

**ANALISIS ESTIMASI ENERGI PANAS BUMI DAN REKOMENDASI  
LOKASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI  
MENGUNAKAN CITRA LANDSAT 8  
(Studi Kasus : Kawasan Gunung Ungaran, Jawa Tengah)**

Galuh Puteri Saraswati<sup>\*)</sup>, Yudo Prasetyo, Abdi Sukmono

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788  
Email : galuhputeri96@gmail.com

**ABSTRAK**

Pertumbuhan ekonomi di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan yang signifikan terutama di sektor industri. Salah satu faktor penunjang laju pertumbuhan ekonomi yaitu ketersediaan energi listrik yang memadai. Potensi panas bumi yang tersebar di berbagai daerah di Indonesia memberi keuntungan tersendiri untuk pengembangan energi listrik ramah lingkungan. Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dengan menggunakan citra Landsat 8 yang memiliki sensor *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* pada kanal 10 dan 11 dapat membantu dalam mendeteksi perbedaan suhu permukaan bumi. Hasil dari suhu permukaan dilakukan pengolahan dengan algoritma *Radiative Heat Flux (RHF)* sehingga didapatkan estimasi energi panas bumi. Selain itu, hasil dari suhu permukaan dilakukan pembobotan metode *Analitychal Hierarchy Process (AHP)* bersama dengan data *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*, deliniasi kelurusan untuk didapatkan area potensial panas bumi. Area potensial panas bumi dan Peta RBI dilakukan analisis SIG untuk mendapatkan rekomendasi lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa area potensi panas bumi di WKP Ungaran salah satunya berada pada kawasan cagar budaya Candi Gedongsongo dengan luas area sebesar 182,585 Ha. Estimasi energi yang didapat pada kawasan Candi Gedongsongo yaitu sebesar 25,059 MW. Hasil dari analisis Sistem Informasi Geografis didapatkan rekomendasi lokasi pembangunan PLTP dengan area yang sesuai sebesar 44,476 km<sup>2</sup> dan area yang tidak sesuai sebesar 252,587 km<sup>2</sup>.

**Kata Kunci** : AHP, Panas Bumi, Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi, RHF

**ABSTRACT**

*Economic growth in Indonesia from year to year has experienced a significant increase, especially in the industrial sector. One of the supporting factors of the economic growth rate is the availability of adequate electrical energy. Geothermal potential spread in various regions in Indonesia gives its own advantages for the development of environmentally friendly electricity. The use of remote sensing technology using Landsat 8 imagery that has a Thermal Infrared Sensor (TIRS) at band 10 and 11 can help in detecting differences in the earth's surface temperature. The results of the surface temperature are processed using the Radiative Heat Flux (RHF) algorithm so that the estimated geothermal energy is obtained. In addition, the results of the surface temperature weighted the Analitychal Hierarchy Process (AHP) method together with the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data, straightness delineation for obtaining potential geothermal areas. Potential geothermal areas and RBI maps are analyzed by SIG intersect to obtain recommendations for locations of Geothermal Power Plants. The results of this study indicate that the geothermal potential area in the Ungaran WKP is located in the Gedongsongo Temple cultural heritage area with an area of 182,585 Ha. The estimated energy obtained in the Gedongsongo Temple area is 25,059 MW. By using geographic information system analysis, it is obtained the recommendation of the location of the PLTP construction with an appropriate area of 44,476 km<sup>2</sup> and an inappropriate area of 252,587 km<sup>2</sup>.*

**Keyword:** AHP, Geothermal, Geothermal Power Plant, RHF

<sup>\*)</sup>Penulis Utama, Penanggung Jawab

## I. Pendahuluan

### I.1. Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan yang signifikan terutama di sektor industri. Salah satu faktor penunjang laju pertumbuhan ekonomi yaitu ketersediaan energi listrik yang memadai. Potensi panas bumi yang tersebar di berbagai daerah di Indonesia memberi keuntungan tersendiri untuk pengembangan energi listrik ramah lingkungan. Sampai tahun 2004, sebanyak 252 area panas bumi telah diidentifikasi melalui inventarisasi dan eksplorasi. Sebagian besar dari jumlah area tersebut terletak di lingkungan vulkanik, sisanya berada di lingkungan batuan sedimen dan metamorf. Dari jumlah lokasi tersebut mempunyai total potensi sumber daya dan cadangan panas bumi sebesar sekitar 27.357 MWe. Pengembangan WKP (Wilayah Kerja Pertambangan) yang telah ditetapkan dan WKP baru (perkiraan total potensi sekitar 13.000 MWe) diharapkan akan tercapai ketersediaan listrik tenaga panas bumi sebesar 6000 MWe di tahun 2020 (Rina, 2005). Salah satu WKP yang ditawarkan di Jawa Tengah adalah WKP Ungaran dengan estimasi potensi sebesar 50 Mwe (Rezky dkk, 2012).

Gunung Ungaran merupakan salah satu area bersistem panas bumi yang ditandai dengan mata air panas, fumarol, tanah panas, endapan travertin dan batuan teralterasi (Zarkasyi dkk, 2011). Beberapa manifestasi panas bumi yang ada di sekitar Gunung Ungaran, antara lain: fumarola di daerah Gedongsongo, mata air panas di daerah-daerah Banaran, Diwak, Kaliulo, dan Nglimut (Budihardjo dkk, 1997 dalam Wahyudi, 2006).

Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dengan menggunakan citra Landsat 8 yang memiliki sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) pada kanal 10 dan 11 dapat membantu dalam mendeteksi perbedaan suhu permukaan bumi. Hasil dari suhu permukaan dilakukan pengolahan dengan algoritma *Radiative Heat Flux* (RHF) sehingga didapatkan estimasi energi panas bumi. Selain itu, hasil dari suhu permukaan dilakukan pembobotan metode *Analitychal Hierarchy Process* (AHP) bersama dengan data *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), deliniasi kelurusan untuk didapatkan area potensial panas bumi. Area potensial panas bumi dan Peta RBI dilakukan analisis SIG untuk mendapatkan rekomendasi lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.

Penelitian tugas akhir ini dilakukan untuk mengetahui sebaran potensial dan nilai estimasi energi dari panas bumi menggunakan data penginderaan jauh berupa data citra Landsat 8 serta rekomendasi lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi menggunakan metode Sistem Informasi Geografis di kawasan Gunung Ungaran, Jawa Tengah.

### I.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana sebaran potensial panas bumi di kawasan Gunung Ungaran dengan memanfaatkan

teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis?

2. Berapa nilai estimasi energi panas bumi di kawasan Gunung Ungaran dengan algoritma *Radiative Heat Flux* (RHF)?
3. Bagaimana analisis lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi menggunakan metode *Boolean Integration Model* dalam SIG?

### I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui sebaran potensial panas bumi di kawasan Gunung Ungaran dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis.
2. Mengetahui nilai estimasi energi panas bumi di kawasan Gunung Ungaran dengan algoritma *Radiative Heat Flux* (RHF).
3. Mengetahui lokasi yang potensial untuk dijadikan lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi di kawasan Gunung Ungaran.

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan wawasan dan sumbangsih penelitian di bidang penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis terkait manifestasi panas bumi dan rekomendasi lokasi PLTP yang dapat dikembangkan kembali untuk penelitian selanjutnya.
2. Digunakan untuk memberi masukan sebagai bahan pertimbangan bagi instansi terkait dalam penentuan daerah pembangkit listrik tenaga panas bumi.

### I.4. Pembatasan Masalah

Adapun pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Koreksi radiometrik dilakukan dengan melakukan kalibrasi radiometrik metode *ToA* (*Top of atmosphere*) untuk mengkonversi *digital number* menjadi nilai *radiance* dan *reflectance*.
2. Pengolahan LST (*Land Surface Temperature*) menggunakan algoritma *Single Chanel* mengikuti referensi penelitian Jiménez-Muñoz dan Sobrino, 2010 dengan judul "*A Single Channel Algorithm for Land-Surface Temperature Retrieval from ASTER Data*".
3. Penelitian ini tidak melakukan validasi suhu karena perbedaan waktu citra dengan pengambilan data lapangan.
4. Metode yang digunakan untuk menentukan area prospek panas bumi adalah *overlay* pembobotan metode AHP dengan parameter NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), LST (*Land Surface Temperature*), peta geologi dan deliniasi kelurusan (*Lineament*).
5. Rekomendasi lokasi pembangkit listrik tenaga panas bumi menggunakan metode SIG *Boolean integration model* dengan parameter PLTP berupa tutupan lahan, kemiringan lahan, struktur geologi, akses jalan dan lokasi sumber panas bumi sesuai dengan penelitian Hariyanto dan Farrel, 2016

berjudul “Identifikasi Potensi Panas Bumi Menggunakan Landsat 8 Serta Penentuan Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (Studi Kasus: Kawasan Gunung Lawu)”.

6. Penentuan lokasi PLTP dilakukan pada skala 1:100.000.
7. Penentuan lokasi PLTP hanya sebatas identifikasi lokasi yang memungkinkan untuk dibangun PLTP bukan penetapan lokasi PLTP karena untuk menetapkan lokasi butuh studi lebih lanjut dan data pendukung yang lebih banyak.
8. Algoritma yang digunakan untuk mendapatkan estimasi energi panas bumi yaitu RHF (*Radiative Heat Flux*) mengikuti referensi penelitian Md. Bodruddoza Mia, Chris J. Bromley dan Yasuhiro Fujimitsu dengan judul “*Monitoring heat flux using Landsat TM/ETM+ thermal infrared data. A case study at Karapiti (Craters of the Moon) thermal area, New Zealand*”.
9. Batas suhu panas bumi menurut penelitian Qiming Qin, 2010 dengan judul “*Geothermal area detection using Landsat ETM+ thermal infrared data and its mechanistic analysis-A case study in Tengchong, China*” yaitu 294,87 K atau 22°C.
10. Delineasi kelurusan menggunakan metode manual menurut penelitian Anjar, Sukir dan Arief dengan judul “Identifikasi struktur geologi dan pengaruhnya terhadap suhu permukaan tanah berdasarkan data Landsat 8 di lapangan panas bumi Blawan”.

## II. Tinjauan Pustaka

### II.1. Kondisi Umum Wilayah Penelitian

Penelitian ini yang dijadikan daerah penelitian adalah kawasan Gunung Ungaran, Kabupaten Semarang dan Kabupaten Kendal. Letak geografisnya berada pada 7°07'42,69" - 7°15'44,96" LS dan 110°18'42,36" - 110°29'35,16" BT.

Gunung Ungaran merupakan salah satu area bersistem panas bumi yang ditandai dengan mata air panas, fumarol, tanah panas, endapan travertin dan batuan teralterasi (Zarkasyi dkk, 2011). Beberapa manifestasi panas bumi yang ada di sekitar Gunung Ungaran antara lain: fumarola di daerah Gedongsongo, mata air panas di daerah-daerah Diwak, Kaliulo, dan Nglimut (Budihardjo dkk, 1997 dalam Wahyudi, 2006).

Sistem panas bumi yang berkembang di Gunung Ungaran secara geologi berada di zona depresi dengan litologi permukaan didominasi oleh batuan vulkanik berumur Kuartar berupa kerucut-kerucut muda (Rezky dkk, 2012). Struktur amblesan vulkanik (depresi) yang memanjang dari barat hingga tenggara mengontrol sistem panas bumi Ungaran. Komposisi batuan yang terdapat di Gunung Ungaran cukup bervariasi, terdiri dari basal olivin, andesit piroksen, andesit hornblende dan gabro. Batuan ubahan dijumpai di sekitar Gedongsongo yang ditunjukkan oleh munculnya mineral-mineral halosit, kaolinit, silika amorf, kristobalit, ilit, markasit dan pirit. Batuan ubahan

tersebut terdapat dekat fumarol dan mata air panas di sepanjang aliran Sungai Item (Rezky dkk, 2012).

### II.2. Panas Bumi

Panas bumi merupakan sumber energi yang terbarukan, di samping merupakan energi alternatif yang ramah lingkungan dan bersih, karena sebagian besar gas buang adalah karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), serta air kondensat yang telah diambil dapat diinjeksikan kembali ke reservoir untuk menjaga kelangsungan reservoir. Berdasarkan karakteristik yang dimiliki, energi panas bumi dapat dimanfaatkan secara langsung maupun tidak langsung. Dalam rangka optimalisasi pemanfaatan energi panas bumi, pemanfaatan langsung (*direct use*) dapat dikembangkan bersamaan dengan pengembangan panas bumi untuk tenaga listrik (Wahyudi, 2006).

Sumber panas bumi di bawah permukaan seringkali di tunjukkan oleh adanya manifestasi panas bumi di permukaan (*Geothermal surface manifestation*), manifestasi panas bumi tersebut seperti mata air panas, kubangan lumpur panas (*mud pools*), kolam air panas, *Ground warm* (permukaan tanah hangat), *fumaroles* (gas panas yang keluar dari tanah) dan lain-lain. Manifestasi panas bumi di permukaan 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 (Saptadji, 2001 dalam Sukendar, 2016).

### II.3. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Nilai indeks vegetasi ini dihitung sebagai rasio antara pantulan yang terukur dari kanal merah (R) dan kanal infra-merah (didekati oleh kanal NIR). Penggunaan kedua kanal ini banyak dipilih sebagai parameter indeks vegetasi karena hasil ukuran dari kanal ini dipengaruhi oleh penyerapan klorofil, peka terhadap biomassa vegetasi, serta memudahkan dalam pembedaan antara lahan bervegetasi, lahan terbuka, dan air (Aftriana dkk, 2013). Algoritma dari NDVI dapat dilihat pada persamaan II.1. NDVI digunakan untuk mengetahui kerapatan vegetasi pada suatu wilayah tertentu. Kerapatan vegetasi sangat bergantung pada nilai suhu permukaan. Vegetasi yang baik umumnya menunjukkan nilai suhu permukaan yang rendah. Sedangkan kawasan vegetasi yang buruk memiliki nilai suhu permukaan yang tinggi (Hakim dkk, 2017).

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \dots\dots\dots(II.1)$$

Keterangan:

NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*

NIR = *Near-Infrared* (Kanal Inframerah)

Red = *Red* (Kanal Merah)

### II.4. Land Surface Temperature (LST)

Suhu permukaan didefinisikan sebagai suhu terluar dari suatu objek. Suhu permukaan suatu objek tidak sama tergantung pada sifat fisik permukaan objek. Sifat fisik objek tersebut adalah emisivitas, kapasitas panas jenis dan konduktivitas termal (Sutanto, 1994 dalam Sukendar dkk, 2016). Jiménez-Muñoz dan

Sobrinno (2010) melakukan penelitian mengenai estimasi suhu permukaan atau LST dengan menggunakan algoritma *Single - Channel* (SC *Algorithm*) dengan menerapkan konsep AFs (*Atmospheric Functions*). AFs ini bergantung kepada nilai transmisivitas, *upwelling* serta *downwelling* radiansi atmosfer. Persamaan II.2 hingga II.5 merupakan penjelasan dari algoritma serta parameter-parameter yang digunakan untuk melakukan koreksi atmosfer serta estimasi *Land Surface Temperature* menurut Jiménez-Muñoz dan Sobrinno (2010) :

$$T_s = \gamma \left[ \frac{1}{\varepsilon} (\psi_1 L_{sen} + \psi_2) + \psi_3 \right] + \delta \tag{II.2}$$

$$\gamma \approx \frac{T_{sen}^2}{K_2 L_{sen}} \tag{II.3}$$

$$\delta \approx T_{sen} - \frac{T_{sen}^2}{K_2} \tag{II.4}$$

$$T_{sen} = \frac{K_2}{\ln \left[ \frac{K_1}{L_\lambda} + 1 \right]} \tag{II.5}$$

- Keterangan:
- $\psi_1, \psi_2$  dan  $\psi_3$  = Koreksi atmosfer
  - $T_s$  = Suhu permukaan Sensor
  - $\gamma$  dan  $\delta$  = Parameter yang bergantung pada fungsi Planck
  - $L_{sen}$  = ToA Radian
  - $T_{sen}$  = Nilai pada *Sensor brightness temperature*
  - $\varepsilon$  = Emisivitas
  - $K_2$  dan  $K_1$  = Konstanta radiasi

**II.5. Kelurusan**

Kelurusan (*lineament*) banyak digunakan dalam berbagai kegunaan, sebagai contoh kenampakan kelurusan pada citra satelit antara lain, kelurusan zona sesar (rekahan), kelurusan lembah pemekaran, kelurusan lapangan minyak dan gas bumi, kelurusan mata air panas, kaldera, kelurusan sungai (lembah), kelurusan rona (warna) dan lain-lainnya (Immaculata, 2008). Peta kerapatan kelurusan memberikan informasi mengenai anomali kerapatan patahan dan rekahan yang digunakan untuk memprediksi daerah *recharge* area. Pada sistem panas bumi, fluida panas bumi akan mengalir ke atas melalui zona permeabel yang umumnya berasal dari struktur geologi sehingga semakin besar tingkat kerapatan struktur maka semakin besar tingkat permeabilitasnya. Oleh karena itu, daerah yang memiliki anomali kerapatan kelurusan paling tinggi diasumsikan sebagai daerah *recharge* area yang memiliki permeabilitas paling baik. Anomali kerapatan kelurusan yang besar adalah nilai lebih dari 2,5 km/km<sup>2</sup> (Pambudi dkk, 2014).

**II.6. Radiative Heat Flux (RHF)**

Menurut hukum Stefan-Boltzman, *Radiative heat flux* (RHF) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut dan mempertimbangkan *atmospheric transmissivity*, *surface spectral emissivity*, suhu permukaan tanah diperkirakan dari data citra satelit (Mia, 2012 ).

$$Q_r = \tau \sigma \varepsilon A (T_s^4 - T_a^4) \tag{II.6}$$

- Keterangan:
- $\tau$  = *Atmospheric transmissivity*,
  - $\sigma$  = Tetapan Stefan-Boltzmann
  - $\varepsilon$  = *Emissivity*
  - A = Area (m<sup>2</sup>),
  - $T_s$  = *Land surface temperatur*,
  - $T_a$  = *Ambient temperatur*

Adanya konsentrasi energi panas pada sistem panas bumi umumnya dicirikan oleh adanya anomali panas yang dapat terekam di permukaan yang ditandai dengan gradien temperatur yang tinggi. *Radiative heat flux* merepresentasikan panas yang dipancarkan oleh radiasi dari tanah. Ini terdiri dari *fluks* panas dari sumber panas bumi ditambah efek radiasi matahari langsung (tercermin) dan tidak langsung (dipancarkan kembali) (Farras dkk, 2017).

**II.7. Analytical Hierarchy Process (AHP)**

AHP merupakan suatu model pendukung keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L Saaty tahun 1970. Model pendukung keputusan ini akan menguraikan masalah multi faktor atau multi kriteria yang kompleks menjadi suatu hierarki yang didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multilevel dimana level pertama adalah tujuan, yang diikuti level faktor, kriteria, sub kriteria dan seterusnya ke bawah hingga level terakhir dari alternatif (Saaty, 2005 dalam Purnomo dkk, 2013). Adanya hierarki, suatu masalah yang kompleks dapat diuraikan ke dalam kelompok-kelompoknya yang kemudian diatur menjadi suatu bentuk hierarki sehingga permasalahan akan tampak lebih terstruktur dan sistematis.

**II.8. Estimasi Energi Panas Bumi**

Estimasi menurut KBBI adalah perkiraan atau penilaian. Energi menurut KBBI adalah kemampuan untuk melakukan kerja (misanya untuk energi listrik dan mekanika), daya (kekuatan) yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai proses kegiatan, misalnya dapat merupakan bagian suatu bahan atau tidak terikat pada bahan (seperti sinar matahari) sedangkan panas bumi adalah sumber energi, seperti air panas, uap panas dan gas lain yang terdapat di dalam perut bumi, geotermal.

*Radiative heat flux* merepresentasikan panas yang dipancarkan oleh radiasi dari tanah. Ini terdiri dari fluks panas dari sumber panas bumi ditambah efek radiasi matahari langsung (tercermin) dan tidak langsung (dipancarkan kembali), sehingga menggunakan algoritma *Radiative heat flux* estimasi energi panas bumi dapat dilakukan dengan kombinasi data medan tanah berupa suhu ambient (Farras dkk, 2017).

**II.9. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)**

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi atau disingkat dengan PLTP adalah salah satu pemanfaatan energi panas bumi (*geothermal*) yang di hasilkan oleh inti atom di dalam bumi. Sebagai energi terbarukan, tentu potensi dari sumber energi ini masih sangat

melimpah dan bahkan mampu memenuhi kebutuhan energi pengganti fosil yang saat ini terus berkurang (Geothermal Indonesia, 2017).

Model pengklasifikasian dalam penentuan lokasi PLTP adalah *Boolean integration model* (menggunakan operator "OR" (*Union*) dan "AND" (*Intersect*) untuk menggabungkan parameter-parameter yang telah ditentukan), dengan klasifikasi dibagi dalam dua wilayah berbeda. Daerah yang dianggap daerah yang sesuai diberikan nilai 1 dan lainnya diberikan nilai 0. Model tersebut berpedoman pada *Proceedings Geothermal Potential Site Selection Using Gis In Iran* (Yousefi, 2007). Daerah yang sesuai untuk lokasi PLTP ditentukan berdasarkan parameter - parameter. Parameter-parameter yang dibutuhkan yaitu tutupan lahan, kemiringan lahan, struktur geologi, akses jalan dan lokasi sumber mata air panas seperti pada *Tabel 1*. *Tabel 1* Parameter penentuan lokasi PLTP (Hariyanto, 2016)

Parameter	Daerah yang tidak sesuai
Tutupan Lahan	Pemukiman
Kemiringan	Kemiringan > 15%
Patahan	Patahan dengan <i>buffer</i> sejauh 200 m
Akses Jalan	Akses jalan dengan <i>buffer</i> 100 m
Lokasi Sumber Panas Bumi	Sumber panas bumi <i>buffer</i> 200 m

**III. Metodologi Penelitian**

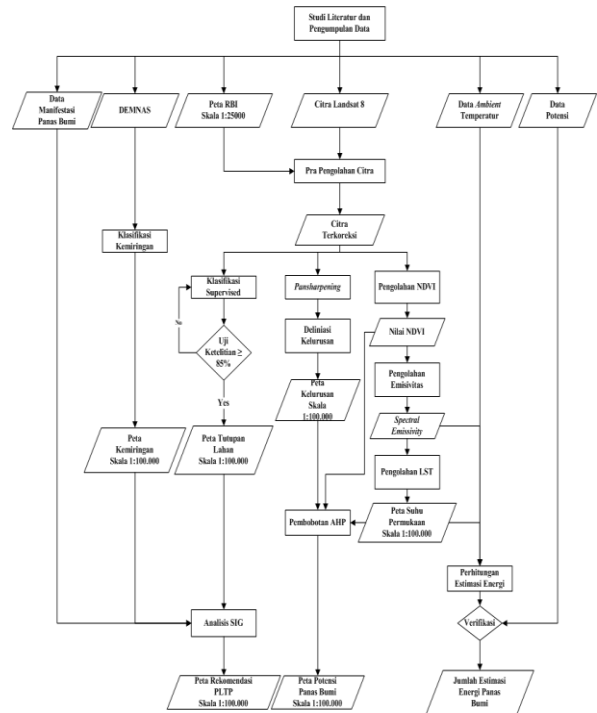
**III.1. Data dan Peralatan Penelitian**

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Citra satelit Landsat 8 tahun 2017
  2. DEMNAS
  3. Data suhu harian bulan Agustus 2017
  4. Peta RBI hasil unduhan dari BIG
  5. Data potensi panas bumi
  6. Peta zonasi prospek panas bumi wilayah gedongsongo dari Dinas ESDM tahun 2006
- Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat keras dan perangkat lunak, sebagai berikut :
- a. Laptop Lenovo Ideapad 100 prosesor Intel (R) Core (TM) i3-5005U CPU @2.00 GHz memori 6,144 GB RAM.
  - b. ENVI 5.1.
  - c. ArcGIS v10.4.
  - d. PCI Geomatica v10.0.
  - e. Rock Works 16
  - f. Microsoft Office Word 2010.
  - g. Microsoft Office Excel 2010.

**III.2. Pengolahan Data**

Secara garis besar tahapan penelitian dijabarkan dalam *Gambar 1*. Pengolahan yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengolahan kerapatan vegetasi dengan metode NDVI, pengolahan suhu permukaan dengan algoritma *Single Channel*, deliniasi kelurusan, penerapan algoritma *radiative heat flux* untuk estimasi energi panas bumi, pengolahan *supervised classification* untuk mendapatkan tutupan lahan dan pengolahan kemiringan lahan.



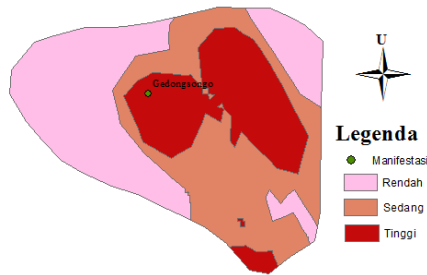
*Gambar 1* Diagram Alir Penelitian

**III.2.1 Penentuan Area Potensial Panas Bumi**

Penentuan area potensial panas bumi kawasan Gunung Ungaran dengan cara melakukan *overlay* parameter suhu permukaan, kerapatan vegetasi dan kelurusan menggunakan pembobotan dengan metode AHP. Hasil pembobotan metode AHP dapat dilihat pada *Tabel 2* dan *Gambar 2*.

*Tabel 2* Hasil pembobotan AHP

No	Parameter	Bobot Kriteria	Bobot Sub Kriteria	Bobot
1	Kerapatan Vegetasi	0.136		
	Badan Air		0.215	0.029
	Vegetasi Jarang		0.420	0.057
	Vegetasi Cukup Rapat		0.216	0.029
	Vegetasi Rapat		0.097	0.013
	Vegetasi Sangat Rapat		0.052	0.007
2	LST	0.238		
	14-22		0.058	0.014
	22-27		0.114	0.027
	27-32		0.174	0.041
	32-37		0.282	0.067
	37-42		0.372	0.089
3	Kelurusan	0.626		
	Rendah		0.121	0.076
	Sedang		0.319	0.200
	Tinggi		0.559	0.350



Gambar 2 Area potensial Panas bumi

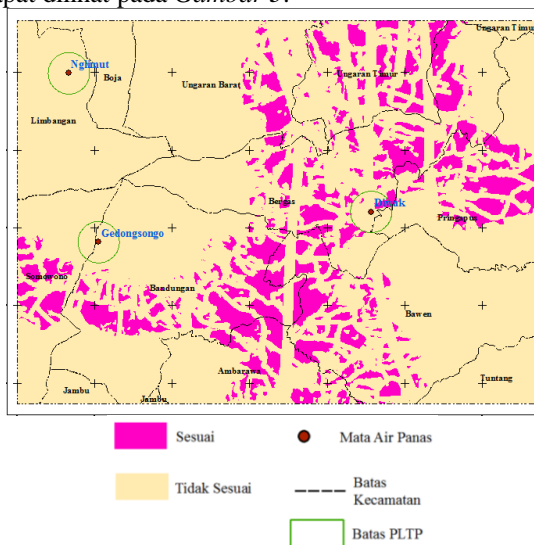
III.2.2 Pengolahan Radiative Heat Flux

Pengolahan Radiative Heat Flux (RHF) dilakukan pada software ENVI 5.1 yang bertujuan untuk mendapatkan total energi yang dipancarkan dari area potensial panas bumi kawasan Gunung Telomoyo yang dihitung dengan menggunakan prinsip hukum Stefan-Boltzmann dengan kombinasi data ambient temperatur dari data suhu udara yang diperoleh dari stasiun pengukuran suhu Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG).

Hasil energi dari persamaan RHF masih mengandung efek radiasi matahari langsung (reflectance) dan tidak langsung (re-radiation) dari panas matahari, tetapi hanya efek radiasi matahari langsung yang memberikan perbedaan suhu permukaan, sehingga untuk mendapatkan nilai netRHF (Geothermal radiative heat flux) dari area potensial panas bumi kawasan Gunung Ungaran harus dikurangi dengan menghitung RHF daerah nonthermal yang memiliki topografi yang serupa dan berada pada garis lintang yang sama.

III.2.3 Pengolahan Rekomendasi Lokasi PLTP

Pengolahan rekomendasi lokasi PLTP dilakukan dengan software ArcGIS menggunakan tools overlay. Parameter yang digunakan yaitu tutupan lahan, kemiringan lahan, struktur geologi, akses jalan dan lokasi sumber mata air panas yang telah dilakukan ketentuan seperti pada Tabel 1. Hasil pengolahan ini dapat dilihat pada Gambar 3.

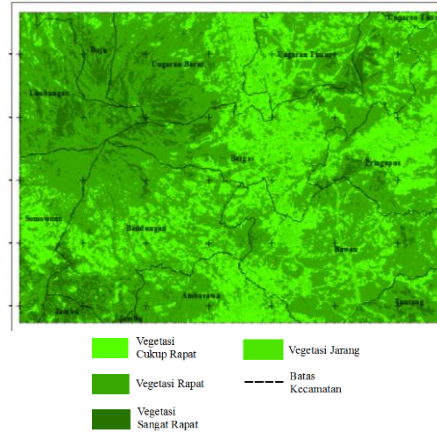


Gambar 3 Peta rekomendasi lokasi PLTP

IV. Hasil dan Analisis

IV.1. Hasil dan Analisis NDVI

Pengolahan NDVI dikelaskan menjadi 5 kelas yaitu badan air, vegetasi jarang, vegetasi cukup rapat, vegetasi rapat dan vegetasi sangat rapat dengan nilai NDVI minimum yaitu -0,122798 dan nilai NDVI maksimum yaitu 0,855074. Adapun luasan kerapatan vegetasi WKP panas bumi Ungaran dari masing-masing kelas dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 4 Sebaran Indeks Vegetasi  
Tabel 3 Klasifikasi kerapatan vegetasi

No	Kelas	Luas	
		(Ha)	%
1	Badan Air	2,340	0,008
2	Vegetasi Jarang	1.080,810	3,639
3	Vegetasi Cukup Rapat	8.378,190	28,210
4	Vegetasi Rapat	17.479,080	58,854
5	Vegetasi Sangat Rapat	2.758,860	9,289
<b>Total</b>		<b>29.699,28</b>	<b>100</b>

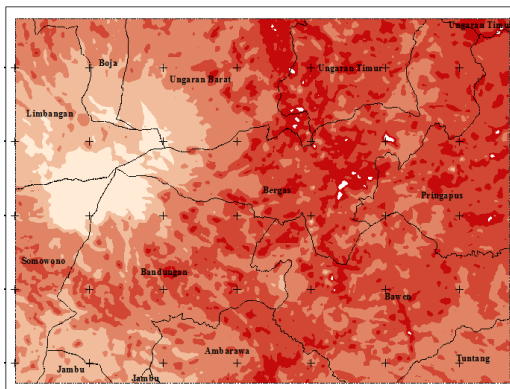
IV.2. Hasil dan Analisis Suhu Permukaan

Hasil pengolahan kanal 10 citra Landsat 8 tanggal 22 Agustus 2017 pada kawasan WKP panas bumi Ungaran didapatkan suhu terendah 14°C dan suhu tertinggi 47°C. Pada suhu diatas 42°C, setelah diambil sampel beberapa titik didapatkan bahwa suhu tersebut berada di kawasan industri sehingga suhu diatas 42°C merupakan anomali suhu permukaan akibat aktifitas manusia. Rentang suhu yang didapat kemudian dibagi menjadi 5 kelas yaitu kelas 14-22°C, kelas 22-28°C, kelas 28-32°C, kelas 32-38°C dan kelas 38-42°C. Sebaran luas tiap kelas suhu dapat dilihat pada Tabel 4.

Menurut penelitian Qiming Qin, 2010 dalam Farras N, 2017 dengan judul Geothermal area detection using Landsat ETM+ thermal infrared data and its mechanistic analysis—A case study in Tengchong, China mengungkapkan bahwa terdapat korelasi antara struktur patahan atau lineament dengan distribusi anomali geothermal. Struktur patahan merupakan jalur untuk transmisi termal dimana panas bawah tanah dapat ditransfer secara efisien ke permukaan tanah dan terdeteksi sebagai anomali land surface temperature (LST) pada citra inframerah termal yaitu pada suhu 295,84 K atau 22,84°C. Pada penelitian ini batas bawah menggunakan batas bawah suhu sebesar 22°C.

Tabel 4 Luasan tiap kelas suhu

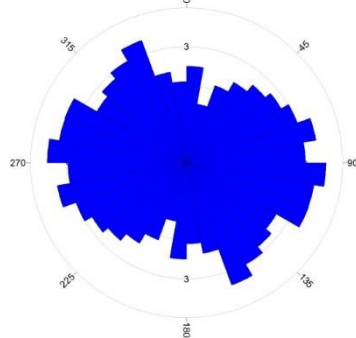
No	Kelas (°Celcius)	Luas	
		(Ha)	%
1	Suhu (14-22)	1.451,160	4,886
2	Suhu (22-27)	4.110,930	13,842
3	Suhu (27-32)	9.808,020	33,024
4	Suhu (32-37)	11.426,040	38,472
5	Suhu (37-42)	2.854,080	9,610
6	Suhu (>42)	49,050	0,165
<b>Total</b>		29.699,280	100



Gambar 5 Sebaran suhu permukaan kawasan WKP Ungaran

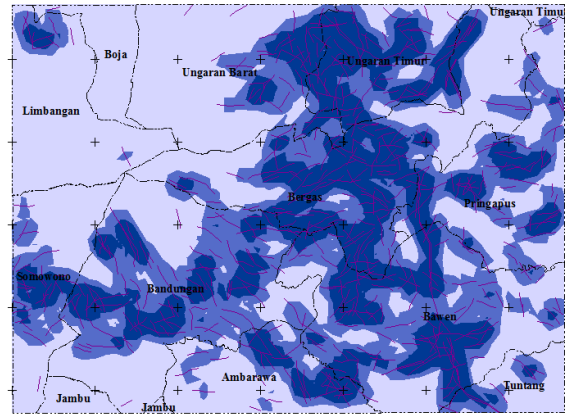
IV.3. Hasil dan Analisis Kelurusan

Hasil delineasi kelurusan digunakan untuk mengetahui orientasi arah kelurusan di daerah wilayah studi sehingga dapat diketahui arah gaya utama pembentukan struktur yang ada di wilayah studi. Hasil analisis data kelurusan menggunakan diagram Rosnet menunjukkan bahwa arah kelurusan struktur utama di kawasan Ungaran terdiri dari dua arah yaitu timur-barat dan barat laut-tenggara. Arah kelurusan ini sesuai dengan arah kelurusan yang ada di Jawa dimana arah barat-timur memiliki orientasi yang sama dengan memanjangnya pulau Jawa sedangkan arah kelurusan barat laut-tenggara merupakan struktur regional. Diagram Rosnet dapat dilihat pada Gambar 6.



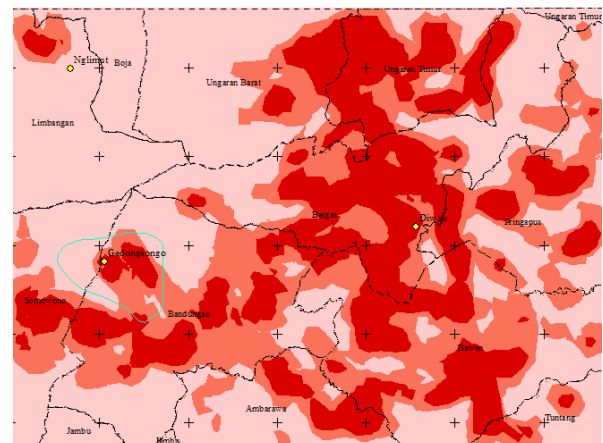
Gambar 6 Diagram Rosnet kawasan WKP panas bumi Ungaran

Pengolahan selanjutnya dilakukan analisis anomali kerapatan kelurusan. Peta kerapatan kelurusan memberikan informasi mengenai anomali kerapatan patahan dan rekahan yang digunakan untuk memprediksi daerah recharge area. Hasil kerapatan kelurusan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Hasil kerapatan kelurusan

IV.4. Analisis Potensi Panas Bumi

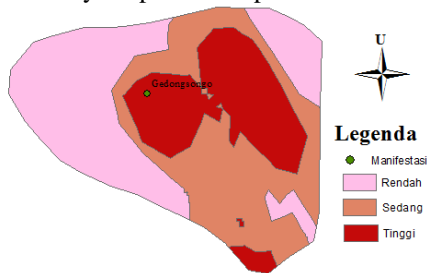


Gambar 8 Hasil AHP

Pada hasil AHP perlu dilakukan kajian lanjut untuk menentukan daerah potensi panas bumi dengan melihat tinjauan geologi, batuan alterasi dan lokasi manifestasi panas bumi yang terdapat pada WKP panas bumi Ungaran. Pada sebagian besar area potensial geotermal, indikator yang paling penting adalah mata air panas dan juga adanya zona alterasi pada daerah sekitar mata air panas tersebut. Untuk menghindari kehilangan daerah potensial, jarak buffer 5000 meter digunakan sebagai jarak bukti untuk memilih daerah potensial panas bumi yang menjanjikan berdasarkan lokasi mata air panas. Lokasi dan distribusi zona alterasi permukaan dapat membantu mengidentifikasi daerah panas bumi yang prospektif karena zona alterasi

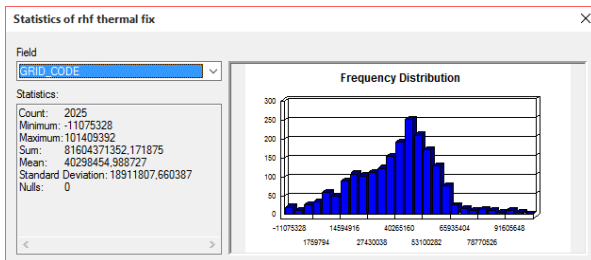
mungkin terkait erat dengan aliran utama sistem geotermal di kedalaman. Kemungkinan besar sumber daya panas bumi terjadi di dalam dan di sekitar zona alterasi hidrotermal daripada di daerah yang tidak berubah (Yousefi, 2007).

Menurut ESDM Prov. Jawa Tengah, manifestasi panas bumi Ungaran terdapat di Nglimut, Gedongsongo dan Diwak. Lokasi manifestasi dapat dilihat pada *Gambar 8*. Penelitian ini tidak menyertakan zona alterasi sehingga untuk menentukan area potensial panas bumi hanya berdasarkan peta zonasi prospek panas bumi di Gedongsongo dan sekitarnya yang didapat dari. Area potensial panas bumi di Gedongsongo dan sekitarnya yang didapat dari ESDM. Area potensial panas bumi di Gedongsongo dan sekitarnya dapat dilihat pada *Gambar 9*.

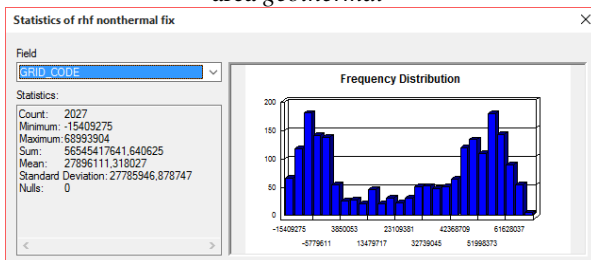


*Gambar 9* Area potensial Panas bumi

**IV.5. Hasil dan Analisis Estimasi Energi Panas Bumi**



*Gambar 10* Statistik energi hasil perhitungan RHF area geothermal



*Gambar 11* Statistik energi hasil perhitungan RHF area nonthermal

Hasil estimasi energi pada *Gambar 10* merupakan area potensial panas bumi di Gedongsongo yaitu pada Desa Kenteng dan Desa Candi dengan luas area 182,585312 Ha dan hasil perhitungan energi sebesar 81,604 MW. *Gambar 11* merupakan area non thermal pada lereng gunung Ungaran pada lintang yang sama dari area potensial. Nilai estimasi energi panas bumi didapatkan dari pengurangan total estimasi energi dari area potensial dengan area non thermal sehingga didapatkan energi sebesar 25,059 MW.

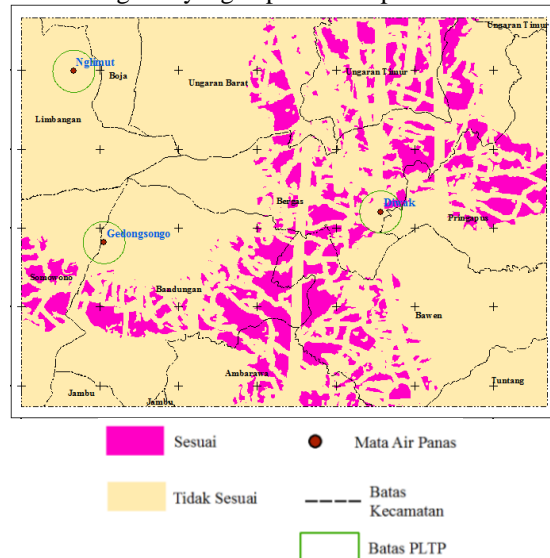
Validasi ini didasarkan pada hasil perhitungan energi panas yang terpancarkan Gedongsongo dengan

luas area sebesar 182,585 Ha, menggunakan algoritma *Radiative Heat Flux* (RHF) yang didapatkan sebesar 25,059 MW kemudian dibandingkan dengan data potensi dan wilayah kerja pertambangan panas bumi di Indonesia berdasarkan keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1789 K/33/MEM/2007 yang di dapatkan dari penelitian Rezky dkk tahun 2012 dengan nilai estimasi potensi sebesar 50 MW.

Terdapat perbedaan yang banyak antara estimasi energi menggunakan algoritma RHF dengan hasil perkiraan potensi dari penelitian Rezky dkk tahun 2012. Perbedaan energi yang besar tersebut karena perbedaan luas area potensial yang menjadi hitungan estimasi energi menggunakan algoritma RHF. Pada penelitian Rezky dkk, 2012 mendapatkan nilai estimasi potensi dari keseluruhan WKP panas bumi Ungaran sedangkan pada penelitian ini hanya fokus pada area potensial panas bumi Gedongsongo. Selain itu, penggunaan suhu dari BMKG sebagai *ambient* temperatur masih perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut, karena penggunaan *ambient* temperatur harus merupakan suhu ruangan dari benda yang diteliti sehingga *ambient* temperatur dalam menentukan suhu mutlak seharusnya menggunakan suhu dari kedalaman tanah area penelitian.

**IV.6. Analisis Rekomendasi Lokasi PLTP**

Hasil dari parameter yang telah dijelaskan diatas dilakukan *overlay* dengan *Boolean Integration Model* sehingga didapatkan rekomendasi lokasi PLTP kawasan Ungaran yang dapat dilihat pada *Gambar 12*.

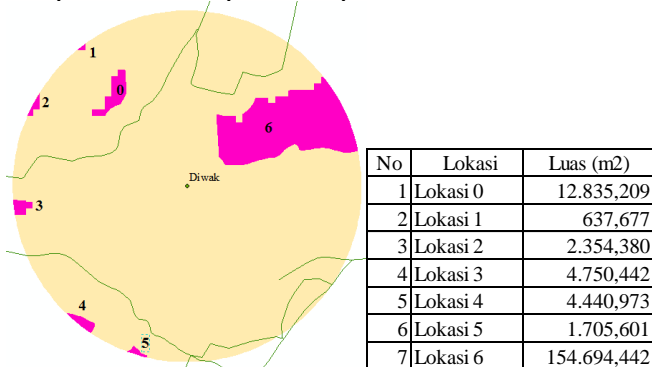


*Gambar 12* Rekomendasi PLTP kawasan Ungaran

Hasil *overlay* parameter didapatkan lokasi yang sesuai untuk dibangun PLTP sebesar 44,476 km<sup>2</sup> dan area yang tidak sesuai sebesar 252,587 km<sup>2</sup>. Pada *Gambar 12* dapat dilihat bahwa area yang sesuai dengan pembangunan PLTP di sebelah selatan dan timur dari Gunung Ungaran dikarenakan kemiringan lahan yang tidak terlalu curam yaitu kurang dari 15%. Penentuan rekomendasi pembangunan PLTP disarankan memiliki jarak yang lebih dekat dengan sumber mata air panas dan jarak lokasi dengan jalan kurang dari 800 meter sehingga apabila PLTP dibangun tidak memerlukan biaya yang lebih banyak karena instalasi pipanya tidak



terlalu panjang (Hariyanto dkk, 2016). Pada penelitian ini, hanya mata air panas Diwak yang terdapat kesesuaian lahan untuk pembangunan PLTP sebanyak 7 lokasi. Lokasi tersebut berada pada Kecamatan Bergas Desa Diwak, Desa Karangjati dan Desa Ngempon dengan luas minimal 637,677 m<sup>2</sup> dan luas maksimal 154.694,442 m<sup>2</sup>. Lokasi PLTP untuk mata air panas Diwak dapat dilihat pada *Gambar 13*.



*Gambar 13* Rekomendasi pembangunan PLTP mata air panas Diwak

**V. Kesimpulan dan Saran**

**V.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisis dari penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan metode penentuan area potensial panas bumi yang telah dibuat, area potensial WKP panas bumi Ungaran berada di cagar budaya Candi Gedongsongo yaitu Desa Kenteng dan Desa Candi dengan luas area 182,585 Ha.
2. Hasil perhitungan estimasi energi panas bumi menggunakan algoritma *Radiative Heat Flux* pada area potensial panas bumi didapatkan total nilai estimasi energi panas bumi di area potensial panas bumi Gedongsongo sebesar 25,059 MW.
3. Didapatkan area yang sesuai untuk rekomendasi lokasi pembangunan PLTP sebesar 44,476 km<sup>2</sup> dan area yang tidak sesuai sebesar 252,587 km<sup>2</sup> serta didapatkan 3 site di dekat mata air panas Diwak yaitu pada Desa Diwak, Desa Karangjati dan Desa Ngempon.

**V.2 Saran**

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan dari awal hingga akhir, berikut saran-saran yang dapat dikemukakan untuk penelitian selanjutnya :

1. Sebaiknya menggunakan citra SAR yang memilki Sebaiknya dihindari pemakaian citra Landsat 8 pada daerah penelitian yang memiliki liputan awan yang tinggi (>10%) karena keterbatasan sensor optis.
2. Sebaiknya dilakukan validasi suhu LST menggunakan suhu pengukuran langsung dilapangan pada tahun, musim, bulan yang sama pada saat perekaman citra, dan pada satu titik sampel dilakukan pengukuran yang lebih atau satu pengukuran dengan memilih area yang homogen.
3. Penggunaan data suhu dari BMKG sebagai *ambient* temperatur atau suhu ruangan harus memperhatikan lokasi yang dekat dengan studi

kasus, tetapi alangkah lebih baik jika penggunaan suhu ruangan menggunakan data pengukuran suhu kedalaman lokasi penelitian.

4. Sebaiknya dalam penentuan area potensial dan estimasi energi panas bumi menggunakan data geologi, geofisika dan geokimia agar penelitian lebih akurat.
5. Sebaiknya rekomendasi lokasi pembangunan PLTP selanjutnya dapat mempertimbangkan dari aspek lainnya seperti aspek sosial-ekonomi daerah sekitar dan pelaksanaannya sesuai dengan UU yang berlaku.
6. Sebaiknya pada penentuan lokasi PLTP menggunakan data dengan skala yang besar sehingga didapatkan hasil yang lebih teliti.

**DAFTAR PUSTAKA**

Aftriana C.V., Satyanta P. dan Tjaturahono B. S. 2013. *Analisis Perubahan Kerapatan Vegetasi Kota Semarang Menggunakan Aplikasi Penginderaan Jauh*. Geo-Image 2

Farras N., Abdi S. dan Nurhadi B. 2017. *Analisis Estimasi Energi Panas Bumi Menggunakan Citra Landsat 8 (Studi Kasus: Kawasan Gunung Telomoyo)*. Jurnal Geodesi Undip, Vol. 6 No. 4

Hakim L., Nazli I. dan Faisal. 2017. *Kajian Awal Penentuan Daerah Prospek Panas Bumi di Gunung Bur Ni Telong Berdasarkan Analisis Data DEM SRTM dan Citra Landsat 8*. Jurnal Rekayasa Elektrika, Vol. 13 No. 3 Desember 2017: 125-132

Hariyanto T dan Farrel N. R. 2016. *Identifikasi Potensi Panas Bumi Menggunakan Landsat 8 Serta Penentuan Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (Studi Kasus : Kawasan Gunung Lawu)*. GEOID, Vol. 17 No. 7 Agustus 2016

Immaculata C. 2008. *Identifikasi Penampakan Sesar Aktif Dengan Menggunakan Citra Dan Metode SIG (Studi Kasus : Solok Dan Sekitarnya, Sumatera Barat)*. Bandung : Institut Teknologi Bandung

Jiménez-Muñoz dan Sobrino. 2010. *A Single-Channel Algorithm for Land-Surface Temperature Retrieval From ASTER Data*. IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters, Vol. 7 No. 1 Januari 2010

Mia Md. B., Chris J. Bromley dan Fujimitsu Y. 2012. *Monitoring heat flux using Landsat TM/ETM+ thermal infrared data. A case study at Karapiti (Craters of the Moon) thermal area, New Zealand*. Elsevier: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*: 1-10

Pambudi D. Y. W. S., Mohamad S. dan Kamil I. 2014. *Delineasi Daerah Prospek Panas Bumi Berdasarkan Kelurusan Citra Landsat Dan Digital Elevation Model (Dem) Daerah Gunung Lawu, Provinsi Jawa Tengah Dan Jawa Timur*. Prosiding Seminar Nasional Kebumihan ke-7

- Purnomo E.N.S., Sari W.S dan Rini A. 2013. *Analisis Perbandingan Menggunakan Metode AHP, TOPSIS, dan AHP-TOPSIS dalam Studi Kasus Sistem Pendukung Keputusan Penerimaan Siswa Program Akselerasi*. Jurnal ITSMART, Vol.2 No 1 Juni 2013
- Rezky Y., Ahmad Z. dan Dikdik R. 2012. *Sistem Panas Bumi Dan Model Konseptual Daerah Panas Bumi Gunung Ungaran, Jawa Tengah*. Buletin Sumber Daya Geologi, Vol 7 No. 3
- Rina W. 2005. *Potensi dan Wilayah Kerja Pertambangan Panas Bumi Di Indonesia*. Kolokium Hasil Lapangan
- Sukendar P.M., Bandi S. dan Arwan P.W. 2016. *Analisis Sebaran Kawasan Potensial Panas Bumi Gunung Salak Dengan Suhu Permukaan, Indeks Vegetasi Dan Geomorfologi*. Jurnal Geodesi Undip, Vol. 5 No. 2
- Wahyudi. 2005. *Kajian Potensi Panas Bumi Dan Rekomendasi Pemanfaatannya Pada Daerah Prospek Gunungapi Ungaran Jawa Tengah*. Berkala MIPA, 16(1) Januari 2006
- Yousefi H, Sachio E dan Younes N. 2007. *Geothermal Potential Site Selection Using GIS In Iran*. Proccedings. California
- Zakarsyi A, Yuanno A dan Mochamad N. *Keprospekan Panas Bumi Gunung Ungaran Berdasarkan Analisis Geosain Terpadu*. Buletin Sumber Daya Geologi, Vol.6 No.3

**Sumber Internet**

- Geothermal Indonesia. 2017. *Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi*. <https://geothermalindonesia.com/2017/02/03/pembangkit-listrik-tenaga-panas-bumi/>. Diakses pada tanggal 18 Maret 2018