

Analisis Sebaran Potensi dan Manifestasi Panas Bumi Pegunungan Ijen Berdasarkan Suhu Permukaan dan Geomorfologi

Bowo Eko Cahyono*, Nurfaizatul Jannah, Agus Suprianto

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember

Diterima 01 Januari 2019, direvisi 17 Februari 2019

ABSTRAK

Kondisi geografis Indonesia yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik berkontribusi dalam ketersediaan energi panas bumi. Langkah awal yang dapat dilakukan dalam kegiatan eksplorasi potensi panas bumi adalah kajian karakteristik daerah potensi panas bumi. Dalam hal ini kajian karakteristik potensi panas bumi akan dilakukan di kompleks Pegunungan Ijen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sebaran potensi panas bumi berdasarkan suhu permukaan tanah, serta memetakan manifestasi panas bumi berdasarkan asosiasi suhu permukaan tanah dan geomorfologi. Data penginderaan jauh yang digunakan pada penelitian adalah citra Landsat 8 yang diakuisisi pada bulan September 2013, 2015, dan 2017. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah yang berpotensi panas bumi berada pada bagian dalam kaldera Pegunungan Ijen dengan anomali suhu sebesar 26-50 °C yang didominasi oleh vegetasi dengan tingkat kehijauan tinggi. Sementara beberapa manifestasi panas bumi yang telah terdata diketahui berasosiasi dengan kelurusan yang berinterseksi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi, sehingga kelurusan yang berpotensi menjadi jalan keluarnya fluida sebagai manifestasi panas bumi adalah kelurusan yang secara konsisten berinterseksi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi pada September 2013, 2015, dan 2017 dengan orientasi Tenggara-Barat Laut dan Barat Daya-Timur Laut.

Kata kunci: panas bumi; manifestasi panas bumi; suhu permukaan tanah; geomorfologi; kelurusan.

ABSTRACT

Indonesia's geographical conditions which are at the confluence of three tectonic plates contribute to the availability of geothermal energy. The first step that can be taken in geothermal potential exploration activities is to study the characteristics of geothermal potential areas. In this case the study of the characteristics of geothermal potential will be carried out in the Ijen Mountains complex. This study aims to analyze the distribution of geothermal potential based on land surface temperature, and geothermal manifestations based on the association of land surface temperature and geomorphology. Remote sensing data used in the study were Landsat 8 images acquired in September 2013, 2015, and 2017. The results showed that geothermal potential areas were in the interior of the Ijen Mountains caldera with a temperature anomaly of 26-50 °C which was dominated by high greenish vegetation. While some geothermal manifestations that have been recorded are known to be associated with lineament that intersects with high land surface temperatures, so that the lineament that has the potential to be a fluid discharge pathway for geothermal manifestations is lineament that consistently intersects with high land surface temperatures in September 2013, 2015, and 2017 with the Southeast-Northwest and Southwest-Northeast orientations.

Keywords: geothermal; geothermal manifestations; land surface temperature; geomorphology; lineaments.

PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah penduduk Indonesia

*Corresponding author:

E-mail: bowo_ec.fmipa@unej.ac.id

dari tahun ke tahun selalu mengalami peningkatan. Peningkatan ini berdampak terhadap penggunaan energi untuk menunjang kebutuhan hidup di berbagai sektor. Mengingat kondisi geografis Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik, maka salah satu potensi energi yang cukup menjanjikan untuk dikembangkan

adalah energi panas bumi. Indonesia diketahui memiliki cadangan panas bumi terbesar di dunia dengan potensi mencapai 28,99 GWe atau setara dengan 40% dari total potensi panas bumi dunia yang telah dieksplorasi [1].

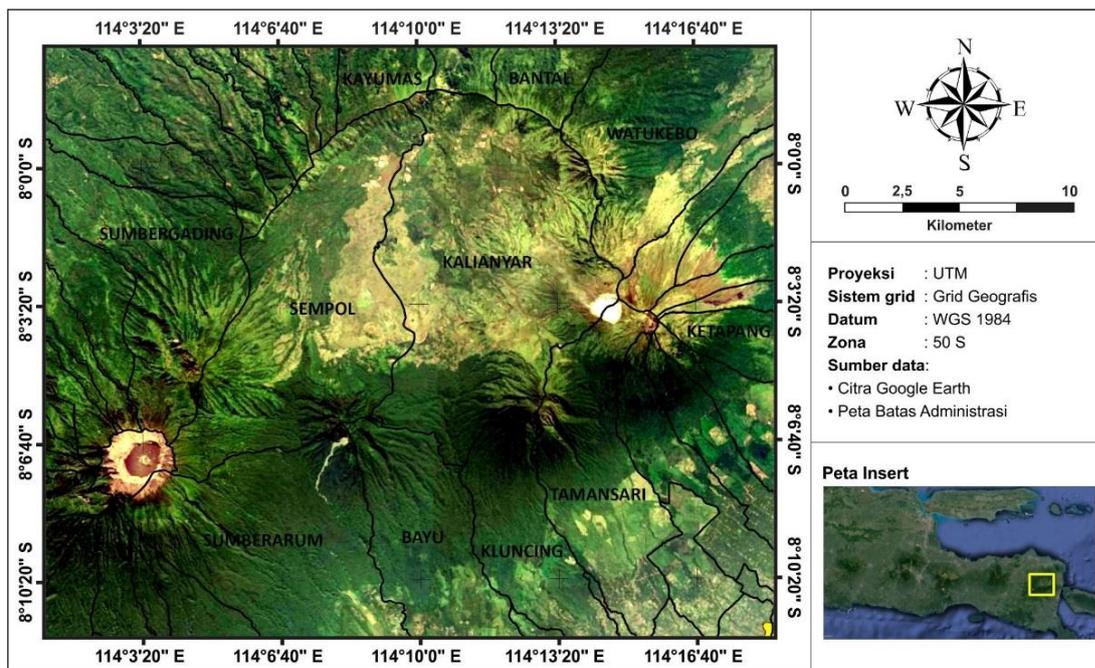
Salah satu Pegunungan yang diduga besar berpotensi panas bumi adalah Pegunungan Ijen. Hal ini dibuktikan berdasarkan analisis data 3G (*Geophysic, Geochemical, Geologic*) yang menyatakan bahwa cadangan terduga yang dimiliki oleh Pegunungan Ijen sebesar 133 MWe, dimana 110 MWe milik Gunung Ijen, sementara 23 MWe milik Gunung Raung [2]. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk memaksimalkan potensi yang ada adalah pemetaan potensi dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh.

Penginderaan jauh merupakan suatu teknologi untuk memperoleh informasi tanpa melakukan kontak langsung dengan obyek. Pengumpulan data penginderaan jauh dilakukan dengan menggunakan alat pengindera (sensor) yang dipasang pada pesawat terbang atau satelit [3]. Salah satu satelit yang dinilai efektif untuk mengidentifikasi daerah potensi panas bumi adalah Landsat 8. Citra dari satelit ini dapat digunakan untuk menganalisis distribusi potensi panas bumi melalui suhu permukaan tanah yang diperoleh menggunakan *band* termal dan geomorfologi berupa kelurusan struktur menggunakan *band* reflektan untuk pemetaan

manifestasi panas bumi.

Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa suhu permukaan tanah yang ada di Kawah Wurung sebagai bagian dari kompleks Pegunungan Ijen berkisar antara 10-50°C dengan anomali suhu yang diduga berpotensi panas bumi berada pada rentang 31-50°C yang berasosiasi dengan keberadaan manifestasi panas bumi berupa tanah hangat (*warm ground*) [4]. Manifestasi ini diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan serta adanya kelurusan seperti rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi mengalir ke permukaan [5]. Salah satu patahan utama yang diketahui menjadi pengontrol beberapa manifestasi panas bumi berupa mata air panas di kompleks Pegunungan Ijen adalah patahan Blawan yang berasosiasi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi [6]. Adapun beberapa manifestasi panas bumi di Pegunungan Ijen yang berhasil dipetakan oleh PT. Medco Power Indonesia berupa mata air panas (*hot spring*) dan alterasi yang berasosiasi dengan adanya kelurusan dan suhu permukaan tanah yang tinggi.

Berdasarkan hal-hal tersebut penelitian ini bertujuan untuk memetakan sebaran potensi panas bumi Pegunungan Ijen berdasarkan suhu permukaan tanah serta memetakan manifestasi panas bumi berdasarkan asosiasi suhu permukaan tanah dan geomorfologi berupa kelurusan dengan analisis citra satelit Landsat.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian

METODE PENELITIAN

Data penginderaan jauh yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder dari Landsat 8 dengan *path/row* 117/66 yang diakuisisi pada tanggal 23 September 2013, 13 September 2015, dan 18 September 2017. Daerah yang akan diteliti adalah Pegunungan Ijen yang dibatasi pada koordinat $7,97^{\circ} - 8,19^{\circ}$ LS dan $114,03^{\circ} - 114,31^{\circ}$ BT seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1.

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan metode *Land Surface Temperature* (LST) untuk memperoleh nilai distribusi suhu permukaan tanahnya serta metode ekstraksi untuk memperoleh kelurusan.

Tahap Pengkoreksian. Langkah awal yang perlu dilakukan pada citra Landsat 8 adalah koreksi. Koreksi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah koreksi radiometrik yang berfungsi untuk menghilangkan atau meminimalisir gangguan atmosfer pada saat proses perekaman citra. Dalam aplikasinya, koreksi radiometrik dibedakan menjadi dua berdasarkan jenis *band*-nya, yaitu TOA reflektan untuk *band* reflektan dan TOA radian untuk *band* termal yang berturut-turut disajikan dalam persamaan (1) di bawah ini

$$\rho_{\lambda} = \frac{M_{\rho} Q_{cal} + A_{\rho}}{\cos(Z)} \quad (1)$$

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

dimana M_{ρ} adalah konstanta pengali *band* reflektan, Q_{cal} adalah nilai *digital number* tiap piksel, Z adalah sudut Zenith matahari (90° -sudut elevasi matahari), A_{ρ} adalah konstanta penjumlahan *band* reflektan, M_L adalah konstanta pengali *band* termal, dan A_L adalah konstanta penjumlahan *band* termal.

Tahap Pengolahan. Setelah dilakukan koreksi, citra diolah untuk memperoleh distribusi nilai LST. Nilai LST sendiri dapat diperoleh dengan memperhitungkan nilai emisivitas yang didapatkan dari perhitungan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). NDVI adalah rasio yang digunakan untuk menyatakan seberapa rapat vegetasi di suatu daerah. Nilai NDVI dihitung berdasarkan nilai reflektan *band* inframerah dekat dan *band* merah dengan persamaan (3) berikut,

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (3)$$

Pemilihan kedua band tersebut didasarkan pada karakter vegetasi yang lebih banyak merefleksikan gelombang inframerah dekat dibandingkan gelombang merah. Selanjutnya, untuk melihat presentasi proyeksi vertikal dari tutupan lahan bervegetasi di suatu daerah dapat dilakukan dengan menghitung fraksi vegetasi menggunakan persamaan (4) berikut,

$$PV = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (4)$$

Selanjutnya nilai fraksi vegetasi yang diperoleh melalui persamaan (4) digunakan untuk menentukan nilai emisivitas (ε) yang berfungsi untuk mengurangi kesalahan dalam mengestimasi suhu permukaan tanah (LST) menggunakan citra satelit. Nilai emisivitas dapat diperoleh dengan menerapkan algoritma dari persamaan (5) berikut,

$$\varepsilon = 0,004PV + 0,986 \quad (5)$$

Sebelum menghitung suhu permukaan tanah (LST), citra yang sudah terkoreksi radiometrik menggunakan TOA radian pada persamaan (2) digunakan untuk menghitung nilai Brightness Temperature (BT) sebagai radiasi gelombang elektromagnetik yang dideteksi oleh sensor termal. BT dapat ditentukan dengan menerapkan algoritma persamaan (6) berikut,

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (6)$$

dimana K_1 dan K_2 adalah konstanta konversi termal yang terdapat pada metadata citra. Selanjutnya suhu permukaan tanah (LST) dapat dihitung dengan menambahkan koreksi emisivitas permukaan yang diperoleh dari persamaan (7) dengan algoritma sebagai berikut:

$$LST = \frac{BT}{1 + \left(\frac{\lambda BT}{hc/\sigma}\right) \ln \varepsilon} - 273 \quad (7)$$

dimana λ merupakan panjang gelombang sensor termal yang digunakan, h merupakan konstanta Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ Js), c merupakan kecepatan cahaya (3×10^8 ms⁻¹) dan σ adalah konstanta Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ JK⁻¹).

Sedangkan kelurusan sebagai salah satu parameter penentu manifestasi panas bumi dapat diperoleh dengan melakukan *Principal Component*

Analysis (PCA) pada band reflektan Landsat 8 yang telah terkoreksi radiometrik dengan TOA reflektan. PCA merupakan salah satu teknik untuk meningkatkan kualitas citra secara visual sehingga fitur kelurusan dapat dengan mudah diamati. Selanjutnya citra yang sudah melalui proses PCA diekstraksi secara otomatis dengan menggunakan algoritma *Line* pada software PCI Geomatica untuk kemudian di-*overlay* dengan dengan peta geologi struktur dan peta geologi PT. Medco Power Indonesia serta peta suhu permukaan tanah untuk kemudian diinterpretasi.

Tahap Analisis. Potensi panas bumi dijustifikasi dengan melihat distribusi nilai suhu permukaan tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah sekitarnya, karena pada umumnya suhu permukaan tanah berasosiasi dengan sumber panas bumi di bawahnya. Selain itu, suhu juga dapat diasosiasikan dengan elevasi untuk mengetahui suhu ideal pada elevasi tertentu sebelum menjustifikasi rentang suhu yang berpotensi besar sebagai panas bumi. Hubungan antara suhu dan elevasi dinyatakan

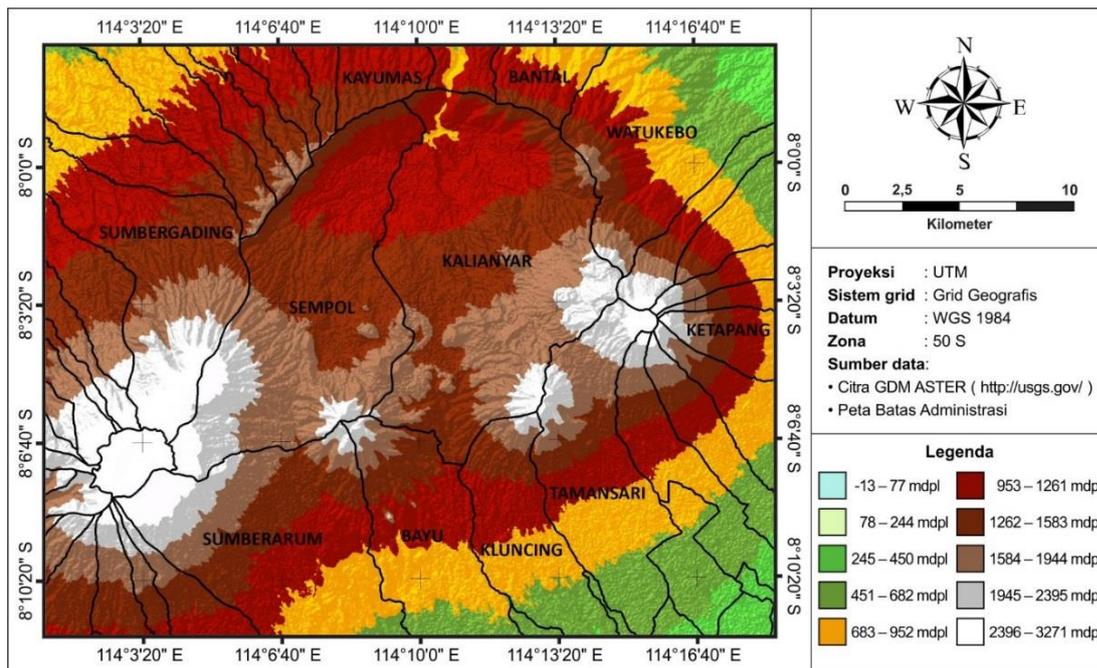
oleh persamaan Braak (8) berikut,

$$T = 26,3^{\circ}\text{C} - \frac{(0,61^{\circ}\text{C} \cdot h)}{100} \quad (8)$$

Dimana 26,3 °C adalah suhu rata-rata tahunan, 0,61 °C adalah gradien suhu setiap kenaikan 100 m, dan *h* adalah elevasi [7].

Nilai suhu permukaan yang berasal dari aktivitas vulkanik terhadap aktivitas manusia, dibedakan dengan melakukan komparasi peta kerapatan vegetasi yang diperoleh dari hasil perhitungan NDVI dan peta sebaran suhu permukaan.

Sementara potensi manifestasi panas bumi dipetakan melalui zona potensi yang berinterseksi dengan kelurusan. Zona potensi yang dimaksud adalah suhu permukaan tanah yang dijustifikasi berpotensi panas bumi. Hal ini dikarenakan hampir sebagian besar manifestasi panas bumi yang ditemukan berada di sekitar kelurusan yang berinterseksi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi. Sedangkan kelurusan merupakan zona lemah yang menjadi jalan keluarnya fluida menuju permukaan.



Gambar 2. Peta elevasi Pegunungan Ijen

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu Permukaan Tanah. Setiap objek di muka bumi memiliki karakteristik yang berbeda dalam memancarkan radiasi gelombang elektromagnetik, tergantung suhu yang dimilikinya.

Oleh karena itu, suhu permukaan tanah yang tinggi dapat dijadikan salah satu parameter penentu potensi panas bumi karena pada umumnya suhu permukaan tanah berasosiasi dengan sumber panas bumi di bawahnya. Selain itu, secara teori disebutkan bahwa hubungan antara elevasi dan suhu permukaan tanah adalah

berbanding terbalik. Jika hal tersebut berlaku sebaliknya, yaitu suhu permukaan semakin tinggi seiring kenaikan elevasi maka terdapat anomali panas pada daerah tersebut sehingga potensi adanya panas bumi semakin besar [8].

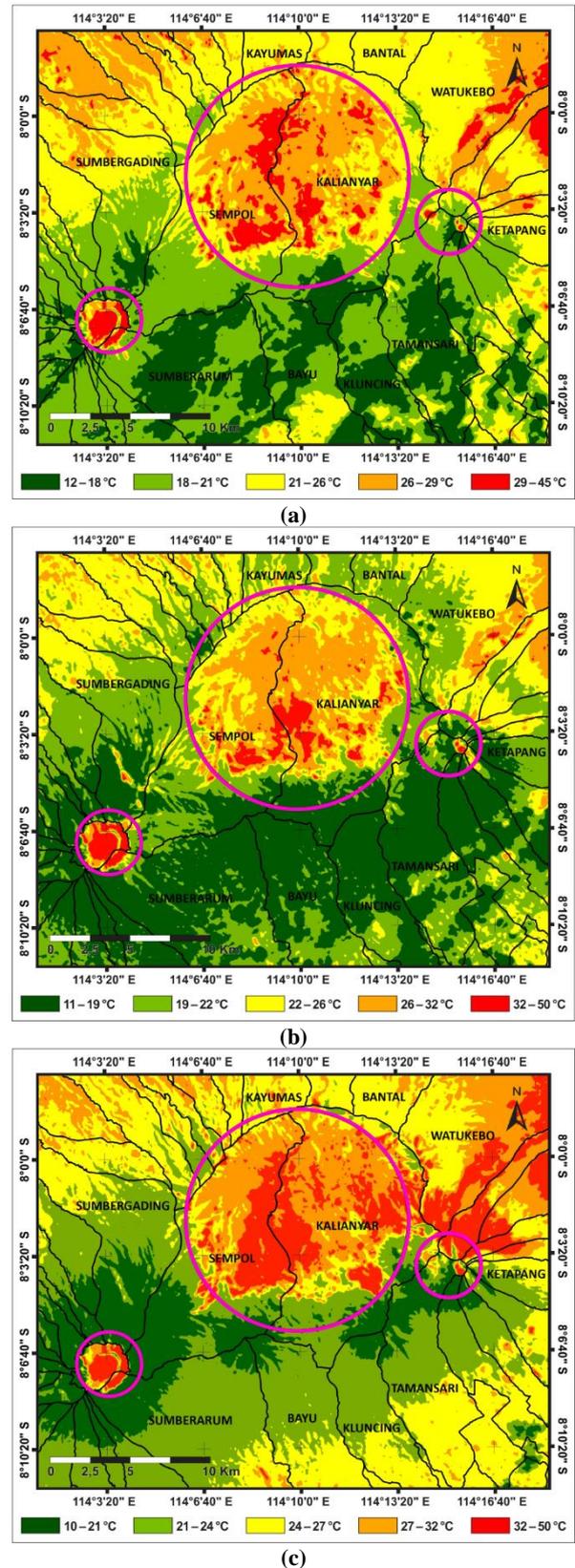
Peta elevasi (Gambar 2) dan peta suhu permukaan tanah (Gambar 3) Pegunungan Ijen yang berturut-turut diperoleh dari data GDEM ASTER dan Landsat 8. Berdasarkan Gambar 3 diketahui bahwa estimasi suhu permukaan tanah kompleks Pegunungan Ijen secara berturut-turut pada bulan September 2013, 2015, dan 2017 berkisar antara 21-45 °C, 22-50 °C dan 24-50 °C, namun anomali suhu yang dijustifikasi berpotensi panas bumi secara berturut-turut berkisar pada 26-45 °C, 26-50 °C, dan 27-50 °C yang ditunjukkan oleh warna jingga dan merah dengan batas lingkaran. Justifikasi ini dilandasi oleh hasil perhitungan suhu berdasarkan elevasi menggunakan persamaan (8) dan hasil perhitungannya disajikan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Suhu Pegunungan Ijen berdasarkan ketinggian

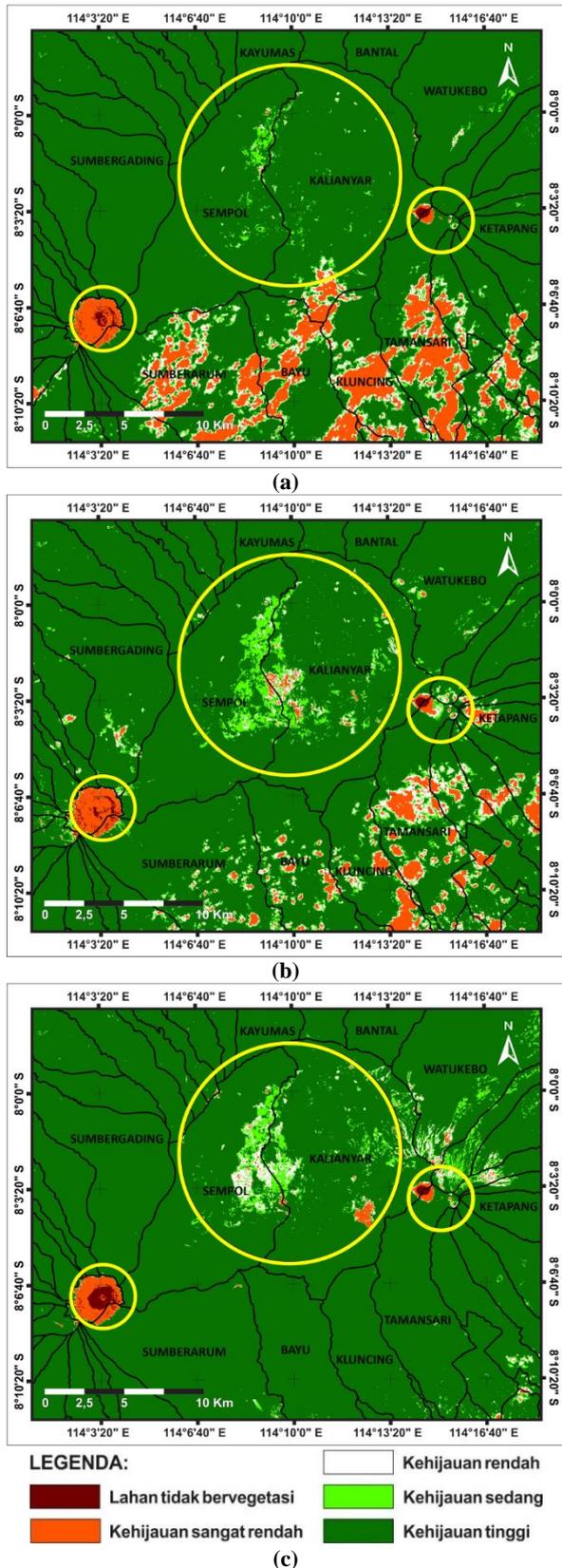
No	Ketinggian (m)	Suhu (°C)
1	683 – 952	22,1
2	953 – 1261	20,5
3	1262 – 1583	18,6
4	1584 – 1944	16,6
5	1945 – 2395	14,4
6	2396 – 3271	11,7

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa suhu permukaan yang seharusnya dimiliki oleh suatu wilayah dengan elevasi 953 m (yang disimbolkan oleh warna merah pada Gambar 2) adalah 20,5 °C yang disimbolkan oleh warna hijau muda pada peta suhu permukaan tanah. Suhu tersebut diperkirakan dapat mengalami fluktuasi hingga berada dalam rentang kelas 21-26 °C yang disimbolkan oleh warna kuning pada peta, sehingga anomali suhu yang dijustifikasi berpotensi panas bumi adalah rentang suhu berikutnya yakni 26-50 °C yang disimbolkan oleh warna jingga dan merah pada peta suhu permukaan tanah.

Jika dibandingkan, pengolahan citra satelit Landsat 8 yang diakuisisi pada tanggal 23 September 2013, 13 September 2015, dan 18 September 2017 dengan menggunakan algoritma LST menghasilkan kecenderungan anomali suhu permukaan yang sama, sehingga dapat dikatakan bahwa peta tersebut valid walaupun memiliki rentang suhu yang berbeda.



Gambar 3. Peta suhu permukaan tanah Pegunungan Ijen pada tanggal (a) 23 September 2013, (b) 13 September 2015, dan (c) 18 September 2017 (Sumber data: citra Landsat 8 dan peta batas administrasi)



Gambar 4. Peta kerapatan vegetasi Pegunungan Ijen pada tanggal (a) 23 September 2013, (b) 13 September 2015, dan (c) 18 September 2017 (**Sumber data:** citra Landsat 8 dan peta batas administrasi)

Kerapatan Vegetasi. Adapun hasil klasifikasi kerapatan vegetasi kompleks Pegunungan Ijen berdasarkan nilai NDVI-nya dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4 diketahui bahwa daerah kompleks Pegunungan Ijen rata-rata didominasi oleh vegetasi yang diwakili dengan indeks kehijauan tinggi atau disimbolkan oleh warna hijau tua, sementara sebagian kecil berada pada daerah dengan indeks vegetasi berupa kehijauan sangat rendah, rendah, dan sedang.

Daerah yang diwakili dengan indeks kehijauan tinggi pada umumnya permukaan tanahnya memiliki suhu lebih rendah dibandingkan sekitarnya karena tingkat kerapatan vegetasinya lebih tinggi [9]. Namun hal tersebut tidak selamanya berlaku untuk daerah yang berpotensi panas bumi, karena jika suhu permukaan tanahnya tinggi tapi pada peta kerapatan vegetasi ditunjukkan oleh warna hijau tua yang berarti indeks kehijauan tinggi maka panas tersebut diduga kuat bukan karena aktivitas manusia melainkan aktivitas vulkanik berupa potensi panas bumi, seperti tiga pasang gambar yang saling berkorelasi pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Kelurusan. Struktur geologi seperti patahan dan rekahan seringkali mempunyai ciri tertentu di permukaan bumi seperti kelurusan [10] yang pada umumnya berasosiasi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi di daerah potensi panas bumi [11]. Kelurusan pada Gambar 5 diperoleh dari *overlay* tiga data, yakni hasil ekstraksi otomatis Landsat 8 yang disimbolkan dengan warna hitam, peta geologi struktur yang disimbolkan dengan warna merah muda, dan hasil digitasi peta geologi PT. Medco Power Indonesia yang disimbolkan dengan warna biru. Ketiganya di-*overlay* dengan tujuan untuk saling melengkapi geologi struktur daerah penelitian, yakni Pegunungan Ijen.

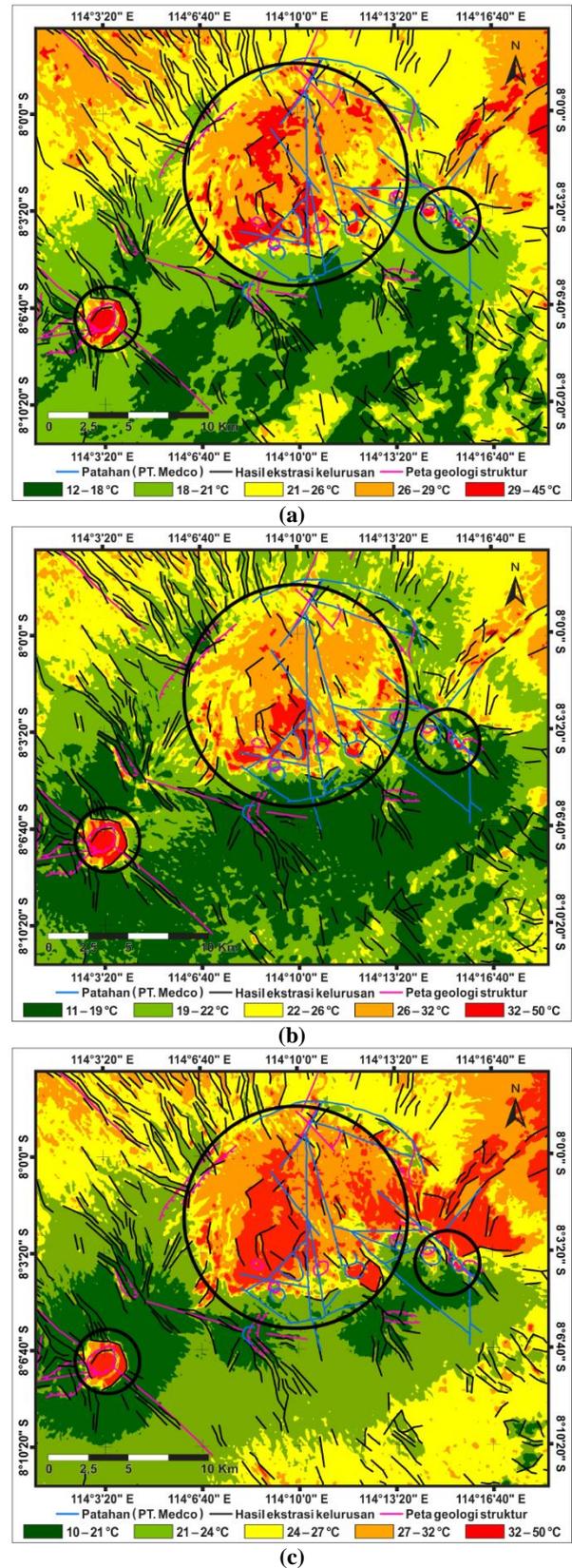
Berdasarkan Gambar 5 tampak bahwa daerah yang dijustifikasi berpotensi panas bumi berdasarkan suhu permukaan tanahnya (warna jingga dan merah yang dibatasi oleh lingkaran hitam) banyak dilalui oleh kelurusan terutama di bagian dalam kaldera. Selain itu diketahui pula bahwa hasil ekstraksi yang disimbolkan dengan garis warna hitam memiliki jumlah kelurusan yang lebih banyak, hal ini dikarenakan geomorfologi daerah penelitian cenderung berbukit-bukit dan bertekstur kasar yang kemungkinan besar dipengaruhi oleh jenis batuan

pada formasi geologi, sehingga fitur geologi mudah untuk dideteksi dan diekstrak oleh metode ekstraksi otomatis.

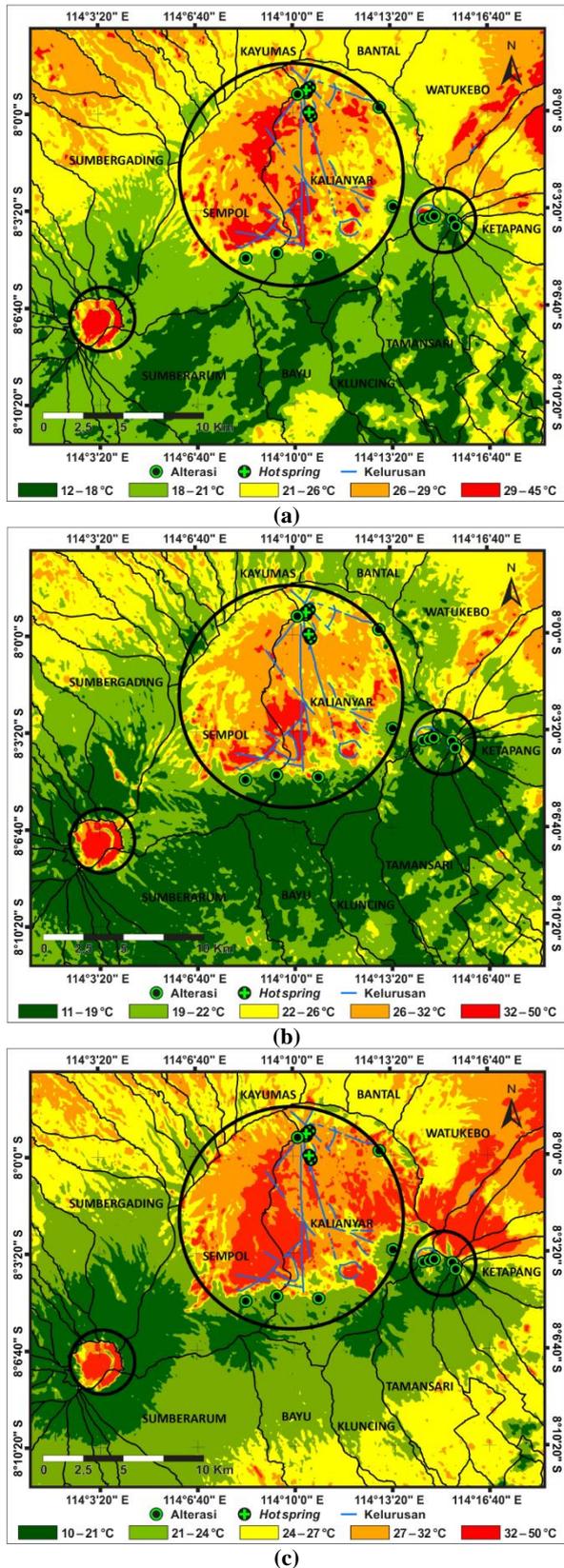
Berdasarkan hasil analisa kualitatif, struktur patahan hasil ekstraksi otomatis masih dapat diterima karena memiliki posisi dan arah dominan yang sama dengan patahan di peta geologi daerah penelitian yaitu Tenggara-Barat Laut. Namun untuk beberapa patahan baru perlu dilakukan pengecekan di lapangan termasuk untuk menentukan panjang patahan sebenarnya mengingat resolusi citra Landsat 8 yang terbatas sebesar 30 meter.

Manifestasi Panas Bumi. Manifestasi panas bumi adalah tanda-tanda alam yang nampak di permukaan tanah sebagai petunjuk awal adanya aktivitas panas bumi di bawah permukaan. Manifestasi ini diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau karena adanya rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan. PT Medco Power Indonesia berhasil memetakan 16 manifestasi panas bumi berupa 5 buah *hot spring* dan 11 buah alterasi yang tersebar di bagian dalam kaldera Pegunungan Ijen. Selain itu, diperkirakan masih banyak lagi manifestasi panas bumi yang belum terdata dan terpetakan mengingat morfologi daerah penelitian yang berbukit-bukit dan bertekstur kasar serta hampir sebagian besar tertutup oleh vegetasi dengan tingkat kehijauan tinggi, sehingga tidak mudah untuk dilakukan observasi langsung di lapangan. Namun demikian potensi manifestasi panas bumi Pegunungan Ijen dapat dipetakan berdasarkan irisan hasil digitasi kelurusan yang berinterseksi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi untuk masing-masing citra pada September 2013, 2015, dan 2017 berdasarkan fakta bahwa sebagian besar manifestasi yang terdata berasosiasi dengan kelurusan dan suhu permukaan tanah yang tinggi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6.

Berdasarkan Gambar 6, diketahui bahwa kelurusan yang berinterseksi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi (warna jingga dan merah) merupakan pengontrol sebagian besar manifestasi panas bumi yang berhasil didata oleh PT Medco Power Indonesia. Manifestasi yang berasosiasi dengan kelurusan dan suhu permukaan tanah yang tinggi pada bulan September 2013, 2015, dan 2017 berjumlah 14 dari 19 manifestasi yang telah diperoleh.



Gambar 5. Distribusi kelurusan Pegunungan Ijen pada tanggal (a) 23 September 2013, (b) 13 September 2015, dan (c) 18 September 2017 (**Sumber data:** citra Landsat 8, peta geologi struktur, dan peta geologi PT. Medco Power Indonesia)



Gambar 6. Potensi manifestasi Pegunungan Ijen pada tanggal (a) 23 September 2013, (b) 13 September 2015, dan (c) 18 September 2017 (**Sumber data:** citra Landsat 8, peta geologi struktur, dan peta geologi PT. Medco Power Indonesia)

Kondisi tersebut berkesesuaian dengan hasil investigasi peneliti sebelumnya yang menggunakan metode geolistrik dan Ground Penetrating Radar (GPR) yang menyatakan bahwa sebaran lapisan bawah permukaan yang membawa manifestasi panas bumi di kaldera bagian Utara teridentifikasi menyebar mengikuti patahan Blawan dan pola aliran sungai yang mengarah ke Timur Laut [12]. Selain itu, kelurusan pada Gambar 6 merupakan kelurusan yang konsisten berinterseksi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi (zona potensi) baik pada September 2013, 2015, maupun 2017 serta terkonfirmasi dengan data sekunder berupa manifestasi panas bumi yang telah terdata oleh PT Medco Power Indonesia, sehingga dapat dikatakan bahwa peta tersebut valid.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah yang berpotensi panas bumi berada pada bagian dalam kaldera Pegunungan Ijen dengan anomali suhu sebesar 26-50 °C yang didominasi oleh vegetasi dengan tingkat kehijauan tinggi. Sementara beberapa manifestasi panas bumi yang telah terdata diketahui berasosiasi dengan kelurusan yang berinterseksi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi, sehingga potensi manifestasi yang berhasil dipetakan ialah kelurusan yang secara konsisten berinterseksi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi pada September 2013, 2015, dan 2017 dengan orientasi Tenggara – Barat Laut dan Barat Daya – Timur Laut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung terselesaikannya penelitian ini serta USGS yang telah menyediakan data penelitian berupa citra Landsat 8 OLI/TIRS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Siahaan, M.N., Soebandrio, A., dan Wikantika, K. (2011) Geothermal Potential Explorations Using Remote Sensing Technique (Case study: Patuha Area, West

- Java). in: 10th Asian Conf. Exhib. Geospatial Information, Technol. Appl., Asia Geospatial Forum, Jakarta, Indonesia.
- [2] Pemprov Jatim (2015) Potensi Panas Bumi di Jawa Timur 2015.
- [3] Thomas M. Lillesand dan Ralph W. Kiefer (2014) Remote Sensing and Image Interpretation. .
- [4] Juniarti, E., Maryanto, S., dan Susilo, A. (2017) Pemetaan Suhu Permukaan Tanah Daerah Kawah Wurung, Kabupaten Bondowoso, Jawa Timur dalam Penentuan Manifestasi Panas Bumi. *Natural-B*. 4 (1), 65–72.
- [5] Saptadjis, N. (2008) Sekilas Tentang Panas Bumi. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [6] Azhari, A.P., Maryanto, S., dan Rachmansyah, A. (2016) Identifikasi Struktur Geologi dan Pengaruhnya Terhadap Suhu Permukaan Tanah Berdasarkan Data Landsat 8 di Lapangan Panasbumi Blawan. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*. 13 (1), 1–12.
- [7] Purwantara, S. (2018) Studi Temperatur Udara Terkini di Wilayah di Jawa Tengah dan DIY. *Geomedia: Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*. 13 (1), 41–52.
- [8] Saragih, B.F., Prasetyo, Y., dan Sasmito, B. (2015) Identifikasi Manifestasi Panas Bumi Dengan Memanfaatkan Kanal Thermal Pada Citra Landsat (Studi Kasus : Kawasan Dieng). *Jurnal Geodesi Undip*. 4 (4), 25–33.
- [9] Pietersz, J.H., Matinahoru, J., dan Loppies, R. (2018) Pendekatan Indeks Vegetasi Untuk Mengevaluasi Kenyamanan Termal Menggunakan Data Satelit Landsat-Tm Di Kota Ambon. *Agrologia*. 4 (2),.
- [10] Massinai, M.A., S., R., dan Syamsuddin (2014) Struktur Geologi Sulawesi Barat Ditinjau dari Kelurusan Geomorfologi Regional. in: Pros. Semin. Nas. Geofis. 2014, Jurusan Fisika FMIPA UNHAS, Makassarhal. 62–65.
- [11] 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*. 13 (4), 552–559.
- [12] 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*. 2016 1–14.