

Pemetaan Suhu Permukaan Tanah Daerah Kawah Wurung, Kabupaten Bondowoso, Jawa Timur Dalam Penentuan Manifestasi Panas Bumi

Endah Juniarti^{1)*}, Sukir Maryanto²⁾, Adi Susilo²⁾

¹⁾ Program Studi Magister Ilmu Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya

²⁾ Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya

Diterima 23 Januari 2017, direvisi 30 April 2017

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian menggunakan metode penginderaan jauh pada daerah Kawah Wurung. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sebaran suhu permukaan tanah dan mengidentifikasi titik-titik manifestasi potensi panas bumi. Suhu permukaan tanah diperoleh menggunakan metode emisivitas dengan memperhitungkan *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. Data penginderaan jauh yang digunakan pada penelitian adalah data sekunder dari Landsat 8. Hasil pengolahan menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki sebaran suhu permukaan tanah berkisar antara 10°C sampai 50°C Hasil interpretasi menunjukkan adanya anomali pada daerah penelitian dengan suhu sekitar 31°C sampai 50°C Daerah anomali diduga berpotensi sebagai area panas bumi. Daerah tersebut menyebar dari Timur Laut ke Barat Daya. Daerah anomali diduga berasosiasi dengan daerah gunungapi yaitu pada Barat Kawah Wurung berasosiasi dengan Gunung Genteng, Utara Kawah Wurung berasosiasi dengan Gunung Gending Waluh. Selain itu, terdapat pula anomali di Timur Kawah Wurung tepatnya disekitar kolovium dari Gunung Kukusan.

Kata kunci: suhu permukaan tanah, penginderaan jauh, panas bumi

ABSTRACT

A research using remote sensing have been done on Kawah Wurung-Ijen. This research was conducted to analyze the distribution of land surface temperature and to identify the geothermal manifestations. The land surface temperature was obtained by using emissivity method of calculating the *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. Remote sensing data was used more second data from Landsat 8. The result shows that the research area has the land surface temperature distribution in ranges 10°C to 50°C. The interpretation shows any anomalous area in ranges 31°C to 50°C that indicated as geothermal potential area. The anomalous are associated with volcanic areas. In the West is associated with Mt. Genteng, in the North is associated with Mt. Gending Waluh. In addition, there is also an anomaly in the East precisely around kolovium of Mt. Kukusan.

Keywords: land surface temperature, remote sensing, geothermal

PENDAHULUAN

Kawah Wurung terletak di Selatan Kompleks Kaldera Ijen (KKI), Jawa Timur. KKI merupakan kompleks gunungapi yang pada awalnya merupakan suatu gunungapi tunggal bernama Gunung Kendeng. Namun, akibat peristiwa letusan yang sangat besar

mengakibatkan bagian puncaknya hilang dan terbentuklah kaldera [1]. Dinding kaldera yang tersisa hanya pada bagian Utara sedangkan dinding kaldera bagian Selatan sebagian besar telah ditutupi oleh endapan vulkanik hasil erupsi dari gunungapi yang aktif pasca kaldera.

Batuan pada KKI didominasi oleh batuan gunungapi Ijen Tua di bagian Utara dan batuan gunungapi Ijen Muda di bagian dalam kaldera. Batuan gunungapi Ijen Tua terdiri dari breksi, tuf dan lava basalt. Batuan gunungapi Ijen Muda terdiri dari tuf, breksi lava dan belerang

*Corresponding author:

E-mail: endah737@gmail.com

[2]. Bagian dalam kaldera terdapat kerucut-kerucut gunung api yang sebagian besar berada di Selatan kaldera dan menyebar dari Barat ke Timur [3]. Munculnya kerucut-kerucut gunungapi mengindikasikan adanya aktivitas magmatik. Hal ini menjadi ciri utama akan adanya sumber panas yang mejadi sumber dari sistem panas bumi.

Potensi panas bumi pada KKI telah dibuktikan oleh beberapa penelitian sebelumnya. Disebelah Utara Kawah Ijen terdapat manifestasi mata air panas tepatnya di daerah Blawan [4]. Hadirnya patahan Blawan menjadi jalan sirkulasi fluida panas bumi mengalir ke permukaan. Distribusi manifestasi panas bumi Blawan berasal dari Kaldera Ijen Tua yang menyebar ke arah Pegunungan Kendeng [5]. Selain itu, diketahui pula bahwa manifestasi panas bumi Blawan mengikuti aliran sungai yang dibuktikan oleh beberapa sumber air panas di sepanjang sungai Banyu Pahit [6].

Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa suhu permukaan tanah yang tinggi mengindikasikan panas bumi Blawan memiliki kemenerusan dari Plalangan menuju arah Barat Daya yaitu Kawah Wurung [7]. Oleh karena itu dilakukan penelitian lanjutan pada daerah Kawah Wurung untuk melihat kemenerusan sitem panas bumi tersebut. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan target sumber daya adalah penginderaan jauh [8]. Penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu objek, area atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dari suatu alat tanpa menyentuh langsung objek, area atau fenomena tersebut [9]. Pengumpulan data penginderaan jauh dilakukan dengan menggunakan sensor. Penginderaan jauh sangat bergantung dari energi elektromagnetik. Ketika permukaan Bumi dikenai gelombang elektromagnetik maka objek dipermukaan Bumi akan berinteraksi dalam bentuk reflektansi, absorpsi dan transmisi. Pada sistem penginderaan jauh, energi yang paling dominan adalah energi reflektansi. Nilai reflektansi bervariasi pada setiap materi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis sebaran suhu permukaan tanah dan mengidentifikasi titik-titik manifestasi potensi panas bumi pada daerah Kawah Wurung. Beberapa penelitian menyebutkan

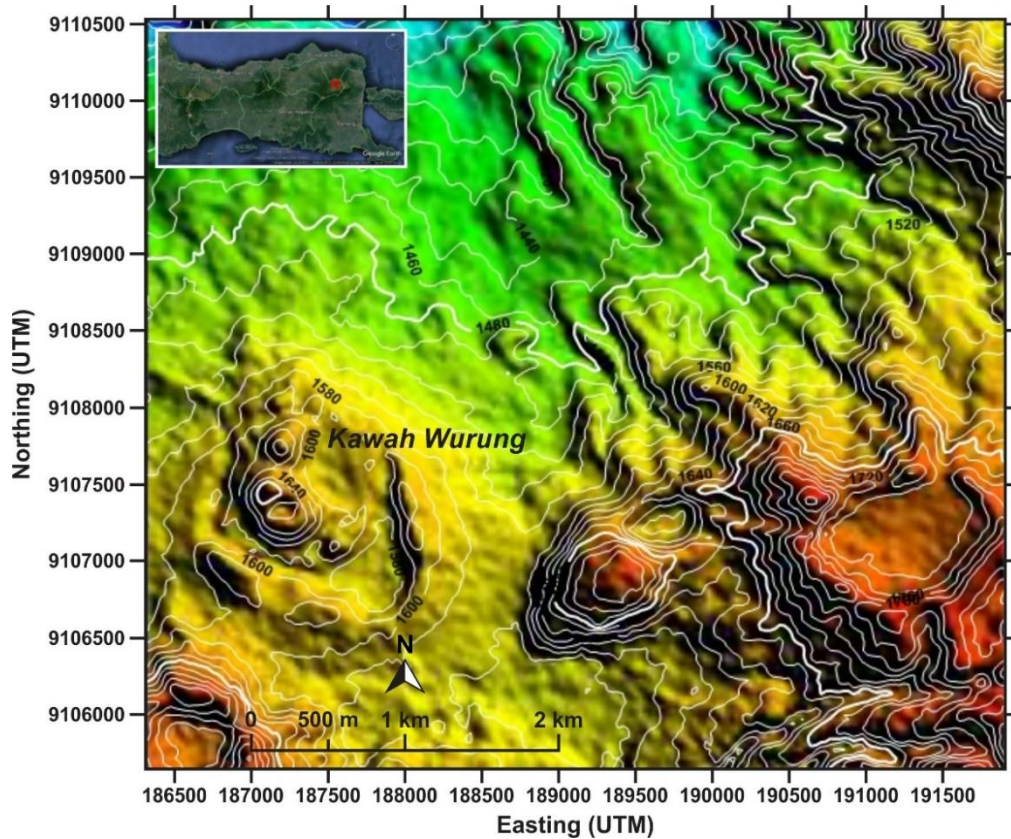
bahwa teknik penginderaan jauh sangat ideal digunakan dalam penyelidikan awal di daerah eksplorasi panas bumi [10]. Hasil dari pengolahan data penginderaan jauh dapat menginterpretasikan kondisi geomorfologi dan sebaran temperatur tanah serta keberadaan titik-titik manifestasi potensi panas bumi yang selanjutnya dapat digunakan untuk mengidentifikasi lokasi survei lanjutan dan penentuan batasan daerah prospek panas bumi [11].

Satelit penginderaan jauh yang terbaru adalah Landsat 8. Satelit ini mengalami peningkatan sensitifitas yang membuat proses interpretasi objek dipermukaan menjadi lebih mudah. Landsat 8 memiliki dua buah sensor yaitu *Operational Land Imager (OLI)* dan *Thermal Infra-Red Sensor (TIRS)* dengan jumlah kanal sebanyak 11 kanal [12]. Citra *TIRS* telah banyak digunakan dalam memperoleh data suhu permukaan tanah.

METODE PENELITIAN

Data penginderaan jauh yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder dari Landsat 8. Pengolahan data dilakukan menggunakan metode emisivitas dengan memperhitungkan *Normalize Difference Vegetation Index (NDVI)*. Data untuk menentukan sebaran suhu permukaan tanah pada penelitian adalah kanal multispektral (kanal 4 dan kanal 5) dan infra merah (kanal 10 dan 11). Pengumpulan data dilakukan dengan mengunduh data citra Landsat 8 yang direkam pada waktu yang berbeda-beda dan pada musim yang hampir sama yaitu 24 Mei 2015, 28 Agustus 2015, 26 Mei 2016, 11 Juni 2016 dan 29 Juli 2016 dari situs USGS dengan daerah penelitian adalah Kawah Wurung, Kabupaten Bondowoso, Provinsi Jawa Timur seperti pada Gambar 1.

Pengolahan Awal. Langkah awal yang dilakukan terhadap data citra landsat 8 adalah melakukan deteksi awan dan kabut. Satelit sumberdaya dikatakan baik bila luas liputan awannya kurang dari 10%. Semakin banyak luas liputan awannya maka semakin banyak pula informasi permukaan Bumi yang hilang karena tutupan awan dan sekaligus bayangannya.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian di Kawah Wurung-Ijen, Kabupaten Bondowoso, Jawa Timur (kotak merah) menunjukkan elevasi berdasarkan data SRTM DEM dengan interval kontur 20 m.

Beberapa sumber distorsi radiometrik citra pada sensor pasif adalah kondisi atmosfer dan sensor pencahayaan matahari. Untuk mereduksi kesalahan tersebut maka dilakukan koreksi radiometrik *Top of Atmospheric (ToA) reflectance* yang mengubah nilai *Digital Number (DN)* menjadi nilai reflektansi dengan koreksi sudut matahari [12]:

$$\rho_{\lambda} = \frac{M_p Q_{cal} + A_p}{\sin(\theta_{SE})} \quad (1)$$

dimana M_p adalah faktor skala pengali reflektansi pada kanal yang terdapat pada metadata, Q_{cal} adalah nilai DN tiap piksel, A_p adalah faktor skala penjumlahan reflektansi pada kanal yang terdapat pada metadata dan θ_{SE} adalah sudut elevasi matahari

Perhitungan Emisivitas. Nilai emisivitas diperoleh dengan memperhitungkan *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. $NDVI$ adalah rasio yang digunakan untuk menyatakan seberapa rapat vegetasi di suatu daerah. Nilai ini berkisar antara -1 sampai +1. Nilai -1 berkorelasi dengan objek air dan

objek yang mengandung air, nilai 0 berkorelasi dengan objek tanah dan nilai +1 berkorelasi dengan objek vegetasi. Nilai $NDVI$ dihitung dari kanal 4 *visible red reflectance (Rred)* dan kanal 5 *Near Infra Red relectance (RNIR)* menggunakan persamaan:

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{red}}{R_{NIR} + R_{red}} \quad (2)$$

Selanjutnya untuk melihat persentasi proyeksi vertikal dari tutupan lahan bervegetasi di suatu daerah dapat dilakukan dengan menghitung fraksi vegetasi menggunakan persamaan berikut [13]:

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \right)^2 \quad (3)$$

dimana $NDVI$ adalah nilai $NDVI$ pada tiap piksel, $NDVI_s$ dan $NDVI_v$ merepresentasikan nilai $NDVI$ dari vegetasi dan tanah. Nilai dari fraksi vegetasi berkisar antara 0 sampai 1.

Pengklasifikasian nilai $NDVI$ dan emisivitas merujuk pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu [14]:

1. $NDVI < NDVI_s$ (0,2), $\epsilon_s = 0,97$.

2. $NDVI > NDVI_V(0,65)$, $\varepsilon_V = 0,99$.
3. $0,2 \leq NDVI \leq 0,6$ nilai emisivitasnya dinyatakan oleh:

$$\varepsilon = mP_V + n \quad (4)$$

dengan,

$$m = \varepsilon_V - \varepsilon_S - (1 - \varepsilon_S)F\varepsilon_V$$

$$n = \varepsilon_S + (1 - \varepsilon_S)F\varepsilon_V.$$

dimana F adalah faktor *shape* yang berarti nilai rata-rata, dengan asumsi distribusi geometri yang berbeda, nilainya 0,55.

Perhitungan Suhu Permukaan Tanah.

Nilai suhu permukaan tanah dihitung dengan mengolah citra *TIRS* yaitu kanal 10 dan kanal 11. Namun untuk dapat menghitungnya, nilai *DN* pada setiap kanal terlebih dahulu diubah menjadi nilai *radiance* menggunakan persamaan berikut [12]:

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (5)$$

dimana M_L adalah faktor skala pengali *radiance* pada kanal (tercantum pada metadata), Q_{cal} adalah nilai *DN* tiap piksel dan A_L adalah faktor skala penjumlah *radiance* pada kanal (tercantum pada metadata).

Langkah selanjutnya adalah mengubah nilai *radiance* menjadi kecerahan temperatur dengan persamaan berikut [12]:

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

dimana L_λ adalah spektral *radiance* kanal termal, K_1 dan K_2 adalah konstanta konversi termal. Nilai konstanta konversi termal pada tiap kanal *TIRS* pada penelitian ini tercantum pada metadata yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Konstanta Konversi Termal Pada Kanal 10 dan Kanal 11 Landsat 8.

	Konstanta Konversi Termal	
	K_1	K_2
Kanal 10	774.8853	1321.0789
Kanal 11	480.8883	1321.0789

dimana λ adalah panjang gelombang emisi *radiance*, H adalah konstanta Planck $6.626 \times 10^{-34} Js$, C adalah kecepatan cahaya 2.998×10^8 m/s, J adalah konstanta Boltzman 1.38×10^{-23} J/K dan

ε adalah nilai emisivitas tanah.

Interpretasi Citra. Interpretasi hasil dari pengolahan data penginderaan jauh dilakukan secara kualitatif. Interpretasi ini dilakukan dengan menafsirkan sebaran dan arah distribusi suhu permukaan tanah melalui perubahan warna dari citra hasil pengolahan yang dibantu dengan menggunakan *software ArcGIS*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

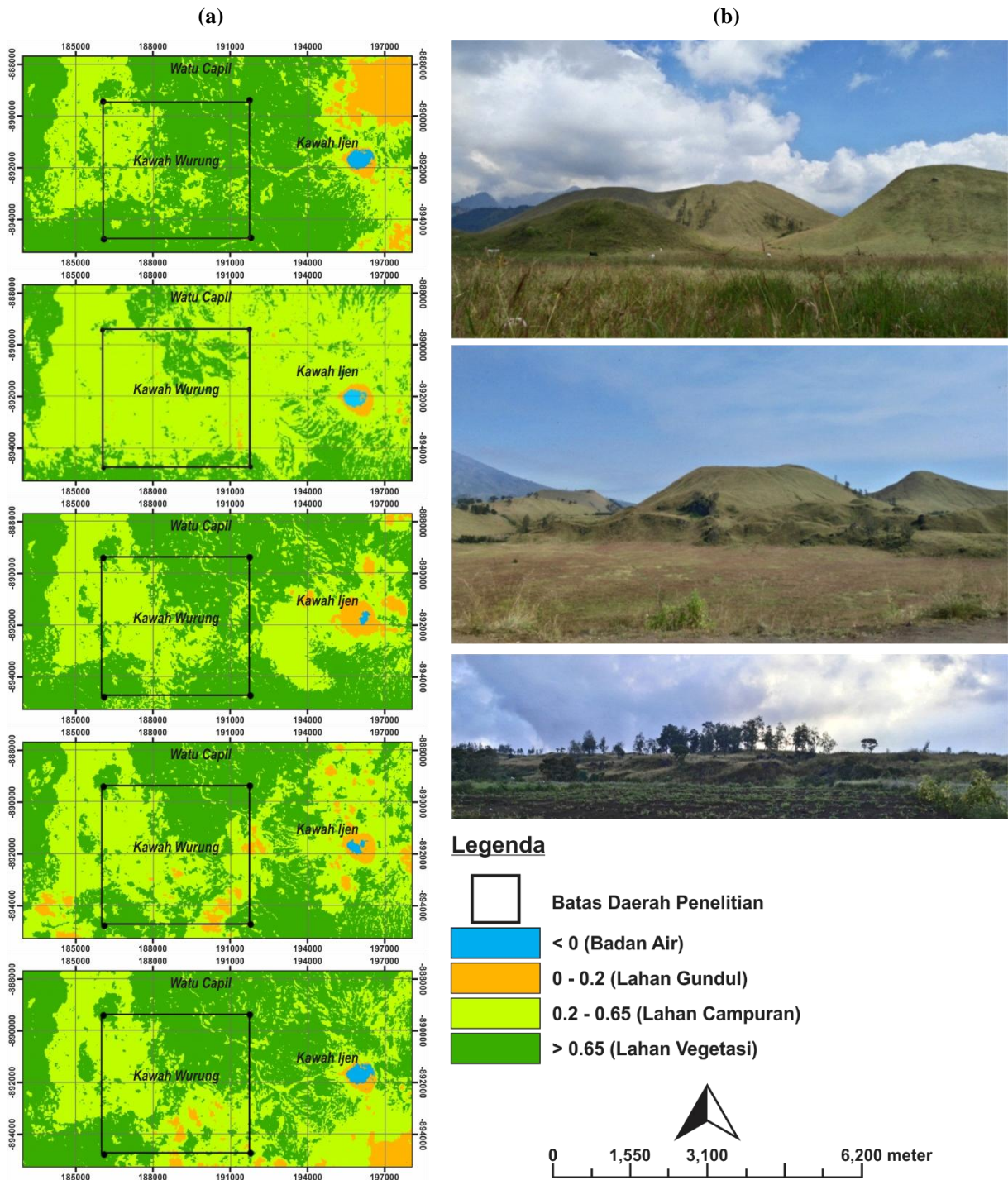
Klasifikasi tutupan lahan pada penelitian ini dibagi menjadi empat yaitu lahan vegetasi, lahan campuran, lahan gundul dan badan air. Hasil tutupan lahan kompleks Kawah Wurung-Ijen berdasarkan nilai *NDVI* dapat dilihat pada Gambar 2 dan terangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. *NDVI* Komplek Kawah Wurung-Ijen

No	Data	Min	Max	Mean
1	24 Mei 2015	-0,64	0,87	0,63
2	28 Agustus 2015	-0,64	0,85	0,56
3	26 Mei 2016	-0,37	0,87	0,66
4	11 Juni 2016	-0,27	0,86	0,61
5	29 Juli 2016	-0,59	0,88	0,63

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 2(a) dapat dilihat bahwa daerah Kawah Wurung rata-rata didominasi oleh lahan campuran. Hal ini sesuai dengan keadaan dilapangan yang ditunjukkan oleh Gambar 2(b) bahwa daerah Kawah Wurung didominasi oleh ilalang dan vegetasi yang jarang. Pada daerah penelitian lahan campuran menyebar dari arah Barat Luat ke Tenggara. Tutupan lahan menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik dengan aliran panas pada suatu daerah. Hal ini berarti bahwa daerah yang ditutupi oleh lahan-lahan campuran mengindikasikan daerah tersebut lebih aktif secara termal dibandingkan dengan daerah yang ditutupi oleh lahan vegetasi [15].

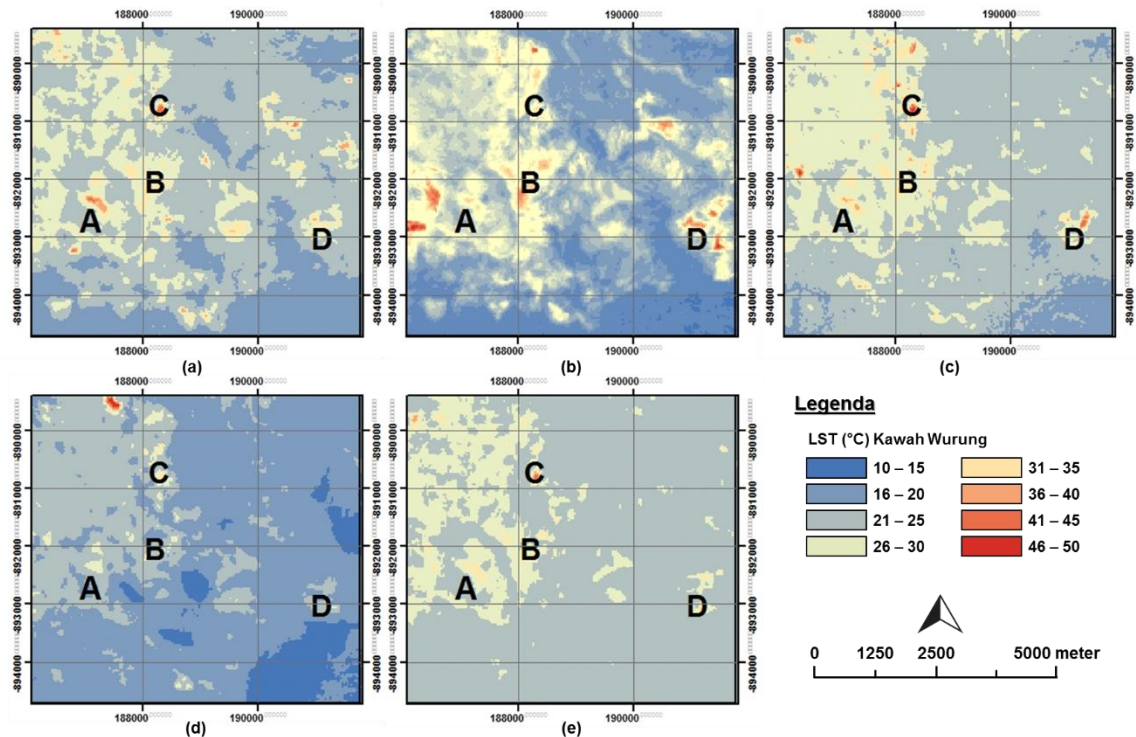
Hasil dari pengolahan *NDVI* selanjutnya digunakan untuk mencari nilai emisivitas pada masing-masing tutupan lahan. Berdasarkan pengolahan yang telah dilakukan, emisivitas yang paling tinggi dimiliki oleh tutupan lahan vegetasi sebesar 0,99 dan nilai yang paling rendah dimiliki oleh badan air yaitu 0,98. Nilai emisivitas menunjukkan bahwa semakin tinggi emisivitas maka semakin besar energi yang dipancarkan.



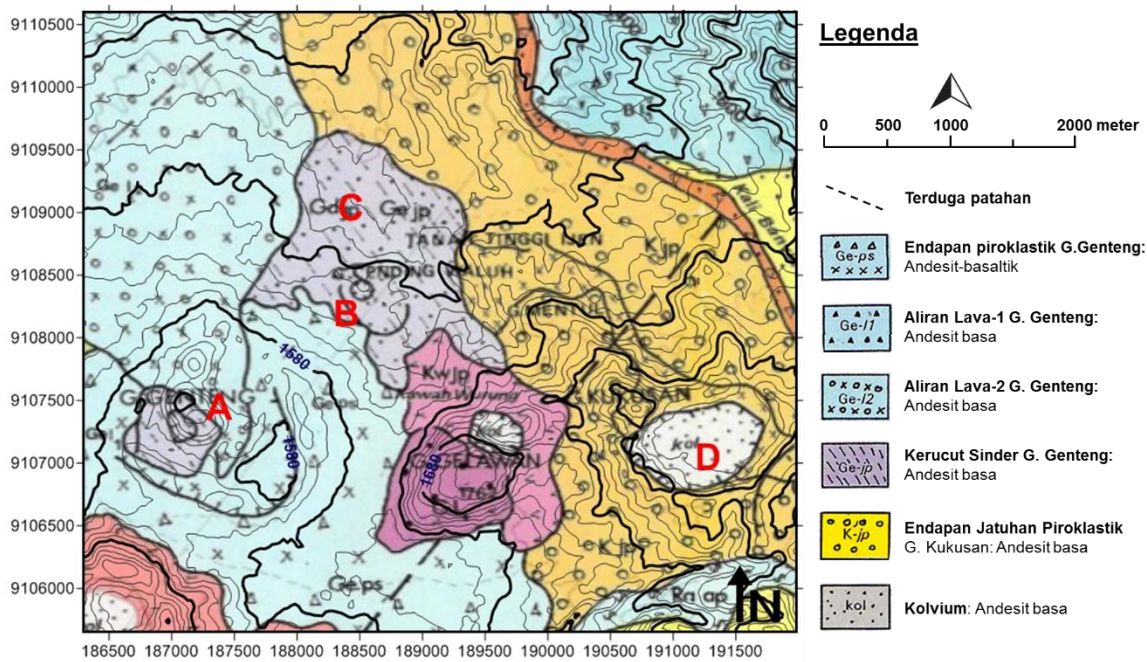
Gambar 2. (a) NDVI pada Komplek Kawah Wurung-Ijen dengan waktu akuisisi yang berbeda yaitu 24 Mei 2015, 28 Agustus 2015, 26 Mei 2016, 11 Juni 2016 dan 29 Juli 2016 (b) Kondisi vegetasi pada daerah Kawah Wurung (dari Atas ke bawah) adalah Barat Kawah Wurung, Timur Kawah Wurung dan Barat Laut Kawah Wurung.

Perkiraan suhu permukaan tanah dilakukan menggunakan kedua kanal dari sensor *TIRS*. Kanal 10 digunakan dalam pemetaan suhu dan penghitungan kelembaban tanah sedangkan kanal 11 digunakan dalam peningkatan pemetaan suhu dan perhitungan kelembaban tanah. Suhu permukaan tanah yang diperoleh

pada masing-masing kanal kemudian dirata-rata sehingga menghasilkan peta sebaran suhu permukaan tanah seperti pada Gambar 3. Peta tersebut menunjukkan bahwa suhu terendah ditunjukkan oleh warna biru sedangkan suhu tertinggi ditunjukkan oleh warna merah dengan rentang suhu berkisar antara 10°C sampai 50°C.



Gambar 3. Suhu permukaan tanah Kawah Wurung dengan waktu akuisisi yang berbeda yaitu (a) 24 Mei 2015, (b) 28 Agustus 2015, (c) 26 Mei 2016, (d) 11 Juni 2016 dan (e) 29 Juli 2016.



Gambar 4. Overlay peta geologi dan peta topografi pada daerah Kawah Wurung.

Berdasarkan peta suhu permukaan tanah yang diperoleh, daerah penelitian menunjukkan adanya anomali suhu permukaan tanah. Anomali tersebut merupakan daerah yang diberi tanda A, B, C dan D. Daerah tersebut memiliki suhu berkisar antara 31°C sampai 50°C dengan rentang cream-merah. Kecenderungan anomali

suhu permukaan tanah pada kelima peta hasil pengolahan adalah sama, sehingga dapat dikatakan bahwa peta tersebut valid walaupun memiliki rentang suhu yang berbeda-beda.

Jika ditinjau melalui peta topografi dari DEM SRTM dan peta geologi yang telah di-overlay seperti pada Gambar 4, daerah anomali

yang ditunjukkan oleh daerah A, B dan D berasosiasi dengan area gunungapi. Anomali pada daerah A berada di Barat Kawah Wurung berasosiasi dengan Gunung Genteng. Anomali pada daerah D berada di Timur Kawah Wurung yang merupakan daerah endapan talus, rayapan dan runtuh bagian tubuh kerucut Gunung Kukusan.

Anomali pada daerah B dan C berada di Utara kawah Wurung. daerah B berasosiasi dengan Gunung Gending Waluh, sedangkan daerah C merupakan daerah yang memiliki anomali LST tertinggi. Daerah tersebut merupakan daerah perumahan Gending Waluh. Daerah lahan terbangun atau pemukiman memiliki suhu permukaan tanah yang tinggi dibandingkan dengan daerah lain seperti tutupan lahan vegetasi dan lahan kosong [16].

Panas yang muncul pada permukaan tanah didominasi oleh konduktivitas termal batuan yang berarti sangat dipengaruhi oleh keadaan fisik batuan dan kandungan kimianya, seperti komponen mineral, porositas batuan dan pengisi rekahan batuan. Geologi regional pada Komplek Gunungapi Ijen mencatat bahwa daerah penelitian didominasi oleh batuan vulkanik berupa andesit yang berusia kuartar. Daerah yang didominasi oleh batuan andesit memiliki nilai konduktivitas yang relatif tinggi [17]. Berdasarkan analisis struktur geologi dapat dinyatakan bahwa anomali suhu permukaan tanah pada daerah yang ditandai oleh A, B dan D merupakan daerah yang berpotensi sebagai area potensi panas bumi. Sedangkan daerah C anomali suhu permukaan tanah disebabkan oleh adanya perumahan penduduk sehingga belum dapat dikatakan sebagai area panas bumi

KESIMPULAN

Hasil pengolahan citra penginderaan jauh menunjukkan bahwa pada daerah penelitian terdapat anomali suhu permukaan tanah dengan rentang suhu 31°C sampai 50°C. Anomali tersebut berada pada Barat Kawah Wurung yaitu sekitar Gunung Genteng, Utara Kawah Wurung yaitu daerah Gunung Gending Waluh dan pada Timur Kawah Wurung yaitu kolovium dari Gunung Kukusan. Ketiga daerah ini diduga sebagai area potensi panas bumi karena salah satu tanda bahwa suatu daerah memiliki potensi

panas bumi adalah adanya manifestasi berupa tanah hangat (*warm ground*)

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada penyelenggara Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi Tahun 2016, PEER SCIENCE ROJECT USAID PGA 2000005053 dan kelompok penelitian yang memberikan dukungan sekaligus pemikiran dalam penelitian ini, serta USGS yang telah menyediakan citra Landsat 8 *OLI* dan *TIRS*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bergen, M.J., Bernard, A., Sumarti, S., Sriwana, T. and Sitorus, K. (2000) Crater Lake of Java: Dieng, Kelud and Ijen. *Excursion Guidebook IAVCEI General Assembly, Bali 2000*, IAVCEI General Assembly, Bali.
- [2] Sidarto, Suwanti, T. and Sudana, D. (1993) Peta Geologi Lembar Banyuwangi, Jawa Skala 1:100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- [3] Zaennudin, A., Wahyudin, D., Surmayadi, M. and Kusdinar, E. (2012) Prakiraan bahaya letusan Gunung Api Ijen Jawa Timur. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, **3**, 109–32.
- [4] Utama, A.P., Dwinanto, A., Situmorang, J., Hikmi, M. and Irsamukhti, R. (2012) Green Field Geothermal Systems in Java, Indonesia. *ITB Geothermal Workshop 2012*, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung.
- [5] Dewi, C.N., Maryanto, S. and Rachmansyah, A. (2015) Sistem Panasbumi Daerah Blawan, Jawa Timur Berdasarkan Survei Magnetotelurik. *Jurnal Riset Geologi Dan Pertambangan*, **25**, 111. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2015.v25.262>
- [6] Maryanto, S., Suciningtyas, I.K.L.N., Dewi, C.N. and 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. <https://doi.org/10.1155/2016/6034740>
- [7] Azhari, A.P., Maryanto, S. and 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**, 1–12.
- [8] Hanafi, I.H. (2011) Aktifitas Penginderaan Jauh Melalui Satelit di Indonesia dan Pengaturannya dalam Hukum Ruang Angkasa. *Jurnal Sasi*, **17**, 1–10.
- [9] Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. and Chipman, J.W. (1989) Remote Sensing and Image Interpretation. 5th ed. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- [10] Littlefield, E.F. and Calvin, W.M. (2014) Geothermal exploration using imaging spectrometer data over Fish Lake Valley, Nevada. *Remote Sensing of Environment*, **140**, 509–18. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.09.007>
- [11] Utama, W., Bahri, A.S. and Warnana, D.D. (2012) Analisis Citra Landsat ETM+ untuk Kajian Awal Penentuan Daerah Potensi Panas Bumi di Gunung Lamongan, Tiris, Probolinggo. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, **8**, 1–4. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v8i1.858>
- [12] United States Geological Survey (USGS). (2015) Frequently Asked Questions [Internet]. Landsat Mission.
- [13] Carlson, T.N. and Ripley, D.A. (1997) On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, **62**, 241–52. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00104-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00104-1)
- [14] Qin, Q., Zhang, N., Nan, P. and 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**, 552–9. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.02.005>
- [15] Mia, M.B., Nishijima, J. and Fujimitsu, Y. (2014) Exploration and monitoring geothermal activity using Landsat ETM+images. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Elsevier B.V. **275**, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.02.008>
- [16] Uddin, S., Al Ghadban, A.N., Al Dousari, A., Al Murad, M. and Al Shamroukh, D. (2010) A Remote Sensing Classification for Land-Cover Changes and Micro-Climates in Kuwait. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, **5**, 367–77. <https://doi.org/10.2495/SDP-V5-N4-367-377>
- [17] Lillie, R.J. (1988) Whole Earth Geophysics: an Introductory Textbook for Geologists and Geophysicists. Prentice Hall, New Jersey.