PROSIDING, Seminar Teknologi Kebumian dan Kelautan (SEMITAN III)
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS), Indonesia, 10 Juli 2021
ISSN 2686-0651
Vol. 3, No. 1, Juli 2021

PENDUGAAN MANIFESTASI PANAS BUMI MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT 8 BERDASARKAN ANALISIS KELURUSAN DAN SUHU PERMUKAAN TANAH (STUDI KASUS: ARJUNO-WELIRANG)

Ni Made Paramita Dwi Lestari[1], Jusfarida[1]

[1]Jurusan Teknik Geologi, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Jl. Arief Rahman Hakim 100 Surabaya Jl. Arief Rahman Hakim 100 Surabaya

e-mail: paramitabwi@gmail.com

ABSTRAK

Empat puluh persen dari seluruh panas bumi dunia dimiliki Indonesia. Potensi panas bumi Indonesia berupa energi listrik *geothermal* diperkirakan mencapai 29.000 Megawatt, atau hampir setara dengan pasokan listrik Nasional. Keberadaan panas bumi di Indonesia sangat erat kaitannya dengan proses tumbukan yang terjadi pada lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik, yang menghasilkan busur vulkanik. Daerah dengan aktivitas vulkanik aktif salah satunya adalah Gunung Arjuno-Welirang di Jawa Timur. Potensi panas bumi yang terdapat di suatu daerah dapat diidentifikasi dengan manifestasi fumarol, mata air panas, lumpur panas, *steaming ground,* dan *alterasi hydrothermal*. Metode identifikasi manifestasi panas bumi dapat dilakukan melalui pemanfaatan penginderaan jauh pada Citra Landsat 8 dengan sensor Thermal Infrared (TIR) dan DEM SRTM. Data penginderaan jauh dimanfaatkan untuk mendelineasi struktur patahan di permukaan bumi dalam cakupan wilayah yang luas, waktu singkat, dan biaya efisien. Hasil penelitian memperlihatkan titik-titik manifestasi panas bumi berdasarkan pola kelurusan dan sebaran suhu permukaan tanah ke dalam peta pola kelurusan serta sebaran titik-titik panas. Kajian langsung di lapangan dilakukan untuk memastikan titik panas yang merupakan manifestasi dan bukan manifestasi panas bumi.

Kata kunci: Citra Landsat 8, Panas bumi, Kompleks Arjuno-Welirang

ABSTRACT

Forty percent of the world's geothermal energy is owned by Indonesia. Indonesia's geothermal potential in the form of geothermal electrical energy is estimated at 29,000 Megawatts, or almost equivalent to the national electricity supply. The existence of geothermal energy in Indonesia is closely related to the collision process that occurs on the Indo-Australian plate, the Eurasian plate, and the Pacific plate, which produces a volcanic arc. One area with active volcanic activity is Mount Arjuno-Welirang in East Java.Geothermal potential in an area can be identified by the manifestation of fumaroles, hot springs, hot mud, steaming ground, and hydrothermal alteration. The method of identifying geothermal manifestations can be done through the use of remote sensing on Landsat 8 imagery with Thermal Infrared (TIR) sensors and DEM SRTM. Remote sensing data is used to describe the fault structure on the earth's surface in a wide area, in a short time, and is cost efficient.The results showed that the points of geothermal manifestation based on the straightness pattern and the distribution of the ground surface temperature became a map of the straightness pattern and the distribution of hotspots. A direct field study was conducted to ensure that the hot spot is a manifestation and not a geothermal manifestation.

Keyword: Arjuno-Wellireng complex, Geothermal, Landsat 8 Image

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Arjuno-Welirang merupakan salah satu gunung api aktif di Pulau Jawa yang berumur Kuarter. Kompleks gunung api Arjuno-Welirang berada pada tatanan tektonik jalur magmatik Jawa bagian Selatan (Setijadji, 2010). Kompleks Gunung Arjuno-Welirang dan sekitarnya disusun oleh batuan bersumber dari Gunung api Anjasmoro (Plistosen Awal), Gunung api Ringgit –Pundak –butak (Plistosen Tengah). Gunung api Arjuno-Welirang-Kembar I dan II (Plistosen akhir), dan Gunung api Penanggungan (Holosen, (Hari dkk, 2016). Keberadaan gunung api berasosiasi dengan prospek panas bumi seperti komplek gunungapi Arjuno-Welirang termasuk kedalam gunung api bermedan terjal yang berasosiasi dengan sistem vulkanik. Aktifitas vulkanisme yang berkembang biasanya memunculkan manifestasi panas bumi di sekitar tersebut. Seperti kemunculan fumarol, tanah berupa uap, sinter silika, dan alterasi *hidrothermal* dan mata air panas. Akses yang sulit sampai saat ini membatasi survei lapangan dari lokasi target yang sesuai. Untuk itu diperlukan pemanfaatan teknologi penginderaan

ISSN 2686-0651
Vol. 3, No. 1, Juli 2021

jauh sebagai salah satu alternatif untuk mengidentifikasi wilayah energi panas bumi.

Survei pengintaian awal sering kali menggunakan penginderaan jauh yang dikombinasikan dengan literatur survei skala regional untuk memilih daerah prospek panas bumi (Van der Meer et al., 2014). Dimana survei penginderaan jauh inframerah termal (TIR) adalah teknik yang efisien untuk mendapatkan suhu permukaan tanah (LST). Aplikasi pertama penginderaan jauh inframerah termal (TIR) dalam eksplorasi panas bumi dilakukan di taman Nasional Yellowstone Amerika Serikat dan berhasil mendeteksi adanya air panas dan anomali panas dekat permukaan lainnya (Zhou, 1998). Sedangkan Vaughan dkk. (2005) dan Coolbaugh et al. (2007) mempelajari panas bumi di Nevada Amerika Serikat dengan menggunakan penginderaan jauh TIR. Keberadaan anomali suhu permukaan tanah (LST) merupakan salah satu indikator utama area panas bumi. Namun, itu dapat dipengaruhi oleh banyak faktor seperti radiasi matahari, tutupan lahan, indeks vegetasi serta struktur geologi. Dengan menggunakan pendekatan ini, dimaksud untuk menunjukkan keefektifan data inframerah penginderaan jauh dari satelit Landsat 8 untuk mendeteksi area panas bumi potensial dan mengukur suhu anomali yang terkait dengan fitur panas bumi permukaan, yaitu: fumarol dan *steaming ground*, yang muncul ke permukaan melalui konduksi dan konveksi.

Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan identifikasi area panas bumi menggunakan citra Landsat 8 pada daerah studi Gunung Arjuno-Welirang. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sebaran panas bumi pada kawasan Arjuno-Welirang menggunakan Citra Landsat 8 serta mengetahui potensi penggunaan Penginderaan jauh dan tinjauan geologi dalam penentuan titik-titik panas bumi pada kawasan Arjuno-Welirang.

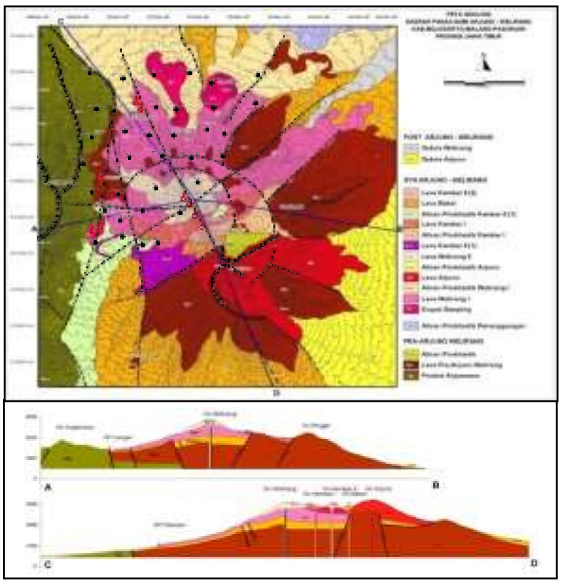
Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak kawasan Gunung Arjuno-Welirang yang secara administratif terletak di perbatasan Kota Batu, Kabupaten Malang, dan Kabupaten Pasuruan

TINJAUAN PUSTAKA

Geologi Regional

Kompleks gunung Arjuno-Welirang merupakan salah satu gunung api aktif di Jawa Timur dengan susunan batuan berumur kuarter yang berada pada tatanan tektonik jalur magmatik Jawa Bagian Selatan. Produk vulkanik baru berasal dari Welirang dan Arjuno muda, Gunung Kembar I-II, dan Gunung Bakal dipengaruhi oleh sesar mendatar di permukaan (Sesar Dekstral Pendusa) yang berada pada arah Barat Laut-Tenggara sebagai antitetik dari Sesar Sinistral Welirang yang berarah Barat Daya-Timur Laut (Hadi dkk, 2010). Struktur secara menerus berada pada arah Utara-Selatan, Barat Laut – Tenggara, Barat Daya-Timur Laut, dan Barat-Timur serta adanya struktur vulkanik berupa ring freacture dan zona amblesan yang disebabkan oleh erupsi besar Arjuno-Welirang tua sehingga membentuk kekosongan pada produk Arjuno-Welirang tua. Batuan yang terdapat umumnya berjenis andesit-basaltik yang berasal dari beberapa pusat erupsi, dimana stratigrafi Arjuno-Welirang terdapat 18 (delapan belas) satuan batuan yang semuanya berupa batuan vulkanik. Komplek vulkanik di daerah penyelidikan dibagi tiga produk utama, yaitu produk gunung api Anjasmoro (lava Anjasmoro), produk Gunung penanggungan (Aliran Piroklastik Gunung Penanggungan) dan produk Gunung Arjuno-Welirang (lava Arjuno-Welirang tua, aliran piroklastik Arjuno – Welirang tua, erupsi samping, lava welirang I, aliran piroklastik welirang I, lava arjuno, aliran piroklastik arjuno, lava welirang II, lava Kembar II (1), aliran piroklastik kembar I, lava kembar I, aliran piroklastik kembar II dan lava kembar II (2) serta produk longsoran welirang dan arjuno (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2017).



Gambar 1: Peta geologi regional daerah panas bumi Komplek Arjuno – Welirang (PSDG, 2010)

Adapun struktur geologi yang terdapat pada gunung Arjuno-Welirang memiliki arah gaya Utara-Selatan yang diwakili oleh Sesar Cangar,

ISSN 2686-0651
Vol. 3, No. 1, Juli 2021

Sesar Puncung, dan Sesar Claket. Sesar dengan arah Barat Laut-Tenggara yang diwakili oleh Sesar Sesar Pedusan, Sesar Kemiri, dan Sesar Bakal. Sesar dengan arah Barat Daya – Timur Laut diwakili oleh Sesar Welirang, Kembar dan Sesar Bulak yang diperkirakan sebagain sesar utama. Sedangkan untuk sesar dengan arah Barat-timur diwakili oleh Sesar Ledug dan Sesar Ringit. Terdapat juga Rim Kaldera Anjasmoro yang merupakan sesar normal yang terbentuk akibat aktivitas vulkano tektonik pada komplek Anjasmoro. Serta ditemukan amblesan yang memiliki bentukan setengah melingkar dengan arah bukaan Tenggara-TimurLaut yang ditunjukkan oleh Sesar Arjuno yang diperkirakan akibat dari aktivitas vulkanik.

Panas Bumi

Menurut UU No. 21 Tahun 2014 tentang Panas Bumi, sumber daya panas bumi adalah sumber panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, dan batuan mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetik semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi. Secara umum terdapat empat jenis sistem panas bumi, yaitu hidrothermal, geopressure, hot dry rock dan magma. Sistem hidrothermal merupakan sistem yang paling banyak dikembangkan. Sumber panas bumi biasanya ditunjukkan oleh keberadaan manifestasi panas bumi yang terbentuk akibat adanya perambatan panas yang naik pada rekahan-rekahan, sehingga memungkinkan fluida panas bumi mengalir ke permukaan. Perpindahan panas secara konduksi pada batuan bawah ke permukaan menyebabkan temperatur pada tanah lebih tinggi dari sekitarnya. Adanya perbedaan temperatur pada tanah menyebabkan kemunculan manifestasi panas bumi berupa fumarol dan solfatara, lumpur panas, sinter silika, sinter, sinter karbonat, dan batuan terubah.

Citra Satelit

Citra Satelit merupakan penginderaan jauh dengan cara merekam suatu objek menggunakan alat berupa pesawat, balon udara, satelit, serta alat lainnya, tanpa adanya kontak fisik dengan suatu objek. Data citra diperoleh melalui pengukuran gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh objek di permukaan bumi sebagai respon gelombang yang akan dikumpulkan menjadi sebuah rekaman citra multispektral. Data yang diperoleh dapat digunakan sebagai tahap awal eksplorasi, salah satunya eksplorasi panas bumi. Adapun aplikasi yang digunakan untuk menginterpretasikan data citra adalah ArcGis 10.3 dengan pengolahan data berikut:

Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik digunakan untuk memperbaiki kesalahan radiometrik atau adanya cacat radiometrik. Koreksi radiometrik ditujukan untuk memperbaiki nilai piksel agar diperoleh warna sesuai dengan warna asli. Dalam penggunaan Citra Landsat 8 perlu dilakukan kalibrasi radiometrik untuk mengkonversi nilai data citra yang awalnya dalam bentuk Digital Number (DN) menjadi radiance dan atau reflectance TOA (Top Of Atmospheric). Adapun cara untuk melakukan kalibrasi radiometrik adalah dengan menggunakan rumus USGS (2019).

Conversion to TOA (Top Of Atmosphere) Radieance (USGS, 2019)

$$L\lambda = ML * Qcal + AL$$

Keterangan:

Lλ = *Spectral radiance* (W/(m2 * sr * μm))
ML = *Radiance multiplicative scaling factor for the band (RADIANCE_MULT_BAND_n from the metadata)*
AL = *Radiance additive scaling factor for the band (RADIANCE_ADD_BAND_n from the metadata)*
Qcal = *Level 1 pixel value in*

Conversion to TOA (Top Of Atmosphere) Reflectance (USGS, 2019)

$$\rho\lambda' = M\rho * Qcal + A\rho$$

Keterangan:

ρλ' = *TOA Planetary Spectral Reflectance, without correction for solar angle. (Unitless)*
Mρ = *Reflectance multiplicative scaling factor for the band (REFLECTANCEW_MULT_BAND_n from the metadata)*
Aρ = *Reflectance additive scaling factor for the band (REFLECTANCE_ADD_BAND_N from the metadata)*
Qcal = *Level 1 pixel value in*

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Indeks vegetasi adalah tingkat kehujauan vegetasi suatu wilayah berdasarkan perbandingan antara tingkat kecerahan *band* cahaya merah (*red*) dan *band* cahaya inframerah dekat (*near infrared*). Penggunaan citra dalam mengukur parameter indeks vegetasi yang peka terhadap klorofil akan memudahkan dalam membedakan lahan bervegetasi, lahan terbuka, dan air. Adapun algoritma yang digunakan dalam penentuan indeks vegetasi yaitu (Amalisana dkk, 2017):

$$NDVI = \frac{\text{Band Near Infrared} - \text{Band Visible Red}}{\text{Band Near Infrared} + \text{Band Visible Red}}$$

ISSN 2686-0651
Vol. 3, No. 1, Juli 2021

Land Surface Temperature (LST)

Penentuan suhu permukaan dilakukan dengan melakukan perhitungan pada *Digital Number* (DN) menjadi *radiance* dan atau *reflectance* TOA (*Top Of Atmospheric)*. Dengan mengurangi gangguan pancaran dari objek maka perlu dilakukan pengkorelasian antara data saturasi temperature dari band 10, 11dengan data kerapatan vegetasi yang didapat. Adapun langkah perhitungannya menggunakan algoritma berikut:

TOA Brightness Temperature (USGS, 2019)

$$\boldsymbol{TB} = \left(\frac{\mathbf{K2}}{\boldsymbol{Ln}\left(\frac{\mathbf{K1}}{\mathbf{L\lambda}}+1\right)}\right) - \mathbf{273}$$

Keterangan:

TB = *TOA Brightness Temperature (˚C)*
Lλ = *Spectral Radiance (Watts/(m2*sr*µm))*
K1 = *Termal conversion constant for the band (K1_CONSTANT_BAND_n from the metadata)*
K2 = *Termal conversion constant for the band (K2_CONSTANT_BAND_n from the metadata)*
273 = Nilai untuk konversi suhu dalam satuan Kelvin menjadi Celcius

Proportion of Vegetation (Amalisana dkk, 2017)

$$pv = \left[\frac{\text{NDVI}-\text{NDVIs}}{\text{NDVI}v+\text{NDVIs}}\right]$$

Keterangan:

Pv = *Proportion Of Vegetation*
NDVI = Hasil NDVI
NDVIs = Nilai NDVI (soil) (NDVI min)
NDVI*v* = Nilai NDVI fraksi vegetasi 100% (NDVI maks)

Penentuan Nilai Emisivitas (Alipor dkk, 2014)

$$\boldsymbol{\varepsilon = \varepsilon v Pv + \varepsilon s(1-Pv) + d\varepsilon Pv(1-Pv)}$$

Keterangan:

ε = Emisivitas permukaan
εv = Nilai emisivitas vegetasi (0.985)
εs = Nilai emisivitas tanah (0.960)
dε = Faktor bentuk (0.06)

Land Surface Temperature (Amalisana dkk, 2017)

$$\boldsymbol{TB} = \left(\frac{\mathbf{TB}}{\mathbf{1} + \left(\frac{\boldsymbol{\lambda} * \mathbf{TB}}{\boldsymbol{\partial}} * \mathbf{ln\varepsilon}\right)}\right)$$

Keterangan:

TS = Suhu Permukaan (˚C)
λ = Panjang gelombang dari radiasi: band 6 (Landsat 5) = 11,45 µm band 10 (Landsat 8) = 10,8 µm
∂ = hc/σ (besarnya =1,438 x 10-2 mK)
h = Konstanta Planck's (6,26x10-34 J sec)
c = Kecepatan cahaya (2,998 x 108 m.sec-1)
σ = Konstanta Stefan-Boltzman (1,38 x 10-23 JK-1)
ε = Emisivitas objek

METODE PENELITIAN

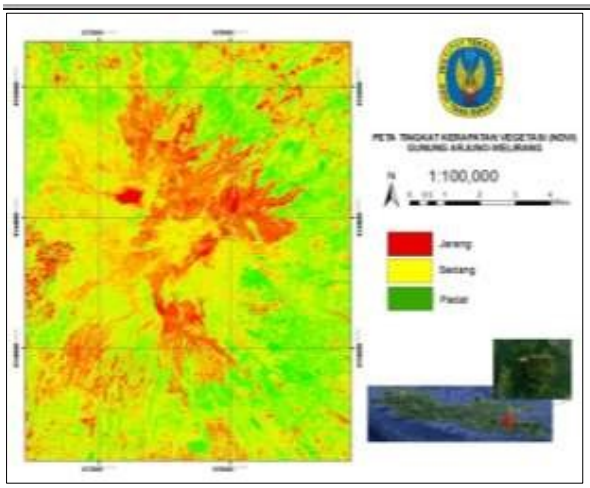
Penelitian dilakukan di wilayah Gunung Arjuno-Welirang, Jawa Timur dengan memanfaatkan Citra Landsat 8 yang diambil pada tanggal 2 Desember 2019. Data Citra Landsat yang digunakan diunduh dari https://earthexplorer.usgs.gov/ untuk kemudian diolah menggunakan ArcGIS 10.3. Dalam pengolahan data citra digunakan beberapa algoritma berdasakan USGS, berupa koreksi radiometrik dan atmosferik. Kedua bentuk koreksi ditujukan untuk memperoleh nilai pixel sebenarnya. Setelah nilai pixel dapat dikembalikan, maka dilakukan perhitungan sesuai dengan persamaan yang diterangkan pada 2.3 Citra Satelit, yaitu untuk mengidentifikasi suhu permukaan dan indeks vegetasi Gunung Arjuno-Welirang. Data yang diperoleh dimanfaatkan untuk mengidentifikasi sebaran titik panas.

HASIL PEMBAHASAN

Hasil Pengolahan Indek Vegetasi (NDVI)

NDVI dengan nilai positif (+) menunjukkan vegetasi yang lebih banyak memantulkan radiasi gelombang dibandingkan dengan cahaya tampak. NDVI dengan nilai nol (0) berarti radian pada gelombang yang dipantulkan sama dengan daerah pemukiman dan non vegetasi. Apabila energi gelombang tampak dipantulkan lebih banyak dibandingkan infra merah dekat, maka akan menghasilkan NDVI negatif (-). Nilai NDVI kemudian diklasifikasikan sesuai kisaran tingkat NDVI dari Departemen Kehutanan (2003). Dalam klasifikasi ditentukan tiga kelas, yaitu jarang, sedang, dan tinggi. Wilayah dengan vegetasi jarang, ditunjukkan oleh warna merah. Warna tersebut memperlihatkan bahwa, daerah memiliki indeks kerapatan 1 – 0,32. Wilayah dengan warna kuning menunjukan kerapatan vegetasi sedang dengan indeks kerapatan 0,32 – 0,42. Sedangkan daerah dengan vegetasi rapat, didominasi pada kaki Gunung Arjuno-Welirang dengan rentang nilai indeks vegetasi 0,42 – 1.

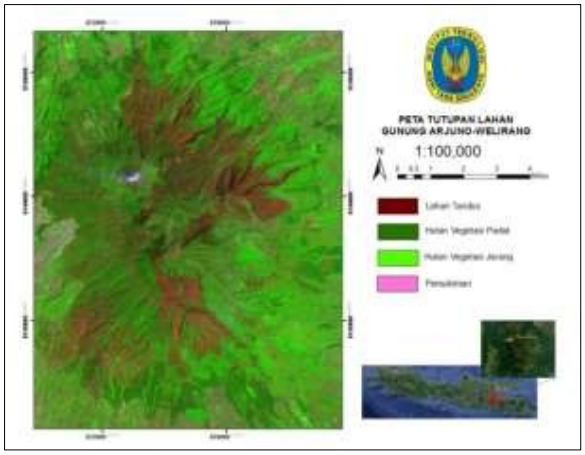
ISSN 2686-0651
Vol. 3, No. 1, Juli 2021



Gambar 2: Peta Tingkat Kerapatan Vegetasi Komplek Arjuno – Welirang tahun 2019

Hasil Pengolahan Tutupan Lahan

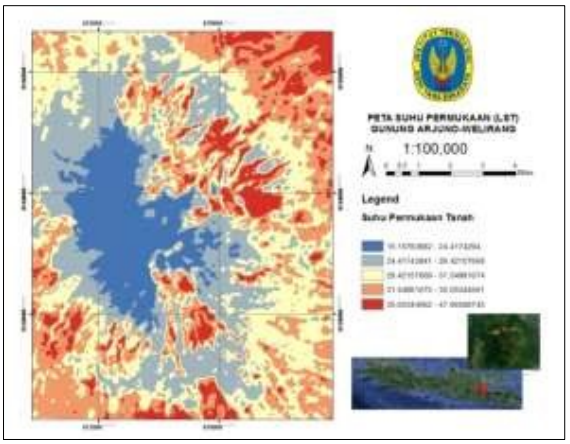
Tutupan lahan sangat berpengaruh terhadap kegiatan identifikasi manifestasi panas bumi. Hal ini dikarenakan adanya tutupan lahan sangat berpengaruh pada pantulan radiasi yang terbaca oleh perekaman citra. Penentuan tutupan lahan dilakukan melalui penggabungan Citra Landsat 8 pada kanal 4, 5, dan 7 yang telah dikoreksi. Berdasarkan peta tutupan lahan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3, setiap jenis tutupan lahan ditunjukkan oleh warna yang berbeda. Dalam penggolongan tutupan lahan, juga dilakukan pengecekan melalui pemantauan Google Earth dan Google Maps. Dengan demikian dapat diperoleh tutupan lahan dengan klasifikasi hutan padat, hutan sedang, lahan hutan tandus, pemukiman, ladang, persawahan, lahan kosong, badan air, dan lembah.



Gambar 3: Peta Tutupan Lahan Komplek Arjuno – Welirang tahun 2019

Hasil Pengolahan *Land Surface Temperature*

Pengolahan *Land Surface Temperature* (LST) dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui anomali suhu permukaan beserta sebarannya. Hasil analisis sebaran suhu permukaan Gunung Arjuno-Welirang dipadukan dengan peta tutupan lahan dan peta kerapatan indeks vegetasi serta kenampakan struktur pada geologi regional maka diperoleh sebaran panas yang didominasi di bagian Barat Laut. Sedangkan pada daerah sekitarnya, suhu permukaan yang terbentuk diperkirakan akibat adanya pemukiman serta daerah lahan kering dengan kerapatan vegetasi jarang. Rentang suhu yang dihasilkan berkisar antara 15 – 47^{0}C. Untuk mengetahui kepastian data yang diperoleh dari Citra Landsat, maka dilakukan pengecekan lapangan. Dari hasil pengamatan lapangan, ditemukan titik-titik panas berupa air panas Cangar, air panas Pedusan, air panas Coban, serta keterdapatan fumarole pada puncak kerucut Arjuno-Welirang serta zona alterasi pada kawah Plupuk dan dibawah Gunung Punda. Kondisi ini merupakan petunjuk adanya manifestasi panas bumi.



Gambar 3: Peta Suhu Permukaan Tanah Komplek Arjuno – Welirang tahun 2019

KESIMPULAN

Identifikasi panas bumi pada kawasan gunung Arjuno-Welirang menggunakan Citra Landsat 8 dilakukan dengan cara menganalisis band-band yang tersusun pada Citra Landsat dengan bantuan aplikasi ArcGIS 10.3. Dimana dalam penentuan suhu permukaan digunakan band 10 dan band 11 yang sebelumnya sudah dilakukan koreksi atmosfer. Hasil yang diperoleh dalam penentuan suhu permukaan adalah sebaran panas dengan nilai antara 15 – 47 ^{0}C. Namun demikian, tidak semua wilayah pada rentang nilai suhu tersebut menunjukkan manifestasi panas bumi, sehingga perlu dilakukan survai lapangan. Berdasarkan hasil survai diperoleh keberadaan

ISSN 2686-0651
Vol. 3, No. 1, Juli 2021

manifestasi panas berupa air panas Cangar, air panas Pedusan, air panas Coban, serta keterdapatan fumarole pada puncak kerucut Arjuno-Welirang serta zona alterasi pada kawah Plupuk dan dibawah Gunung Punda.

Potensi penggunaan Citra Landsat 8 mampu mengidentifikasi titik-titik panas pada Gunung Arjuno-Welirang sangat efektik, karena dapat mengidentifikasi wilayah yang sangat luas. Serta mempersingkat waktu survai lapangan untuk mencari sumber panas bumi.

SARAN

Sebaiknya data Citra Landsat yang diambil tidak tertutupi awan, karena sensor termal tidak dapat menembus awan.

Dalam melakukan identifikasi lebih lanjut, diperlukan kerjasama interdisiplin ilmu, seperti Geologi, Geokimia, dan Geofisika. Hal ini dilakukan untuk mengetahui potensi serta besar energi panas bumi yang dihasilkan secara lebih rinci.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada pimpinan ITATS yang telah banyak mensupport penelitian ini, serta para pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Akhirnya, terima kasih disampaikan kepada penyelenggara SEMITAN III, sehingga penulis dapat mepublikasikan karya ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Amalisana, Birohmatin, Pin TjiongGiok, Saraswati, Ratna. (2017). Penentuan Potensi Panas Bumi Menggunakan Landsat 8 dan Hubungannya dengan Kondisi Geologi Gunung Lawu. *Industrial Research Workshop and National Seminar*. Bandung.

Alipour, T, Sarajian, M.R, Esmaeily, A, (2014). Land Surface Temperature Estimation From Thermal Band of Landsat Sensor, Case Study : Alashtar City. *International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*

Badan Geologi Kementerian Energi and Sumber Daya Mineral. (2015). Buku Panduan Penyelidikan Panas Bumi. *Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi.* Bandung.

Coolbaugh, M.F., Kratt, C., Fallacaro, A., Calvin, W.M., Taranik, J.V., (2007). Detection of geothermal anomalies using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) thermal infrared images at Bradys Hot Springs, Nevada, USA. *Remote Sensing of Environment* 106 (3), 350–359.

Daud, Yunus., Fahmi, F., Nuqrmadha, W. A., Hedinata, D. M., Pratam, S. A., dan Suhanto, E. (2015). "3-Dimensional Inversion of MT Data over the Arjuno-Welirang Volcanic Geothermal System, East Java (Indonesia)," *Proceedings World Geothermal Congress*. April: 3–8.

Hadi, M.N., Kusnadi, D., Rezky, Y., (2010)., Penyelidikan Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Arjuno-Welirang, Kabupaten Mojokerto dan Malang, Provinsi Jawa Timur. *Pusat Sumber Daya Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*, pp. 405 – 412.

Hall, R. (2014). Tectonics: Subduction, Extention, Provenance, and More. *Indonesian Petroleum Association Proceedings 38th Annual Exhibition and Convention*, IPA14-G-360

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2014 tentang Panas Bumi. (2014). *Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 217*. Jakarta

USGS. (2019). Landsat 8 (L8) Data Users Handbook Version 5.0. *South Dakota: Department of Interior U.S Geological Survey* published on November 16, 2019.

Van der Meer, F., Hecker, C., Van Ruitenbeek, F., Can der Werff, H., de Wijkerslooth, C., Wechsler, C., (2014). Geologic remote sensing for geothermal exploration: a review. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 33*, 255–269.

Vaughan, R.G., Hook, S.J., Calvin, W.M., Taranik, J.V., (2005). Surface mineral mapping at Steamboat Springs, Nevada, USA, with multi-wavelength thermal infrared images. *Remote Sensing of Environment* 99 (1–2), 140–158

Zhou, Y., (1998). The application of thermal infrared remote sensing techniques in geothermal surveying. *Remote Sensing for Land & Resources 4*, 24–28 (in Chinese with English abstract).