

**IDENTIFIKASI STRUKTUR GEOLOGI DAN PENGARUHNYA
TERHADAP SUHU PERMUKAAN TANAH BERDASARKAN DATA
LANDSAT 8 DI LAPANGAN PANASBUMI BLAWAN
(IDENTIFICATION OF GEOLOGICAL STRUCTURE AND ITS IMPACT
TO LAND SURFACE TEMPERATURE BASED ON LANDSAT 8 DATA
ON BLAWAN GEOTHERMAL FIELD)**

Anjar Pranggawan Azhari^{*)1}, Sukir Maryanto^{}), dan Arief Rachmansyah^{***})**

^{*)}Program Pascasarjana Fisika, Universitas Brawijaya, Malang

^{}Jurusan Fisika, Universitas Brawijaya, Malang**

^{*}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya, Malang**

¹e-mail: sukir@ub.ac.id (*coressponding author*)

Diterima 19 Januari 2016; Direvisi 4 April 2016; Disetujui 11 Mei 2016

ABSTRACT

This paper presented used remote sensing method for identification geological structure on Blawan-Ijengeothermal field and its system. Remote sensing data, specifically Landsat 8 and DEM SRTM, provide lineaments from the 753 multispectral band and the land surface temperature (LST) from single thermal infra red band using a retrieval method. Surface emissivity was determined based on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of study area. Remote sensing analysis is good approach to identification of geological structure from surface that control thermal manifestation in Blawan geothermal field. It shows Blawan fault is the main structure in geothermal field which associated with high LST and hot springs. Interpretation indicated reservoir of Blawan-Ijen geothermal system spread from Plalangan to southwest area.

Keywords: *Fault, Blawan-Ijen, Geothermal, Landsat, LST*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur geologi dan gambaran sistem panasbumi Blawan-Ijen dengan aplikasi penginderaan jauh. Data penginderaan jauh khususnya citra multispektral komposit 753 Landsat 8 dan DEM SRTM digunakan sebagai data untuk mendelineasi struktur patahan di permukaan. Suhu permukaan tanah diperoleh dari pengolahan citra thermal inframerah Landsat 8 dengan bantuan metode semi empiris. Emisivitas permukaan diperoleh berdasarkan klasifikasi indeks vegetasi NDVI daerah penelitian. Analisis data penginderaan jauh merupakan pendekatan yang cukup baik dalam mengidentifikasi struktur geologi yang mengontrol manifestasi panasbumi Blawan. Hasil interpretasi menunjukkan patahan Blawan adalah struktur utama di daerah geothermal Blawan yang berasosiasi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi dan deretan mata air panas. Interpretasi mengindikasikan reservoir sistem panasbumi Blawan berada di bawah permukaan Plalangan dan menerus dari Plalangan menuju arah barat daya daerah penelitian.

Kata kunci: *Patahan, Blawan-Ijen, Panasbumi, Landsat, Suhu permukaan tanah*

1 PENDAHULUAN

Daerah penelitian yaitu Kompleks Ijen berada di Jawa Timur. Kompleks Ijen secara morfologi ditandai oleh kaldera Kendeng yang berdiameter 14-16 km di Utara dan deretan pegunungan di Selatan. Kompleks Ijen bermula akibat adanya proses vulkanik *Quaternary* dan erupsi pada gunung Ijen Tua. Di bagian dalam kaldera, topografi didominasi oleh banyak kerucut vulkanik (Bergen *et al.*, 2000). Dominasi batuan di kaldera Ijen yaitu batuan Ijen tua di utara dan batuan Ijen muda di kaldera internal (Sujanto *et al.*, 1988). Batuan Ijen tua terdiri dari breksi, lava, dan basalt-tuf, sedangkan batuan Ijen muda terdiri dari tuf, breksi, dan lava (Utama *et al.*, 2012). Terbentuknya Kaldera Ijen diikuti oleh terbentuknya danau purba Blawan, dengan diameter lebih dari 5 km, yang pernah ada di dalam Kaldera Ijen. Danau ini meninggalkan jejak lapisan sedimen klastik yang cukup tebal. Endapan danau ini terdapat di tebing bukit dan dataran luas yang sebagian tererosi oleh aliran sungai yang berada di wilayah ini dan tersesarkan oleh sebuah sesar (Sitorus *et al.*, 1990). Beberapa lokasi kemiringan lapisan ini terganggu oleh patahan yang terbentuk setelah Danau Blawan kering.

Daerah Blawan-Ijen adalah daerah berpotensi panasbumi (Afandi *et al.*, 2013; Raehanayati *et al.*, 2013). Potensi panasbumi di daerah ini

ditandai dengan adanya sebaran mata air panas di bagian utara dengan suhu tidak lebih dari 50°C. Munculnya mata air panas di sekitar Blawan akibat terbentuknya patahan di Kaldera bagian utara yang dikenal dengan nama Patahan Blawan (Zaenuddin *et al.*, 2012).

Struktur geologi seperti patahan dan rekahan seringkali mempunyai ciri tertentu di permukaan Bumi seperti kelurusan (Massinai *et al.*, 2014) dan patahan utama berasosiasi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi di daerah potensi panasbumi (Qin *et al.*, 2011). Di permukaan, patahan dapat mengontrol pembelokan aliran sungai yang cukup tajam dan mengikuti arah patahan (Somantri, 2008).

Ciri struktur patahan tersebut dapat ditampakkan dengan bantuan citra Landsat 8 yang memiliki sensor multispektral. Citra multispektral Landsat 8 cukup baik digunakan sebagai data dalam mendelineasi kelurusan struktur secara otomatis. Hasil delineasi otomatis dikaji kembali secara visual pada DEM SRTM untuk menentukan kelurusan yang merupakan patahan. Sedangkan gejala struktur patahan terhadap suhu permukaan tanah dapat ditampakkan dengan citra inframerah thermal (TIR) Landsat 8. Penginderaan jauh dengan citra inframerah thermal sudah banyak dimanfaatkan untuk memperoleh data mengenai suhu permukaan tanah khususnya di daerah

potensi panasbumi. Selain itu suhu permukaan tanah merupakan salah satu indikator kunci pada daerah potensi panasbumi.

Berdasarkan hal-hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk i) mengidentifikasi struktur patahan secara otomatis berdasarkan kelurusan citra multispektral Landsat 8 dan menentukan pengaruhnya terhadap suhu permukaan tanah berdasarkan citra inframerah thermal Landsat 8 pada daerah penelitian, dan ii) menginterpretasi sistem panasbumi Blawan secara konseptual.

2 DATA DAN METODE

2.1 Data

Data penginderaan jauh yang digunakan adalah citra Landsat 8 OLI path 117 row 66 pada 8 Mei 2015 dan DEM SRTM 2012. Kedua data tersebut adalah data sekunder yang diunduh di laman USGS. Data multispektral Landsat 8 yang digunakan adalah band 7, band 5, dan band 3 untuk delineasi otomatis kelurusan struktur dengan metode *thresholding* sedangkan data DEM SRTM digunakan untuk delineasi secara visual. Data yang digunakan untuk menentukan estimasi suhu permukaan tanah adalah citra Landsat 8 band infra merah thermal dan citra multispektral band 5 dan band 4. Citra infra merah thermal yang digunakan hanya band 10.

Citra Landsat 8 berperan utama pada penelitian ini dimana sebaran suhu permukaan tanah dihitung berdasarkan citra inframerah thermalnya sedangkan struktur patahan didelineasi dari kelurusan hasil otomatisasi yang digunakan sebagai data pelengkap keberadaan patahan baru di lapangan yang tidak ditampilkan oleh peta geologi (Sujanto *et al.*, 1988) yang ada.

2.2 Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

2.2.1 Delineasi struktur patahan

Delineasi struktur patahan dilakukan dengan delineasi kelurusan struktur secara otomatis dengan metode *thresholding* kemudian dikaji secara visual hingga didapatkan struktur patahan pada fokus daerah penelitian. Tahapan dari delineasi tersebut yaitu dibuat komposit citra 753 Landsat 8. Pemilihan citra multispektral Landsat 8 komposit band 753 dikarenakan komposit band ini adalah yang terbaik dalam menampilkan struktur geologi (Hashim *et al.*, 2013). Komposit 753 terlebih dahulu dikoreksi radiometrik dengan *Top of Atmospheric (ToA) Reflectance*. Setelah itu, citra ditapis dengan operator Sobel 3x3. Terakhir citra hasil tapis didelineasi kelurusannya secara otomatis dengan algoritma *LINE* pada perangkat lunak *PCI Geomatica* dengan metode *thresholding*. Algoritma tersebut meliputi tiga tahapan yaitu *edge detection*, *thresholding*, dan *curve extraction*. Parameter yang digunakan pada delineasi ini adalah *RADI* (radius deteksi tepi), *GTHR* (nilai minimum gradien *threshold*), *LTHR* (panjang minimum untuk menyambungkan garis delineasi), *FTHR* (*error* maksimum dalam mencocokkan *polyline* ke lengkung piksel), *ATHR* (angular maksimum antar segmen dalam *polyline*), dan *DTHR* (piksel minimum untuk menyambungkan titik akhir antar garis). Besarnya nilai parameter yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada parameter terbaik dalam delineasi kelurusan pada tutupan lahan yang rapat yaitu *RADI*=3, *GTHR*=30, *LTHR*=30, *FTHR*=5, *ATHR*=30, dan *DTHR*=30 (Hashim *et al.*, 2013).

Hasil delineasi otomatis dibandingkan dengan delineasi secara visual pada citra DEM SRTM 2012 yang diberi efek *hill shading* dengan sudut iluminasi sebesar 10°. Delineasi pada DEM SRTM dilakukan dalam tampilan 2D dan 3D.

Analisis ketelitian hasil delineasi kelurusan struktur patahan masih terbatas secara kualitatif dengan cara tumpang tindih dan membandingkan arah kelurusan dominan kelurusan utama dengan patahan utama di peta geologi daerah penelitian.

2.2.2 Metode Perhitungan Suhu Permukaan Tanah

Suhu permukaan tanah pada daerah penelitian dihitung dengan metode semi empiris dimana emisivitas permukaan diperoleh berdasarkan klasifikasi nilai *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Nilai NDVI sendiri diperoleh dengan algoritma berikut ini

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (2-1)$$

Dengan ρ_{nir} dan ρ_{red} adalah nilai reflektansi kanal 5 dan kanal 4.

Nilai emisivitas tanah dikategorikan oleh Sobrino *et al.* dalam Qin *et al.* (2011) ke dalam tiga kelompok yaitu a) $NDVI < NDVI_s$ (0.2), nilai emisivitas tanahnya, ϵ_s , adalah 0.97, b) $NDVI > NDVI_v$ (0.65), nilai emisivitas tanahnya (ϵ_v) adalah 0.99, dan c) $0.2 \leq NDVI \leq 0.65$, emisivitasnya dinyatakan oleh persamaan

$$\epsilon = mP_v + n \quad (2-2)$$

dengan

$$m = \epsilon_v - \epsilon_s - (1 - \epsilon_s)F\epsilon_v \quad (2-3)$$

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \right)^2 \quad (2-4)$$

$n = \epsilon_s + (1 - \epsilon_s)F\epsilon_v$	(2-5)
--	-------

Dimana $F = 0.55$ serta $NDVI_v$ dan $NDVI_s$ secara berturut-turut merepresentasikan NDVI dari vegetasi dan tanah.

Suhu permukaan tanah diperoleh dari pengolahan kanal inframerah thermal citra Landsat 8 yaitu kanal 10. *Digital number* kanal 10 terlebih dahulu diubah ke dalam bentuk radiansi. Suhu permukaan tanah dihitung mengikuti

persamaan Jimenez-Munoz dan Sobrino dalam Qin *et al.* (2011) sebagai berikut:

$$T_s = \frac{T_{sensor}}{1 + \left(\lambda \frac{T_{sensor}}{hc/j} \right) \ln \epsilon} - 273 \quad (2-6)$$

dengan T_s adalah suhu permukaan tanah dalam °C, λ adalah panjang gelombang emisi radiansi efektif pada sensor TIR (11.5µm), h adalah tetapan Planck (6.626x10⁻³⁴ Js), c adalah kecepatan cahaya (2.998 x 10⁸ m.s⁻¹), j adalah tetapan Boltzmann (1.38 x 10⁻²³ JK⁻¹). T_{sensor} adalah kecerahan suhu dalam satuan Kelvin yang dihitung berdasarkan persamaan berikut (USGS, 2015):

$$T_{sensor} = \frac{K_2}{\ln\left(1 + \frac{K_1}{L_{sensor}}\right)} \quad (2-7)$$

dengan K_1 dan K_2 adalah tetapan konversi spesifik kanal inframerah thermal yang terdapat pada metadata citra, dan L_{sensor} adalah *digital number* kanal10 yang telah diubah ke dalam nilai radiansi.

Validasi suhu permukaan tanah yang dihasilkan dari data Landsat 8 dilakukan dengan membandingkan *trend* nilainya dengan hasil pengecekan di lapangan pada beberapa titik. Perbandingan keduanya dapat dilihat pada Gambar 3-6.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kelurusan Struktur dari Penginderaan Jauh

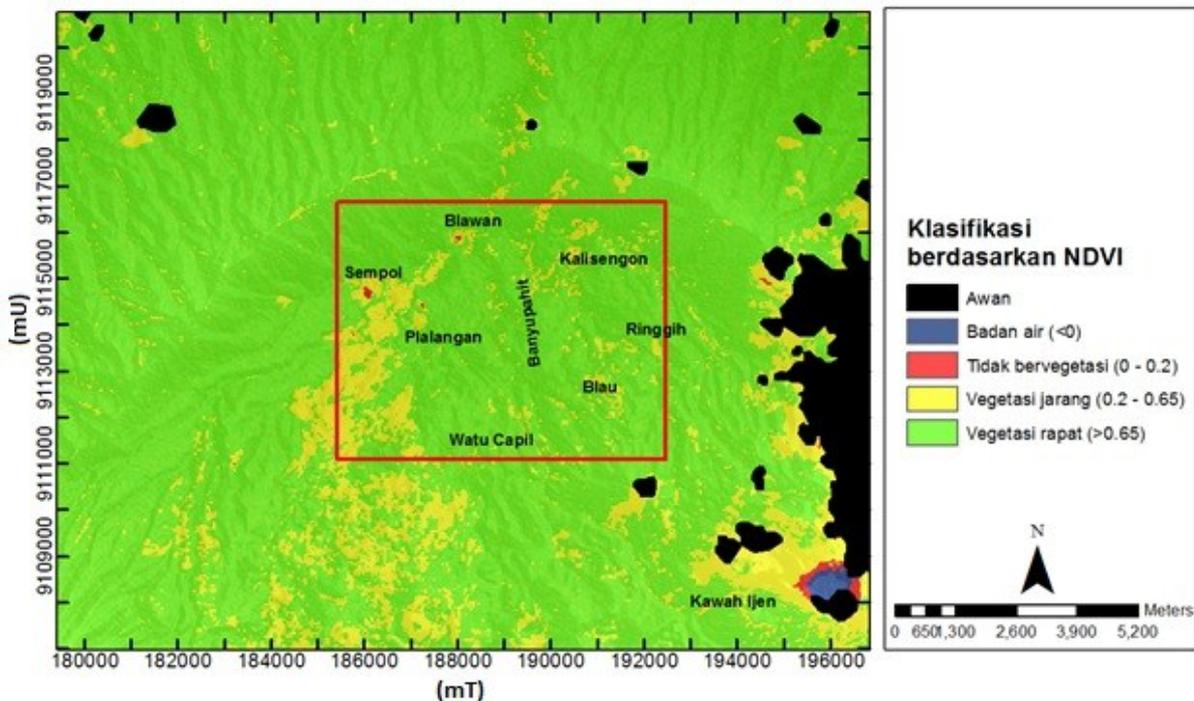
Hasil delineasi otomatis pada citra Landsat 8 OLI komposit 753 ditunjukkan oleh Gambar 3-1. Kelurusan yang terdelineasi otomatis pada Gambar 3-1 masih berasosiasi dengan pola pengarian dan jalan raya sehingga dibandingkan dengan analisis visual 2D dan 3D DEM SRTM (Gambar 3). Hasil akhir delineasi kelurusan struktur yang terdiri dari tujuh patahan ditunjukkan oleh Gambar 3.2.

resolusi citra Landsat 8 yang terbatas sebesar 30 meter.

3.2 Indeks Vegetasi dan Suhu Permukaan Tanah dari Landsat 8 OLI

Indeks vegetasi yang dinyatakan oleh NDVI pada Gambar 3-4 dihitung dengan menggunakan persamaan 2-1. Indeks vegetasi menyatakan kerapatan vegetasi yang menutupi suatu permukaan. Nilai indeks vegetasi NDVI dapat dijadikan untuk menentukan emisivitas permukaan secara empiris dan mampu menonjolkan aspek kerapatan vegetasi secara implisit (Danoedoro, 2012). Kerapatan vegetasi dan tutupan lahan diklasifikasikan sebagai badan air untuk $NDVI < 0$, lahan gundul atau tidak bervegetasi untuk $0 \leq NDVI < 0.2$, lahan campuran atau bervegetasi jarang untuk $0.2 \leq$

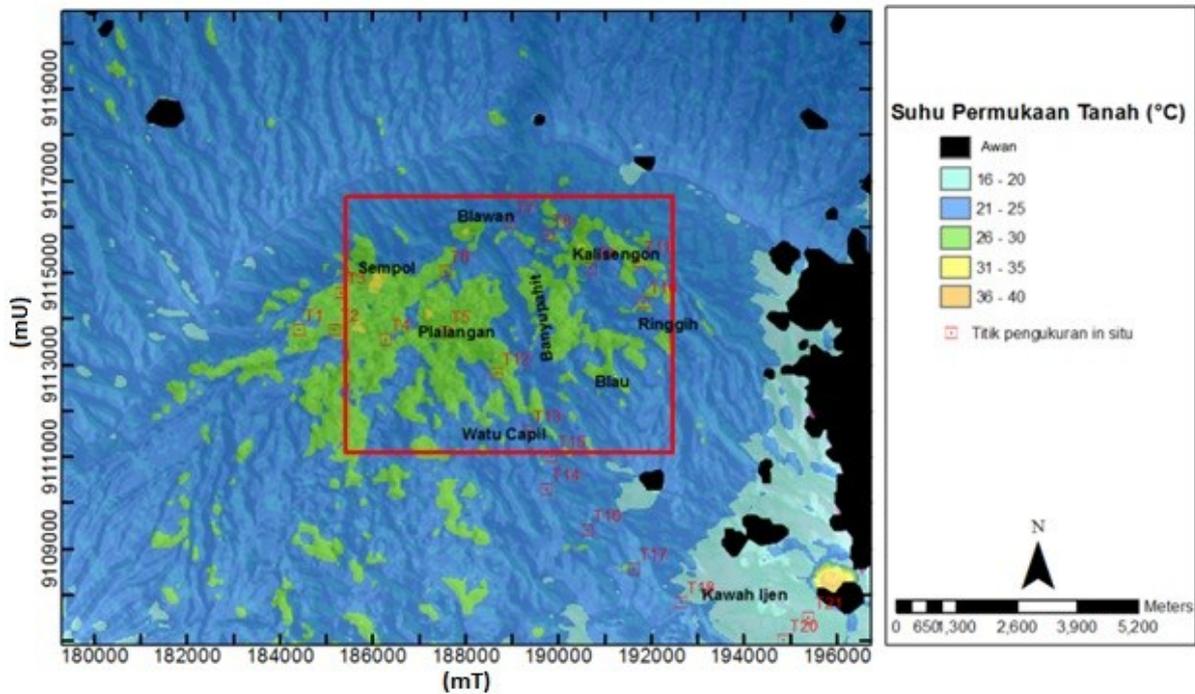
$NDVI \leq 0.65$ (Sobrino *et al.*, 2004), dan lahan bervegetasi rapat untuk $NDVI > 0.65$ (Qin *et al.*, 2011). Pada kotak merah (Gambar 3-4) sebagai daerah fokus penelitian, lahan bervegetasi rapat mendominasi permukaan diikuti oleh lahan campuran dan lahan gundul. Bagian barat daerah penelitian didominasi oleh lahan campuran. Lahan campuran dengan vegetasi jarang ini tersebar semakin luas dari utara ke selatan. Daerah yang ditandai oleh warna merah adalah lahan gundul. Daerah ini berada di Sempol dan Blawan. Lahan gundul ini mengindikasikan bahwa daerah ini lebih aktif secara thermal di bawah permukaan dibandingkan dengan lahan campuran dan lahan bervegetasi rapat (Mia *et al.*, 2014).



Gambar 3-4: Klasifikasi lahan Kompleks Ijen dan daerah penelitian (kotak merah) berdasarkan NDVI dari Landsat 8 OLI 8 Mei 2015

Berdasarkan Gambar 3-5, estimasi suhu permukaan tanah pada fokus daerah penelitian lebih tinggi dibandingkan dengan area sekitarnya yang berada di dalam Kaldera Kompleks Ijen kecuali di kawah Gunung Ijen yang suhu permukaannya mencapai 36°C. Berdasarkan penelitian Gunawan *et al.* (2016) menggunakan kamera thermal *Forward-Looking Infrared (FLIR)* model T650sc menunjukkan suhu permukaan di kawah Ijen berkisar antara 21°C sampai 28°C pada September 2014 terkecuali pada bibir kawah yang terdapat fumarole yaitu 37,2°C sampai 39,5°C.

Suhu permukaan tanah pada fokus penelitian berkisar 21°C sampai 34°C sedangkan suhu permukaan tanah di Kompleks Ijen adalah 16°C sampai 40°C dan sebagian besar bernilai 21°C - 25°C. Suhu permukaan tanah sejatinya diperoleh dari radiasi total oleh panas interior Bumi dan panas permukaan tanah. Suhu atmosfer di permukaan secara lokal memiliki karakteristik yang identik dan dianggap konstan sehingga tidak mempengaruhi suhu permukaan secara ekstrim (Qin *et al.*, 2011).



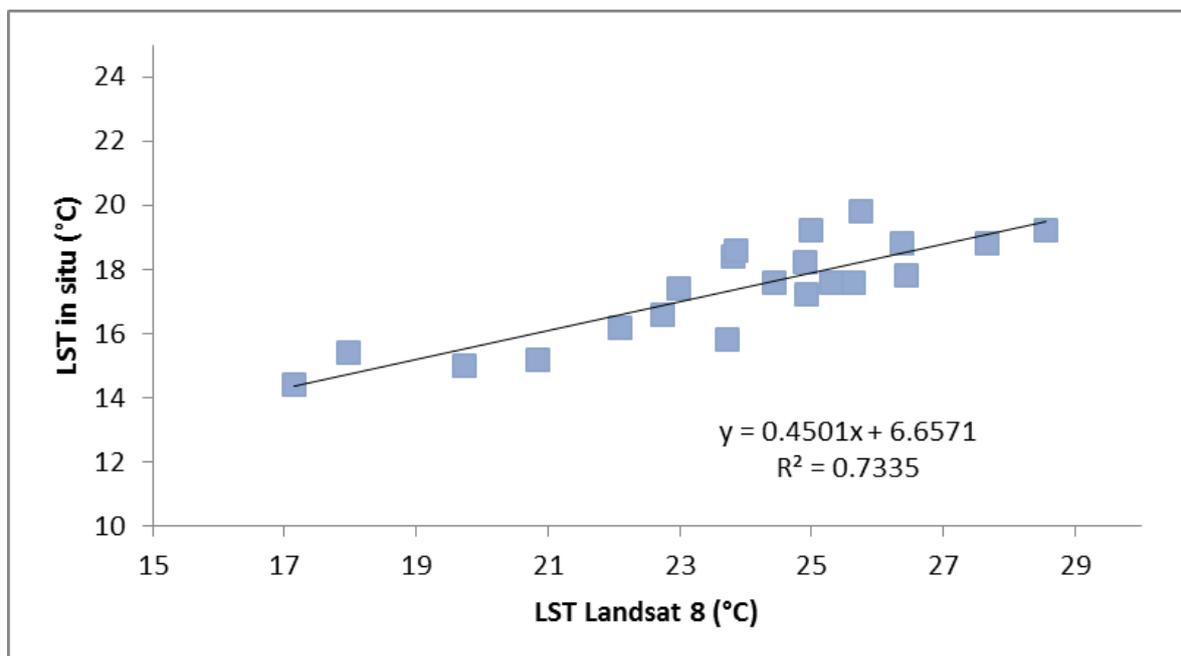
Gambar 3-5: Suhu permukaan tanah Kompleks Ijen dan fokus daerah penelitian (kotak merah) berdasarkan citra thermal Landsat 8 OLI 8 Mei 2015 dan 21 titik pengukuran di lapangan

Trend yang sama juga diperlihatkan oleh hasil pengukuran di lapangan pada beberapa titik. Perbandingan antara suhu permukaan tanah hasil pengukuran di lapangan dan hasil pengolahan citra ditunjukkan oleh grafik korelasi pada Gambar 3-6. Korelasi tersebut cukup erat dengan nilai $R^2=0.7335$.

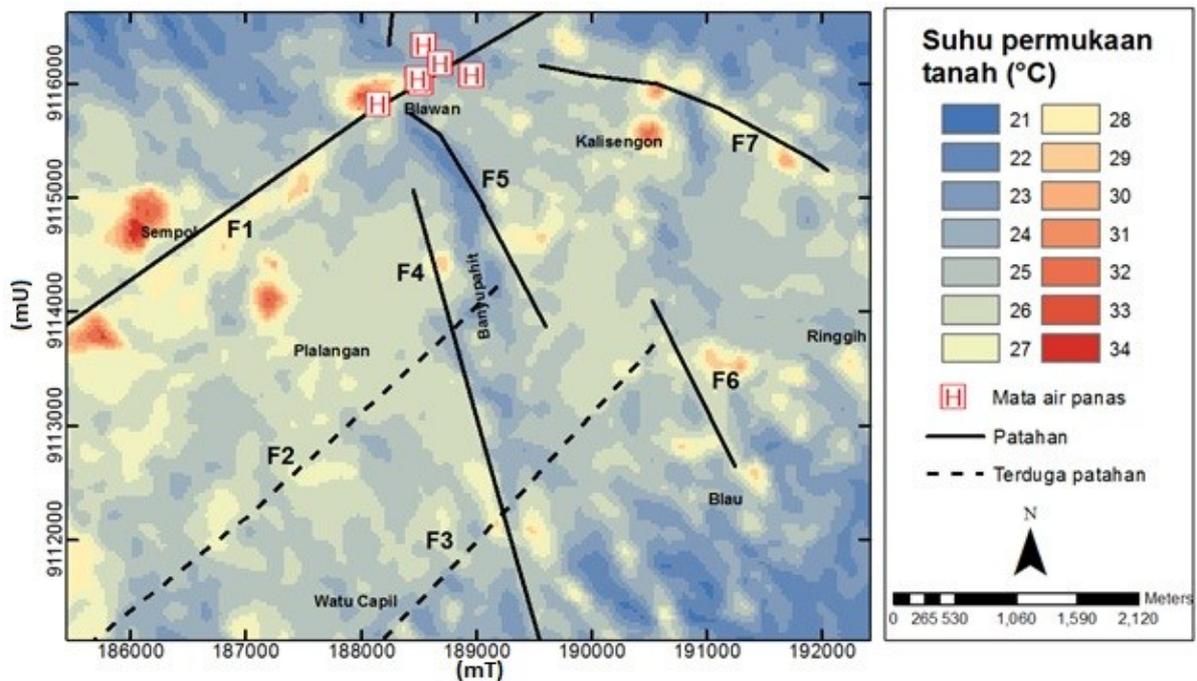
Konduktivitas batuan berperan utama sebagai jalur transfer panas di litosfer Bumi, namun konveksi panas tidak dapat diabaikan begitu saja pada lapangan panasbumi. Hal ini dikarenakan energi dari sumber panas pada sistem panasbumi ditransfer pula melalui fluida menuju permukaan. Salah satu fluida ini adalah air yang berada di bawah permukaan. Fluida ini bersirkulasi membawa panas di dalam lapisan reservoir panasbumi. Sebagian fluida bergerak menuju ke permukaan Bumi dan muncul sebagai mata air panas. Fluida panas ini bergerak melalui zona lemah seperti patahan dan rekahan yang terkoneksi ke reservoir. Beberapa kasus seperti yang dinyatakan oleh Qin *et al.* (2011) dan Wu *et al.* (2012) bahwa patahan berasosiasi dengan deretan

mata air panas dan suhu permukaan tanah yang tinggi.

Berdasarkan *overlay* antara struktur patahan dan suhu permukaan tanah pada Gambar 3-7, jelas terlihat bahwa pola patahan Blawan (F1) diikuti oleh pola suhu permukaan tanah yang tinggi (warna merah dan jingga) dan deretan mata air panas, sehingga patahan Blawan adalah patahan utama pengontrol manifestasi panas sistem panasbumi Blawan. Kondisi ini dikarenakan sebaran lapisan bawah permukaan yang membawa manifestasi panas bumi Blawan teridentifikasi menyebar mengikuti patahan Blawan dan pola aliran sungai yang mengarah ke timur laut setelah diinvestigasi dengan metode geolistrik dan *Ground Penetrating Radar* oleh Maryanto *et al.*, (2016). Lebih lanjut, lapisan pembawa panas di sekitar sungai merupakan lapisan berpori yang dapat dilalui fluida. Patahan lainnya tidak terasosiasi dengan suhu permukaan yang tinggi mengindikasikan patahan-patahan tersebut tidak mengontrol manifestasi panasbumi di area penelitian.



Gambar 3-6: Korelasi antara suhu permukaan tanah berdasarkan citra thermal Landsat 8 OLI 8 Mei 2015 dan suhu permukaan tanah di lapangan (in situ) bulan Mei pada 21 titik pengukuran



Gambar 3-7: Overlay struktur patahan dan mata air panas pada estimasi suhu permukaan tanah daerah penelitian berdasarkan citra thermal Landsat 8 OLI 8 Mei 2015

Arah pergerakan relatif dari patahan yang terdelineasi dapat diperkirakan. Patahan Blawan (F1) diperkirakan adalah patahan normal dimana blok di sepanjang selatan bergerak relatif turun dibandingkan blok di utara patahan Blawan. Topografi di blok selatan lebih rendah dibandingkan dengan topografi di utaranya. Jenis pergerakan yang sama dialami oleh patahan F5 dan F6 yaitu pergerakan patahan normal, dimana di sebelah barat patahan F5 dan F6 relatif bergerak turun. Selain membentuk graben bersama patahan F5, struktur patahan F4 menyebabkan pergeseran sungai yang sangat tajam (Gambar 3-2 dan Gambar 3-3). Bukti ini mengindikasikan patahan F4 adalah kombinasi patahan normal dan patahan geser.

Zona luahan pada sistem panasbumi Blawan diperkirakan berada di sekitar desa Blawan. Zona luahan ini ditunjukkan oleh manifestasi panasbumi pada zona luahan adalah mata air panas Blawan. Mata air panas ini bergerak dan muncul ke permukaan melalui patahan Blawan. Selain itu zona luahan ditandai dengan suhu permukaan

yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah disekitarnya.

Air meteorik seperti air hujan bergerak masuk ke reservoir panasbumi dikarenakan adanya gaya gravitasi. Air bergerak dari tempat dengan elevasi tinggi menuju tempat elevasi rendah melalui celah-celah yang ada. Celah itu kemungkinan besar adalah struktur patahan-patahan di sekitar Sungai Banyupahit (F2, F3, F4, F5) dan patahan F6 di sekitar Gunung Blau. Struktur patahan ini ditandai pula dengan suhu permukaan tanah yang lebih rendah dibandingkan dengan suhu permukaan patahan Blawan seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 3-6. Berdasarkan tanda-tanda ini daerah Sungai Banyupahit dan Gunung Blau adalah zona *recharge* panasbumi Blawan.

Suhu permukaan tanah di Plalangan dan Blawan dipengaruhi secara langsung dari reservoir panas bumi yang memiliki gradien suhu yang lebih tinggi dibandingkan disekitarnya. Hal ini diperlihatkan oleh suhu permukaan tanah yang cukup tinggi dan seperti yang diungkapkan oleh Raehanayati *et al.*, (2013) dan Afandi *et*

al., (2013) bahwa reservoir panasbumi Blawan berada di bawah permukaan Plalangan dan Blawan. Reservoir panasbumi Blawan kemungkinan dipanaskan oleh intrusi di sekitar reservoir yang berada di Watu Capil (Raehanayati *et al.*, 2013; Riani *et al.*, 2013). Selain itu di tenggara reservoir terdapat Gunung Blau. Gunung Blau adalah jalur magma yang paling tua sekitar 50.000 tahun lalu yang berada di dalam kaldera Ijen (Bergen *et al.*, 2000).

Lebih jauh jika melihat Gambar 3-5 dan Gambar 3-7, suhu permukaan yang tinggi mengindikasikan reservoir panasbumi menerus dari Plalangan menuju barat daya. Klasifikasi NDVI (Gambar 3-4) pun mendukung hal ini dimana lahan campuran yang lebih aktif secara thermal mengikuti arah sebaran yang sama ke arah barat daya. Namun Utama *et al.*, (2012) menyatakan bahwa prospek panasbumi di Kompleks Ijen dibagi menjadi dua yaitu sistem yang mengarah ke Blawan dan sistem yang mengarah ke Gunung Djampit yang berada di barat daya daerah penelitian. Penyelidikan di daerah perkiraan kemenerusan untuk melihat batasan dari kedua sistem perlu dilakukan lebih lanjut untuk memahami sistem di kompleks Ijen secara keseluruhan.

4 KESIMPULAN

Penggunaan data penginderaan jauh Landsat 8 dan DEM SRTM dapat digunakan untuk mendeteksi struktur geologi baru di daerah Blawan-Ijen serta pengaruhnya terhadap suhu permukaan tanah. Hasil penelitian mengindikasikan i) patahan Blawan sebagai patahan utama sebagai jalur fluida panas sehingga berasosiasi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi dengan korelasi antara suhu permukaan tanah in situ dan citra thermal Landsat 8 sebesar 0,73, ii) daerah Blawan adalah zona luahan dan daerah Sungai Banyupahit dan Gunung Blau sebagai zona *recharge* sistem panasbumi

Blawan, iii) adanya indikasi kemenerusan reservoir di bawah permukaan Blawan dan Plalangan menuju arah barat daya daerah penelitian yaitu ke arah Djampit.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi 2015, NSF – USAID 2015 PGA 2000005053, dan kelompok penelitian BRAVO ENERGEOBHAS (PHK RG-A) yang memberikan dukungan sekaligus pemikiran dalam penelitian ini serta USGS yang telah menyediakan citra Landsat 8 OLI, James Foster dari *University of Hawaii*, USA, atas masukan dan diskusinya.

DAFTAR RUJUKAN

- Afandi, A., Maryanto, S., dan Rachmansyah, A., 2013. *Identifikasi Reservoar Panasbumi Dengan Metode Geomagnetik Daerah Blawan Kecamatan Sempol Kabupaten Bondowoso*, Journal Neutrino Vol. 6, No. 1, October 2013.
- Bergen, M.J., Bernard, A., Sumarti, S., Sriwana, T., dan Sitorus, K., 2000. *Crater Lakes of Java: Dieng, Kelud and Ijen*, Excursion Guidebook IAVCEI General Assembly, Bali.
- Danoedoro, Projo, 2012. *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*, Penerbit ANDI Yogyakarta.
- Gunawan, H., Caudron, C., Pallister, J., Primulyana, S., Christenson, B., Mccausland, W., Hinsberg, V., Lewicki, J., Rouwet, D., Kelly, P., Kern, C., Werner, C., Johnson, J.B., Utami, S.B., Syahbana, D.K., Saing, U., Suparjan, Purwanto, B.H., Sealing, C., Cruz, M.M., Maryanto, S., Bani, P., Laurin, A., Schmid, A., Bradley, K., Nandaka, I.G.M.A., dan Hendrasto, M., 2016. *New Insights Into Kawah Ijen's Volcanic System From The Wet Volcano Workshop Experiment*, Geological Society London Special Publications, Vol. 437, doi.org/10.1144/SP437.7.
- Hashim, M., Ahmad, S., Johari, M.A.M., dan Pour, A.B., 2013. *Automatic Lineament Extraction in A Heavily Vegetated Region using Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) Imagery*, Advances in Space Research, Vol. 51, 874-890.

- Massinai, M.A., Rusman, S., dan Syamsuddin, 2014. *Struktur Geologi Sulawesi Barat Ditinjau dari Kelurusan Geomorfologi Regional*, Proceeding Seminar Nasional Geofisika 2014, Makassar, 13 September 2014.
- Mia, M.B., Nishijima, J., dan Fujimitsu, Y., 2014. *Exploration and Monitoring Geothermal Activity using Landsat ETM+ Images, A Case Study at Aso Volcanic Area in Japan*, Journal of Volcanology and Geothermal Research 275, 14-21.
- Qin, Q., Zhang, N., Nan, P., dan Chai, L., 2011. *Geothermal Area Detection using Landsat ETM+ Thermal Infrared Data and its Mechanistic Analysis – A Case Study in Tengchong, China*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 13, 552-559.
- Raehanayati, Maryanto, S., dan Rachmansyah, A., 2013. *Studi Potensi Geotermal Blawan-Ijen, Jawa Timur Berdasarkan Metode Gravity*, Jurnal Neutrino, Volume 6, No.1.
- Riani, E., Maryanto, S., dan Rachmansyah, A. 2013. *Subsurface Geological Survey Based on Gravity Method in Ijen Volcano, East Java*, Physics Student Journal UB, Vol. 1, No. 1, 62-64.
- Sitorus, K., M, A. Purbawinata, dan A. Zaennudin. 1990. *Geologi Kaldera Ijen*, Pusat vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Sobrino, J.A., Jimenez-Munoz, J.C., dan Paolini, L., 2004. *Land Surface Temperature Retrieval from Landsat TM5*, Remote Sensing of Environment, Vol. 90, No. 4, 434-440.
- Somantri, Lili. 2008. *Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh untuk Mengidentifikasi Patahan Lembang*, http://file.upi.edu/Direktori/FPIPS/JUR._PEND._GEOGR/AFI/132314541-LILI_SOMANTRI/pj_patahan_lembang.pdf, download 13 April 2015.
- Maryanto, S., Suciningtyas, I.K.L.N., Dewi, C.N., dan Rachmansyah, A., 2016. *Integrated Resistivity and Ground Penetrating Radar Observations of Underground Seepage of Hot Water at Blawan-Ijen Geothermal Field*, International Journal of Geophysics, Volume 2016 (2016) Article ID 6034740.
- Sujanto, Syarifuddin, M.Z., dan Sitorus, K. 1988. *Geological Map of The Ijen Caldera Complex, East Java*, Direktorat Vulkanologi.
- USGS. 2015. *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook L8SDS-1574 Version 1.0*, Departement of the Interior USGS.
- Utama, A.P., Dwinanto, A., Situmorang, J., Hikmi, M., dan Irshamukhti, R. 2012. *Green Field Geothermal System in Java, Indonesia*, Proceedings 1st ITB Geothermal Workshop 2012 at Bandung, Indonesia, 6-8 Maret 2012.
- Wu, W., Zou, L., Shen, X., Lu, S., Su, N., Kong, F., Dong, Y., 2012. *Thermal Infrared Remote-Sensing Detection of Thermal Information Associated with Faults: A Case Study in Western Sichuan Basin, China*, Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 43, 110-117.
- Zaenuddin, A., Wahyudin, D. Surmayadi, M., dan Kusdinar, E., 2012. *Prakiraan Bahaya Letusan Gunung Api Ijen Jawa Timur*, Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, Vol. 3, No. 2, 109-132.

