



TUGAS AKHIR - RG 141536

**IDENTIFIKASI POTENSI PANAS BUMI
MENGUNAKAN LANDSAT 8 SERTA
REKOMENDASI LOKASI PLTP DENGAN ANALISIS
SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS
(STUDI KASUS : KAWASAN GUNUNG LAWU)**

**FARREL NARENDRA ROBAWA
NRP 3512 100 060**

**Dosen Pembimbing
Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, MSc**

**JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG 141536

**IDENTIFICATION OF GEOTHERMAL POTENTIAL
USING LANDSAT 8 AND REKOMENDATIONS
LOCATION OF POWER PLANT WITH
GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM ANALYSIS
(CASE STUDY : MOUNT LAWU)**

FARREL NARENDRA ROBAWA
NRP 3512 100 060

Supervisor
Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, MSc

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember of Institute Technology
Surabaya 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**IDENTIFIKASI POTENSI PANAS BUMI
MENGUNAKAN LANDSAT 8
SERTA REKOMENDASI LOKASI PLTP DENGAN
ANALISIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS
(STUDI KASUS : KAWASAN GUNUNG LAWU)**

TUGAS AKHIR

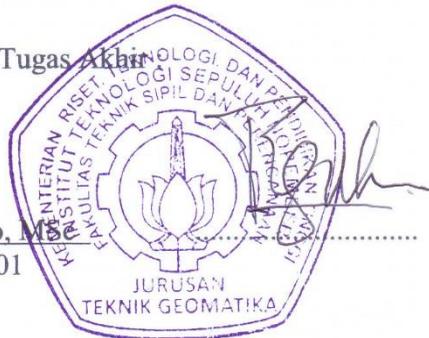
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Mempèroleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FARREL NARENDRA ROBAWA
NRP. 3512 100 060

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, MS
NIP. 1959 0819 1985 02 1001



SURABAYA, JUNI 2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**IDENTIFIKASI POTENSI PANAS BUMI
MENGUNAKAN LANDSAT 8
SERTA REKOMENDASI LOKASI PLTP DENGAN
ANALISIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS
(STUDI KASUS : KAWASAN GUNUNG LAWU)**

Nama Mahasiswa : Farrel Narendra Robawa
NRP : 3512 100 060
Jurusan : Teknik Geomatika FTSP - ITS
Dosen Pembimbing: Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, MSc

Abstrak

Indonesia berada dalam kerangka tektonik dunia yang sangat erat kaitannya dengan potensi energi panas bumi (geothermal). Potensi geothermal di Indonesia tersebar di berbagai provinsi yaitu Jawa, Sumatra, Sulawesi, Nusa Tenggara, dan provinsi lainnya. Adanya manifestasi permukaan seperti fumarol, tanah beruap panas, sinter silica, alterasi hidrotermal dan mata air panas merupakan indikator adanya energi panas bumi. Semua manifestasi permukaan tersebut memiliki suhu yang relatif lebih tinggi dari lingkungan sekitarnya (anomali). Langkah awal dalam mengidentifikasi potensi geothermal antara lain ialah kajian karakteristik daerah potensi (penggambaran bentuk lahan) geothermal.

Dalam hal ini untuk mengidentifikasi daerah potensi panas bumi dapat dilakukan dengan menggunakan penginderaan jauh (kanal termal) citra satelit Landsat 8. Dengan memanfaatkan kanal thermal Landsat 8 sangat efektif dalam mengidentifikasi karakteristik spektral permukaan dikarenakan wilayah penelitian yang cukup luas. Hasil pengolahan Landsat 8 kanal termal akan menghasilkan anomali suhu yang menunjukkan keberadaan manifestasi panas bumi. Namun anomali tersebut tidak semua merupakan manifestasi panas bumi, Oleh karena itu perlu adanya pengolahan dalam pengidentifikasian potensi panas bumi dengan parameter yang telah ditentukan.

Gunung Lawu adalah gunung yang berada diantara Kabupaten Karanganyar Provinsi Jawa Tengah dan Kabupaten Magetan Provinsi Jawa Timur yang diduga memiliki potensi energi panas bumi yang cukup besar. Besarnya potensi panas bumi didapatkan berdasarkan penggabungan dan pengolahan dari beberapa parameter yaitu anomali suhu permukaan tanah, anomali kerapatan vegetasi, dan dengan memperhatikan data survei pendahuluan yang ada. Didapatkan hasil identifikasi potensi panas bumi sebesar 275 MWe. Dengan menggunakan analisa sistem informasi geografis didapatkan rekomendasi lokasi pembangunan PLTP dengan area yang sesuai sebesar 159,920 km² (15.992,094 Ha) dan yang tidak sesuai sebesar 487,560 km² (48.756,068 Ha).

Kata Kunci : Panas Bumi, Landsat 8, Penginderaan Jauh, PLTP, Sistem Informasi Geografis

**IDENTIFICATION OF GEOTHERMAL POTENTIAL
USING LANDSAT 8 AND REKOMENDATIONS
LOCATION OF POWER PLANT WITH
GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM
(CASE STUDY : MOUNT LAWU)**

Student Name : Farrel Narendra Robawa
Reg. Number : 3512 100 060
Departement : Geomatics Engineering Department
Supervisor : Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, MSc

Abstract

Indonesia is located in the meeting point of several tectonic plates that related to the potential of geothermal energy. Geothermal energy in Indonesia spread in Jawa, Sumatra, Sulawesi, Nusa Tenggara, and other provinces. Their surface manifestations such as fumaroles, hot ground, sinter silica, hydrothermal alteration and hot springs is an indicator of geothermal energy. All manifestations of the surface has a relatively higher temperature than the surrounding environment (anomaly). First step to identify geothermal, is to study the characteristics of the potential area (landform).

Identifying potential areas of geothermal can be detected using remote sensing (thermal channels) Landsat 8. Thermal channels is very effective to identify geothermal manifestations with wide area of research. The results of the processing of Landsat 8 will generate to temperature anomalies that indicate of heat manifestations. However, these anomalies are not all manifestations of geothermal. Therefore, there should be a further processing with predetermined parameters.

Mount Lawu, located in Karanganyar District, Central Java and Magetan District, East Java, has predicted geothermal potential energy. Total potential of geothermal energy was process by overlay several parameters; land surface temperature anomalies, vegetation density anomaly, and preliminary survey

data. The identification results of Geothermal Potential is 275 MWe . Using geographical information system analysis show that potential area for power plant is 159 920 km² (15992.094 Ha) and not potential area is 487 560 km² (48756.068 Ha) .

Keywords : Geothermal, Landsat 8, Remote Sensing, Power Plant, Geographical Information System

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Panas Bumi (Geothermal).....	5
2.1.1. Manifestasi Permukaan	5
2.1.2. Pemanfaatan Energi Panas Bumi.....	7
2.1.3. Survei Pendahuluan dalam Penentuan Potensi Panas Bumi.....	7
2.1.4. Metode Perhitungan Potensi Panas Bumi.....	8
2.2. Panas Bumi di Indonesia.....	10
2.2.1. Sejarah Panas Bumi di Indonesia	11
2.2.2. Perbedaan dengan Energi Lain.....	12
2.3. Penginderaan Jauh	12
2.3.1. Konsep Dasar Pengolahan Citra.....	13
2.3.2. Pengolahan Citra	14
2.3.3. Pemotongan Citra (<i>Cropping</i>)	14
2.3.4. Koreksi Geometrik	15
2.3.5. Koreksi Radiometrik	16

2.4.	Deskripsi Kawasan Gunung Lawu.....	17
2.5.	Citra Landsat 8.....	18
2.6.	Land Surface Temperature (LST).....	19
2.7.	Indeks Vegetasi.....	20
2.8.	Peta Rupa Bumi Indonesia.....	21
2.9.	Digital Elevation Model (DEM).....	21
2.10.	Data Survei Pendahuluan.....	23
2.10.1.	Survei Geologi.....	23
2.10.2.	Survei Geofisika.....	23
2.10.3.	Survei Geokimia.....	23
2.11.	Sistem Informasi Geografis.....	24
2.11.1.	Subsistem SIG.....	24
2.11.2.	Komponen SIG.....	25
2.11.3.	Analisa dalam SIG.....	26
2.12.	Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi.....	27
2.13.	Penelitian Terdahulu.....	28
BAB III METODOLOGI.....		31
3.1.	Lokasi Penelitian.....	31
3.2.	Data dan Peralatan.....	32
3.2.1.	Data.....	32
3.2.2.	Peralatan.....	32
3.3.	Metodologi Pekerjaan.....	32
3.3.1.	Tahap Penelitian.....	32
3.3.2.	Tahap Pengolahan Data.....	35
3.3.3.	Tahap Analisa Data.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		39
4.1.	Data Citra.....	39
4.2.	Pemotongan Citra.....	39
4.3.	Hasil Pengolahan Citra.....	40
4.3.1.	Tutupan Lahan.....	40
4.3.2.	Suhu Permukaan Tanah.....	41
4.3.3.	Kerapatan Vegetasi.....	43
4.4.	Ketinggian Lahan.....	45

4.5.	Kemiringan Lahan	47
4.6.	Data Geologi	48
4.7.	Data Geokimia	51
4.8.	Data Geofisika	52
4.9.	Analisa Potensi Panas Bumi	54
4.10.	Rekomendasi Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi	56
4.11.	Peluang Pengembangan	59
BAB V KESIMPULAN		61
5.1.	Kesimpulan	61
5.2.	Saran	61
DAFTAR PUSTAKA.....		63
LAMPIRAN		65

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian Kawasan Gunung Lawu.....	31
Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahap Penelitian.....	33
Gambar 3. 3 Diagram Alir Tahap Pengolahan Data.....	35
Gambar 4. 1 Citra Land path/row 119/65	39
Gambar 4. 2 Peta Tutupan Lahan Kawasan Gunung Lawu	41
Gambar 4. 3 Peta Suhu Permukaan Tanah Kawasan G. Lawu....	43
Gambar 4. 4 Peta Kerapatan Vegetasi Kawasan Gunung Lawu .	45
Gambar 4. 5 Peta Ketinggian Lahan Kawasan Gunung Lawu	46
Gambar 4. 6 Korelasi Ketinggian dengan T Reservoir	47
Gambar 4. 7 Peta Kemiringan Lahan Kawasan Gunung Lawu...	48
Gambar 4. 8 Peta Anomali Gaya Berat Bouguer Sisa.....	53
Gambar 4. 9 Peta Tahanan Jenis Semu Kawasan G. Lawu	54
Gambar 4. 10 Peta Potensi Panas Bumi	55
Gambar 4. 11 Peta rekomendasi lokasi pembangunan PLTP.....	57
Gambar 4. 12 Data site untuk rekomendasi PLTP	58

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kelas Kerapatan Vegetasi	21
Tabel 2. 2 Kelas Kemiringan Lahan.....	23
Tabel 2. 3 Parameter Lokasi Pembangunan PLTP.....	28
Tabel 4. 1 Hasil Luasan Area Tutupan Lahan G. Lawu.....	41
Tabel 4. 2 Kelas Kerapatan Vegetasi	44
Tabel 4. 3 Kelas Kemiringan Lahan.....	48
Tabel 4. 4 Parameter Area Potensi Panas Bumi	55
Tabel 4. 5 Parameter Penentuan Lokasi PLTP.....	57
Tabel 4. 6 Rekomendasi site lokasi PLTP.....	58

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Citra Landsat 8.....	69
Lampiran 2 Foto Fumarol dan Mata Air Panas	71
Lampiran 3 Metadata Landsat 8.....	71
Lampiran 4 Hasil <i>Groundtruth</i> Tutupan Lahan.....	85
Lampiran 5 Hasil Confusion Matrix Tutupan Lahan	85
Lampiran 6 Peta Tutupan Lahan	86
Lampiran 7 Peta Suhu Permukaan Tanah	87
Lampiran 8 Peta Kerapatan Vegetasi	88
Lampiran 9 Peta Ketinggian Lahan.....	89
Lampiran 10 Peta Kemiringan Lahan.....	90
Lampiran 11 Peta Potensi Panas Bumi.....	91
Lampiran 12 Peta Rekomendasi Lokasi PLTP.....	92
Lampiran 13 Peta Rekomendasi Site Lokasi PLTP.....	93

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Secara sederhana, energi panas bumi adalah energi panas yang dipindahkan dari bagian dalam bumi. Energi tersebut dapat diambil dalam bentuk uap atau air panas. Sumber panas bumi didefinisikan sebagai suatu *reservoir* di mana energi panas bumi dapat diekstraksi secara ekonomis dan dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga listrik, keperluan industri, pertanian atau keperluan - keperluan domestik yang sesuai (Armstead, 1978). Energi ini memiliki keunggulan yaitu bersifat ramah lingkungan dan terbarukan. Energi panas bumi tidak dapat ditransport kecuali dalam bentuk energi listrik, sehingga sangat ideal untuk dipakai memenuhi kebutuhan energi lokal dalam hal kebutuhan energi listrik.

Indonesia memiliki 40 persen sumber daya panas bumi dunia sebesar 28.170 Mw. Namun, sejauh ini hanya 1.179 Mw yang telah digunakan. Potensi *geothermal* di Indonesia tersebar di berbagai provinsi, yaitu Sumatra, Jawa, Sulawesi, Nusa Tenggara, dan provinsi lainnya. Pulau Jawa dengan kuantitas penduduk yang sangat padat, menyebabkan kebutuhan energi di Pulau Jawa lebih tinggi. Potensi *geothermal* Indonesia ada hampir 50% di Jawa Timur. Hampir setiap Karesidenan di Jawa Timur memiliki potensi *geothermal* yang bisa membangkitkan energi listrik antara 10 megawatt (Mw) sampai 100 megawatt (Mw),” (Hariawan, 2013).

Dengan potensi panas bumi yang besar tersebut maka perlu adanya suatu kegiatan yang berupa kajian *geosains* terpadu untuk dapat memaksimalkan kandungan potensi yang ada di suatu wilayah panas bumi. Salah satu kajian yang dilakukan yaitu membuat peta potensi panas bumi dan rekomendasi lokasi pembangunan PLTP. Dimana kegunaan dari peta potensi tersebut yaitu untuk mendeskripsikan informasi geospasial dari suatu wilayah *geothermal* guna mengetahui area potensi dari adanya kandungan *geothermal*.

Salah satu metode dalam mengetahui area potensi dari adanya kandungan *geothermal* adalah dengan menggunakan metode penginderaan jauh. Keberhasilan teknik penginderaan jauh pada survei *geothermal* bergantung pada deteksi radiasi yang dipantulkan atau dipancarkan oleh *manifestasi* permukaan yang selanjutnya dipisahkan dari emisi yang berasal dari lingkungan sekitarnya. Teknik penginderaan jauh sebenarnya banyak digunakan pada tahap awal eksplorasi panas bumi untuk membedakan daerah yang akan dipelajari menggunakan metode geofisika dan geokimia (Armenta, 1995).

Dengan menggunakan data kontur Peta Rupa Bumi Indonesia, kita dapat memperoleh penampakan mengenai *landform* yang dibentuk dari DEM (*digital elevation model*) dari suatu area. Dengan menggunakan citra satelit Landsat 8, kita dapat memperoleh penampakan tutupan lahan, kerapatan vegetasi dan suhu permukaan tanah dari area tersebut. Selain itu, untuk mendapatkan analisa yang tepat dan penyajian informasi yang baik mengenai potensi dan lokasi PLTP perlu adanya suatu integrasi data-data spasial dan non-spasial yang ada. Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem yang mampu melakukan integrasi dari data-data geospasial tersebut. Dengan menggunakan SIG juga dapat ditampilkan data geospasial seperti kenampakan alam sekaligus informasi non-spasialnya.

Pembangunan PLTP harus dimaksimalkan, karena energi adalah hal yang sangat dibutuhkan, sebagai penggerak industri dan aspek lainnya. Salah satu potensi *geothermal* terdapat di Kawasan Gunung Lawu. Gunung Lawu adalah gunung yang berada diantara Kabupaten Karanganyar Provinsi Jawa Tengah dan Kabupaten Magetan Provinsi Jawa Timur. Daerah prospek panas bumi Gunung Lawu memiliki potensi panas bumi pembangkit listrik hingga 165 MW.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana cara menganalisa potensi panas bumi dari hasil pengolahan citra satelit Landsat 8 dan data kontur peta RBI
- b. Bagaimana cara memetakan area potensi panas bumi dari hasil pengolahan citra dan analisa data survei pendahuluan
- c. Bagaimana cara menentukan lokasi pembangunan PLTP dengan menggunakan analisis sistem informasi geografis berdasarkan data potensi panas bumi yang ada

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah

- a. Wilayah penelitian ini meliputi Kawasan Gunung Lawu yang berada di perbatasan Kabupaten Karanganyar Provinsi Jawa Tengah dan Kabupaten Magetan Provinsi Jawa Timur
- b. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Landsat 8 dan data kontur Peta RBI serta data penunjang penentuan titik - titik potensi panas bumi menggunakan data survei pendahuluan
- c. Pengolahan citra Landsat 8 untuk mendapatkan nilai *land surface temperature*, kerapatan vegetasi dan tutupan lahan sedangkan data kontur Peta RBI untuk penggambaran geomorfologi (*landform* dan *slope*) pada area penelitian
- d. Hasil penelitian adalah peta potensi dan rekomendasi lokasi pembangunan PLTP yang ada di Kawasan Gunung Lawu

1.4. Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah

- a. Dapat menganalisa potensi panas bumi dari hasil pengolahan citra satelit Landsat 8 dan data kontur peta RBI
- b. Menghasilkan peta potensi panas bumi berdasarkan pengolahan citra Landsat 8 dan analisa data survei pendahuluan panas bumi
- c. Menghasilkan peta rekomendasi penentuan lokasi PLTP dengan analisis sistem informasi geografis di Kawasan Gunung Lawu

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah mengetahui kemampuan citra Landsat 8 dan data kontur Peta RBI dalam menentukan daerah yang berpotensi terhadap sumber daya panas bumi sehingga dapat menjadi bahan rekomendasi dalam menentukan lokasi pembangunan PLTP berdasarkan analisa sistem informasi geografis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Panas Bumi (Geothermal)

Panas bumi (*geothermal*) adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, serta batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetika tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi. (Republik Indonesia, 2014). Gambaran mengenai sistem panas bumi di suatu daerah biasanya dibuat dengan memperlihatkan sedikitnya lima komponen yaitu sumber panas, reservoir dengan temperaturnya, sumber air serta manifestasi panas bumi permukaan yang terdapat di daerah tersebut (Saptadji, 2001).

Proses pembentukan panas bumi, sama halnya dengan prinsip memanaskan air (erat hubungan dengan arus konveksi). Air yang terdapat pada teko yang dimasak di atas kompor, setelah panas, air akan berubah menjadi uap air. Hal serupa juga terjadi pada pembentukan energi panas bumi. Air tanah yang terjebak di dalam batuan yang kedap dan terletak di atas dapur magma atau batuan yang panas karena kontak langsung dengan magma, otomatis akan memanaskan air tanah yang terletak di atasnya sampai suhu yang cukup tinggi (100 – 250°C) (Sumintadiredja, 2005). Sehingga air tanah yang terpanaskan akan mengalami proses penguapan. Apabila terdapat rekahan atau sesar yang menghubungkan tempat terjebaknya air tanah yang dipanaskan tadi dengan permukaan maka pada permukaan kita akan melihat *manifestasi thermal*. Salah satu contoh yang sering kita jumpai adalah mata air panas, selain solfatara, fumarola, geysir yang merupakan contoh *manifestasi thermal* yang lain (Rukhiyat, 2012)

2.1.1. Manifestasi Permukaan

Suatu sumber daya panas bumi di bawah permukaan sering kali ditunjukkan oleh adanya manifestasi panas bumi di permukaan (*geothermal surface manifestation*), seperti

mata air panas, kubangan lumpur panas (*hot pools*), geyser dan manifestasi panas bumi lainnya, dimana beberapa diantaranya, yaitu mata air panas, kolam air panas sering dimanfaatkan oleh masyarakat setempat untuk mandi, berendam, mencuci, memasak dll. Manifestasi panas bumi adalah tanda-tanda alam yang tampak di permukaan tanah sebagai petunjuk awal adanya aktifitas panas bumi di bawah permukaan bumi. 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. Daerah dimana terdapat manifestasi panas bumi di permukaan biasanya merupakan daerah yang pertama kali dicari dan dikunjungi pada tahap eksplorasi. Dari karakterisasi manifestasi panas bumi di permukaan serta kandungan kimia air, kita dapat membuat berbagai perkiraan mengenai sistem panas bumi di bawah permukaan, misalnya mengenai jenis dan temperatur reservoir. Mata air panas/hangat juga merupakan salah satu petunjuk adanya sumber daya panas bumi di bawah permukaan.

Istilah “hangat” digunakan bila temperatur air lebih kecil dari 50°C dan istilah “panas” digunakan bila temperatur air lebih besar dari 50°C. Sifat air permukaan seringkali digunakan untuk memperkirakan jenis reservoir di bawah permukaan. Mata air panas yang bersifat asam biasanya merupakan manifestasi permukaan dari suatu sistem panas bumi yang didominasi uap. Sedangkan mata air panas yang bersifat netral biasanya merupakan manifestasi permukaan dari suatu sistem panas bumi yang didominasi air. Mata air panas yang bersifat netral, yang merupakan manifestasi permukaan dari sistem dominasi air, umumnya jenuh dengan *silika*. Apabila laju aliran air panas tidak terlalu besar umumnya di sekitar mata air panas tersebut terbentuk teras-teras silika yang berwarna keperakan (*silica sinter terraces* atau *sinter platforms*). Bila air panas banyak mengandung

carbonate maka akan terbentuk teras-teras *travertine* (*travertine terrace*). Namun di beberapa daerah, yaitu di kaki gunung, terdapat mata air panas yang bersifat netral yang merupakan manifestasi permukaan dari suatu sistem panas bumi dominasi uap.

2.1.2. Pemanfaatan Energi Panas Bumi

Secara umum pemanfaatan energi *geothermal* terbagi menjadi tiga yaitu untuk menggerakkan pembangkit listrik, penggunaan secara langsung (*direct use*) dan pemanasan atau pendinginan bangunan dengan pompa-pompa panas *geothermal*. Energi listrik yang dihasilkan dengan memanfaatkan energi *geothermal* diproses dari turbin uap dan generator. Uap dari *geothermal* digunakan untuk memutarakan turbin untuk menghasilkan energi listrik. Untuk penggunaan secara langsung energi *geothermal* mampu menyediakan panas untuk kegiatan industri, pengeringan hasil panen, pemanas ruangan, *balneology* (pengobatan) atau mencairkan salju pada negara-negara yang beriklim dingin. Untuk penggunaan langsung dengan cara mengalirkan uap panas dengan sistem mekanik berupa pemompaan dengan pipa-pipa, pengatur panas dan pengontrol-pengontrol kemudian dialirkan ke sumber pemanfaatan. Biasanya pemanfaatan secara langsung ini suhu yang dipakai adalah 50°C-150°C. Untuk Indonesia pemanfaatan yang ada masih sebatas pada pemanfaatan sebagai energi listrik dan untuk area *hot spring* sebagai pariwisata (Sumintadiredja, Pemanfaatan Panas Bumi (Geothermal) Sebagai Energi Alternatif Terbarukan Di Indonesia, 2005)

2.1.3. Survei Pendahuluan dalam Penentuan Potensi Panas Bumi

Adanya sumber daya *geothermal* di bawah permukaan terkadang ditunjukkan dengan adanya manifestasi permukaan sebagai akibat dari adanya energi dari dalam bumi

yang keluar. Manifestasi panas bumi ini dapat berupa tanah hangat (*warm ground*), permukaan tanah beruap, mata air panas atau hangat, telaga air panas, *fumarole*, *geyser*, kubangan lumpur panas, *silika sinter*, batuan yang mengalami *alterasi* (Saptadji, Training Advanced Geothermal Reservoir Engineering, 2009). Karakteristik kondisi *geomorfologi* juga menandakan adanya sumberdaya *geothermal* di dalam permukaan. Adanya patahan di daerah vulkanisme tua dapat dijadikan indikator tersebut (Utama, 2012). Selain itu, besarnya potensi cadangan suatu lapangan panas bumi dapat digambarkan dengan beberapa parameter reservoir seperti temperatur, tekanan, dan entalpi yang merepresentasikan energi termal yang terkandung di dalam fluida reservoir tersebut (Singarimbun, 2011).

Survei pendahuluan adalah kegiatan yang meliputi pengumpulan, analisis dan penyajian data yang berhubungan dengan informasi kondisi geologi, geofisika, dan geokimia untuk memperkirakan letak dan adanya sumber daya panas bumi serta wilayah kerja. Metode yang secara umum paling sering digunakan ada 3 survei yaitu : survei geologi, survei geokimia, dan survei geofisika

2.1.4. Metode Perhitungan Potensi Panas Bumi

Ada beberapa metode di dalam mengestimasi besarnya potensi energi panas bumi. Metode yang paling umum digunakan adalah sebagai berikut :

a. Metode Perbandingan

Metode ini digunakan untuk mengestimasi besarnya potensi energi sumber daya panas bumi kelas spekulatif dengan persyaratan bahwa penyelidikan ilmu kebumihan yang dilakukan baru sampai pada tahap penyelidikan penyebaran manifestasi permukaan dan pemaparan struktur geologi secara global (permulaan eksplorasi). Pada tahap ini belum ada data yang dapat dipergunakan untuk mengestimasi besarnya sumber

daya dengan menggunakan metode lain (secara matematis dan numerik). Oleh karena itu potensi energi sumber daya panas bumi diperkirakan berdasarkan potensi lapangan lain yang memiliki kemiripan kondisi geologi. Prinsip dasar metode perbandingan adalah menyetarakan besar potensi energi suatu daerah panas bumi baru (belum diketahui potensinya) dengan lapangan lain (diketahui potensinya) yang memiliki kemiripan kondisi geologinya.

b. Metode *Volumetrik*

Prinsip dasar metode volumetrik adalah menganggap *reservoir* panas bumi suatu bentuk kotak yang volumenya dapat dihitung dengan mengalikan luas sebaran dan ketebalannya. Dalam metode *volumetrik* besarnya potensi energi sumber daya atau cadangan diperkirakan berdasarkan kandungan energi panas di dalam *reservoir*. Kandungan energi panas di dalamnya *reservoir* adalah jumlah keseluruhan dari kandungan panas di dalam batuan dan fluida.

c. Metode Simulasi *Reservoir*

Metode ini umumnya digunakan pada lapangan panas bumi yang mempunyai sumur telah produksi, Sehingga keanekaragaman sifat batuan dapat diketahui dari data sumur bor. Dengan metode ini *reservoir* dimodelkan sebagai suatu sistem terdiri dari blok dan masing-masing saling berhubungan. Dalam proses perhitungan, diperlukan simulator *reservoir* yang harga relatif mahal dan diperlukan keahlian khusus untuk mengoperasikannya. Metode ini juga memberikan gambaran yang lebih baik mengenai penyebaran permeabilitas di dalam *reservoir* dan perubahan-perubahan yang terjadi di dalamnya pada saat di produksi. Dalam metode ini digunakan pendekatan parameter heterogen (*distributed parameter approach*). Kegiatan pemodelan dapat dilakukan

dengan membagi sistem *reservoir* menjadi sejumlah blok atau grid yang satu sama lain saling berhubungan. Pembagian blok dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor diantaranya adalah jenis dan karakteristik batuan, struktur batuan dan lokasi sumur. Dengan cara ini maka keanekaragaman *permeabilitas*, *porositas*, kandungan air dan kandungan uap di dalam *reservoir* serta sifat fluidanya, baik secara lateral maupun secara vertikal dapat diperhitungkan (SNI, 1999).

2.2. Panas Bumi di Indonesia

Indonesia secara geologis terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama yaitu : Lempeng Eropa-Asia, India-Australia dan Pasifik yang berperan dalam proses pembentukan gunung api di Indonesia. Kondisi geologi ini memberikan kontribusi nyata akan ketersediaan energi panas bumi di Indonesia. Manifestasi panas bumi yang berjumlah tidak kurang dari 244 lokasi tersebar di Sumatera, Jawa, Bali, Kalimantan, Kepulauan Nusa Tenggara, Maluku, Sulawesi, Halmahera dan Irian Jaya menunjukkan betapa besarnya kekayaan energi panas bumi yang tersimpan di dalamnya.

Indonesia menargetkan tahun 2025 sebagai pemimpin energi panas bumi dunia. Potensi panas bumi di Indonesia mencapai lebih dari 29.215 Mw atau 40% cadangan dunia. Namun ironisnya, energi panas bumi baru bisa berkontribusi sebesar 1.341 Mw, sedangkan roadmap pengembangan energi panas bumi di tahun 2020 mencapai 6.000 Mw (Kompas, 2004). Dengan adanya UU Nomor 21 tahun 2014 tentang panas bumi diharapkan memberikan kepastian hukum dalam pengembangan panas bumi di Indonesia.

Energi sangat dibutuhkan untuk kelangsungan hidup manusia. Energi dibedakan menjadi dua, yaitu energi terbarukan dan energi yang tak terbarukan. Energi terbarukan adalah energi yang ketersediaannya melimpah di alam, sehingga tidak diperlukan cara-cara khusus untuk

mendapatkannya. Energi terbarukan tersedia dalam jangka waktu yang cukup lama sehingga dapat digunakan dalam sebuah perencanaan pemanfaatan energi. Energi terbarukan juga dianggap sebagai sumber energi dan tenaga yang ramah terhadap lingkungan karena sumber-sumber energi yang dapat diperbaharui dan tidak mencemari lingkungan.

Penggunaan energi terbarukan di berbagai daerah di Indonesia baru mencapai 5% sementara yang 95% lainnya masih digantungkan pada bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas, dan batu-bara. Padahal sumber energi terbarukan di tanah air dinilai melimpah dan belum diberdayakan sepenuhnya salah satu contohnya adalah energi *geothermal*.

2.2.1. Sejarah Panas Bumi di Indonesia

Pada tahun 1918, di Indonesia pencarian energi panas bumi pertama kali dilakukan di daerah Kawah Kamojang. Kemudian pada tahun 1926-1929, lima sumur hasil eksplorasi dibor, dimana salah satunya masih memproduksi uap air panas untuk digunakan sebagai pembangkit listrik hingga sekarang.

Untuk mengantisipasi perkembangan pengusahaan energi ini maka Pemerintah Indonesia dalam hal ini Departemen Pertambangan dan Energi memandang perlu untuk melakukan Standardisasi Nasional di bidang kepanasbumian. Langkah pertama telah ditempuh dengan membentuk Tim Kecil Kelompok Kerja Panitia Teknis Panas Bumi Departemen Pertambangan dan Energi pada tahun 1991. Untuk menindak-lanjuti langkah tersebut maka pada tahun 1997, Departemen Pertambangan dan Energi melalui Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral membentuk Panitia Penyusunan Standarisasi dengan mengambil judul “Klasifikasi Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia”. Standarisasi ini adalah dasar untuk membuat klasifikasi potensi energi panas bumi secara nasional demi

tercapainya keseragaman dalam penentuan ketersediaan energi panas bumi di Indonesia.

2.2.2. Perbedaan dengan Energi Lain

Jika dibandingkan dengan sumber energi lainnya, pemanfaatan *geothermal* memiliki banyak keuntungan. Terutama di sektor lingkungan maupun ekonomi. Pada sektor lingkungan, pembangkit listrik energi panas bumi adalah pembangkit listrik yang paling ramah lingkungan. Berbeda dengan PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTP (Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi) tidak memerlukan bahan bakar, sehingga kebersihan lingkungan dapat lebih terjaga. Limbah hasil produksi energi panas bumi berbentuk limbah padat dan limbah cair. Limbah padat (*geothermal sludge*) berasal dari endapan pada proses pengolahan limbah cair. Limbah cair yang dihasilkan diinjeksikan kembali ke dalam lapisan bumi sehingga tidak akan mempengaruhi keberadaan air tanah. Keuntungan lain dari penggunaan PLTP adalah emisi karbon yang dihasilkan lebih sedikit dari PLTU. Emisi karbon yang dihasilkan PLTP hanya sekitar 175 Kg/Mwh, sedangkan emisi karbon yang dihasilkan dari PLTU adalah sekitar 980 Kg/Mwh.

2.3. Penginderaan Jauh

Menurut Lillesand dan Kiefer (1990), penginderaan jauh adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu obyek, daerah atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah atau fenomena yang dikaji. Dalam mengolah citra, tahapan dapat dibagi dalam dua bagian besar, yakni pra pengolahan citra dan pengolahan citra. Secara umum, pra pengolahan citra dalam beberapa penelitian hampir sama. Namun pada pengolahan citra dapat berbeda – beda sesuai kebutuhan dan *output* yang diinginkan

2.3.1. Konsep Dasar Pengolahan Citra

Data penginderaan jauh dapat berupa citra, grafik, dan data numerik. Data tersebut dianalisis untuk mendapatkan informasi tentang objek, daerah, atau fenomena yang diteliti. Informasi yang didapat dari suatu penginderaan jauh merupakan hasil dari suatu perekaman sensor yang menerima pantulan sinyal gelombang dari objek. Karena setiap material pada permukaan bumi memiliki nilai reflektansi terhadap gelombang yang berbeda-beda maka dapat diketahui jenis objek tersebut berdasarkan karakteristik dari pantulan sinyal gelombang yang didapat. Wahana dalam penginderaan jauh ini dapat berupa balon udara, pesawat terbang, satelit, atau wahana lainnya.

Citra sebagai suatu *dataset* juga bisa dimanipulasi menggunakan *algorithm* (persamaan matematis). Manipulasi yang ada dapat berupa pengkoreksian *error*, pemetaan kembali data terhadap suatu referensi geografi tertentu ataupun mengekstrak informasi yang tidak langsung terlihat dari data. Di Indonesia metode analisa citra masih jarang digunakan sebagai data awal eksplorasi panas bumi.

Berdasarkan sumber energinya, sistem penginderaan jauh dibagi menjadi dua, yaitu:

- a. Sistem Pasif, dimana sistem ini adalah menggunakan sumber energi dari tenaga matahari.
- b. Sistem Aktif, dimana sistem ini menggunakan sumber tenaga buatan, yang pada umumnya menggunakan gelombang mikro tapi dapat juga menggunakan spektrum tampak dengan menggunakan laser.

Dalam melakukan interpretasi citra, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, antara lain (Ruhimat, 1998):

- a. Rona dan warna, adalah tingkat kecerahan atau kegelapan suatu obyek yang terdapat pada citra yang tergantung pada keadaan cuaca saat pengambilan

- objek, arah datangnya sinar matahari maupun waktu pengambilan gambar.
- b. Bentuk, dimana bentuk yang ada merupakan konfigurasi atau kerangka suatu objek.
 - c. Ukuran, dimana ukuran merupakan ciri objek yang berupa jarak, luas, tinggi lereng dan volume.
 - d. Tekstur, dimana tekstur adalah frekuensi perubahan rona pada citra. Tekstur ini dinyatakan dengan halus, sedang, kasar.
 - e. Pola, dimana pola merupakan ciri yang menandai bagi banyak objek bentukan manusia dan beberapa objek ilmiah.
 - f. Bayangan, dimana bayangan bersifat menyembunyikan detail objek yang berada dalam daerah gelap maupun sebagai tanda objek dengan ciri memiliki ketinggian yang akan tampak lebih jelas.
 - g. Situs atau letak suatu objek terhadap objek lainnya.
 - h. Asosiasi, dimana asosiasi adalah keterkaitan antara objek yang satu dengan objek lainnya.
 - i. Konvergensi bukti, dimana adalah penggunaan beberapa unsur interpretasi citra sehingga lingkungannya menjadi semakin menyempit ke arah satu kesimpulan tertentu.

2.3.2. Pengolahan Citra

Tahapan pengolahan citra pada penelitian ini meliputi proses konversi nilai *digital number* ke nilai *spectral radiance* dan ekstraksi nilai Indeks Vegetasi, proses konversi nilai *spectral radiance* ke *Brightness Temperature*.

2.3.3. Pemotongan Citra (Cropping)

Data suatu citra satelit tiap *scene* yang didapat pada umumnya mencakup area yang besar. Suatu penelitian biasanya belum tentu semua area pada *scene* merupakan objek dari penelitian tersebut. Sehingga dilakukan proses

pemotongan citra yang sesuai dengan batasan dari objek wilayah penelitian. Pemotongan citra dapat dilakukan setelah citra telah dikoreksi maupun sebelum dikoreksi.

2.3.4. Koreksi Geometrik

Koreksi Geometrik mempunyai tujuan untuk menyesuaikan koordinat pixel pada citra dengan koordinat bumi di bidang datar. Citra yang belum dikoreksi akan memiliki kesalahan geometris.

Kesalahan geometri terdapat dua macam :

- Kesalahan Sistematis (systematic geometric errors), utamanya disebabkan oleh kesalahan pada sensor. Untuk memperbaikinya diperlukan informasi sensor dan data ephemeris saat pemotretan.
- Kesalahan Acak (non-systematic geometric errors), utamanya disebabkan oleh orbit dan perilaku satelit serta efek rotasi bumi. Untuk mengoreksinya diperlukan sebuah proses yang dikenal dengan istilah image to map rectification. Proses ini memerlukan Titik Kontrol Tanah (Ground Control Points, GCP) untuk menyesuaikan koordinat pixel pada citra dengan koordinat objek yang sama di bidang datar peta (bumi).

Untuk produk Landsat 8 dengan produk L1 T (level-one terrain-corrected) telah dilakukan pengolahan tidak diperlukan koreksi geometrik karena data landsat yang dilepas untuk publik telah melalui proses penyesuaian dan pengolahan.

Pengolahan algoritma produk tingkat 1 adalah sebagai berikut :

- Pengolahan data tambahan (*Ancillary*)
- Sensor L8 / (*platform geometric model creation*)
- Sensor LOS dan proyeksinya
- (*Input space correction grid generation*)

- Koreksi sistematis, (*terrain-corrected image resampling*)
- Koreksi Geometrik, menggunakan GCP
- Presisi, (*terrain-corrected image resampling*) (USGS, 2001)
- Data sensor dan ephemeris (untuk mengoreksi kesalahan internalnya) juga menggunakan data Titik Kontrol Tanah (GCP) dan digital elevation models (DEM) (Jaelani, 2014)

2.3.5. Koreksi Radiometrik

Koreksi Radiometrik merupakan koreksi yang pertama kali dilakukan pada suatu citra. Koreksi radiometrik dilakukan untuk meningkatkan kontras (*enhancement*) setiap piksel dari citra. Kontras diperlukan agar objek yang terekam mudah diinterpretasi atau dianalisis untuk memperoleh data/informasi yang benar sesuai dengan keadaan lapangan. Kesalahan radiometrik disebabkan karena pengaruh sudut elevasi matahari dan jarak matahari dengan bumi. Tidak terkoreksinya citra secara radiometrik mengakibatkan metode yang dipakai untuk menganalisis citra tidak dapat diterapkan pada citra pada tanggal atau tempat yang berlainan. Oleh karena itu diperlukan koreksi radiometrik (Purwadhi, 2010).

Salah satunya dengan proses Konversi Nilai Digital Number ke dalam Nilai Spectral Radiance. Suhu kecerahan dihitung dengan menggunakan nilai spectral radiance yang diperoleh dari nilai digital number suatu citra sebagai langkah awal dalam penurunan nilai suhu dari citra USGS (2001), persamaan yang digunakan yaitu :

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad \dots\dots(2.1)$$

Dimana :

L_{λ} = *Spectral radiance* pada band ke i ($Wm^{-2} sr^{-1}\mu m^{-1}$)

M_L = Faktor skala pengali Radiance untuk band

(RADIANCE_MULT_BAND_n dari metadata, dimana n adalah nomor band).

A_L = Faktor skala penjumlahan Radiance untuk band (RADIANCE_ADD_BAND_n dari metadata, dimana n adalah nomor band)

Q_{cal} = *Quantized and calibrated standard product pixel values* (DN)

2.4. Deskripsi Kawasan Gunung Lawu

Lokasi penelitian terletak di Gunung Lawu yang secara administratif berada di sebagian besar Kabupaten Karangayar, Propinsi Jawa Tengah dan sebagian kecil Kabupaten Magetan, Propinsi Jawa Timur. Sedangkan secara geografis terletak pada koordinat 505130 –530150 mT dan 9146000 – 9171000mU pada sistem koordinat UTM, zona 49 S.

Pulau Jawa merupakan salah satu daerah jalur subduksi dua lempeng besar dunia, yaitu lempeng Indo-Australia di bagian selatan dan lempeng Eurasia di bagian Utara. Tumbukan kedua lempeng ini menyebabkan pembentukan jalur gunung api yang memanjang dari bagian barat sampai bagian timur. Salah satu gunung api ang terbentuk akibat tumbukan ini adalah Gunung Lawu di perbatasan Provinsi Jawa Tengah dan Provinsi Jawa Timur. Gunung Lawu memiliki tipe gunung api strato yang diklasifikasikan ke dalam gunung api tipe B.

Menurut Van (Bemelen) (1949), Gunung Lawu berada di Zona *Solo Sensu Stricto*, bersama gunung lain yang berderet ke bagian timur Pulau Jawa sampai Gunung Ijen di Banyuwangi. Geomorfologi Gunung Lawu dapat dikelompokkan menjadi empat satuan, yaitu satuan geomorfologi kubah intrusi, satuan geomorfologi vulkanik Gunung Jobolarangan, satuan geomorfologi vulkanik Gunung Lawu, dan satuan geomorfologi dataran *alluvial*.

2.5. Citra Landsat 8

Landsat merupakan satelit pertama tidak berawak yang dikembangkan oleh NASA dan dirancang secara spesifik untuk memperoleh data sumber daya bumi. Pencitraannya dilakukan secara sistematis dan berulang.

Satelit Landsat 8 telah berhasil diluncurkan NASA pada tanggal 11 Februari 2013 lalu bertempat di Vandenberg Air Force Base, California. Periode *checkout* sekitar 100 hari setelah peluncuran memungkinkan pesawat ruang angkasa untuk melakukan *manuver orbit*, sistem inialisasi dan kalibrasi kegiatan. Data Landsat 8 akan tersedia secara gratis (tanpa biaya) untuk di-download melalui beberapa sumber yaitu Glovis, Earth Explorer atau Viewer Landsat Look.

Landsat 8 akan mengorbit setiap 99 menit dan gambar seluruh bumi setiap 16 hari, mengumpulkan pada akuisisi jadwal yang sama. Karakteristik dari citra Landsat 8 ini adalah menggunakan sensor *Operational Land Manager* (OLI) dengan selang band yang lebih pendek, terdapat 9 band spektral dan 2 band thermal. Citra Landsat 8 disinyalir memiliki akurasi geodetik dan geometrik yang lebih baik. (Sutanto, 1984) (Mandala, 2013)

Berikut adalah spesifikasi Landsat 8:

- a. *Worldwide Reference System-2* (WRS-2) dengan sistem *path/row*
- b. *Sun - synchronous* dengan ketinggian 705 km (438 mi)
- c. Siklus orbit 233, setiap 16 hari (kecuali untuk derajat lintang tertinggi)
- d. Inklinasi $98,2^\circ$
- e. Mengelilingi bumi setiap 98,9 menit
- f. Melewati ekuator pada pukul 10.00 AM \pm 15 menit
- g. Sembilan band spektral, yaitu:

Band 1 Visible	(0.43 - 0.45 μm) 30 m
Band 2 Visible	(0.450 - 0.51 μm) 30 m
Band 3 Visible	(0.53 - 0.59 μm) 30 m
Band 4 Near-Infrared	(0.64 - 0.67 μm) 30 m

Band 5 Near-Infrared	(0.85 - 0.88 μm)	30 m
Band 6 SWIR 1	(1.57 - 1.65 μm)	30 m
Band 7 SWIR 2	(2.11 - 2.29 μm)	30 m
Band 8 Panchromatic	(0.50 - 0.68 μm)	15 m
Band 9 Cirrus	(1.36 - 1.38 μm)	30 m
Band 10 Thermal Infrared Sensor 1	(10.6 - 11.19 μm)	100m
Band 11 Thermal Infrared Sensor 2	(11.5 - 12.51 μm)	100m

2.6. Land Surface Temperature (LST)

Menurut Sutanto (1984) *land surface temperature* (LST) atau suhu permukaan didefinisikan sebagai suhu bagian 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 thermal. Mandala (2008) mengatakan suhu permukaan merupakan suatu parameter yang sensitif terhadap keberadaan dan jenis vegetasi yang menutupi objek kajian dan juga kelembaban udara. Parameter-parameter diatas akan mempengaruhi variasi suhu baik yang bersifat temporal maupun spasial suatu permukaan. Penentuan suhu permukaan tanah dapat digunakan berapa metode yang telah dikembangkan oleh para peneliti, yang dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga), yakni metode kanal tunggal, metode multi langular, dan metode multi-kanal (*split window*).

Pada masa lalu, pembangunan PLTP membutuhkan minimum suhu panas bumi 180°C. Namun, dengan kemajuan terbaru teknologi siklus (*Organic Rankine*), suhu yang lebih rendah, yaitu di bawah 100°C dapat dimanfaatkan, sehingga meningkatkan jumlah lokasi yang berpotensi. Suhu panas bumi bergantung pada kedalaman *individual aquifers* dan nilai gradien panas bumi di daerah yang bersangkutan , tetapi umumnya sekitar 50 -100°C (Energy, 2013)

Untuk konversi Nilai Spectral Radiance ke dalam Brightness Temperature, persamaan yang digunakan mengikuti

hubungan yang sama dengan persamaan Planck dengan dua konstanta kalibrasi.

Konstanta kalibrasi data citra landsat, USGS (2001):

$$TB = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda}\right) + 1}$$

..... (2.2)

Dimana :

Untuk landsat 8

K1 Band 10 = 774.89

K1 Band 11 = 480.89

K2 Band 10 = 1321.08

K2 Band 11 = 1201.14

2.7. Indeks Vegetasi

Ekstraksi nilai Indeks Vegetasi (IV) pada penelitian ini dilakukan dengan menerapkan algoritma NDVI dan SAVI. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) merupakan suatu pengukur vegetasi yang sensitif dengan menggunakan perbedaan energi spektral yang dipantulkan oleh kanopi vegetasi pada panjang gelombang spektrum elektro-magnetik merah dan inframerah dekat. NDVI dikalkulasi melalui pantulan radiasi sinar matahari pada band panjang gelombang merah (RED) dan near-infrared (NIR) melalui algoritma (Lillesand, 1990) (Kustiyo, 2005):

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{red})}{(\rho_{NIR} + \rho_{red})} \quad \text{.....(2.3)}$$

Dimana:

ρ_{NIR} = Nilai *reflectance* kanal inframerah dekat

ρ_{RED} = Nilai *reflectance* kanal merah

Untuk Landsat 8 :

NDVI = (Band 5 – Band 4) / (Band 5 + Band 4)

Kerapatan vegetasi memiliki hubungan yang erat dengan suhu permukaan tanah (SPT) dikarenakan rentang nilainya dipengaruhi oleh kondisi tumbuhan disekitarnya, selain itu karena area studi merupakan daerah potensi panas bumi dengan parameter suhu permukaan yang relatif cukup tinggi. Untuk sistem pengelasan kembali dari indeks vegetasi yang ada dengan mengacu pada peraturan Departemen Kehutanan tahun 2003 yang membagi kelas kerapatan vegetasi hasil NDVI menjadi tiga kelas yaitu jarang, sedang dan rapat. (Kehutanan, 2009)

Tabel 2. 1 Kelas Kerapatan Vegetasi

Kelas	Kisaran NDVI	Tingkat Kerapatan
1	(-1,0) - 0,32	Jarang
2	0,32 - 0,42	Sedang
3	0,42 – 1	Rapat

2.8. Peta Rupa Bumi Indonesia

Peta Rupa Bumi secara umum adalah peta yang menggambarkan kenampakan alamiah (*Natural Features*) dan kenampakan buatan manusia (*Man Made Features*). Kenampakan alamiah yang dimaksud misalnya sungai, bukit, lembah, laut, danau, dan lain-lain. Sedangkan kenampakan buatan manusia misalnya jalan, kampung, pemukiman, kantor, pasar, dan lain-lain. Peta Rupa Bumi antar lain berfungsi sebagai peta referensi atau acuan yang dipakai sebagai dasar bagi pembuatan peta tematik.

Peta RBI biasa disebut juga dengan Peta Topografi atau Peta Dasar. Peta dasar adalah peta yang digunakan sebagai dasar pembuatan peta lainnya. Umumnya peta dasar tersebut dibuat berdasarkan survei lapangan atau fotogrametris.

2.9. Digital Elevation Model (DEM)

DEM adalah suatu model untuk menggambarkan bentuk topografi permukaan bumi sehingga dapat divisualisasikan ke

dalam tampilan 3D (tiga dimensi). Penggunaan tampilan 3D bisa sangat efektif untuk menjelaskan suatu hubungan spasial. Suatu DEM dapat menyediakan informasi pada kemampuan melihat pada titik tertentu. Salah satu cara untuk memvisualisasikan suatu DEM yaitu dengan menggunakan TIN (*Triangular Irregular Network*) sehingga nantinya bisa didapatkan nilai atribut baru berupa kelerengan (*slope*) yang berguna untuk analisa permukaan (Kustiyo, 2005).

DEM adalah data digital yang menggambarkan geometri dari bentuk permukaan bumi atau bagiannya yang terdiri dari himpunan titik-titik koordinat hasil sampling dari permukaan dengan algoritma yang mendefinisikan permukaan tersebut menggunakan himpunan koordinat (Tempfli, 1991). Pendapat lain, DEM merupakan suatu sistem, model, metode, dan alat dalam mengumpulkan, processing, dan penyajian informasi medan. Susunan nilai-nilai digital yang mewakili distribusi spasial dari karakteristik medan, distribusi spasial di wakili oleh nilai sistem koordinat horisontal X Y dan karakteristik medan diwakili oleh ketinggian medan dalam sistem koordinat Z (Frederick, 1991). Suatu DEM dapat menyediakan informasi pada kemampuan melihat pada titik tertentu. Salah satu cara untuk memvisualisasikan suatu DEM yaitu dengan menggunakan TIN (*Triangular Irregular Network*) sehingga nantinya bisa didapatkan nilai atribut baru dengan kemiringan (*slope*) yang berguna untuk analisa permukaan (Kustiyo, 2005).

Untuk mengetahui kemiringan lahan yang ada maka perlu dilakukan konversi data dari data DEM menjadi data kelerengan. Kelerengan lahan mengacu pada seberapa curam permukaan tanah yang ada. Dalam proses konversi ini diperlukan kelas klasifikasi dari suatu kelerengan lahan.

Tabel 2. 2 Kelas Kemiringan Lahan

Kelas	Kemiringan (%)	Klasifikasi
1	0 – 8	Datar
2	8– 15	Landai
3	15– 25	Agak curam
4	25 - 45	Curam
5	> 45	Sangat curam

Sumber : (Kehutanan, 2013)

2.10. Data Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan adalah kegiatan yang meliputi pengumpulan, analisis dan penyajian data yang berhubungan dengan informasi kondisi geologi untuk memperkirakan letak dan adanya sumber daya panas bumi serta wilayah kerja.

2.10.1. Survei Geologi

Survei ini dimaksudkan untuk memetakan manifestasi panas bumi, morfologi, satuan batuan, struktur, serta mempelajari semua parameter geologi yang berperan dalam pembentukan sistem panas bumi di daerah tersebut.

2.10.2. Survei Geofisika

Perubahan struktur dibawah permukaan terjadi akibat perubahan beban massa tanah dan batuan baik permukaan bumi maupun didalam bumi. Untuk mengidentifikasi struktur bawah tanah permukaan akibat peristiwa tersebut dapat digunakan metode geofisika

2.10.3. Survei Geokimia

Survei geokimia dilakukan untuk mendapatkan data dan informasi fisis dan kimia dari tiga unsur utama yaitu air, gas, dan tanah. Kegiatan ini terdiri atas studi literatur dan survei lapangan. Survei lapangan meliputi kegiatan pengamatan pengukuran dan pengambilan sampel terhadap air (panas dan dingin), gas, dan tanah (termasuk udara tanah).

2.11. Sistem Informasi Geografis

Sistem informasi geografis (SIG) adalah suatu sistem komputer yang digunakan untuk, mengumpulkan, menyimpan, mengintegrasikan, mentransformasikan dan menampilkan data-data spasial yang berhubungan dengan keadaan nyata di permukaan bumi (Burrough, 1994).

2.11.1. Subsistem SIG

SIG dapat diuraikan menjadi beberapa subsistem sebagai berikut (Prahasta, 2009) :

a) Data Input

Sub-sistem yang bertugas mengumpulkan, mempersiapkan, dan menyimpan data spasial dan atributnya dari berbagai sumber. Subsistem ini pula yang bertanggung jawab dalam mengkonversikan atau mentransformasikan format - format data aslinya ke dalam format yang dapat digunakan oleh perangkat SIG yang bersangkutan.

b) Data Output

Subsistem ini bertugas untuk menampilkan atau menghasilkan keluaran (termasuk mengekspornya ke format yang dikehendaki) seluruh atau sebagian basis data (spasial) baik dalam bentuk *softcopy* maupun *hardcopy* seperti halnya tabel, grafik, report, peta dan lain sebagainya.

c) Data Manajemen

Subsistem ini mengorganisasikan baik data spasial maupun tabel-tabel atribut terkait ke dalam sebuah sistem basis data sedemikian rupa hingga mudah dibuka kembali, di-*update* dan di-*edit*.

d) Data Manipulation & Analysis

Subsistem ini menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh SIG. Selain itu, sub-sistem ini juga melakukan manipulasi (evaluasi dan penggunaan fungsi-fungsi dan operator matematis & logika) dan

pemodelan data untuk menghasilkan informasi yang diharapkan.

2.11.2. Komponen SIG

SIG merupakan salah satu sistem yang kompleks dan terintegrasi dengan sistem komputer lainnya di tingkat fungsional dan jaringan (*network*). Secara umum, SIG bekerja berdasarkan integrasi dari beberapa komponen, yaitu : *hardware*, *software*, data, manusia, dan metode. Kelima komponen tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. *Hardware*

SIG memerlukan spesifikasi komponen hardware yang sedikit lebih tinggi dibanding spesifikasi komponen sistem informasi lainnya. Hal tersebut disebabkan karena data-data yang digunakan dalam SIG, penyimpanannya membutuhkan ruang yang besar dan dalam proses analisisnya membutuhkan memori yang besar dan *processor* yang cepat. Beberapa hardware yang sering digunakan dalam SIG adalah: *personal computer* (PC), mouse, *digitizer*, *printer*, *plotter*, dan *scanner*.

b. *Software*

Sebuah software SIG haruslah menyediakan fungsi dan *tool* yang mampu melakukan penyimpanan data, analisis, dan menampilkan informasi geografis. Dengan demikian elemen yang harus terdapat dalam komponen software SIG adalah:

1. *Tools* untuk melakukan *input* dan transformasi data geografis
2. Sistem Manajemen Basis Data.
3. *Tools* yang mendukung *query* geografis, analisis, dan visualisasi.
4. *Geographical User Interface* (GUI) untuk memudahkan akses pada tool geografi.

c. Data

Hal yang merupakan komponen penting dalam SIG adalah data. Secara fundamental, SIG bekerja dengan 2 tipe model data geografis, yaitu model data vektor dan model data raster. Dalam model data *vector*, informasi posisi *point*, garis, dan *polygon* disimpan dalam bentuk koordinat x,y . Bentuk garis, seperti jalan dan sungai dideskripsikan sebagai kumpulan dari koordinat-koordinat *point*. Bentuk *polygon* disimpan sebagai pengulangan koordinat yang tertutup. Data raster terdiri dari sekumpulan *grid* atau sel seperti peta hasil scanning maupun gambar atau *image*. Masing-masing *grid* memiliki nilai tertentu yang bergantung pada bagaimana *image* tersebut digambarkan.

d. Manusia

Komponen manusia memegang peranan yang sangat menentukan, karena tanpa manusia maka sistem tersebut tidak dapat diaplikasikan dengan baik. Jadi manusia menjadi komponen yang mengendalikan suatu sistem sehingga menghasilkan suatu analisa yang dibutuhkan.

e. Metode

SIG yang baik memiliki keserasian antara rencana desain yang baik dan aturan dunia nyata, dimana metode, model dan implementasi akan berbeda untuk setiap permasalahan.

2.11.3. Analisa dalam SIG

Kemampuan SIG dapat juga dikenali dari fungsi-fungsi analisis yang dapat dilakukannya. Secara umum, sesuai dengan datanya terdapat dua jenis fungsi analisis di dalam SIG ; fungsi analisis spasial dan atribut (basis data atribut). Fungsi analisis atribut (*non-spasial*) antara lain terdiri dari operasi-operasi dasar sistem pengelolaan basis data (DBMS) (Prahasta, 2009):

Operasi-operasi dasar pengelolaan basis data antara lain mencakup :

- Pembuatan basis data baru (*create database*)
- Penghapusan basis data (*drop database*)
- Pembuatan tabel baru (*create table*)
- Penghapusan tabel (*drop table*)
- Pengisian dan penyisipan data baru ke dalam tabel (*add record* atau *insert record*)
- Penambahan field baru dan penghapusan field lama (*add field, delete field*)
- Pembacaan dan pencarian data dari tabel basis data (*seek, find, search, retrieve*).
- Peng-*update*-an dan peng-*edit*-an data yang terdapat di dalam tabel basis data (*update record* atau *edit record*)
- Penghapusan data dari suatu tabel basis data (*delete record, zap, pack*)
- Membuat *indeks* untuk setiap tabel basis data.

2.12. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Pada prinsipnya sama seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap, yaitu menggunakan uap yang digunakan untuk memutar turbin yang kemudian turbin akan mengaktifkan generator sehingga generator dapat menghasilkan listrik. Pada PLTU, uap dibuat di permukaan dengan menggunakan boiler, sedangkan dengan panas bumi uap berasal dari *reservoir* panas bumi.

Komponen-komponen pembangkit listrik terdiri dari generator yang berfungsi mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Turbin adalah alat yang digunakan untuk memutar generator. *Exchanger* atau yang biasa disebut *boiler* (*vaporizer*) yaitu alat yang digunakan untuk menguapkan air. Menurut data Analisis Dampak Lingkungan Hidup (ANDAL), Rencana Pengelolaan Lingkungan Hidup (RKL) Dan Rencana Pemantauan Lingkungan Hidup (RPL) Pengembangan

Lapangan Panas Bumi dan Pembangunan PLTP Sarulla dibutuhkan luasan minimum 7 ha untuk pembangunan PLTP.

Untuk melakukan rekomendasi ini yaitu daerah penelitian didasarkan pada setiap lapisan yang diklasifikasikan ke dalam dua wilayah yang berbeda. Daerah yang dianggap sesuai diberikan nilai 1 dan lainnya diberikan nilai 0. Daerah yang sesuai untuk lokasi PLTP ditentukan berdasarkan beberapa parameter. Parameter yang digunakan untuk analisa lokasi PLTP dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2. 3 Parameter Lokasi Pembangunan PLTP

Parameter	Daerah yang tidak sesuai
Tutupan Lahan	Pemukiman dan Perairan
Kemiringan	Kemiringan > 15 %
Patahan	Patahan dengan buffer sejauh 200 m
Area Permukiman	Area Permukiman dengan buffer sejauh 500m
Akses Jalan	Akses Jalan dengan buffer 100 m
Lokasi sumber panas bumi	Sumber panas bumi dengan buffer 200 m

Sumber : (Yousefi, Ehara, & Noorolahi, 2007)

2.13. Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh (Permadi, 2012) dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) bulan Januari 2012 hingga Juni 2012 dengan menggunakan Landsat ETM+ tahun 2009 dan data DEM dari Peta RBI menunjukkan korelasi nilai indeks vegetasi, suhu permukaan tanah dan ketinggian lahan untuk mengidentifikasi jika terdapat suatu anomali sebagai salah satu prospek dari manifestasi panas bumi. Lokasi penelitian berada di Kabupaten Probolinggi dan sekitarnya. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan adanya potensi panas bumi yang bisa dimanfaatkan untuk bidang makanan minuman, perkapalan dan peralatan transportasi sesuai dengan MP3EI.

Penelitian lainnya yaitu oleh (Robbany, 2013) Peneliti menggunakan data citra Landsat 7 ETM+ tahun 2002, data citra GDEM ASTER tahun 2011, dan Peta RBI Skala 1:25000 yang bertujuan membuat peta potensi panas bumi dan peta rekomendasi power plant panas bumi di kawasan Gunung Lamongan. Dari hasil penelitian mengenai analisa potensi dan penentuan lokasi power plant panas bumi, maka didapatkan kesimpulan akhir yaitu :

- a. Didapatkan luas area potensi panas bumi yang ada pada area penelitian sebesar 1,874 km² dimana penentuan area potensi panas buminya berdasarkan parameter land surface temperature, kerapatan vegetasi, patahan dan manifestasi bumi.
- b. Area yang berpotensi hanya sebesar 0,424% dari seluruh area penelitian dikarenakan air yang terdapat pada ranu-ranu yang tersebar pada area penelitian tidak berasal dari sistem panas bumi.
- c. Potensi panas bumi yang ada pada Kawasan Gunung Lamongan adalah sebesar 126 MWe.
- d. Hubungan antara elevakesi dengan suhu reservoir sebesar 84,8%. Dimana semakin kecil nilai elevasinya maka suhu reservoir yang ada juga semakin kecil. Begitu juga sebaliknya dimana semakin besar elevasinya maka semakin besar suhu reservoir.
- e. Didapatkan area yang sesuai untuk pembangunan power plant panas bumi sebesar 17777,52 Ha dan tidak sesuai sebesar 13970,29 Ha dimana penentuan lokasi power plant panas buminya berdasarkan jenis tutupan lahan, slope, sungai, patahan dan lokasi mata air panas.

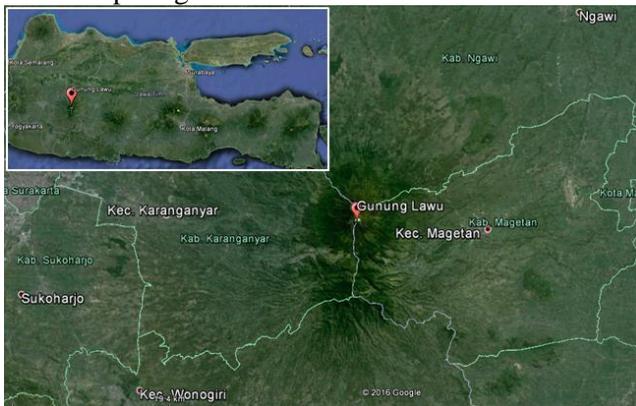
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini mengambil daerah studi di Gunung Lawu yang sebagian besar termasuk ke dalam Kecamatan Metasih, Karangpandan, Jenawi, Tawangmangu, Ngarogoyoso, Kabupaten Karanganyar Provinsi Jawa Tengah dan sebagian kecil termasuk Kecamatan Plaosan, Poncol Kabupaten Magetan Provinsi Jawa Timur, dengan koordinat batas penelitian antara 505000 – 530000 mT dan 9145000 – 9171000 mU pada sistem koordinat UTM, zona 49 belahan bumi selatan.

Lokasi ini dipilih karena memiliki dugaan potensi panas bumi dengan adanya manifestasi permukaan bumi berupa fumarol, mata air panas, dan alterasi batuan dan status potensi panas bumi di G. Lawu dalam tahap penetapan WKP (Wilayah Kerja Pertambangan) dan dalam proses pelelangan dengan perkiraan indikasi potensi sebesar 165 MW. Untuk batas daerah penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat seperti gambar di bawah ini :



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian Kawasan Gunung Lawu
Sumber: (Google, 2016)

3.2. Data dan Peralatan

3.2.1. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Citra Landsat 8
2. Data hasil survei eksplorasi pendahuluan (data geologi, geofisika, dan geokimia) di Kawasan Gunung Lawu
3. Peta dasar (Basemap) berupa Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1 : 25000, yaitu lembar Peta Poncol dan Ngerambe

3.2.2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

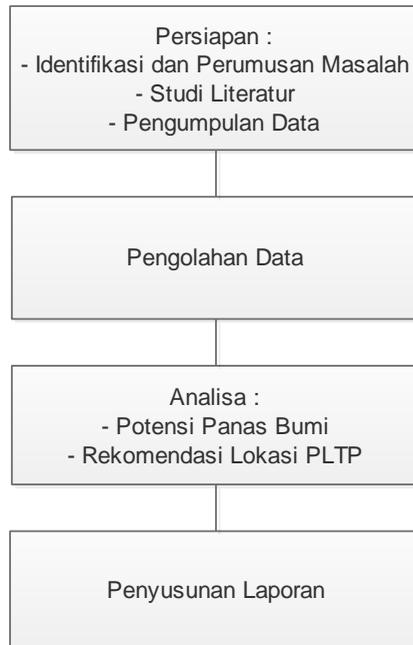
- a. Notebook ASUS core i5, RAM 4GB
- b. Printer Canon IP2770
- c. Kamera Digital Sony α 6000
- d. GPS Handheld GARMIN
- e. Software dalam mengolah citra
- f. ArcGIS 10.2
- g. Autocad LandDekstop 2009
- h. Microsoft Office 2016 untuk pembuatan laporan dan data tabular
- i. Software dalam pembuatan diagram alir

3.3. Metodologi Pekerjaan

Tahapan yang dilaksanakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

3.3.1. Tahap Penelitian

Tahapan kegiatan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi tahap persiapan, pengolahan data, analisa data dan akhir. Tahapan penelitian diuraikan dalam diagram alir dibawah ini:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahap Penelitian

Penjelasan dari tahapan penelitian diagram alir diatas adalah sebagai berikut:

a. Tahap Persiapan

Dalam tahap persiapan ini meliputi:

- Identifikasi dan Perumusan Masalah
Melakukan identifikasi dan perumusan masalah mengenai bagaimana cara melakukan identifikasi dan pemetaan potensi panas bumi menggunakan citra satelit dan rekomendasi lokasi pembangunan PLTP (Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi) Kawasan Gunung Lawu.
- Studi Literatur,
Mendapatkan referensi yang berkaitan dengan pemrosesan data citra satelit, analisa potensi panas bumi, serta rekomendasi lokasi pembangunan PLTP berdasarkan

analisis SIG melalui berbagai media seperti buku, jurnal ilmiah, dll.

- Pengumpulan data,
Mendapatkan data-data yang akan digunakan dan diolah serta data yang mendukung dalam melakukan analisa daerah yang memiliki potensi panas bumi dan penggambaran keadaan geomorfologi pada Kawasan Gunung Lawu. Data yang dibutuhkan seperti citra Landsat 8 yang di unduh dari sumber <http://glovis.usgs.gov/>, peta dasar (*basemap*) berupa peta RBI, data survei pendahuluan (data geologi) yang di dapatkan dari Pusat Sumber Daya Geologi, ESDM

b. Tahap Pengolahan Data

Dalam tahap pengolahan data ini meliputi:

- Pengolahan data primer,
Melakukan pengolahan data citra satelit Landsat 8 untuk mendapatkan Peta suhu Permukaan Tanah, Peta Tutupan Lahan, dan Peta Kerapatan Vegetasi (NDVI). Untuk Peta Ketinggian Lahan dan Peta Kemiringan (slope) didapatkan dari pengolahan peta RBI dan digunakan dalam analisa potensi dan rekomendasi pembangunan PLTP dengan menggunakan analisis SIG
- Pengolahan Data Sekunder,
Mengolah Peta RBI dan data survei pendahuluan (data geologi) yang selanjutnya dijadikan parameter sebagai analisa potensi dan rekomendasi lokasi pembangunan PLTP dengan menggunakan analisa SIG.

c. Tahap Analisa Data

Dalam tahap analisa ini meliputi:

- Analisa Potensi Panas Bumi,
Menganalisa besarnya potensi dan lokasi panas bumi yang ada di Kawasan Gunung Lawu berdasarkan hasil pengolahan data (peta suhu permukaan tanah, peta kerapatan vegetasi, peta ketinggian lahan, dan data survei pendahuluan)
- Analisa Rekomendasi Lokasi Pembangunan PLTP,

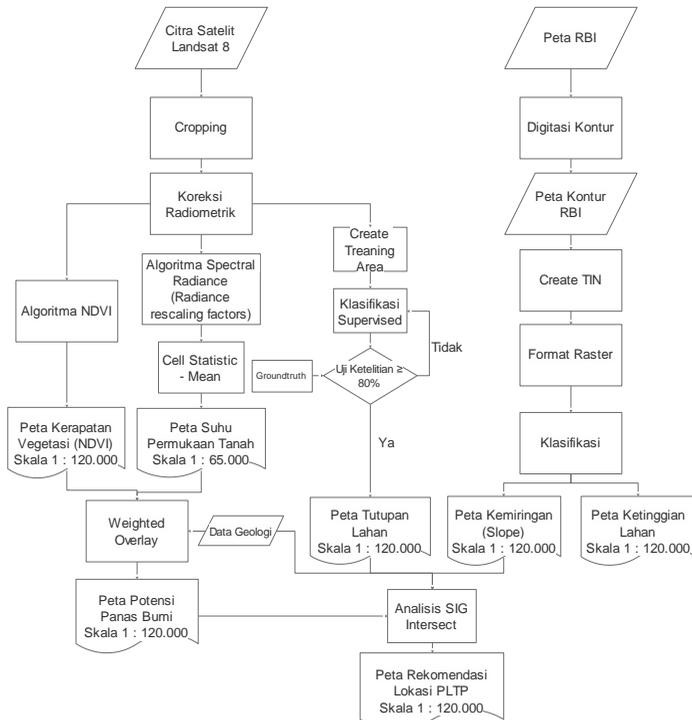
Menganalisa lokasi yang sesuai untuk pembangunan PLTP berdasarkan hasil pengolahan data (peta potensi panas bumi, peta kerapatan vegetasi, peta tutupan lahan, dan peta kemiringan)

d. Tahap Akhir

Dalam tahap akhir ini meliputi penyusunan laporan, dimana didalamnya akan disajikan informasi daerah-daerah yang memiliki potensi dan daerah rekomendasi lokasi pembangunan PLTP di Kawasan Gunung Lawu.

3.3.2. Tahap Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data diuraikan dalam diagram alir dibawah ini:



Gambar 3. 3 Diagram Alir Tahap Pengolahan Data

Penjelasan dari tahapan pengolahan data diagram alir diatas adalah sebagai berikut:

Tahapan pengolahan data terbagi menjadi dua yaitu:

1. Pengolahan data Citra Landsat 8 untuk mendapatkan peta kerapatan vegetasi (NDVI), peta suhu permukaan tanah, dan peta tutupan lahan
2. Pengolahan data kontur Peta RBI untuk mendapatkan peta ketinggian lahan dan peta kemiringan (*slope*)

3.3.2.1. Pengolahan data Tahapan Pertama

Penjelasan dari pengolahan data tahapan pertama tersebut, sebagai berikut:

1. Pada data citra Landsat 8 yang digunakan untuk pengolahan suhu permukaan tanah adalah band 10 dan band 11 sedangkan band 4 dan band 5 digunakan untuk pengolahan nilai kerapatan vegetasi
2. Melakukan cropping pada citra Landsat 8 untuk memfokuskan area studi citra dengan parameter peta RBI
3. Melakukan proses koreksi radiometrik yaitu mengubah nilai *Digital Number (DN)* ke *Spectral Radiance*
4. Untuk mendapatkan peta kerapatan vegetasi, menggunakan algoritma NDVI dan selanjutnya dibagi berdasarkan kelas – kelas kerapatan vegetasi
5. Untuk mendapatkan peta suhu permukaan tanah (*land surface temperature*) dengan menggunakan algoritma *brightness temperature*. Setelah dilakukan proses pemisahan dari emisi lingkungan sekitar, selanjutnya melakukan *cell statisti- mean* dari kedua band *thermal* tersebut
6. Untuk mendapatkan peta tutupan lahan, metode yang digunakan yaitu klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dengan metode *maximum likelihood*. Diawali dengan menentukan *training area* dimana suatu sampel pixel area yang didefinisikan sebagai jenis tutupan lahan tertentu. Pengambilan sampel area untuk

jenis tutupan lahan didasarkan dari interpretasi citra dan peta RBI. Setelah mendapatkan beberapa sampel yang mewakili jenis tutupan lahan di area studi, selanjutnya dilakukan pengklasifikasian dengan menggunakan algoritma *maximum likelihood*

7. Pada Peta RBI dilakukan digitasi untuk mendapatkan peta dalam format vektor. Digitasi dilakukan untuk mendapatkan beberapa fitur batas administrasi. Batas administrasi yang didapat selanjutnya digunakan untuk dasar pemotongan citra satelit sesuai dengan area studi. Selain itu, peta RBI juga digunakan untuk mendapatkan DEM serta referensi penentuan klasifikasi tutupan lahan di citra.

3.3.2.2. Pengolahan data Tahapan Kedua

Penjelasan dari pengolahan data tahapan kedua tersebut, sebagai berikut:

1. Pada Peta RBI yang ada dilakukan proses digitasi untuk mendapatkan fitur kontur dalam format vektor.
2. Kemudian digitasi peta RBI ini untuk membuat data *Digital Elevation Model* (DEM)
3. Selanjutnya dari data DEM yang sudah terkoreksi dilakukan konversi ke format TIN *surface* yang menampilkan model permukaan bumi pada area penelitian.
4. Dari model TIN *surface* yang ada dibuat kelas ketinggian lahan (reklasifikasi) sehingga didapatkan nilai-nilai ketinggian yang ada pada area penelitian.
5. Kemudian dari model TIN *surface* juga dibentuk kelas slope (kelerengan) yang ada pada area penelitian dan diklasifikasikan sesuai parameter yang ada

3.3.3. Tahap Analisa Data

Penjelasan dari tahapan analisa data adalah sebagai berikut:

1. Data survei pendahuluan beserta hasil pengolahan data sebelumnya (peta kerapatan vegetasi, dan peta suhu permukaan tanah) dilakukan analisa (overlay) untuk mendapatkan peta potensi panas bumi.
2. Dalam melakukan analisa rekomendasi lokasi PLTP didasarkan dari parameter - parameter yang sudah ditentukan. Parameter ini berhubungan dengan data-data spasial hasil pengolahan citra Landsat 8, hasil pengolahan Peta RBI dan data survei pendahuluan
3. Peta potensi panas bumi dianalisa menggunakan sistem informasi geografis untuk mendapatkan peta rekomendasi lokasi PLTP. Dengan menggunakan *tool Intersect* dari semua data kelas dan lapisan yang menunjukkan aktivitas panas bumi. (*Boolean intersect method*)
4. Dihasilkan Peta Potensi dan Peta Rekomendasi Lokasi PLTP dimana berisi informasi area-area potensi panas bumi dan area rekomendasi untuk pembangunannya

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Citra

- Citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah :
- a. Citra Satelit Landsat 8 ETM Path/Row : 119/65
 - b. Akuisisi pada 22 Mei 2015
 - c. Level 1G

4.2. Pemotongan Citra

Melakukan pemotongan citra yang bertujuan untuk memudahkan dalam pengolahan data selanjutnya dan memfokuskan daerah penelitan yang akan diteliti yaitu di Gunung Lawu. Untuk pemotongan citra dibutuhkan data referensi sebagai batas dari area yang dipotong. Data referensi yang digunakan adalah batas administrasi dari peta RBI sehingga menghasilkan data dalam format vektor. Proses pemotongan citra dilakukan di software ArcGIS. pada menu ArcGIS 10 pilih *Add Data* untuk memasukkan data citra yang dalam format raster dan data referensi dalam format vektor, kemudian pilih *ArcToolBox* dan pilih *Data Management*, kemudian Raster pilih *Raster Processing* dan pilih *Clip*. Sehingga dihasilkan citra yang terpotong sesuai dengan data referensi.

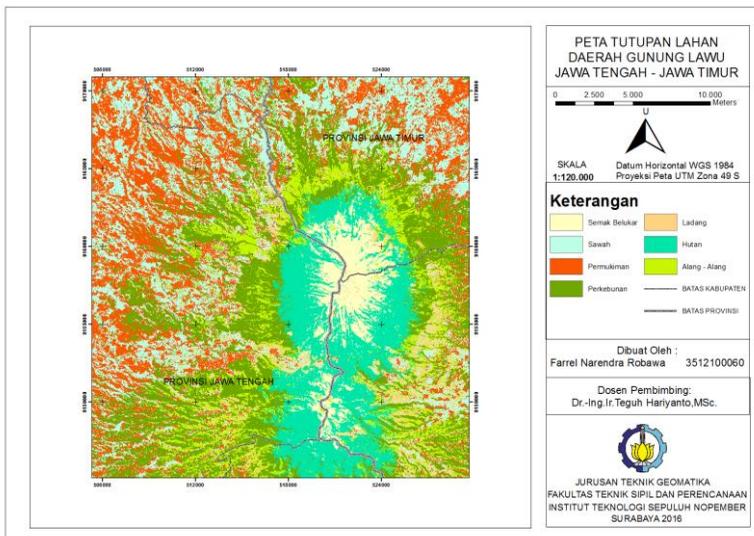


Gambar 4. 1 Citra Land path/row 119/65 (kiri) dan Citra Landsat hasil pemotongan (kanan)

4.3. Hasil Pengolahan Citra

4.3.1. Tutupan Lahan

Setelah menghasilkan citra yang sesuai daerah penelitian, selanjutnya dilakukan pengolahan lebih lanjut untuk mendapatkan tutupan lahan di area penelitian. Pengklasifikasian tutupan lahan menggunakan klasifikasi terbimbing dengan menggunakan metode *maximum likelihood*. Proses ini menentukan masing-masing kelas tutupan lahan dengan memberikan *training area* berdasarkan dari jenis tutupan lahan di Peta RBI, interpretasi citra, dan pengamatan langsung. Pada penelitian ini kelas yang ditentukan adalah semak belukar, sawah, ladang, hutan, permukiman dan alang -alang. Untuk ketelitian dari pengolahan tutupan lahan dihitung dengan menggunakan metode *confusion matrix*, dimana batas toleransi yang diberikan yaitu ≥ 80 %. Untuk melakukan uji ketelitian, dibutuhkan data groundtruth sebagai data sampel yang diambil dari lokasi titik-titik sampel sebanyak 52 titik sampel. Hasil dari perhitungan *confusion matrix* memperoleh nilai sebesar 92,42%. Dimana sebagian area ada yang mengalami perubahan fungsi lahan seperti hutan dan semak belukar. Dapat dilihat pada gambar 4.2 dimana sebagian besar area adalah berupa hutan dan semak belukar, sedangkan area permukiman berada pada sebelah barat laut dari Kawasan Gunung Lawu. Sedangkan di sebelah selatan dari Kawasan Gunung Lawu masih didominasi area hutan, semak belukar dan alang-alang karena masih merupakan daerah pegunungan.



Gambar 4. 2 Peta Tutupan Lahan Kawasan Gunung Lawu

Tabel 4. 1 Hasil Luasan Area Tutupan Lahan Kawasan G. Lawu

Kelas	Luas (Ha)
Alang - Alang	7105,312
Hutan	124,018
Ladang	13118,137
Perkebunan	21313,905
Permukiman	10871,473
Sawah	11448,322
Semak Belukar	8066,965
Total	72088,869

4.3.2. Suhu Permukaan Tanah

Suhu permukaan tanah atau *Land Surface Temperature* (LST) pada penelitian ini didapat dari band thermal 10 dan 11

citra Landsat 8 dengan menggunakan algoritma *mono-window brightness temperature*.

Proses pengolahan suhu permukaan tanah di kawasan Gunung Lawu menggunakan ArcGIS 10.3 yang menghasilkan nilai suhu permukaan tanah berkisar 11 – 32°C. Untuk area suhu permukaan tanah paling tinggi tersebar di sebelah barat daya dari Gunung Lawu. Sedangkan untuk tingkat LST paling rendah yaitu berada di hampir sekitar puncak Gunung Lawu yang berupa hutan karena pengaruh dari tingkat kerapatan vegetasi yang tinggi.

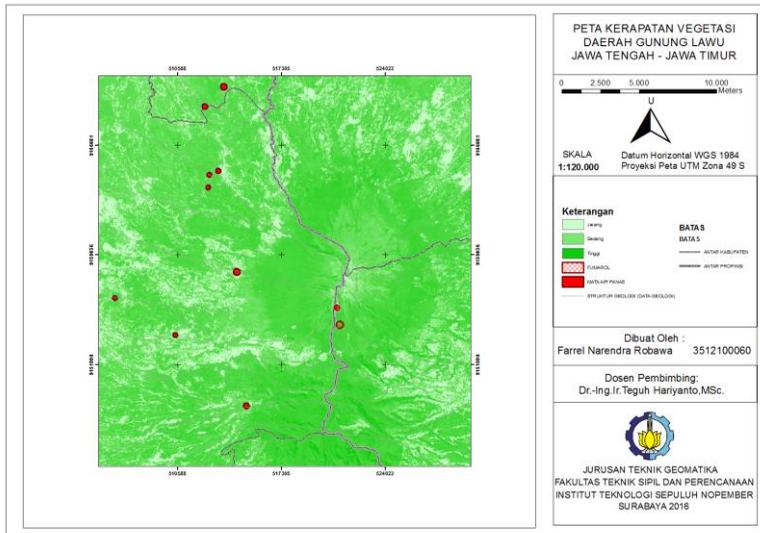
Adanya area yang memiliki tingkat LST yang besar diantara LST yang kecil (anomali) di sebelah barat daya dari puncak Gunung Lawu. Anomali ini dapat terjadi sebagai dampak suhu yang ada pada manifestasi panas bumi maupun dari tutupan lahan yang berupa permukiman. Hal ini dapat dilihat pada gambar hasil klasifikasi dimana letak permukiman yang berada pada posisi yang sama. Anomali ini dapat dijadikan sebagai tinjauan awal penentuan potensi panas bumi dan tidak bisa langsung dijadikan parameter tunggal dalam penentuan area potensi panas bumi karena harus melakukan pengolahan selanjutnya dengan penggabungan dengan data survei pendahuluan untuk memastikan apakah di daerah yang diduga bisa dijadikan area potensi panas.

Dari hasil pengolahan data citra satelit Landsat 8 didapatkan area anomali suhu permukaan sebesar 18,6 km² dengan luas daerah penelitian sebesar 25 x 25 km (625 km²)

Tabel 4. 2 Kelas Kerapatan Vegetasi

Kelas	Kisaran NDVI	Tingkat Kerapatan
1	(-1,0) - 0,32	Jarang
2	0,32 - 0,42	Sedang
3	0,42 – 1	Rapat

Hasil dari pengolahan NDVI sebesar $(-0.118) - 0.608$. NDVI bernilai positif (+) terjadi karena permukaan vegetasi lebih banyak memantulkan radiasi pada gelombang panjang infra merah dibandingkan dengan cahaya tampak, indeks vegetasi yang bernilai nol (0) karena pemantulan energi yang direkam oleh gelombang cahaya tampak sama dengan gelombang inframerah dekat, sering terjadi di daerah pemukiman dan daratan non vegetasi. Sedangkan NDVI bernilai negatif (-) karena permukaan awan dan air lebih banyak memantulkan energi gelombang cahaya tampak dibandingkan infra merah dekat. Dari nilai NDVI tersebut kemudian dikelaskan sesuai kisaran tingkat NDVI dari Departemen Kehutanan (2003) yang membagi menjadi 3 kelas yaitu jarang, sedang dan tinggi. Hasil pengolahan NDVI menunjukkan bahwa kawasan Gunung Lawu memiliki tingkat kerapatan vegetasi yang tinggi tetapi ada anomali NDVI yang tersebar di beberapa area yang memiliki luas yang besar yaitu di sekitar puncak Gunung Lawu. Dalam area anomali tersebut terdapat nilai NDVI yang rendah diantara Nilai NDVI yang tinggi tetapi hal ini belum cukup membuktikan bahwa area anomali tersebut adalah area yang berpotensi panas bumi sehingga untuk memastikannya harus ada penggabungan area anomali NDVI dengan parameter lainnya yaitu dengan anomali suhu permukaan tanah, survei geologi, survei geokimia dan survei geofisika sebagai area potensi panas bumi.

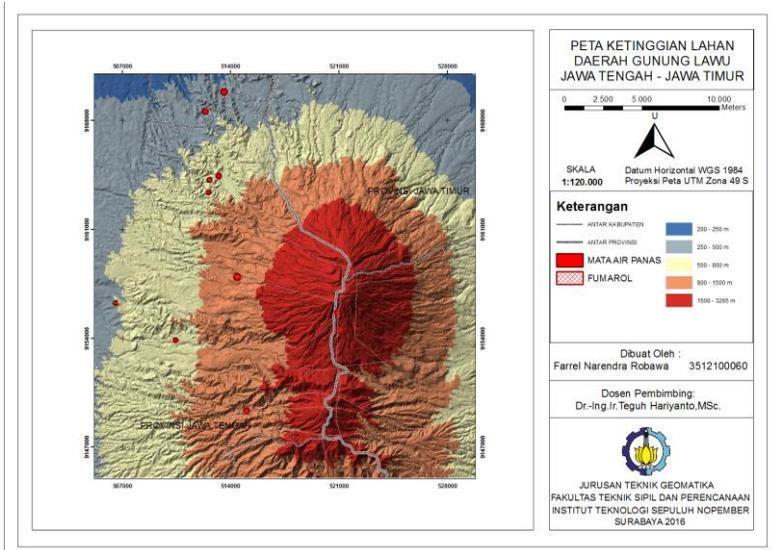


Gambar 4. 4 Peta Kerapatan Vegetasi Kawasan Gunung Lawu

4.4. Ketinggian Lahan

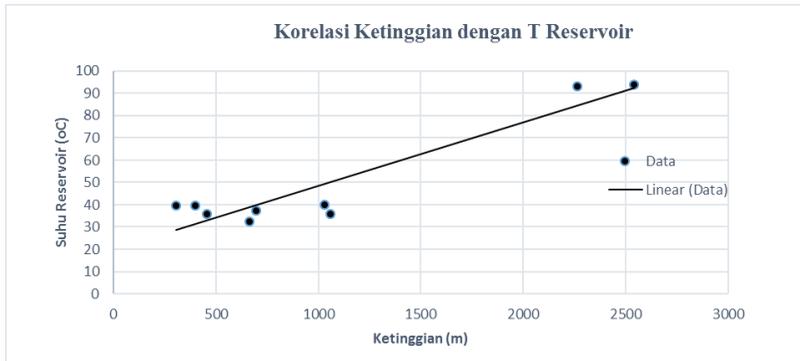
Untuk mendapatkan informasi ketinggian lahan diperoleh dari data digitasi kontur peta RBI. Hasil digitasi kontur kemudian dibuat data DEM. Data DEM tersebut dikonversikan ke TIN yang selanjutnya dikonversikan menjadi data raster. Data tersebut direklasifikasi sesuai dengan kelas ketinggian yang telah ditentukan sehingga diperoleh informasi ketinggian wilayah penelitian.

Hasil pengolahan untuk ketinggian lahan berdasarkan kelas ketinggian lahan sebagai berikut :



Gambar 4. 5 Peta Ketinggian Lahan Kawasan Gunung Lawu

Selanjutnya dari data ketinggian pada masing-masing mata air panas dikorelasikan dengan suhu reservoir pada masing - masing mata air panas tersebut. Untuk tingkat korelasi ketinggian mata air panas terhadap suhu reservoir dapat dilihat pada gambar 4.6 dengan korelasi sangat kuat. Didapatkan untuk nilai korelasinya $> 80\%$ menunjukkan hubungan korelasinya sangat kuat. Dari grafik hubungan antara ketinggian dan suhu reservoir menggunakan sampel sejumlah 10 titik.



Gambar 4. 6 Korelasi Ketinggian dengan T Reservoir

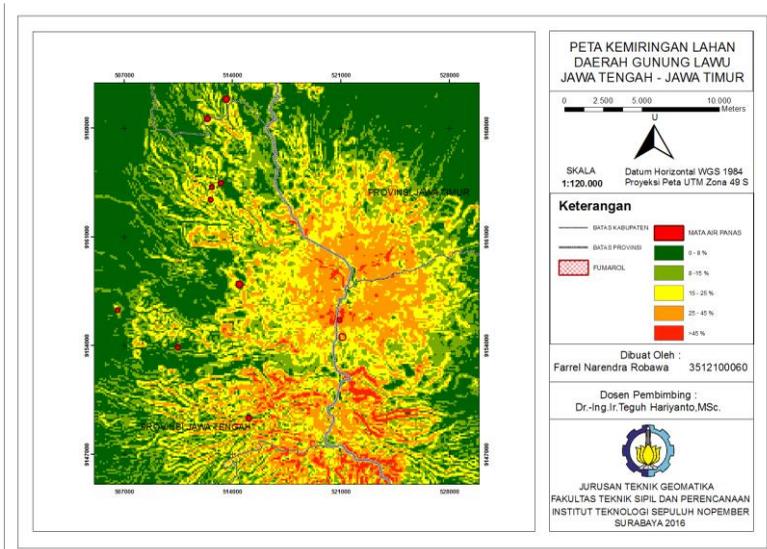
Semakin kecil nilai ketinggian maka suhu reservoir yang ada juga semakin kecil. Begitu juga sebaliknya dimana semakin besar ketinggiannya maka semakin besar suhu reservoir. Hal ini dimungkinkan karena letak mata air panas dengan ketinggian yang semakin besar akan semakin dekat dengan puncak dari Gunung Lawu. Dengan asumsi adanya pengaruh dari aliran magma yang ada di dalam Gunung Lawu apabila berada pada ketinggian yang besar (mendekati puncak).

4.5. Kemiringan Lahan

Untuk mengetahui kelerengan lahan yang ada maka perlu dilakukan konversi data dari data DEM menjadi data kelerengan. Kelerengan lahan mengacu pada seberapa curam permukaan tanah yang ada. Dalam proses konversi ini diperlukan kelas klasifikasi dari suatu kelerengan lahan. Dasar dari kelas-kelas kelerengan lahan pada penelitian ini yaitu mengacu pada Pedoman Penyusunan Pola Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah (1986) yang dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Kelas Kemiringan Lahan

Kelas	Kemiringan (%)	Klasifikasi
1	0 – 8	Datar
2	8– 15	Landai
3	15– 25	Agak curam
4	25 - 45	Curam
5	> 45	Sangat curam



Gambar 4. 7 Peta Kemiringan Lahan Kawasan Gunung Lawu

Slope dengan tingkat keterengn $>45\%$ tampak berada di daerah selatan seperti dapat dilihat pada gambar 4.6. Pada Kawasan Gunung Lawu memiliki tiga puncak yaitu Puncak Hargo Dalem, Hargo Dumiling dan Hargo Dumilah (puncak tertinggi).

4.6. Data Geologi

Informasi pemetaan geologi di daerah panas bumi Gunung Lawu dilakukan untuk memetakan manifestasi panas bumi, morfologi, satuan batuan, struktur, serta mempelajari semua

parameter geologi yang berperan dalam pembentukan sistem panas bumi di daerah tersebut. Gunung Lawu mempunyai tipe gunungapi strato berdasarkan data Dinas Vulkanologi, Badan Geologi termasuk ke dalam gunungapi tipe B. Dari peta geologi Lembar Ponorogo, Jawa Tengah, batuan yang ada di daerah penelitian terdiri dari batuan gunungapi, batuan terbosan, dan batuan sedimen yang berumur mulai dari Tersier sampai Kuartar. Dari peta geologi struktur geologi yang ada di daerah penelitian didominasi oleh sesar – sesar dan kelurusan berarah barat-timur dan baratlaut-tenggara yang dipengaruhi oleh gaya tektonik regional Pulau Jawa yang berarah hampir utara-selatan. Analisis pada peta DEM menunjukkan bahwa struktur geologi di daerah penelitian didominasi oleh struktur sesar – sesar normal. Struktur – struktur sesar ini pada umumnya berarah relatif barat-timur dan utara-selatan. Sesar – sesar normal ini diperkirakan yang memfasilitasi keluarnya sejumlah mata air panas di daerah penelitian.

Berdasarkan analisis peta DEM dan peta topografi, serta gejala – gejala struktur di permukaan seperti pemunculan mata air panas, kelurusan lembah lembah dan punggung, kekar – kekar, bidang sesar, dan zona hancuran batuan, maka di daerah penelitian teramati beberapa struktur sesar, yaitu

1. Rim kawah di daerah puncak Gunung Jobolarangan yang merupakan bidang yang kolaps atau amblas yang diakibatkan oleh terjadinya kekosongan di dalam perut bumi setelah terjadinya erupsi Gunung Jobolarangan.
2. Sesar – sesar normal berarah barat-timur dan berarah utara-selatan yang mengontrol kemunculan manifestasi panas bumi di daerah Gunung Lawu. Di beberapa tempat sesar-sesar normal ini membentuk zona depresi yaitu depresi Tawangmangu dan depresi Karangpandan.
3. Sesar mendatar berarah baratdaya-timurlaut yang memotong dan mengakibatkan pergeseran pada batuan dan struktur yang sudah terbentuk sebelumnya.

Sebaran manifestasi panas bumi di kompleks Gunung Lawu dapat dibedakan menjadi 3 lokasi berupa delapan kelompok mata air panas, batu ubahan dan fumarol sebagai berikut :

a. Fumarol

- Terdapat dua manifestasi fumarol di Gunung Lawu, yaitu
- Fumarol Candradimuka dengan elevasi 2540 m dpl, memiliki temperatur 93,1 °C, luas 300 x 100 m², sublimasi belerang, dan desis kuat
 - Fumarol Taman Sari Bawah dengan elevasi 2264 m dpl, temperatur 93,1 °C, luas 200 x 100 m², sublimasi belerang, alterasi kuat, bau H₂S, tidak berair.

b. Mata Air Panas Kawah Candradimuka

Mata air panas ini terletak pada elevasi 2540m dpl, di sekitar batuan teralterasi di kompleks fumarol Gunung Lawu, dengan temperatur air panas 94°C, pH 1,35, debit 10 liter/detik. Air panas berwarna keruh, berasa asam, tercium H₂S dan bersuara desis yang sangat kuat dan memiliki daya hantar listrik 6300 uS/cm.

c. Mata Air Panas Tasin

Mata air panas ini terletak pada elevasi 1029m dpl, muncul dari rekahan pada batuan lava, dengan temperatur air panas 40°C, pH 6,35, debit 1 liter/detik. Air panas terlihat jernih, terasa asin, tak berasa, mengandung endapan oksida besi dan memiliki daya hantar listrik 20000 uS/cm.

d. Mata Air Panas Cumpleng

Mata air panas ini terletak pada elevasi 697m dpl, telah dibangun tempat pemandiaaan air panas untuk wisata, dengan temperatur air panas 37,4°C, pH 6,32, debit 4 liter/detik. Air panas terlihat jernih, terasa asin, tak berasa, mengandung endapan oksida besi dan memiliki daya hantar listrik 2660 uS/cm

e. Mata Air Panas Pablengan

Mata air panas ini terletak pada elevasi 456m dpl, dengan temperatur air panas 36°C, pH 5,89, debit 1 liter/detik. Air panas

terlihat jernih, terasa asin, mengandung gelembung udara, mengandung endapan oksida besi dan memiliki daya hantar listrik 12.300 uS/cm

f. Mata Air Panas Nglerak

Mata air panas ini terletak pada elevasi 1058m dpl, dengan temperatur air panas 35,7°C, pH 6,17, debit 2 liter/detik. Air panas terlihat jernih, tak berasa, keluar dari rekahan pada batuan piroklastik dan memiliki daya hantar listrik 2600 uS/cm

g. Mata Air Panas Ngunut

Mata air panas ini terletak pada elevasi 304m dpl, dengan temperatur air panas 39,8°C, pH 6,37, debit 0.2 liter/detik. Air panas terlihat jernih, terasa asin, mengandung gelembung udara, mengandung endapan oksida besi dan memiliki daya hantar listrik 2100 uS/cm

h. Mata Air Panas Jenawi 1, 2 dan 3

Mata air panas ini terletak pada elevasi 601 – 662 m dpl, dengan temperatur air panas antara 32 - 38°C, pH antara 6,2 – 6,7 debit 1 liter/detik. Air panas terlihat jernih, terasa asin, mengandung gelembung udara, mengandung endapan oksida besi dan memiliki daya hantar listrik antara 4000 - 10000 uS/cm

i. Mata Air Panas Bayanan

Mata air panas ini terletak pada elevasi 297m dpl, dengan temperatur air panas 39,8°C, pH 6,57, debit 2 liter/detik. Air panas terlihat jernih, tak berbau, mengandung endapan oksida besi dan memiliki daya hantar listrik 2100 uS/cm

4.7. Data Geokimia

Data Geokimia merupakan informasi berupa karakteristik dari jenis manifestasi, konsentrasi senyawa kimia terlarut dan terabsorpsi dalam fluida panas yang terkandung dalam sampel air, dan sampel gas serta anomali distribusi horisontal pada tanah dan udara tanah pada kedalaman satu meter sebagai indikasi sumber daya panas bumi. Salah satu cara untuk mengetahui adanya sumber aktivitas panas bumi di bawah permukaan adalah dengan menganalisis kandungan Hg tanah dan Co₂ dalam udara tanah.

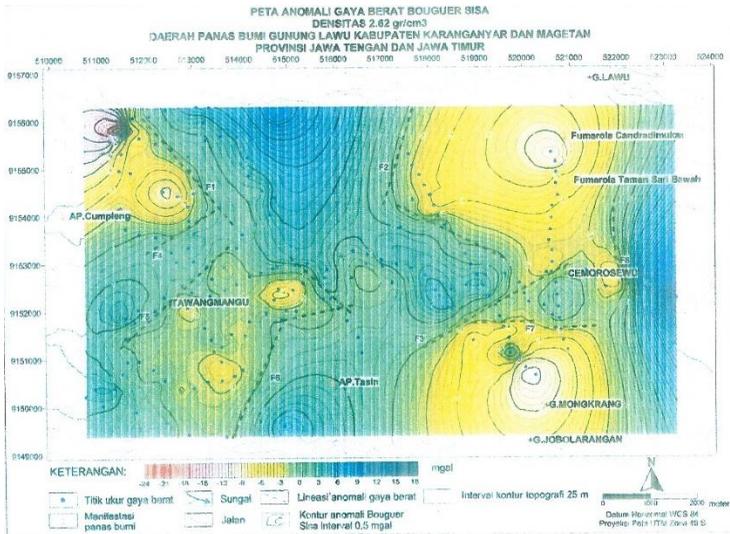
Sampel geokimia terdiri dari sampel gas, air panas, air dingin, sampel tanah, dan udara tanah di daerah panas bumi G. Lawu. Titik lokasi pengambilan sampel geokimia terdapat 11 sampel air, yaitu 10 sampel air panas, 1 sampel air dingin dan 2 sampel gas.

Kesimpulan yang didapat bahwa temperatur fumarol 93,1°C, air panas yang mempunyai pH asam bertemperatur 94,1°C dan air panas dengan pH netral bertemperatur 32,4-40°C. Ploting pada diagram Giggenbach 1988, air panas kawah Candradimuka termasuk tipe air panas sulfat. Air panas Cumpleng, Bayanan dan Ngunut termasuk tipe air panas bikarbonat. Air panas Tasin dan Pablengan terletak pada partial equilibrium pada diagram Na-K-Mg sedangkan air panas Ngunut, Jenawi1&2, Mangli, Nglerak, Cumpleng, Bayanan terletak pada zona *immature waters*. Anomali konsentrasi tinggi Hg tanah, lebih dari 200 ppb yang terletak di sekitar lokasi air panas kawah Candradimuka. Anomali konsentrasi tinggi CO₂ udara tanah, lebih dari 6%, letaknya terdistribusi di sekitar fumarol dan air panas Kawah Candradimuka serta di sekitar air panas Tasin.

4.8. Data Geofisika

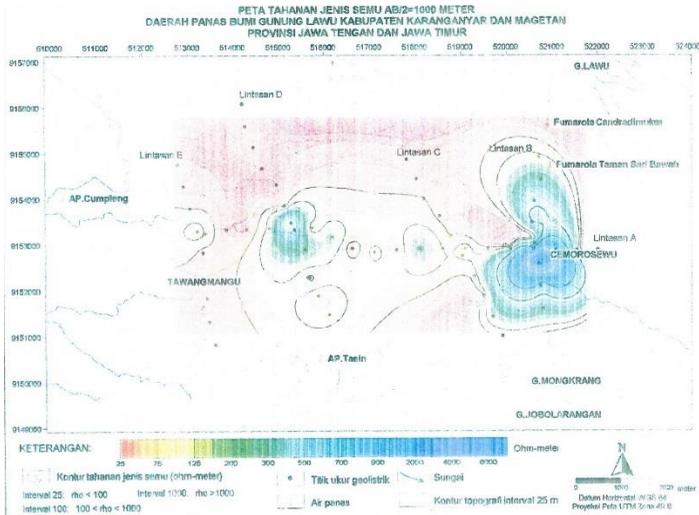
Data Geofisika merupakan hasil dari survei geomagnet, gaya berat, dan tahanan jenis DC. Hasil dari survei geomagnet berupa peta anomali magnet total yang telah direduksi ke kutub dan upward continuation 300 m. Berdasarkan peta tersebut terlihat adanya sebaran anomali magnet rendah di sekitar mata air panas dan fumarol Kawah Candradimuka yang melebar ke arah barat daya.

Hasil survei gaya berat diperlihatkan dalam peta anomali Bouguer dan peta anomali sisa (gambar 4.8). Pada peta anomali bouguer terlihat adanya sebaran anomali bouguer yang relatif membesar ke arah barat daya dengan lineasi berarah barat laut – tenggara. Sedangkan pada peta anomali sisa terlihat adanya sebaran yang cukup variatif dan membentuk kelurusan yang cukup beraagam.



Gambar 4. 8 Peta Anomali Gaya Berat Bouguer Sisa

Pada Tahanan jenis semu bentangan $AB/2 = 1000$ meter (gambar 4.9), salah satu hasil dari survei tahanan jenis. Berdasarkan peta tersebut terlihat adanya sebaran tahanan jenis semu relatif rendah yang hampir mendominasi daerah penelitian dan secara umum tersebar di sebelah barat Gunung Lawu.



Gambar 4. 9 Peta Tahanan Jenis Semu Kawasan G. Lawu

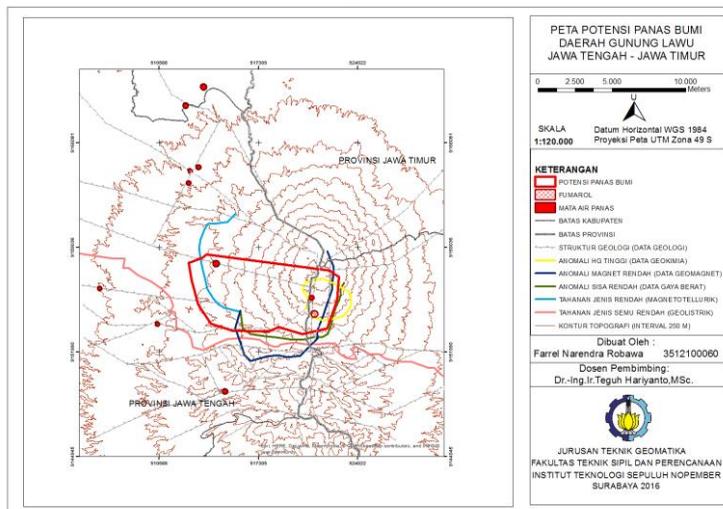
4.9. Analisa Potensi Panas Bumi

Dalam menghitung besarnya potensi panas bumi yang ada pada area penelitian maka dibutuhkan parameter berupa luasan dan suhu reservoir. Untuk luasan dari area potensinya didapatkan dengan melakukan overlay pada area potensi hasil pengolahan LST dan area potensi hasil pengolahan NDVI. Overlay ini dilakukan karena area hasil pengolahan LST tidak selamanya mencerminkan adanya potensi panas bumi dan begitu juga dengan area hasil pengolahan NDVI. Sehingga kedua area hasil pengolahan tersebut digabungkan untuk menghasilkan area baru yang lebih tepat. Penentuan area potensi ini didasarkan dari beberapa parameter seperti tampak pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Parameter Area Potensi Panas Bumi

Parameter	Area yang berpotensi
Land Surface Temperature	Pada daerah anomali Land Surface Temperature
Kerapatan Vegetasi	Pada daerah anomali kerapatan vegetasi
Struktur Geologi	Terdapat struktur geologi di sekitarnya
Manifestasi Permukaan	Terdapat manifestasi permukaan

Setelah semua parameter dalam penentuan area potensi panas bumi selesai diolah kemudian seluruh area parameter seperti area dengan suhu yang lebih tinggi, kerapatan vegetasi rendah, data Hg tinggi, adanya struktur geologi di sekitarnya digabungkan atau dioverlay sehingga menghasilkan area baru yaitu area potensi panas bumi di Kawasan Gunung Lawu sebesar 17 km².



Gambar 4. 10 Peta Potensi Panas Bumi

Besarnya potensi panas bumi Gunung Lawu di tentukan dengan menggunakan metode volumetrik (*Lump Parameter*) dengan menggunakan asumsi tebal reservoir = 2 km, recovery factor = 50%, faktor konversi =10% dan *lifetime* = 30 tahun. Dengan luas prospek terduga = 17 km², temperature bawah permukaan 250°C [5], dan temperatur *cut-off* = 180°C maka potensi energi panas bumi di daerah Gunung Lawu sebagai berikut :

$$Q = K \times A \times (T_{\text{res}} - T_{\text{cut-off}})$$

$$Q = 0,2317 \times 17 \times (250 \text{ }^{\circ}\text{C} - 180 \text{ }^{\circ}\text{C}) = 275 \text{ Mwe} \quad \dots (4.1)$$

Jadi, besarnya potensi panas bumi kelas spekulatif dari reservoir panas bumi di Gunung Lawu adalah sekitar 275 MWe.

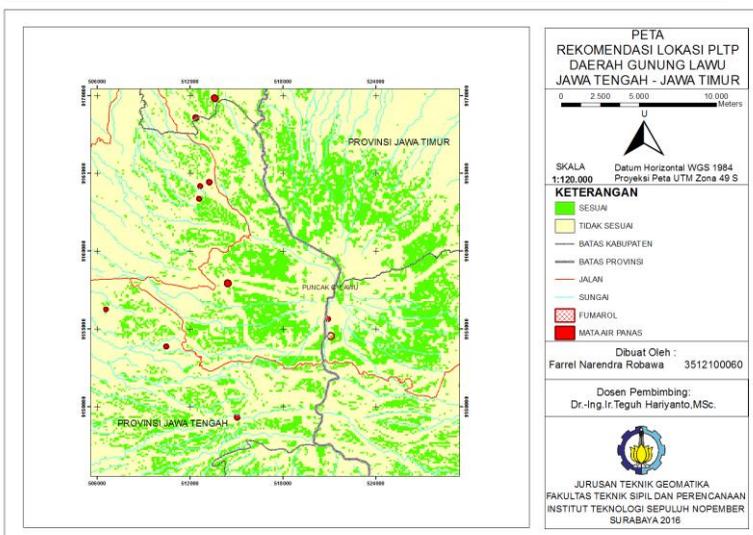
4.10. Rekomendasi Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Berdasarkan data dan hasil dari proses sebelumnya maka diperlukan parameter parameter yang dapat membantu dalam menentukan lokasi PLTP. Dengan adanya parameter ini dapat membantu mengintegrasikan data data yang ada menjadi data baru yang memuat berbagai informasi dengan lebih baik. Pengintegrasian data yang ada dengan menggunakan software ArGIS. Model yang digunakan dalam melakukan integrasi data ini adalah boolean integration model. Untuk melakukan model ini yaitu daerah penelitian dibagi menjadi dua wilayah yang berbeda. Daerah yang sesuai diberikan nilai 1 dan lainnya diberi nilai 0. Daerah yang sesuai untuk PLTP ditentukan berdasarkan parameter tutupan lahan, struktur geologi, kemiringan lahan dan lokasi sumber panas.

Untuk tutupan lahan yang mempengaruhi (berdampak negatif) dalam penentuan lokasi pembangunan adalah pemukiman. Parameter yang digunakan untuk analisa rekomendasi lokasi PLTP dapat dilihat (Yousefi, Ehara, & Noorolahi, 2007) pada tabel 4.5

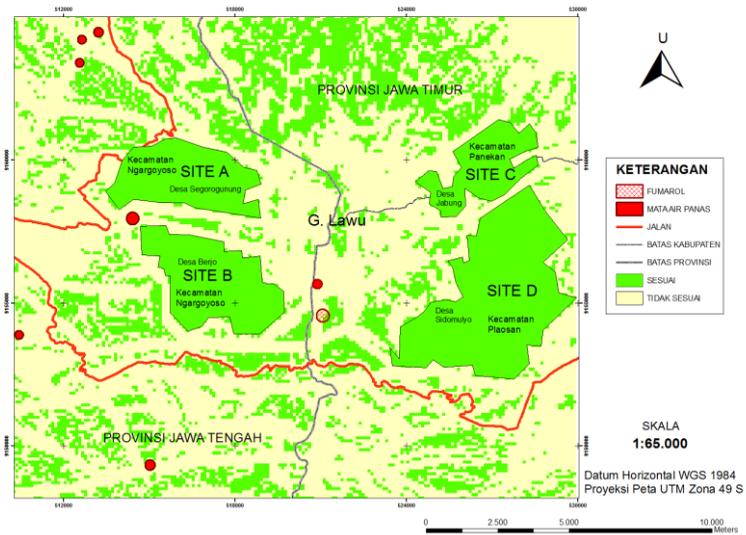
Tabel 4. 5 Parameter Penentuan Lokasi PLTP

Parameter	Daerah yang tidak sesuai
Tutupan Lahan	Pemukiman
Kemiringan	Kemiringan > 15 %
Patahan	Patahan dengan buffer sejauh 200 m
Permukiman	Area Permukiman dengan buffer 500 m
Akses Jalan	Akses Jalan dengan buffer 100 m
Lokasi sumber panas bumi	Sumber panas bumi buffer 200 m



Gambar 4. 11 Peta rekomendasi lokasi pembangunan PLTP

Dari total area penelitian sebesar 625 km², didapatkan area yang sesuai untuk lokasi pembangunan PLTP sebesar 159,920 km² dan area yang tidak sesuai sebesar 487,560 km². Dapat terlihat bahwa untuk area yang sesuai dengan pembangunan PLTP di sebelah barat dan timur dari Gunung Lawu dikarenakan slope yang tidak terlalu curam. Untuk memudahkan menganalisa rekomendasi lokasi pembangunan PLTP terbagi menjadi 4 site, yaitu Site A, Site B, Site C, dan Site D.



Gambar 4. 12 Data site untuk rekomendasi pembangunan PLTP

Tabel 4. 6 Rekomendasi site lokasi PLTP

Site	Lokasi	Desa	Luas area (km ²)
A	Barat G. Lawu	Segorogunung	9,804
B	Barat Daya G. Lawu	Berjo	11,379
C	Timur Laut G. Lawu	Jabung	6,972
D	Timur G. Lawu	Sidomulyo	22,562

Karena sumber mata air panas terletak di sebelah selatan dari Gunung Lawu maka area yang sesuai dan direkomendasikan adalah site B dikarenakan 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. Selain itu, adanya patahan yang berada dekat dengan Desa Berjo membuat area yang sesuai semakin kecil. Akan tetapi dengan luas site B sebesar 11,379 km² (1137,905 Ha) sangat mencukupi

untuk dibangunnya PLTP dikarenakan luas minimum pembangkit hanya memerlukan lahan seluas 404 m² (0,04 Ha) per GWh atau antara 0,004 - 0,03 km² (0,4 - 3 Ha). Site B berada di Desa Berjo, Kecamatan Ngargoyoso, Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah, Indonesia. Penggunaan lahan dari wilayah Desa Berjo sebagian besar adalah tanah pekarangan dan selebihnya berupa hutan, serta tanah sawah dengan irigasi.

4.11. Peluang Pengembangan

Beberapa peluang untuk mengembangkan panas bumi daerah Gunung Lawu berupa hal – hal berikut ini :

- a. Akses pencapaian daerah panas bumi mudah dijangkau dengan kendaraan roda empat
- b. Potensi sumber daya panas bumi daerah ini sangat besar untuk dimanfaatkan baik sebagai pembangkit listrik maupun non listrik
- c. Tersedia potensi pasar energi listrik yang cukup tinggi karena kelistrikan daerah ini masih sering terganggu kelangsungannya, baik untuk rumah tangga maupun industri

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 1
Citra Landsat 8 – Tahun 2015



Citra Landsat 8 – Tahun 2013



LAMPIRAN 2

Foto Fumarol dan Mata Air Panas G. Lawu



Fumarol Candradimuka dan batu ubahan Gunung Lawu



Fumarol taman sari bawah dan Mata Air Panas Kawah Candradimuka

Sumber dokumentasi foto : Penyelidikan terpadu geologi dan geokimia di daerah panas bumi Gunung Lawu, Pusat Sumber Daya Geologi



Mata Air Sendang Drajat (Dokumentasi pribadi)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 3
Metadata Landsat 8 Mei 2015

GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
REQUEST_ID = "0501505221062_00014"
LANDSAT_SCENE_ID = "LC81190652015142LGN00"
FILE_DATE = 2015-05-22T12:50:32Z
STATION_ID = "LGN"
PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.5.1"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
DATA_TYPE = "L1T"
ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
SENSOR_ID = "OLI_TIRS"
WRS_PATH = 119
WRS_ROW = 65
NADIR_OFFNADIR = "NADIR"
TARGET_WRS_PATH = 119
TARGET_WRS_ROW = 65
DATE_ACQUIRED = 2015-05-22
SCENE_CENTER_TIME = "02:40:59.9551440Z"
CORNER_UL_LAT_PRODUCT = -6.17977
CORNER_UL_LON_PRODUCT = 110.52365
CORNER_UR_LAT_PRODUCT = -6.17761
CORNER_UR_LON_PRODUCT = 112.58703
CORNER_LL_LAT_PRODUCT = -8.28828
CORNER_LL_LON_PRODUCT = 110.52144
CORNER_LR_LAT_PRODUCT = -8.28539
CORNER_LR_LON_PRODUCT = 112.59441
CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 447300.000
CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -683100.000
CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 675600.000

CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -683100.000
CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 447300.000
CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -916200.000
CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 675600.000
CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -916200.000
PANCHROMATIC_LINES = 15541
PANCHROMATIC_SAMPLES = 15221
REFLECTIVE_LINES = 7771
REFLECTIVE_SAMPLES = 7611
THERMAL_LINES = 7771
THERMAL_SAMPLES = 7611
FILE_NAME_BAND_1 =
"LC81190652015142LGN00_B1.TIF"
FILE_NAME_BAND_2 =
"LC81190652015142LGN00_B2.TIF"
FILE_NAME_BAND_3 =
"LC81190652015142LGN00_B3.TIF"
FILE_NAME_BAND_4 =
"LC81190652015142LGN00_B4.TIF"
FILE_NAME_BAND_5 =
"LC81190652015142LGN00_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6 =
"LC81190652015142LGN00_B6.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 =
"LC81190652015142LGN00_B7.TIF"
FILE_NAME_BAND_8 =
"LC81190652015142LGN00_B8.TIF"
FILE_NAME_BAND_9 =
"LC81190652015142LGN00_B9.TIF"
FILE_NAME_BAND_10 =
"LC81190652015142LGN00_B10.TIF"
FILE_NAME_BAND_11 =
"LC81190652015142LGN00_B11.TIF"
FILE_NAME_BAND_QUALITY =
"LC81190652015142LGN00_BQA.TIF"

```
METADATA_FILE_NAME =  
"LC81190652015142LGN00_MTL.txt"  
  BPF_NAME_OLI =  
"LO8BPF20150522021607_20150522035612.01"  
  BPF_NAME_TIRS =  
"LT8BPF20150522021214_20150522024313.01"  
  CPF_NAME = "L8CPF20150401_20150630.02"  
  RLUT_FILE_NAME = "L8RLUT20150303_20431231v11.h5"  
END_GROUP = PRODUCT_METADATA  
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES  
  CLOUD_COVER = 0.43  
  CLOUD_COVER_LAND = 0.52  
  IMAGE_QUALITY_OLI = 9  
  IMAGE_QUALITY_TIRS = 9  
  TIRS_SSM_POSITION_STATUS = "NOMINAL"  
  ROLL_ANGLE = -0.001  
  SUN_AZIMUTH = 43.82038190  
  SUN_ELEVATION = 51.51469019  
  EARTH_SUN_DISTANCE = 1.0122081  
  GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 2  
  GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 322  
  GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 7.223  
  GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 5.191  
  GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 5.022  
  GROUND_CONTROL_POINTS_VERIFY = 72  
  GEOMETRIC_RMSE_VERIFY = 4.908  
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES  
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE  
  RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 741.83923  
  RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -61.26133  
  RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 759.65240  
  RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -62.73235  
  RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 700.01324  
  RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -57.80732  
  RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 590.29059
```

RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -48.74639
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 361.22839
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -29.83036
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 89.83422
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.41854
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 30.27894
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.50044
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 668.04651
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -55.16750
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 141.17625
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -11.65838
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_10 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_10 = 0.10033
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_11 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_11 = 0.10033
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_2 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_3 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_4 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_6 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_8 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_9 = -0.099980

END_GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_8 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_8 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_9 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_9 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_10 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_10 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_11 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_11 = 1
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2255E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.2549E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.1564E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.7512E-03
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 5.9673E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.4840E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.0019E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1036E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.3321E-03

RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -61.27358
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -62.74489
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -57.81888
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -48.75614
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -29.83633
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.42002
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.50094
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -55.17853
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -11.66071
RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000
REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_9 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_9 = -0.100000
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.8853
K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.8883

```
K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.0789
K2_CONSTANT_BAND_11 = 1201.1442
END_GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
MAP_PROJECTION = "UTM"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 49
GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
ORIENTATION = "NORTH_UP"
RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"
END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILE
END
```

Metadata Landsat 8 Agustus 2013

GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
REQUEST_ID = "0101501278536_00001"
LANDSAT_SCENE_ID = "LC81190652013232LGN00"
FILE_DATE = 2015-01-28T11:36:11Z
STATION_ID = "LGN"
PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.4.0"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
DATA_TYPE = "L1T"
ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
SENSOR_ID = "OLI_TIRS"
WRS_PATH = 119
WRS_ROW = 65
NADIR_OFFNADIR = "NADIR"
TARGET_WRS_PATH = 119
TARGET_WRS_ROW = 65
DATE_ACQUIRED = 2013-08-20
SCENE_CENTER_TIME = 02:43:58.4719471Z
CORNER_UL_LAT_PRODUCT = -6.18248
CORNER_UL_LON_PRODUCT = 110.52365
CORNER_UR_LAT_PRODUCT = -6.18032
CORNER_UR_LON_PRODUCT = 112.58704
CORNER_LL_LAT_PRODUCT = -8.28828
CORNER_LL_LON_PRODUCT = 110.52144
CORNER_LR_LAT_PRODUCT = -8.28539
CORNER_LR_LON_PRODUCT = 112.59441
CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 447300.000
CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -683400.000
CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 675600.000
CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -683400.000

CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 447300.000
CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -916200.000
CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 675600.000
CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -916200.000
PANCHROMATIC_LINES = 15521
PANCHROMATIC_SAMPLES = 15221
REFLECTIVE_LINES = 7761
REFLECTIVE_SAMPLES = 7611
THERMAL_LINES = 7761
THERMAL_SAMPLES = 7611
FILE_NAME_BAND_1 =
"LC81190652013232LGN00_B1.TIF"
FILE_NAME_BAND_2 =
"LC81190652013232LGN00_B2.TIF"
FILE_NAME_BAND_3 =
"LC81190652013232LGN00_B3.TIF"
FILE_NAME_BAND_4 =
"LC81190652013232LGN00_B4.TIF"
FILE_NAME_BAND_5 =
"LC81190652013232LGN00_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6 =
"LC81190652013232LGN00_B6.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 =
"LC81190652013232LGN00_B7.TIF"
FILE_NAME_BAND_8 =
"LC81190652013232LGN00_B8.TIF"
FILE_NAME_BAND_9 =
"LC81190652013232LGN00_B9.TIF"
FILE_NAME_BAND_10 =
"LC81190652013232LGN00_B10.TIF"
FILE_NAME_BAND_11 =
"LC81190652013232LGN00_B11.TIF"
FILE_NAME_BAND_QUALITY =
"LC81190652013232LGN00_BQA.TIF"

METADATA_FILE_NAME =
"LC81190652013232LGN00_MTL.txt"
BPF_NAME_OLI =
"LO8BPF20130820021905_20130820024518.02"
BPF_NAME_TIRS =
"LT8BPF20130820021511_20130820024611.02"
CPF_NAME = "L8CPF20130701_20130919.05"
RLUT_FILE_NAME = "L8RLUT20130211_20431231v09.h5"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 4.08
IMAGE_QUALITY_OLI = 9
IMAGE_QUALITY_TIRS = 9
ROLL_ANGLE = -0.001
SUN_AZIMUTH = 55.27837390
SUN_ELEVATION = 55.70616116
EARTH_SUN_DISTANCE = 1.0118091
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 2
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 273
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 7.658
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 4.686
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 6.057
GROUND_CONTROL_POINTS_VERIFY = 55
GEOMETRIC_RMSE_VERIFY = 2.896
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 742.42432
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -61.30964
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 760.25159
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -62.78182
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 700.56531
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -57.85291
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 590.75616
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -48.78484
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 361.51331

RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -29.85389
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 89.90507
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.42439
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 30.30282
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.50242
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 668.57336
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -55.21101
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 141.28760
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -11.66758
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_10 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_10 = 0.10033
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_11 = 22.00180
RADIANCE_MINIMUM_BAND_11 = 0.10033
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_2 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_3 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_4 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_6 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_8 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_9 = -0.099980
END_GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE

QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_8 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_8 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_9 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_9 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_10 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_10 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_11 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_11 = 1
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2264E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.2559E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.1573E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.7589E-03
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 5.9720E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.4852E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.0058E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1044E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.3340E-03
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04

RADIANCE_ADD_BAND_1 = -61.32191
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -62.79438
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -57.86449
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -48.79459
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -29.85986
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.42588
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.50292
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -55.22205
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -11.66991
RADIANCE_ADD_BAND_10 = 0.10000
RADIANCE_ADD_BAND_11 = 0.10000
REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_9 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_9 = -0.10000
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.89
K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.89
K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.08
K2_CONSTANT_BAND_11 = 1201.14

```
END_GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
MAP_PROJECTION = "UTM"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 49
GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00
ORIENTATION = "NORTH_UP"
RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"
END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILE
END
```

LAMPIRAN 4
Hasil *Ground Truth* Tutupan Lahan

X	Y	Tutupan Lahan
526994	9150699	Perkebunan
520892	9152640	Perkebunan
520894	9152656	Semak Belukar
520888	9152670	Semak Belukar
520914	9152680	Semak Belukar
521516	9154281	Alang - Alang
521427	9154327	Hutan
521421	9154401	Hutan
521418	9154406	Hutan
521471	9154489	Semak Belukar
521537	9154732	Semak Belukar
521513	9154806	Semak Belukar
521546	9154975	Semak Belukar
521514	9155109	Semak Belukar
521526	9155186	Semak Belukar
521531	9155289	Semak Belukar
521527	9155441	Hutan
521499	9155576	Hutan
521505	9155600	Hutan
521491	9155676	Hutan
521472	9155805	Hutan
521456	9155953	Semak Belukar
521487	9156026	Semak Belukar
521496	9156076	Semak Belukar
521516	9156153	Semak Belukar
521557	9156195	Alang - Alang

521557	9156204	Semak Belukar
521558	9156206	Semak Belukar
521569	9156230	Semak Belukar
521745	9156537	Semak Belukar
521842	9156765	Sendang Derajat
521585	9156897	Semak Belukar
521585	9156896	Semak Belukar
521441	9156893	Hutan
521698	9156881	Semak Belukar
521639	9156317	Alang - Alang
521523	9156116	Semak Belukar
521403	9155379	Semak Belukar
521513	9155098	Hutan
521554	9154938	Hutan
521423	9154325	Hutan
521500	9154159	Hutan
521343	9153359	Hutan
523442	9153273	Hutan
523776	9152647	Ladang
523666	9152509	Ladang
524944	9151644	Pemukiman
525633	9151119	Sawah
525933	9151028	Pemukiman
526292	9150864	Sawah
528065	9151109	Sawah
525527	9154295	Hutan
523442	9154159	Hutan

LAMPIRAN 5
Hasil Confusion Matrix Tutupan Lahan

Overall Accuracy = 92,4285%

Training Sample	Citra Klasifikasi							Jumlah	Omisi
	Semak Belukar	Sawah	Permukiman	Perkebunan	Ladang	Hutan	Alang - Alang		
Semak Belukar	18	0	0	0	0	5	0	23	5
Sawah	0	3	0	0	0	0	0	3	0
Permukiman	0	0	2	0	0	0	0	2	0
Perkebunan	0	0	0	2	0	0	0	2	0
Ladang	0	0	0	0	2	0	0	2	0
Hutan	2	0	0	0	0	15	0	17	1
Alang - Alang	0	0	0	0	0	0	3	3	
Jumlah	20	3	2	2	2	20	3	52	
Komisi	2	0	0	0	0	5	0	52	

Keterangan :

Omisi : Jumlah kelas X yang masuk kelas lain

Komisi : Jumlah kelas X tambahan dari kelas lain

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai identifikasi potensi panas bumi dan rekomendasi lokasi PLTP, maka didapatkan beberapa kesimpulan akhir yaitu:

1. Didapatkan luas area potensi panas bumi yang ada pada area penelitian sebesar 17 km² pada luas daerah penelitian sebesar 25 x 25 km (625 km²).
2. Dengan temperatur air panas bawah permukaan sekitar 250°C di sebelah selatan Gunung Lawu (Kawah Candradimuka), dengan perhitungan kelas spekulatif didapatkan potensi sekitar 275 Mwe, memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dan pemanfaatan langsung dengan mempertimbangkan peluang dan hambatan pengembangan di daerah tersebut. Area yang berpotensi hanya sebesar 0,0272% dari seluruh area penelitian setelah mengalami proses pengolahan dengan parameter yang ada.
3. Didapatkan area yang sesuai untuk rekomendasi lokasi pembangunan PLTP sebesar 50,717 km² dan area yang tidak sesuai sebesar 574,283 km² dimana penentuan lokasi PLTP berdasarkan jenis tutupan lahan, kemiringan lahan, akses jalan, patahan dan lokasi mata air panas. Dan site yang direkomendasikan adalah site B (Desa Berjo) dengan luas 11,379 km².

5.2. Saran

Berdasarkan hasil pengolahan data dan kesimpulan yang diperoleh, saran yang dapat disampaikan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Sebaiknya dihindari pemakaian data Landsat 8 pada daerah penelitian yang memiliki banyak awan, karena sensor termal tidak dapat menembus awan.
2. Untuk rekomendasi lokasi pembangunan PLTP selanjutnya dapat mempertimbangkan dari aspek lainnya, seperti aspek lingkungan, aspek ekonomi sekitar (sosio-ekonomi) dan

pelaksanaannya sesuai Undang-undang yang berlaku

DAFTAR PUSTAKA

- Armenta, R. (1995). Identification of Hydrothermal Alteration Using Satellite Images in Areas with Dense Vegetation Cover. *Proc. Of the World Geothermal Congress*. Florence.
- Armstead, H. (1978). *Geothermal Energy*. London: E & F N.
- Bemelen, R. (n.d.). General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes. *The Geology of Indonesia* (p. Vol. IA). Netherlands: Martinus Nijhoff.
- Burrough, M. (1994). *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assesment*. New York: Oxford University Press.
- Energy, G. W. (2013). *World Energy Resources*. Retrieved from World Energy: <https://www.worldenergy.org>
- Frederick, J. D. (1991). Photogrametric Engineering and Remote Sensing.
- Google. (2016). *Google Maps*. Retrieved from Google Maps: maps.google.com
- Hariawan, T. (2013, Desember 10). *Saatnya Potensi Geotermal Jawa Timur*. Retrieved from Kompasiana: http://www.kompasiana.com/www.teguh hariawan/saatnya-potensi-geotermal-jawa-timurdieksplorasi_55204bcc8133119c7419f735
- Jaelani, L. (2014). *Koreksi Geometrik Landsat 8, Tidak Perlu?* Retrieved from <http://lmjaelani.com/2014/02/koreksigeometrik-landsat-8-tidak-perlu>
- Jakarta, S. N. (2014). *Republik Indonesia Patent No. Undang-Undang No. 21 Tahun 2014 tentang Panas Bumi*.
- Kehutanan. (2013). Kemiringan Lahan. *Pedoman Penyusunan Pola Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah*.
- Kehutanan, D. (2009). *Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia nomor : P.32/MENHUT- II/2009*. Jakarta.

- Kompas. (2004). *Kompas*. Jakarta: Kompas.
- Kustiyo, M. (2005). Analisis Ketelitian Ketinggian Data DEM SRTM. *MAPIN XIV*.
- Lillesand. (1990). *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra, Alih Bahasa R. Dubahri*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Mandala, D. P. (2013). Retrieved from Estimasi Suhu Permukaan dengan Citra Satelit.pdf.
- Permadi, K. D. (2012). *PEMETAAN POTENSI PANAS BUMI (GEOTHERMAL) UNTUK Mendukung Program Energi Nasional Jawa Timur*.
- Prahasta, E. (2009). *SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS : Konsep – Konsep Dasar Perspektif Geodesi & Geomatika*. Bandung: Penerbit Informatika.
- Purwadhi, H. (2010). *Pengantar Interpretasi Citra Penginderaan Jauh*. Jakarta: Lapan-UNNES.
- Robbany, I. F. (2013). *ANALISA POTENSI DAN PENENTUAN LOKASI POWER PLANT ENERGI PANAS BUMI PADA KAWASAN GUNUNG LAMONGAN JAWA TIMUR*.
- Ruhimat, M. (1998). *Penuntun Belajar Geografi I*. Bandung: Ganeca Exact.
- Rukhiyat. (2012). *Pemanfaatan Energi Panas Bumi*. Retrieved from Kemdikbud:
<https://belajar.kemdikbud.go.id/SumberBelajar/tampil>
- Saptadji. (2001). *Teknik Panas Bumi Departemen Teknik Perminyakan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Saptadji. (2009). Training Advanced Geothermal Reservoir Engineering. *Karakterisasi Reservoir Panas Bumi*.
- Singarimbun, A. (2011). Estimasi Distribusi Temperatur, Entalpi dan Tekanan Dalam Reservoir Panas Bumi. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, Volume 01 No. 01.
- SNI. (1999). *Metode Estimasi Potensi Energi Panas Bumi*.
- Sumintadiredja. (2005). *Pemanfaatan Panas Bumi (Geothermal) Sebagai Energi Alternatif Terbarukan Di Indonesia*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

- Sumintadiredja. (2005). *Pemanfaatan Panas Bumi (Geothermal) Sebagai Energi Alternatif Terbarukan Di Indonesia*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Sutanto. (1984). *Penginderaan Jauh Jilid 1*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Tempfli, K. (1991). *Petunjuk Praktikum Sistem Informasi Gografis : Pemodelan Spatial*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- USGS. (2001). *Landsat 7 Science Data Users Handbook*. US.
- Utama, W. (2012). *Analisis Citra Landsat ETM+ untuk Kajian Awal Penentuan Daerah Potensi Panas Bumi di Gunung Lamongan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Yousefi, H., Ehara, S., & Noorolahi, Y. (2007). *GEOHERMAL POTENTIAL SITE SELECTION USING GIS IN IRAN. Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. California.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jember, 11 Maret 1994, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara dari pasangan R. Bayu Februariono dan Sri Sumarningsih. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al – Amien Jember, SD Negeri Jember Lor 3, SMP Negeri 2 Jember, kemudian melanjutkan di SMA Negeri 1 Jember. Setelah lulus dari SMA melanjutkan kuliah S-1 dengan mengikuti program SNMPTN jalur tertulis dan diterima di Teknik Geomatika – FTSP ITS, Surabaya pada tahun 2012. Penulis terdaftar dengan NRP 3512 100 060. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan kampus dan kepanitiaan.

Penulis melaksanakan kerja praktik di P.T. PERTAMINA UTC (Upstream Technology Center) dalam pembuatan SIG jalur pipa gas. Untuk menyelesaikan studi sarjananya penulis memilih bidang keahlian Geomatika (Geospasial) dengan judul penelitian **“IDENTIFIKASI POTENSI PANAS BUMI MENGGUNAKAN LANDSAT 8 DAN REKOMENDASI LOKASI PLTP DENGAN ANALISIS SIG (STUDI KASUS: KAWASAN GUNUNG LAWU)”**.