; van Padang, 1951; Kusumadinata 1979). Gunungapi aktif tersebut berpotensi mengalami erupsi dan menimbulkan bencana. Bencana yang berasal dari erupsi gunungapi dapat berasal dari semburan lava pijar, jatuhnya piroklastik, dan juga dari aliran lahar dingin. Kejadian besar bencana erupsi gunungapi di awal tahun 2014, yaitu erupsi Gunungapi Kelud telah menimbulkan dampak bencana yang nyata. Akibatnya, telah menelan korban jiwa manusia, kerusakan permukiman, lahan pertanian, serta rusaknya infrastruktur. Tak terkecuali, dampak kesehatan yang terjadi seperti ISPA yang diakibatkan oleh abu vulkanik yang terhirup oleh saluran pernapasan. Tak kurang kerugian secara ekonomis dapat mencapai angka milyaran rupiah.

Mengingat dampak-dampak yang ditimbulkan oleh erupsi gunungapi tersebut maka diperlukan suatu upaya mitigasi bencana. Sebagai negara yang sering terjadi bencana, usaha pemerintah untuk mengatasi bencana perlu dilakukan baik dari sisi teknologi, peraturan perundangan maupun sisi pendekatan sosial budaya. Di tingkat nasional, upaya penanggulangan bencana dikoordinasikan oleh BNPB. Dalam upaya penanggulangan bencana tersebut dibutuhkan peran serta instansi terkait sehingga terwujud suatu pendekatan penanggulangan yang integral, terpadu, dan komprehensif.

Dalam upaya penanggulangan bencana, ilmu dan teknologi memainkan peranan penting yang tidak bisa dilepaskan. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) merupakan salah satu lembaga pemerintah yang juga ikut aktif berperan dalam upaya penanggulangan bencana dengan kemampuan, sarana, dan prasarana yang dimilikinya. Melalui PerKa No. 2 Tahun 2011 dalam struktur organisasinya terdapat Bidang Lingkungan dan Mitigasi Bencana di bawah Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh. Bidang ini mempunyai tugas melaksanakan penelitian, pengembangan dan pemanfaatan penginderaan jauh untuk pemantauan lingkungan dan mitigasi bencana, serta melaksanakan penyiapan bahan kerjasama teknis di bidangnya. Bidang ini memanfaatkan teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) dalam upaya menjalankan tugasnya. Selain teknologi *remote sensing* LAPAN juga telah mengembangkan teknologi penerbangan dan satelit dalam upaya penanggulangan bencana, diantaranya pemetaan cepat daerah yang terkena bencana, khususnya yang diakibatkan oleh erupsi gunungapi. Data penginderaan jauh dapat dimanfaatkan untuk kegiatan tersebut karena data ini memiliki historis yang baik dan memiliki resolusi spasial yang memadai. Untuk itu, maka penelitian-penelitian untuk mengembangkan model pemetaan cepat sangat diperlukan. Beberapa peneliti di LAPAN telah mempublikasikan karya tulis terkait pemanfaatan data penginderaan jauh untuk aplikasi di bidang kegunungapian (Wikanti dkk., 2004; Suwarsono dkk., 2005; Susanto & Suwarsono, 2010a, 2010b, Yulianto dkk., 2012; Parwati dkk., 2013).

Kehadiran citra Landsat-8 yang sudah dapat diterima sejak awal tahun 2013 membawa tantangan tersendiri di dalam pemanfaatannya untuk aplikasi di bidang kegunungapian. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi daerah terkena bencana erupsi gunungapi dengan memanfaatkan kanal-kanal pada citra Landsat 8, baik kanal reflektif maupun kanal termal. Penelitian mengambil obyek kajian G. Kelud yang mengalami erupsi pada tanggal 13-14 Februari tahun 2014 yang lalu.

TINJAUAN PUSTAKA

Gunungapi Kelud

Secara administrasi, wilayah G. Kelud berada di tiga kabupaten, yaitu Kab. Kediri, Kab. Blitar dan Kab. Malang Provinsi Jawa Timur. Menurut Data Dasar Gunungapi, G. Kelud dengan koordinat puncak berada pada posisi $7^{\circ}56'00''$ LS / $112^{\circ}18'30''$ BT, Ketinggian puncak 1.731 m dpl dan ketinggian kawah 1113,9 m (Hadikusumo, 1960). Tipe gunungapi ini adalah strato (*stratovolcano*). Pos pengamatan berada di Desa Margomulyo, Kecamatan Wates, Kediri yang terletak pada koordinat $8^{\circ}55'40,14''$ LS / $112^{\circ}14'45,48''$ BT dan ketinggian 675 m dpl. Gambar 2-1 menunjukkan lokasi G. Kelud.

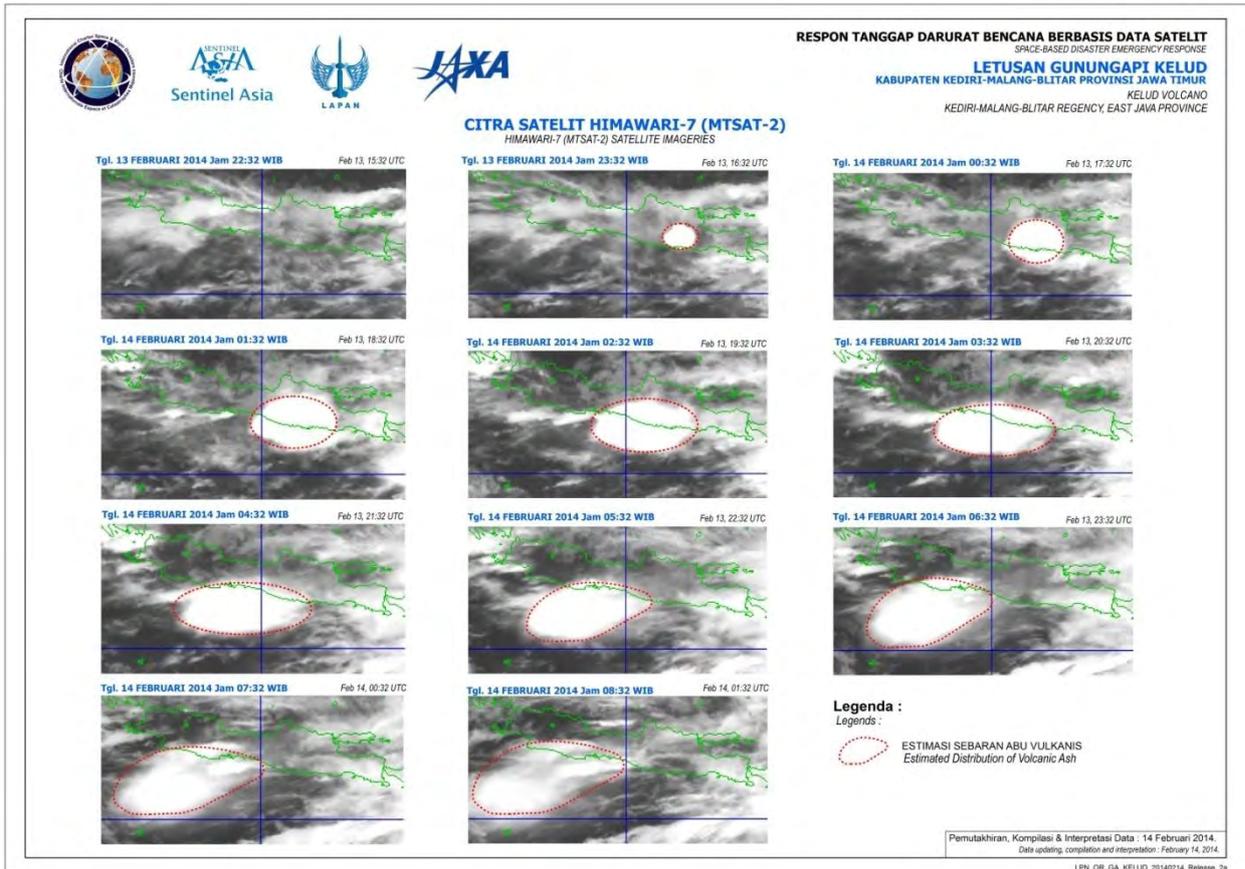


Gambar 1. Lokasi G. Kelud

Menurut Kadarsetia dkk. (2006), secara morfologis, Gunung Api Kelud ditandai oleh keberadaan beberapa bekas kawah yang tumpang tindih berbentuk tapal kuda di bagian tertentu. Hal ini mencirikan bahwa telah terjadi erupsi secara berulang dan bersifat eksplosif. Telah teridentifikasi sebuah danau kawah pada ketinggian + 1.200 m yang terbuka ke arah barat, dan diyakini sebagai bekas kaldera letusan yang telah terisi air, serta teramati masih menunjukkan aktivitas vulkanisme. Danau kawah tersebut dikelilingi oleh kubah-kubah lava seperti Gunung Lirang, Gunung Sumbing, Gunung Kelud, dan Gunung Gajah Mungkur. Lebih lanjut dijelaskan bahwa, menurut data sejarah letusan diketahui bahwa siklus aktivitas erupsi Gunung Api Kelud berkisar antara 15 sampai dengan 30 tahun. Peristiwa letusan terutama terjadi di bagian kawah yang berisi air pada ketinggian

>1600 m dpl dengan letusan berupa semburan lahar primer mencapai suhu 200° C (Kusumadinata, 1979). Begitu eksplosifnya letusan dan ditambah oleh keterlibatan air danau bervolume relatif besar mengakibatkan kerusakan yang dahsyat pada lahan pertanian, perkebunan, dan pemukiman termasuk sejumlah besar korban manusia tewas (Kadarsetia dkk. 2006)

Letusan terakhir Gunung Kelud terjadi pada tanggal 13-14 Februari 2014. Letusan Kelud 2014 dianggap lebih dahsyat daripada tahun 1990. Letusan ini mengeluarkan material piroklastik berupa abu, pasir, kerikil hingga bongkah-bongkah batuan yang sangat besar. Angin yang mengarah ke Barat menyebabkan hujan abu di daerah sebelah Barat G. Kelud. Bahkan abu tersebut mampu mencapai Ciamis Jawa Barat. Gambar 2 berikut memperlihatkan estimasi sebaran abu vulkanis akibat erupsi G. Kelud yang terpantau dari citra Himawari-7 (MTSAT-2) (www.lapan.go.id).



Gambar 2. Estimasi sebaran abu vulkanis akibat erupsi G. Kelud yang terjadi pada tanggal 13-14 Februari 2014 (sumber: www.lapan.go.id)

Karakteristik Data Landsat-8

NASA melakukan peluncuran satelit *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM) tanggal 11 Februari 2013. Satelit ini mulai menyediakan produk citra *open access* sejak tanggal 30 Mei 2013, menandai perkembangan baru dunia antariksa. NASA lalu menyerahkan satelit LDCM kepada USGS sebagai pengguna data terhitung 30 Mei tersebut. Satelit ini kemudian lebih dikenal sebagai Landsat 8. Pengelolaan arsip data citra masih ditangani oleh *Earth Resources Observation and Science* (EROS) Center. Landsat 8 hanya memerlukan waktu 99 menit untuk mengorbit bumi dan melakukan liputan pada area yang sama setiap 16 hari sekali. Resolusi temporal ini tidak berbeda dengan landsat versi sebelumnya. Sebenarnya landsat 8 lebih cocok disebut sebagai satelit dengan misi melanjutkan landsat 7 dari pada disebut sebagai satelit baru dengan spesifikasi yang baru pula. Ini terlihat dari karakteristiknya yang mirip dengan landsat 7, baik resolusinya (spasial, temporal, spektral), metode koreksi, ketinggian terbang maupun karakteristik sensor yang dibawa. Hanya saja ada beberapa tambahan yang menjadi titik penyempurnaan dari landsat 7 seperti jumlah band, rentang spektrum gelombang elektromagnetik terendah yang dapat ditangkap sensor serta nilai bit (rentang nilai Digital Number) dari tiap piksel citra. Seperti dipublikasikan oleh USGS, satelit landsat 8 terbang dengan ketinggian 705 km dari permukaan bumi dan memiliki area *scan* seluas 170 km x 183 km (mirip dengan landsat versi sebelumnya). NASA sendiri menargetkan satelit landsat versi terbarunya ini mengemban misi selama 5 tahun beroperasi (sensor OLI dirancang 5 tahun dan sensor TIRS 3 tahun). Tidak menutup kemungkinan umur produktif landsat 8 dapat lebih

panjang dari umur yang dicanangkan sebagaimana terjadi pada landsat 5 (TM) yang awalnya ditargetkan hanya beroperasi 3 tahun namun ternyata sampai tahun 2012 masih bisa berfungsi. Satelit landsat 8 memiliki sensor *Onboard Operational Land Imager (OLI)* dan *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* dengan jumlah kanal sebanyak 11 buah. Diantara kanal-kanal tersebut, 9 kanal (band 1-9) berada pada OLI dan 2 lainnya (band 10 dan 11) pada TIRS. Sebagian besar kanal memiliki spesifikasi mirip dengan landsat 7. Jenis kanal, panjang gelombang dan resolusi spasial setiap band pada landsat 8 dibandingkan dengan landsat 7 seperti tertera pada tabel di bawah ini :

Tabel 1. Perbandingan Kanal Landsat 7 dan 8

Sensor Thematic Mapper (L-7/ETM+)				Sensor OLI dan TIRS (L-8)			
No Kanal	Nama Spektrum	Julat Spektral (µm)	Resolusi spasial	No Kanal	Nama Spektrum	Julat Spektral (µm)	Resolusi spasial
1	Blue	0.45 – 0.52	30 m	1	Blue	0.43 – 0.45	30 m
2	Green	0.52 – 0.60	30 m	2	Blue	0.450 – 0.51	30 m
3	Red	0.63 – 0.69	30 m	3	Green	0.53 – 0.59	30 m
4	Near Infrared	0.77 – 0.90	30 m	4	Red	0.64 – 0.67	30 m
5	Near Infrared	1.55 – 1.75	30 m	5	NIR	0.85 – 0.88	30 m
6	Thermal Infrared	10.40 – 12.50	60 m	6	SWIR	1.57 – 1.65	30 m
7	Mid-Infrared	2.08 – 2.35	30 m	7	SWIR	2.11 – 2.29	30 m
8	Panchromatic	0.52 – 0.90	15 m	8	Panchromatic	0.50 – 0.68	15 m
				9	Cirrus	1.36 – 1.38	30 m
				10	TIRS 1	10.6 – 11.19	100 m
				11	TIRS 2	11.5 – 12.51	100 m

Ketersediaan Data

Data citra Landsat 8 baik OLI maupun TIRS dapat diperoleh dari Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). Sejak pertengahan tahun 2013, LAPAN mengoperasikan stasiun bumi (Ground Station) yang mampu mengakuisisi data Landsat 8. Sifat data adalah *free of charge* (dapat diperoleh secara gratis). Permintaan data dapat dilakukan secara langsung dengan mengajukan permohonan tertulis yang ditujukan kepada: Kepala Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh LAPAN.

METODOLOGI

Data

Data yang dipergunakan adalah Landsat-8 dengan scene 118/66 yang merekam wilayah G. Kelud di Jawa Timur, yaitu sebelum erupsi Tanggal 26 Juni 2013 dan setelah erupsi Tanggal 10 April 2014, dan 15 Juli 2014

Metode Pengolahan Data

Standar produk Landsat-8 produk yang disediakan oleh USGS EROS Center terdiri dari data Digital Number terkuantisasi dan terkalibrasi skala Numbers Digital (DN) yang mewakili data citra multispektral yang diakuisi oleh kedua sensor baik Operasional Land Imager (OLI) dan Thermal Infrared Sensor (TIRS).

Produk ini dibuat dalam format 16-bit unsigned integer dan dapat diskalakan dalam reflektansi Top Of Atmosphere (TOA) dan/atau radian menggunakan koefisien *rescaling* radiometrik yang disediakan dalam file metadata produk (file MTL). File MTL juga berisi konstanta termal yang diperlukan untuk mengkonversi data TIRS ke suhu kecerahan (brightness temperature).

a) Konversi DN ke Radiance

Data OLI dan TIRS dapat dikonversi ke TOA spectral radiance menggunakan faktor skala yang disediakan di dalam file metadata, dengan persamaan sebagai berikut:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \dots\dots\dots (3-1)$$

Dimana :

- L_{λ} : TOA spectral radiance (Watts/(m2 * srad * µm))
- M_L : Band-specific multiplicative rescaling factor yang diperoleh dari file metadata (RADIANCE_MULT_BAND_x, dimana x adalah nomor band)
- A_L : Band-specific additive rescaling factor yang diperoleh dari file metadata (RADIANCE_ADD_BAND_x, dimana x adalah nomor band)
- Q_{cal} : Quantized and calibrated standard product pixel values (DN)

b) Konversi DN ke Reflectance

Data OLI dapat juga dikonversi ke TOA planetary reflectance menggunakan faktor skala yang disediakan di dalam file metadata (MTL file), dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

Dimana :

- $\rho\lambda'$: TOA planetary reflectance, tanpa koreksisolar angle. Catatan bahwa $\rho\lambda'$ tidak memuat koreksi sun angle.
- M_p : Band-specific multiplicative rescaling factor yang diperoleh dari file metadata (REFLECTANCE_MULT_BAND_x, dimana x adalah nomor band)
- A_p : Band-specific additive rescaling factor yang diperoleh dari file metadata (REFLECTANCE_ADD_BAND_x, dimana x adalah nomor band)
- Q_{cal} : Quantized and calibrated standard product pixel values (DN)

TOA reflectance dengan koreksi sun-angle, dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{SE})} \quad \dots\dots\dots (3-3)$$

Dimana :

- $\rho\lambda$: TOA planetary reflectance.
- θ_{SE} : Local sun elevation angle. Sun elevation angle di pusat scene citra dalam derajat in degrees disediakan di file metadata (SUN_ELEVATION).
- θ_{SZ} : Local solar zenith angle; $\theta_{SZ} = 90^\circ - \theta_{SE}$

Untuk perhitungan reflektansi yang lebih akurat, per pixel solar angle dapat digunakan sebagai pengganti dari Sun elevation angle di pusat scene citra, tapi data sudut zenith matahari per pixel saat ini tidak disediakan dengan produk Landsat-8.

c) Konversi ke Brightness Temperature

Data TIRS dapat juga dikonversi dari spectral radiance ke Brightness Temperature dengan menggunakan konstanta termal yang disediakan di dalam file metadata (MTL file), dengan persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad \dots\dots\dots (3-4)$$

Dimana :

- T : brightness temperature pada satelit (K)
- L_λ : TOA spectral radiance (Watts/(m2 * srad * μ m))
- K_1 : Band-specific thermal conversion constant yang diperoleh dari file metadata (K1_CONSTANT_BAND_x, dimana x adalah nomor band, 10 or 11)
- K_2 : Band-specific thermal conversion constant yang diperoleh dari file metadata (K2_CONSTANT_BAND_x, dimana x adalah nomor band, 10 or 11)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola reflektansi

Beberapa contoh hasil penyusunan Landsat-8 dengan scene 118/66 yang merekam wilayah G. Kelud di Jawa Timur, yaitu sebelum erupsi Tanggal 26 Juni 2013, 1 November 2013 dan setelah erupsi Tanggal 10 April 2014, dan 15 Juli 2014 dilihat pada Gambar 3 dan 4 berikut.

Spektrum inframerah Landsat-8 Band 5 (0.845 – 0.885 μ m), Band 6 (1.560 – 1.660 μ m) dan band 7 (2.11 – 2.29 μ m) merupakan tiga band yang paling sensitif untuk deteksi obyek material erupsi (piroklastik) G. Kelud. Sedangkan band visibel (band 1, 2, 3 dan 4) memiliki respon yang rendah. Hasil pengukuran lapangan

dengan menggunakan spektrometer memperlihatkan pola yang mirip, dimana memiliki pantulan yang rendah pada spektrum visibel (Gambar 6).

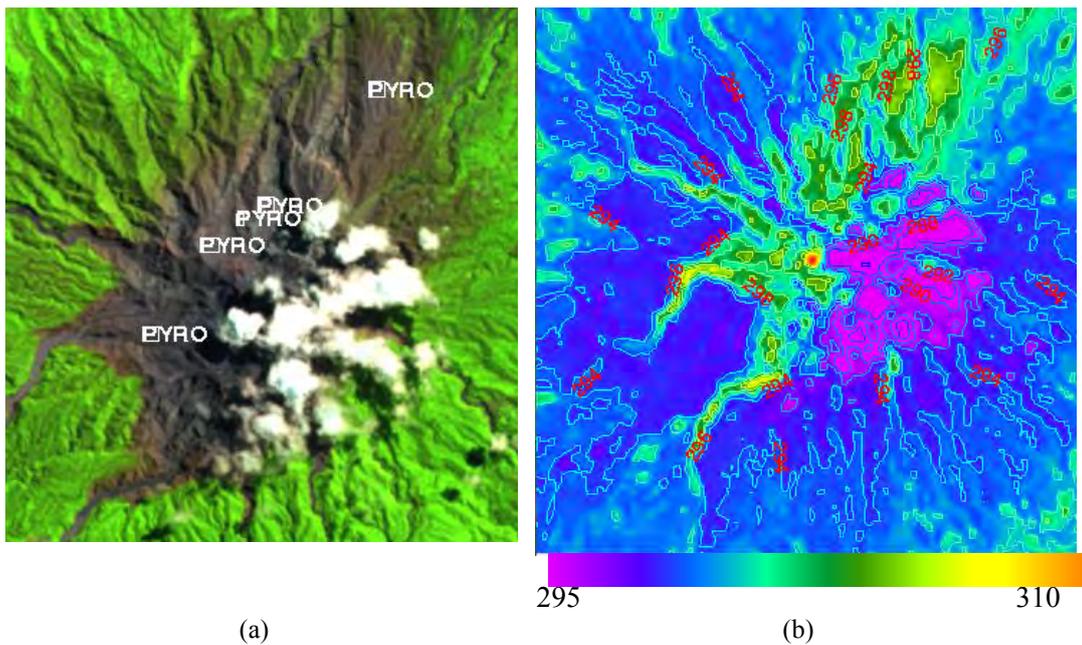


Citra LS-8 RGB 654, 1 Nov 2013
(Sebelum erupsi)



Citra LS-8 RGB 654, 10 April 2013
(Setelah erupsi)

Gambar 3. Landsat-8 Citra RGB 654 sebelum dan sesudah erupsi

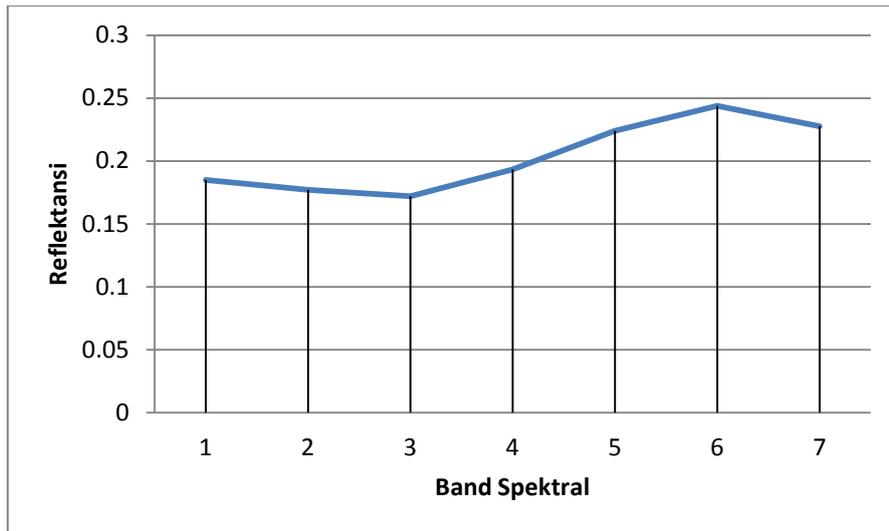
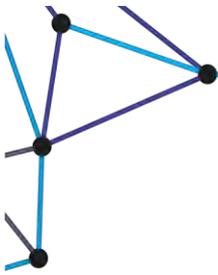


Gambar 4. Landsat-8 pasca erupsi (10 April 2014). (a) Citra RGB 654 daerah terkena erupsi Wilayah Gunung Kelud. (b) Brightness Temperature pada tubuh vulkan Wilayah Gunung Kelud

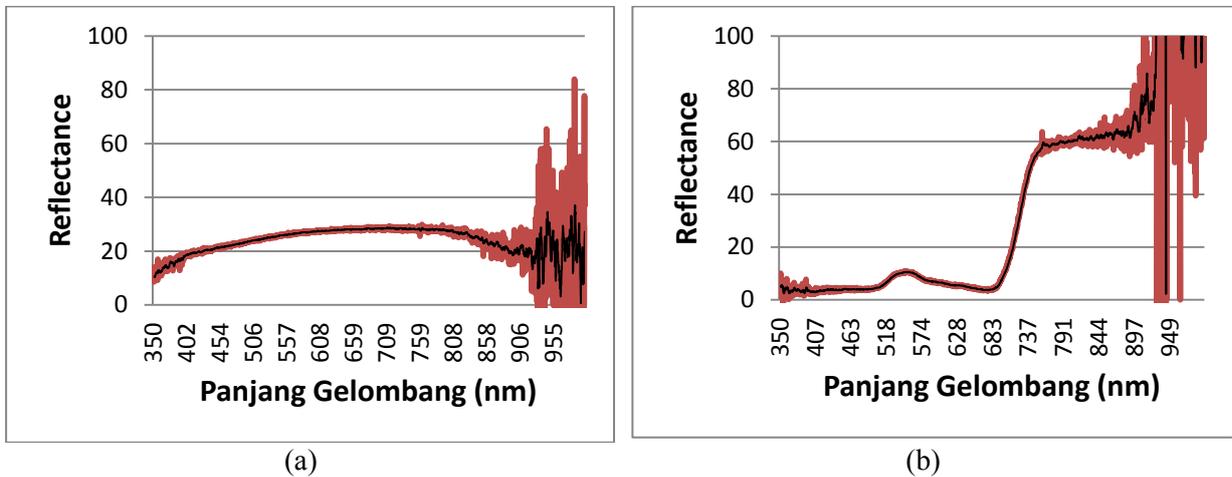
Material hasil erupsi piroklastik berupa batu apung (*pumice*) memiliki karakteristik spektral yang berbeda dengan vegetasi, atau obyek lainnya, sehingga kedua obyek tersebut akan mudah dapat dipisahkan berdasarkan nilai spektralnya.

Perhitungan Suhu Kecerahan dan Penentuan Sampling

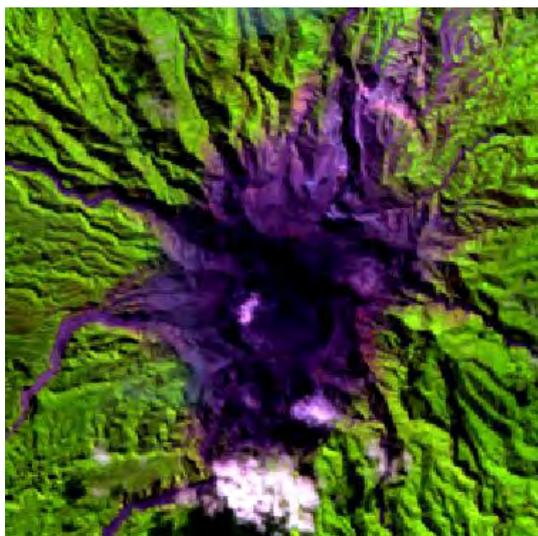
Berdasarkan hasil perhitungan terlihat bahwa daerah yang tertutup oleh material produk erupsi G. Kelud memiliki pola suhu yang spesifik, seperti terlihat secara spasial pada Gambar 7-8 dan Tabel 2.



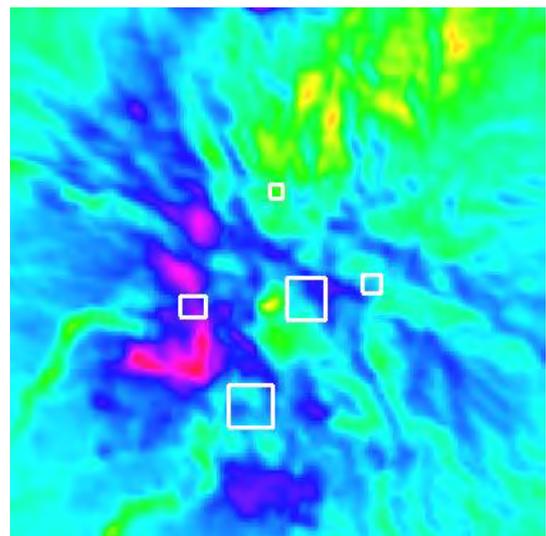
Gambar 5. Karakteristik spektral objek material erupsi citra Landsat-8 (piroklastik)



Gambar 6. Nilai reflektansi hasil pengukuran lapangan obyek piroklastik-batu apung (pumice) (a) dan obyek vegetasi-tebu muda (b)



(a) Landsat 8 RGB 654 / 15 Juli 2014



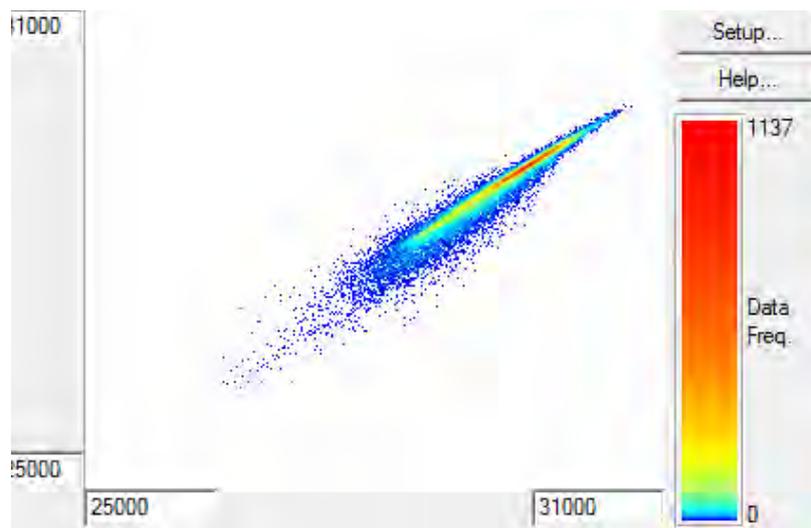
(b) TB 10 / 15 Juli 2014

Gambar 7. Training sampel untuk analisis nilai TB di G. Kelud

Nilai TB band 10 untuk obyek piroklastik bervariasi berkisar 286 hingga 297 K, dengan rerata 291 dan standar deviasi 2 K. Berdasarkan nilai TB band 10, lava memiliki kisaran suhu lebih tinggi dibandingkan lahar dan ashfall, dan lahar memiliki kisaran suhu lebih tinggi dibandingkan ashfall. Kisaran TB lava 306 hingga 330 K dengan rerata 311 K. Kisaran TB lahar 303 hingga 312 K dengan rerata 308 K, dan kisaran TB ashfall 284 hingga 292 K dengan rerata 290 K. TB10 dan TB 11 berkorelasi secara positif dan menunjukkan hubungan yang kuat. Jadi, pemakaian satu band (band 10) sudah cukup untuk mewakili kondisi suhu permukaan obyek piroklastik.

Tabel 2. Nilai TB obyek piroklastik G. Kelud(Landsat-8 / 15 Juli 2014)

OBJEK	TB	MIN	MAX	MEAN	STD
PYROCLASTICS	10	285.59	297.44	290.82	2.27
	11	281.80	292.22	286.73	2.00



Gambar 8. Scattergrams TB 10 (x-axis) dan TB 11 (y-axis), obyek produk erupsi (piroklastik) Gunungapi Kelud

KESIMPULAN

Pola spektral (nilai reflektansi) dan termal (suhu kecerahan) material hasil erupsi memiliki nilai yang spesifik dan dapat dipergunakan sebagai dasar untuk deteksi daerah terkena erupsi gunungapi. Spektrum inframerah Landsat-8 Band 5 (0.845 – 0.885 μm), Band 6 (1.560 – 1.660 μm) dan band 7 (2.11 – 2.29 μm) merupakan tiga band yang paling sensitif untuk deteksi obyek material erupsi (piroklastik) G. Kelud. Selain itu, daerah yang tertutup oleh material produk erupsi G. Kelud memiliki pola suhu yang spesifik. Berdasarkan nilai TB band 10, lava memiliki kisaran suhu lebih tinggi dibandingkan lahar dan ashfall, dan lahar memiliki kisaran suhu lebih tinggi dibandingkan ashfall. Pemakaian satu band (band 10) sudah cukup untuk mewakili kondisi suhu permukaan obyek piroklastik.

DAFTAR PUSTAKA

- Asriningrum, W., Noviar, H., Suwarsono, 2004. Pengembangan Metode Zonasi Daerah Bahaya Letusan Gunungapi Studi Kasus Gunung Merapi. *Jurnal Inderaja* 1 (1), 66-75
- Bemmelen, R.W. van, 1949. *The geology of Indonesia*. Martinus Nijhoff, The Hague, Netherland.
- <http://www.lapan.go.id>. Diakses pada 2014-02-15
- Kadarsetia, E., Primulyana, S., Sitinjak, P., Saing, U.B., 2006. Karakteristik kimiawi air danau kawah Gunung Api Kelud, Jawa Timur pasca letusan tahun 1990. *Jurnal Geologi Indonesia* 1(4), 185-192.
- Kusumadinata, K., 1979. *Data Dasar Gunungapi Indonesia*. Direktorat Vulkanologi.
- Parwati, Yulianto, F., Suwarsono, Zubaidah, A., Suprpto, T., Wiweka, 2013. Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Analisis Potensi Aliran Erupsi Gunung Api dan Banjir Lahar Dingin. *Majalah Inderaja* (4)6, 46-53.

Susanto & Suwarsono, 2010a. Sistem Informasi Bencana Gunung Api (Studi Kasus Gunung Api Salak Jawa Barat). *Berita Dirgantara* 11(4), 120-126.

Susanto & Suwarsono, 2010b. Sistem Mitigasi Bencana Alam Gunung Api Guntur Menggunakan Data Penginderaan Jauh. *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara* 5(4), 144-153.

Pratomo, I., 2006. Klasifikasi gunung api aktif Indonesia, studi kasus dari beberapa letusan gunung api dalam sejarah. *Jurnal Geologi Indonesia* 1(4), 209-227.

USGS, http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php, diakses pada 2013-06-01 03:48pm

Yulianto, F., Sofan, P., Khomarudin, M.R., Haidar, M., 2012. Extracting the damaging effects of the 2010 eruption of Merapi volcano in Central Java, Indonesia. *Natural Hazards*. DOI 10.1007/s11069-012-0438-4