



TUGAS AKHIR - RG 141536

**ANALISIS POTENSI PANAS BUMI MENGGUNAKAN
LANDSAT 8 DAN SENTINEL 2
(STUDI KASUS : GUNUNG IJEN)**

RIA MARDIANA
NRP 3513 100 052

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo S, DEA, DESS.

Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RG 141536

**ANALISIS POTENSI PANAS BUMI MENGGUNAKAN
LANDSAT 8 DAN SENTINEL 2
(STUDI KASUS : GUNUNG IJEN)**

**RIA MARDIANA
NRP 3513 100 052**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo S, DEA, DESS.**

**Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



UNDERGRADUATED THESIS - RG 141536

**ANALYSIS OF GEOTHERMAL POTENTIAL USING
LANDSAT 8 AND SENTINEL 2
(CASE STUDY : MOUNT IJEN)**

**RIA MARDIANA
NRP 3513 100 052**

**Supervisor
Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo S, DEA, DESS.**

**GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISIS POTENSI PANAS BUMI MENGGUNAKAN
LANDSAT 8 DAN SENTINEL 2
(STUDI KASUS : GUNUNG IJEN)**

Nama : Ria Mardiana
NRP : 3513 100 052
Departemen : Teknik Geomatika FTSP-ITS
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo S, DEA, DESS.

ABSTRAK

Energi panas bumi juga merupakan energi panas yang terdapat pada internal bumi (Smaragdengkis, 2016). Sebanyak 252 lokasi panas bumi di Indonesia tersebar mengikuti jalur pembentukan gunung api yang membentang dari Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara, Sulawesi sampai Maluku. Dengan total potensi sekitar 27 GWe (Wahyuningsih, 2005). Pemerintah berkeinginan agar pengembangan panas bumi di Indonesia dapat berjalan dengan baik sehingga panas bumi dapat berperan sebagai salah satu pilar ketahanan energi nasional. Hal tersebut terlihat melalui penetapan Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN). Dalam Perpres tersebut, Pemerintah menargetkan kontribusi energi panas bumi pada tahun 2025 sebesar 9500 MW. Namun potensi panas bumi di Indonesia hanya 4% potensi yang telah dimanfaatkan. Salah satu lokasi potensi panas bumi adalah Gunung Ijen. Kompleks Gunung Ijen adalah gunung api yang mempunyai danau kawah dengan kedalaman sekitar 190 m dan mempunyai derajat keasaman yang sangat tinggi ($\text{pH} < 0,2$) serta volume air danau yang sangat besar, sekitar 36 juta m^3 (Irfandy, 2012). Dengan melimpahnya potensi panas bumi di Indonesia maka perlu adanya suatu kegiatan yang berupa kajian geosains terpadu untuk dapat memaksimalkan kandungan potensi yang ada disuatu wilayah panas bumi. Salah satu kajian yang dilakukan adalah melakukan pemetaan potensi.

Adapun penelitian ini melakukan pengolahan data citra Landsat 8, Sentinel 2, Peta RBI, dan data survei pendahuluan pada Kawasan Gunung Ijen. Penelitian ini melakukan pengolahan Indeks Vegetasi, suhu permukaan dan ketinggian. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi software pengolah citra, software pengolah angka, GPS Handheld untuk pengambilan koordinat di lapangan dan Laptop.

Suhu Permukaan pada daerah Gunung Ijen memiliki anomali dengan besar suhu berkisar antara 18o C hingga 38o C. Nilai korelasi terbaik dari ketinggian dan suhu permukaan tanah adalah -0,89 yaitu korelasi suhu permukaan bulan Januari. Sedangkan nilai uji korelasi indeks vegetasi Landsat 8 dan Sentinel 2 adalah 0,81. Matriks konfusi tutupan lahan memperoleh nilai sebesar 80%. Tutupan lahan pada daerah penelitian didominasi oleh hutan sebesar 35% dari luas wilayah penelitian. Terdapat wilayah potensi potensi panas bumi sangat tinggi pada Gunung Ijen dengan luas 39,43 Ha yang terletak pada kecamatan Wongsorejo dan berbatasan dengan Kecamatan Sempol.

Kata Kunci : Indeks vegetasi, Landsat 8, Panas bumi, Sentinel 2, Suhu permukaan

ANALYSIS OF GEOTHERMAL POTENTIAL USING LANDSAT 8 AND SENTINEL 2 (CASE STUDY : MOUNT IJEN)

Name : Ria Mardiana
NRP : 3513 100 052
Department : Teknik Geomatika FTSP-ITS
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo S, DEA, DESS.

ABSTRACT

Geothermal energy is also a heat energy found in the earth's internal (Smaragdenkis, 2016). A total of 252 geothermal locations in Indonesia are scattered following the path of volcanic formation that stretches from Sumatra, Java, Nusa Tenggara, Sulawesi to Maluku. With a total potential of around 27 GWe (Wahyuningsih, 2005). The government is eager for the development of geothermal in Indonesia can run well so that geothermal can act as one of the pillars of national energy. It is seen through the stipulation of Presidential Regulation no. 5 of 2006 on National Energy Policy (KEN). In the Presidential Regulation, the Government is targeting geothermal energy contribution in 2025 of 9500 MW. However, geothermal potential in Indonesia is only 4% of potential that has been utilized [4]. One of the geothermal hotspots is Mount Ijen. Mount Ijen Complex is a volcano that has a crater lake with a depth of about 190 m and has a very high degree of acidity ($\text{pH} < 0.2$) and the volume of lake water is very large, about 36 million m^3 (Irfandy, 2012). With the abundance of potential geothermal potential in Indonesia, it is necessary to have an activity in the form of integrated geoscience studies to be able to maximize the potential content that exists in a geothermal area. One of the studies conducted is to do potential mapping. This research performs image data processing of Landsat 8, Sentinel 2, RBI Map, and preliminary survey data on Gunung Ijen Area. This research carried out the Vegetation Index, surface temperature and altitude. The equipment used in this research includes image processing

software, number processing software, GPS Handheld for coordinate on field and Laptop. Surface Temperatures in the Ijen Mountain area have anomalies with large temperatures ranging between 18° C to 38° C. The best correlation value of altitude and ground surface temperature is -0.89 ie the correlation of January surface temperature. While the correlation test value of Landsat 8 and Sentinel 2 vegetation index was 0.81. The land cover confidence matrix scored 80%. Land cover in the research area is dominated by forests by 35% of the research area. There is a potential area of geothermal potential is very high on Mount Ijen with an area of 39.43 hectares located in Wongsorejo sub-district and adjacent to District Sempol.

Keywords : Geothermal, Landsat 8, Sentinel 2, Surface temperature, Vegetation index

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS POTENSI PANAS BUMI MENGGUNAKAN LANDSAT 8 DAN SENTINEL 2 (STUDI KASUS : GUNUNG IJEN)

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

RIA MARDIANA
NRP. 3513 100 052

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo S., DE A.D.E.S.S.
NIP. 19530527 198303 1 004

SURABAYA, JULI 2017



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kepada Allah SWT atas nikmat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul:

“ANALISIS POTENSI PANAS BUMI MENGGUNAKAN LANDSAT 8 DAN SENTINEL 2 (STUDI KASUS : GUNUNG IJEN)”

Laporan tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan tahap Strata I pada Jurusan Teknik Geomatika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulusnya kepada:

1. Keluarga penulis yang senantiasa memberikan do'a, dukungan, semangat, kasih sayang dan pengorbanannya selama ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo S., DEA., DESS selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan kepada penulis.
3. Bapak Ibu Dosen Teknik Geomatika atas bimbingan, ilmu yang diajarkan selama ini dan Bapak dan Ibu Tata Usaha, serta seluruh staff dan karyawan Teknik Geomatika yang telah membantu kelancaran proses akademis.
4. Bapak Khalis Rahman yang membantu dalam proses pengumpulan data dari PT. Medco Power Indonesia.
5. Teman-teman Jurusan Teknik Geomatika angkatan 2013 atas bantuan dan kerjasama selama kuliah dan pada saat penyusunan tugas akhir ini.

Akhir kata, Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kemudahan dalam aktifitasnya kepada semua pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Besar harapan penulis tugas akhir ini dapat memberi manfaat bagi pembaca. Sekian dan terima kasih

Surabaya, Juli 2017

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Panas Bumi (Geothermal)	5
2.1.1 Tipe-tipe Sistem Panas Bumi	6
2.1.2 Model Konseptual	7
2.2 Panas Bumi di Indonesia	7
2.3 Gunung Ijen.....	8
2.4 Penginderaan Jauh.....	10
2.4.1 Landsat 8	11
2.4.2 Sentinel 2	14
2.4.3 Pengolahan Data Citra	15
2.5 Peta Rupa Bumi.....	21
2.6 Digital Elevation Model (DEM).....	21
2.7 Survei Pendahuluan	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Lokasi Penelitian	25
3.2 Data dan Peralatan.....	26

3.2.1 Data.....	26
3.2.2 Peralatan	26
3.3 Metodologi Penelitian	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Hasil.....	33
4.1.1 Data Citra.....	33
4.2 Koreksi Geometrik	33
4.2.1 Perhitungan Kekuatan Jaring Titik Kontrol.....	33
4.2.2 Perhitungan GCP dan Nilai RMS <i>Error</i>	35
4.3 Pengolahan Citra untuk Suhu Permukaan Darat	36
4.4 Ketinggian Lahan	40
4.5 Tutupan Lahan.....	43
4.6 Kerapatan Vegetasi.....	45
4.7 Survei Pendahuluan	47
4.8 Manifestasi Panas Bumi	52
4.9 Analisa Potensi Panas Bumi	53
BAB V PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Model konseptual	7
Gambar 2. 2 Gunung Api Ijen	9
Gambar 3. 1 Lokasi penelitian	25
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data.....	29
Gambar 4. 1 Desain Jaring Titik Kontrol Citra Landsat 8	34
Gambar 4. 2 Desain Jaring Titik Kontrol Citra Sentinel 2	34
Gambar 4. 3 Hasil Pengolahan Citra Suhu Permukaan Darat bulan Januari	37
Gambar 4. 4 Hasil Pengolahan Citra Suhu Permukaan Darat Band bulan Mei	38
Gambar 4. 5 Hasil Pengolahan Citra Suhu Permukaan Darat bulan Agustus	38
Gambar 4. 6 Peta Ketinggian Lahan	40
Gambar 4. 7 Korelasi Ketinggian dengan Suhu Permukaan Januari	41
Gambar 4. 8 Korelasi Ketinggian dengan Suhu Permukaan Mei	42
Gambar 4. 9 Korelasi Ketinggian dengan Suhu Permukaan Agustus.....	42
Gambar 4. 10 Peta tutupan lahan.....	44
Gambar 4. 11 Peta Kerapatan Vegetasi Menggunakan Citra Landsat 8	46
Gambar 4. 12 Peta Kerapatan Vegetasi Menggunakan Citra Sentinel 2.....	47
Gambar 4. 13 Korelasi kerapatan vegetasi	47
Gambar 4. 14 Peta struktur geologi dan penyebaran batuan volkanik (Perencanaan Dan Program Kerja Pengembangan Panas Bumi Di Wkp Blawan – Ijen, 2012)	48
Gambar 4. 15 Peta resistivity anomali rendah $\leq 10 \Omega m$, berdasarkan metode tahana jenis kelistrikan, daerah panas-bumi Blawan – Ijen	49

Gambar 4. 16 Peta resistivitas lapisan konduktip, berdasarkan metode MT, daerah panas-bumi Blawan – Ijen.....	50
Gambar 4. 17 Peta Anomali Magnetik (nT), daerah panas-bumi Blawan – Ijen	51
Gambar 4. 18 Diagram segitiga anion (kiri) dan kation	52
Gambar 4. 19 Peta Manifestasi Panas Bumi.....	53
Gambar 4. 20 Peta Potensi Panas Bumi	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Band.....	12
Tabel 2. 2 Spesifikasi Sentinel 2	15
Tabel 2. 3 Kelas Kerapatan Vegetasi	20
Tabel 3. 1 Klasifikasi potensi panas bumi.....	31
Tabel 4. 1 Nilai RMS <i>Error</i> Citra Landsat 8.....	35
Tabel 4. 2 Nilai RMS <i>Error</i> Citra Sentinel 2	36
Tabel 4. 3 Suhu Permukaan.....	39
Tabel 4. 4 Pedoman Interpretasi Koefisien Korelasi (Sugiyono, 2007)	40
Tabel 4. 5 Hasil Tutupan Lahan	44
Tabel 4. 6 Pedoman Interpretasi Koefisien Korelasi (Kehutanan, 2012)	45
Tabel 4. 7 Luas Potensi Panas Bumi	54

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Koordinat Lapangan

Lampiran 2. Citra Satelit

Lampiran 3. Meta Data

Lampiran 4. Peta

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebanyak 252 lokasi panas bumi di Indonesia tersebar mengikuti jalur pembentukan gunung api yang membentang dari Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara, Sulawesi sampai Maluku. Dengan total potensi sekitar 27 GWe (Wahyuningsih, 2005). Ditinjau dari munculnya panas bumi di permukaan per satuan luas, Indonesia menempati urutan keempat dunia, bahkan dari segi temperatur yang tinggi, merupakan kedua terbesar.

Pemerintah berkeinginan agar pengembangan panas bumi di Indonesia dapat berjalan dengan baik sehingga panas bumi dapat berperan sebagai salah satu pilar ketahaan energi nasional. Hal tersebut terlihat melalui penetapan Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN). Dalam Perpres tersebut, Pemerintah menargetkan kontribusi energi panas bumi pada tahun 2025 sebesar 9500 MW (Ibrahim, 2009). Namun potensi panas bumi di Indonesia hanya 4% potensi yang telah dimanfaatkan (Irfandry, 2012).

Salah satu sumber energi panas bumi yang tersimpan di Indonesia berada di Gunung Ijen. Gunung Ijen berada di Kecamatan Licin dan Kecamatan Sempol, Kabupaten Banyuwangi dan Bondowoso, Jawa Timur. Ketinggian danau kawah Gunung Ijen mencapai 2145 m dan tepi kawahnya mencapai 2386 dari permukaan laut. Saat ini kawah Ijen berukuran sekitar 1160 m x 1160 m, dengan danau kawah Ijen berukuran sekitar 910 m x 600 m serta mempunyai kedalaman sampai 200 m (Abidin, 2007).

Energi panas bumi merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat digunakan sebagai alternatif karena energi berbahan baku fosil semakin langka. Energi tersebut bersih dan dianggap lebih aman karena tidak membutuhkan ruang besar untuk keper-

luan eksplorasi dan eksploitasi. Selain energi panas bumi menghasilkan uap yang dapat dicampur juga ke udara (Siahaan, 2011). Selain itu, bahwa panas bumi adalah sumber daya alam yang dapat diperbarui, berpotensi besar, yang dikuasai oleh negara dan mempunyai peranan penting sebagai salah satu sumber energi pilihan dalam keanekaragaman energi nasional untuk menunjang pembangunan nasional yang berkelanjutan demi terwujudnya kesejahteraan rakyat (UU 27, 2003).

Pemanfaatan energi panas bumi ini menjadi salah satu upaya pemerintah dalam diversifikasi sumber energi. Direncanakan pada tahun 2010 telah berproduksi 3600 MW energi listrik dari panas bumi. Kebijakan ini banyak menarik investor asing, bahkan akhir-akhir ini, daerah-daerah panas bumi dengan potensi produksi sekitar 20 MW juga menarik minat investor (Sutrisno, 1995).

Dengan melimpahnya potensi panas bumi di Indonesia maka perlu adanya suatu kegiatan yang berupa kajian geospasial terpadu untuk dapat memaksimalkan kandungan potensi yang ada di suatu wilayah panas bumi. Salah satu kajian yang dilakukan adalah melakukan pemetaan potensi. Dimana kegunaan dari peta potensi tersebut yaitu untuk mendeskripsikan informasi geospasial dari suatu wilayah geothermal untuk mengetahui area potensi dari adanya kandungan geothermal. Untuk mengejar target tersebut diperlukan penguasaan teknologi dan ilmu pengetahuan pengelolaan energi panas bumi dalam waktu yang relatif sangat singkat

Kemajuan teknologi saat ini dalam bidang penginderaan jauh harus dimanfaatkan dengan baik. Memanfaatkan teknologi penginderaan jauh yang memiliki ketelitian pengamatan yang tinggi dan biaya relatif murah untuk persatuan luas sehingga memberikan kemungkinan untuk mengintegrasikan tingkat keakuratan dan efisiensi dalam penyediaan data dan informasi panas bumi geothermal. Dengan menggunakan citra satelit Landsat 8 kita dapat memperoleh nilai kerapatan vegetasi dan suhu permukaan tanah dari area tersebut sedangkan dengan

menggunakan DEM dari peta RBI digunakan untuk memperoleh ketinggian lahan yang dibentuk dari digital elevation model dari suatu area dan untuk peta tutupan lahan menggunakan analisa dari citra Landsat 8 dan Sentinel 2.

Biasanya penelitian untuk menetapkan bahwa suatu lokasi energi panas bumi itu layak dikelola atau tidak memerlukan waktu yang cukup lama oleh karena itu digunakan peran citra satelit alternatif sebagai solusi untuk mempercepat dan lebih mengefisienkan waktu untuk meneliti tersebut terutama pada proses pemetaannya.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dari penelitian yang akan dilakukan yaitu :

- a) Bagaimana cara mendapatkan area dengan anomali kerapatan vegetasi, dan anomali suhu permukaan dari hasil pengolahan citra Landsat 8.
- b) Bagaimana cara mendapatkan area dengan anomali kerapatan vegetasi dan tutupan lahan dari hasil pengolahan citra Sentinel 2.
- c) Bagaimana cara memetakan area potensi panas bumi dari hasil pengolahan citra dan survei pendahuluan.
- d) Bagaimana menganalisa potensi panas bumi dari pengolahan citra Landsat 8 dengan data kontur.

1.3. Batasan Masalah

Adapun ruang lingkup tugas akhir ini terbatas, dengan garis besar kajian sebagai berikut:

- a. Wilayah penelitian ini meliputi Kawasan Gunung Ijen yang berada di Kecamatan Licin dan Kecamatan Sempol, Kabupaten Banyuwangi dan Bondowoso, Jawa Timur.
- b. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra Landsat 8 dan data kontur Peta RBI, Sentinel 2, 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 kontur Peta RBI untuk mengetahui ketinggian area penelitian.
- d. Pengolahan Sentinel 2 untuk mendapatkan nilai kerapatan vegetasi dan tutupan lahan.
- e. Hasil penelitian adalah informasi geospasial dasar potensi panas bumi.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Menghasilkan informasi geospasial dasar potensi panas bumi berdasarkan pengolahan citra Landsat 8, Sentinel 2 dan analisa data Survei Pendahuluan.
- b. Melakukan analisa potensi panas bumi dari pengolahan data Landsat 8, tutupan lahan, data kontur peta RBI dan algoritma NDVI

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah menentukan daerah yang berpotensi panas bumi sehingga dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam pengambilan kebijakan untuk pengembangan dan peningkatan sumber daya energi terbarukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Panas Bumi (Geothermal)

Energi panas bumi adalah energi panas alami dari dalam bumi yang di transfer ke permukaan bumi secara konduksi dan konveksi. Energi panas bumi juga merupakan energi panas yang terdapat pada internal bumi (Smaragdenkis dkk, 2016). Secara umum perubahan kenaikan temperatur terhadap kedalaman dikerak bumi adalah $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Jika diasumsikan temperatur rata-rata permukaan bumi adalah 15°C , maka dikedalaman 3 km, temperaturnya akan mencapai 105°C . Akan tetapi temperatur tersebut kurang menguntungkan dari sisi ekonomis untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi panas bumi. Jika disuatu lokasi ditemukan fumarole dan mata air panas, maka sudah pasti dibawahnya ada sumber panas bumi yang membuat temperatur air tanah meningkat dan tentunya hanya berada di lokasi tertentu dengan kondisi geologi yang khas. Pengamatan yang mudah adalah dengan mencari keberadaan manifestasi membuatnya keluar kepermukaan tanah sebagai air panas (Suparno, 2009).

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 diatasnyasampai suhu yang cukup tinggi ($100 - 250^{\circ}\text{C}$) (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, geyser yang merupakan contoh manifestasi thermal yang lain (Rukhiyat, 2012).

Pemanfaatan energi geothermal juga memiliki banyak kelebihan bila dibandingkan dengan penggunaan energi konvensional yaitu energi panas bumi merupakan energi terbarukan, energi yang bersih dan ramah lingkungan, sebagai sumber energi lokal, biaya pemeliharaan fasilitas hidrothermal yang murah, dan keamanan yang teruji (Smaragdenkis dkk, 2016). Sumber daya panas bumi yang ditandai dengan emisi CO₂ kecil, memiliki cadangan besardi kerak dangkal (<3 km), dan rasio utilisasi kapasitas yang jauh lebih tinggi (lebih dari 70%) dibandingkan sumber energi lain. Selain penggunaan sumber panas bumi untuk pembangkit listrik, dapat pula digunakan untuk pemanas ruangan, pertanian dan pemanas industri. Penilaian yang akurat dari sistem panas bumi termasuk struktur geologi, aliran fluida, dan distribusi temperatur dari permukaan tanah hingga kedalaman besar (3-10 km) adalah penting untuk meningkatkan penggunaan dan pengembangan sumber daya panas bumi. (Tian dkk, 2015).

2.1.1 Tipe-tipe Sistem Panas Bumi

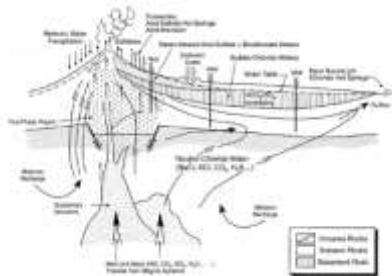
Lebih jauh lagi, pembagian sistem panasbumi menurut Goff dan Cathy dalam (Suparno,2009), berdasarkan kriteria geologi, geofisika, hidrologi, dan teknologi, dapat dibagi atas 5 tipe, yaitu:

1. Sistem batuan beku muda (Young igneous systems)
2. Sistem tektonik (tectonic systems)
3. Geopressured systems
4. Hot dry rock systems
5. Magma tap systems

Dari tipe satu sampai tipe tiga, air panas alami bisa diperoleh lewat kegiatan eksploitasi. Karena itu, ketiganya bisa disatukan menjadi sistem hidrotermal (hydrothermal systems). Sementara untuk tipe empat dan lima, air panas alami tidak bisa diperoleh. Justru kedua sistem itu memerlukan air yang diinjeksikan kedalam bumi lalu air tersebut disedot kembali untuk diambil panasnya.

2.1.2 Model Konseptual

Model konseptual sistem panasbumi di daerah andesitic stratovolcano aktif. Temperatur intrusi magma andesit biasanya berkisar antara 850 hingga 1050° C. Air meteorik turun dari ke bawah tanah dan terpanaskan oleh batuan intrusi yang menyebabkan terjadinya sirkulasi air panas (Suparno, 2009).



Gambar 2. 1 Model konseptual

Panasbumi sistem batuan beku muda yang terdapat di andesitic stratovolcano. Reservoir panasbumi bertemperatur ≥ 200 C dengan kedalaman $\leq 1,5$ km, sementara kedalaman batuan intrusi (intrusive rocks) berkisar antara 2 - 10 km. Dimens lateral dari reservoir hingga outflow dapat melebihi 20 km.

2.2 Panas Bumi di Indonesia

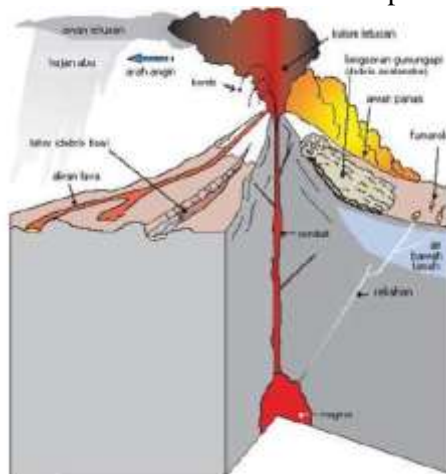
Potensi energi panas bumi di Indonesia yang mencapai 27 GWe sangat erat kaitannya dengan posisi Indonesia dalam kerangka tektonik dunia. Ditinjau dari munculnya panas bumi

di permukaan per satuan luas, Indonesia menempati urutan keempat dunia, bahkan dari segi temperatur yang tinggi, merupakan kedua terbesar. Sebagian besar energi panas bumi yang telah dimanfaatkan di seluruh dunia merupakan energi yang diekstrak dari sistem hidrotermal, karena pemanfaatan dari hot-igneous system dan conduction-dominated system memerlukan teknologi ekstraksi yang tinggi. Sistem hidrotermal erat kaitannya dengan sistem vulkanisme dan pembentukan gunung api pada zona batas lempeng yang aktif di mana terdapat aliran panas (heat flow) yang tinggi. Indonesia terletak di pertemuan tiga lempeng aktif yang memungkinkan panas bumi dari kedalaman ditransfer ke permukaan melalui sistem rekahan. Posisi strategis ini menempatkan Indonesia sebagai negara paling kaya dengan energi panas bumi sistem hidrotermal yang tersebar di sepanjang busur vulkanik. Sehingga sebagian besar sumber panas bumi di Indonesia tergolong mempunyai entalpi tinggi. Sampai tahun 2004, sebanyak 252 area panas bumi telah diidentifikasi melalui inventarisasi dan eksplorasi. Sebagian besar dari jumlah area tersebut terletak di lingkungan vulkanik, sisanya berada di lingkungan batuan sedimen dan metamorf. Dari jumlah lokasi tersebut mempunyai total potensi sumber daya dan cadangan panas bumi sebesar sekitar 27.357 MWe. Dari total potensi tersebut hanya 3% (807 MWe) yang telah dimanfaatkan sebagai energi listrik dan menyumbangkan sekitar 2% dalam pemakaian energi listrik nasional (Wahyuningsih, 2005).

2.3 Gunung Ijen

Kompleks Gunung Ijen merupakan gunung api strato yang terletak di ujung timur Pulau Jawa, dengan karakteristik yang berbeda dengan gunung api lainnya di Indonesia. Kompleks Gunung Ijen adalah suatu gunung api yang terdiri atas beberapa gunung api yang tumbuh di sekitar dinding dan di dalam kaldera Ijen Tua. Kawah Ijen adalah salah satu gunung api yang sampai saat ini masih aktif yang tumbuh di dalam Kaldera Ijen Tua.

Kaldera tersebut merupakan depresi gunung api besar berdiameter 14-16 km dan berbentuk elips.



Gambar 2. 2 Gunung Api Ijen

Keunikan Kompleks Gunung Ijen dibandingkan dengan gunung api lainnya di Indonesia adalah sebagai model perpaduan antara pertumbuhan gunung api poligenetik dan monogenetik yang tumbuh di dalam dan di pinggir kaldera. Pada umumnya aktivitas gunung api pasca pembentukan kaldera membentuk kompleks gunung api monogenetik tetapi pada gunung api yang berukuran besar membentuk gunung api poligenetik yang umumnya tumbuh pada dinding kaldera. Selain itu, keunikan Kompleks Gunung Ijen adalah gunung api yang mempunyai danau kawah dengan kedalaman sekitar 190 m dan mempunyai derajat keasaman yang sangat tinggi ($pH < 0,2$) serta volume air danau yang sangat besar, sekitar 36 juta m^3 . Sejarah pembentukan gunung api ini pada masa lampau menjadikan Kawah Ijen memiliki potensi untuk menghasilkan lahar letusan, selain potensi ancaman bahaya erupsi lainnya. Jumlah populasi yang cukup padat di kawasan rawan bencana gunung api dan jumlah wisatawan yang cukup banyak

menimbulkan permasalahan yang sangat penting dalam mitigasi bencana Gunung Ijen (Zeannudin, 2012).

Letusan yang pertama kali tercatat dalam sejarah letusan Gunung Ijen terjadi pada tahun 1796 yang diperkirakan berupa letusan preatik. Selanjutnya juga tercatat letusan atau peningkatan aktivitas pada tahun-tahun 1817, 1917, 1936, 1952, 1962, 1976, 1991, 1993, 1999, 2000, 2001 dan 2004. Letusan yang pernah terjadi di Gunung Ijen adalah preatik dan magmatik. Letusan preatik lebih sering terjadi karena Gunung Ijen berdanau kawah. Adanya kontak langsung atau tidak langsung antara air dengan magma membentuk uap yang bertekanan tinggi yang menyebabkan terjadinya letusan. Dari sejarah kegiatannya, sejak tahun 1991 letusan preatik terjadi setiap satu sampai 3 tahun sekali. Sedangkan tahun 1917 sampai 1991 periode letusan tercatat 6 sampai 16 tahun sekali. Letusan besar yang menelan korban manusia adalah pada tahun 1817 (Abidin, 2007).

2.4 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. Penginderaan jauh adalah ilmu memperoleh informasi objek tanpa benar-benar berada di sana. Pada penginderaan jauh pasif memiliki panjang gelombang thermal infrared (TIR). Dengan metode tersebut kita dapat memperoleh informasi termal tentang area yang luas secara mudah (Einarsson & Kristinsson, 2010). Resolusi Spektral pada citra penginderaan jauh telah digunakan lebih dari sejumlah gunung berapi, hidrotermal aktif, dan situs panas bumi untuk suhu, struktur, dan pemetaan mineral (Calvin dkk, 2015).

Dalam melakukan interpretasi citra, ada beberapa hal yang harus di perhatikan antara lain (Ruhitman, 1998) :

- a. Rona dan warna, dimana rona adalah tingkat kecerahan atau kegelapan suatu objek yang terdapat pada citra lainnya

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.

Penginderaan jauh merupakan bagian penting dari vulkanologi saat ini untuk eksplorasi dan monitoring sistem panas bumi. Perubahan hidrotermal terkait dengan aktivitas panas bumi yaitu, tinggi suhu dan tekanan dari letusan magmatik, interaksi atau tekanan overburden yang mengubah mineral awalnya dibentuk untuk cadangan mineral. Pemantauan perubahan hidrotermal daerah juga bisa memberikan indikasi aktivitas termal dari setiap gunung berapi aktif. Daerah telanjang pada gunung berapi menunjukkan adanya perubahan mineral dan dapat dipetakan dengan menggunakan citra satelit, yang juga menunjukkan zona aktif panas bumi dari setiap gunung berapi. Jadi, data penginderaan jauh dapat digunakan untuk memetakan mineral indikator panas bumi untuk daera yang luas, dan mengidentifikasi daerah baru yang memiliki potensi panas bumi (Bodruddoza dkk, 2014).

2.4.1 Landsat 8

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 inisialisasi dan kalibrasi kegiatan. Data Landsat 8 akan tersedia secara gratis (tanpa biaya) untuk didownload 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). Sejak tahun 1960 Thermal Infrared pada satelit dan aktivitas vulkanik gunung api memiliki hubungan erat karena dapat digunakan untuk memantau emisi panas yang terdapat pada aktivitas vulkanik gunung api (Blackett, 2014) (Bodruddoza dkk, 2014).

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 dan dua band thermal, yaitu:

Tabel 2. 1 Karakteristik Band

Band Spektral	Panjang Gelombang (μ)	Resolusi Spasial (meter)	Kegunaan dalam pemetaan
Band 1 – Coastal Aerosol	0,43 – 0,45	30	Penelitian Coastal dan Aerosol
Band 2 – Blue	0,45 – 0,51	30	Pemetaan batimetri, membedakan tanah

			dari vegetasi dan gugur dari vegetasi konifer
Band 3 – Green	0,53 – 0,59	30	Menekankan vegetasi puncak, yang berguna untuk menilai kekuatan tanaman
Band 4 – Red	0,64 – 0,67	30	Discriminasi lereng vegetasi
Band 5 – Near InfraRed	0,85 – 0,88	30	Menekankan konten biomassa dan garis pantai
Band 6 – Short Wavelength InfraRed	1,57 – 1,65	30	Mendiskriminasikan kadar air tanah dan vegetasi; menembus awan tipis
Band 7 – Short Wavelength InfraRed	2,11 – 2,29	30	Meningkatkan kadar air dari tanah dan vegetasi dan penetrasi awan tipis
Band 8 – Panchromatic	0,50 – 0,68	15	Resolusi 15 meter, definisi gambar yang lebih tajam

Band 9 – Cirrus	1,36 – 1,38	30	Peningkatan deteksi kontaminasi awan cirrus
Band 10 – Long Wavelength InfraRed	10,60 – 11,19	100	Resolusi 100 meter, pemetaan termal dan memperkirakan kelembaban tanah
Band 11 – Long Wavelength InfraRed	11,50 – 12,51	100	Resolusi 100 meter, peningkatan pemetaan thermal dan memperkirakan kelembaban tanah

2.4.2 Sentinel 2

Sentinel-2 akan membawa muatan alat optik yang akan sampel 13 band spektral: empat band dengan resolusi spasial 10 m, enam band resolusi spasial 20 m dan tiga band pada resolusi spasial 60 m.

Sentinel 2 dapat digunakan untuk pemantauan tanah dan dengan cakupan yang sering dan sistematis dapat mendukung pemetaan tutupan lahan, klasifikasi dan perubahan peta, dan penilaian yang akurat dari parameter biogeofisik seperti Indeks Leaf Lokasi (LAI) dan Leaf Klorofil Content (LCC).

Ukuran piksel tergantung pada level produk. Berikut adalah beberapa level produk Sentinel 2, antara lain (Esa, 2015):

- a. Untuk produk Level-1B Level-0, dan Level-1A: memiliki jumlah baris di sepanjang trek dan dipisahkan oleh detektor. Dengan jangkauan pengukuran 25 km dan 23 km di sepanjang jalur dalam ukuran.

b. Untuk produk orthorectified (Level-1C dan Level-2A): terdiri dari 100 km dan 100 km persegi orto-gambar dalam proyeksi UTM / WGS84.

Berikut ini adalah spesifikasi band pada Sentinel 2 (Esa, 2015)

:

Tabel 2. 2 Spesifikasi Sentinel 2

Band	Resolusi (m)	Panjang gelombang tengah (nm)	Kegunaan
B01	60	443	Deteksi Aerosol
B02	10	490	Biru
B03	10	560	Hijau
B04	10	665	Merah
B05	20	705	Klasifikasi Vegetasi
B06	20	740	Klasifikasi Vegetasi
B07	20	783	Klasifikasi Vegetasi
B08	10	842	Near Infrared
B08A	20	865	Klasifikasi Vegetasi
B09	60	945	Uap Air
B10	60	1375	Cirrus
B11	20	1610	Salju/es/awan
B12	20	2190	Salju/es/awan

2.4.3 Pengolahan Data 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.

1. Koreksi Geometrik

Koreksi Geometrik mempunyai tujuan untuk menyesuaikan koordinat pixel pada citr 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 (*levelone 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 sistematik, (*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. 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).

Berikut merupakan rumus mengubah DN ke reflektan (USGS, 2001) :

$$\rho_{\lambda^c} = M_p Q_{cal} + A_p$$

Dimana;

ρ_{λ^c} = TOA planetary reflectance, tanpa koreksi solar angle

M_p = Band-specific multiplicative rescaling factor dari metadata (Reflectance_Mult_Band_x, dimana x adalah nomer band)

A_p = Band-specific additive rescaling factor dari metadata (Reflectance_Add_Band_x, dimana x adalah nomer band)

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

Berikut umus yang digunakan untuk mengubah DN ke radiance (L) adalah sebagai berikut:

$$L\lambda = MLQ_{cal} + AL$$

Dimana:

$L\lambda$ = TOA spectral radiance (Watts/(m² * srad * μ m))

ML = Band-specific multiplicative rescaling factor dari metadata (Radiance_Mult_Band_x, dimana x adalah nomer band)

AL = Band-specific additive rescaling factor dari metadata (Radiance_Add_Band_x, dimana x adalah nomer band)

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

3. 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.

Konstanta kalibrasi data citra landsat, USGS (2001):

$$TB = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda}\right) + 1}$$

Dimana :

T = Top of Atmosphere Brightness Temperature dalam Kelvin.

$L\lambda$ = Spectral radian (Watts/(m² * sr * μ m))

K_1 = Konstanta Thermal pada band ($K_1_Constant_Band_n$ dari metadata)

K_2 = Konstanta Thermal pada band

($K_2_Constant_Band_n$ dari metadata)

Suhu permukaan tanah pada daerah penelitian dihitung dengan metode semi empiris dimana emisivitas permukaan diperoleh berdasarkan klasifikasi nilai Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Dengan ρ_{nir} dan ρ_{red} adalah nilai reflektansi kanal 5 dan kanal 4 pada citra Landsat 8.

Suhu permukaan tanah diperoleh dari pengolahan kanal inframerah thermal citra Landsat 8 yaitu kanal 10. Digital number kanal 10 terlebih dahulu diubah ke dalam bentuk radiansi.

Suhu permukaan tanah dihitung mengikuti persamaan Jimenez-Munoz dan Sobrino dalam Qin dkk (2011) sebagai berikut:

$$Ts = \frac{T_{sensor}}{1 + (\lambda \frac{T_{sensor}}{h c/j}) \ln \epsilon} - 273$$

dengan T_s adalah suhu permukaan tanah dalam $^{\circ}C$, λ adalah panjang gelombang emisi radiansi efektif pada sensor TIR (11.5 μ m), h adalah tetapan Planck (6.626x10⁻³⁴ Js), c adalah kecepatan cahaya (2.998 x 10⁸ m.s-1), j adalah tetapan Boltzmann (1.38 x 10⁻²³ JK-1). T_{sensor} adalah kecerahan suhu dalam satuan Kelvin yang dihitung berdasarkan persamaan berikut (USGS, 2015):

$$T_{sensor} = \frac{K_2}{1 + (\frac{K_1}{L_{sensor}})}$$

Dengan K_1 dan K_2 adalah tetapan konversi spesifik kanal inframerah thermal yang terdapat pada metadata citra, dan L_{sensor} adalah digital number kanal 10 yang telah diubah ke dalam nilai radiansi (Azhari, 2016).

4. Indeks Vegetasi

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 (Kustiyo, 2005):

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}$$

Dimana:

ρ_{NIR} = Nilai reflectance kanal inframerah dekat

ρ_{RED} = Nilai reflectance kanal merah

NDVI Landsat 8 = (Band 5 – Band 4) / (Band 5 + Band 4)

NDVI Sentinel 2 = (Band 8 – Band 4) / (Band 8 + 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 pengkelasan kembali dari indeks vegetasi yang ada mengacu pada peraturan Departemen Kehutanan tahun 2012 yang membagi kelas kerapatan vegetasi hasil NDVI menjadi tiga kelas yaitu lahan tidak bervegetasi, kehijauan sangat rendah, kehijauan rendah, kehijauan sedang, dan kehijauan tinggi. (Kehutanan, 2012)

Tabel 2. 3 Kelas Kerapatan Vegetasi

Kelas	Kisaran NDVI	Tingkat Kerapatan
1	-1 – (-0.03)	Lahan tidak bervegetasi
2	-0.03 - 0.15	Kehijauan sangat rendah
3	0.15 - 0.25	Kehijauan rendah
4	0.26 - 0.35	Kehijauan sedang

2.5 Peta Rupa Bumi

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 (Robawa, 2016).

2.6 Digital Elevation Model (DEM)

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 (Frederic J. Doyle, 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 kelerengan (slope) yang berguna untuk analisa permukaan (Kustiyo, 2005).

2.7 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.

a. 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.

b. 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.

c. 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) (Robawa, 2016).

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh (Hazwendra, 2015) dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Landsat 8 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 ini mengambil daerah studi di Gunung Arjuno - Welirang yang terletak diantara Kabupaten Malang, Kabupaten Mojokerto, dan Kabupaten Pasuruan Propinsi Jawa Timur. Secara geografis

kawasan ini berada pada koordinat $112^{\circ}29'12''$ - $112^{\circ}37'39''$ BT dan $7^{\circ}37'56''$ - $7^{\circ}49'51''$ LS dengan luas daerah penyelidikan sekitar 15×25 km². Selain itu, penelitian dilakukan oleh (Robawa, 2016) penelitian tersebut menggunakan 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 dengan lokasi penelitian Gunung Lawu yang sebagian besar termasuk ke dalam Kecamatan Metasih, Karangpandan, Jenawi, Tawangmangu, Ngargoyoso, Kabupaten Karanganyar Provinsi Jawa Tengah dan sebagian kecil termasuk Kecamatan Plaosan, Poncol Kabupaten Magetan Provinsi Jawa Timur.

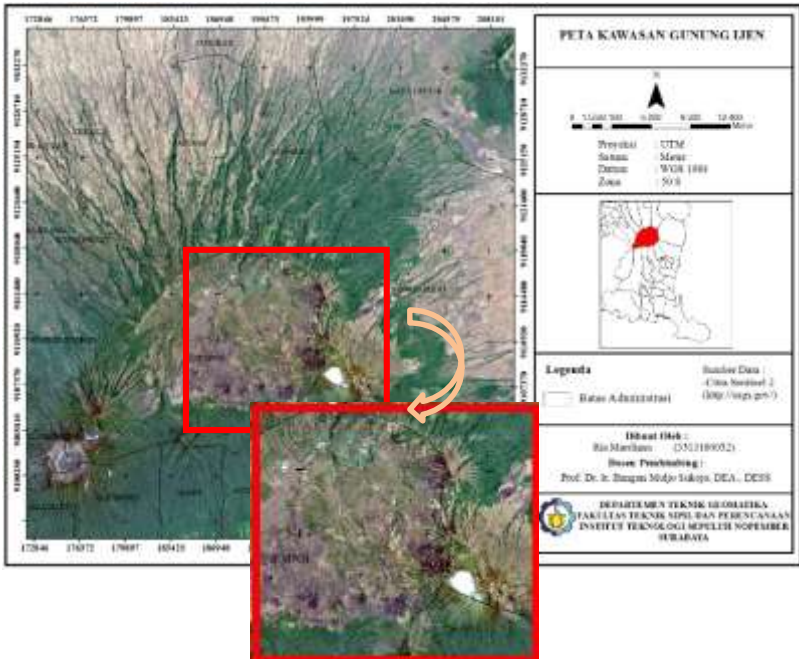
Kemudian terdapat penelitian yang dilakukan oleh (Mahardianti, 2013), penelitian tersebut berjudul Analisa Penggunaan Lahan di Kecamatan Sempol Kabupaten Bondowoso Untuk Optimalisasi Pemanfaatan Energi Panas Bumi Dengan Sistem Informasi Geografis dengan menggunakan data Citra Landsat 7 ETM, Peta RBI Kecamatan Sempol skala 1:25.000, dan Data Geologi, Geofisika dan Geokimia daerah Blawan-Ijen. Penelitian tersebut menunjukkan korelasi nilai indeks vegetasi, suhu permukaan tanah, ketinggian lahan, kemiringan lahan dan tutupan lahan untuk mendapatkan potensi panas bumi sehingga didapatkan analisa penggunaan lahan pada Kecamatan Sempol. Selanjutnya adalah penelitian (Firdaus, 2013) mengenai Studi Upaya Pengelolaan Lingkungan (UKL) Eksplorasi Geothermal di Kecamatan Sempol, Kabupaten Bondowoso dengan Sistem Informasi Geografis dengan data Peta RBI Kecamatan Sempol skala 1:25.000, Citra Landsat 7 ETM+ path/row 117/66 tahun 2003, Peta Vektor Jawa Timur, Peta Batas Wilayah Kerja Eksplorasi Geothermal, Data Ground Truth di area studi, RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah) Bondowoso Tahun 2011 -2031, Dokumen UKL dan UPL Eksplorasi Geothermal dan Peta Suhu Jatim dari stasiun klimatologi oleh BMKG Karangploso Bulan Mei Tahun 2003. Pada penelitian tersebut menunjukkan korelasi nilai

indeks vegetasi, suhu permukaan tanah dan tutupan lahan untuk mendapatkan potensi panas bumi sehingga dihasilkan rona awal lingkungan eksplorasi geothermal.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini mengambil lokasi studi Gunungapi Ijen merupakan gunungapi strato berdanau kawah yang terletak di Kecamatan Licin dan Kecamatan Sempol, Kabupaten Banyuwangi dan Bondowoso, Jawa Timur. Gunung ini berjarak sekitar 33 km dari Banyuwangi dengan posisi geografi sekitar $8^{\circ}3,5'$ LS dan $114^{\circ}14,5'$ BT.



Gambar 3. 1 Lokasi penelitian

3.2 Data dan Peralatan

Data dan Peralatan yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.2.1 Data

Data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini yaitu :

- a. Citra Landsat 8 bulan Januari, Mei dan Agustus tahun 2016.
- b. Data survei pendahuluan panas bumi di Gunung Ijen yaitu data geologi, data geokimia, dan data geofisika.
- c. Citra Sentinel 2 bulan Oktober tahun 2015.
- d. Peta RBI skala 1:25.000 Kecamatan Sempol dan Tetelan.

3.2.2 Peralatan

Alat yang digunakan dalam Tugas Akhir ini dibagi menjadi dua, yaitu :

a. *Hardware*

- Hardware yang digunakan dalam penelitian penelitian ini yaitu Laptop digunakan untuk melakukan pengolahan data Landsat 8 dan pembuatan laporan penelitian.
- GPS Handheld Garmin digunakan untuk mengambil koordinat daerah penelitian.

b. *Software*

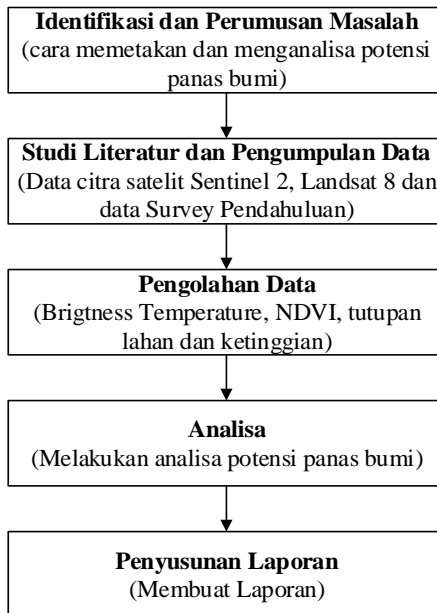
Software yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini yaitu:

- *Software* Pengolah Angka
- *Software* Pengolah Data Citra

3.3 Metodologi Penelitian

3.3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

a. Tahap Persiapan

Dalam tahapan ini meliputi :

1. **Identifikasi dan perumusan masalah**
Melakukan identifikasi dan perumusan masalah untuk memperoleh dan merumuskan masalah. Permasalahan dalam penelitian ini yaitu bagaimana cara memetakan potensi panas bumi menggunakan citra satelit Landsat 8.
2. **Studi Literatur**
Mendapatkan referensi berkaitan dengan pemrosesan data citra satelit dan analisa potensi panas bumi.
3. **Pengumpulan Data**
Mendapatkan data-data yang akan diolah dan data pendukung untuk melakukan proses analisa potensi panas bumi. Data pendukung berupa citra Landsat 8 dan sentinel 2 yang di unduh pada <http://usgs.gov/>. data survei pendahuluan didapatkan

dari PT. Medco Power Indonesia dan Peta RBI didapatkan dari Departemen Teknik Geomatika.

b. Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data citra Landsat 8 untuk mendapatkan nilai suhu permukaan dan nilai kerapatan vegetasi. Untuk mengetahui kenampakan morfologinya digunakan data DEM yang diperoleh dari digitasi peta RBI dan selanjutnya lakukan overlay data sekunder berupa data survei pendahuluan untuk menghasilkan peta potensi panas bumi. Untuk tutupan lahan menggunakan citra Landsat 8 dan Sentinel 2.

c. Tahap Analisa Data

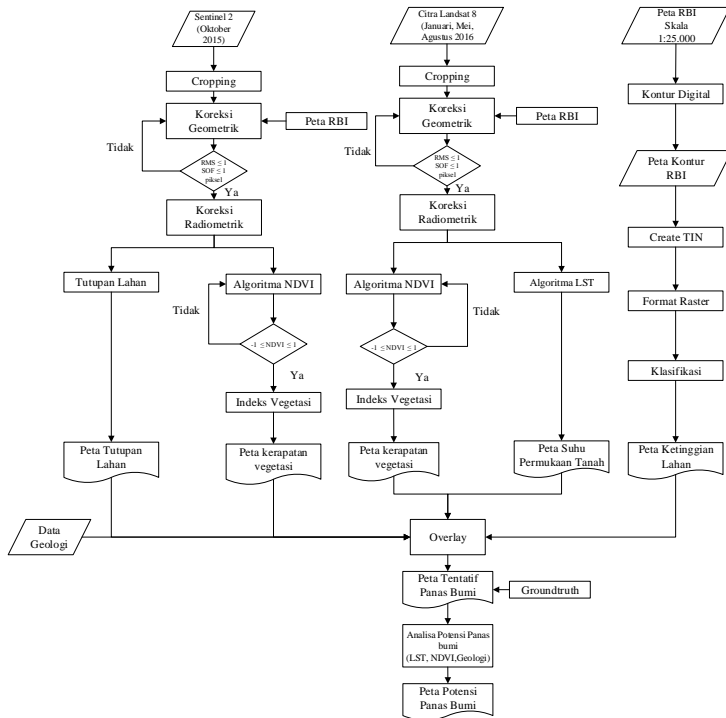
Pada tahap ini data yang telah diproses kemudian dilakukan analisa besarnya potensi panas bumi pada kawasan Gunung Ijen berdasarkan dari suhu permukaan, kerapatan vegetasi, struktur geologi, tutupan lahan dan ketinggian. Sehingga didapatkan hasil akhir berupa Peta potensi panas bumi.

d. Tahap Penyusunan Laporan

Pada tahap ini merupakan tahapan terakhir dari penelitian yaitu menyusun laporan berisi informasi daerah yang memiliki potensi panas bumi di Gunung Ijen.

3.3.2 Tahap Pengolahan Data

Berikut merupakan flowchart penelitian :



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data

Penjelasan langkah-langkah yang dilakukan dalam pengolahan data pada gambar 3.3 yaitu :

1. Melakukan cropping citra Landsat 8 dan Sentinel 2 pada daerah yang diinginkan untuk mempermudah pengolahan data karena lebih fokus pada daerah penelitian.

2. Melakukan koreksi geometrik agar koordinat yang dimiliki citra sesuai dengan koordinat kondisi lapangan. Proses ini dilakukan dengan menempatkan titik Ground Control Point (GCP) di citra yang belum terkoreksi berdasarkan citra yang telah

terkoreksi oleh Peta RBI 1:25000. Citra yang dapat dikatakan terkoreksi jika memenuhi batas toleransi yang didasarkan dari nilai $RMS\ Error \leq 1$ piksel dan $SOF \leq 1$.

3. Melakukan koreksi radiometrik untuk merubah nilai *Digital Number (DN)* ke *Spectral Radiance*. Koreksi radiometrik bertujuan untuk memperbaiki distorsi akibat adanya gangguan yang terdapat pada atmosfer saat proses perekaman citra. Selain itu juga dilakukan koreksi geometrik agar koordinat di peta sama dengan koordinat di lapangan.

4. Untuk mendapatkan peta tutupan lahan pada Sentinel 2, metode yang digunakan yaitu klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dengan metode maximum likelihood. Dilakukan 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.

5. Pengolahan citra Landsat 8 untuk mendapatkan peta kerapatan vegetasi (NDVI) dan peta suhu permukaan tanah. Band yang digunakan untuk mendapatkan nilai suhu permukaan tanah adalah band 10 dan 11 sedangkan untuk mendapatkan nilai kerapatan vegetasi digunakan band 4 dan 5. Lakukan pula pengolahan sentinel 2 untuk mendapatkan nilai kerapatan vegetasi menggunakan band 8 dan 4.

6. Melakukan pemrosesan data DEM dari digitasi Peta RBI selanjutnya dari data DEM dilakukan konversi ke format TIN surface yang menampilkan model permukaan bumi pada area penelitian. Sehingga mendapatkan ketinggian pada daerah yang diteliti.

7. Melakukan digitasi peta geologi untuk mendapatkan data geologi jika disuatu lokasi ditemukan fumarole dan mata air panas, maka sudah pasti dibawahnya ada sumber

panas bumi yang membuat temperatur air tanah meningkat dan tentunya hanya berada di lokasi tertentu dengan kondisi geologi yang khas. Pengamatan yang mudah adalah dengan mencari keberadaan manifestasi membuatnya keluar kepermukaan tanah sebagai air panas sehingga dapat digunakan sebagai bahan analisa saat dilakukan overlay.

Sebelum melakukan overlay, perlu adanya pengharkatan adalah pemberian skor terhadap masing-masing kelas dalam setiap parameter. Pemberian harkat ini didasarkan pada seberapa besar pengaruh kelas tersebut terhadap kekeringan. Semakin tinggi pengaruhnya terhadap panas bumi maka harkat yang diberikan akan semakin tinggi. Pemberian harkat terhadap parameter-parameter panas bumi dilakukan secara linear terhadap kelas-kelas dalam suatu parameter panas bumi. Menentukan interval kelas potensi panas bumi dalam penelitian ini dengan cara menjumlahkan skor tertinggi dikurangi jumlah skor terendah dibagi dengan jumlah kelas yang diinginkan. Rumus berikut digunakan untuk mempermudah perhitungan.

Overlay semua data kemudian lakukan analisa potensi panas bumi. *Overlay* dilakukan dengan menggunakan metode *intersect* dilanjutkan dengan perhitungan jumlah harkat dan klasifikasi ulang sesuai interval yang ditentukan dengan rumus sebagai berikut (BNPB, 2016) :

$$\text{interval} = \frac{\text{nilai maksimum} - \text{nilai minimum}}{\text{banyak kelas}}$$

Klasifikasi dibagi ke dalam lima kelas, berikut merupakan klasifikasi kelas menurut Hakim (2015). Berdasarkan parameter-parameter yang telah disebutkan didapatkan penjumlahan skor maksimum adalah 24 dan jumlah skor minimum adalah 4, jumlah kelas yang dibuat dalam penelitian ini adalah 5 kelas :

$$\text{interval} = \frac{24 - 4}{5} = 4$$

Tabel 3. 1 Klasifikasi potensi panas bumi

Kriteria	Interval Kelas	Kepentingan
Sangat Rendah	4 -7	Sangat bergantung pada keberadaan sumber daya panas bumi
Rendah	8 – 11	Ketergantungan tinggi pada keberadaan panas bumi
Sedang	12 – 15	Cukup bergantung pada keberadaan panas bumi
Tinggi	16 – 19	Ketergantungan pada sumberdaya kecil
Sangat Tinggi	20 – 24	Tidak tergantung pada keberadaan sumberdaya panas bumi

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Data Citra

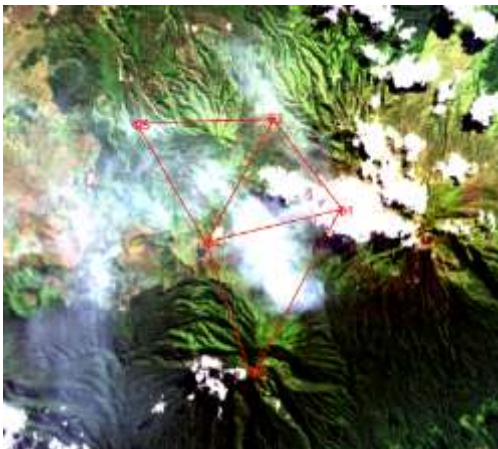
Citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Citra Satelit Landsat 8 Path/Row : 117/066
 - a. Akuisisi : 19 Januari 2016
 - b. Level : L1T
2. Citra Satelit Landsat 8 Path/Row : 117/066
 - a. Akuisisi : 26 Mei 2016
 - b. Level : L1T
3. Citra Satelit Landsat 8 Path/Row : 117/066
 - a. Akuisisi : 30 Agustus 2016
 - b. Level : L1T
4. Citra Satelit Sentinel 2 Path/Row : 117/066
 - a. Akuisisi : 24 Oktober 2015
 - b. Level : 2A

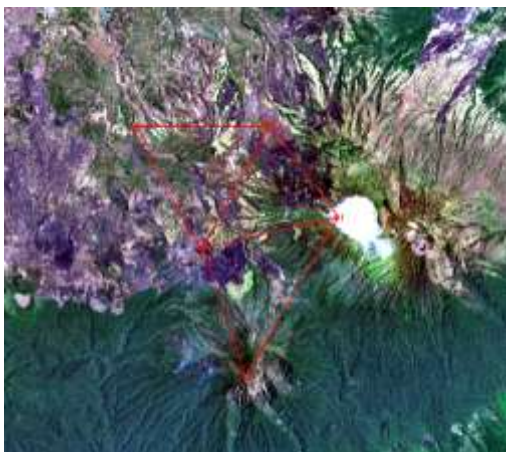
4.2 Koreksi Geometrik

4.2.1 Perhitungan Kekuatan Jaring Titik Kontrol

Desain jaring titik kontrol yang digunakan dalam koreksi geometrik citra sebagai berikut :



Gambar 4. 1 Desain Jaringan Titik Kontrol Citra Landsat 8



Gambar 4. 2 Desain Jaringan Titik Kontrol Citra Sentinel 2

Perhitungan SOF (*Strength of Figure*) jaringan tersebut adalah :

Jumlah *Baseline* : 16

Jumlah Titik : 4

$$\begin{aligned}
 \text{N Ukuran} & : \text{Jumlah Baseline} \times 3 \\
 & : 16 \times 3 = 48 \\
 \text{N Parameter} & : \text{Jumlah Titik} \times 3 \\
 & : 4 \times 3 = 12 \\
 u & : \text{N Ukuran} - \text{N Parameter} \\
 & : 48 - 12 = 36 \\
 \text{Besarnya SOF} & : \frac{\text{Trace}[A^T x A]^{-1}}{u} \\
 & : 0,088785
 \end{aligned}$$

Perhitungan kekuatan jaring titik kontrol (SOF) didapatkan nilai kekuatan jaring adalah 0,088. Dimana semakin kecil bilangan faktor kekuatan jaringan tersebut di atas, maka akan semakin baik konfigurasi jaringan dan sebaliknya (Abidin, 2002).

4.2.2 Perhitungan GCP dan Nilai RMS Error

Proses pemberian *GCP* pada citra dilakukan dengan menggunakan software pengolah data citra, yaitu dengan menggunakan menu *Image to map*.

Koreksi Geometrik citra Landsat 8 tahun 2016 dan Sentinel 2 tahun 2015 dilakukan dengan menggunakan peta vektor RBI lembar Sempol (1707-434) dan Tetelan (1707-443) skala 1 : 25.000. Sistem proyeksi yang digunakan adalah *Universal Transverse Mercator* Zona 50 S dan datum yang dipakai yaitu WGS 1984.

Tabel 4. 1 Nilai RMS Error Citra Landsat 8

G C P	Koordinat Peta		Koordinat Citra (Actual)		Koordinat Citra (Predict)		Error		RMS Error
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
1	195485, 00	91082 ,7	3417,59	1575,82	3417,61	1575,82	0,0219	0,0032	0,022 2
2	193457, 00	91109 ,1	3350,05	1487,7	3350,02	1487,7	-0,0299	-0,0044	0,030 2
3	192943, 00	91036 ,7	3332,95	1729,27	3332,93	1729,27	-0,0237	-0,0035	0,023 9
4	191647 ,5	91073 ,5	3289,69	1606,36	3289,72	1606,36	0,032	0,0047	0,032 3
5	189602, 00	91107 ,4	3221,55	1493,38	3221,55	1493,38	-0,0003	0,00001	0,000 3
Total RMS Error									0,312

Koreksi geometrik citra satelit Landsat 8 pada tabel 4.1 dilakukan dengan menggunakan 5 titik-titik GCP yang dipilih adalah objek yang sama pada citra dan pada referensi dimana kemungkinan perubahannya relatif lambat (tetap) seperti puncak gunung dan ujung tebing. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai total RMS Error pada citra Landsat 8 adalah 0,31.

Tabel 4. 2 Nilai RMS Error Citra Sentinel 2

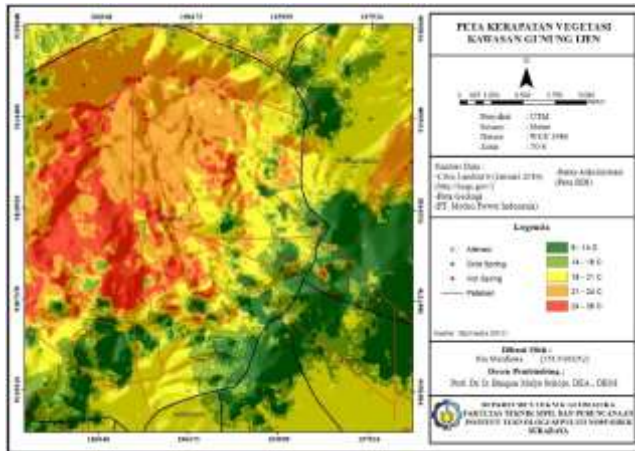
G C P	Koordinat Peta		Koordinat Citra (Actual)		Koordinat Citra (Predict)		Error		RMS Error
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
1	19548 5	91082 ,7	3989,51	3072, 57	3989,59	3072,6	0,0825	0,0264	0,0867
2	19345 7	91109 ,1	3790,67	2805, 08	3790,56	2805,04	-0,1125	-0,036	0,1181
3	19294 3	91036 ,7	3728,69	3529, 4	3728,6	3529,37	-0,0892	-0,0286	0,0937
4	19164 8	91073 ,5	3604,29	3158, 6	3604,41	3158,64	0,1204	0,0385	0,1264
5	18960 2	91107 ,4	3404,75	2816, 48	3404,75	2816,48	-0,0012	-0,004	0,0012
Total RMS Error									0,4

Koreksi geometrik citra satelit Sentinel 2 pada tabel 4.2 dilakukan dengan menggunakan 5 titik-titik GCP yang dipilih adalah objek yang sama pada citra dan pada referensi dimana kemungkinan perubahannya relatif lambat (tetap) seperti puncak gunung dan ujung tebing. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai total RMS Error pada citra Sentinel 2 adalah 0,4.

4.3 Pengolahan Citra untuk Suhu Permukaan Darat

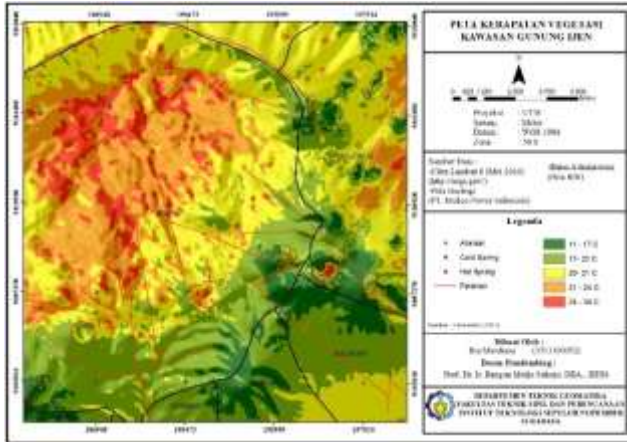
Suhu permukaan darat merupakan kenampakan rata-rata dari suhu yang berada di permukaan tersebut. Pada umumnya, semakin tinggi daerah tertentu, maka suhu permukaan daratnya akan semakin menurun. Pengolahan suhu permukaan darat menggunakan metode Plank seperti yang dijelaskan pada bab 2.

Berikut ini merupakan hasil dari pengolahan suhu permukaan pada band termal 10 pada ketiga citra Landsat 8 yaitu 19 Januari 2016, 26 Mei 2016 dan 30 Agustus 2016.



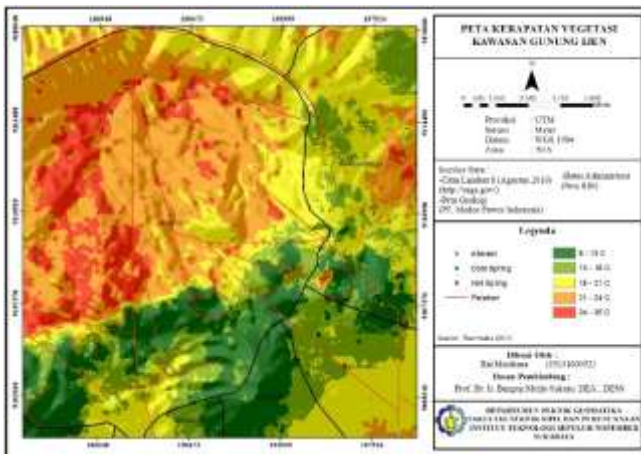
Gambar 4. 3 Hasil Pengolahan Citra Suhu Permukaan Darat bulan Januari

Berdasarkan hasil pengolahan suhu permukaan pada gambar 4.3 menggunakan citra Landsat 8 didapatkan nilai suhu terendah pada bulan Januari adalah 9°C dan suhu tertinggi adalah 38°C .



Gambar 4. 4 Hasil Pengolahan Citra Suhu Permukaan Darat Band bulan Mei

Berdasarkan hasil pengolahan suhu permukaan pada gambar 4.4 menggunakan citra Landsat 8 didapatkan nilai suhu terendah pada bulan Mei adalah 11°C dan suhu tertinggi adalah 34°C .



Gambar 4. 5 Hasil Pengolahan Citra Suhu Permukaan Darat bulan Agustus

Berdasarkan hasil pengolahan suhu permukaan pada gambar 4.5 menggunakan citra Landsat 8 didapatkan nilai suhu terendah pada bulan Agustus adalah 8° C dan suhu tertinggi adalah 35° C.

Kawasan gunung ijen memiliki suhu permukaan berkisar 21 °C - 34 °C (Azhari dkk, 2016). Untuk hasil suhu permukaan tanah pada pengolahan data menghasilkan suhu terendah yaitu 8 °C dan suhu tertinggi 38°C. Semakin tinggi suhu permukaan tanah suatu daerah, maka semakin tinggi potensi adanya panas bumi pada daerah tersebut (Zhang, 2012). Berikut ini merupakan tabel klasifikasi suhu pada pengolahan data suhu permukaan menggunakan citra landsat 8.

Tabel 4. 3 Suhu Permukaan

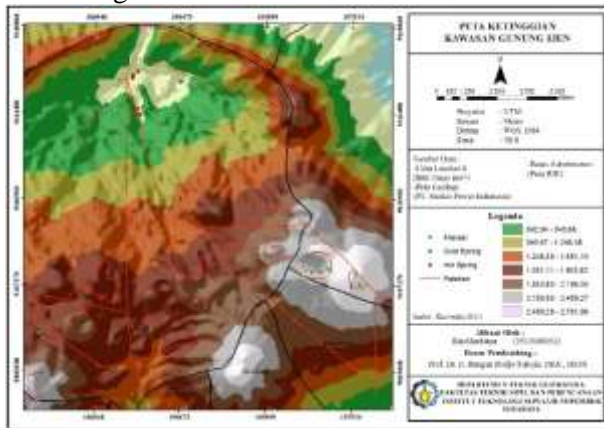
No	Skoring	Suhu
1	5	8 – 13 ° C
2	4	14 – 19 ° C
3	3	20 – 25 ° C
4	2	26 – 31 ° C
5	1	32 - 38 ° C

Hasil dari ketiga band termal tersebut memiliki perbedaan. Pada bulan Januari merupakan bulan basah sehingga dapat mendeteksi suhu maksimal yang lebih tinggi dibandingkan dengan bulan Mei dan Agustus, hal ini dikarenakan pada bulan basah kandungan air di permukaan tanah lebih banyak sehingga mampu melakukan penyerapan terhadap sinar matahari yang lebih besar (klimatologi, 2009). Berbeda halnya dengan bulan Agustus yang merupakan bulan kering sehingga menghasilkan suhu terendah bila dibandingkan dengan bulan Januari dan Mei. Hal ini karena pada bulan kering, panas matahari akan lebih banyak dipantulkan karena sifat permukaan tanah yang tidak mampu menyerap panas seperti bulan basah. Akan tetapi, bulan kering yang memiliki suhu terendah baik untuk mendapatkan anomali panas pada suatu wilayah (Saragih dkk, 2015).

4.4 Ketinggian Lahan

Informasi ketinggian lahan diperoleh dari data digitasi kontur peta RBI. Hasil digitasi kontur kemudian dibuat data DEM. File DEM tersebut dikonversikan ke TIN Setelah itu dikonversikan menjadi 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. 6 Peta Ketinggian Lahan

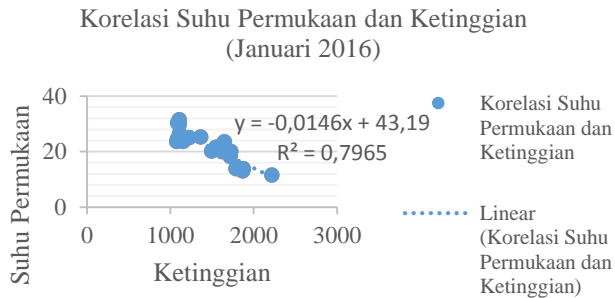
Kemudian dilakukan uji korelasi antara ketinggian dan suhu permukaan tanah. Analisis korelasi bertujuan untuk mengetahui hubungan antara dua variabel atau lebih. Dalam penelitian ini, analisis korelasi digunakan untuk mengetahui hubungan suhu permukaan darat dengan ketinggian. Korelasi searah jika nilai koefisien korelasi diketemukan positif, sebaliknya jika nilai koefisien korelasi negatif, korelasi disebut tidak searah. Apabila semakin tinggi permukaan dan suhu semakin besar maka terdapat anomali panas pada daerah tersebut sehingga potensi adanya panas bumi semakin besar (Saragih, 2015).

Tabel 4. 4 Pedoman Interpretasi Koefisien Korelasi (Sugiyono, 2007)

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0.199	Sangat rendah
0.20 – 0.339	Rendah
0,40 – 0.599	Sedang
0.60 – 0.799	Kuat
0.80 – 1,00	Sangat Kuat

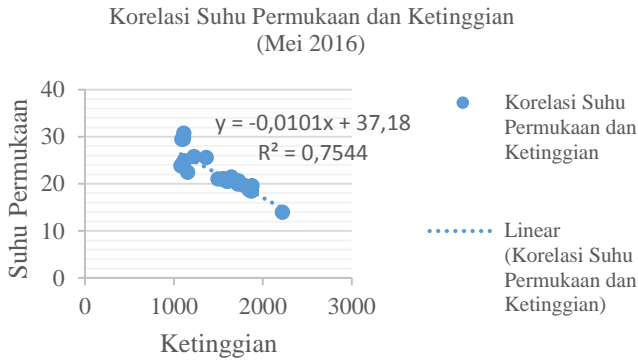
Penentuan analisis korelasi dilakukan dengan cara mengambil sampel yang mewakili penyebaran suhu permukaan pada berbagai kelas ketinggian.

Berikut ini merupakan korelasi antara ketinggian dengan suhu permukaan tanah :



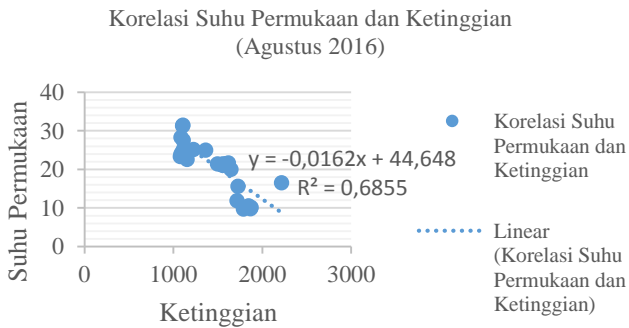
Gambar 4. 7 Korelasi Ketinggian dengan Suhu Permukaan Januari

Berdasarkan dari uji korelasi pada gambar 4.7 maka didapatkan nilai korelasi ketinggian dengan suhu permukaan bulan Januari adalah -0,89 yang menunjukkan bahwa korelasi tersebut bersifat sangat kuat.



Gambar 4. 8 Korelasi Ketinggian dengan Suhu Permukaan Mei

Berdasarkan dari uji korelasi pada gambar 4.8 maka didapatkan nilai korelasi ketinggian dengan suhu permukaan bulan Mei adalah $-0,86$ yang menunjukkan bahwa korelasi tersebut bersifat sangat kuat.



Gambar 4. 9 Korelasi Ketinggian dengan Suhu Permukaan Agustus

Berdasarkan dari uji korelasi pada gambar 4.9 maka didapatkan nilai korelasi ketinggian dengan suhu permukaan bulan

Agustus adalah -0,82 yang menunjukkan bahwa korelasi tersebut bersifat sangat kuat.

Hasil dari korelasi ketinggian dan suhu permukaan dapat diketahui bahwa korelasi antara ketinggian dan suhu permukaan memiliki hubungan yang sangat kuat dengan korelasi paling baik yaitu korelasi ketinggian dan suhu permukaan bulan Januari yaitu -0,89. Hubungan antara ketinggian dan suhu permukaan bernilai negatif dikarenakan hubungan keduanya yang tidak searah. Semakin tinggi daratan maka nilai suhu permukaannya akan semakin rendah (Saragih, 2015).

Salah satu prospek dari manifestasi panas bumi adalah terdapat suatu anomali dari hasil pengolahan suhu permukaan dibandingkan dengan daerah disekitarnya. Hal ini dicurigai sebagai kawasan tempat keluarnya fluida panas dari reservoir ke permukaan. (Wahyudi, 2005).

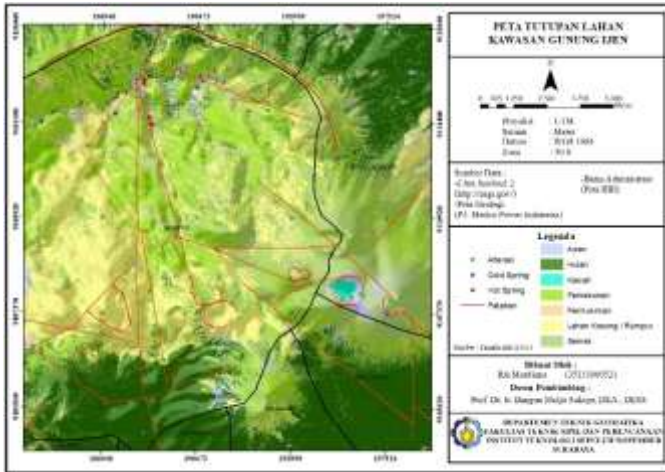
4.5 Tutupan Lahan

Pengklasifikasian tutupan lahan menggunakan klasifikasi terbimbing dengan menggunakan metode maximum likelihood. Pada klasifikasi terbimbing untuk penutup lahan dengan data digital satelit, diperlukan adanya data lapangan yang telah dipastikan kebenarannya selanjutnya dilakukan pendefinisian piksel pada area yang telah di uji lapangan. Konsep dari metode maximum likelihood adalah mendefinisikan piksel X yang merupakan vektor nilai pixel akan dikelaskan menjadi kelas k jika peluang terjadinya X di dalam kelas k adalah yang terbesar dibanding dengan peluang kejadian di kelas lain (Mukhaiyar, 2010)

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, lahan kosong/rumput, perkebunan, hutan, permukiman dan kawah. Untuk ketelitian dari pengolahan tutupan lahan dihitung dengan menggunakan metode confusion matrix, dimana batas toleransi yang diberikan yaitu $\geq 80\%$ (Prakosa, 2004).

Berikut ini merupakan peta tutupan lahan hasil pengolahan data :



Gambar 4. 10 Peta tutupan lahan

Untuk melakukan uji ketelitian, dibutuhkan data groundtruth sebagai data sampel yang diambil dari lokasi titik-titik sampel sebanyak 30 titik sampel. Hasil dari perhitungan confusion matrix memperoleh nilai sebesar 80% dan masuk dalam toleransi (Prakosa, 2004). Apabila tutupan lahan didominasi pepohonan maka semakin kecil potensi panas bumi pada daerah tersebut (Saragih, 2015). Berikut ini merupakan luas masing-masing tutupan lahan.

Tabel 4. 5 Hasil Tutupan Lahan

No	Tutupan Lahan	Skoring	Luas (ha)	%
1	Perkebunan	3	6621,4923	21,72
2	Hutan	2	10711,301	35,13
3	Semak	4	6896,3687	22,62
4	Lahan Kosong/Rumput	5	5744,9547	18,84
5	Kawah	4	42,962237	0,14

4.6 Kerapatan Vegetasi

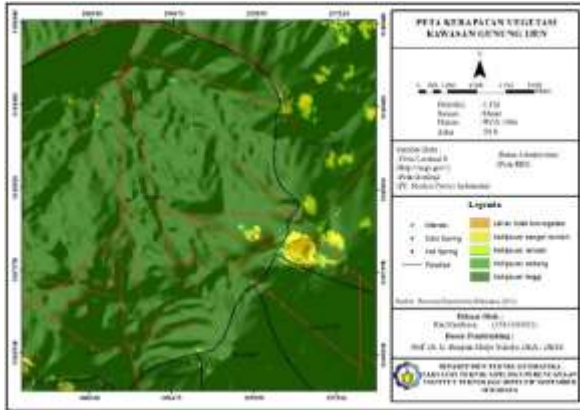
Nilai kerapatan vegetasi adalah salah satu indikator untuk mengetahui tingkat kekeringan atau kehijauan pada suatu area. Saluran band pada penelitian ini di dapat dari band 4 dan band 5 dari citra Landsat 8 sedangkan untuk citra Sentinel 2 menggunakan band 4 dan band 8 dengan menggunakan algoritma NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Untuk pengkelasan nilai indeks dari kerapatan vegetasi mengacu kepada peraturan Departemen Kehutanan tahun 2012 yang membagi kelas kerapatan vegetasi menjadi 5 kelas sebagai berikut :

Tabel 4. 6 Pedoman Interpretasi Koefisien Korelasi (Kehutanan, 2012)

Kelas	Kisaran NDVI	Skoring	Tingkat Kerapatan
1	-1 - (-0.03)	5	Lahan tidak bervegetasi
2	-0.04 - 0.15	4	Kehijauan sangat rendah
3	0.16 - 0.25	3	Kehijauan rendah
4	0.26 - 0.35	2	Kehijauan sedang
5	0.36 - 1	1	Kehijauan tinggi

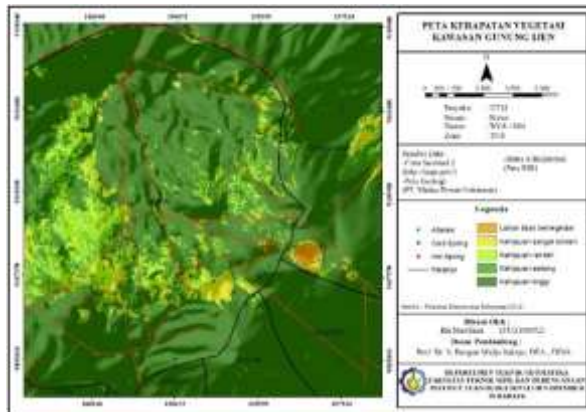
Berikut ini merupakan hasil dari pengolahan kerapatan vegetasi pada citra Landsat 8 :



Gambar 4. 11 Peta Kerapatan Vegetasi Menggunakan Citra Landsat 8

Dari hasil pengolahan kerapatan vegetasi pada daerah Gunung Ijen terdapat 5 klasifikasi tingkat kerapatan pada kawasan Gunung Ijen. Pada citra Landsat 8, sebagian besar wilayah penelitian didominasi oleh tingkat kehijauan tinggi dan awan juga didefinisikan dengan tingkat kerapatan kehijauan sangat rendah.

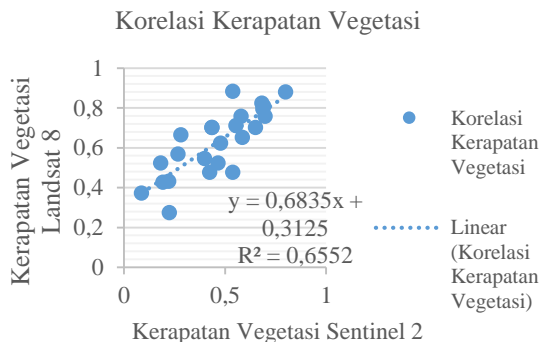
Berikut ini merupakan hasil dari pengolahan kerapatan vegetasi pada citra Sentinel 2 :



Gambar 4. 12 Peta Kerapan Vegetasi Menggunakan Citra Sentinel 2

Pada klasifikasi Sentinel 2 lebih baik dalam melakukan klasifikasi kerapatan vegetasi. Hal ini disebabkan ketelitian geometrik dari Sentinel 2 yang lebih baik daripada Landsat 8 dan kondisi citra yang sedikit awan.

Berikut ini merupakan korelasi antara kerapatan vegetasi menggunakan Landsat 8 dan Sentinel 2 :



Gambar 4. 13 Korelasi kerapatan vegetasi

Dari hasil korelasi kerapatan vegetasi citra Landsat 8 dan Sentinel 2 didapatkan residu sebesar 0,80. Hal ini menunjukkan korelasi dari kedua hubungan tersebut sangat kuat (Sugiyono, 2007). Semakin tinggi nilai kerapatan vegetasi maka semakin rendah potensi panas bumi pada daerah tersebut (Saragih, 2015).

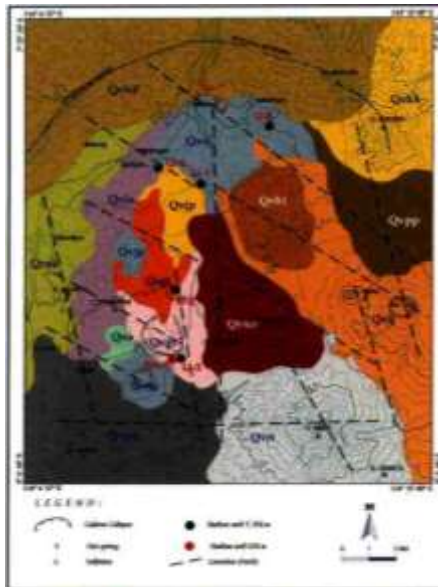
4.7 Survei Pendahuluan

a. Geologi

Geologi regional daerah panas-bumi Blawan - Ijen disusun oleh batuan vulkanik muda yang terbentuk pada kala Pleistosen Atas. Secara garis besar satuan batuan di daerah ini dibagi menjadi 2 bagian: satuan batuan pre-caldera dan post-caldera. Satuan-satuan batuan tersebut terdiri dari endapan lahar yaitu breksi dan

pasir vulkanik yang tertimbun secara setempat-setempat (sporadis) oleh endapan piroklastik. Kenampakan topografi banyak terkontrol oleh kaldera dan pusat erupsi yang belum mengalami perubahan. Dataran tinggi Ijen di bagian selatan dibatasi oleh deretan gunung api muda, yaitu: Gunung Merapi, Gunung Pendil, Gunung Rante dan Gunung Raung.

Struktur yang ada pada daerah ini secara umum mempunyai dua arah: utara-selatan dan barat-timur. Sesar-sesar tersebut terkontrol oleh struktur yang berarah timurlaut-baratdaya sebagai akibat gaya tekan berarah timurlaut-baratdaya. Gambar 4.21 menyajikan peta geologi, dan memperlihatkan penyebaran batuan vulkanik dan indikasi struktur geologi daerah panas-bumi Blawan – Ijen.



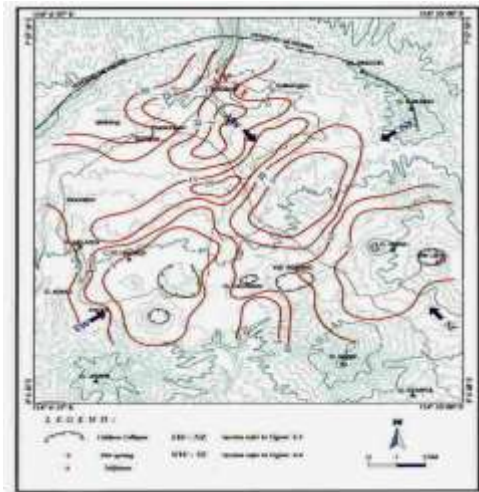
Gambar 4. 14 Peta struktur geologi dan penyebaran batuan vulkanik
(Perencanaan Dan Program Kerja Pengembangan Panas Bumi Di Wkp Blawan – Ijen dalam Mahardianti, 2012)
b. Tahanan Jenis dan Kelistrikan

Anomali tahanan jenis semu kelistrikan (apparent resistivity) mengindikasikan adanya sistem panas-bumi di daerah Blawan – Ijen. Anomali tahanan jenis sesungguhnya (true resistivity) dengan nilai $\leq 10 \Omega\text{m}$ berasosiasi sebagai daerah yang teralterasi oleh pengaruh panas-bumi yang melarutkan mineral sangat besar, sehingga fluida yang berada dalam media berpori (porous media) mempunyai tahanan jenis yang sangat rendah atau adanya perubahan komposisi batumannya yang menyebabkan sifat batuan menjadi konduktif. Daerah yang teralterasi ini terdapat pada kedalaman berkisar antara 200 - 300 meter. Harga tahanan jenis pada daerah depresi bersifat agak resistif, hal ini dikarenakan adanya beberapa kemungkinan antara lain karena berasosiasi dengan fluida yang mengisi porous media batuan. Batas atas reservoir (top reservoir) panas-bumi ini tidak bisa dideteksi dengan metode tahanan jenis ini secara langsung. Sebagai perbandingan, Gambar 4.16 memperlihatkan nilai tahanan jenis yang didapat dari hasil pengukuran dengan metode magnetotelurik (MT).



Gambar 4. 15 Peta resistivity anomali rendah $\leq 10 \Omega\text{m}$, berdasarkan metode tahana jenis kelistrikan, daerah panas-bumi Blawan – Ijen

(Perencanaan Dan Program Kerja Pengembangan Panas Bumi Di Wkp Blawan – Ijen dalam Mahardianti, 2012)

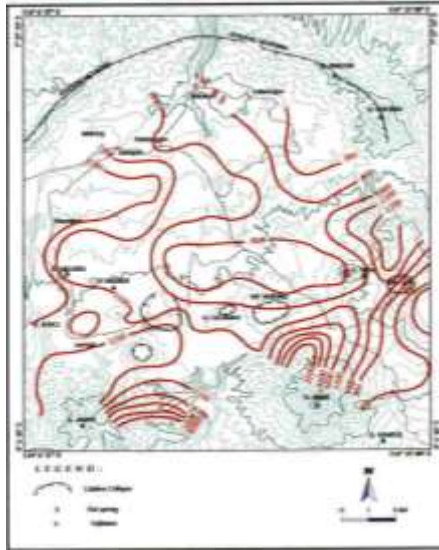


Gambar 4. 16 Peta resistivitas lapisan konduktip, berdasarkan metode MT, daerah panas-bumi Blawan – Ijen.

(Perencanaan Dan Program Kerja Pengembangan Panas Bumi Di Wkp Blawan – Ijen dalam Mahardianti, 2012)

c. Magnetik

Hasil data magnetik menggambarkan adanya struktur bawah permukaan yang terdemagnetisasi. Struktur ini diperkirakan ada kaitannya dengan daerah alterasi karena pengaruh panas-bumi. Data tahanan jenis dan data magnetik yang ada terlihat saling mendukung. Hal tersebut ditunjukkan oleh tahanan jenis yang berharga kecil $\leq 10 \Omega\text{m}$, dan pada daerah yang sama ditunjukkan kontras susceptibilitas magnetiknya berharga negatif yang berasosiasi dengan daerah yang terdemagnetisasi. Demikian juga dengan landaian tahanan jenisnya (resistivity gradien) mempunyai harga ≤ -0.5 yang memperkuat indikasi tersebut.



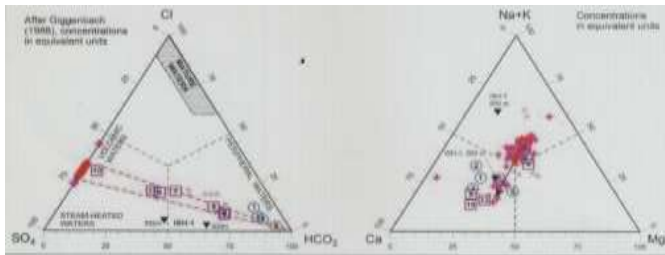
Gambar 4. 17 Peta Anomali Magnetik (nT), daerah panas-bumi Blawan – Ijen
(Perencanaan Dan Program Kerja Pengembangan Panas Bumi Di Wkp Blawan – Ijen dalam Mahardianti, 2012)
d. Geokimia

Kaldera Ijen meliputi luas 700 km². Manifestasi geokimia di permukaan sangat terbatas untuk dianalisis. Manifestasi yang dijumpai di daerah Blawan berupa mata air panas dengan suhu 38° – 53°C dan terdapat endapan treventin dengan pola melingkar pada dinding kolam. Di bagian timur terdapat mata air panas yang bersifat sangat asam (pH < 0,5) dengan temperatur sekitar 39° C.

Jumlah energi panas yang hilang untuk daerah Blawan adalah sekitar 37,045 kal atau 129,9557 watt. Berdasarkan perbandingan dari beberapa konsentrasi kation yang terkandung dalam air panas tersebut diduga bahwa sumber panas-bumi yang menimbulkan air panas di daerah Blawan mempunyai temperatur berkisar 190°-356° C. Di daerah Kawah Ijen manifestasi panas bumi berupa pemunculan solfatara yang mengandung belerang

konsentrasi tinggi terletak di bagian tenggara dari Kawah Ijen, dengan dugaan bahwa heat source dari kawah Ijen dapat mencapai 800° C.

Untuk analisa kimia air pada kawasan gunung Ijen yaitu terdapat mata air termo-mineral terletak di daerah Blawan-Kalisengon-Plalangan, di utara kaldera Kendeng. Kedua kelompok utama tersebut berada di sepanjang tepi sungai Dari sungai Banyupait di Blawan (suhu 45 sampai 50 °C) dan 2 km ke hulu (temperaturc 35-43°C). Air minum dingin di Rejo Mulyo (temperatur 22,5°C) dan Kampung Kalisegon (Suhu 21,5°C) Semua mata air termo-mineral ini memiliki nilai PCO₂ yang relatif tinggi (naik Menjadi 0,67 bar di Blawan) dan nilai pH relatif rendah (umumnya 6,2 sampai 6,9). Gelembung kecil gas kontinyu diamati di mata air panas Blawan. Total laju alir mata air termo-mineral ini antara 5 dan 10 l/s.



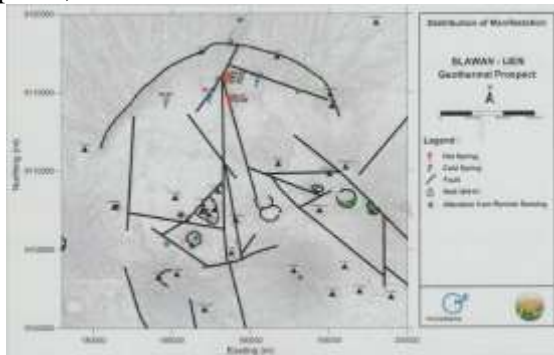
Gambar 4. 18 Diagram segitiga anion (kiri) dan kation (Sumber PT. Medco Power Indonesia)

Dari diagram plot Cl vs SO₄ mengkonfirmasi bahwa air termo-mineral dari Blawan-Kalisengon-Plalangan memiliki SO₄ / Cl yang asam, kandungan salinitas air yang tinggi pada kawah Ijen dan aliran Banyuapit-Banyu Putih, ditampilkan pada diagram segitiga anion. Komponen thermo-mineral menyediakan pengenceran asam. (kanan) untuk prospek air di Blawan

4.8 Manifestasi Panas Bumi

Manifestasi panas bumi yang ada di daerah Blawan - Ijen dan sekitarnya disebabkan oleh aktivitas hidrotermal vulkanik dan adanya struktur patahan. Patahan tersebut berperan sebagai media

pemunculan manifestasi tersebut. Manifestasi gejala panas-bumi di daerah ini terdiri atas mata air panas, lapangan fumarola / solfatara, tanah panas, letusan freatik dan batuan teralterasi.



Gambar 4. 19 Peta Manifestasi Panas Bumi
(Sumber : PT. Medco Power Indonesia)

Mata air panas terletak pada koordinat UTM zona 50 S 188489 mE – 9116042 mU. Manifestasi panas-bumi dijumpai berjajar mengikuti sistem sesar. Suhu permukaan 34–43°C, dengan suhu dasar 54° C, pH berkisar antara - 0,2 sampai 0,5, Dan salinitas sampai dengan 114 g/l. Sebuah solfatara permanen terletak di sepanjang tenggara kawah. Dalam beberapa tahun terakhir, suhu fumarol terombang-ambing antara 170 dan 600 oC. Komposisi kimia cairan fumarolik ditandai oleh adanya kandungan penting gas magmatik asam (terutama SO₂ dan HCl). Di Indonesia selain H₂O, CO₂, dan H₂S (mewakili tiga penyusun utama cairan fumarol), menunjukkan kontribusi komponen magmatik dan komponen hidrotermal. Musim semi panas yang sangat asam (T: 61 °C; pH: 0.6), terkonsentrasi lebih rendah dari air danau kawah (TDS: 56 g/kg), terletak di sebelah timur sungai Solfatara.

4.9 Analisa Potensi Panas Bumi

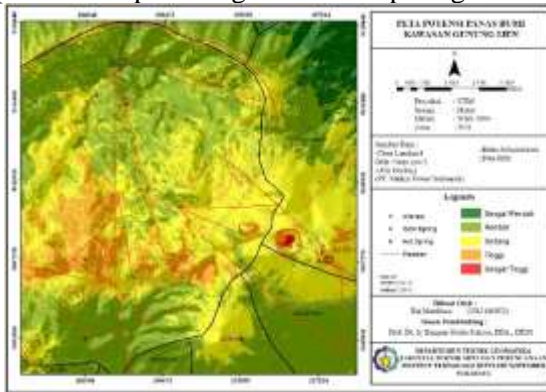
Setelah semua parameter dalam penentuan area potensi panas bumi selesai diolah kemudian seluruh area parameter seperti area anomali suhu permukaan tanah, anomali kerapatan vegetasi, anomali survei geokimia, anomali survei geofisika dan parameter survei geologi digabungkan atau dioverlay sehingga menghasil

area baru yaitu area potensi panas bumi di daerah kawasan gunung Ijen.

Overlay dilakukan dengan menggunakan metode *intersect* dilanjutkan dengan perhitungan jumlah harkat dan klasifikasi ulang sesuai interval yang ditentukan dengan rumus sebagai berikut (BNPB, 2016) :

$$\text{interval} = \frac{\text{nilai maksimum} - \text{nilai minimum}}{\text{banyak kelas}}$$

Klasifikasi dibagi ke dalam lima kelas sehingga interval yang didapatkan dari perhitungan adalah seperti gambar berikut.



Gambar 4. 20 Peta Potensi Panas Bumi

Berdasarkan hasil klasifikasi pada pengolahan data di kawasan Gunung Ijen, maka didapatkan luas dari masing-masing kelas. Berikut ini merupakan tabel luas potensi panas bumi pada kawasan Gunung Ijen :

Tabel 4. 7 Luas Potensi Panas Bumi

	Luas (Ha)	%
Sangat Rendah	2017,31	6,23
Rendah	15724,19	48,62
Sedang	10918,9	33,76
Tinggi	3638,02	11,25

Sangat Tinggi	39,43	0,12
------------------	-------	------

Daerah yang teridentifikasi memiliki potensi panas bumi sangat tinggi berada pada Gunung Ijen yang terletak pada Kecamatan Wongsorejo. Daerah tersebut memiliki suhu permukaan tinggi pada permukaan yang tinggi. Selain itu memiliki nilai kerapatan vegetasi yang rendah dan berada pada tutupan lahan berupa lahan kosong/ rumput, kawah, permukiman dan semak.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir ini, dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Berdasarkan pengolahan citra Satelit dapat disimpulkan :
 - Suhu Permukaan pada daerah Gunung Ijen memiliki anomali dengan besar suhu berkisar antara 18° C hingga 38° C. Dengan korelasi antara suhu permukaan dan ketinggian untuk masing-masing band termal pada citra Landsat 8 menghasilkan hubungan yang sangat erat dengan nilai tertinggi yaitu -0,89.
 - Korelasi kerapatan vegetasi citra Landsat 8 dan Sentinel 2 adalah sangat kuat dengan nilai residu sebesar 0,81.
 - Matriks konfusi tutupan lahan memperoleh nilai sebesar 80%. Tutupan lahan pada daerah penelitian didominasi oleh hutan sebesar 35% dari luas wilayah penelitian.
- b. Terdapat wilayah potensi panas bumi sangat tinggi pada Gunung Ijen dengan luas 39,43 Ha yang terletak pada kecamatan Wongsorejo dan berbatasan dengan Kecamatan Sempol.

5.2 Saran

Saran yang bisa diberikan untuk penelitian selanjutnya pada bidang terkait adalah :

- a. Sebaiknya menggunakan citra Landsat yang sedikit awan karena sensor tidak mampu menembus awan dan dapat mempengaruhi hasil pada klasifikasi kerapatan vegetasi dan pengolahan suhu.

- b. Untuk menghasilkan potensi pasti panas bumi lebih lanjut diperlukan adanya kajian geofisika, geokimia dan geologi pada titik-titik potensi panas bumi.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, H. 2007. Karakteristik Deformasi Gunungapi Ijen dalam Periode 2002-2005 Hasil Estimasi Metode Survei GPS. PROC. ITB Sains & Tek, Vol. 39 A, No. 1&2, 2007, 1-22

Azhari, A., Maryanto, S., dan Rachmansyah, A. 2016. Identifikasi Struktur Geologi dan Pengaruhnya Terhadap Suhu Permukiman Tanah Berdasarkan Data Landsat 8 di Lapangan Panas Bumi Blawan. Jurnal Penginderaan Jauh Vol. 13 : 1-12.

Blackett, M. 2014. Early Analysis of Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Imagery of Volcanic Activity. Remote Sensing ISSN 2282-2295

BNPB. 2016. Resiko Bencana Indonesia. Jakarta : Badan Nasional Penanggulangan Bencana.

Bodruddoza, M., Nishijima, Jun., dan Fujimitsu, Y. 2014. Exploration and monitoring geothermal activity using Landsat ETM+ Image A Case Study at Aso Volcanic Area in Japan. Journal of Volcanology and Geothermal Research 275 :14-21

Calvin, W.M., Littlefield, Elizabeth F., dan Kratt, Christopher. 2015. Remote Sensing of Geothermal-related mineral for Resource Exploration in Nevada. Journal Geothermic 53 : 517-526

Einarsson, G.M., dan Kristinsson, S. 2010. Thermal Imaging of Geothermal Features. Proceeding World Geothermal Congress in Bali.

Esa. 2015. SENTINEL-2 User Handbook. European Space Agency

Firdaus, H.S. 2013. Studi Upaya Pengelolaan Lingkungan (UKL) Eksplorasi Geothermal di Kecamatan Sempol, Kabupaten Bondowoso Dengan Sistem Informasi Geografis. Surabaya :ITS

Frederick, J. D. 1991. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.

Hakim, Cipi Al. 2015. Formula Kebijakan Pengelolaan Sumberdaya Energi Panas Bumi (Geothermal) di Area Kamojang, Jawa Barat. Bogor : IPB

Hazwendra, L.2015. Pemetaan Potensi Panas Bumi Dengan Menggunakan Landsat 8 (Studi Kasus: Gunung Arjuno – Welirang, Jawa Timur).Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Herfina, E., dan Mardiana, R. 2016. Analisa Daerah Potensi Energi Panas Bumi Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 Pada Kawasan Gunung Raung Jawa Timur. Surabaya :ITS

Ibrahim, Herman Darnel. 2009. Mempercepat dan Menadikan Indonesia Negara yang Leading dalam Panasbumi di Dunia pada Periode Kepemimpinan Presiden SBY. Jakarta

Irfandy, Ariono. 2012. Analisa Skema Bisnis Pengembangan dan Penentuan Harga Listrik Panas Bumi di Indonesia. Jakarta : UI

Jaelani, L. 2014. Koreksi Geometrik Landsat 8, Tidak Perlu? Retrieved from <http://lmjaelani.com-/2014/02/koreksigeometrik-landsat-8- tidak-perlu>

Kehutanan, D. 2012. Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia nomor : P.12/MENHUT- II/2012, Tentang Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai (Rtk-Rhl DAS). Jakarta :Kemenhut

Klimatologi. 2009. Klimatologi Suatu Pengantar. Makassar :Universitas Hasanuddin

Kustiyo, M. 2005. Analisis Ketelitian Ketinggian Data DEM SRTM. MAPIN XIV.

Mahardianti, M.A. 2013. Analisa Penggunaan Lahan di Kecamatan Sempol Kabupaten Bondowoso Untuk Optimalisasi Pemanfaatan Energi Panas Bumi Dengan Sistem Informasi Geografis. Surabaya :ITS

Mukhaiyar, Riki. 2010. Klasifikasi Penggunaan Lahan Dari Data Remote Sensing. Jurnal Teknologi Informasi & Pendidikan Issn : 2086 – 4981 Vol. 2

Prakosa, D., Wuryanta, A. 2004. Kajian Perubahan Penutupan Lahan dengan Menggunakan Landsat 7 ETM+ di Sub DAS Batanghari Bulu Tengah, Jambi

Presiden. 2003. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2003 Tentang Panas Bumi.

Purwadhi, H. 2010. Pengantar Interpretasi Citra Penginderaan Jauh. Jakarta: Lapan-UNNES.

Qin, Q., Zhang, N., Nan, P., dan Chai, L., 2011. Geothermal Area Detection using Landsat ETM+ Thermal Infrared Data and its Mechanistic Analysis – A Case Study in Tengchong, China, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 13, 552-559.

Robawa, F.N. 2016. Identifikasi Potensi Panas Bumi Menggunakan Landsat 8 Serta Rekomendasi Lokasi PLTP dengan Analisis Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kawasan Gunung Lawu).Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Ruhiman, M. 1998. Penuntun Belajar Geografi I. Bandung: Ganeca Exact.

Rukhiyat. 2012. Pemanfaatan Energi Panas Bumi. Retrieved from Kemdikbud:<http://belajar.kenemdikbud.go.id/SumberBelajar/tampil>

Saragih, B., Prasetyo, Y., dan Sasmito, B. 2015. Identifikasi Manifestasi Panas Bumi dengan Memanfaatkan Kanal Thermal pada Citra Landsat (Studi Kasus : Kawasan Dieng)

Siahaan,M.N., Soebandrio,Andri,Wikantika,Ketut. 2011. Geothermal Potential Exploration Using Remote Sensing Technique (Case Study: Patuha Area, West Java). Asia Geospatial Forum

Smaragdenkis, B. N., Dvornic, T., dan Dragutionovic, N. 2016. Analisis and possible geothermal energy utilization in a municipality of Panonian Basin of Serbia. Renewable and Sustainable Energy Review 59 : 940-951.

- Sugiyono. 2007. *Metode Penelitian Administrasi*. Bandung : Alfabeta
- Sumintadiredja. 2005. *Pemanfaatan Panas Bumi (Geothermal) Sebagai Energi Alternatif Terbaru Di Indonesia*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Suparno, Supriyanto. 2009. *Energi Panas Bumi*. Universitas Indonesia.
- Sutanto. 1984. *Penginderaan Jauh Jilid 1*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Sutrisno.1995. *Penguasaan Teknologi Energi Panasbumi Indonesia*. Yogyakarta: Seminar Nasional Teknologi Energi.
- Tempfli, K. 1991 *Petunjuk Praktikum Sistem Informasi Gografis: Pemodelan Spatial*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Tian, B., Wang, L., Kashiwaya, K., dan Koike, K. 2015. *Combination of Well-Longging Temperature and Thermal Remote Sensing for Characterization of Geothermal Resources in Hokkaido, Nothern Japan*. *Remote Sensing* 7 : 2647-2667
- USGS. 2001. *Landsat 7 Science Data Users Handbook*. US.
- Wahyuningsih, R. 2005. *Potensi Dan Wilayah Kerja Pertambangan Panas Bumi Di Indonesia*. Kolokium Hasil Lapangan
- Zaenuddin, A.,dkk. *Prakiraan bahaya letusan Gunung Api Ijen Jawa Timur*. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 3 No. 2 Agustus 2012: 109-132
- Zhang, N., Qin, Q., He, L., dan Jiang, H. 2012. *Remote Sensing and GIS Based Geothermal Exploration in Southwest Tengchong, China*. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), IEEE International*, 5364-5367.

LAMPIRAN I
Koordinat Lapangan

No	X	Y	Keterangan
1	185269	9113756	Kebun Kopi
2	187288	9114539	Kebun Sengon
3	191185	9109073	Kebun Kopi
4	191229	9109080	Kebun Kopi
5	191212	9109099	Kebun Kopi
6	191535	9108741	Kebun Sengon
7	193891	9106559	Kebun Sengon
8	193105	9107672	Kebun Sengon
9	188361	9113117	Kebun Kopi
10	184971	9113585	Kebun Sengon
11	184428	9113732	Kebun Kopi
12	184088	9113159	Kebun Kopi
13	183557	9112955	Kebun Kopi
14	183146	9112891	Kebun Kopi
15	182611	9112846	Kebun Kopi
16	181174	9112126	Kebun Sengon
17	181074	9111970	Kebun Sengon
18	180986	9111822	Kebun Sengon
19	190734	9109394	Kebun Kopi
20	188998	9112277	Kebun Sengon
21	184685	9113593	Kebun Sengon
22	191542	9108741	Rerumputan
23	191683	9108444	Rerumputan
24	193280	9107079	Rerumputan
25	186609	9113489	Rerumputan
26	186458	9113510	Rerumputan

27	186271	9113540	Rerumputan
28	181385	9112378	Rerumputan
29	180791	9111532	Rerumputan
30	193496	9106693	Rerumputan

LAMPIRAN II Citra Satelit

Landsat 8 (Januari 2016)



Landsat 8 (Mei 2016)



Landsat 8 (Agustus 2016)



Sentinel 2 (Oktober 2015)



LAMPIRAN III

Metadata

Landsat 8

Januari

GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
REQUEST_ID = "0701605161515_00001"
LANDSAT_SCENE_ID = "LC81170662016019LGN00"
FILE_DATE = 2016-05-17T09:31:25Z
STATION_ID = "LGN"
PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.6.2"
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 = 117
WRS_ROW = 66
NADIR_OFFNADIR = "NADIR"
TARGET_WRS_PATH = 117
TARGET_WRS_ROW = 66
DATE_ACQUIRED = 2016-01-19
SCENE_CENTER_TIME = "02:30:04.2451530Z"
CORNER_UL_LAT_PRODUCT = -7.62436
CORNER_UL_LON_PRODUCT = 113.32332
CORNER_UR_LAT_PRODUCT = -7.63697
CORNER_UR_LON_PRODUCT = 115.38000
CORNER_LL_LAT_PRODUCT = -9.71758
CORNER_LL_LON_PRODUCT = 113.30288
CORNER_LR_LAT_PRODUCT = -9.73371
CORNER_LR_LON_PRODUCT = 115.37098
CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 94200.000
CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -844500.000
CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 321300.000

CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -844500.000
CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 94200.000
CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -1076400.000
CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 321300.000
CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -1076400.000
PANCHROMATIC_LINES = 15461
PANCHROMATIC_SAMPLES = 15141
REFLECTIVE_LINES = 7731
REFLECTIVE_SAMPLES = 7571
THERMAL_LINES = 7731
THERMAL_SAMPLES = 7571
FILE_NAME_BAND_1 =
"LC81170662016019LGN00_B1.TIF"
FILE_NAME_BAND_2 =
"LC81170662016019LGN00_B2.TIF"
FILE_NAME_BAND_3 =
"LC81170662016019LGN00_B3.TIF"
FILE_NAME_BAND_4 =
"LC81170662016019LGN00_B4.TIF"
FILE_NAME_BAND_5 =
"LC81170662016019LGN00_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6 =
"LC81170662016019LGN00_B6.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 =
"LC81170662016019LGN00_B7.TIF"
FILE_NAME_BAND_8 =
"LC81170662016019LGN00_B8.TIF"
FILE_NAME_BAND_9 =
"LC81170662016019LGN00_B9.TIF"
FILE_NAME_BAND_10 =
"LC81170662016019LGN00_B10.TIF"
FILE_NAME_BAND_11 =
"LC81170662016019LGN00_B11.TIF"
FILE_NAME_BAND_QUALITY =
"LC81170662016019LGN00_BQA.TIF"
METADATA_FILE_NAME =
"LC81170662016019LGN00_MTL.txt"

BPF_NAME_OLI =
"LO8BPF20160119020907_20160119025146.01"
BPF_NAME_TIRS =
"LT8BPF20160110081635_20160124145303.01"
CPF_NAME = "L8CPF20160101_20160331.03"
RLUT_FILE_NAME = "L8RLUT20150303_20431231v11.h5"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 6.59
CLOUD_COVER_LAND = 10.96
IMAGE_QUALITY_OLI = 9
IMAGE_QUALITY_TIRS = 9
TIRS_SSM_MODEL = "FINAL"
TIRS_SSM_POSITION_STATUS = "ESTIMATED"
ROLL_ANGLE = -0.001
SUN_AZIMUTH = 115.09023056
SUN_ELEVATION = 58.07011492
EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9838501
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 4
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 88
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 8.226
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 5.830
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 5.804
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 785.22034
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -64.84375
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 804.07520
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -66.40079
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 740.94843
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -61.18776
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 624.80945
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -51.59697
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 382.35223
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -31.57477
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 95.08752
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.85236
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 32.04958

RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.64667
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 707.11237
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -58.39357
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 149.43192
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -12.34014
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 = 1.2971E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.3283E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.2240E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 1.0321E-02
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.3162E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5708E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.2944E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1681E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.4685E-03
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -64.85672
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -66.41407
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -61.20000
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -51.60729
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -31.58109
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.85393
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.64719
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -58.40525
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -12.34260
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 = 774.8853
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 = 50
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

Mei

GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
REQUEST_ID = "0701606072736_00001"
LANDSAT_SCENE_ID = "LC81170662016147LGN00"
FILE_DATE = 2016-06-08T22:55:54Z
STATION_ID = "LGN"
PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.6.2"
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 = 117
WRS_ROW = 66
NADIR_OFFNADIR = "NADIR"
TARGET_WRS_PATH = 117
TARGET_WRS_ROW = 66
DATE_ACQUIRED = 2016-05-26
SCENE_CENTER_TIME = "02:29:36.9577980Z"
CORNER_UL_LAT_PRODUCT = -7.62427
CORNER_UL_LON_PRODUCT = 113.31246
CORNER_UR_LAT_PRODUCT = -7.63694
CORNER_UR_LON_PRODUCT = 115.37184
CORNER_LL_LAT_PRODUCT = -9.71747
CORNER_LL_LON_PRODUCT = 113.29196
CORNER_LR_LAT_PRODUCT = -9.73367
CORNER_LR_LON_PRODUCT = 115.36277
CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 93000.000
CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -844500.000
CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 320400.000
CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -844500.000
CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 93000.000
CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -1076400.000
CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 320400.000

CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -1076400.000
PANCHROMATIC_LINES = 15461
PANCHROMATIC_SAMPLES = 15161
REFLECTIVE_LINES = 7731
REFLECTIVE_SAMPLES = 7581
THERMAL_LINES = 7731
THERMAL_SAMPLES = 7581
FILE_NAME_BAND_1 =
"LC81170662016147LGN00_B1.TIF"
FILE_NAME_BAND_2 =
"LC81170662016147LGN00_B2.TIF"
FILE_NAME_BAND_3 =
"LC81170662016147LGN00_B3.TIF"
FILE_NAME_BAND_4 =
"LC81170662016147LGN00_B4.TIF"
FILE_NAME_BAND_5 =
"LC81170662016147LGN00_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6 =
"LC81170662016147LGN00_B6.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 =
"LC81170662016147LGN00_B7.TIF"
FILE_NAME_BAND_8 =
"LC81170662016147LGN00_B8.TIF"
FILE_NAME_BAND_9 =
"LC81170662016147LGN00_B9.TIF"
FILE_NAME_BAND_10 =
"LC81170662016147LGN00_B10.TIF"
FILE_NAME_BAND_11 =
"LC81170662016147LGN00_B11.TIF"
FILE_NAME_BAND_QUALITY =
"LC81170662016147LGN00_BQA.TIF"
METADATA_FILE_NAME =
"LC81170662016147LGN00_MTL.txt"
BPF_NAME_OLI =
"LO8BPF20160526020552_20160526023032.01"
BPF_NAME_TIRS =
"LT8BPF20160522121054_20160606055146.01"
CPF_NAME = "L8CPF20160401_20160630.03"

RLUT_FILE_NAME = "L8RLUT20150303_20431231v11.h5"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 4.21
CLOUD_COVER_LAND = 3.54
IMAGE_QUALITY_OLI = 9
IMAGE_QUALITY_TIRS = 9
TIRS_SSM_MODEL = "FINAL"
TIRS_SSM_POSITION_STATUS = "ESTIMATED"
ROLL_ANGLE = -0.001
SUN_AZIMUTH = 41.79925531
SUN_ELEVATION = 49.72756705
EARTH_SUN_DISTANCE = 1.0130761
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 4
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 146
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 6.458
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 4.613
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 4.519
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 740.56860
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -61.15639
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 758.35126
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -62.62490
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 698.81421
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -57.70831
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 589.27954
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -48.66290
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 360.60968
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -29.77926
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 89.68034
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.40583
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 30.22708
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.49616
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 666.90222
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -55.07301
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 140.93443
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -11.63841

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 = 1.2234E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.2527E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.1544E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.7345E-03
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 5.9570E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.4815E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 4.9933E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1017E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.3281E-03
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -61.16863
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -62.63742
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -57.71985
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -48.67263
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -29.78522
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.40731
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.49666
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -55.08402
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -11.64074
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 = 50
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
```

Agustus

GROUP = L1_METADATA_FILE

GROUP = METADATA_FILE_INFO

ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"

REQUEST_ID = "0701609060902_00001"

LANDSAT_SCENE_ID = "LC81170662016243LGN00"

FILE_DATE = 2016-09-07T08:46:44Z

STATION_ID = "LGN"

PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.6.2"

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 = 117

WRS_ROW = 66

NADIR_OFFNADIR = "NADIR"

TARGET_WRS_PATH = 117

TARGET_WRS_ROW = 66

DATE_ACQUIRED = 2016-08-30

SCENE_CENTER_TIME = "02:30:09.4866910Z"

CORNER_UL_LAT_PRODUCT = -7.62436

CORNER_UL_LON_PRODUCT = 113.32332

CORNER_UR_LAT_PRODUCT = -7.63698

CORNER_UR_LON_PRODUCT = 115.38272

CORNER_LL_LAT_PRODUCT = -9.71758

CORNER_LL_LON_PRODUCT = 113.30288

CORNER_LR_LAT_PRODUCT = -9.73372

CORNER_LR_LON_PRODUCT = 115.37371

CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 94200.000

CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -844500.000

CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 321600.000

CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -844500.000

CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 94200.000

CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -1076400.000

CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 321600.000

CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -1076400.000
PANCHROMATIC_LINES = 15461
PANCHROMATIC_SAMPLES = 15161
REFLECTIVE_LINES = 7731
REFLECTIVE_SAMPLES = 7581
THERMAL_LINES = 7731
THERMAL_SAMPLES = 7581
FILE_NAME_BAND_1 =
"LC81170662016243LGN00_B1.TIF"
FILE_NAME_BAND_2 =
"LC81170662016243LGN00_B2.TIF"
FILE_NAME_BAND_3 =
"LC81170662016243LGN00_B3.TIF"
FILE_NAME_BAND_4 =
"LC81170662016243LGN00_B4.TIF"
FILE_NAME_BAND_5 =
"LC81170662016243LGN00_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6 =
"LC81170662016243LGN00_B6.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 =
"LC81170662016243LGN00_B7.TIF"
FILE_NAME_BAND_8 =
"LC81170662016243LGN00_B8.TIF"
FILE_NAME_BAND_9 =
"LC81170662016243LGN00_B9.TIF"
FILE_NAME_BAND_10 =
"LC81170662016243LGN00_B10.TIF"
FILE_NAME_BAND_11 =
"LC81170662016243LGN00_B11.TIF"
FILE_NAME_BAND_QUALITY =
"LC81170662016243LGN00_BQA.TIF"
METADATA_FILE_NAME =
"LC81170662016243LGN00_MTL.txt"
BPF_NAME_OLI =
"LO8BPF20160830020625_20160830034454.01"
BPF_NAME_TIRS =
"LT8BPF20160818225656_20160902083306.01"
CPF_NAME = "L8CPF20160701_20160930.02"

RLUT_FILE_NAME = "L8RLUT20150303_20431231v11.h5"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 6.72
CLOUD_COVER_LAND = 14.72
IMAGE_QUALITY_OLI = 9
IMAGE_QUALITY_TIRS = 9
TIRS_SSM_MODEL = "FINAL"
TIRS_SSM_POSITION_STATUS = "ESTIMATED"
ROLL_ANGLE = -0.001
SUN_AZIMUTH = 58.74266880
SUN_ELEVATION = 56.82257203
EARTH_SUN_DISTANCE = 1.0096587
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 4
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 122
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 6.614
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 5.040
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 4.283
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 745.59015
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -61.57108
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 763.49341
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -63.04953
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 703.55267
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -58.09961
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 593.27527
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -48.99286
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 363.05487
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -29.98119
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 90.28844
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.45605
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 30.43204
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.51309
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 671.42432
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -55.44644
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 141.89008
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -11.71733

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

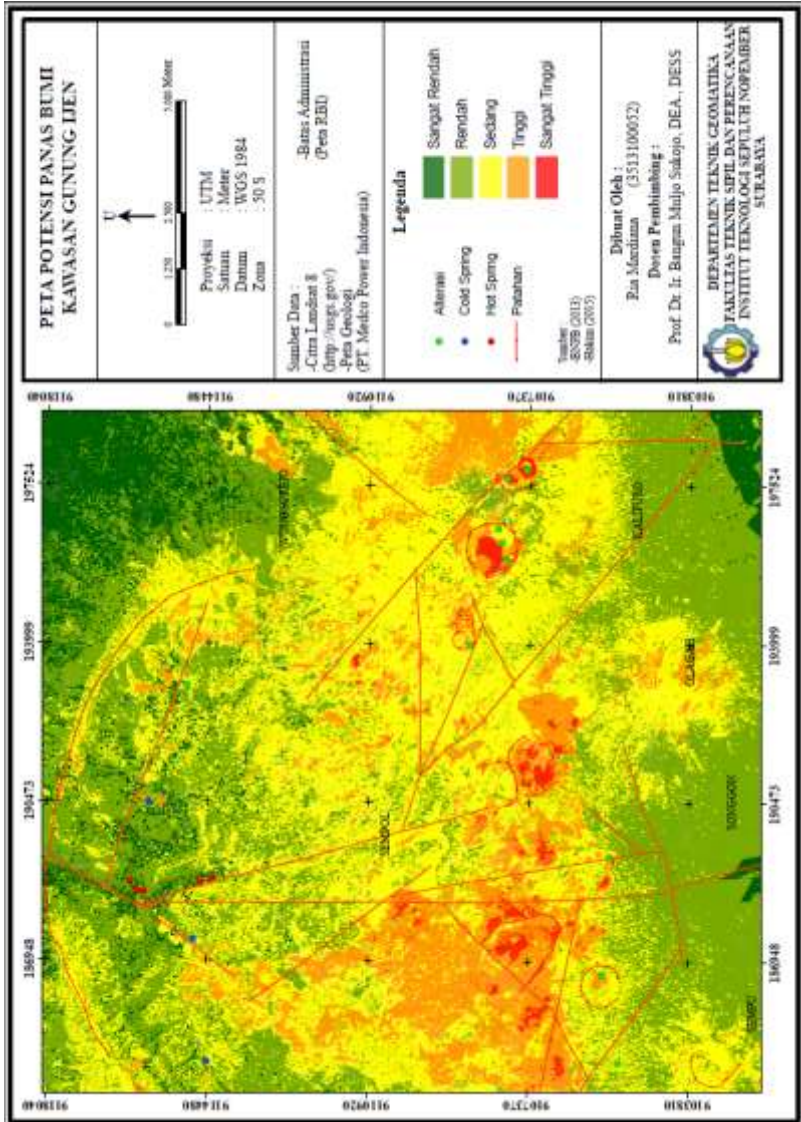
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_8 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_8 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_9 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_9 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_10 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_10 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_11 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_11 = 1
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2317E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.2612E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.1622E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.8005E-03
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 5.9974E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.4915E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.0272E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1092E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.3439E-03
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -61.58340
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -63.06215
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -58.11123
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -49.00266
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -29.98719
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.45754
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.51359
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -55.45753
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -11.71967
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 = 50
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
```

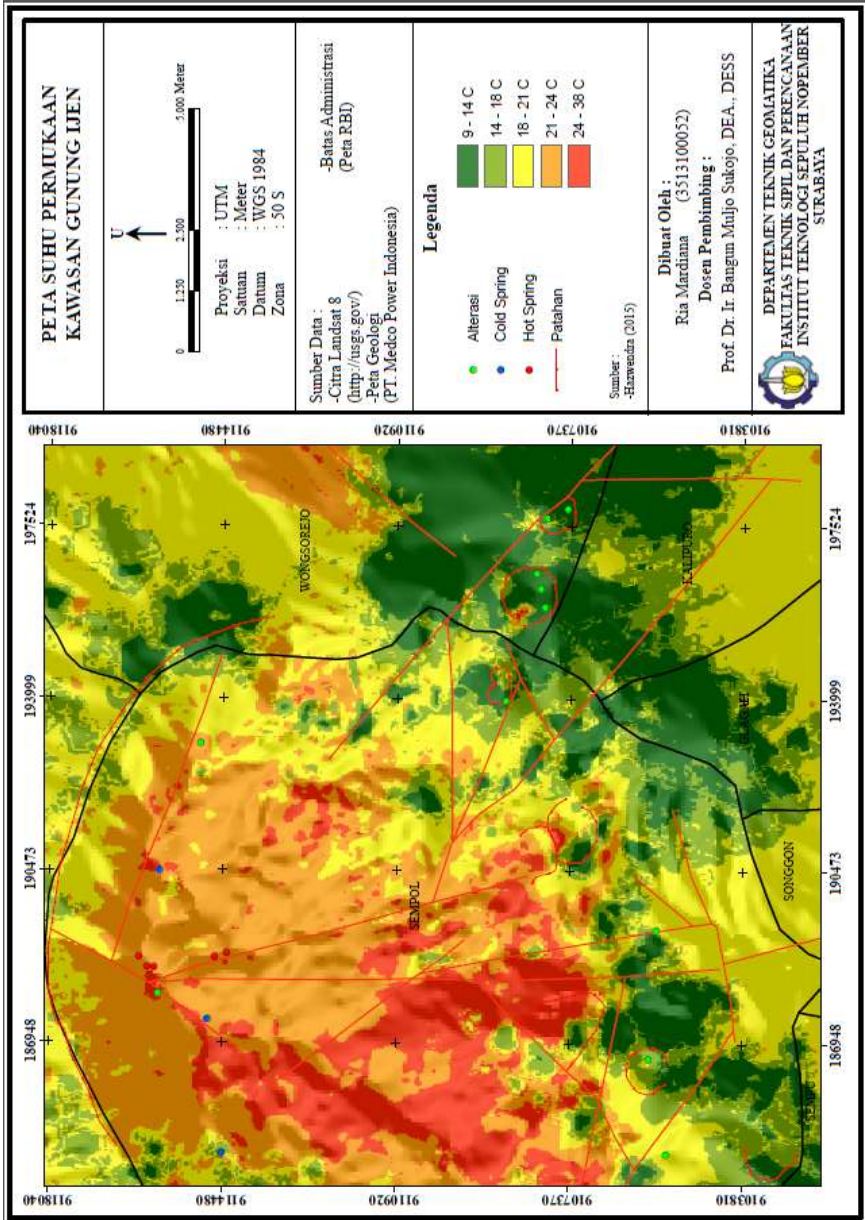
LAMPIRAN IV

Peta

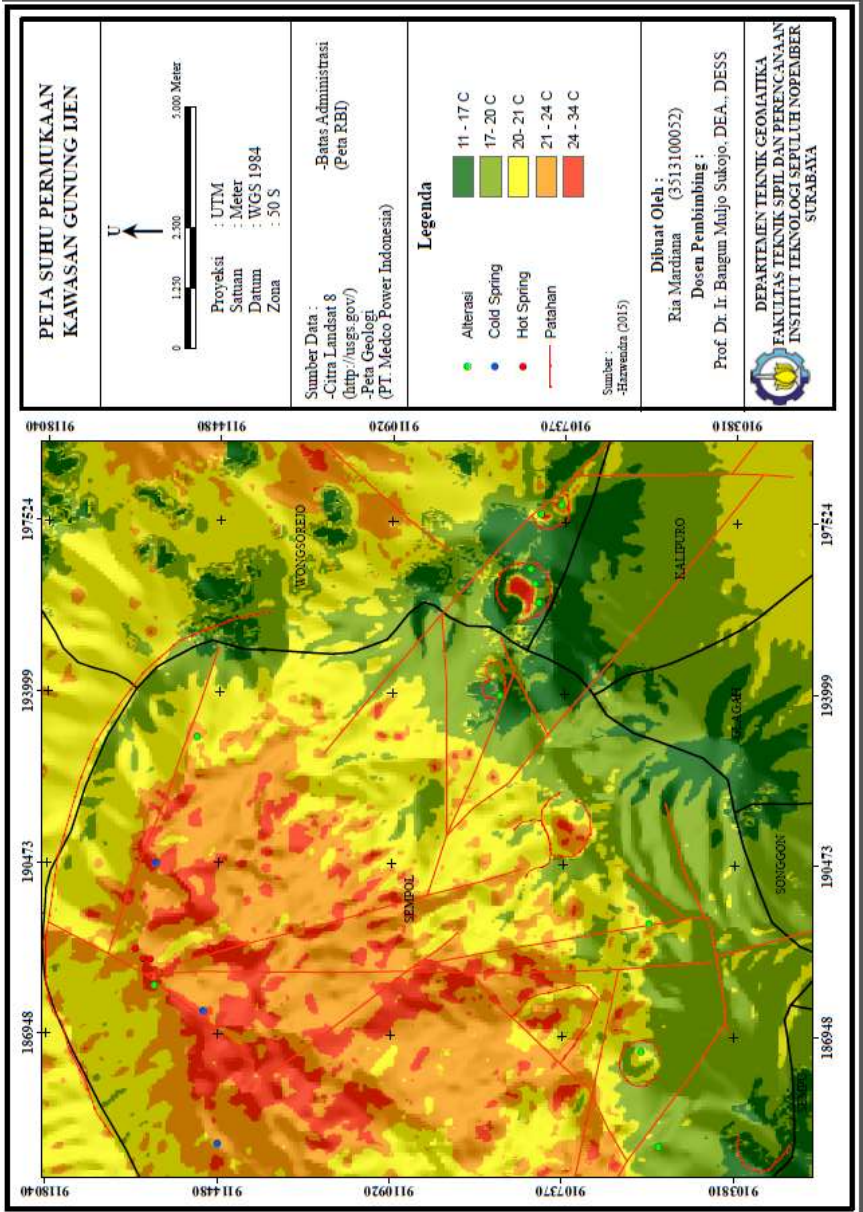
Peta Potensi Panas Bumi



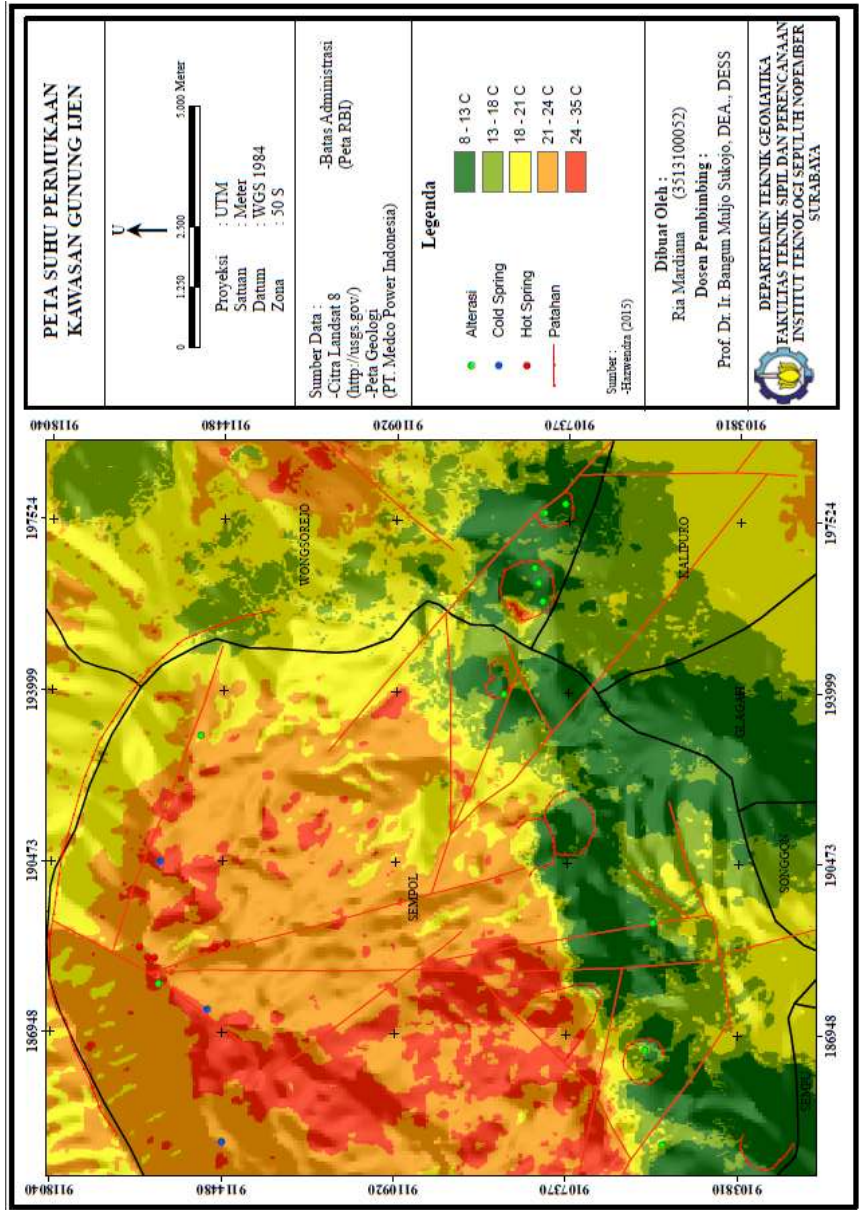
Peta Suhu Permukaan (Bulan Januari)



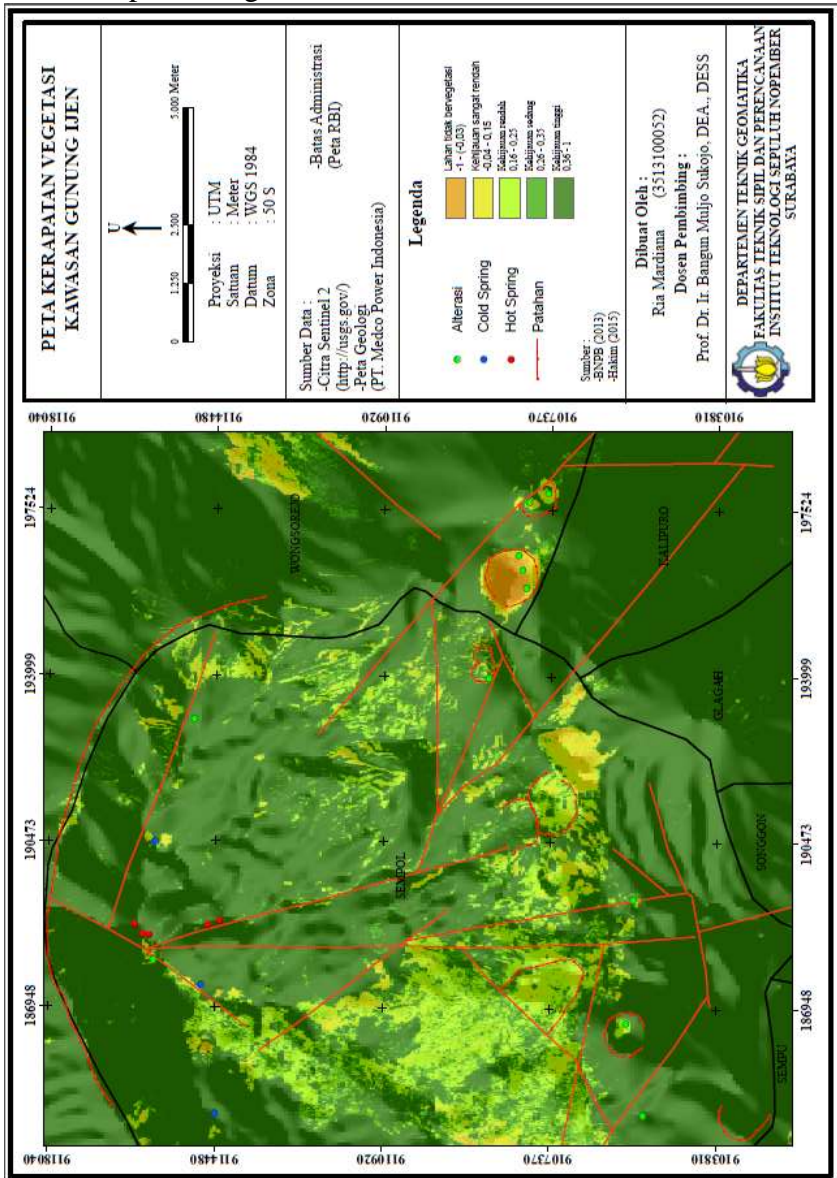
Peta Suhu Permukaan (Bulan Mei)



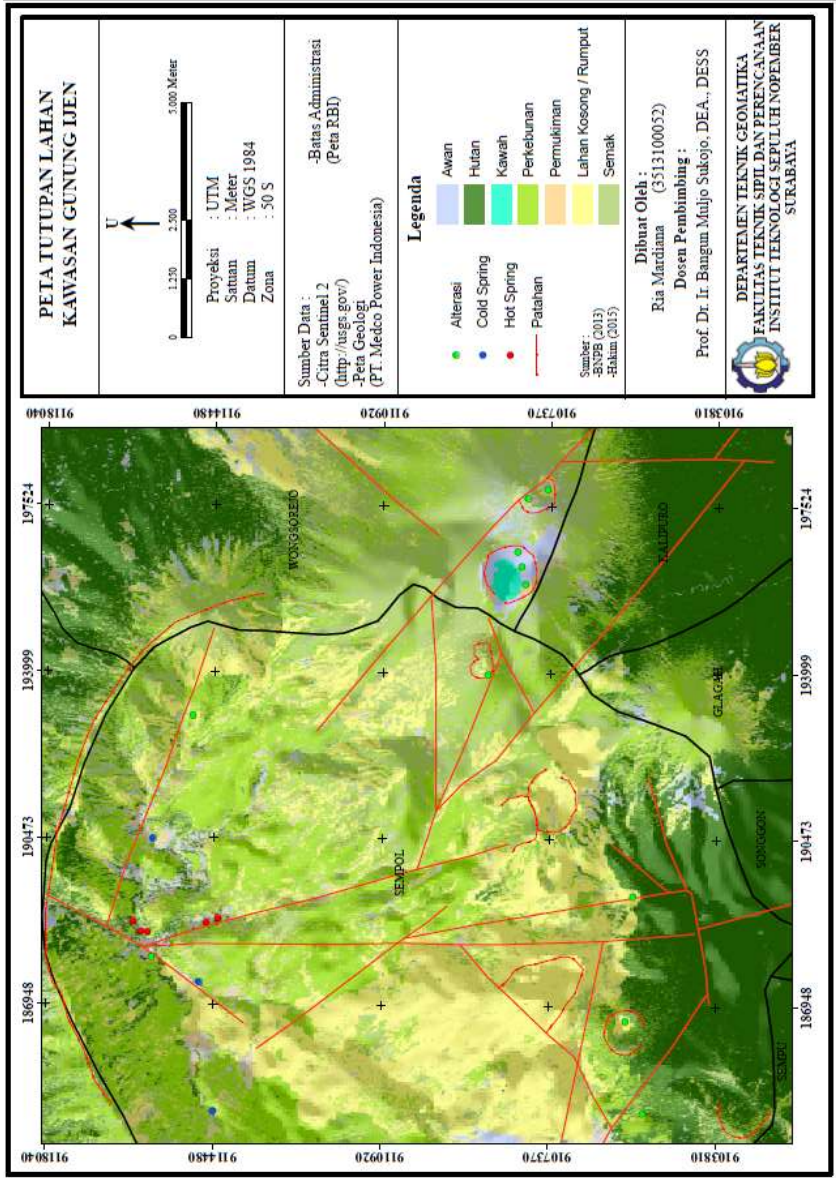
Peta Suhu Permukaan (Bulan Agustus)



Peta Kerapatan Vegetasi



Peta Tutupan Lahan



“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

SURABAYA, JULI 2017
Biodata Penulis



Penulis dilahirkan di Jember, 09 Maret 1995, merupakan anak bungsu dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharmawanita II, SDN 7 Dukuhdempok, SMPN 1 Wuluhan, kemudian di SMAN Ambulu. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan kuliah S-1 dengan mengikuti program SBMPTN dan diterima di Jurusan Teknik Geomatika-FTSP ITS pada tahun 2013. Penulis terdaftar dengan NRP 3513 100 052.

Di bangku kuliah aktif di Jamaah Masjid Manarul Ilmi dan GIS dalam tiga periode 2013-2016. Pada tahun pertama kuliah mengikuti UKM Perisai diri. Selanjutnya penulis pernah meraih Juara 3 PKM-GT Fakultas, Semifinal LKTIN yang diadakan oleh UNNES dan Juara 3 LKTIN E-Challenge yang diadakan oleh Universitas Brawijaya.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”