

## ANALISIS REKOMENDASI DAERAH PLTP (PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI) MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

Risa Bruri Utami<sup>\*)</sup>, Bandi Sasmito, Nurhadi Bashit

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

### ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang mempunyai banyak potensi panas bumi yang nantinya dapat digunakan dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik. Keluarnya manifestasi panas bumi menjadi salah satu indikator adanya potensi panas bumi. Langkah awal sebagai kegiatan eksplorasi potensi panas bumi yaitu dengan melakukan kajian karakteristik daerah potensi panas bumi. Pada penelitian ini, identifikasi daerah potensi panas bumi dilakukan dengan menggunakan penginderaan jauh dan memanfaatkan data citra landsat 8. Citra landsat 8 dapat digunakan untuk mengetahui nilai kerapatan vegetasi, suhu permukaan, dan delineasi kelurusan. Penentuan area potensial panas bumi dalam penelitian ini menggunakan Sistem Informasi Geografis dengan melakukan pembobotan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Parameter yang digunakan berupa hasil *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Land Surface Temperature* (LST), dan delineasi kelurusan sedangkan penentuan lokasi PLTP menggunakan analisis *intersect* dan skala yang digunakan yaitu skala 1:100.000. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penentuan area potensi panas bumi menggunakan metode AHP menghasilkan luasan untuk area tidak berpotensi sebesar 3.761,299 Ha, area kurang berpotensi sebesar 4.608,671 Ha dan area sangat berpotensi sebesar 2.427,309 Ha, sedangkan uji signifikansi yang diperoleh dari metode ini yaitu sebesar 0,925. Hasil rekomendasi lokasi pembangunan PLTP pada kawasan Dieng yaitu sebanyak 9 lokasi dengan luasan maksimal sebesar 16,27795 Ha pada zona 3 dan luasan paling kecil sebesar 0,732819 Ha pada zona 1. Berdasarkan penelitian ini, zona yang paling direkomendasikan yaitu zona 3 karena pada zona tersebut terdapat 4 sumber mata air panas yang mempunyai potensi panas bumi yang besar yaitu wilayah manifestasi Kawah Sileri, Pagerkandang, Sipandu dan Siglagah.

**Kata Kunci** : AHP, Kelurusan, LST, Panas bumi, PLTP

### ABSTRACT

*Indonesia is a country that has a lot of geothermal potential which can be used later in meeting the electrical energy needs. The output of geothermal manifestations is one indicator of the existence of geothermal potential. Studying characteristics of geothermal potential is the first step in the geothermal exploration. In this study, identification of geothermal potential areas was carried out using remote sensing and utilizing landsat 8. Landsat 8 can be used to determine the value of vegetation density, surface temperature, and line delineation. Determination of geothermal potential areas in this study using the Geographic Information System by weighting the method Analytical Hierarchy Process (AHP). The parameters used are Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Land Surface Temperature (LST), and line delineation while determining the location of the PLTP using intersect analysis and used scale 1:100.000. The results of this study that the determination of geothermal potential areas using the AHP method produces an area for a non-potential area of 3,761.299 Ha, a potential area of 4608,671 Ha and a potential area of 2,427.309 Ha, while the significance test obtained from this method is 0.925. By using the geographic information system analysis, the recommended areas for PLTP development were 9 locations with a maximum area of 16.27795 Ha in zone 3 and the minimal area of 0.732819 Ha in zone 1. Based on this study, the most recommended zone is zone 3 because there are 4 hot springs that have high geothermal potential in the zone, namely the manifestation areas of Kawah Sileri, Pagerkandang, Sipandu and Siglagah.*

**Keywords**: AHP, Gheothermal, Lineament, LST, PLTP

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

**I. Pendahuluan**

**I.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara yang mempunyai banyak potensi panas bumi yang nantinya dapat digunakan dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik. Menurut pasal 1 Undang-Undang No.27 Tahun 2003 tentang panas bumi, panas bumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, dan batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetik semua tidak dapat dipisahkan dalam sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan. Sejak tahun 1992 kebutuhan energi listrik nasional meningkat mencapai 18% rata-rata per tahun, atau sekitar dua kali lebih tinggi dari skenario yang dibuat pada tahun 1990. Hal ini disebabkan oleh tingginya pertumbuhan ekonomi nasional kaitannya dengan pertumbuhan industri dan jasa konstruksi apabila keadaan ini terus bertahan, berarti diperlukan upaya untuk mengembangkan energi alternatif yang bersifat *renewable resources* atau *renewable energy*.

Potensi sumber daya energi panas bumi yang dimiliki Indonesia mencapai sekitar 40% dari potensi panas bumi dunia yang telah dimanfaatkan, tersebar di Jawa, Bali dan Sumatera (Geothermal Indonesia, 2017). Menurut Badan Geologi ESDM (2011) menjelaskan bahwa potensi panas bumi di Indonesia tersebar di 285 titik daerah sepanjang busur vulkanik dengan total potensi sebesar 29,215 GW (Fandari, 2014). Berdasarkan tinjauan geologi, sumber panas bumi yang paling prospek terdapat pada daerah aktivitas vulkanik resen antara lain daerah pengangkatan kwarter atau daerah kwarter dan juga daerah amblesan tersier (Solia, 1976 dalam Ernesia, 2013).

Daerah potensi panas bumi di Indonesia pada umumnya berada di kawasan gunung vulkanik dikelilingi hutan lindung, hutan konservasi dan cagar alam dengan permukaan area sebagian besar tertutup vegetasi (Sukendar, 2016). Salah satu contoh daerah dengan potensi panas bumi di Indonesia yaitu Dieng. Dataran Tinggi Dieng merupakan kawasan vulkanik aktif yang terbentuk dari kawah gunung berapi yang telah mati. Bentuk kawah ini terlihat jelas dari dataran yang dikelilingi oleh gugusan pegunungan disekitarnya, meskipun gunung api ini telah lama mati, beberapa kawah vulkanik masih aktif hingga sekarang diantaranya Kawah Sileri dan Kawah Sikidang, selain kawah terdapat pula danau-danau vulkanik yang ada di Dieng, seperti: Telaga Warna, Telaga Pengilon, Telaga Merdada. Berdasarkan data terbaru dari Direktorat Panas Bumi, Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi tercatat sumber daya panas bumi yang termanfaatkan telah mencapai 1.948,5 MW yang terdiri dari 13 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) pada 11 Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP). Sebaran 13 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang terpasang berdasarkan letak geografis dari wilayah barat sampai wilayah timur Indonesia. Pengembangan industri panas bumi selanjutnya diharapkan mencapai wilayah timur

Indonesia serta pemanfaatannya tidak hanya sebagai pembangkit juga dapat dimanfaatkan secara langsung seperti untuk industri pertanian (antara lain untuk pengeringan hasil pertanian, sterilisasi media tanaman, dan budi daya tanaman tertentu), selain sebagai destinasi wisata yang sudah dilakukan saat ini (ESDM, 2018).

Keluarnya manifestasi panas bumi menjadi salah satu indikator adanya potensi panas bumi. Langkah awal sebagai kegiatan eksplorasi potensi panas bumi yaitu dengan melakukan kajian karakteristik daerah potensi panas bumi. Pada penelitian ini, identifikasi daerah potensi panas bumi dilakukan dengan menggunakan penginderaan jauh dan memanfaatkan data citra landsat 8. Citra landsat 8 dapat digunakan untuk mengetahui nilai kerapatan vegetasi, suhu permukaan, dan deliniasi kelurusan. Penentuan area potensial panas bumi dalam penelitian ini menggunakan Sistem Informasi Geografis dengan melakukan pembobotan metode *Analitycal Hierarchy Process* (AHP). Parameter yang digunakan berupa hasil *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Land Surface Temperature* (LST), dan deliniasi kelurusan sedangkan penentuan lokasi PLTP menggunakan analisis *intersect* dan skala yang digunakan yaitu skala 1:100.000. Penggunaan skala tersebut menyesuaikan data yang diperoleh dari instansi, selain itu tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai investigasi awal bukan untuk perencanaan detail rekomendasi pembangunan PLTP.

**I.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana sebaran area potensial panas bumi menggunakan metode *overlay* pembobotan dari parameter LST, NDVI dan kelurusan di kawasan Dieng?
2. Bagaimana analisis penentuan rekomendasi lokasi dan luas area PLTP di kawasan Dieng?

**I.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui sebaran area potensial panas bumi menggunakan citra landsat 8 di kawasan Dieng.
2. Mengetahui daerah yang sesuai atau cocok dijadikan sebagai rekomendasi lokasi dan luas area PLTP di kawasan Dieng.

**I.4 Batasan Penelitian**

Batasan dalam penelitian ini adalah :

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu citra landsat 8 bulan mei 2018.
2. Wilayah penelitian berada di kawasan Dieng, Jawa Tengah dan berada pada posisi geografis 7°11'00" LS - 7°14'00" LS dan 109°51'00" BT - 109°54'30" BT.
3. Kalibrasi radiometrik dilakukan dengan melakukan metode ToA (*Top of atmosphere*)

untuk mengkonversi *digital number* menjadi nilai *radianse* dan *reflectance*.

4. Metode yang digunakan untuk menentukan area prospek panas bumi adalah *overlay* hasil pembobotan metode AHP dengan parameter NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), LST (*Land Surface Temperature*), Peta Geologi dan delineasi kelurusan (*Lineament*).
5. Pengolahan LST (*Land Surface Temperature*) mengacu pada penelitian dari Juan C. Jiménez-Muñoz dan José A. Sobrino, 2010 dengan judul “*A Single Channel Algorithm for Land-Surface Temperature Retrieval from ASTER Data*” yaitu menggunakan algoritma *Single - Channel (SC Algorithm)* dengan menerapkan konsep *AFs (Atmospheric Functions)*.
6. 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, Cina* yaitu 295,84 K atau 22°C.
7. Delineasi kelurusan menggunakan metode menurut penelitian Anjar Pranggawan Azhari, Sukir Maryanto dan Arief Rachmansyah dengan judul “Identifikasi struktur geologi dan pengaruhnya terhadap suhu permukaan tanah berdasarkan data Landsat 8 di lapangan panas bumi Blawan”.
8. Penentuan lokasi rekomendasi PLTP menggunakan analisis SIG yaitu analisis *intersect* dengan parameter tutupan lahan, kemiringan lahan, struktur geologi, akses jalan dan sumber potensi panas bumi mengadopsi dari penelitian Teguh Hariyanto dan Farrel Narendra Robawa, 2016 berjudul “Identifikasi Potensi Panas Bumi Menggunakan Landsat 8 Serta Penentuan Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (Studi Kasus: Kawasan Gunung Lawu)”.
9. Skala yang digunakan pada penelitian ini yaitu skala 1:100.000.

**II. Tinjauan Pustaka**

**II.1 Panas Bumi (Geothermal)**

Panas bumi atau *geothermal* merupakan energi panas yang tersimpan di dalam permukaan bumi. Istilah *geothermal* diambil dari bahasa Yunani, *geo* berarti bumi dan *therme* berarti panas (Risnandar, 2018).

Menurut UU No 21 tahun 2014, panas bumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, serta batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetik tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan. 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.

**II.2 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)**

Menurut Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2017, Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi yang selanjutnya disebut PLTP adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas bumi. Berbeda dengan pembangkit listrik termal lainnya, dimana energi panas yang digunakan untuk memutar turbin adalah hasil dari proses pemanasan air oleh pembakaran bahan bakar fosil. Pada PLTP uap yang digunakan untuk memutar turbin berasal dari perut bumi melalui sumur hasil pengeboran.

Pembangunan PLTP harus mempertimbangkan berbagai aspek, terutama untuk luas lokasi yang akan direncanakan. Menurut Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2003 tentang Panas bumi, “Luas Wilayah Kerja untuk Eksplorasi yang dapat diberikan untuk satu IUP Panas Bumi tidak boleh melebihi 200.000 (dua ratus ribu) hektar” dan untuk luas minimalnya yaitu sebesar 0,4 Hektar.

Parameter-parameter yang dibutuhkan yaitu tutupan lahan, kemiringan lahan, struktur geologi, akses jalan dan lokasi sumber mata air panas. Parameter tersebut berpedoman pada penelitian yang dilakukan oleh Hariyanto (2016) seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1** Parameter Penentuan Lokasi PLTP

Parameter	Daerah yang tidak sesuai
Tutupan Lahan	Permukiman
Kemiringan	Kemiringan > 15%
Patahan	Buffer sejauh 200 m
Akses Jalan	Buffer 100 m
Lokasi Sumber Panas Bumi	Buffer 200 m

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

*Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) merupakan metode standar yang digunakan dalam membandingkan tingkat kehijauan vegetasi (kandungan klorofil) pada tumbuhan (Amliana, 2016).

Nilai kerapatan vegetasi dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:  
 NIR = *Near-Infrared* (Kanal Inframerah)  
 Red = *Red* (Kanal Merah)

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

Temperatur permukaan tanah dapat didefinisikan sebagai suatu permukaan rata-rata dari suatu permukaan, yang digambarkan dalam cakupan suatu piksel dengan berbagai tipe permukaan yang berbeda (USGS, 2015 dalam Delarizka, 2016).

Jiménez-Muñoz dan Sobrino (2010) melakukan penelitian mengenai estimasi suhu permukaan atau LST dengan menggunakan algoritma *Single - Channel (SC Algorithm)* dengan menerapkan konsep *AFs (Atmospheric Functions)*, dimana nilai *AFs* bergantung pada nilai transmisivitas, *upwelling* dan

downwelling radiansi atmosfer. Parameter-parameter yang digunakan untuk melakukan koreksi atmosfer dan estimasi *Land Surface Temperature* menurut Jiménez-Muñoz dan Sobrino (2010) dapat dilihat pada persamaan (2) sampai persamaan (7).

$$T_s = \gamma \left[ \frac{1}{\epsilon} (\Psi_1 L_{sen} + \Psi_2) + \Psi_3 \right] + \delta \dots\dots\dots(2)$$

$$\Psi_1 = \frac{1}{\tau} \dots\dots\dots(3)$$

$$\Psi_2 = -L \downarrow - \frac{L \uparrow}{\tau} \dots\dots\dots(4)$$

$$\Psi_3 = L \downarrow \dots\dots\dots(5)$$

$$\gamma \approx \left( \frac{T_{sen}^2}{K_2 L_{sen}} \right) \dots\dots\dots(6)$$

$$\delta \approx \left( T_{sen} - \frac{T_{sen}^2}{K_2} \right) \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

$T_s$  = Suhu Permukaan Sensor

$\Psi_1, \Psi_2$  dan  $\Psi_3$  = Koreksi atmosfer

$\gamma$  dan  $\delta$  = Parameter yang bergantung pada fungsi Planck

$L_{sen}$  = ToA Radian

$T_{sen}$  = Nilai pada *Sensor brightness temperature*

$L \uparrow$  = *Upwelling Radiance*

$L \downarrow$  = *Downwelling Radiance*

$\tau$  = Transmisi

$\epsilon$  = Emisivitas

$K_2$  = Konstanta radiasi

**II.5 Lineament (Kelurusan)**

Kelurusan didefinisikan sebagai kelurusan bentang alam yang menggambarkan bentuk batuan atas yang terkubur (Hobbs dalam Farras, 2017). 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).

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 memiliki permeabilitas paling baik (Pambudi dkk, 2014).

**II.6 Analytical Hierarchy Process (AHP)**

*Analytical Hierarchy Process* (AHP) Adalah metode untuk memecahkan suatu situasi yang kompleks tidak terstruktur kedalam beberapa komponen dalam susunan yang hirarki, dengan memberi nilai subjektif tentang pentingnya setiap variabel secara relatif, dan menetapkan variabel mana yang memiliki prioritas paling tinggi guna mempengaruhi hasil pada situasi tersebut (Wisanggeni, 2010).

Komponen utama *Analytical Hierarchy Process* (AHP) adalah memiliki sebuah hirarki fungsional dengan input utamanya persepsi manusia. Suatu masalah kompleks dan tidak terstruktur dipecahkan ke dalam kelompok-kelompoknya dan diatur menjadi suatu bentuk hirarki, didalam hirarki terdapat tujuan utama, kriteria-kriteria, sub kriteria-sub kriteria dan alternatif-alternatif yang akan dibahas (Saaty, 2001).

**III. Metodologi Penelitian**

**III.1 Data dan Peralatan Penelitian**

Data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer maupun data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber. Data yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2** Data Penelitian

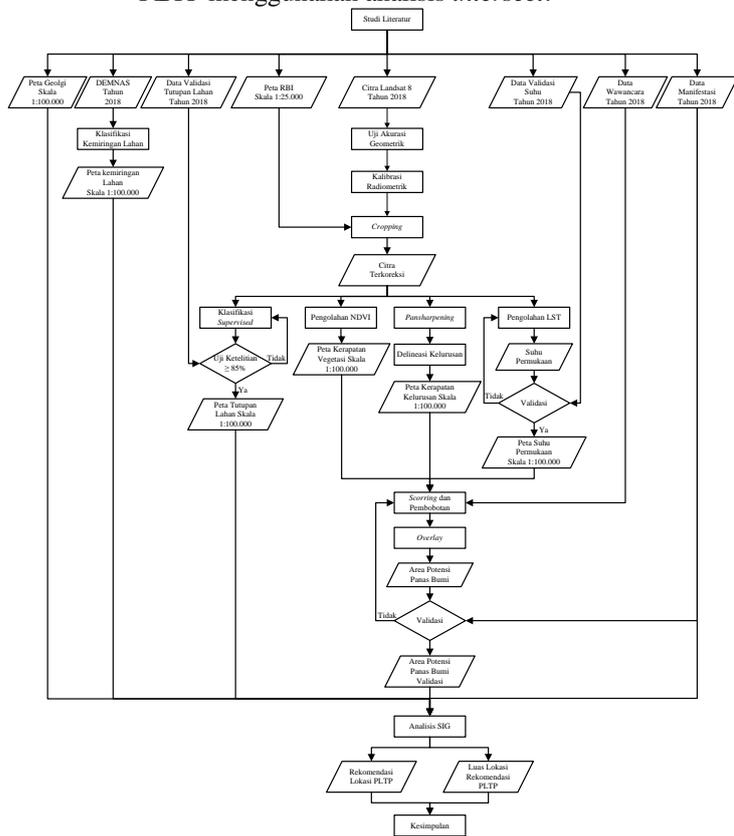
Data Sekunder			
No.	Data	Sumber Data	Tahun
1	Citra Satelit Landsat 8	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>	2018
2	Peta Geologi Skala 1 : 100.000	Bappeda	1996
3	Peta RBI Skala 1 : 25.000	<a href="http://portal.ina-sdi.or.id">http://portal.ina-sdi.or.id</a>	2018
4	SHP Batas Administrasi Skala 1 : 25.000	Bappeda	2018
5	Data transmisivitas, <i>Upwelling Radiance</i> , <i>Downwelling Radiance</i>	<a href="http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/">http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/</a>	2018
6	DEMNAS	<a href="http://portal.ina-sdi.or.id">http://portal.ina-sdi.or.id</a>	2018
Data Primer			
1	Data validasi suhu permukaan	Survei Lapangan	2018
2	Data validasi tutupan lahan	Survei Lapangan	2018
3	Data titik manifestasi	Survei Lapangan	2018
4	Data wawancara	ESDM Jawa Tengah	2018

Peralatan penelitian yang digunakan sebagai penunjang selama proses penelitian berlangsung yaitu berupa:

1. Laptop ASUS Windows 8.1 pro 64-bit, Intel® Core™ i3-3217U CPU @1.80 GHz .
2. *Thermometer Infrared*.
3. *GPS Handheld*
4. ENVI 5.1.
5. ArcGIS v.10.4.
6. PCI Geomatica v10.0.
7. QGIS 2.12.
8. SPSS Statistics v23.0
9. Ms. Word 2013.
10. Ms. Excel 2013.
11. Kamera

### III.2 Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1, secara umum pengolahan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengolahan kerapatan vegetasi metode NDVI, pengolahan suhu permukaan dan delinesasi kelurusan (*lineament*) untuk menentukan area potensi panas bumi dengan cara melakukan pembobotan metode *AHP Analytical Hierarchy Process*, kemudian untuk penentuan lokasi PLTP menggunakan analisis *intersect*.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

### III.3 Pra-pengolahan Citra

Tahap pra-pengolahan citra terdiri dari uji akurasi geometrik, kalibrasi radiometrik, dan *cropping* citra. Uji akurasi geometrik dalam penelitian menggunakan jumlah titik *Independent Control Point* (ICP) sebanyak 13 titik. Hal ini mengacu pada standar yang ditetapkan oleh BIG yaitu penentuan jumlah titik ICP berdasarkan luasan wilayah. Luas penelitian ini sebesar 107,533 Km<sup>2</sup> sehingga masuk dalam kategori jumlah titik untuk ketelitian horisontal minimal sebanyak 12 titik dengan luas ketentuannya < 250 Km<sup>2</sup>. Tahap kalibrasi radiometrik dilakukan untuk mengkonversi nilai DN menjadi radian atau reflektan. Proses *cropping* citra bertujuan untuk mempersempit wilayah penelitian sehingga lebih fokus dalam proses pengolahan, visualisasi lebih jelas dan menghemat memori penyimpanan karena ukuran data hasil pemotongan citra lebih kecil.

### III.4 Pengolahan Potensi Panas Bumi

Penentuan area potensi panas bumi di Kawasan Dieng, dilakukan dengan cara *overlay* dari tiga parameter utama yaitu *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Land Surface Temperature* (LST), dan delinesasi kelurusan menggunakan pembobotan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Nilai pembobotan diperoleh dari hasil wawancara Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Jawa Tengah. Hasil pembobotan metode AHP dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil pembobotan AHP

Kriteria	Sub Kriteria	Bobot Kriteria	Bobot Sub Kriteria	Bobot
Kerapatan Vegetasi	Badan Air	0,250	0,216	0,054
	Vegetasi Jarang		0,423	0,106
	Vegetasi Cukup Rapat		0,217	0,054
	Vegetasi Rapat		0,091	0,023
Suhu Permukaan Tanah	Vegetasi Sangat Rapat	0,250	0,053	0,013
	10 - 22 °C		0,036	0,009
	22 - 27 °C		0,062	0,016
	27 - 32 °C		0,134	0,033
	32 - 37 °C		0,264	0,066
Kelurusan	37 - 43 °C	0,500	0,504	0,126
	Rendah		0,103	0,052
	Sedang		0,257	0,129
	Tinggi		0,640	0,320

### III.5 Pengolahan Rekomendasi PLTP

Penentuan rekomendasi lokasi PLTP pada penelitian ini berpedoman oleh penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hariyanto (2016) pada Tabel 1 dan menggunakan data tambahan berupa data area potensial panas bumi yang diperoleh dari pengolahan sebelumnya. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa, terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk penentuan rekomendasi lokasi pembangunan PLTP. Parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Pengolahan rekomendasi lokasi PLTP dilakukan dengan *software* ArcGIS menggunakan *tools overlay*. Pengklasifikasian penentuan lokasi PLTP yaitu dengan klasifikasi dibagi dalam dua wilayah yang berbeda. Daerah yang dianggap sesuai diberikan nilai 1 dan daerah yang dianggap tidak sesuai diberikan nilai 0 (Yousefi dkk, 2007).

## IV. Hasil dan Pembahasan

### IV.1 Hasil Pra-pengolahan Citra

#### IV.1.1 Hasil kalibrasi radiometrik

Kalibrasi radiometrik dilakukan dengan merubah nilai *digital number* menjadi nilai reflektan atau nilai radian ToA (*Top of Atmosphere*). Kalibrasi radiometrik bertujuan untuk memperbaiki kualitas visual dari citra, memperbaiki nilai piksel yang kurang sesuai dengan nilai reflektan maupun nilai radian suatu objek. Citra yang belum dikalibrasi mempunyai nilai maksimum ribuan sedangkan setelah dikoreksi memiliki nilai data kurang dari 1.

#### IV.1.1 Hasil Uji Akurasi Geometrik

Hasil uji akurasi yang telah dilakukan, memperoleh nilai RMSEr sebesar 7,487 dengan tingkat kepercayaan 90%. Penelitian ini mengacu pada standar US NMAP yang ditetapkan oleh Perka BIG No.15

Tahun 2014 dengan ketentuan seperti persamaan (8) dan persamaan (9).

$$CE90 = 1,575 \times RMSEr \dots \dots \dots (8)$$

$$LE90 = 1,6499 \times RMSEz \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan :

CE90 = *Circular Error 90* (posisi horizontal)

LE90 = *Linier Error 90* (posisi vertikal)

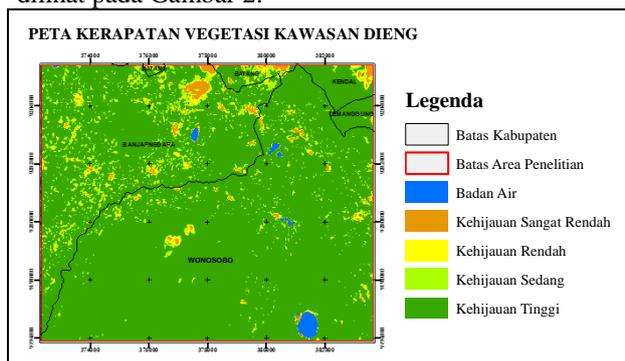
RMSEr = *Root Mean Square Error* pada posisi x dan y (horizontal)

RMSEz = *Root Mean Square Error* pada posisi z (vertikal)

Perhitungan CE90 standar US NMAP menghasilkan akurasi horisontal pada citra sebesar 11,793 meter.

### IV.2 Hasil Pengolahan NDVI

Nilai indeks vegetasi yang diperoleh pada penelitian ini digunakan untuk menghitung nilai emisivitas permukaan. Nilai emisivitas ini berfungsi untuk mengeliminasi suhu permukaan hasil pengolahan citra, hal ini disebabkan karena hasil distribusi suhu permukaan dipengaruhi oleh aktifitas manusia seperti pemukiman, pertanian, industri, dan lain-lain. Hasil sebaran kerapatan vegetasi di kawasan Dieng dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Hasil kerapatan vegetasi

Hasil pengolahan kerapatan vegetasi (NDVI) dilakukan pengkelasan menjadi 5 kelas yaitu kelas badan air, Kehijauan sangat rendah, Kehijauan rendah, Kehijauan sedang dan Kehijauan tinggi. Proses pengkelasan tersebut mengacu pada penelitian Wahyunto (2013) dalam Andini, (2018). Hasil luasan tiap kelas dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Luasan tiap kelas NDVI

Kelas	Luas	
	Ha	%
Badan Air	72,450	0,672
Kehijauan Sangat Rendah	150,480	1,395
Kehijauan Rendah	279,000	2,587
Kehijauan Sedang	587,880	5,451
Kehijauan Tinggi	9.694,530	89,895
Total	10.784,340	100

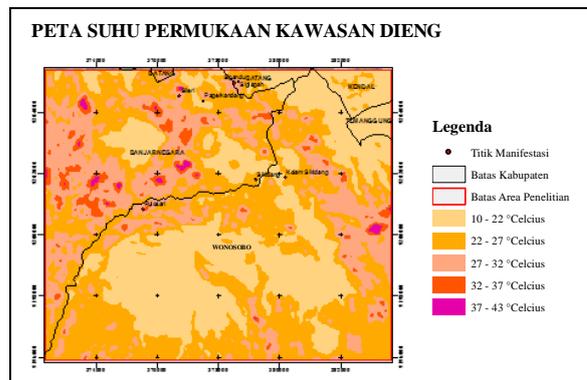
### IV.3 Hasil Pengolahan LST

Suhu permukaan yang diperoleh pada penelitian ini merupakan suhu permukaan dalam satu

waktu dengan menggunakan metode *Single-Channel Algorithm (SC Algorithm)*. Pemilihan metode tersebut karena metode tersebut merupakan metode terbaik untuk memperoleh nilai suhu permukaan yang mendekati nilai suhu di lapangan menurut penelitian Kalinda (2018) tentang “Analisis Pengaruh Koreksi Atmosfer Terhadap Deteksi *Land Surface Temperature* Menggunakan Citra Landsat 8 Di Kota Semarang”. Hasil pengolahan suhu permukaan citra landsat 8 kawasan Dieng diperoleh hasil rentang suhu 10°C sampai 43°C, dari hasil tersebut kemudian dikelaskan menjadi 5 kelas. Hasil luasan tiap rentang suhu permukaan dapat dilihat pada Tabel 4 dan hasil klasifikasinya pada Gambar 3. Suhu rata-rata yang mendominasi daerah kawasan Dieng yaitu dari rentang suhu 22°C -27°C dengan luas wilayah sebesar 4.342,860 Ha.

Tabel 4 Luas tiap kelas suhu permukaan

No.	Kelas	Luas (Ha)
1	10-22°C	3.644,100
2	22-27°C	4.342,860
3	27-32°C	2.439,810
4	32-37°C	317,700
5	37-43°C	39,870



Gambar 3 Hasil suhu permukaan

### IV.3.1 Hasil Uji Statistik

Cara pengambilan suhu permukaan dilapangan yaitu dengan cara mengambil 3 data suhu di tiap titik kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Jumlah titik sampel yang di ambil sebanyak 35 titik.

#### IV.3.1.1 Uji Normalitas

Uji normalitas merupakan uji dasar yang dilakukan sebelum dilakukan uji statistik berikutnya. Tujuan dari uji normalitas yaitu untuk mengetahui apakah populasi data berdistribusi normal atau tidak. Metode yang digunakan untuk uji normalitas pada penelitian ini yaitu metode Kolmogorov-Smirnov dengan tingkat kepercayaan 95%. Prinsip metode ini yaitu membandingkan frekuensi kumulatif distribusi teoritik dengan frekuensi kumulatif distribusi empirik (observasi). Hasil uji normalitas dapat lihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil uji normalitas

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		Unstandardized Residual
N		35
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	0,0000000
	Std. Deviation	1,31359413
Most Extreme Differences	Absolute	0,070
	Positive	0,053
	Negative	-0,070
Test Statistic		0,070
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,200 <sup>c,d</sup>
a. Test distribution is Normal.		
b. Calculated from data.		
c. Lilliefors Significance Correction.		
d. This is a lower bound of the true significance.		

Hasil uji normalitas yang diperoleh berdasarkan Tabel 5 yaitu sebesar 0,2 dimana Sig.(0,2) > α (0,05) maka Ho diterima dan H1 ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa data suhu hasil pengolahan dan data suhu hasil validasi lapangan terdistribusi normal dan dapat dilanjutkan ke tahap analisis berikutnya.

IV.3.1.2 Uji Korelasi

Uji korelasi atau analisis hubungan yaitu suatu bentuk analisis data dalam penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan hubungan antara dua variabel. Penelitian ini melakukan uji korelasi dua variabel antara data suhu hasil pengolahan citra dengan data suhu di lapangan.

Uji hipotesis dalam penelitian ini yaitu seperti berikut:

1. Hipotesis
  - Ho : Tidak terdapat hubungan yang signifikan antara suhu antara suhu hasil pengolahan citra dengan suhu hasil validasi lapangan.
  - Ha : Terdapat hubungan yang signifikan antara suhu hasil pengolahan citra dengan suhu hasil validasi lapangan.
2. Taraf signifikansi: α = 5%
3. Pengambilan keputusan:
  - a. (Sig.) > α (0,05) maka Ho diterima dan Ha ditolak.
  - b. (Sig.) < α (0,05) maka Ho ditolak Ha diterima.

Nilai (Sig.) yang diperoleh dari uji korelasi hasil perhitungan menggunakan SPSS dapat dilihat pada Tabel 6 yaitu sebesar 0 dengan taraf signifikansi sebesar 0,05 sehingga (Sig.) (0) < α (0,05) maka keputusannya Ho ditolak dan Ha diterima yang berarti terdapat hubungan yang signifikan antara suhu hasil pengolahan citra dengan suhu hasil validasi lapangan. Uji korelasi berdasarkan Tabel 6 menunjukkan bahwa hubungan antara suhu hasil pengolahan citra dengan suhu hasil validasi lapangan sangat kuat sebesar 0,966.

Tabel 6 Tabel Correlations

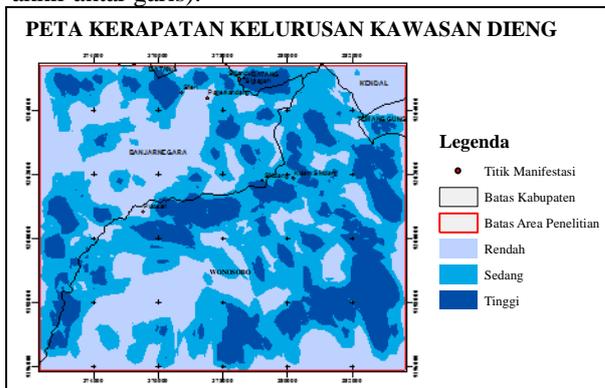
Correlations
--------------

		Suhu_Pengolahan	Suhu_Validasi
Suhu_Pengolahan	Pearson Correlation	1	0,966**
	Sig. (2-tailed)		0,000
	N	35	35
Suhu_Validasi	Pearson Correlation	0,966**	1
	Sig. (2-tailed)	0,000	
	N	35	35

\*\* . Correlation is significant at the 0,01 level (2-tailed).

IV.4 Hasil Pengolahan Kelurusan

Kelurusan merupakan salah satu indikasi adanya struktur geologi, dimana struktur ini berpotensi sebagai zona permeabel yang berfungsi sebagai jalannya fluida panas untuk mengalir ke permukaan tanah (Pambudi dkk, 2014). Parameter yang digunakan pada delineasi ini adalah RADi (radius deteksi tepi), GTHR (nilai minimum gradien *threshold*), LTHR (panjang minimum untuk menyambungkan garis delineasi), FTHR (*error* maksimum dalam mencocokkan *polyline* kelengkung piksel), ATHR (*angular* maksimum antar segmen dalam *polyline*), dan DTHR (piksel minimum untuk menyambungkan titik akhir antar garis).



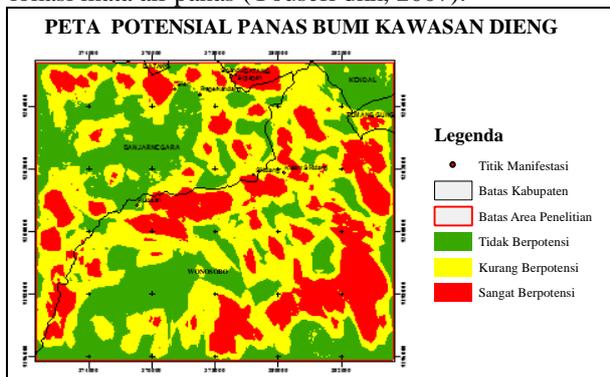
Gambar 4 Hasil kerapatan kelurusan

Delineasi kelurusan yang dihasilkan menunjukkan bahwa arah kelurusan terdapat pada bagian Barat-Timur, Barat laut-Tenggara, dan Utara-Selatan. Peta kerapatan kelurusan digunakan untuk memprediksi suatu daerah *recharge area*. Daerah yang memiliki kelurusan tinggi disebut sebagai daerah zona lemah (zona *permeable*) dimana pada daerah ini dapat menjadi jalan fluida panas menuju kepermukaan. Hasil kerapatan kelurusan dapat dilihat pada Gambar 4.

IV.5 Hasil Pengolahan Potensi Panas Bumi

Penentuan potensi panas bumi diperoleh dengan menggunakan perhitungan *Analitycal Hierarchy Process* (AHP) menghasilkan 3 kelas yaitu kelas potensial, kurang potensial dan tidak berpotensi. Penentuan nilai parameter diperoleh dari hasil wawancara yang di ajukan kepada Dinas Energi Sumber Daya dan Mineral Provinsi Jawa Tengah. Hasil

penentuan area potensi panas bumi dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil yang diperoleh dengan metode AHP perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk menentukan daerah potensial panas bumi yaitu dengan melihat tinjauan geologi, batuan alterasi dan lokasi keluarnya manifestasi, serta untuk menghindari kehilangan daerah potensial panas bumi dilakukan *buffer* jarak sejauh 5.000 meter sebagai jarak bukti untuk memilih daerah potensial panas bumi yang menjanjikan berdasarkan lokasi mata air panas (Yousefi dkk, 2007).



Gambar 5 Hasil area potensial panas bumi

Penelitian ini, dilakukan uji korelasi berganda. Tujuan dilakukannya uji ini yaitu untuk mengetahui kekuatan hubungan antara tiga parameter AHP, serta untuk mengetahui nilai kontribusi yang diberikan secara simultan oleh parameter tersebut terhadap hasil area potensial panas bumi. Uji hipotesis dalam penelitian ini yaitu seperti berikut:

1. Hipotesis
  - Ho : Tidak terdapat hubungan yang signifikan secara simultan antara NDVI, LST, dan kelurusan untuk menentukan area potensial panas bumi.
  - Ha : Terdapat hubungan yang signifikan secara simultan antara NDVI, LST, dan kelurusan untuk menentukan area potensial panas bumi.
2. Resiko kesalahan  $\alpha = 5\%$  (0,05)
3. Pengambilan keputusan:
  - a. Sig.  $F_{change} < \alpha$ , maka Ho ditolak.
  - b. Sig.  $F_{change} > \alpha$ , maka Ho diterima.

Hasil uji statistik korelasi berganda yang diperoleh berdasarkan Tabel 7 yaitu  $F_{change}$  sebesar 0 dimana Sig.  $F_{change} (0) < \alpha (0,05)$  maka Ho ditolak dan Ha diterima sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan secara simultan antara NDVI, LST, dan kelurusan untuk menentukan area potensial panas bumi.

Tabel 7 Hasil uji korelasi

Model Summary							
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics		
					R Square Change	F Change	Sig. F Change
1	0,925 <sup>a</sup>	0,856	0,842	0,046518	0,856	61,201	0,000

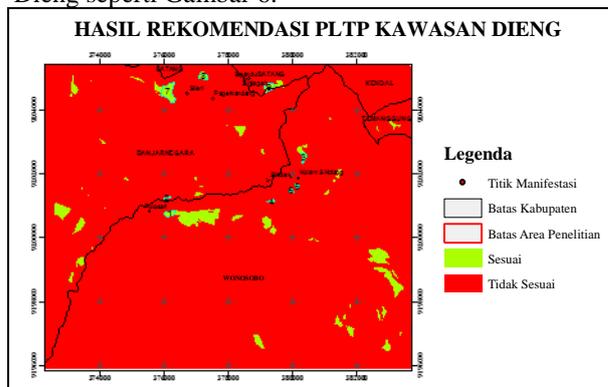
a. Predictors: (Constant), Kelurusan, LST, NDVI

Pada Tabel 7 diperoleh besarnya hubungan antara variabel NDVI, LST dan Kelurusan secara simultan terhadap penentuan area potensi panas bumi

adalah sebesar 0,925. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi pengaruh yang sangat kuat, sedangkan kontribusi secara simultan dari ketiga variabel sebesar 0,856 dengan melihat nilai  $R_{square}$ .

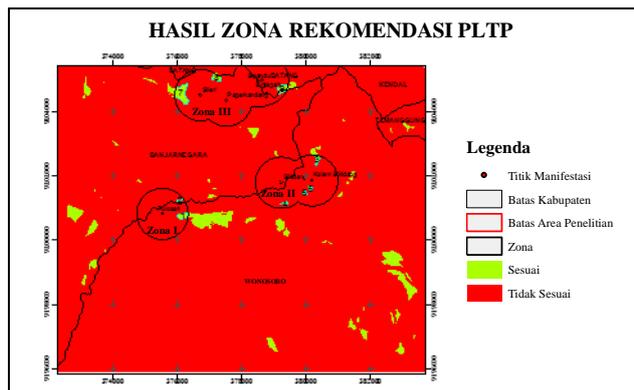
#### IV.6 Hasil Pengolahan Rekomendasi PLTP

Penentuan daerah yang sesuai untuk rekomendasi lokasi PLTP ditentukan berdasarkan beberapa parameter seperti Tabel 1. Parameter yang digunakan pada penelitian ini mengacu penelitian dari Yousefi (2007) tentang "Proceedings Geothermal Potential Site Selection Using Gis In Iran". Hasil pengolahan dari semua parameter dilakukan analisis *overlay* dengan *Boolean Integration Model* sehingga memperoleh hasil rekomendasi PLTP untuk kawasan Dieng seperti Gambar 6.



Gambar 6 Hasil rekomendasi lokasi PLTP kawasan Dieng

Luasan total daerah rekomendasi PLTP Kawasan Dieng sebesar 263,527 Ha dan luasan daerah yang tidak sesuai untuk rekomendasi sebesar 10529,11 Ha. Data titik lokasi manifestasi kemudian dilakukan proses *buffer* sejauh 800 meter untuk menentukan daerah rekomendasi pembangunan PLTP di karenakan menurut penelitian Hariyanto dkk, (2016) tentang "Identifikasi Potensi Panas bumi Menggunakan Landsat 8 Serta Penentuan Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (Studi Kasus : Kawasan Gunung Lawu)" mengungkapkan bahwa penentuan rekomendasi pembangunan PLTP disarankan memiliki jarak yang lebih dekat dengan sumber mata air yaitu kurang dari 800 meter sehingga apabila PLTP dibangun tidak memerlukan biaya yang lebih banyak karena instalasi pipanya tidak terlalu panjang, sehingga penelitian ini menghasilkan tiga zona lokasi dalam rekomendasi lokasi pembangunan PLTP yang sesuai dengan semua parameter seperti Gambar 7.



Gambar 7 Hasil zona rekomendasi PLTP

Ketiga zona tersebut yaitu di zona 1 (wilayah manifestasi Pulosari), zona 2 (wilayah manifestasi kawah Sikidang dan kolam Sikidang), dan zona 3 (wilayah manifestasi Kawah Sileri, Pagerkandang, Sipandu dan Siglagah) dan zona tersebut menghasilkan 9 lokasi rekomendasi yang sesuai seperti Tabel 8. Luas terbesar yang sesuai untuk pembangunan PLTP yaitu sebesar 16,2779 Ha terletak pada zona 3 dan luasan paling kecil sebesar 0,7326 Ha terletak pada zona 1.

Tabel 8 Titik lokasi rekomendasi PLTP

Zona	Titik Lokasi
	<p><b>Zona 1</b></p> <p>Lokasi 1 : Luas 4,6886 Ha</p> <p>Lokasi 2 : Luas 0,7326 Ha</p>
	<p><b>Zona 2</b></p> <p>Lokasi 3 : Luas 3,0386 Ha</p> <p>Lokasi 4 : Luas 1,2759 Ha</p> <p>Lokasi 5 : Luas 1,1700 Ha</p> <p>Lokasi 6 : Luas 0,8783 Ha</p>
	<p><b>Zona 3</b></p> <p>Lokasi 7 : Luas 16,2779Ha</p> <p>Lokasi 8 : Luas 4,2024 Ha</p> <p>Lokasi 9 : Luas 5,8122 Ha</p>

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan yaitu seperti berikut:

1. Persebaran area potensial panas bumi dengan menggunakan metode AHP berada di sebelah timur, tenggara, barat dan utara. Hasil penentuan area potensial ini menghasilkan 3 kelas yaitu kelas tidak berpotensi, kurang potensial dan sangat berpotensi dengan luasan untuk area tidak berpotensi sebesar 3.761,299 Ha, area kurang berpotensi sebesar 4.608,671 Ha dan area sangat berpotensi sebesar 2.427,309 Ha. Hasil uji signifikansi secara simultan dari data pengolahan

AHP diperoleh besarnya hubungan antara variabel NDVI, LST dan Kelurusan secara simultan terhadap penentuan area potensi panas bumi sebesar 0,925. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi pengaruh yang sangat kuat, sedangkan kontribusi secara simultan dari ketiga variabel sebesar 0,856 dengan melihat nilai *R square*.

2. Hasil yang diperoleh untuk rekomendasi lokasi pembangunan PLTP di Kawasan Dieng yaitu sebanyak 9 titik lokasi yang terbagi menjadi 3 zona. Luas terbesar yang sesuai untuk pembangunan PLTP yaitu sebesar 16,2779 Ha terletak pada zona 3 dan luasan paling kecil sebesar 0,7328 Ha terletak pada zona 1.

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan masih terdapat berbagai kelemahan dan kekurangan, sehingga penulis menyarankan beberapa hal untuk penelitian selanjutnya diantaranya :

1. Sebaiknya hindari pemakaian data Landsat yang memiliki cakupan awan yang tinggi karena sensor termal tidak dapat menembus awan.
2. Pada saat validasi suhu di lapangan sebaiknya waktu pengambilan data sampel tidak dilakukan dalam rentang yang jauh dari waktu akuisisi citra sehingga suhu yang diperoleh tidak terpaup jauh dengan hasil suhu pengolahan citranya.
3. Penentuan area potensi panas bumi, sebaiknya mempertimbangkan dari disiplin ilmu lainnya, seperti geofisika, geologi, dan geokimia sehingga hasil yang diperoleh lebih akurat.
4. Penentuan rekomendasi PLTP selanjutnya bisa menggunakan skala yang lebih besar dengan parameter akses jalan menggunakan jalan 3D supaya informasi yang ditampilkan lebih detail.
5. Penentuan rekomendasi lokasi pembangunan PLTP selanjutnya dapat mempertimbangkan aspek lainnya seperti aspek ekonomi disekitar wilayah penelitian dan aspek lingkungan

DAFTAR PUSTAKA

Amliana, D.R, Prasetyo, Y. dan Sukmono, A. 2016. Analisis Perbandingan Nilai NDVI Landsat 7 Dan Landsat 8 Pada Kelas Tutupan Lahan (Studi Kasus: Kota Semarang, Jawa Tengah). Semarang: Universitas Diponegoro.

Andini, S.W., Prasetyo, Y., dan Sukmono A. 2018. Analisis Sebaran Vegetasi Dengan Citra Satelit Sentinel Menggunakan Metode NDVI dan Segmentasi (Studi Kasus: Kabupaten Demak): Jurnal Geodesi UNDIP Vol.7 No.1.

Delarizka, A., Sasmito, B. dan Hani'ah, 2016. Analisis Fenomena Pulau Bahang (*Urban Heat Island*) Di Kota Semarang Berdasarkan Hubungan antara Perubahan Tutupan Lahan Dengan Suhu Permukaan Menggunakan Citra Multi Temporal

- Landsat. Semarang : Jurnal Geodesi UNDIP Vol.5, No.4.
- Ernesia, I. 2013. Penginderaan Jauh Sistem *Thermal* Untuk Mengetahui Persebaran Panas bumi Di Ngebel, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur. Yogyakarta : Fakultas Geografi. Universitas Gadjah Mada.
- Farras, N., Sukmono A., dan Bashit, N. 2017. Analisis Estimasi Energi Panas bumi Menggunakan Citra Landsat 8 (Studi Kasus: Kawasan Gunung Telomoyo): Jurnal Geodesi UNDIP Vol.6, No.4.
- Hariyanto, T., dan Farrel Narendra Robawa. 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.
- 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.
- Kalinda, I., Sasmito, B. dan Sukmono, A. 2018. Analisis Pengaruh Koreksi Atmosfer Terhadap Deteksi *Land Surface Temperature* Menggunakan Citra Landsat 8 Di Kota Semarang. Semarang : Jurnal Geodesi UNDIP Vol.7, No.3.
- Fandari, A.E., Daryanto, A., Suprayitno, G. 2014. Pengembangan Energi Panas Bumi yang Berkelanjutan. Jurnal Ilmiah Semesta Teknik Vol.17 No.1.
- Pambudi D., Sakur, M., Ismail K., Dwiyono, I., dan Setijadji, L. 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.
- Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.
- Saaty, T., Lorie. 2001. Pengambilan Keputusan Bagi Para Pemimpin, Proses Hirarki Analitik untuk Pengambilan Keputusan dalam Situasi yang Kompleks. Pustaka Binama Pressindo.
- Sukendar P.M., Sasmito, B. dan Wijaya, A.P. 2016. Analisis Sebaran Kawasan Potensial Panas Bumi Gunung Salak Dengan Suhu Permukaan, Indeks Vegetasi Dan Geomorfologi. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Yousefi, H., Ehara, S., dan Noorollahi, Y. 2007. *Geothermal Potential Site Selection Using GIS in Iran. Proceeding, thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering: Proceeding California*.

**Pustaka dari Internet**

- ESDM. 2018. Ini Dia Sebaran Pembangkit Listrik Panas Bumi di Indonesia. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/ini-dia-sebaran-pembangkit-listrik-panas-bumi-di-indonesia>. Diakses pada tanggal 15 Desember 2018
- Geothermal Indonesia. 2017. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi. <https://geothermalindonesia.com/2017/02/03/pembangkit-listrik-tenaga-panas-bumi/>. Diakses pada tanggal 1 Maret 2018
- Risnandar, C. 2018. Panas bumi. Jurnal Bumi. <https://jurnalbumi.com/panas-bumi/>. Diakses pada tanggal 1 Maret 2018
- Wisanggeni, B. 2010. Analytical Hierarchy Process (AHP). <https://bambangwisanggeni.wordpress.com/2010/03/02/analytical-hierarchy-process-ahp/>. Diakses pada tanggal 27 Februari 2018