

Penentuan Potensi Panas Bumi Menggunakan Landsat 8 dan Hubungannya dengan Kondisi Geologi Gunung Lawu

Birohmatin Amalisana¹, TjongGiok Pin², dan Ratna Saraswati³

¹Mahasiswa Departemen Geografi, Fakultas MIPA, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, 16424, Indonesia
E-mail: amalisanaabr@gmail.com

²Dosen Departemen Geografi, Fakultas MIPA, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, 16424, Indonesia
E-mail: tjong.giok@gmail.com

³Dosen Departemen Geografi, Fakultas MIPA, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, 16424, Indonesia
E-mail: ratnasaraswati@yahoo.co.uk

ABSTRAK

Energi panas bumi merupakan energi terbarukan yang banyak ditemukan di wilayah Indonesia. Salah satu wilayah yang memiliki cadangan energi panas bumi yang melimpah ialah Gunung Lawu yang terletak di Provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur. Penginderaan jauh dapat membantu tahap awal eksplorasi energi panas bumi dengan mengidentifikasi lokasi panas bumi menggunakan citra Landsat 8 band *Thermal*. Persebaran wilayah potensi panas bumi tersebut kemudian dianalisis hubungannya dengan kondisi geologi Gunung Lawu berupa kerapatan kelurusan dan satuan litologi. Penelitian ini menghasilkan wilayah potensi panas bumi pada Gunung Lawu sebagian besar berada di sisi lereng sebelah selatan dan barat mengikuti sebaran Mata Air Panas dan berasosiasi dengan kerapatan kelurusan serta satuan litologi berupa aliran lava dan piroklastik.

Kata Kunci

Panas Bumi, Kerapatan Kelurusan, Satuan Litologi.

1. PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia termasuk dalam wilayah rangkaian pegunungan berapi yang disebut dengan *Ring of Fire* dengan susunan gunung berapi aktif sebanyak 130 gunung. Kondisi ini disebabkan karena Indonesia berada pada wilayah pertemuan 3 lempeng tektonik yang aktif mengalami pergerakan sehingga menghasilkan energi panas bumi yang melimpah. Potensi yang dimiliki Indonesia dihitung sebanyak 40 % dari seluruh potensi panas bumi yang terdapat di dunia dengan total energi sebesar 28.99 Giga Watt (GW) [1]. Jumlah energi tersebut baru dimanfaatkan sebesar 4,2% (196 MW) sehingga pengembangan eksplorasi energi panas bumi untuk pemanfaatan dalam kehidupan sehari-hari di Indonesia sangat dibutuhkan.

Salah satu lokasi potensi panas bumi di Indonesia yang belum dikembangkan dengan maksimal oleh pemerintah sebagai cadangan sumber energi panas bumi ialah wilayah Gunung Lawu yang terletak di Provinsi Jawa Timur dan Jawa Tengah. Gunung api tipe strato ini berstatus istirahat namun masih memperlihatkan aktivitas vulkanik aktif dengan ditemukannya kepundan kecil yang masih mengeluarkan fumarol dan solfatara. Gunung Lawu memiliki komposisi geologi berupa batuan vulkanik yang mendukung adanya perkembangan sistem panas bumi di bawah lapisan batuan serta dekat dengan area tumbukan lempeng Indo-Australia dan Eurasia sehingga sistem panas bumi diduga terjadi pada wilayah ini.

Pengembangan eksplorasi panas bumi memiliki kesempatan yang besar karena panas bumi termasuk dalam sumber energi yang tidak menimbulkan emisi berlebihan atau energi terbarukan. Tahap awal eksplorasi energi panas bumi dapat dilakukan dengan memanfaatkan metode penginderaan jauh dan sistem informasi geografi untuk mendeteksi dan mengkaji keberadaan lokasi panas bumi. Metode penginderaan jauh yang dimanfaatkan yaitu dengan mengaplikasikan algoritma pada saluran band termal pada citra Landsat 8 kemudian diinterpretasikan dalam bentuk peta sehingga pengembang pertambangan panas bumi dapat dengan mudah mengenali lokasi yang termasuk dalam prospek panas bumi.

Selain dari interpretasi suhu tanah, keberadaan potensi panas bumi diasumsikan berkaitan dengan kondisi geologi seperti kerapatan kelurusan dan satuan litologi tertentu. Kerapatan kelurusan dapat menjelaskan adanya sistem patahan atau sesar yang aktif, sedangkan satuan litologi dapat menjelaskan adanya sistem struktur batuan yang menghasilkan jalur energi panas bumi. Sehingga tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah menganalisis keberadaan sebaran energi panas bumi di Gunung Lawu dan bagaimana hubungan antara wilayah sebaran energi panas bumi tersebut dengan kerapatan kelurusan dan satuan litologi.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di wilayah Gunung Lawu. Penentuan wilayah potensi panas bumi dilakukan dengan menganalisis sebaran titik-titik lokasi manifestasi panas bumi dan nilai sebaran suhu tanah pada wilayah penelitian. Nilai sebaran suhu tersebut diperoleh dari pengolahan data citra Landsat 8 yang dianalisis lebih lanjut dengan nilai tingkat kehijauan (kerapatan vegetasi) dan sebaran lahan terbangun. Hasil dari identifikasi tersebut menghasilkan peta wilayah potensi panas bumi. Alur pikir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Citra Landsat 8 saluran band termal diolah untuk menghasilkan peta wilayah potensi panas bumi menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.2.1. Tahap pengolahan pertama dimulai dengan koreksi citra berupa koreksi radiometrik dan atmosferik untuk menghilangkan kesalahan dan mengembalikan nilai *pixel* yang sebenarnya. Persamaan yang digunakan dalam pengolahan koreksi citra ini adalah sebagai berikut [2] :

dimana:

- P_v : Fraksi Vegetasi
- NDVI : Nilai Indeks Vegetasi
- $NDVI_s$: Nilai NDVI untuk tanah kosong (*bare soil*)
- $NDVI_v$: Nilai NDVI untuk vegetasi 100%

Nilai emisivitas objek kemudian dihitung dengan persamaan berikut [4] :

$$\varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) + 4d_\varepsilon P_v (1 - P_v) \quad (4)$$

dimana :

- ε : emisivitas objek
- ε_v : emisivitas darivegetasi (0,986)
- ε_s : emisivitas daritanahkosong (0,960)
- d_ε : nilai rata-rata

Perhitungan suhu tanah tahap terakhir digunakan untuk mengidentifikasi anomali panas pada wilayah diduga berpotensi panas bumi dengan menggunakan emisivitas permukaan berdasarkan persamaan berikut [2] :

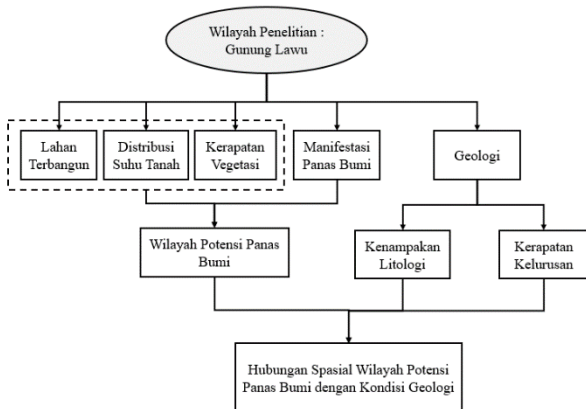
$$T = \frac{T_{sensor}}{1 + \left(\frac{\lambda T_{sensor}}{hc_j} \right) \ln \varepsilon} - 272.15 \quad (5)$$

dimana :

- T : Temperatur (°C)
- T_{sensor} : Temperatur Kecerahan (Kelvin)
- λ : panjang gelombang emisiradiansiektif pada sensor TIRS (11,5 μm)
- h : Tetapan Plank (6,626 x 10⁸ m.s⁻¹)
- j : Tetapan Boltzmann (1,38 x 10⁻²³ JK⁻¹)
- ε : Emisivitas

Perhitungan jarak dari manifestasi bumi dilakukan karena manifestasi adalah tanda adanya potensi panas bumi sehingga wilayah potensi panas bumi dianalisis dengan teknik *buffering* sejauh 3 km dari titik manifestasi panas bumi. Peta sebaran suhu dan manifestasi panas bumi kemudian dianalisis lebih lanjut dengan tingkat kerapatan vegetasi serta lahan terbangun. Hal ini dilakukan agar dapat mengetahui bahwa wilayah terduga berpotensi panas bumi lebih akurat. Wilayah potensi panas bumi akan berada jauh dari lahan terbangun dan tingkat kerapatan vegetasi yang rendah.

Pembuatan peta satuan litologi didapatkan dari peta Geologi Lembar Ponorogo Skala 1 : 100.000. Sedangkan peta kerapatan kelurusan didapatkan dari pengolahan data DEM dari SRTM dengan metode penajaman *hillshading* untuk diinterpretasi kelurusan yang tampak pada wilayah penelitian. Alur kerja dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. AlurPikirPenelitian

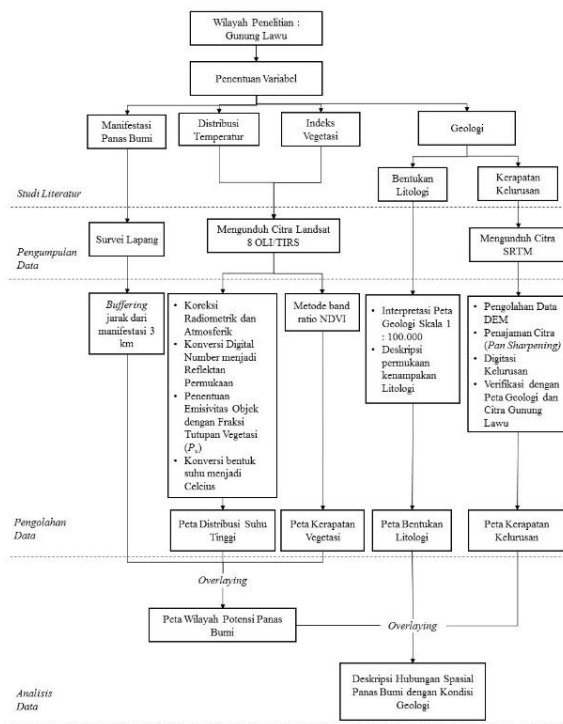
$$L_\lambda = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

dimana:

- L_λ : SpektralRadiance (W/m²sr.μm)
- M_L : Faktorskalaperkalianradiansiuntukband (RADIANCE_MULT_BAND)
- A_L : Faktorskalapenjumlahanradiansiuntukband (RADIANCE_ADD_BAND)
- Q_{cal} : Level 1 pixel value dalam DN

Langkah selanjutnya ialah dengan mengkoreksi tingkat emisivitas objek pengamatan dengan menggunakan metode fraksi tutupan vegetasi. Emisivitas objek merupakan sebuah kemampuan benda memancarkan energi atau radiasi [3]. Penggunaan emisivitas sangat penting untuk mengurangi kesalahan dalam perhitungan suhu tanah. Perhitungan fraksi tutupan vegetasi menggunakan nilai NDVI atau tingkat kehijauan dengan persamaan sebagai berikut [4] :

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



Gambar 2. Alur Kerja Penelitian

3. DAERAH PENELITIAN

Daerah penelitian merupakan gunung berapi yang terletak di perbatasan dua provinsi yaitu Provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur tepatnya pada Kabupaten Magetan, Kabupaten Ngawi dan Kabupaten Karanganyar. Secara astronomis wilayah Gunung Lawu terletak di antara 7°29'56" LS - 7°31'33,5" LS dan 111°2'47,4" BT - 111°15' BT. Wilayah Gunung Lawu membentang dari Utara di Kabupaten Ngawi hingga Selatan di Kabupaten Wonogiri dan merupakan gunung tertinggi ketiga di Pulau Jawa dengan ketinggian rata-rata yaitu 3.265 meter di atas permukaan laut.

Kementerian ESDM (2014) [5], Gunung Lawu memiliki sumber potensi panas bumi yang melimpah yaitu sebesar 195 MW. Tenaga sebesar ini dapat digunakan untuk pembangunan Wilayah Kerja Pertambangan untuk usaha Pembangkit Tenaga Listrik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Manifestasi Panas Bumi di Gunung Lawu

Manifestasi panas bumi yang dimiliki Gunung Lawu berupa fumarol, solfatara dan mata air panas yang tersebar di lereng sisi sebelah selatan dan barat. Manifestasi terbesar yaitu fumarol dan solfatara yang terletak di Kawah Candradimuka. Di bawah ini merupakan tabel profil manifestasi yang terdapat di Gunung Lawu :

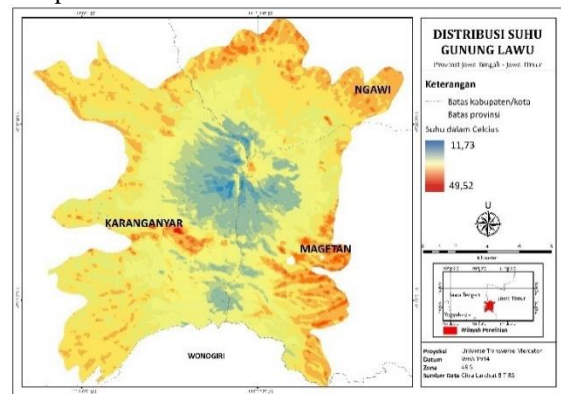
Tabel 1. Profil Manifestasi Panas Bumi di Gunung Lawu

No	Manifestasi Panas Bumi	Suhu	Keterangan
1.	Fumarol Candradimuka	94 °C	Mengandung belerang (solfatara), aliran air berwarna keruh dan batuan alterasi.
2.	Fumarol Tamansari	93 °C	Lokasi berdekatan dengan Fumarol Candradimuka.
3.	MAP Cumpleng	37,4 °C	Terletak di Desa Tambak, yang berada di lereng sebelah barat.
4.	MAP Tasin	40 °C	Terletak di Desa Sendang tepatnya pada graben Sesar Cemorsewu.
5.	MAP Nglarak	35,7 °C	Terletak di Desa Karangnongko lereng sebelah barat.
6.	MAP Mangli	37,6 °C	Terletak di Desa Jenawi
7.	MAP Jenawi	33,9 °C	Terletak di Desa Jenawi

Sumber : Survey Lapangan 2017

4.2 Distribusi Suhu Permukaan Tanah

Hasil pengolahan data citra Landsat 8 menunjukkan nilai suhu yang ada di daerah Gunung Lawu memiliki titik terendah pada 11°C. Suhu rendah ini berada di sebagian besar lereng di ketinggian lebih dari 1.500 meter di atas permukaan laut. Suhu tinggi di Gunung Lawu berkisar lebih dari 32°C yang tersebar di kaki Gunung Lawu menuju wilayah perkotaan. Suhu tertinggi yang dapat dideteksi yaitu sebesar 49,52°C. Sebaran suhu tanah di Gunung Lawu terlihat pada Gambar 3.

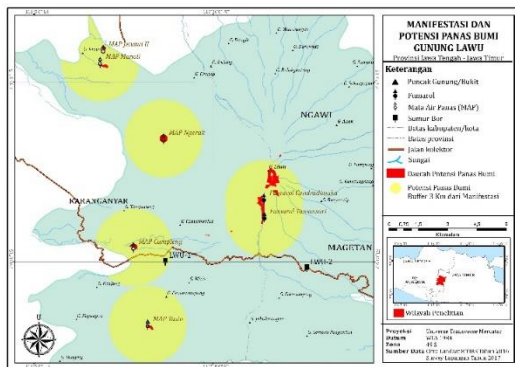


Gambar 3. Peta Sebaran Suhu Tanah Gunung Lawu.

Sumber : Pengolahan Data 2017

4.3 Wilayah dan Luas Potensi Energi Panas Bumi

Wilayah cakupan potensi panas bumi mengikuti sebaran titik lokasi manifestasi panas bumi seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar4. Peta Wilayah Potensi Panas Bumi di Gunung Lawu
 Sumber : Pengolahan Data, 2017

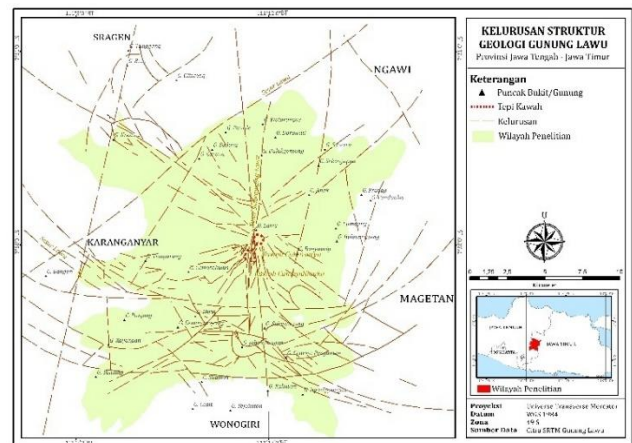
Area potensi yang berada dekat dengan puncak Gunung Lawu ditemukan cekungan berukuran luas dengan ciri-ciri bekas kawah atau kepundan namun tidak mengeluarkan tanda manifestasi aktif seperti fumarol dan solfatara. Wilayah ini merupakan wilayah Kawah Cokrosuryo. Vegetasi di sekitarnya berupa semak belukar dan lahan kosong berupa saban.

Selain itu di ketinggian sekitar 2000 mdpl, terdapat daerah bersuhu tinggi pada lereng sebelah selatan. Pada wilayah ini ditemukan kawah utama yang memiliki fumarol dan solfatara aktif dengan semburan yang cukup kuat. Kawah tersebut ialah Kawah Candradimuka. Bau belerang disekitar kawah ini cukup kuat dan vegetasi disekitarnya kering terbakar oleh semburan kawah. Kawah ini berada tepat pada rekahan sungai dan mengalirkan aliran air bercampur dengan endapan belerang. Fumarol Tamansari berada di ujung aliran Kawah Candradimuka yang juga mengeluarkan semburan uap air yang sangat kuat.

Wilayah potensi panas bumi lainnya menyebar di seluruh lereng Gunung Lawu bagian selatan dan barat berupa manifestasi air panas. Total besar luasan potensi panas bumi diidentifikasi sebesar 103,20 Ha atau sekitar 1.030.000 m². Cakupan deliniasi wilayah potensi terbesar berada di daerah sekitar Kawah Candradimuka.

4.4 Analisis Geologi Wilayah Panas Bumi Gunung Lawu Kerapatan Kelurusan

Gunung Lawu memiliki arah kelurusan yaitu arah Barat – Timur dan Barat Laut – Tenggara. Pola kelurusan barat – timur terletak pada kompleks Gunung Jobolarangan yang tersusun atas dua sesar besar yaitu sesar Jobolarangan dan Sesar Cemorosewu. Pola kelurusan arah barat laut – tenggara di dominasi oleh Sesar Lawu dan Sidoramping yang membelah Gunung Api Lawu Muda menjadi dua bagian yaitu bagian timur dan barat. Peta kelurusan dapat dilihat pada Gambar 5.



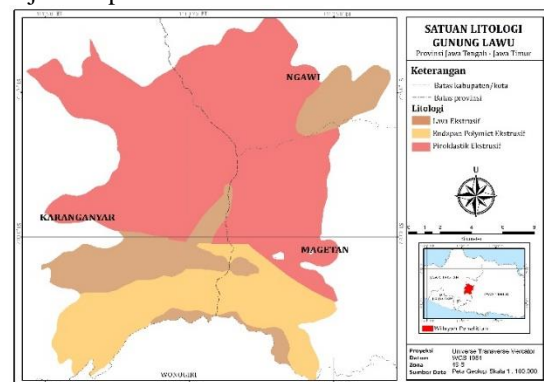
Gambar5. Peta Kelurusan Struktur Geologi Gunung Lawu

Wilayah lereng sebelah selatan menunjukkan kelurusan yang rapat. Kelurusan di wilayah ini berupa patahan yang dikontrol oleh pertemuan Sesar Lawu-Sidoramping dan Sesar Cemorosewu. Sedangkan kelurusan patahan pada wilayah gunung Jobolarangan berbentuk rapat memanjang secara paralel dari barat ke timur dengan batasan Gunung Kukusan hingga graben Cemorosewu.

Berdasarkan kerapatan kelurusannya, Gunung Lawu merupakan wilayah vulkanik yang memiliki struktur tektonik aktif pada zona subduksi lempeng Indo-Australia dan Eurasia.

Satuan Litologi

Gunung Lawu termasuk dalam kelompok satuan vulkanik yang memiliki batuan induk berupa basalt-andesit. Satuan litologi Gunung Lawu dibagi menjadi tiga macam yaitu Aliran Lava, Endapan Polimik dan Piroklastik seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta Satuan Litologi Gunung Lawu

Aliran lava pada Gunung Lawu bertekstur halus – kasar berwarna abu-abu gelap hingga terang. Aliran lava ini bermula pada Kawah Candradimuka menuju ke arah selatan dan berbelok ke barat mengisi graben Cemorosewu.

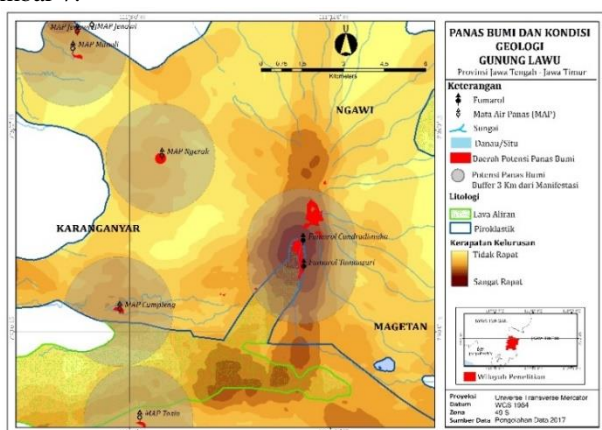
Endapan polimik memenuhi seluruh wilayah Gunung Jobolarangan. Batuan ini memiliki struktur yang kompak akibat pengendapan lahar lawu tua berwarna coklat kehitaman dengan vegetasi yang lebat.

Piroklastik terdapat pada seluruh lereng Gunung Api Lawu Muda mengisi morfologi yang terjal. Kenampakannya berwarna abu-abu cerah di puncak dan berwarna coklat mendekati wilayah endapan. Piroklastik berupa pecahan-pecahan vulkanik berbutir kasar hasil dari bongkahan letusan gunung berapi.

4.5 Hubungan Wilayah Potensi Panas Bumi dengan Kondisi Geologi Gunung Lawu

Karakter lingkungan vulkanik yang dapat dijadikan sebagai ladang energi panas bumi yaitu jenis batuan induknya yang termasuk batuan reservoir yaitu batuan andesit dan basalt karena kristalisasinya berada pada suhu yang sangat tinggi. Batuan andesit dan basalt memiliki pori-pori yang banyak dan bersifat permeabel sehingga merupakan karakteristik yang baik untuk wilayah energi panas bumi. Gunung Lawu memiliki batuan induk berjenis andesit dan basalt dengan kristalisasi yang sangat tinggi antara 986°C – 1320°C [6].

Analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara wilayah potensi panas bumi dengan kerapatan kelurusan dan satuan litologi menggunakan teknik spasial *overlay*, *intersection* dan *buffering* yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Peta Panas Bumi dan Kondisi Geologi Gunung Lawu

Wilayah potensi panas bumi berasosiasi dengan litologi berupa aliran lava dan piroklastik. Keberadaan manifestasi sebagian besar berada pada jenis litologi aliran lava dan piroklastik sedangkan litologi endapan polimik tidak memiliki manifestasi maupun wilayah potensi panas bumi. Aliran lava dan piroklastik adalah batuan kuartar yang memiliki sifat permeabilitas tinggi untuk meloloskan energi panas bumi dari batuan reservoir di bawah permukaan tanah.

Kelurusan yang rapat menggambarkan wilayah patahan yang aktif sehingga lokasi magma bersifat dangkal dimana kondisi ini mengakibatkan terbentuk zona lemah atau rekahan. Pada zona ini lah merupakan ruang bagi aliran energi panas bumi muncul di permukaan berupa manifestasi panas bumi.

Sebagian besar manifestasi berada pada wilayah kelurusan yang rapat. Wilayah ini sangat berpotensi menimbulkan energi panas bumi karena berada pada pertemuan zona kelurusan yang rapat dengan pergantian lapisan antara litologi lava dan piroklastik, dimana pada zona seperti ini akan menyebabkan lapisan permukaan bawah tanah menjadi sangat berporos dan lemah.

Hubungan antara kerapatan kelurusan dan satuan litologi cukup mendeskripsikan bahwa di suatu daerah terdapat potensi panas bumi jika kondisi kelurusannya rapat dan memiliki satuan litologi yang terhubung dengan sifat batuan reservoir. Sifat litologi yang mencirikan adanya potensi panas bumi yaitu memiliki porositas tinggi dan permeabel, pada daerah Gunung Lawu litologi tersebut berupa satuan lava dan piroklastik. Satuan endapan tidak berasosiasi dengan potensi panas bumi karena sifat batuan yang solid serta tidak permeabel. Dengan demikian tahapan eksplorasi panas bumi dapat dilakukan dengan bantuan interpretasi struktur geologi melalui kerapatan kelurusan dan batasan litologi untuk lebih meyakinkan batasan wilayah yang memiliki potensi panas bumi.

5. KESIMPULAN

Wilayah potensi panas bumi di Gunung Lawu terletak di sisi lereng sebelah selatan di Desa Cemoro Sewu dan berada di sekitar mata air panas yang tersebar di Kecamatan Karanganyar, Kecamatan Jatiyoso, Kecamatan Nargoyoso dan Kecamatan Jenawi. Total luasan potensi panas bumi di Gunung Lawu sebesar 103,2 Ha.

Secara keseluruhan persebaran potensi panas bumi tersebut berasosiasi dengan kerapatan kelurusan yang menandakan adanya patahan atau sesar aktif serta turut berasosiasi dengan jenis satuan litologi yang sesuai dengan karakteristik batuan induk reservoir panas bumi. Namun, pada dasarnya tidak semua kerapatan kelurusan dan satuan litologi pada wilayah vulkanik tersebut dapat menghasilkan wilayah potensi panas bumi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Drs. Tjong Giok Pin, M. Sidan Dra. Ratna Saraswati, M.S selaku pembimbing I dan pembimbing II
2. Dra. Astrid Damayanti, M. Sidan Mbak Revi Hernina, S.Si., M Si selaku penguji I dan penguji II;
3. Dr. Supriatna, MT yang membantu peneliti dalam memberikan masukan selama penulisan.
4. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Siahaan, M. N., Soebandrio, Andri., dan Wikantika, Ketut. 2011. *Geothermal Potential Exploration Using Remote Sensing Techniquw (Case Study: Patuha Area, West Java)*. Jakarta: Asia Geospatial Forum
- [2] USGS. 2016. *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook Version 2.0*. South Dakota: Department of Interior U.S Geological Survey published on March 29, 2016.
- [3] Fawzi, Nurul. I. 2014. *Pemetaan Emisivitas Permukaan Menggunakan Indeks Vegetasi*. Yogyakarta: Majalah Ilmiah Globe Volume 16, 133: 139.
- [4] Mengistu, Darge. (2016). *Detection Of Geothermal Anomalies Using Landsat 8 Thermal Infrared Data In Tulu Moye Geothermal Prospect, Main Ethiopia Rift*. Addis Ababa University: School of Earth Science.
- [5] Kementerian ESDM. 2014. *Peluang Investasi Sektor ESDM*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [6] Hartono, Udi. 1994. *The Petrology and Geochemistry of The Wilis and Lawu Volcanoes, East Java, Indonesia*. Tasmania: Dissertation of Geology Department, University of Tasmania.