



**ANALISIS SEBARAN POTENSI DAN MANIFESTASI PANAS BUMI  
PEGUNUNGAN IJEN BERDASARKAN SUHU PERMUKAAN  
DAN GEOMORFOLOGI**

**SKRIPSI**

Oleh :

**Nurfaizatul Jannah**

**NIM 141810201051**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**ANALISIS SEBARAN POTENSI DAN MANIFESTASI PANAS BUMI  
PEGUNUNGAN IJEN BERDASARKAN SUHU PERMUKAAN  
DAN GEOMORFOLOGI**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S-1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh :  
**Nurfaizatul Jannah**  
**NIM 141810201051**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

## PERSEMBAHAN

Sujud syukur saya persembahkan pada Allah SWT Yang Maha Kuasa, karena berkat limpahan rahmat berupa detak jantung, denyut nadi, nafas dan putaran roda kehidupan yang diberikan-Nya hingga saat ini saya dapat berbangga hati mempersembahkan skripsi ini untuk :

1. Kedua orang tua tercinta, Ibu Azizah dan Bapak Supiyono. Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terimakasih yng tidak terhingga saya persembahkan karya kecil ini kepada bapak dan ibu yang telah memberikan kasih sayang, dukungan, dan cinta kasih yang tidak mungkin dapat dibalas hanya dengan selembar kertas bertuliskan kata cinta dan persembahan. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat ibu dan bapak bangga, karena saya sadar selama ini belum bisa berbuat lebih.
2. Adik tersayang, Irfan Efendi. Tidak ada saat yang paling mengharukan saat kita bisa rukun tanpa bertengkar. Percayalah, sejujurnya terlalu banyak ungkapan sayang yang direfleksikan dengan diam. Terimakasih atas doa dan dukungannya selama ini, hanya karya kecil ini yang dapat kakak persembahkan dan maaf karena belum bisa menjadi panutan yang baik seutuhnya meskipun sedang diusahakan hingga saat ini.
3. Guru-guru sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi. Terimakasih atas ilmu dan didikannya hingga saya bisa sejauh ini.
4. Almamater tercinta, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Terimakasih telah menjadi rumah kedua bagi saya selama 4,5 tahun terakhir. Karenamu saya bisa bertemu dengan orang-orang yang hebat dalam berproses.

**MOTTO**

Berada di ruang ini, mungkin sudah takdirmu. Tapi jendela mana yang ingin kamu lihat, itu pilihanmu

(Marchella FP)<sup>\*)</sup>



---

<sup>\*)</sup> Putri, M.F. 2018. *Nanti Kita Cerita Tentang Hari Ini*. Jakarta : PT Gramedia.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nurfaizatul Jannah

NIM : 141810201051

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Sebaran Potensi dan Manifestasi Panas Bumi Pegunungan Ijen Berdasarkan Suhu Permukaan dan Geomorfologi” adalah benar-benar karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Januari 2019

Yang Menyatakan,

Nurfaizatul Jannah  
NIM 141810201051

**SKRIPSI**

**ANALISIS SEBARAN POTENSI DAN MANIFESTASI PANAS BUMI  
PEGUNUNGAN IJEN BERDASARKAN SUHU PERMUKAAN  
DAN GEOMORFOLOGI**

Oleh :

**Nurfaizatul Jannah  
NIM 141810201051**

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si., Ph.D.

Dosen Pembimbing Anggota : Agus Suprianto, S.Si., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Analisis Sebaran Potensi dan Manifestasi Panas Bumi Pegunungan Ijen Berdasarkan Suhu Permukaan dan Geomorfologi” telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas  
Jember

Tim Penguji :

Ketua

Anggota I,

Bowo Eko Chayono, S.Si., M.Si., Ph.D.  
NIP 19720210 199802 1 001

Agus Suprianto, S.Si., M.T.  
NIP 19700322 199702 1 001

Anggota II,

Anggota III,

Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si.  
NIP 19720820 199802 1 001

Wenny Maulina, S.Si., M.Si.  
NIP 19871104 201404 2 001

Mengesahkan  
Dekan,

Drs. Sujito., Ph.D.  
NIP 19610204 198711 1 001



## RINGKASAN

**Analisis Sebaran Potensi dan Manifestasi Panas Bumi Pegunungan Ijen Berdasarkan Suhu Permukaan dan Geomorfologi;** Nurfaizatul Jannah, 141810201051; 2019; 101 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Pegunungan Ijen adalah salah satu pegunungan api aktif di Jawa Timur yang dahulunya berupa gunung api tunggal bernama Gunung Kendeng yang selanjutnya mengalami erupsi secara eksplosif. Pegunungan ini diduga besar berpotensi panas bumi karena ditemukannya beberapa manifestasi di permukaan berupa mata air panas (*hot spring*) dan batuan teralterasi di dalam kalderanya. Untuk melakukan sebuah analisis zona potensi panas bumi salah satunya dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh. Pemanfaatan penginderaan jauh didasarkan pada beberapa parameter utama penentu potensi panas bumi yang dapat dengan mudah diidentifikasi dengan menggunakan citra satelit, yaitu suhu permukaan tanah dan manifestasi panas bumi yang dikontrol oleh keberadaan geomorfologi berupa kelurusan (*lineament*).

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui sebaran potensi panas bumi Pegunungan Ijen berdasarkan asosiasi ketinggian dan suhu permukaan tanah, serta memetakan manifestasi panas bumi berdasarkan asosiasi suhu permukaan tanah dan geomorfologi berupa kelurusan dengan analisis citra satelit Landsat.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Land Surface Temperature* (LST) untuk memperoleh distribusi nilai suhu permukaan tanah dan ekstraksi otomatis dengan menggunakan algoritma *Line* untuk memperoleh kelurusan. Selanjutnya pemetaan zona potensi panas bumi dilakukan dengan melihat asosiasi ketinggian dan distribusi nilai suhu permukaan tanahnya yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah di sekitarnya, sementara kelurusan yang berinterseksi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi digunakan untuk memetakan potensi manifestasi panas bumi berdasarkan fakta bahwa sebagian besar manifestasi yang telah terdata berasosiasi dengan kelurusan dan suhu permukaan tanah yang tinggi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah yang berpotensi panas bumi berada pada bagian dalam kaldera Pegunungan Ijen yang termasuk ke dalam administrasi Desa Sempol dan Desa Kalianyar, dimana anomali suhu yang terdeteksi sebesar 26-50°C yang didominasi oleh vegetasi dengan tingkat kehijauan tinggi. Sementara beberapa manifestasi panas bumi yang telah terdata diketahui berasosiasi dengan kelurusan yang berinterseksi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi, sehingga potensi manifestasi yang berhasil dipetakan ialah kelurusan yang secara konsisten berinterseksi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi pada September 2013, 2015, dan 2017 dengan orientasi Tenggara – Barat Laut dan Barat Daya – Timur Laut.



## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Sebaran Potensi dan Manifestasi Panas Bumi Pegunungan Ijen Berdasarkan Suhu Permukaan dan Geomorfologi”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S-1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Agus Suprianto, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran serta perhatiannya dalam membimbing penulisan skripsi ini;
2. Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si., dan Wenny Maulina, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan kritik dan saran untuk penulisan skripsi ini;
3. Udhi Catur Nugroho, selaku Dosen Pembimbing Lapangan selama magang di Kantor Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh Lembaga Antariksa Penerbangan Nasional (Pusfatja LAPAN);
4. Supriyadi, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
5. Segenap dosen dan karyawan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember yang banyak berjasa selama saya kuliah;
6. Teman-teman *remote sensing*, Yossika Dwi Permatasari, Shofitri Zuhannisa', Asih Sumarlin, Ira Apsari Ningtyas, Ulfa Urfiyah, dan Cita Dewi Nindi Tara Sakti yang menemani dari awal tercetusnya ide penelitian ini hingga selesai;
7. Teman-teman seperjuangan Fisika angkatan 2014 serta kakak dan adik tingkat Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah membantu dan memberikan dukungan serta semangat;

8. Lima manusia terbaik yang tidak pernah bosan dan lelah memotivasi penulis dalam proses disusunnya skripsi ini, Ira Apsari Ningtyas, Rani Kusumaningtyas, Ulfa Urfiyah, Cita Dewi Nindi Tara Sakti, dan Lutviana.
9. Teman hidup selama di Jember, Desi Wijayanti dan Izma Muammaroh Jadidah. Terimakasih atas segala motivasi dan hiburannya selama ini. Kalian berdua partner tidur terbaik sepanjang masa.
10. Semua pihak yang telah berkontribusi namun tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Jember, Januari 2019

Penulis

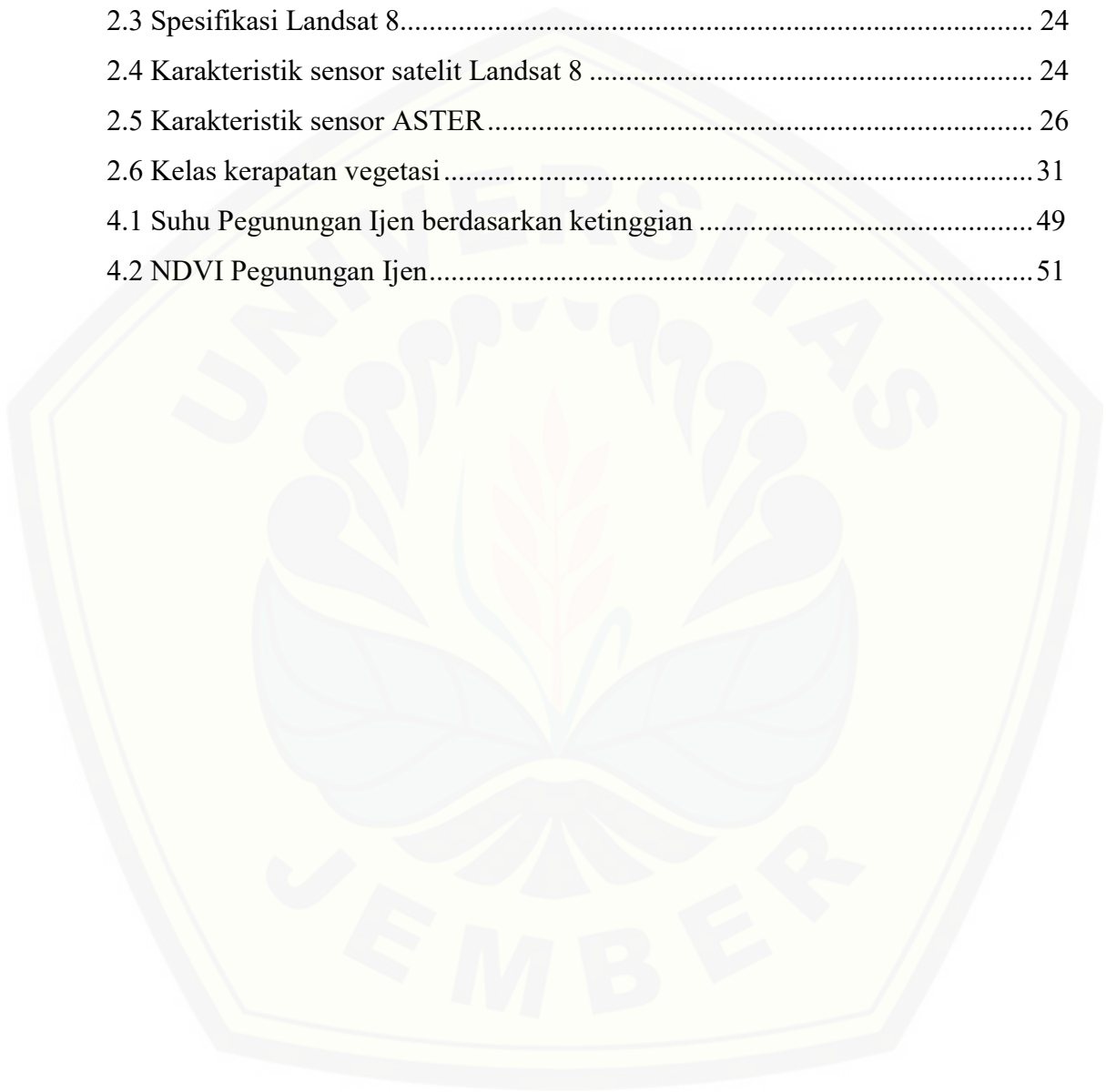
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	ii
HALAMAN MOTTO .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBING .....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN .....	vii
PRAKATA .....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Batasan Masalah .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian.....</b>	<b>6</b>
<b>1.5 Manfaat.....</b>	<b>7</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Geologi Pegunungan Ijen .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Panas Bumi (<i>Geothermal</i>).....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Penginderaan Jauh (<i>Remote Sensing</i>) .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 Gelombang Elektromagnetik .....</b>	<b>19</b>
<b>2.5 Citra Satelit.....</b>	<b>23</b>
2.5.1 Landsat 8.....	23

2.5.2 GDEM ASTER.....	25
2.6 NDVI ( <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> ).....	27
2.7 LST ( <i>Land Surface Temperature</i> ) .....	31
2.8 Geomorfologi dan Kelurusan.....	33
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>35</b>
3.1 Rancangan Penelitian .....	35
3.2 Jenis dan Sumber Data.....	37
3.3 Definisi Operasional Variabel.....	37
3.4 Kerangka Pemecahan Masalah .....	38
3.5 Prosedur Penelitian.....	39
3.5.1 Tahap Persiapan .....	39
3.5.2 Tahap Pengolahan Data .....	41
3.6 Metode Analisis Data.....	43
3.6.1 Analisis Peta Suhu Permukaan Tanah dan Ketinggian.....	43
3.6.2 Analisis Peta Kerapatan Vegetasi .....	44
3.6.3 Analisis Peta Kelurusan .....	44
3.6.4 Analisis Peluang Munculnya Manifestasi Panas Bumi .....	45
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>46</b>
4.1 Suhu Permukaan Tanah dan Ketinggian Pegunungan Ijen .....	46
4.2 Kerapatan Vegetasi Pegunungan Ijen .....	50
4.3 Kelurusan Pegunungan Ijen .....	53
4.4 Manifestasi Panas Bumi Pegunungan Ijen.....	56
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>59</b>
5.1 Kesimpulan .....	59
5.2 Saran .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>60</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>67</b>

**DAFTAR TABEL**

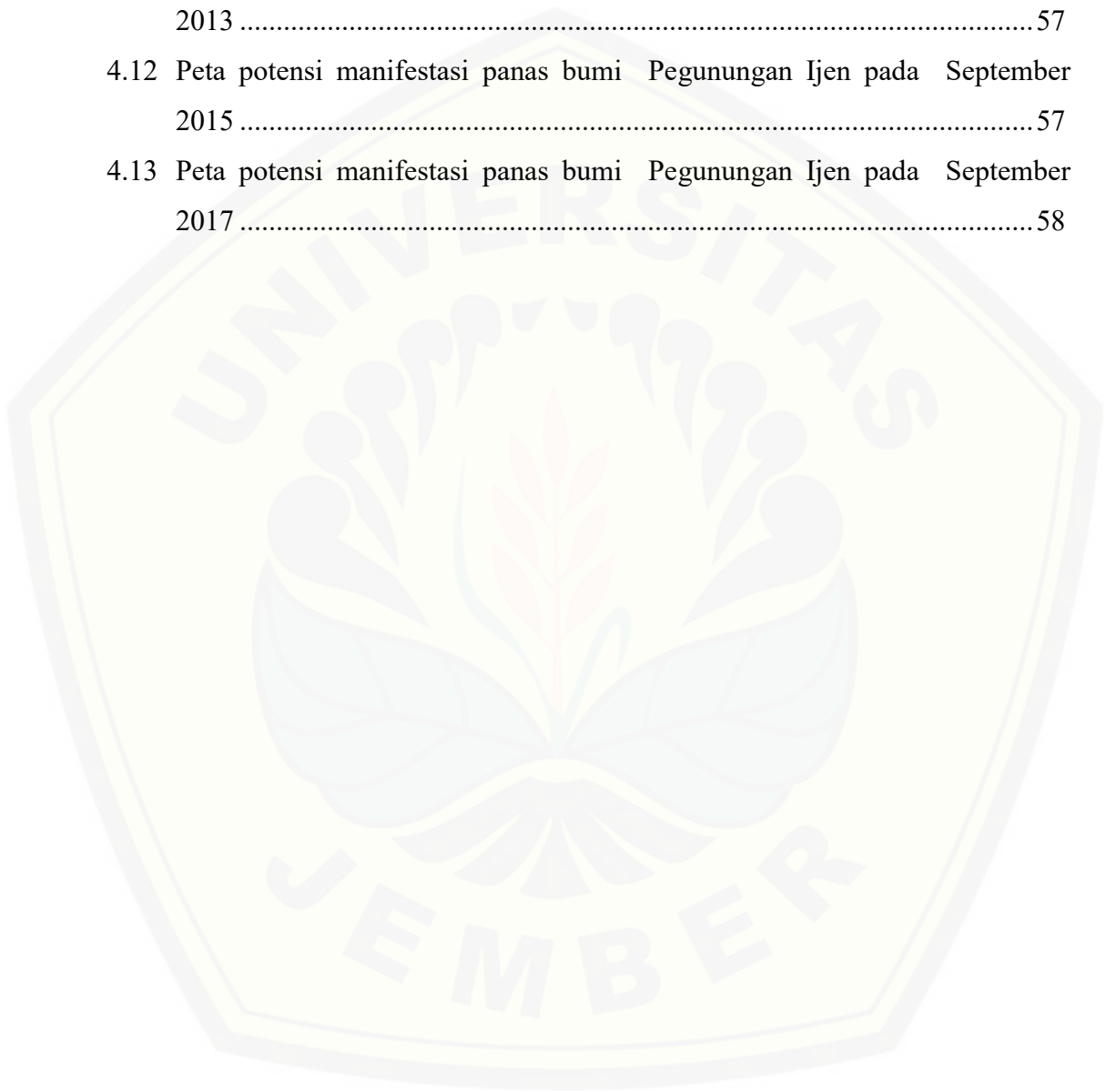
	Halaman
2.1 Keberadaan manifestasi permukaan berdasarkan peran transfer panas .....	14
2.2 Spesifikasi peluncuran Landsat.....	24
2.3 Spesifikasi Landsat 8.....	24
2.4 Karakteristik sensor satelit Landsat 8 .....	24
2.5 Karakteristik sensor ASTER.....	26
2.6 Kelas kerapatan vegetasi.....	31
4.1 Suhu Pegunungan Ijen berdasarkan ketinggian .....	49
4.2 NDVI Pegunungan Ijen.....	51



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Pegunungan Ijen .....	8
2.2 Sketsa Gunung Ijen Tua sebelum terbentuk kaldera .....	9
2.3 Sketsa Gunung Ijen Tua setelah terbentuk kaldera.....	9
2.4 Sketsa proses terbentuknya <i>escarpment</i> .....	10
2.5 Sketsa Patahan Blawan yang tererosi secara intensif.....	10
2.6 Sketsa kompleks Ijen saat ini.....	11
2.7 Reservoir panas bumi .....	12
2.8 Wahana penginderaan jauh.....	16
2.9 Konsep dasar penginderaan jauh .....	16
2.10 Sistem sensor (a) Pasif dan (b) Aktif.....	17
2.11 Skema prinsip penginderaan jauh.....	18
2.12 Spektrum elektromagnetik.....	21
2.13 Reflektansi objek tanah, vegetasi, dan air .....	22
2.14 Pola penyerapan gelombang elektromagnetik oleh vegetasi .....	28
2.15 Gelombang elektromagnetik yang dipantulkan oleh daun .....	29
2.16 Ilustrasi pemantulan gelombang elektromagnetik .....	29
2.17 Kelurusan Gunung Salak .....	34
3.1 Rancangan penelitian.....	35
3.2 Lokasi penelitian.....	36
3.3 Kerangka pemecahan masalah.....	38
3.4 Kode <i>path/row</i> Pulau Jawa .....	39
4.1 Peta ketinggian permukaan Pegunungan Ijen.....	47
4.2 Peta suhu permukaan tanah Pegunungan Ijen pada September 2013.....	47
4.3 Peta suhu permukaan tanah Pegunungan Ijen pada September 2015.....	48
4.4 Peta suhu permukaan tanah Pegunungan Ijen pada September 2017.....	48
4.5 Peta kerapatan vegetasi Pegunungan Ijen pada September 2013 .....	51
4.6 Peta kerapatan vegetasi Pegunungan Ijen pada September 2015 .....	52
4.7 Peta kerapatan vegetasi Pegunungan Ijen pada September 2017 .....	52

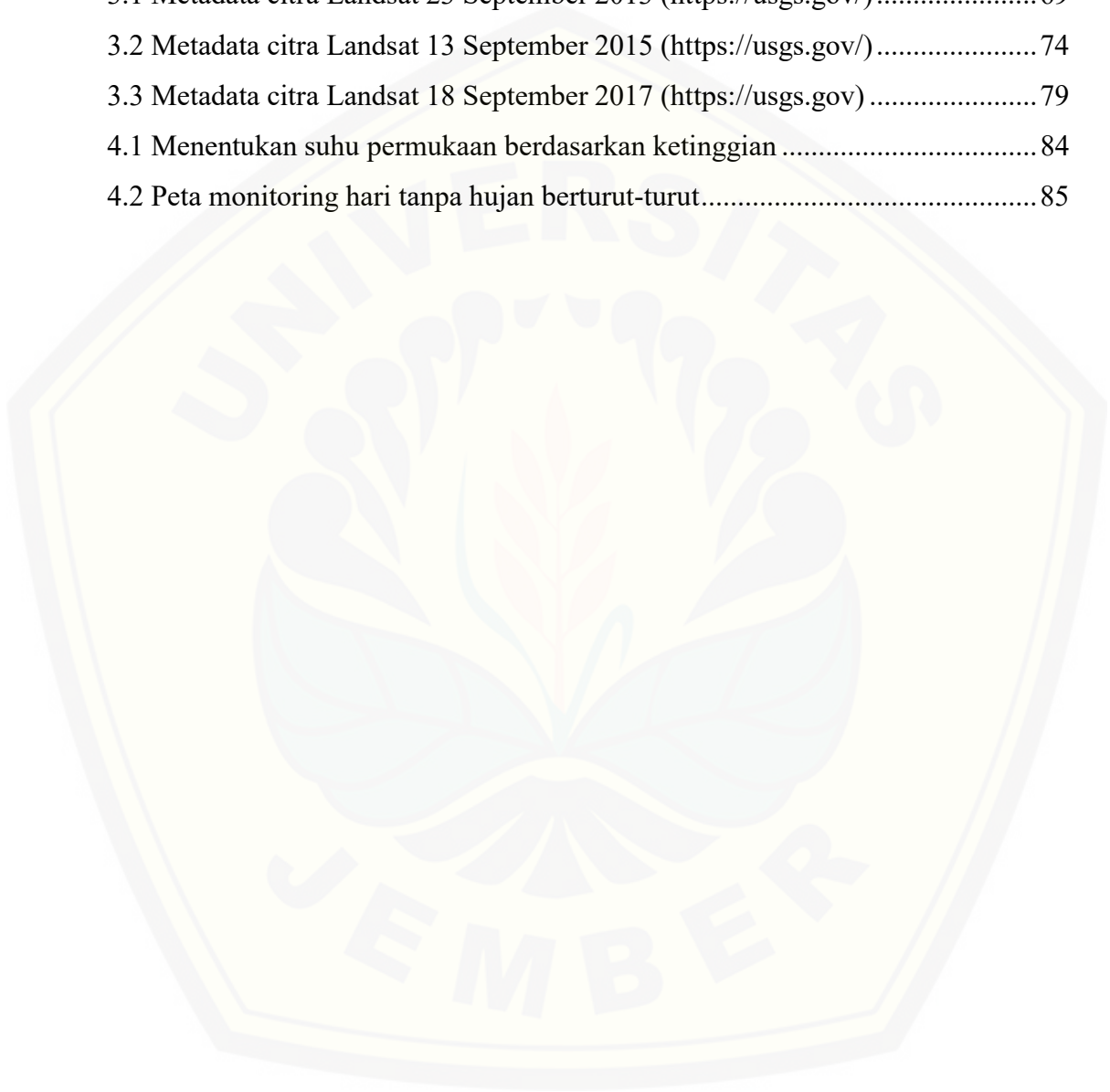
4.8	Kelurusan Pegunungan Ijen pada September 2013 .....	54
4.9	Kelurusan Pegunungan Ijen pada September 2015 .....	54
4.10	Kelurusan Pegunungan Ijen pada September 2017 .....	55
4.11	Peta potensi manifestasi panas bumi Pegunungan Ijen pada September 2013 .....	57
4.12	Peta potensi manifestasi panas bumi Pegunungan Ijen pada September 2015 .....	57
4.13	Peta potensi manifestasi panas bumi Pegunungan Ijen pada September 2017 .....	58





**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
2.1 Kaldera Pegunungan Ijen .....	67
3.1 Metadata citra Landsat 23 September 2013 ( <a href="https://usgs.gov/">https://usgs.gov/</a> ).....	69
3.2 Metadata citra Landsat 13 September 2015 ( <a href="https://usgs.gov/">https://usgs.gov/</a> ).....	74
3.3 Metadata citra Landsat 18 September 2017 ( <a href="https://usgs.gov/">https://usgs.gov/</a> ).....	79
4.1 Menentukan suhu permukaan berdasarkan ketinggian .....	84
4.2 Peta monitoring hari tanpa hujan berturut-turut.....	85



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan jumlah penduduk Indonesia dari tahun ke tahun selalu mengalami peningkatan. Peningkatan ini menimbulkan berbagai dampak terhadap penggunaan energi untuk menunjang kebutuhan hidup di berbagai sektor, seperti industri, transportasi, rumah tangga, dan lain-lain. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk mendorong pemanfaatan, penggunaan dan pengembangan energi alternatif yang bersifat terbarukan (*renewable energy*). Mengingat kondisi geografis Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik, maka salah satu potensi energi yang cukup menjanjikan adalah energi panas bumi. Indonesia diketahui memiliki cadangan panas bumi terbesar di dunia dengan potensi mencapai 28,99 GWe atau setara dengan 40% dari total potensi dunia yang telah dieksplorasi. Panas bumi tersebut tersebar pada 276 area di 26 provinsi dengan energi yang dikembangkan hanya mencapai 196 MWe atau sekitar 4% dari total potensi energi yang ada (Siahaan *et al.*, 2011; Faridah dan Krisbiantoro, 2014).

Energi panas bumi adalah energi panas alami dari dalam bumi yang ditransfer ke permukaan bumi secara konduksi dan konveksi (Smaragdenkis *et al.*, 2016). Jika di suatu lokasi ditemukan manifestasi panas bumi, maka sudah pasti di bawahnya ada sumber panas bumi yang membuat suhu air tanah meningkat dan tentunya hanya berada di lokasi tertentu dengan kondisi geologi yang khas. Pengamatan yang mudah adalah dengan mencari keberadaan manifestasi yang membuatnya keluar ke permukaan tanah sebagai contoh air panas (Suparno, 2009). Adanya manifestasi panas bumi di permukaan diperkirakan terjadi karena perambatan panas dari bawah permukaan atau akibat rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan (Saptadji, 2001).

Kawasan potensi panas bumi di Indonesia umumnya berada di kawasan gunung vulkanik yang dikelilingi oleh hutan lindung, hutan konservasi, dan cagar alam dengan permukaan area sebagian besar tertutup vegetasi. Beberapa diantaranya yaitu Gunung Ijen dan Gunung Raung yang tergabung dalam

kompleks Pegunungan Ijen di Jawa Timur dengan cadangan terduga sebesar 133 MWe menurut data 3G (*Geophysic, Geochemical, Geologic*), dimana 110 MWe milik Gunung Ijen dan 23 MWe milik Gunung Raung (Pemprov Jatim, 2015). Dengan melimpahnya potensi panas bumi di Pegunungan Ijen maka diperlukan suatu upaya untuk memaksimalkan kandungan potensi yang ada melalui pemetaan potensi dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh. Peta potensi tersebut dapat digunakan untuk mendeskripsikan informasi geospasial suatu wilayah untuk mengetahui area yang berpotensi memiliki kandungan panas bumi (Mardiana, 2017). Sementara teknologi penginderaan jauh merupakan cara yang sangat efektif karena dapat mengidentifikasi karakteristik spektral permukaan area berdasarkan sensor satelit (Sukendar *et al.*, 2016).

Penginderaan jauh merupakan suatu teknologi yang dapat digunakan untuk memperoleh sebuah informasi atau fenomena alam melalui analisis suatu data yang diperoleh dari hasil rekaman obyek, daerah atau fenomena yang dikaji tanpa kontak langsung. Perekaman atau pengumpulan data penginderaan jauh dilakukan dengan menggunakan alat pengindera (sensor) yang dipasang pada pesawat terbang atau satelit (Lillesand dan Kiefer, 1994). Penginderaan jauh sistem satelit mempunyai beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan penginderaan jauh sistem fotografi. Kelebihannya antara lain adalah luas liputan dan pengulangan rekaman daerah yang sama dilakukan dalam waktu yang relatif singkat. Salah satu satelit yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi daerah potensi panas bumi adalah Landsat 8 yang dinilai sangat efektif dalam mengidentifikasi karakteristik spektral permukaan dikarenakan wilayah penelitian yang cukup luas. Selain itu, citra Landsat 8 disinyalir memiliki akurasi geodetik dan geometrik yang lebih baik jika dibandingkan dengan Landsat generasi sebelumnya (Sutanto, 1994). Citra dari satelit ini dapat digunakan untuk menganalisis distribusi potensi panas bumi melalui suhu permukaan tanahnya menggunakan *band* termal, indeks vegetasi menggunakan *band* infra merah (Sukendar *et al.*, 2016) dan geomorfologi berupa kelurusan struktur menggunakan *band* reflektan untuk pemetaan manifestasi panas bumi.

Suhu permukaan tanah atau biasa disebut *Land Surface Temperature* (LST) adalah salah satu parameter kunci keseimbangan energi pada permukaan dan merupakan variabel klimatologis utama yang dikendalikan oleh atmosfer, sifat termal dari permukaan, dan media bawah permukaan tanah (Becker dan Li, 1990). Dalam penginderaan jauh, LST dapat didefinisikan sebagai suhu permukaan rata-rata dari suatu permukaan yang digambarkan dalam cakupan suatu piksel dengan berbagai tipe permukaan yang berbeda. Suhu ini dapat diidentifikasi dari citra satelit Landsat yang diekstrak melalui *band* termalnya (Faridah dan Krisbiantoro, 2014) dengan memanfaatkan prinsip bahwa setiap objek di muka bumi memancarkan radiasi gelombang elektromagnetik yang berbeda tergantung suhu yang dimilikinya. Pada umumnya, daerah yang berpotensi panas bumi diasosiasikan dengan suhu permukaan tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu sekitarnya. Selain itu, semakin tinggi suatu daerah, seharusnya suhu permukaan tanahnya semakin rendah. Namun, apabila semakin tinggi permukaan dan suhu permukaan tanahnya semakin tinggi maka terdapat anomali panas pada daerah tersebut sehingga potensi adanya panas bumi semakin besar (Saragih, 2015). Ketinggian permukaan salah satunya dapat divisualisasikan menggunakan citra satelit ASTER (*Advance Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) dalam bentuk data DEM (*Digital Elevation Model*) berupa informasi ketinggian dari obyek di permukaan bumi. Pemetaan potensi panas bumi dengan melihat distribusi nilai LST pernah dilakukan sebelumnya oleh Juniarti *et al.* (2017) di daerah Kawah Wurung, Bondowoso. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki sebaran suhu permukaan tanah berkisar antara 10-50°C dengan anomali suhu yang diduga berpotensi panas bumi berada pada rentang 31-50°C yang berasosiasi dengan keberadaan manifestasi panas bumi berupa tanah hangat (*warm ground*).

Selain itu, suhu permukaan tanah (LST) bersama geomorfologi berupa kelurusan (*lineament*) dapat digunakan untuk memetakan manifestasi panas bumi. Kelurusan adalah fitur linear yang dapat dipetakan dari permukaan, dan merupakan ekspresi morfologi struktur geologi. Daerah yang memiliki banyak kelurusan diyakini ahli geologi sebagai daerah zona lemah, dimana pada daerah

ini dapat menjadi jalan air menuju permukaan yang menjadi sumber panas di permukaan dari sistem panas bumi yang ada (Hung *et al.*, 2005). Sementara manifestasi panas bumi adalah tanda-tanda alam yang nampak di permukaan tanah sebagai petunjuk awal adanya aktivitas panas bumi di bawah permukaan. Manifestasi ini diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau karena adanya kelurusan seperti rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan (Saptadji, 2005). Pada umumnya, manifestasi panas bumi yang ditemukan di alam berasosiasi dengan kelurusan dan suhu permukaan tanah yang tinggi. Sehingga dengan demikian potensi manifestasi panas bumi dapat dipetakan dengan melihat asosiasi antara keduanya. Azhari *et al.* (2016) pernah melakukan penelitian terkait identifikasi struktur geologi dan pengaruhnya terhadap suhu permukaan tanah berdasarkan data Landsat 8 di lapangan panas bumi Blawan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa analisis data penginderaan jauh merupakan pendekatan yang cukup baik dalam mengidentifikasi struktur geologi yang mengontrol manifestasi panas bumi, dimana diketahui bahwa patahan Blawan adalah struktur utama di daerah geotermal Blawan yang berasosiasi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi dan deretan mata air panas. Selain itu, PT. Medco Power Indonesia juga berhasil memetakan sebaran manifestasi panas bumi berupa mata air panas (*hot spring*) dan batuan alterasi yang berasosiasi dengan kelurusan dan suhu permukaan tanah yang tinggi di Pegunungan Ijen (Mardiana, 2017).

Analisis distribusi potensi panas bumi dapat diperkuat dengan melibatkan indikator tingkat kerapatan vegetasi, dimana jika kondisi suatu daerah yang memiliki elevasi tinggi dan bervegetasi rapat ternyata memiliki suhu permukaan tanah yang tinggi, maka hal tersebut memperkuat dugaan adanya potensi panas bumi. Dalam analisisnya kerapatan vegetasi dapat diperoleh dengan menggunakan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). NDVI merupakan indeks vegetasi yang paling dikenal dan sering digunakan. NDVI dikembangkan berdasarkan perbedaan absorpsi maksimum pada gelombang merah dan reflektan maksimum pada gelombang infra merah yang didasarkan pada struktur sel daun. NDVI dipilih karena algoritma ini telah dikenal luas dalam penginderaan jauh



untuk studi vegetasi. Meskipun sederhana, namun terbukti memiliki kemampuan untuk menonjolkan fenomena terkait kerapatan vegetasi dengan menekan sumber-sumber variasi spektral lain (Rouse *et al.*, 1973). Anomali vegetasi pada area panas bumi dapat dikaji dengan asumsi bahwa daerah dengan tingkat kerapatan vegetasi yang tinggi namun suhu permukaan tanahnya tinggi diduga besar berpotensi panas bumi karena panas yang terekam oleh satelit bukan ditimbulkan oleh aktivitas manusia melainkan aktivitas vulkanik. Menurut penelitian Mardiana (2017) tentang analisis potensi panas bumi menggunakan Landsat 8 dan Sentinel 2 di Gunung Ijen, diketahui bahwa sebagian besar wilayah penelitian didominasi oleh vegetasi dengan tingkat kerapatan tinggi dengan nilai NDVI berkisar 0,36-1.

Penelitian untuk menetapkan status kelayakan suatu lokasi energi panas bumi biasanya memerlukan waktu yang cukup lama, oleh karena itu digunakan peran citra satelit sebagai alternatif solusi untuk mempercepat dan mempertimbangkan efisiensi waktu untuk meneliti terutama pada proses pemetaan sebelum dilakukan survey dengan metode geofisika lapang dan eksplorasi. Berkaitan dengan status Gunung Ijen yang berada dalam tahap eksplorasi dan status Gunung Raung yang masih dalam tahap survey pendahuluan, maka penelitian ini perlu dilakukan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya agar kegiatan eksplorasi geofisika menjadi lebih fokus dan efektif.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang ingin diteliti dalam skripsi ini adalah mengenai sebaran potensi panas bumi Pegunungan Ijen berdasarkan asosiasi ketinggian dan suhu permukaan tanah, serta memetakan manifestasi panas bumi berdasarkan asosiasi suhu permukaan tanah dan geomorfologi berupa kelurusan dengan analisis citra satelit Landsat.

### 1.3 Batasan Masalah

Penelitian analisis sebaran potensi dan manifestasi panas bumi Pegunungan Ijen berdasarkan suhu permukaan dan geomorfologi dibatasi pada hal-hal berikut :

1. Daerah yang dikaji dalam penelitian ini adalah Pegunungan Ijen yang dibatasi pada koordinat  $7,97^{\circ}$ –  $8,19^{\circ}$  LS dan  $114,03^{\circ}$ -  $114,31^{\circ}$  BT
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Landsat 8 yang diakuisisi pada 23 September 2013, 13 September 2015, dan 18 September 2017 serta GDEM ASTER yang diakuisisi pada tahun 2011
3. Pengolahan citra Landsat 8 dilakukan untuk mendapatkan nilai distribusi suhu permukaan tanah (LST), indeks vegetasi (NDVI) dan kelurusan (*lineament*), sedangkan GDEM ASTER digunakan untuk mendapatkan nilai ketinggian permukaan
4. Data pendukung yang digunakan meliputi peta geologi struktur dan peta geologi milik PT. Medco Power Indonesia
5. Distribusi zona potensi panas bumi dipetakan berdasarkan asosiasi antara ketinggian dan suhu permukaan tanah (LST) yang tinggi
6. Manifestasi panas bumi dipetakan berdasarkan asosiasi kelurusan (*lineament*) dan suhu permukaan tanah (LST) yang tinggi

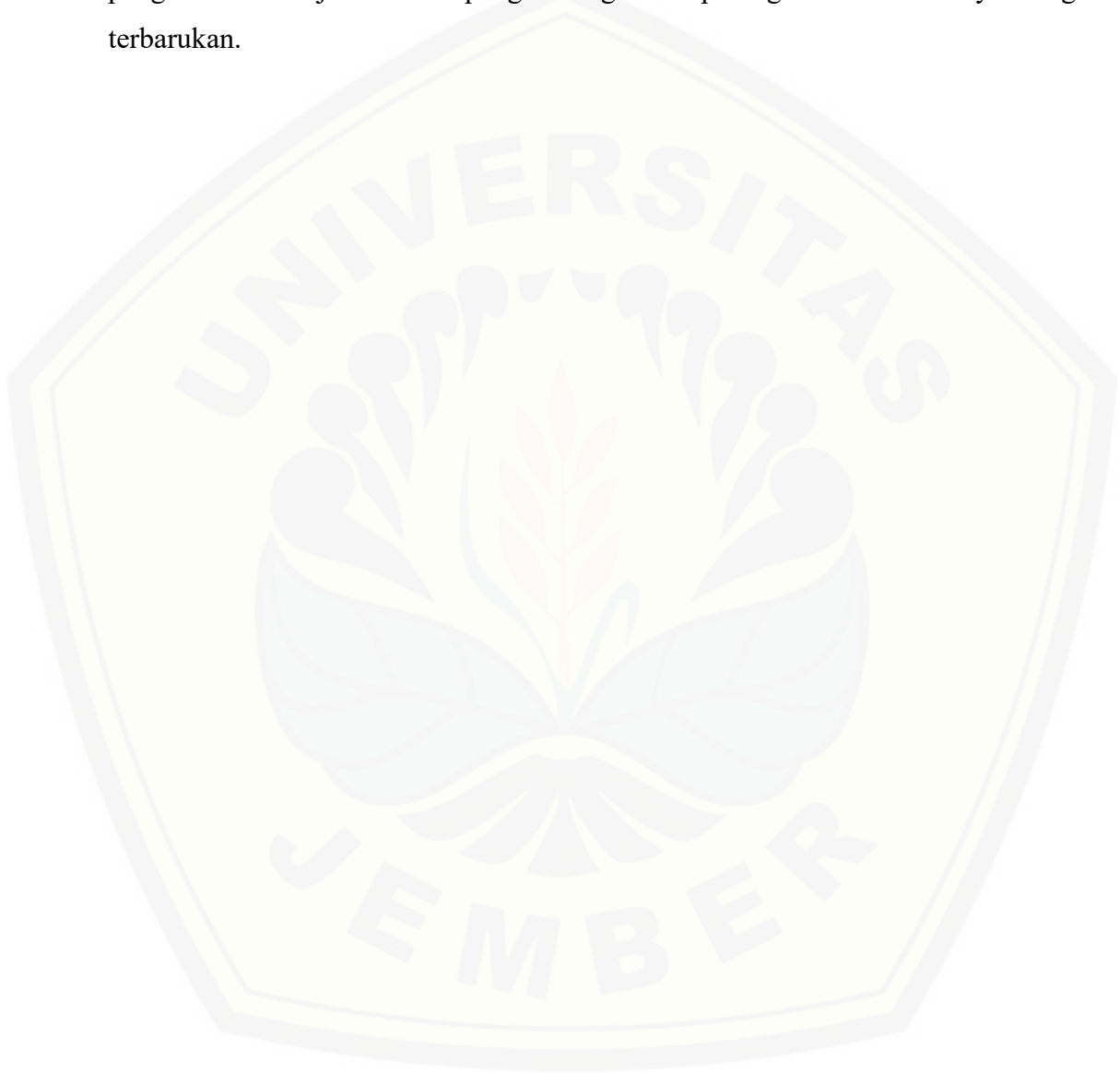
### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui sebaran potensi panas bumi Pegunungan Ijen berdasarkan asosiasi ketinggian dan suhu permukaan tanah, serta memetakan manifestasi panas bumi berdasarkan asosiasi suhu permukaan tanah dan geomorfologi berupa kelurusan dengan analisis citra satelit Landsat.



### 1.5 Manfaat

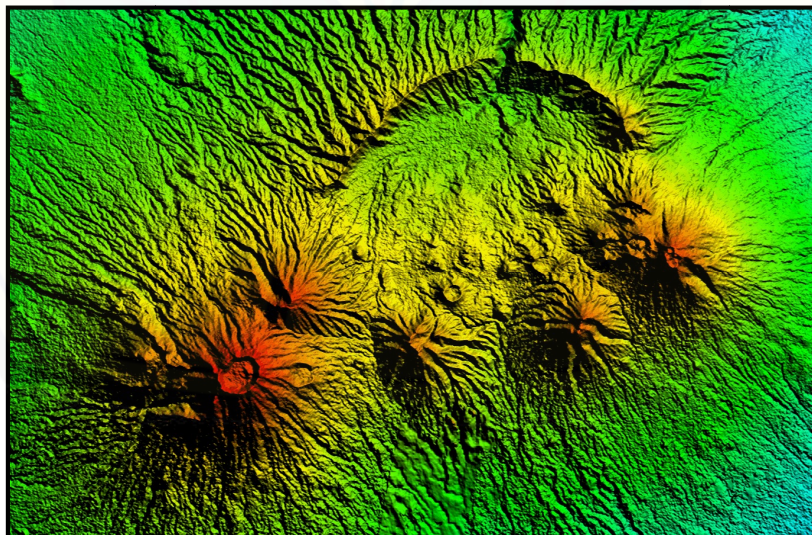
Manfaat dari penelitian ini dengan ditentukannya distribusi potensi dan dipetakannya manifestasi panas bumi di Pegunungan Ijen diharapkan dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam penelitian-penelitian berikutnya serta pengambilan kebijakan untuk pengembangan dan peningkatan sumber daya energi terbarukan.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Geologi Pegunungan Ijen

Pegunungan Ijen atau lebih dikenal dengan Kompleks Gunung Ijen merupakan kompleks gunungapi yang pada awalnya adalah gunungapi tunggal bernama Gunung Kendeng atau biasa disebut Gunung Ijen Tua dengan ketinggian 4000 mdpl yang selanjutnya kehilangan bagian puncaknya karena letusan paroksismal (Zaennudin, 2012). Letusan tersebut menghasilkan sebuah kaldera berdiameter 14-16 km dengan dinding yang tersisa hanya pada bagian Utara yang disebut *escarpment* sedangkan dinding kaldera bagian Selatan sebagian besar telah ditutupi oleh endapan vulkanik hasil erupsi kerucut-kerucut gunungapi yang aktif pasca terbentuknya kaldera (Juniarti *et al.*, 2017). Kaldera sendiri adalah kawah yang terjadi akibat letusan yang sangat besar dengan diameter  $> 2$  km (Nandi, 2006). Adapun bagian dalam kaldera Pegunungan Ijen saat ini dapat dilihat pada Lampiran 2.1. 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 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Zaennudin, 2012).



Gambar 2.1 Pegunungan Ijen (ASTER, 2011)

Gunung Ijen Tua terbentuk pada zaman Pleistosen dan dikategorikan sebagai tipe gunungapi strato (Bemmelen, 1949) berdasarkan adanya perlapisan

yang searah dengan kemiringan lereng pada *escarpment* kaldera. Berikut ini diilustrasikan tubuh Gunung Ijen Tua pada Gambar 2.2 sebelum mengalami erupsi eksplosif yang besar.



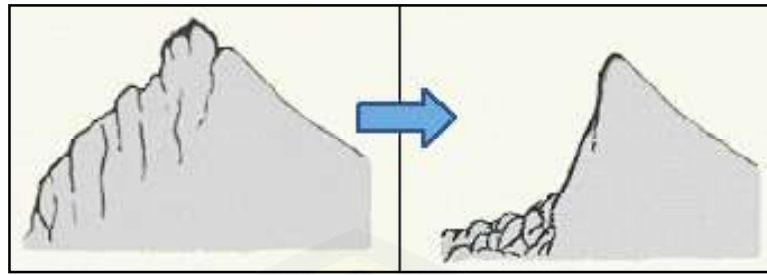
Gambar 2.2 Sketsa Gunung Ijen Tua sebelum terbentuk kaldera (Sartohadi *et al.*, 2014)

Selanjutnya kaldera dengan diameter 14-16 km terbentuk karena adanya proses vulkanik berupa erupsi eksplosif. Ukuran kaldera yang besar mengindikasikan bahwa skala erupsi yang telah terjadi juga besar. Erupsi eksplosif kemudian melontarkan sebagian besar material tubuh gunungapi bagian atas. Hilangnya sebagian besar tubuh gunungapi menghasilkan sebuah sisa berupa lubang kepundan besar pada tubuh gunungapi yang terbuka ke arah Selatan seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sketsa Gunung Ijen Tua setelah terbentuk kaldera (Sartohadi *et al.*, 2014)

Lubang kepundan besar yang timbul setelah terjadinya erupsi disertai oleh terbentuknya sesar Pedati di dinding kaldera Utara dan sesar Jampit di dinding kaldera Barat Daya (Zaennudin, 2012). Sesar-sesar tersebut kemudian menjadi bagian gunungapi yang paling lemah sehingga mengakibatkan material gunungapi tidak stabil dan runtuh. Ilustrasi secara skematik proses pembentukan *escarpment* pada sisi Utara kaldera disajikan pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Sketsa proses terbentuknya *escarpment* (Sartohadi *et al.*, 2014)

*Escarpment* pada kaldera sisi Utara terbentuk akibat proses erosi yang intensif pada daerah sesar karena curah hujan yang tinggi, salah satunya yaitu sesar besar di dekat Blawan yang mengakibatkan tertorehnya lereng di bagian Utara seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5. Sejalan dengan proses erosi yang terjadi, pada dinding bagian Selatan terjadi kemunculan pusat-pusat aktivitas vulkanik yang baru pasca letusan besar. Magma yang terdapat di dapur magma yang masih aktif terus bertambah energinya dan terus mencari jalan keluar ke permukaan bumi. Terdapatnya sesar di sepanjang dinding bagian Selatan selanjutnya menjadi jalan sebagai tempat keluarnya magma sehingga gunungapi baru mulai muncul pada bekas dinding bagian Selatan.



Gambar 2.5 Sketsa Patahan Blawan yang tererosi secara intensif (Sartohadi *et al.*, 2014)

Deretan gunungapi di sebelah Selatan terlihat mengikuti sebuah pola garis dengan orientasi Barat Daya - Timur Laut, berturut-turut Gunung Raung di sebelah Barat sampai Gunung Merapi di sebelah Timur. Perbedaan torehan pada lereng kerucut-kerucut gunungapi mengindikasikan bahwa pertumbuhannya tidak terjadi pada waktu yang bersamaan. Gunung Raung terlihat memiliki torehan yang paling kasar, semakin ke arah timur semakin halus, sehingga dapat disimpulkan bahwa Gunung Raung tumbuh dan berkembang terlebih dahulu kemudian diikuti oleh gunung di sebelah timurnya hingga Gunung Merapi di paling timur. Pola garis yang teratur dari deretan gunungapi-gunungapi



mengindikasikan bahwa terdapat keteraturan pusat aktivitas magma. Hal ini menjadi ciri utama akan adanya sumber panas yang menjadi sumber dari sistem panas bumi. Lebih luas lagi bila diperhatikan bentukan *escarpment* yang ada di Utara, maka kemungkinan besar deretan gunungapi di Selatan tumbuh pada bekas dinding kaldera Gunung Ijen Tua seperti ilustrasi pada Gambar 2.6 (Sartohadi *et al.*, 2014).

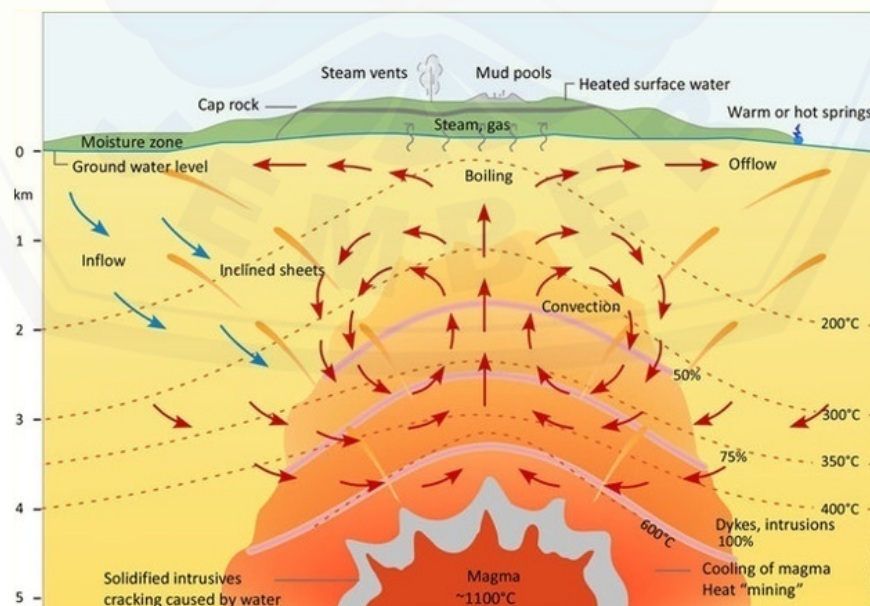


Gambar 2.6 Sketsa kompleks Ijen saat ini (Sartohadi *et al.*, 2014)

Berdasarkan umur mutlak dan umur relatif dari beberapa endapan batuan yang terdapat di wilayah ini, Pegunungan Ijen dapat dibagi menjadi tiga fase pembentukan gunungapi sesuai dengan tahap kegiatan vulkanismenya, yaitu fase Gunung Ijen Tua (Gunung Kendeng), fase non-vulkanisme dengan terbentuknya Danau Blawan, dan fase vulkanisme pasca Kaldera Ijen (Zaennudin, 2005). Danau Blawan terbentuk karena terakumulasinya air hujan dalam Kaldera Ijen yang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi dalam kurun waktu yang sangat lama. Air tersebut tidak mempunyai saluran keluar karena terhalang oleh dinding kaldera, sehingga air tidak dapat merembes ke dasar dan terbentuklah Danau Blawan. Danau Blawan selanjutnya mengering karena sesar Pedati mengalami erosi yang berkelanjutan, sehingga air danau mengalir melewati Sesar Pedati menuju Selat Madura. Proses ini berlangsung cukup lama disertai proses litifikasi endapan-endapan sedimen klastika danau. Selanjutnya sedimen klastik danau membatu disertai peristiwa tektonik yang memicu aktivitas vulkanik sehingga kerucut gunungapi mulai bermunculan baik di dinding maupun di dalam kaldera (Zaennudin, 2012). Jika dilihat dari sejarah erupsi yang pernah terjadi, maka gunungapi yang masih aktif hingga kini di kompleks Pegunungan Ijen adalah Gunung Ijen dan Gunung Raung.

## 2.2 Panas Bumi (*Geothermal*)

Energi panas bumi adalah energi panas alami dari dalam bumi yang ditransfer ke permukaan secara konduksi dan konveksi (Smaragdenkis *et al.*, 2016). Energi ini diekstrak dari sistem hidrotermal yang merupakan sistem vulkanis pembentuk gunung api pada zona batas lempeng yang aktif dimana terdapat aliran panas (*heat flow*) yang tinggi (Wahyuningsih, 2005). Proses pembentukan panas bumi sama halnya dengan prinsip memanaskan air yang erat hubungannya dengan arus konveksi. Air yang dimasak di dalam teko menggunakan kompor akan berubah menjadi uap air setelah panas. Hal serupa juga terjadi pada pembentukan energi panas bumi. Air tanah yang terjebak di dalam batuan yang kedap dan terletak di atas dapur magma atau batuan yang panas karena kontak langsung dengan magma, otomatis akan memanaskan air tanah yang terletak di atasnya sampai suhu yang cukup tinggi (100-250°C) (Sumintadiredja, 2005). Sehingga air tanah yang terpanaskan akan mengalami proses penguapan. Apabila terdapat rekahan atau sesar yang menghubungkan tempat terjebaknya air tanah yang dipanaskan tadi dengan permukaan maka pada permukaan dapat dijumpai manifestasi termal yang berasosiasi dengan reservoir panas bumi di bawah permukaan seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.7 (Rukhiyat, 2012).



Gambar 2.7 Reservoir panas bumi (Bratakusuma, 2016)

Saptadji (2001) dalam bukunya menyatakan bahwa, manifestasi tersebut diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau karena adanya rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi mengalir ke permukaan. Beberapa manifestasi tersebut diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. Tanah hangat (*warm ground*), adanya sumber panas bumi di bawah permukaan dapat ditunjukkan dari adanya tanah yang mempunyai temperatur lebih tinggi dari temperatur tanah di sekitarnya. Hal ini terjadi karena adanya perpindahan panas secara konduksi dari batuan bawah permukaan ke batuan permukaan.
- b. Permukaan tanah beruap (*steaming ground*), diperkirakan uap panas berasal dari lapisan tipis dekat permukaan yang mengandung air panas yang mempunyai temperatur sama atau lebih besar dari titik didihnya (*boiling point*).
- c. Mata air panas (*hot spring*), mata air panas ini terbentuk karena adanya aliran air panas dari bawah permukaan melalui rekahan-rekahan batuan.
- d. Kolam air panas (*hot pools*), kolam air panas ini terbentuk karena adanya aliran air panas dari bawah permukaan melalui rekahan-rekahan batuan dan membentuk kolam panas.
- e. Telaga air panas (*hot lakes*), pada dasarnya juga merupakan kolam air panas, tetapi lebih tepat dikatakan telaga karena luasnya daerah permukaan air. Umumnya istilah telaga dipakai bila luas permukaannya lebih dari 100 m<sup>2</sup>.
- f. Fumarol, merupakan lubang kecil yang mengeluarkan uap panas kering (*dry steam*) atau uap panas yang mengandung butiran-butiran air (*wet steam*).
- g. Solfatara, merupakan fumarol yang mengeluarkan gas-gas oksida belerang seperti SO<sub>2</sub> dan SO<sub>3</sub>.
- h. *Geysier*, didefinisikan sebagai mata air panas yang menyembur ke udara secara *intermitent* (pada selang waktu tak tentu) dengan ketinggian air sangat beraneka ragam. Lamanya air menyembur ke permukaan juga sangat beraneka ragam. *Geysier* merupakan manifestasi permukaan dari sistem dominasi air.



- i. Kubangan lumpur (*mud pools*), umumnya mengandung *non-condensable* gas (CO<sub>2</sub>) dengan sejumlah kecil uap panas. Lumpur terdapat dalam keadaan cair karena kondensasi uap panas. Sedangkan letupan-letupan yang terjadi adalah karena pancaran gas CO<sub>2</sub>.
- j. Silika sinter, merupakan endapan silika di permukaan yang berwarna keperakan. Umumnya dijumpai di sekitar mata air panas dan lubang *geyser* yang menyemburkan air yang bersifat netral.
- k. Kawah (*crater*), yaitu suatu bentuk depresi berbentuk corong terbuka ke atas yang merupakan tempat disemburkannya gas dan lava
- l. Batuan alterasi, merupakan manifestasi yang terjadi akibat adanya reaksi antara batuan asal dengan fluida panas bumi.

Manifestasi panas bumi yang dapat dijumpai di Pegunungan Ijen diantaranya adalah kolam air panas (Afandi *et al.*, 2013), delapan buah solfatara yang tersebar di sebelah tenggara dengan suhu 200-202 °C (Ermanto, 2017) dan beberapa mata air panas (Raehanayati *et al.*, 2013) yang tersebar di bagian utara yaitu Blawan (Utama *et al.*, 2012). Hadirnya patahan Blawan menjadi jalan sirkulasi fluida panas bumi mengalir ke permukaan. Distribusi manifestasi panas bumi Blawan berasal dari Kaldera Ijen Tua yang menyebar ke arah Pegunungan Kendeng (Dewi *et al.*, 2015). Diketahui pula bahwa manifestasi panas bumi Blawan mengikuti aliran sungai Banyupahit (Maryanto *et al.*, 2016).

Karakteristik keberadaan manifestasi pada setiap jenis panas bumi umumnya berbeda-beda karena dipengaruhi oleh *setting* geologi dan peran transfer panas. Karakteristik pada beberapa lokasi daerah panas bumi ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Keberadaan manifestasi permukaan berdasarkan peran transfer panas

<b>Manifestasi</b>	<b>Vulkanik Hidrotermal</b>	<b>Penunjam Lempeng</b>	<b>Batuan Sedimen</b>	<b>Zona Patahan</b>
<i>Warm ground</i>	×	×	×	×
<i>Steaming ground</i>	××	×	(×)	-
<i>Hot pools</i>	-	××	(×)	(×)
<i>Mud pools</i>	-	×	-	-
<i>Hot lakes</i>	××	×	××	-

Manifestasi	Vulkanik Hidrotermal	Penunjam Lempeng	Batuan Sedimen	Zona Patahan
<i>Hot spring</i> asam	××	(×)	-	-
<i>Hot spring</i> netral	-	××	××	××
Fumarol	××	(×)	-	-
<i>Geyser</i>	-	(×)	-	-

Keterangan :

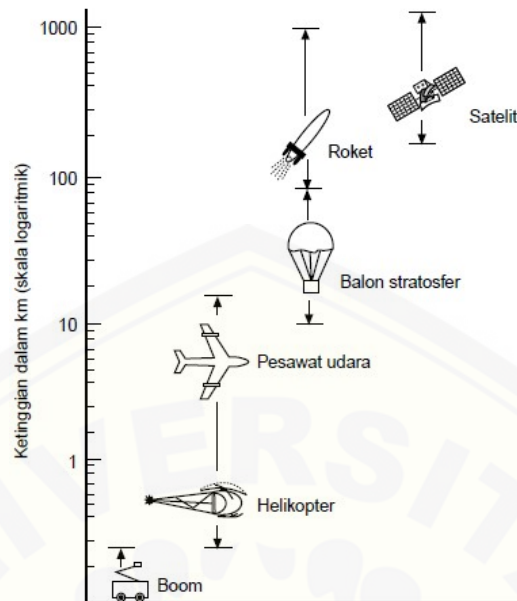
- : Tidak diketahui
- (×) : Adakalanya ada
- × : Umumnya ada (transfer panas sedikit)
- ×× : Umumnya ada (transfer panas besar)

Sumber : Hochstein dan Browne, 2000.

Pendugaan potensi panas bumi selain dapat dilihat melalui manifestasi termal di permukaan seperti yang telah disebutkan di atas, juga dapat dilihat melalui sebaran suhu permukaan tanah (*Land Surface Temperature*), dan geomorfologi seperti kelurusan (*lineament*) dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh. Teknologi penginderaan jauh sangat cocok digunakan untuk wilayah penelitian yang luas dengan mempertimbangkan efisiensi waktu yang dibutuhkan.

### 2.3 Penginderaan Jauh (*Remote Sensing*)

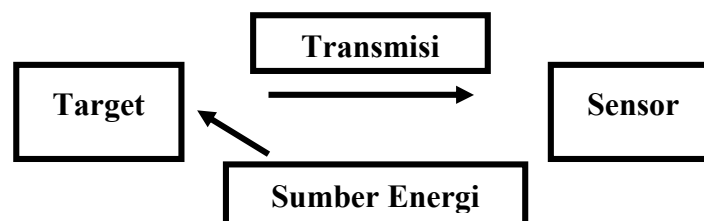
Penginderaan jauh adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengambil gambaran muka bumi dari jarak jauh dengan menggunakan wahana tertentu di luar angkasa yang nantinya akan menghasilkan suatu citra atau gambar yang dapat diinterpretasikan sesuai dengan keadaan di muka bumi sesungguhnya (Inopianti, 2017). Wahana yang dimaksud adalah alat yang digunakan sebagai tempat untuk meletakkan sensor (Lindgren, 1985) yang berfungsi untuk menangkap energi dan mengubahnya ke dalam bentuk sinyal dan menyajikannya ke dalam bentuk yang sesuai dengan informasi yang diinginkan (Chrisnawati, 2007). Wahana tersebut dapat berupa balon udara, pesawat terbang, satelit atau wahana lainnya seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Wahana penginderaan jauh (Lindgren, 1985)

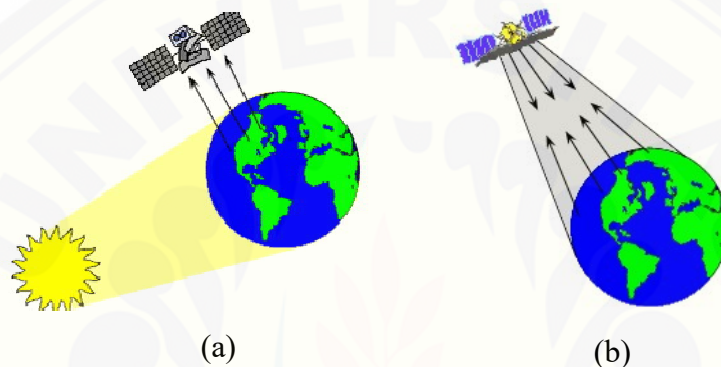
Semakin tinggi letak sensor maka daerah yang terdeteksi atau yang dapat diterima sensor semakin luas, sehingga jangkauan penginderaannya pun semakin luas.

Konsep dasar penginderaan jauh didasarkan pada 4 unsur utama, yaitu target, sumber energi, alur transmisi dan sensor. Komponen ini bekerja sama sebagaimana digambarkan dengan diagram alur pada Gambar 2.9 untuk mengukur dan mencatat informasi mengenai target tanpa menyentuh objek tersebut. Sumber energi yang memancarkan energi elektromagnetik mutlak diperlukan. Energi berinteraksi dengan target dan sekaligus berfungsi sebagai media untuk meneruskan informasi dari target ke sensor. Sensor bertugas untuk mengumpulkan dan mencatat radiasi elektromagnetik. Setelah dicatat, data akan dikirim ke stasiun penerima dan diproses menjadi format yang siap dipakai, diantaranya berupa citra. Citra ini kemudian diinterpretasikan untuk menyarikan informasi mengenai target (Puntodewo dan Tarigan, 2003).



Gambar 2.9 Konsep dasar penginderaan jauh (Putodewo, 2003)

Menurut Kerle *et al.* (2004), penginderaan jauh sangat tergantung pada energi gelombang elektromagnetik yang dapat berasal dari banyak hal, salah satunya cahaya matahari. Energi pantulan cahaya matahari sendiri banyak digunakan oleh sensor sebagai gelombang elektromagnetik. Sensor yang memanfaatkan energi dari pantulan cahaya matahari atau energi bumi dinamakan sensor pasif seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10 (a), sedangkan sensor yang memanfaatkan energi dari sensor itu sendiri dinamakan sensor aktif seperti yang terlihat pada Gambar 2.10 (b).



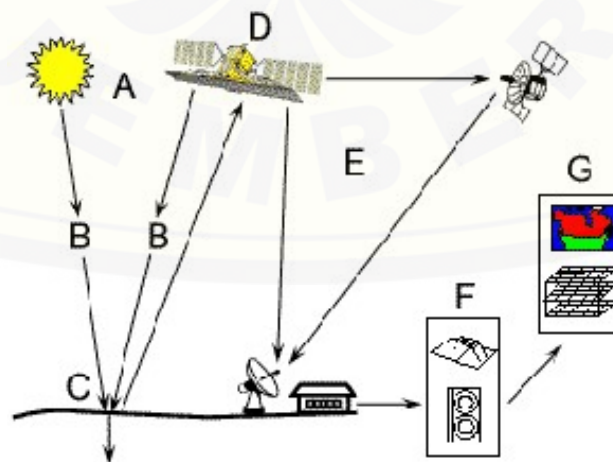
Gambar 2.10 Sistem sensor (a) Pasif dan (b) Aktif (Mahdi, 2014)

Penginderaan jauh dengan sistem sensor pasif hanya dapat digunakan untuk mendeteksi energi jika tersedia cahaya matahari dan obyek yang memantulkan sebagian radiasi yang ditangkap oleh sensor. Oleh karena itu, citra yang dihasilkan oleh penginderaan jauh sistem pasif dapat terlihat jelas ketika siang hari dan cuaca cerah. Sebaliknya, penginderaan jauh dengan sistem sensor aktif dapat bekerja sepanjang waktu, siang dan malam karena tidak tergantung pada cahaya matahari. Penginderaan jauh sistem ini mempunyai sumber energi tersendiri yang ketika diarahkan ke obyek, maka obyek akan memantulkan kembali ke sensor dengan membawa informasi tentang obyek (Sutanto, 1994).

Sensor memiliki keterbatasan dalam mengindera obyek yang sangat kecil. Batas kemampuan sensor untuk memisahkan setiap obyek dinamakan resolusi (Aftriana, 2013). Resolusi yang biasanya digunakan sebagai parameter kemampuan sensor terbagi menjadi 5 macam yaitu:

1. Resolusi spasial, adalah kemampuan sensor untuk merekam ukuran terkecil obyek pada citra. Resolusi spasial seringkali dimanfaatkan dalam analisis keruangan yang melibatkan lokasi, jarak, pola dari fenomena tertentu.
2. Resolusi spektral, adalah kemampuan sistem optik untuk membedakan informasi obyek berdasarkan pantulan atau pancaran spektralnya. Resolusi spektral seringkali dimanfaatkan dalam analisis yang memerlukan pemanfaatan saluran spektral berbeda untuk fenomena tertentu.
3. Resolusi radiometrik, adalah kemampuan sensor dalam mencatat respons spektral objek, yang mana dikenal dengan sistem *coding* yang membagi intensitas pantulan/pancaran menjadi beberapa tingkat sesuai resolusinya.
4. Resolusi temporal, adalah kemampuan suatu sistem untuk merekam ulang daerah yang sama. Resolusi temporal seringkali dimanfaatkan untuk analisis penginderaan jauh dalam hal pemantauan atau *monitoring* suatu fenomena di permukaan bumi selama rentang waktu tertentu (Danoedoro, 2012)
5. Resolusi termal, yaitu keterbatasan sensor penginderaan jauh yang merekam pancaran tenaga termal atau perbedaan suhu yang masih dapat dibedakan oleh sensor penginderaan jauh secara termal (Aftriana, 2013)

Proses penginderaan jauh melalui satelit yang melibatkan interaksi antara radiasi sinar matahari dan obyek yang menjadi target di permukaan bumi ditampilkan pada Gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.11 Skema prinsip penginderaan jauh (Mahdi, 2014)



Penjelasan mengenai gambar di atas untuk menghasilkan informasi dengan sistem penginderaan jauh adalah sebagai berikut :

- (A) Sumber energi : sumber energi matahari dibutuhkan untuk mendapatkan energi elektromagnetik yang dipancarkan ke obyek di permukaan bumi.
- (B) Radiasi dan atmosfer : ketika energi terpancar dari sumber ke obyek akan terjadi kontak atau interaksi dengan atmosfer bumi, interaksi ini membutuhkan waktu dalam hitungan detik agar energi sampai ke obyek.
- (C) Interaksi dengan obyek : ketika energi matahari sampai ke obyek, energi tersebut akan berinteraksi. Interaksi tersebut tergantung pada karakteristik obyek dan radiasi
- (D) Penyimpanan energi dalam sensor : setelah energi direfleksikan atau diteruskan dari obyek, dibutuhkan suatu sensor untuk mengumpulkan dan menyimpan radiasi elektromagnetik.
- (E) Transmisi, penerima dan pengolahan : energi yang diterima oleh sensor kemudian diteruskan, umumnya dalam bentuk elektronik ke stasiun penerima di bumi. Kemudian data diolah dan dirubah menjadi *image* satelit atau citra satelit.
- (F) Interpretasi dan analisis : *image* atau citra yang telah diolah kemudian diinterpretasikan, secara visual, digital maupun elektronik untuk mendapatkan informasi tentang obyek yang terdeteksi.
- (G) Aplikasi : langkah terakhir dari proses penginderaan jauh adalah ketika mencoba mengaplikasikan informasi yang didapat dari data citra satelit berkaitan dengan obyek yang ada di permukaan bumi. Aplikasi di berbagai bidang kehidupan dengan tujuan untuk lebih memahami obyek tersebut dan hasilnya berupa informasi baru yang bermanfaat untuk menyelesaikan suatu permasalahan (Frahma, 2017).

## 2.4 Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat walau tidak ada medium. Energi elektromagnetik merambat dalam gelombang dengan beberapa karakter yang bisa diukur, yaitu panjang gelombang /

*wavelength*, frekuensi, amplitudo dan kecepatan. Frekuensi tergantung dari kecepatan merambatnya gelombang. Karena kecepatan energi elektromagnetik adalah konstan (kecepatan cahaya), maka panjang gelombang dan frekuensi berbanding terbalik. Semakin panjang suatu gelombang, semakin rendah frekuensinya, dan semakin pendek suatu gelombang semakin tinggi frekuensinya (Chrisnawati, 2007). Hubungan ketiga variabel tersebut dapat diformulasikan dengan persamaan berikut :

$$c = \lambda \cdot f \quad (2.1)$$

dimana :

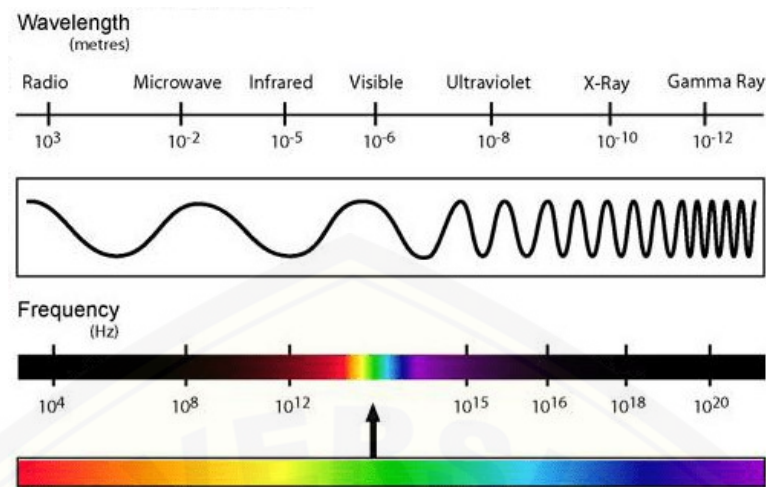
$c$  = kecepatan cahaya, sebesar  $3 \times 10^8$  m/s

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

$f$  = frekuensi (Hz)

Energi elektromagnetik adalah sebuah komponen utama dari kebanyakan sistem penginderaan jauh untuk lingkungan hidup, yaitu sebagai medium untuk pengiriman informasi dari target ke sensor (Puntodewo dan Tarigan, 2003). Energi elektromagnetik dipancarkan atau dilepaskan oleh semua massa di alam semesta pada tingkatan yang berbeda-beda. Semakin tinggi energi yang dipancarkan suatu sumber energi, semakin rendah panjang gelombang dari energi yang dihasilkan, dan semakin tinggi frekuensinya. Perbedaan karakteristik energi gelombang digunakan untuk mengelompokkan energi elektromagnetik (Chrisnawati, 2007). Susunan semua bentuk gelombang elektromagnetik berdasarkan panjang gelombang dan frekuensinya disebut spektrum elektromagnetik (Puntodewo dan Tarigan, 2003). Gambar 2.12 memperlihatkan spektrum elektromagnetik yang disusun berdasarkan panjang gelombang (diukur dalam satuan meter) mencakup kisaran energi yang sangat rendah, dengan panjang gelombang tinggi dan frekuensi rendah seperti gelombang radio sampai ke energi yang sangat tinggi, dengan panjang gelombang rendah dan frekuensi tinggi seperti radiasi *X-Ray* dan *Gamma*.





Gambar 2.12 Spektrum elektromagnetik (Puntodewo dan Tarigan, 2003)

Ketika energi elektromagnetik mengenai suatu obyek maka akan terjadi suatu proses interaksi fisis. Proses yang terjadi dalam interaksi ini adalah pemantulan (refleksi), penyerapan (absorpsi), dan penerusan (transmisi). Proses interaksi tersebut mengikuti prinsip kekekalan energi yang dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

$$EI(\lambda) = ER(\lambda) + EA(\lambda) + ET(\lambda) \quad (2.2)$$

dimana :

$EI(\lambda)$  = energi radiasi yang mengenai obyek

$ER(\lambda)$  = energi radiasi yang dipantulkan

$EA(\lambda)$  = energi radiasi yang diserap

$ET(\lambda)$  = energi radiasi yang ditransmisikan

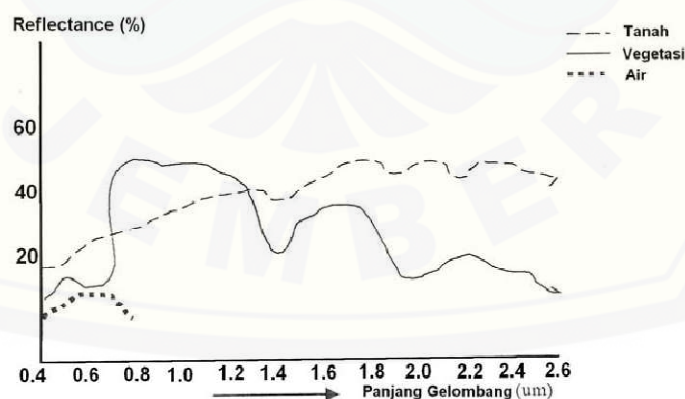
Sistem penginderaan jauh merupakan sistem penyadapan obyek permukaan bumi sehingga pantulan obyek yang terekam oleh sensor adalah obyek kajiannya. Karakteristik pantulan obyek yang disadap oleh sensor menggunakan berbagai panjang gelombang, sehingga sistem penginderaan jauh banyak bekerja pada gelombang pantul. Besar energi gelombang pantul dari obyek yang terekam menurut Lillesand dan Kiefer (2005) adalah sebagai berikut :

$$ER(\lambda) = EI(\lambda) - EA(\lambda) + ET(\lambda) \quad (2.3)$$

Artinya bahwa energi radiasi yang dipantulkan sama dengan energi radiasi yang mencapai obyek dikurangi energi radiasi yang diserap dan energi radiasi yang ditransmisikan. Besarnya nilai pantulan spektral  $R(\lambda)$  setiap obyek tidak sama, artinya semakin besar energi elektromagnetik yang dipantulkan oleh obyek maka nilai pantulan obyek tersebut semakin besar. Obyek yang banyak memantulkan energi tergambar relatif cerah sedangkan obyek yang memantulkan sedikit energi tergambar relatif gelap karena energi banyak terserap dan ditransmisikan. Besarnya nilai pantulan spektral suatu obyek dapat dihitung dengan membandingkan energi yang dipantulkan dengan energi yang diterima oleh obyek dengan persamaan sebagai berikut :

$$R(\lambda) = \frac{ER(\lambda)}{EI(\lambda)} \times 100\% \quad (2.4)$$

Berdasarkan prinsip energi pantul yang ditentukan oleh suatu benda maka setiap benda mempunyai nilai pantulan yang berbeda tergantung pada karakteristik dan kondisi benda. Prinsip ini yang digunakan dalam penginderaan jauh untuk mengenali dan membedakan obyek yang terekam oleh sensor sistem penginderaan jauh. Pengenalan besarnya pantulan nilai obyek pada berbagai panjang gelombang seperti pantulan tanah, air keruh, dan vegetasi dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut :



Gambar 2.13 Reflektansi objek tanah, vegetasi, dan air (Lillesand dan Kiefer, 1990)

Berdasarkan gambar kurva reflektansi di atas dapat dijelaskan bahwa besarnya rentang pantulan obyek yang direkam oleh sensor dipengaruhi oleh penggunaan

rentang panjang gelombang tertentu yang mana dalam sistem penginderaan jauh disebut kanal atau *band* (Daruati, 2012).

## 2.5 Citra Satelit

Satelit penginderaan jauh merupakan teknologi modern untuk memperoleh data citra digital tentang permukaan bumi menggunakan gelombang elektromagnetik. Beberapa panjang gelombang pada gelombang elektromagnetik dapat dimanfaatkan untuk aplikasi penginderaan jauh. Adanya teknologi penginderaan jauh dan pengolahan citra satelit memungkinkan untuk mengakses informasi spasial-temporal dari suatu wilayah tertentu. Keberadaan data-data spasial ini sangat bermanfaat jika didukung oleh perkembangan dasawarsa terakhir dimana jumlah satelit semakin banyak dan karakteristiknya semakin bervariasi. Jumlah *band* juga semakin banyak serta jangkauan spasial yang semakin luas. Berdasarkan misinya, satelit penginderaan jauh dikelompokkan menjadi dua macam yaitu satelit cuaca dan satelit sumber daya alam. Satelit cuaca terdiri dari TIROS-1, ATS-1, GOES, NOAA, AVHRR, MODIS, dan DMSP. Sedangkan satelit sumber daya alam terdiri dari SPOT, ALOS, TERRA, IKONOS, QUICKBIRD dan LANDSAT (Mahdi, 2014).

### 2.5.1 Landsat 8

Landsat merupakan satelit sumber daya alam yang dikembangkan oleh NASA (*National Aeronautical and Space Administration*) pada tahun 1970-an (Purbowaseso, 1996). Misi satelit ini dimulai dengan diluncurkannya satelit ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite*) yang selanjutnya dikenal sebagai Landsat 1 pada tahun 1972. Sampai saat ini misi satelit Landsat memiliki delapan generasi mulai dari Landsat 1 hingga Landsat 8 (Nugroho *et al.*, 2016). Adapun spesifikasi peluncuran Landsat dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Spesifikasi peluncuran Landsat

Nama Satelit	Peluncuran	Keterangan
Landsat 1	23 Juli 1972	-
Landsat 2	22 Januari 1975	-
Landsat 3	5 Maret 1978	Berakhir 31 Maret 1983
Landsat 4	16 Juli 1982	Berakhir tahun 1993
Landsat 5	1 Maret 1984	Berakhir Desember 2012
Landsat 6	5 Oktober 1993	Gagal mencapai orbit
Landsat 7	15 Desember 1999	Kerusakan sejak Mei 2003
Landsat 8	11 Februari 2013	Aktif sampai sekarang

Sumber : Finn *et al.*, 2013.

Secara keseluruhan, satelit Landsat yang disinyalir memiliki akurasi geodetik dan geometrik paling baik adalah Landsat 8 (Sutanto, 1994). Karakteristik dari Landsat 8 adalah menggunakan sensor OLI (*Operational Land Manager*) dengan selang *band* yang lebih pendek (jika dibandingkan dengan Landsat generasi sebelumnya) dan sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) dengan jumlah *band* sebanyak 11 buah. Diantara *band-band* tersebut, 9 *band* (1-9) berada pada OLI dan 2 lainnya (10 dan 11) pada TIRS (Mardiana, 2017). Di bawah ini disajikan spesifikasi Landsat 8 beserta karakteristik sensornya berturut-turut pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

Tabel 2.3 Spesifikasi Landsat 8

Spesifikasi	Landsat 8
Tinggi orbit	705 km
Jenis orbit	Inklinasi 98.2° ( <i>sun-synchronous</i> )
Sensor	OLI dan TIRS
Luas liputan per- <i>scene</i>	185 km x 185 km
Resolusi temporal	16 hari
Periode orbit	99 menit
Kuantitas data	16 bit (0 – 65535)

Sumber : USGS, 2018.

Tabel 2.4 Karakteristik sensor satelit Landsat 8

<b>Band</b>	<b><math>\lambda</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolusi (m)</b>
<i>Band 1 – Coastal Aerosol</i>	0,43 – 0,45	30
<i>Band 2 – Blue</i>	0,45 – 0,51	30
<i>Band 3 – Green</i>	0,53 – 0,59	30
<i>Band 4 – Red</i>	0,64 – 0,67	30
<i>Band 5 – Near Infrared (NIR)</i>	0,85 – 0,88	30
<i>Band 6 – SWIR 1</i>	1,57 – 1,65	30

<b>Band</b>	<b><math>\lambda</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolusi (m)</b>
<i>Band 7 – SWIR 2</i>	2,11 – 2,29	30
<i>Band 8 – Panchromatic</i>	0,50 – 0,68	15
<i>Band 9 – Cirrus</i>	1,36 – 1,38	30
<i>Band 10 – Thermal Infrared (TIRS) 1</i>	10,60 – 11,19	100
<i>Band 11 – Thermal Infrared (TIRS) 2</i>	11,50 – 12,51	100

Sumber : Mardiana, 2017.

Landsat 8 memiliki beberapa keunggulan khusus dibandingkan generasi sebelumnya yaitu *band* penyusun RGB komposit lebih banyak dan ada *band* tambahan yaitu *band* 1, 9, 10, dan 11 yang membuat warna obyek menjadi lebih bervariasi. Keberadaan *band* 10 dan 11 erat kaitannya dengan aktivitas vulkanik gunung api karena keduanya dapat digunakan untuk memantau emisi panas yang diakibatkan oleh aktivitas vulkanik (Blackett, 2014). Selain itu Landsat 8 memiliki interval tingkat keabu-abuan (*digital number*) yang lebih panjang yaitu 16 bit (0-65535), dimana pada generasi sebelumnya masih 8 bit (0-255), dengan ini tampilan citra akan lebih halus, baik pada citra multispektral maupun pankromatik serta dapat mengurangi terjadinya kesalahan interpretasi objek di permukaan bumi.

### 2.5.2 GDEM ASTER

ASTER (*Advance Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) merupakan sensor optik multispektral dengan resolusi spasial tinggi yang dimuat pada satelit Terra yang diluncurkan pada bulan Desember 1999. ASTER mempunyai 14 band spektral mulai dari band *visible* (spektrum tampak) sampai band *thermal* (spektrum panas), yang terbagi menjadi 3 radiometer, yaitu VNIR (*Visible Near Infrared Radiometer*), SWIR (*Short Wave Infrared Radiometer*) dan TIR (*Thermal Infrared Radiometer*) (ERSDAC, 2003). VNIR merupakan instrumen yang mampu mendeteksi pantulan dari permukaan bumi pada gelombang *visible* sampai *near infrared* (0,52 – 0,86  $\mu\text{m}$ ). Satu kelebihan sensor ASTER adalah memiliki 2 band *near infrared* dengan panjang gelombang yang sama, yaitu band 3N (*nadir* / arah tegak lurus) dan 3B (*backward* / arah belakang), dimana band 3B dipergunakan untuk memperoleh pandangan ke arah belakang dengan sudut dari titik *nadir* sejauh 27,60° (ERSDAC, 2002).



Penambahan band 3B bertujuan untuk memperoleh kemampuan stereoskopik yang dapat diproses lebih jauh untuk menghasilkan informasi ketinggian dari obyek di permukaan bumi atau DEM (*Digital Elevation Model*). Rincian spektral per-band untuk data ASTER disajikan pada Tabel 2.5 di bawah ini

Tabel 2.5 Karakteristik sensor ASTER

Radiometer	Band	Panjang Gelombang ( $\mu\text{m}$ )	Resolusi Spasial (m)	Bilangan Kuantum (bit)
VNIR	1	0,52 – 0,60	15	8
	2	0,63 – 0,69		
	3N	0,78 – 0,86		
	3B	0,78 – 0,86		
	4	1,600 – 1,700		
SWIR	5	2,145 – 2,185	30	8
	6	2,185 – 2,225		
	7	2,295 – 2,365		
	8	2,295 – 2,365		
	9	2,360 – 2,430		
	10	8,125 – 8,475		
TIR	11	8,475 – 8,825	90	12
	12	8,925 – 9,275		
	13	10,25 – 10,95		
	14	10,95 – 11,65		

Sumber : ERSDAC, 2003.

Perkembangan selanjutnya, untuk memenuhi kebutuhan pemetaan topografi di dunia, pihak kementerian Ekonomi Jepang, Trade and Industry (METI) bekerjasama dengan NASA memunculkan produk baru dari ASTER yaitu GDEM (*Global Digital Elevation Models*) ASTER yang memuat data DEM seluruh dunia yang mulai didistribusikan secara luas di seluruh dunia termasuk di Indonesia tanpa dikenai biaya pada tanggal 29 Juni 2009 (Nugraha dan Susanto, 2011).

DEM adalah suatu representasi digital dari topografi permukaan tanah yang khususnya digunakan untuk menggambarkan relief muka bumi. Model relief muka bumi tersebut dapat digambarkan secara tiga dimensi (3D) menyerupai keadaan sebenarnya di dunia nyata (Mogal, 1993) dengan menggunakan metode *hillshade*. *Hillshade* digunakan untuk merepresentasikan gambaran relief sebuah wilayah pada sebuah data raster yang masih dalam format 2D seperti GDEM ASTER dengan cara memberikan kesan 3D. Pemberian kesan 3D dapat dilakukan

dengan pemberian teknik pencahayaan dan bayangan tepat pada sebuah raster. Metode ini dapat meningkatkan visualisasi dari permukaan untuk analisis atau penampilan secara grafis, khususnya ketika menggunakan efek transparansi. Penerapan metode ini dapat digunakan untuk menganalisis morfologi dan kelurusan yang jika dikembangkan lebih lanjut pada gunungapi vulkanik dapat digunakan untuk menganalisa zona lemah yang merupakan aliran manifestasi termal dari sistem panas bumi yang ada di bawah permukaan (Sukendar *et al.*, 2016). Dalam penerapannya metode ini terikat pada dua faktor, yaitu *azimuth* dan *altitude*. *Azimuth* adalah sudut pencahayaan yang dihitung searah jarum jam antara  $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$  dari arah utara, sedangkan *altitude* adalah sudut pencahayaan yang dihitung dari atas horizon dalam satuan derajat dengan rentang  $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  (Burrough dan McDonell, 1998).

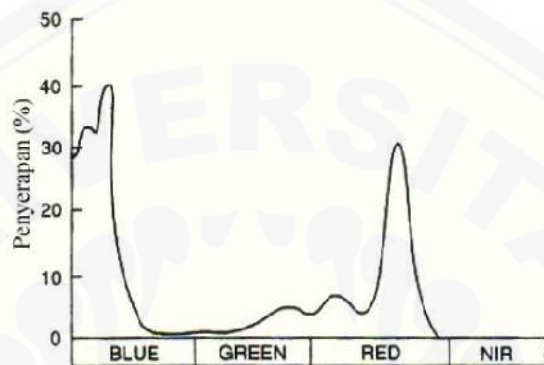
## 2.6 NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

Indeks vegetasi merupakan nilai yang diperoleh dari gabungan beberapa *band* spesifik dari citra penginderaan jauh. Gelombang indeks vegetasi diperoleh dari energi yang dipancarkan oleh vegetasi pada citra penginderaan jauh untuk menunjukkan ukuran kerapatan vegetasi. Tanaman memancarkan dan menyerap gelombang yang unik sehingga keadaan ini dapat dihubungkan dengan pancaran gelombang dari objek-objek yang lain sehingga dapat dibedakan antara vegetasi dan objek selain vegetasi (Horning, 2004).

Penentuan indeks vegetasi yang menyatakan kerapatan vegetasi dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma pemrosesan sinyal digital yang memanfaatkan karakteristik panjang gelombang pantul daun. Struktur daun sangat bervariasi, tergantung dari spesies dan kondisi lingkungan tumbuhan tersebut hidup. Sebagian besar organ penyusun daun adalah organ yang bertugas dalam melakukan fotosintesis. Proses fotosintesis inilah yang nantinya dimanfaatkan untuk menentukan apakah sebuah citra penginderaan jauh mengandung data vegetasi atau non-vegetasi. Molekul ketika tertabrak energi foton (cahaya) akan mengalami dua kondisi, yaitu molekul memantulkan energi foton tersebut atau menyerapnya dan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi (Sudiana dan

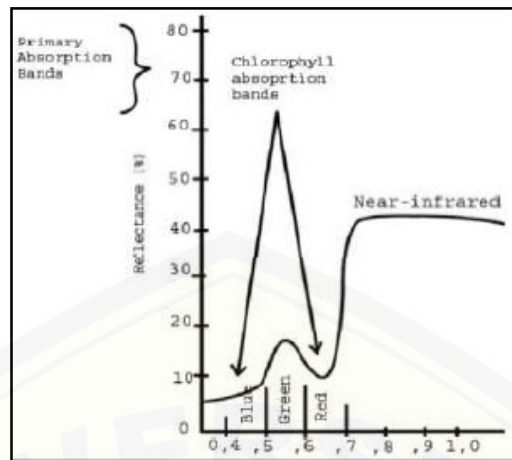


Diasmara, 2008). Masing-masing molekul mempunyai karakteristik penyerapan dan pemantulan energi yang berbeda-beda. Molekul-molekul pigmen yang terdapat pada tumbuhan hijau menyerap panjang gelombang cahaya pada daerah cahaya tampak. Daerah tersebut mempunyai rentang spektrum antara  $0,35 \mu\text{m}$  hingga  $2,7 \mu\text{m}$ . Gambar 2.14 menunjukkan daerah spektrum cahaya yang terserap oleh pigmen daun.



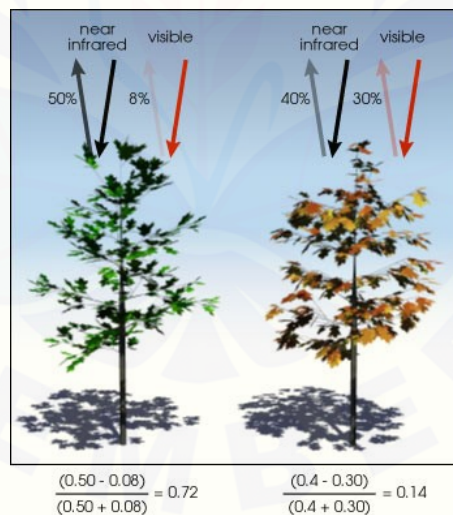
Gambar 2.14 Pola penyerapan gelombang elektromagnetik oleh vegetasi (Sutanto, 1994)

Pemantulan gelombang *near infrared* (*near infrared*) pada vegetasi sehat terjadi secara signifikan pada rentang spektrum antara  $0,7 \mu\text{m}$  hingga  $1,2 \mu\text{m}$ , namun hanya sedikit energi *near infrared* yang terserap oleh struktur daun. Sebagian terhamburkan ke atas (*reflected energy*) dan ke bawah daun (*transmitted energy*). Daun yang sehat umumnya mempunyai pemantulan gelombang sebesar 40% - 60%, transmisi gelombang sebesar 40% - 60%, dan penyerapan relatif sebesar 5% - 10% (Sudiana dan Diasmara, 2008). Gambar 2.15 menunjukkan karakteristik spektrum gelombang yang dipantulkan daun secara umum. Tampak bahwa penyerapan terbesar berada pada *band visible blue* dan *visible red*. Persentase refleksi gelombang *near infrared* ( $0,7-1,2 \mu\text{m}$ ) oleh daun disebabkan karena penghamburan internal pada sisi dinding dalam daun. Besar persentase refleksi ini berkurang pada rentang frekuensi  $0,92 - 0,98 \mu\text{m}$ . Penyebabnya adalah karena uap air mempunyai karakteristik penyerapan gelombang pada rentang frekuensi tersebut. Rentang spektrum gelombang *near infrared* yang optimal digunakan oleh aplikasi penginderaan jarak jauh berkisar antara  $0,74 \mu\text{m}$  hingga  $0,9 \mu\text{m}$  saja.



Gambar 2.15 Gelombang elektromagnetik yang dipantulkan oleh daun (Jensen, 2005)

Gambar 2.16 adalah ilustrasi bagaimana nilai indeks vegetasi didapatkan. Vegetasi yang sehat umumnya memantulkan gelombang *near infrared* dengan persentase yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan vegetasi tidak sehat, dan sebaliknya, gelombang *visible* akan dipantulkan lebih tinggi pada vegetasi tidak sehat dan lebih rendah pada vegetasi yang sehat.



Gambar 2.16 Ilustrasi pemantulan gelombang elektromagnetik (SSI, 2017)

NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) merupakan salah satu algoritma yang paling dikenal dan sering digunakan dalam penginderaan jauh untuk menentukan nilai indeks vegetasi dengan melibatkan citra satelit (Rouse *et al.*, 1973). NDVI umumnya digunakan untuk mengetahui tingkat kerapatan berdasarkan perbedaan antara absorpsi maksimum pada gelombang merah dan

reflektan maksimum pada gelombang inframerah dekat yang didasarkan pada struktur sel daun dengan formulasi di bawah ini (Kustiyo, 2005) :

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (2.5)$$

dimana :

$\rho_{nir}$  = nilai reflektan *band* inframerah dekat

$\rho_{red}$  = nilai reflektan *band* merah

Kedua nilai reflektan di atas dapat diperoleh dengan menerapkan persamaan (2.6) sebelum menggunakan algoritma NDVI. Hal ini perlu dilakukan karena data citra hasil perekaman sensor satelit masih berupa nilai digital bukan nilai reflektan, sementara yang dibutuhkan dalam algoritma NDVI adalah nilai reflektan. Persamaan ini juga dikenal sebagai koreksi radiometrik TOA reflektan yang umumnya diterapkan sebelum melakukan pengolahan data citra.

$$\rho_{\lambda} = \frac{M_{\rho} Q_{cal} + A_{\rho}}{\cos(Z)} \quad (2.6)$$

dimana :

$\rho_{\lambda}$  = Reflektan

$M_{\rho}$  = Konstanta pengali *band* reflektan yang digunakan

$A_{\rho}$  = Konstanta penambah *band* reflektan yang digunakan

$Q_{cal}$  = Nilai piksel (*digital number*)

$Z$  = Sudut Zenith Matahari (90°-sudut elevasi matahari)

Nilai konstanta pengali, konstanta penambah, nilai piksel dan sudut elevasi matahari dapat diperoleh dari *file* metadata dengan format .txt yang ikut terunduh bersamaan dengan citra Landsat 8 dari *website* USGS (USGS, 2001).

Proses pengolahan citra menggunakan algoritma NDVI akan menghasilkan citra baru dengan nilai piksel berkisar antara -1 sampai +1. Nilai piksel positif menandakan suatu vegetasi, sedangkan nilai piksel negatif menandakan objek non-vegetasi. Berdasarkan sistem klasifikasi yang mengacu pada peraturan Departemen Kehutanan tahun 2012, kerapatan vegetasi hasil

NDVI dibagi menjadi lima kelas yaitu lahan tidak bervegetasi, kehijauan sangat rendah, kehijauan rendah, kehijauan sedang, dan kehijauan tinggi sebagaimana disajikan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Kelas kerapatan vegetasi

Kelas	Kisaran NDVI	Tingkat Kerapatan
1	$-1 \leq \text{NDVI} \leq -0,03$	Lahan tidak bervegetasi
2	$-0,03 < \text{NDVI} \leq 0,15$	Kehijauan sangat rendah
3	$0,15 < \text{NDVI} \leq 0,25$	Kehijauan rendah
4	$0,26 < \text{NDVI} \leq 0,35$	Kehijauan sedang
5	$0,36 < \text{NDVI} \leq 1$	Kehijauan tinggi

Sumber : Departemen Kehutanan, 2012.

### 2.7 LST (*Land Surface Temperature*)

Suhu permukaan tanah (LST) adalah salah satu parameter kunci keseimbangan energi pada permukaan dan merupakan variabel klimatologis yang utama. Suhu permukaan tanah dapat mengendalikan fluks energi gelombang panjang yang kembali ke atmosfer dan sangat tergantung pada keadaan parameter permukaan lainnya seperti albedo, kelembaban permukaan, serta kondisi dan tingkat penutupan vegetasi (Voogt, 2002). Salah satu sensor dalam sistem penginderaan jauh yang dikembangkan untuk mengekstraksi suhu permukaan tanah adalah inframerah termal. Ekstraksi ini secara garis besar melewati dua tahapan, yaitu perhitungan pantulan spektral dan perhitungan suhu (Sari, 2017).

Sebuah benda akan memancarkan panjang gelombang elektromagnetik yang berbeda pada setiap pancaran suhu, yang dinyatakan dengan Hukum Pergeseran Wien. Penentuan suhu sebuah massa dapat diketahui dari pengukuran pancaran gelombang elektromagnetik. Untuk mengenali suhu obyek diperlukan langkah konversi suhu yang bertujuan untuk menghilangkan pengaruh atmosfer terhadap suhu absolut karena obyek sebenarnya ada di permukaan tanah sedangkan sensor berada di luar angkasa. Persamaan yang digunakan untuk mengkonversi *digital number* (DN) ke *top of atmosphere* (TOA) *radiance* adalah sebagai berikut (Fariz, 2015) :

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (2.7)$$

dimana :

$L_\lambda$  = Radian

$M_L$  = Konstanta pengali *band* radian yang digunakan

$A_L$  = Konstanta penambah *band* radian yang digunakan

$Q_{cal}$  = Nilai piksel (*digital number*)

Konversi di atas berbeda dengan dengan indeks dan transformasi dari *band* tampak semacam indeks vegetasi seperti NDVI dan lain-lain yang menggunakan nilai reflektan. Untuk *band* termal, level koreksi hanya pada konversi menjadi nilai radian spektral, hal tersebut dikarenakan *band* termal bukanlah *band* pantulan, tetapi pancaran energi inframerah termal.

Berdasarkan USGS (2001) untuk mengkonversi *band* termal menjadi suhu sebenarnya hanya melalui dua tahapan, yaitu konversi menjadi nilai radiansi seperti pada persamaan (2.7) lalu konversi nilai menjadi suhu radian. Suhu radian bukan nilai suhu permukaan yang langsung dapat digunakan untuk analisis, tetapi hanyalah suhu pancaran obyek yang terekam pada sensor. Penentuan suhu radian dapat dilakukan dengan menerapkan formula di bawah ini :

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (2.8)$$

dimana  $K_1$  dan  $K_2$  adalah konstanta konversi termal yang terdapat pada metadata citra, dan  $L_\lambda$  adalah *digital number band* inframerah termal yang telah dikonversi ke dalam nilai radiansi menggunakan persamaan (2.7) (Azhari *et al.*, 2016). Selanjutnya suhu permukaan tanah dapat dihitung dengan menambahkan koreksi emisivitas permukaan yang diperoleh berdasarkan algoritma NDVI. Suhu permukaan tanah dihitung mengikuti persamaan Jimenez-Munoz dan Sobrino dalam Qin *et al.* (2011) sebagai berikut :

$$LST = \frac{BT}{1 + \left(\frac{\lambda BT}{hc/\sigma}\right) \ln} - 273 \quad (2.9)$$

dimana :

LST = Suhu permukaan tanah (°C)



BT	= Suhu obyek yang terekam pada sensor (K)
$\lambda$	= Panjang gelombang emisi radiansi efektif pada sensor TIR (m)
h	= Konstanta Planck ( $6,626 \times 10^{-34}$ Js)
c	= Kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$ ms <sup>-1</sup> )
$\sigma$	= Konstanta Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$ JK <sup>-1</sup> )
$\varepsilon$	= Emisivitas obyek

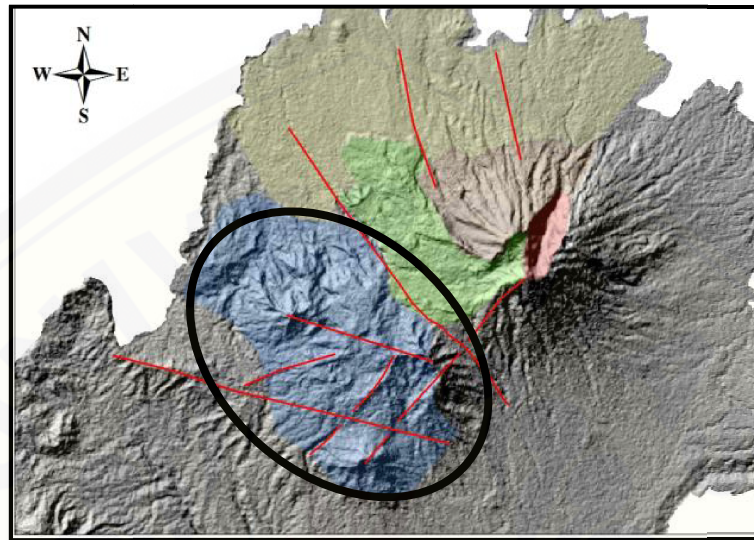
## 2.8 Geomorfologi dan Kelurusan

Geomorfologi didefinisikan sebagai studi yang mendeskripsikan bentuk lahan dan proses yang membentuknya serta mencari hubungan antara bentuk lahan dan proses dalam susunan keruangannya. Dalam mendeskripsikan dan menafsirkan bentuk-bentuk bentang alam (*landform* atau *landscapes*) ada tiga faktor yang perlu diperhatikan dalam mempelajari geomorfologi, yaitu struktur, proses dan stadia (Huggett, 2007). Diantara ketiga faktor tersebut yang paling mudah diamati pada citra satelit penginderaan jauh adalah morfologi struktur geologi yang diekspresikan oleh fitur linear yang biasa disebut kelurusan (*lineament*). Kelurusan nampak berupa garis lurus atau lengkungan dengan panjang yang berbeda-beda, umumnya berhubungan dengan rekahan dan batas litologi, serta relief geomorfik yang muncul dengan perbedaan *tonal* (komposisi warna) (Sukumar *et al.*, 2014).

Kelurusan secara geomorfologi didefinisikan sebagai suatu hal yang dapat dipetakan, sederhana atau gabungan dari beberapa fitur-fitur kelurusan di permukaan, dimana beberapa bagiannya tersusun membentuk hubungan rektilinear atau sedikit kurvalinear dan dapat dibedakan secara jelas dari pola-pola yang berada di sekelilingnya yang diasumsikan sebagai fenomena yang terjadi di bawah permukaan (O'Leary *et al.*, 1976). Beberapa topografi yang termasuk dalam pola-pola kelurusan di permukaan adalah lembahan, punggung, batas area yang memiliki perbedaan ketinggian, sungai, garis pantai, batas garis formasi batuan, dan zona-zona retakan (Hobbs, 1904). Daerah yang memiliki banyak pola kelurusan struktur merupakan zona lemah yang jika dikaitkan dengan sistem panas bumi merupakan jalan air menuju permukaan yang menjadi sumber panas



dari sistem panas bumi yang ada di bawah permukaan (Sukendar *et al.*, 2016). Berikut ini Gambar 2.17 merupakan kelurusan pada morfologi Gunung Salak yang diperoleh dari citra GDEM ASTER yang telah diberi efek *shading* cahaya matahari :



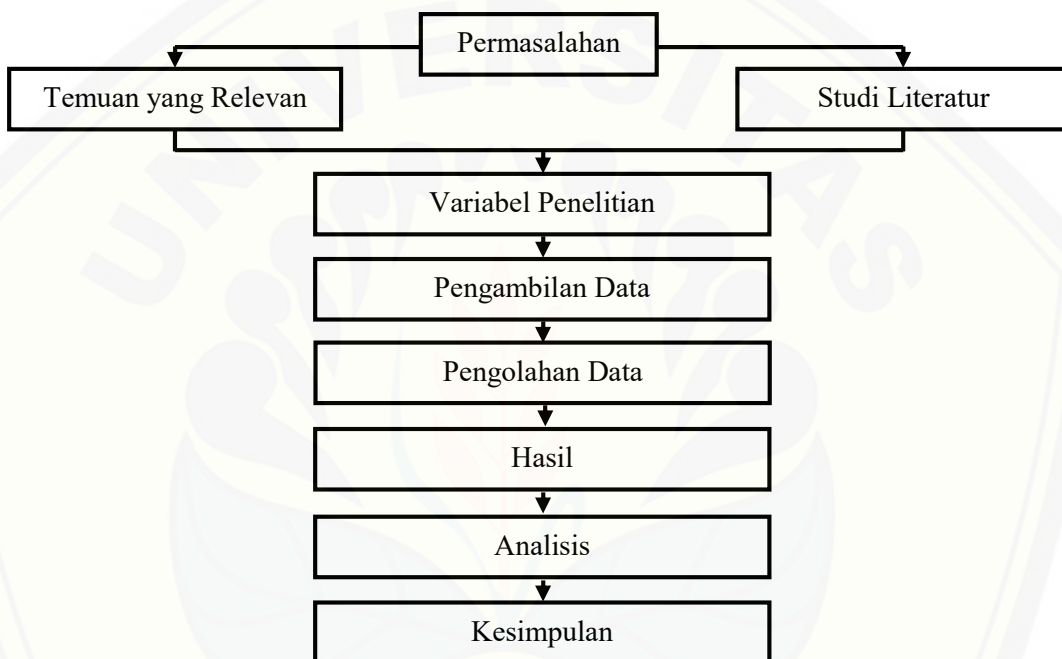
Gambar 2.17 Kelurusan Gunung Salak (Sukendar *et al.*, 2016)

Berdasarkan gambar di atas, diketahui bahwa prospek panas bumi Gunung Salak berada di bagian barat daya (kompleks kerucut gunung api) yang memiliki banyak kelurusan.

### BAB 3. METODE PENELITIAN

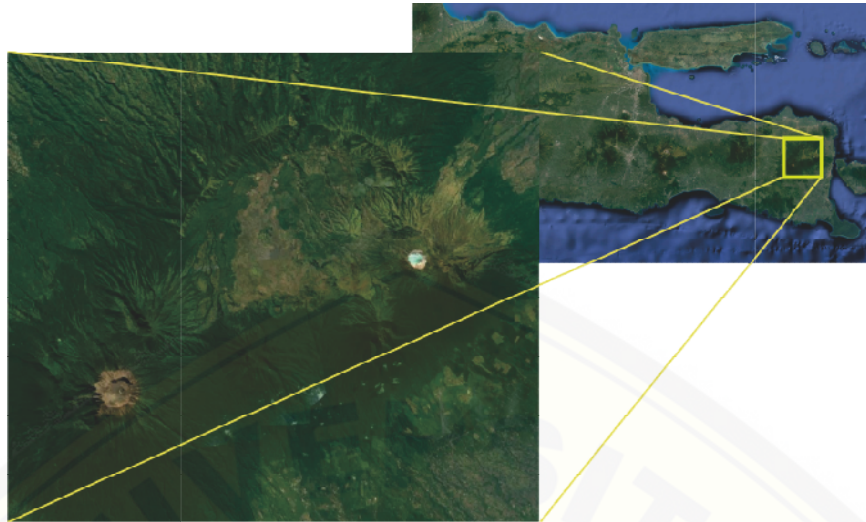
#### 3.1 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian merupakan sebuah desain atau pola operasional yang dapat dijadikan panduan atau pedoman teknis oleh peneliti dalam melaksanakan rangkaian kegiatan penelitian. Berikut adalah rancangan penelitian yang akan dilakukan dalam bentuk *flow chart* :



Gambar 3.1 Rancangan penelitian

Penelitian ini dimulai dengan mengidentifikasi dan merumuskan masalah yang akan diteliti terkait sebaran potensi dan manifestasi panas bumi Pegunungan Ijen berdasarkan suhu permukaan tanah dan geomorfologi berupa kelurusan. Pegunungan Ijen yang akan diteliti dibatasi pada koordinat  $7,97^{\circ}$  –  $8,19^{\circ}$  LS dan  $114,03^{\circ}$ -  $114,31^{\circ}$  BT seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Lokasi penelitian

Setelah permasalahan dirumuskan, selanjutnya adalah melakukan studi literatur dan mempelajari penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pengolahan data citra satelit dan analisa potensi dan manifestasi panas bumi. Berdasarkan hal tersebut kemudian dilakukan identifikasi variabel yang digunakan pada penelitian meliputi variabel bebas dan variabel terikat. Setelah variabel penelitian ditentukan, kemudian dilakukan pengambilan data yang akan digunakan yakni citra satelit Landsat 8 yang diakuisisi pada tahun 2013, 2015, dan 2017 dan GDEM ASTER yang diakuisisi pada tahun 2011. Penelitian ini masuk ke dalam ranah bidang penginderaan jauh geofisika dan konsep yang digunakan untuk memecahkan permasalahan selanjutnya adalah pengolahan data citra satelit. *Software* yang digunakan dalam pengolahan citra ada beberapa macam, yaitu Er-Mapper yang digunakan untuk proses koreksi radiometrik berupa TOA reflektan dan radian hingga diperoleh nilai NDVI dan LST, ENVI dan PCI Geomatica untuk ekstraksi kelurusan menggunakan algoritma *Line*, serta ArcGIS untuk digitasi peta geologi dan pembuatan *layout* peta sebaran suhu permukaan, kerapatan vegetasi, kelurusan dan manifestasi panas bumi. Setelah data diperoleh selanjutnya dilakukan analisis hasil yang diperoleh berupa distribusi zona potensi dan manifestasi panas bumi yang kemudian dibahas dan dikaji untuk ditarik sebuah kesimpulan sebagai jawaban atas permasalahan. Rangkaian penelitian tersebut

kemudian dikemas secara sistematis dalam bentuk karya ilmiah tertulis dan dapat dipertanggungjawabkan berupa laporan tugas akhir.

### 3.2 Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini adalah data kuantitatif. Data kuantitatif merupakan suatu data informasi berupa simbol angka atau bilangan. Berdasarkan simbol dan angka tersebut, perhitungan secara kuantitatif dapat dilakukan untuk menghasilkan suatu kesimpulan yang berlaku umum di dalam suatu parameter. Data kuantitatif pada penelitian ini berupa nilai reflektansi yang disajikan dalam bentuk citra satelit Landsat 8. Kemudian ada nilai suhu permukaan, nilai indeks vegetasi, dan kelurusan yang didapatkan dari proses pengolahan citra Landsat 8 dengan *path/row* 117/66 yang menunjukkan lokasi penelitian.

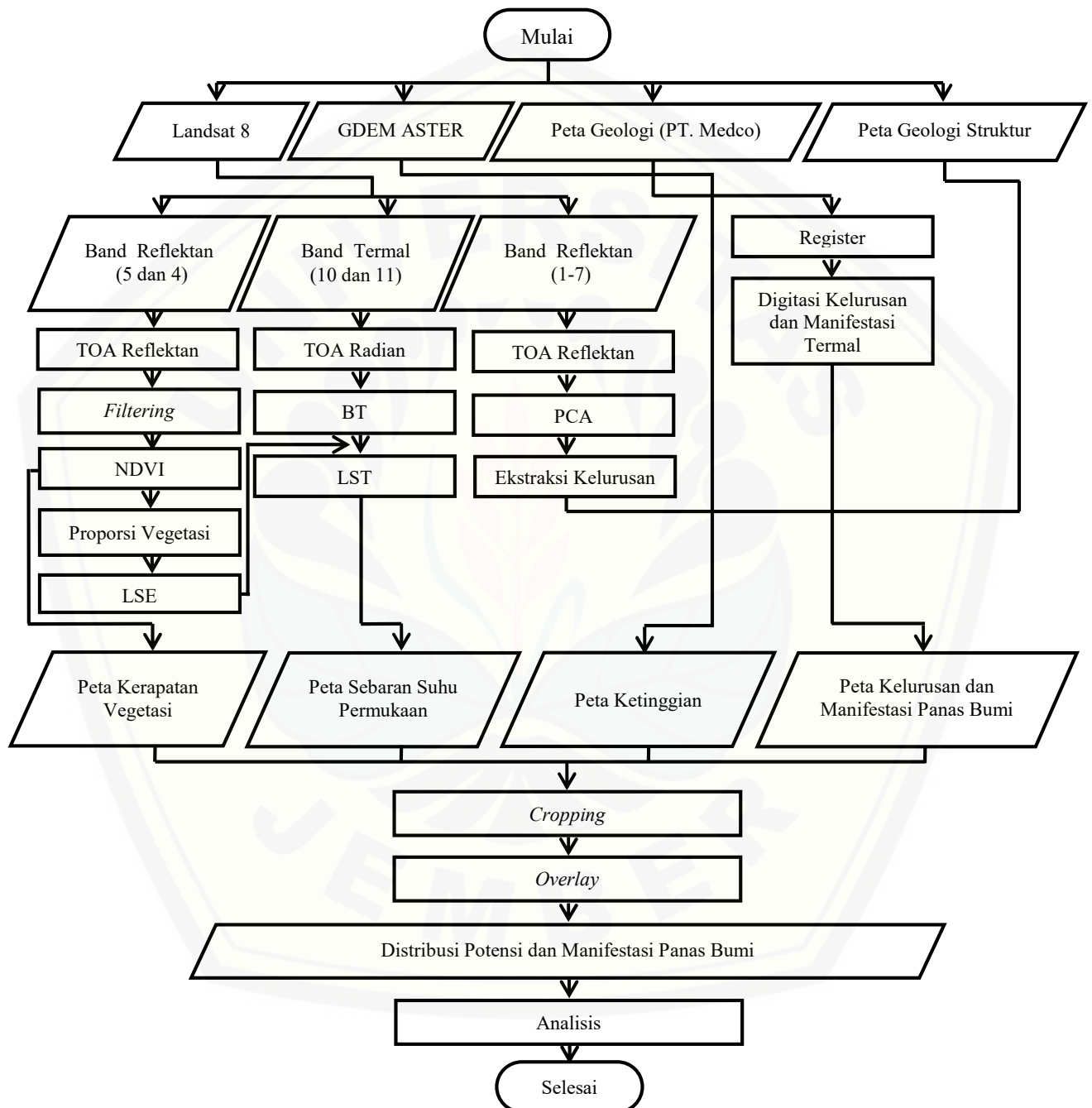
Sumber data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder merupakan sumber data penelitian yang diperoleh melalui media perantara atau secara tidak langsung. Pada penelitian ini, data sekunder diperoleh secara bebas melalui situs *online* USGS (*United States Geological Survey*) berupa data citra satelit Landsat 8.

### 3.3 Definisi Operasional Variabel

Variabel penelitian adalah sebuah faktor yang mempengaruhi dalam penelitian dan memiliki nilai yang dapat berubah atau diubah. Deskripsi pada variabel tersebut bertujuan untuk menghindari terjadinya perbedaan persepsi ataupun timbulnya penafsiran ganda. Secara umum variabel yang digunakan dalam penelitian ini dapat dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah input yang digunakan dalam penelitian berupa data citra satelit Landsat 8 dengan *path/row* 117/66 yang diakuisisi pada tahun 2013, 2015, dan 2017. Sementara itu, variabel terikat didefinisikan sebagai variabel yang mengalami perubahan karena adanya sebuah perlakuan, dimana dalam penelitian ini variabel terikatnya berupa suhu permukaan tanah, indeks vegetasi, dan kelurusan.

### 3.4 Kerangka Pemecahan Masalah

Tahapan proses pemecahan masalah yang dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan pada *flow chart* di bawah ini.



Gambar 3.3 Kerangka pemecahan masalah



### 3.5 Prosedur Penelitian

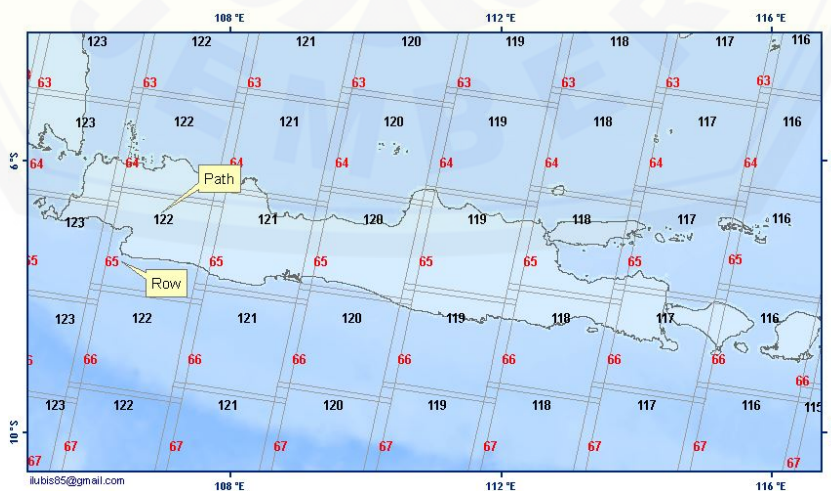
Prosedur penelitian ini memuat rincian mengenai tahapan dalam melaksanakan penelitian seperti pada Gambar 3.3. Secara garis besar, prosedur penelitian ini terdiri atas 3 tahap yaitu tahap persiapan, tahap pengolahan, dan tahap analisis, dimana untuk tahap analisis akan dibahas dalam sub-bab berikutnya sebagai metode analisis.

#### 3.5.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan adalah tahapan yang meliputi perolehan dan pengkoreksian data citra satelit yang akan digunakan pada penelitian.

##### 1. Perolehan Data Citra Landsat 8 dan GDEM ASTER

Data citra yang akan digunakan adalah citra Landsat 8 yang diakuisisi pada tahun 2013, 2015, dan 2017 serta GDEM ASTER yang diakuisisi pada tahun 2011. Semua data tersebut dapat diunduh secara gratis di *website* resmi USGS (*United States Geological Survey*) dengan kriteria *cloud cover* < 10%. Semakin kecil nilai *cloud cover* maka citra yang dihasilkan akan semakin jelas karena awan yang menutupi langit semakin sedikit. Citra Landsat 8 yang digunakan berada pada *path/row* 117/66 yang menunjukkan kode lokasi penelitian, dimana *path* merupakan kolom yang menunjukkan keberadaan suatu wilayah dari barat ke timur sedangkan *row* merupakan baris yang menunjukkan keberadaan suatu wilayah dari utara ke selatan seperti Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Kode *path/row* Pulau Jawa

Pemilihan citra Landsat 8 pada penelitian ini didasari oleh tingkat keakurasian geodetik dan geometriknya yang lebih tinggi dibandingkan dengan Landsat generasi sebelumnya karena interval tingkat keabu-abuannya (*digital number*) lebih panjang yaitu 16 bit dan sudah terkoreksi geometrik. Selain itu Landsat 8 memiliki dua sensor yang diperlukan dalam penelitian ini, yaitu OLI untuk analisis kerapatan vegetasi dan TIRS untuk analisis suhu permukaan.

## 2. Pengkoreksian Data Citra Landsat 8

Pada penelitian ini pengkoreksian data citra menggunakan metode koreksi radiometrik. Koreksi ini perlu dilakukan untuk menghilangkan atau meminimalisir gangguan atmosfer pada saat proses perekaman citra. Biasanya gangguan ini dapat berupa serapan, hamburan, dan pantulan yang menyebabkan nilai piksel pada citra hasil perekaman tidak sesuai dengan nilai piksel obyek sebenarnya di lapangan. Koreksi radiometrik sering disebut juga dengan koreksi TOA (*Top of Atmosphere*), dimana dalam aplikasinya terdapat dua macam koreksi yaitu TOA reflektan dan TOA radian yang berturut-turut berfungsi untuk mengubah nilai *digital number* menjadi nilai reflektan dan radian. Koreksi TOA reflektan umumnya berlaku untuk *band* spektral, dimana pada Landsat 8 adalah *band* 1-9. Algoritma yang digunakan dalam koreksi TOA reflektan disajikan dalam persamaan (2.6).

Koreksi radiometrik berikutnya adalah TOA radian yang berfungsi untuk mengkonversi nilai *digital number* menjadi nilai radian. Koreksi ini hanya perlu diterapkan pada *band* termal, yaitu *band* 10 dan 11 pada Landsat 8 dengan tujuan untuk menghilangkan pengaruh gangguan atmosfer terhadap suhu absolut antara objek di bumi dengan satelit. Selain itu, *band* termal bukanlah *band* pantulan, tetapi pancaran energi inframerah termal. Algoritma untuk koreksi TOA radian disajikan dalam persamaan (2.7).

Nilai reflektan yang diperoleh dari koreksi TOA selanjutnya dikalkulasi secara statistik untuk melihat nilai minimum dan maksimumnya untuk kemudian dilakukan *filtering*, dimana nilai minimum yang bernilai negatif dinolkan untuk menghindari terjadinya anomali dan tidak konsistensinya data. Untuk pengolahan

lebih lanjut, nilai reflektan yang diperoleh dari koreksi TOA dan sudah terfilter dapat digunakan untuk menghitung kerapatan vegetasi menggunakan algoritma NDVI. Sedangkan nilai radian dapat digunakan untuk menghitung suhu permukaan dengan menggunakan algoritma LST.

### 3.5.2 Tahap Pengolahan Data

Tahap pengolahan pada penelitian ini terdiri dari dua parameter utama yaitu nilai suhu permukaan dan kelurusan serta satu parameter pendukung berupa nilai indeks vegetasi.

#### 1. Penentuan Nilai Indeks Vegetasi

Perhitungan nilai indeks vegetasi dapat dilakukan dengan memanfaatkan nilai reflektan yang telah difilter khususnya *band 5* (inframerah dekat) dan *band 4* (merah) pada Landsat 8 untuk kemudian disubstitusikan pada algoritma NDVI yang disajikan dalam persamaan (2.5). Pemilihan kedua *band* tersebut didasarkan pada karakteristik daun yang lebih banyak merefleksikan gelombang inframerah dekat jika dibandingkan dengan gelombang merah. Hasil yang diperoleh dari algoritma NDVI selanjutnya dapat digunakan untuk memetakan kerapatan vegetasi berdasarkan indeks vegetasinya.

Citra yang sudah diolah menggunakan algoritma NDVI selanjutnya dihitung secara statistik untuk diketahui nilai minimum dan maksimumnya untuk kemudian nilai tersebut digunakan dalam penentuan proporsi vegetasi (PV) untuk mengestimasi besaran fraksi dari suatu area yang tertutup vegetasi dengan menggunakan algoritma di bawah ini :

$$PV = \left( \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right)^2 \quad (3.1)$$

Selanjutnya nilai proporsi vegetasi yang diperoleh dari algoritma di atas digunakan untuk menentukan nilai emisivitas permukaan tanah (LSE) yang berfungsi untuk mengurangi kesalahan dalam mengestimasi suhu permukaan menggunakan citra satelit. Nilai emisivitas dapat diperoleh dengan menerapkan algoritma di bawah ini :

$$\varepsilon = 0,004PV + 0,986 \quad (3.2)$$

## 2. Penentuan Nilai Suhu Permukaan Tanah

Penentuan nilai suhu permukaan tanah dimulai dengan mengkonversi nilai radian ( $L_\lambda$ ) yang diperoleh dari koreksi radiometrik menjadi suhu kecerahan atau *brightness temperature* (BT) yang diestimasi dari citra satelit sebagai radiasi gelombang elektromagnetik yang dideteksi oleh sensor termal. Suhu kecerahan (BT) dapat ditentukan dengan menerapkan algoritma pada persamaan (2.8). Selanjutnya suhu permukaan tanah dapat dihitung dengan menambahkan koreksi emisivitas permukaan yang diperoleh dari persamaan (3.2) dengan menggunakan algoritma LST pada persamaan (2.9). Hasil akhir yang diperoleh dari pengolahan *band* termal dengan menggunakan algoritma ini adalah peta suhu permukaan tanah yang merefleksikan distribusi potensi panas bumi.

## 3. Penentuan Kelurusan dan Manifestasi Panas Bumi

Penentuan kelurusan dimulai dengan melakukan *Principal Component Analysis* (PCA) pada *band* 1-7 yang telah terkoreksi radiometrik dengan TOA reflektan. PCA merupakan salah satu teknik peningkatan kualitas citra secara visual sehingga fitur kelurusan dapat dengan mudah diamati. Selanjutnya citra yang sudah melalui proses PCA diekstraksi secara otomatis dengan menggunakan algoritma *Line* pada software PCI Geomatica untuk kemudian di-*overlay* dengan peta geologi struktur dan peta geologi PT. Medco Power Indonesia (termasuk manifestasi termal di dalamnya) yang sebelumnya telah didigitasi untuk kemudian diinterpretasi. Digitasi kelurusan perlu dilakukan karena kelurusan yang disajikan oleh peta geologi struktur belum mampu menggambarkan kelurusan yang terdapat pada lokasi penelitian secara lengkap dan detail. Hasil akhir yang diperoleh setelah proses digitasi dilakukan adalah kelurusan yang jika di-*overlay* dengan peta sebaran suhu permukaan dapat digunakan untuk memetakan potensi manifestasi panas bumi. Untuk memudahkan proses analisis maka semua hasil tersebut perlu di-*cropping* terlebih dahulu dengan koordinat penelitian dibatasi pada  $7,97^\circ - 8,19^\circ$  LS dan  $114,03^\circ - 114,31^\circ$  BT.



### 3.6 Metode Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan pada penelitian ini meliputi analisis peta suhu permukaan tanah dan ketinggian, analisis peta kerapatan vegetasi, analisis peta kelurusan, serta analisis manifestasi panas bumi.

#### 3.6.1 Analisis Peta Suhu Permukaan Tanah dan Ketinggian

Peta sebaran suhu permukaan dihasilkan dari pengolahan emisivitas permukaan tanah dan suhu pancaran obyek di permukaan yang terekam pada sensor satelit dengan menggunakan algoritma LST. Semakin tinggi suhu permukaan tanah suatu daerah yang dihasilkan oleh algoritma LST dibandingkan dengan daerah di sekitarnya, maka semakin besar potensi adanya panas bumi di daerah tersebut, karena pada umumnya suhu permukaan tanah berasosiasi dengan sumber panas bumi di bawahnya. Selain itu, jika diasosiasikan dengan ketinggian permukaan, seiring bertambahnya ketinggian suatu daerah sebesar 100 meter maka suhu permukaan tanahnya akan semakin menurun. Namun apabila hal tersebut berlaku sebaliknya, yakni suhu permukaan semakin tinggi seiring kenaikan ketinggian permukaan maka terdapat anomali panas pada daerah tersebut sehingga potensi adanya panas bumi semakin besar. Menurut Purwantara (2011), hubungan antara suhu dan ketinggian permukaan dapat dinyatakan dalam persamaan Braak di bawah ini :

$$T = 26,3^{\circ}\text{C} - \frac{(0,61^{\circ}\text{C} \cdot h)}{100} \quad (3.3)$$

Keterangan :

T = Suhu

26,3 °C = Suhu rata-rata tahunan

0,61 °C = Gradien suhu setiap kenaikan 100 m

h = Ketinggian permukaan

Untuk membedakan nilai suhu permukaan yang berasal dari aktivitas vulkanik terhadap aktivitas manusia, maka dapat dilakukan komparasi peta kerapatan vegetasi dan peta sebaran suhu permukaan. Sementara untuk melihat



konsistensi hasil sebaran suhu permukaan di lokasi penelitian maka perlu dilakukan komparasi tiga data, yaitu peta sebaran suhu permukaan tanah pada tahun 2013, 2015, dan 2017.

### 3.6.2 Analisis Peta Kerapatan Vegetasi

Peta kerapatan vegetasi dihasilkan dari pengolahan nilai reflektan menggunakan algoritma NDVI, dimana nilai piksel yang dihasilkan pada umumnya berkisar antara -1 hingga +1 yang merepresentasikan nilai indeks vegetasi. Nilai piksel positif mengindikasikan suatu vegetasi, sedangkan nilai piksel negatif mengindikasikan objek non-vegetasi, dimana hal ini berkaitan erat dengan karakteristik vegetasi dalam memantulkan radiasi panjang gelombang merah dan inframerah dekat. Berdasarkan sistem klasifikasi yang mengacu pada Peraturan Departemen Kehutanan tahun 2012, kerapatan vegetasi hasil algoritma NDVI dibagi menjadi lima kelas sebagaimana Tabel 2.6.

Pada penelitian ini terdapat tiga macam data Landsat 8 yang akan diklasifikasi sesuai Peraturan Departemen Kehutanan yakni klasifikasi pada tahun 2013, 2015, dan 2017 yang disajikan dalam bentuk peta. Dari masing-masing klasifikasi tersebut kemudian dilihat konsistensi hasil yang diperoleh dengan membandingkan ketiganya. Pada umumnya kawasan potensi panas bumi di Indonesia berada di kawasan gunung vulkanik dengan permukaan area sebagian besar tertutup vegetasi, oleh karena itu peta kerapatan vegetasi ini diperlukan untuk melihat tingkat kerapatan vegetasi zona potensi panas bumi.

### 3.6.3 Analisis Peta Kelurusan

Peta kelurusan diperoleh dari *overlay* hasil ekstraksi otomatis citra Landsat 8, peta geologi struktur, dan hasil digitasi peta geologi PT. Medco Power Indonesia. Daerah yang memiliki banyak pola kelurusan struktur merupakan zona lemah yang jika dikaitkan dengan sistem panas bumi merupakan jalan air menuju permukaan yang menjadi sumber panas dari sistem panas bumi yang ada di bawah permukaan. Jadi, jika di suatu lokasi ditemukan manifestasi panas bumi maka sudah pasti di bawahnya ada sumber panas bumi yang membuat suhu air tanah meningkat dan tentunya hanya berada di lokasi tertentu dengan kondisi geologi

yang khas seperti memiliki banyak kelurusan. Hal ini dikarenakan manifestasi panas bumi dikontrol oleh adanya kelurusan yang berasosiasi dengan sumber panas bumi di bawah permukaan.

#### 3.6.4 Analisis Peta Manifestasi Panas Bumi

Peluang munculnya manifestasi panas bumi di permukaan dapat dipetakan melalui zona potensi yang berinterseksi dengan kelurusan. Zona potensi yang dimaksud adalah suhu permukaan tanah yang tinggi yang dijustifikasi berpotensi panas bumi. Pemetaan ini dapat dilakukan mengingat fakta bahwa hampir sebagian besar manifestasi panas bumi yang ditemukan berada di sekitar kelurusan yang berinterseksi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi. Hal ini dapat diperkuat dengan melihat hasil digitasi kelurusan dan manifestasi panas bumi yang diperoleh dari peta geologi PT. Medco Power Indonesia. Namun demikian, besar kemungkinan masih banyak manifestasi panas bumi yang belum terdata, sehingga pemetaan dapat dilakukan dengan melihat asosiasi dua variabel yang telah disebutkan sebelumnya, yakni kelurusan dan suhu permukaan tanah yang tinggi. Pembuatan peta dapat dilakukan dengan mendigitasi kelurusan yang berinterseksi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi untuk masing-masing citra pada September 2013, 2015, dan 2017 untuk kemudian dicari irisannya.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa daerah yang berpotensi panas bumi berada pada bagian dalam kaldera Pegunungan Ijen yang termasuk ke dalam administrasi Desa Sempol dan Desa Kalianyar, dimana anomali suhu yang terdeteksi sebesar 26-50°C yang didominasi oleh vegetasi dengan tingkat kehijauan tinggi. Sementara beberapa manifestasi panas bumi yang telah terdata diketahui berasosiasi dengan kelurusan yang berinterseksi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi, sehingga potensi manifestasi yang berhasil dipetakan ialah kelurusan yang secara konsisten berinterseksi dengan suhu permukaan tanah yang tinggi pada September 2013, 2015, dan 2017 dengan orientasi Tenggara – Barat Laut dan Barat Daya – Timur Laut.

### 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan agar penelitian selanjutnya lebih baik adalah perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut pada beberapa patahan baru yang diperoleh dari hasil ekstraksi citra satelit yang digunakan dalam pemetaan potensi manifestasi panas bumi, begitu pula dengan keberadaan manifestasi sepanjang patahan yang diduga berpotensi besar menjadi jalur fluida panas bumi ke permukaan. Perlunya pengecekan lapangan lebih lanjut juga termasuk untuk menentukan panjang patahan sebenarnya mengingat resolusi citra Landsat 8 yang terbatas sebesar 30 meter.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, A., Maryanto, S., dan Rachmansyah, A. 2013. Identifikasi Reservoir Panasbumi dengan Metode Geomagnetik Daerah Blawan Kecamatan Sempol Kabupaten Bondowoso. *Jurnal Neutrino* 6 (1) : 1-10.
- Aftriana, C.V. 2013. Analisis Perubahan Kerapatan Vegetasi Kota Semarang Menggunakan Bantuan Teknologi Penginderaan Jauh. *Skripsi*. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- Azhari, A., Maryanto, S., dan Rachmansyah, A. 2016. Identifikasi Struktur Geologi dan Pengaruhnya Terhadap Suhu Permukaan Tanah Berdasarkan Data Landsat 8 di Lapangan Panas Bumi Blawan. *Jurnal Penginderaan Jauh* 13 (1) : 1-12.
- ASTER. 2011. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection. <https://earthexplorer.usgs.gov/>. [Diakses pada 15 Maret 2018].
- Becker, F., dan Li, Z. L. 1990. Toward a Local Split Windows Method Over Land Surface. *International Journal of Remote Sensing* 11 (3) : 369-393.
- Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia*. The Hague : Government Printing Office.
- Blackett, M. 2014. Early Analysis of Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Imagery of Volcanic Activity. *Journal Remote Sensing* 6 : 2282-2295.
- BPBD Gresik. 2017. Monitoring Hari Tanpa Hujan Berturut-Turut. <http://gresik.bpbd.jatimprov.go.id/2017/09/21/monitoring-hari-tanpa-hujan/>. [Diakses pada 18 Januari 2019].
- Bratakusuma, B. 2016. Wayang Windu Bagian dari Potensi Panas Bumi Dunia. <http://nationalgeographic.co.id/berita/2016/08/indonesia-wayang-windu-bagian-dari-potensi-panas-bumi-dunia>. [Diakses pada 15 Maret 2018].
- Burrough, P.A dan McDonnell, R.A. 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. New York : Oxford University Press.
- Chrisnawati, G. 2007. Analisa Sebaran Titik Panas dan Suhu Permukaan Daratan Sebagai Penduga Terjadinya Kebakaran Hutan Menggunakan Sensor Satelit NOAA/AVHRR dan EOS AQUA-TERRA/MODIS. *Skripsi*. Depok : Universitas Indonesia.
- Danoedoro, P. 2012. *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta : Penerbit Andi.

- Daruati, D. 2012. Pola Wilayah Kekeringan Lahan Basah (Sawah) di Propinsi Jawa Barat. *Tesis*. Depok : Universitas Indonesia.
- Departemen Kehutanan. 2012. *Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Tentang Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai (Rtk-Rhl DAS)*. Nomor : P.12/MENHUT-II/2012 Jakarta : Kemenhut.
- Dewi, C.N., Maryanto, S., dan Rachmansyah, A. 2015. Sistem Panasbumi Daerah Blawan, Jawa Timur Berdasarkan Survei Magnetotelurik. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan* 25 (2) : 111-119.
- Ermanto, S. A., Maryanto, S., dan Susilo, A. 2017. Penentuan Suhu Permukaan Tanah Kawah Wurung – Ijen Jawa Timur Menggunakan Citra Landsat 8 Sebagai Studi Pendahuluan dalam Survei Eksplorasi Panas Bumi. *Jurnal NATURAL B* 4 (1).
- ERSDAC. 2002. *ASTER User's Guide Part-III (Ver. 1.0)*. Japan : Earth Remote Sensing Data Analysis Center.
- ERSDAC. 2003. *ASTER Reference Guide Version 1.0*. Japan : Earth Remote Sensing Data Analysis Center.
- Faridah, S.A.N., dan Krisbiantoro, A. 2014. Analisis Distribusi Temperatur Permukaan Tanah Wilayah Potensi Panas Bumi Menggunakan Teknik Penginderaan Jauh di Gunung Lamongan, Tiris – Probolinggo, Jawa Timur. *Jurnal Berkala Fisika* 17 (2) : 67-72.
- Fariz, R.T. 2015. Pemanfaatan Citra Satelit dan Sistem Informasi Geografis untuk Pengembangan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Estimasi Suhu Permukaan Daratan di Kota Pekalongan. *Skripsi*. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- Finn, M.P., Reed, M.D., dan Yamamoto, K.H. 2013. A Straight Forward Guide for Processing Radiance and Reflectance for EO-1 ALI, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, and ASTER. *Unpublished Report from USGS/Center of Excellence for Geospatial Information Science*.
- Frahma, Y.F. 2017. Monitoring Tutupan Lahan Daerah Pertambangan Sawahlunto dengan Mengaplikasikan Metode Klasifikasi Supervised dan Indeks Vegetasi pada Citra Landsat Tahun 2000-2016. *Skripsi*. Jember : Universitas Jember.
- Herry. 2017. Kemarau Tinggi Akibatkan Hutan di Lereng Gunung Ijen Terbakar, Polisi Bantu Padamkan. <http://tribrataneews.polri.go.id/?p=261815>. [Diakses pada 11 Januari 2019].



- Hobbs, W.H. 1904. Lineaments of Atlantic Border Region. *Geological Society of America Bulletin* 15 : 483-506.
- Hochstein, M.P., dan Browne, P.R.L. 2000. *Surface Manifestation of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources*. Editor Haraldur Sigurdsson. Encyclopedia of Volcanoes Academic Press : 835-855.
- Horning, N. 2004. *Global Land Vegetation ; An Electronic Textbook*. USA : NASA Goddard Space Flight Center Earth Sciences Directorate Scientific and Educational Endeavors (SEE).
- Hugget, R.J. 2007. *Fundamentals of Geomorphology Second Edition*. USA and Canada : Routledge.
- Hung, L.Q., Batelaan, O., dan De Smedt, F. 2005. Lineament Extraction and Analysis, comparison of Landsat ETM and ASTER imagery (Case Study : Suoimuoi Tropical Karst Catchment, Vietnam). *Proceedings of SPIE* 5983.
- Inopianti, N. 2017. Pemanfaatan Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) dan Penginderaan Jauh untuk Pemetaan Daerah Rawan Kekeringan di Kabupaten Sukabumi. *Skripsi*. Jakarta : Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Jensen, J.R. 2005. *Introductory Digital Image Processing (3rd edition)*. Prentice Hall.
- Juniarti, E., Maryanto, S., dan Susilo, A. 2017. Pemetaan Suhu Permukaan Tanah Daerah Kawah Wurung, Kabupaten Bondowoso, Jawa Timur dalam Penentuan Manifestasi Panas Bumi. *Jurnal NATURAL B* 4 (1).
- Kerle, N., Janssen., Lucas, L.F., dan Hurneman, G.C (editor). 2004. *Principles of Remote Sensing*. The Netherlands : International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- Kustiyo, M. 2005. Analisis Ketelitian Ketinggian Data DEM SRTM. *MAPIN XIV*. Pemanfaatan Efektif Penginderaan Jauh untuk Peningkatan Kesejahteraan Bangsa. Surabaya : Pertemuan Ilmiah Tahunan. 14-15 September.
- Lillesand, T.M., dan Kiefer, R.W. 1990. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press. Diterjemahkan oleh Dulbahri.
- Lillesand, T.M., dan Kiefer, R.W. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation (Third Edition)*. United States of America : John Wiley dan Sons Inc.
- Lillesand, T.M., dan Kiefer, R.W. 2005. *Remote Sensing and Image Interpretation (4th Edition)*. USA : John Wiley and Sons Inc.

- Lindgren, D.T. 1985. *Land use Planning and Remote Sensing*. Dordrecht : Martinus Nijhoff Publisher.
- Mahdi, K. 2014. Pengenalan Penginderaan Jauh dan Teori Dasar Pendukung Pengolahan Citra Digital. *Makalah Diskusi Panel*. Jakarta : LAPAN.
- Mardiana, R. 2017. Analisis Potensi Panas Bumi Menggunakan Landsat 8 dan Sentinel 2 (Studi Kasus : Gunung Ijen). *Skripsi*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November.
- Mukarromah, N. 2017. Identifikasi Zona Potensial Geotermal dengan Menggunakan Citra ALOS PALSAR (Studi Kasus : Gunung Sibayak Sumatera Utara). *Skripsi*. Jember : Universitas Jember.
- Maryanto, S., Suciningtyas, L.K.L.N., Dewi, C.N., dan Rachmansyah, A. 2016. Integrated Resistivity and Ground Penetrating Radar Observations of Underground Seepage of Hot Water at Blawan-Ijen Geothermal Field. *International Journal of Geophysics* : 1-14.
- Massinai, M.A., Rusman, S., dan Syamsuddin. 2014. Struktur Geologi Sulawesi Barat Ditinjau dari Kelurusan Geomorfologi Regional. *Proceeding Seminar Nasional Geofisika*. 13 September 2014.
- Nandi. 2006. *Vulkanisme : Handouts Geologi Lingkungan*. Bandung : Universitas Pendidikan Indonesia.
- Nugraha, A.L., dan Susanto, Y.B. 2011. Efektivitas Citra Aster DEM dalam Pembuatan Peta Topografi Skala Regional. *Prosiding Forum Ilmiah Tahunan (FIT) dan Seminar Nasional*. 24 November 2015. *Ikatan Surveyor Indonesia* : 222-230.
- Nugroho, S.A., Wijaya, A.P., dan Sukmono, A. 2016. Analisis Pengaruh Perubahan Vegetasi Terhadap Suhu Permukaan di Wilayah Kabupaten Semarang Menggunakan Metode Penginderaan Jauh. *Jurnal Geodesi Undip* 5 (1).
- O'Leary, D.W., Fredman, J.D., dan Pohn, H.A. 1976. Lineament, linear, lineation : Some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin* 87 (10) : 1463-1469.
- Pemprov Jatim. 2015. *Public Data : Potensi Panasbumi di Jawa Timur*. Surabaya.
- Pietersz, J.H., Matinahoru, J.M., dan Loppies, R. 2015. Pendekatan Indeks Vegetasi untuk Mengevaluasi Kenyamanan Termal Menggunakan Data Satelit Landsat-TM di Kota Ambon. *Jurnal Ilmu Budidaya Tanaman "Agrologia"* 4 (2).

- Puntodewo, A dan Tarigan, J. 2003. *Sistem Informasi Geografis untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam*. Bogor : CIFOR.
- Purbowaseso, B. 1996. *Penginderaan Jauh Terapan*. Jakarta : UI-Press.
- Purwantara, S. 2011. Studi Temperatur Udara Terkini di Wilayah Jawa Tengah dan DIY. *Jurnal INFORMASI : Kajian Masalah Pendidikan dan Ilmu Sosial* 37 (2) : 166-179.
- 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 Studi in Tengchong, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13 : 552-559.
- Raehanayati., Rachmansyah, A., dan Maryanto, S. 2013. Studi Potensi Energi Geothermal Blawan Ijen, Jawa Timur Berdasarkan Metode Gravity. *Jurnal Neutrino* 6 (1).
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., dan Deering, D.W. 1973. Monitoring Vegetation Systems in The Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). *Proceedings of 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium*. 10-14 December. Greenbelt : 309-317.
- Rukhiyat. 2012. Pemanfaatan Energi Panas Bumi. <http://belajar.kemendikbud.go.id/SumberBelajar/tampil>. [Diakses pada 18 Maret 2018].
- Saptadji, N.M. 2001. *Teknik Panasbumi*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Saptadji, N.M. 2005. *Sekilas Tentang Panas Bumi*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Saragih, B.F., Prasetyo, Y., dan Sasmito, B. 2015. Identifikasi Manifestasi Panas Bumi dengan Memanfaatkan Kanal Thermal pada Citra Landsat (Studi Kasus : Kawasan Dieng). *Jurnal Geodesi Undip* 4 (4).
- Sari, M.I. 2017. Hubungan Antara Variasi Spatio Temporal Pulau Panas dengan Nilai Indeks Vegetasi Menggunakan Citra Landsat 8 OLI/TIRS di Kabupaten Sleman. *Skripsi*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Siahaan, M.N., Soebandrio, A., Wikantika., dan Ketut. 2011. Geothermal Potential Exploration Using Remote Sensing Technique (Case Study : Patuha Area, West Java). *10th Annual Asian Conference & Exhibition on Geospatial Information, Technology & Applications*. 17-19 Oktober 2011. Asia Geospatial Forum.
- Sukumar, M., Vankatesan, N., dan Nelson, K.B.C. 2014. A Review of Various Lineament Detection Techniques for High Resolution Satellite Images.

*International Journal of Advanced Research Computer Science and Software Engineering* 4 (3) : 72-78.

Sartohadi, J., Sianturi, R.S., Rahmadana, A.D.W., Maritimo, F., Wacano, D., Munawaroh., Suryani, T., dan Pratiwi, E.S. 2014. *Bentang Sumberdaya Lahan Kawasan Gunungapi Ijen dan Sekitarnya*. Yogyakarta : Pustaka Pelajar.

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 Sustanable Energy Review* 59 : 940-951.

Sudiana, D., dan Diasmara, E. 2008. Analisis Indeks Vegetasi Menggunakan Data Satelit NOAA/AVHRR dan TERRA/AQUA-MODIS. *Seminar on Intelligent Technology and Its Applications*. Opthoelectrotechnique and Remote Sensing (OPRES) Research Group.

Sukendar, P.M., Sasmito, B., dan Wijaya, A.P. 2016. Analisis Sebaran Kawasan Potensial Panas Bumi Gunung Salak dengan Suhu Permukaan, Indeks Vegetasi dan Geomorfologi. *Jurnal Geodesi Undip* 5 (2).

Sumintadiredja. 2005. *Pemanfaatan Panas Bumi (Geothermal) Sebagai Energi Alternatif Terbarukan di Indonesia*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.

Suparno, S. 2009. *Energi Panas Bumi : A present from heart of the earth*. Edisi I. Depok : Universitas Indonesia.

Sutanto. 1994. *Penginderaan Jauh Jilid I*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.

SSI. 2017. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). <http://www.symphonygeo.com/blog/18-ndvi-normalized-difference-vegetation-index>. [Diakses pada 20 Maret 2018].

Utama, A.P., Dwinanto, A., Situmorang, J., Hikmi., dan Irsamukti, R. 2012. Green Field Geothermal Systems in Java, Indonesia. *ITB Geothermal Workshop 2012*. Bandung : Institut Teknologi Bandung (ITB).

USGS. 2001. *Landsat 7 Science Data Users Handbook*. US : National Aeronautics and Space Administration.

USGS. 2018. Landsat Missions. <http://landsat.usgs.gov>. [Diakses pada 19 Maret 2018].

Voogt, J.A. 2002. *Urban Heat Island*, In : Douglas, I. (ed) Volume 3, *Causes and Consequences of Global Environment Change*, In : Munn, T. (ed).



Encyclopedia of Global Environment Change, Chichester : John Wiley & Sons, Ltd. 606-666.

Wahyuningsih, R. 2005. Potensi dan Wilayah Kerja Pertambangan Panas Bumi di Indonesia. *Kolokium Hasil Lapangan*. DIM : 1-9.

Yusuf, F. 2017. Imbas Kekeringan, Lahan Perhutani di Desa Sempol Kecamatan Ijen Terbakar. <https://www.radiobintangtenggara.com/2017/09/19/imbas-kekeringan-lahan-perhutani-di-desa-sempol-kecamatan-ijen-terbakar/>. [Diakses pada 11 Januari 2019].

Zaennudin, A., Sumarti S., Sutaningsih, E.N., dan Sukarnen. 2005. Genetic of an Ancient Lake Blawan, Ijen Caldera, East Java. *Annual Meeting of Geological Association of Indonesia*. Surabaya-Indonesia.

Zaennudin, A., Wahyudin, D., Surmayadi, M., dan Kusdinar, E. 2012. Prakiraan Bahaya Letusan Gunung Api Ijen Jawa Timur. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi* 3 (2) : 109-132.



## LAMPIRAN

### 2.1 Kaldera Pegunungan Ijen





Gambar-gambar di atas menunjukkan bahwa sebagian kecil kaldera Pegunungan Ijen dijadikan sebagai pemukiman.



### 3.1 Metadata Citra Landsat 23 September 2013 (<https://usgs.gov/>)

```
GROUP = L1_METADATA_FILE
  GROUP = METADATA_FILE_INFO
    ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
    REQUEST_ID = "0501705013536_00020"
    LANDSAT_SCENE_ID = "LC81170662013266LGN01"
    LANDSAT_PRODUCT_ID =
"LC08_L1TP_117066_20130923_20170502_01_T1"
    COLLECTION_NUMBER = 01
    FILE_DATE = 2017-05-02T07:16:01Z
    STATION_ID = "LGN"
    PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.7.0"
  END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
  GROUP = PRODUCT_METADATA
    DATA_TYPE = "L1TP"
    COLLECTION_CATEGORY = "T1"
    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 = 2013-09-23
    SCENE_CENTER_TIME = "02:31:53.3838910Z"
    CORNER_UL_LAT_PRODUCT = -7.62712
    CORNER_UL_LON_PRODUCT = 113.32873
    CORNER_UR_LAT_PRODUCT = -7.63970
    CORNER_UR_LON_PRODUCT = 115.38543
    CORNER_LL_LAT_PRODUCT = -9.71493
    CORNER_LL_LON_PRODUCT = 113.30837
    CORNER_LR_LAT_PRODUCT = -9.73102
    CORNER_LR_LON_PRODUCT = 115.37646
    CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 94800.000
    CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -844800.000
    CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 321900.000
    CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -844800.000
    CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 94800.000
    CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -1076100.000
    CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 321900.000
    CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -1076100.000
    PANCHROMATIC_LINES = 15421
    PANCHROMATIC_SAMPLES = 15141
    REFLECTIVE_LINES = 7711
    REFLECTIVE_SAMPLES = 7571
    THERMAL_LINES = 7711
    THERMAL_SAMPLES = 7571
```

```
FILE_NAME_BAND_1 =
"LC08_L1TP_117066_20130923_20170502_01_T1_B1.TIF"
FILE_NAME_BAND_2 =
"LC08_L1TP_117066_20130923_20170502_01_T1_B2.TIF"
FILE_NAME_BAND_3 =
"LC08_L1TP_117066_20130923_20170502_01_T1_B3.TIF"
FILE_NAME_BAND_4 =
"LC08_L1TP_117066_20130923_20170502_01_T1_B4.TIF"
FILE_NAME_BAND_5 =
"LC08_L1TP_117066_20130923_20170502_01_T1_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6 =
"LC08_L1TP_117066_20130923_20170502_01_T1_B6.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 =
"LC08_L1TP_117066_20130923_20170502_01_T1_B7.TIF"
FILE_NAME_BAND_8 =
"LC08_L1TP_117066_20130923_20170502_01_T1_B8.TIF"
FILE_NAME_BAND_9 =
"LC08_L1TP_117066_20130923_20170502_01_T1_B9.TIF"
FILE_NAME_BAND_10 =
"LC08_L1TP_117066_20130923_20170502_01_T1_B10.TIF"
FILE_NAME_BAND_11 =
"LC08_L1TP_117066_20130923_20170502_01_T1_B11.TIF"
FILE_NAME_BAND_QUALITY =
"LC08_L1TP_117066_20130923_20170502_01_T1_BQA.TIF"
ANGLE_COEFFICIENT_FILE_NAME =
"LC08_L1TP_117066_20130923_20170502_01_T1_ANG.txt"
METADATA_FILE_NAME =
"LC08_L1TP_117066_20130923_20170502_01_T1_MTL.txt"
CPF_NAME = "LC08CPF_20130920_20130930_01.01"
BPF_NAME_OLI = "LO8BPF20130923020812_20130923023249.01"
BPF_NAME_TIRS = "LT8BPF20130923020418_20130923023342.01"
RLUT_FILE_NAME = "LC08RLUT_20130211_20150302_01_11.h5"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 11.14
CLOUD_COVER_LAND = 24.44
IMAGE_QUALITY_OLI = 9
IMAGE_QUALITY_TIRS = 9
TIRS_SSM_MODEL = "ACTUAL"
TIRS_SSM_POSITION_STATUS = "NOMINAL"
TIRS_STRAY_LIGHT_CORRECTION_SOURCE = "TIRS"
ROLL_ANGLE = -0.001
SUN_AZIMUTH = 72.84885084
SUN_ELEVATION = 62.92195978
EARTH_SUN_DISTANCE = 1.0034375
SATURATION_BAND_1 = "N"
SATURATION_BAND_2 = "N"
SATURATION_BAND_3 = "N"
SATURATION_BAND_4 = "Y"
SATURATION_BAND_5 = "Y"
SATURATION_BAND_6 = "Y"
```

```
SATURATION_BAND_7 = "Y"
SATURATION_BAND_8 = "N"
SATURATION_BAND_9 = "N"
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 4
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 134
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 6.657
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 4.827
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 4.584
TRUNCATION_OLI = "UPPER"
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 754.86395
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -62.33691
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 772.98993
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -63.83376
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 712.30359
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -58.82226
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 600.65454
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -49.60225
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 367.57062
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -30.35410
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 91.41147
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.54879
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 30.81056
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.54435
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 679.77563
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -56.13609
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 143.65492
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -11.86307
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 = 1.2470E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.2769E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.1767E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.9224E-03
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.0720E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5101E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.0897E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1229E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.3731E-03
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -62.34938
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -63.84653
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -58.83403
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -49.61217
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -30.36017
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.55030
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.54485
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -56.14732
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -11.86544
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
  K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.0789
  K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.8883
  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
```

### 3.2 Metadata Citra Landsat 13 September 2015 (<https://usgs.gov/>)

```
GROUP = L1_METADATA_FILE
  GROUP = METADATA_FILE_INFO
    ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
    REQUEST_ID = "0501704043679_00058"
    LANDSAT_SCENE_ID = "LC81170662015256LGN01"
    LANDSAT_PRODUCT_ID =
"LC08_L1TP_117066_20150913_20170404_01_T1"
    COLLECTION_NUMBER = 01
    FILE_DATE = 2017-04-04T07:56:22Z
    STATION_ID = "LGN"
    PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.7.0"
  END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
  GROUP = PRODUCT_METADATA
    DATA_TYPE = "L1TP"
    COLLECTION_CATEGORY = "T1"
    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 = 2015-09-13
    SCENE_CENTER_TIME = "02:29:53.8901450Z"
    CORNER_UL_LAT_PRODUCT = -7.62705
    CORNER_UL_LON_PRODUCT = 113.32058
    CORNER_UR_LAT_PRODUCT = -7.63968
    CORNER_UR_LON_PRODUCT = 115.37999
    CORNER_LL_LAT_PRODUCT = -9.71485
    CORNER_LL_LON_PRODUCT = 113.30018
    CORNER_LR_LAT_PRODUCT = -9.73099
    CORNER_LR_LON_PRODUCT = 115.37099
    CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 93900.000
    CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -844800.000
    CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 321300.000
    CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -844800.000
    CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 93900.000
    CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -1076100.000
    CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 321300.000
    CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -1076100.000
    PANCHROMATIC_LINES = 15421
    PANCHROMATIC_SAMPLES = 15161
    REFLECTIVE_LINES = 7711
    REFLECTIVE_SAMPLES = 7581
    THERMAL_LINES = 7711
    THERMAL_SAMPLES = 7581
```

```
FILE_NAME_BAND_1 =
"LC08_L1TP_117066_20150913_20170404_01_T1_B1.TIF"
FILE_NAME_BAND_2 =
"LC08_L1TP_117066_20150913_20170404_01_T1_B2.TIF"
FILE_NAME_BAND_3 =
"LC08_L1TP_117066_20150913_20170404_01_T1_B3.TIF"
FILE_NAME_BAND_4 =
"LC08_L1TP_117066_20150913_20170404_01_T1_B4.TIF"
FILE_NAME_BAND_5 =
"LC08_L1TP_117066_20150913_20170404_01_T1_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6 =
"LC08_L1TP_117066_20150913_20170404_01_T1_B6.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 =
"LC08_L1TP_117066_20150913_20170404_01_T1_B7.TIF"
FILE_NAME_BAND_8 =
"LC08_L1TP_117066_20150913_20170404_01_T1_B8.TIF"
FILE_NAME_BAND_9 =
"LC08_L1TP_117066_20150913_20170404_01_T1_B9.TIF"
FILE_NAME_BAND_10 =
"LC08_L1TP_117066_20150913_20170404_01_T1_B10.TIF"
FILE_NAME_BAND_11 =
"LC08_L1TP_117066_20150913_20170404_01_T1_B11.TIF"
FILE_NAME_BAND_QUALITY =
"LC08_L1TP_117066_20150913_20170404_01_T1_BQA.TIF"
ANGLE_COEFFICIENT_FILE_NAME =
"LC08_L1TP_117066_20150913_20170404_01_T1_ANG.txt"
METADATA_FILE_NAME =
"LC08_L1TP_117066_20150913_20170404_01_T1_MTL.txt"
CPF_NAME = "LC08CPF_20150701_20150930_01.01"
BPF_NAME_OLI = "LO8BPF20150913020609_20150913024824.02"
BPF_NAME_TIRS = "LT8BPF20150913020215_20150913024933.02"
RLUT_FILE_NAME = "LC08RLUT_20150303_20431231_01_12.h5"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 3.90
CLOUD_COVER_LAND = 9.29
IMAGE_QUALITY_OLI = 9
IMAGE_QUALITY_TIRS = 9
TIRS_SSM_MODEL = "ACTUAL"
TIRS_SSM_POSITION_STATUS = "NOMINAL"
TIRS_STRAY_LIGHT_CORRECTION_SOURCE = "TIRS"
ROLL_ANGLE = -0.001
SUN_AZIMUTH = 66.11159673
SUN_ELEVATION = 60.06073262
EARTH_SUN_DISTANCE = 1.0063674
SATURATION_BAND_1 = "N"
SATURATION_BAND_2 = "Y"
SATURATION_BAND_3 = "Y"
SATURATION_BAND_4 = "Y"
SATURATION_BAND_5 = "Y"
SATURATION_BAND_6 = "Y"
```

```
SATURATION_BAND_7 = "Y"
SATURATION_BAND_8 = "N"
SATURATION_BAND_9 = "N"
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 4
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 144
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 7.307
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 5.333
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 4.995
TRUNCATION_OLI = "UPPER"
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 750.47510
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -61.97448
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 768.49567
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -63.46262
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 708.16217
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -58.48026
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 597.16223
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -49.31385
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 365.43350
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -30.17762
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 90.87999
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.50490
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 30.63142
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.52955
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 675.82330
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -55.80971
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 142.81970
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -11.79410
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 = 1.2397E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.2695E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.1698E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.8647E-03
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.0367E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5013E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.0601E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1164E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.3593E-03
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -61.98688
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -63.47532
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -58.49196
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -49.32372
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -30.18366
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.50640
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.53006
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -55.82087
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -11.79646
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
  K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.0789
  K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.8883
  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
```

### 3.3 Metadata Citra Landsat 18 September 2017 (<https://usgs.gov/>)

```
GROUP = L1_METADATA_FILE
  GROUP = METADATA_FILE_INFO
    ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
    REQUEST_ID = "0701709262859_00058"
    LANDSAT_SCENE_ID = "LC81170662017261LGN00"
    LANDSAT_PRODUCT_ID =
"LC08_L1TP_117066_20170918_20170929_01_T1"
    COLLECTION_NUMBER = 01
    FILE_DATE = 2017-09-29T13:48:25Z
    STATION_ID = "LGN"
    PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.7.0"
  END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
  GROUP = PRODUCT_METADATA
    DATA_TYPE = "L1TP"
    COLLECTION_CATEGORY = "T1"
    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 = 2017-09-18
    SCENE_CENTER_TIME = "02:30:07.2513080Z"
    CORNER_UL_LAT_PRODUCT = -7.62712
    CORNER_UL_LON_PRODUCT = 113.32873
    CORNER_UR_LAT_PRODUCT = -7.63971
    CORNER_UR_LON_PRODUCT = 115.38815
    CORNER_LL_LAT_PRODUCT = -9.71493
    CORNER_LL_LON_PRODUCT = 113.30837
    CORNER_LR_LAT_PRODUCT = -9.73103
    CORNER_LR_LON_PRODUCT = 115.37919
    CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 94800.000
    CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -844800.000
    CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 322200.000
    CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -844800.000
    CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 94800.000
    CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -1076100.000
    CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 322200.000
    CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -1076100.000
    PANCHROMATIC_LINES = 15421
    PANCHROMATIC_SAMPLES = 15161
    REFLECTIVE_LINES = 7711
    REFLECTIVE_SAMPLES = 7581
    THERMAL_LINES = 7711
    THERMAL_SAMPLES = 7581
```

```
FILE_NAME_BAND_1 =
"LC08_L1TP_117066_20170918_20170929_01_T1_B1.TIF"
FILE_NAME_BAND_2 =
"LC08_L1TP_117066_20170918_20170929_01_T1_B2.TIF"
FILE_NAME_BAND_3 =
"LC08_L1TP_117066_20170918_20170929_01_T1_B3.TIF"
FILE_NAME_BAND_4 =
"LC08_L1TP_117066_20170918_20170929_01_T1_B4.TIF"
FILE_NAME_BAND_5 =
"LC08_L1TP_117066_20170918_20170929_01_T1_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6 =
"LC08_L1TP_117066_20170918_20170929_01_T1_B6.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 =
"LC08_L1TP_117066_20170918_20170929_01_T1_B7.TIF"
FILE_NAME_BAND_8 =
"LC08_L1TP_117066_20170918_20170929_01_T1_B8.TIF"
FILE_NAME_BAND_9 =
"LC08_L1TP_117066_20170918_20170929_01_T1_B9.TIF"
FILE_NAME_BAND_10 =
"LC08_L1TP_117066_20170918_20170929_01_T1_B10.TIF"
FILE_NAME_BAND_11 =
"LC08_L1TP_117066_20170918_20170929_01_T1_B11.TIF"
FILE_NAME_BAND_QUALITY =
"LC08_L1TP_117066_20170918_20170929_01_T1_BQA.TIF"
ANGLE_COEFFICIENT_FILE_NAME =
"LC08_L1TP_117066_20170918_20170929_01_T1_ANG.txt"
METADATA_FILE_NAME =
"LC08_L1TP_117066_20170918_20170929_01_T1_MTL.txt"
CPF_NAME = "LC08CPF_20170701_20170930_01.02"
BPF_NAME_OLI = "LO8BPF20170917215334_20170918024837.01"
BPF_NAME_TIRS = "LT8BPF20170906225803_20170920110733.01"
RLUT_FILE_NAME = "LC08RLUT_20150303_20431231_01_12.h5"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = 3.77
CLOUD_COVER_LAND = 9.51
IMAGE_QUALITY_OLI = 9
IMAGE_QUALITY_TIRS = 9
TIRS_SSM_MODEL = "FINAL"
TIRS_SSM_POSITION_STATUS = "ESTIMATED"
TIRS_STRAY_LIGHT_CORRECTION_SOURCE = "TIRS"
ROLL_ANGLE = -0.001
SUN_AZIMUTH = 69.63954148
SUN_ELEVATION = 61.41610582
EARTH_SUN_DISTANCE = 1.0048657
SATURATION_BAND_1 = "N"
SATURATION_BAND_2 = "N"
SATURATION_BAND_3 = "N"
SATURATION_BAND_4 = "N"
SATURATION_BAND_5 = "N"
SATURATION_BAND_6 = "Y"
```

```
SATURATION_BAND_7 = "Y"
SATURATION_BAND_8 = "N"
SATURATION_BAND_9 = "N"
GROUND_CONTROL_POINTS_VERSION = 4
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 143
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 7.922
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 6.105
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 5.048
TRUNCATION_OLI = "UPPER"
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 752.71979
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -62.15985
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 770.79425
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -63.65244
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 710.28033
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -58.65518
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 598.94836
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -49.46135
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 366.52655
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -30.26788
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 91.15182
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.52735
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 30.72304
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.53712
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 677.84473
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -55.97664
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 143.24687
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -11.82937
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 = 1.2434E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.2733E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.1733E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.8942E-03
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.0548E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5058E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.0753E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1198E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.3663E-03
RADIANCE_MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
RADIANCE_MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -62.17228
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -63.66517
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -58.66691
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -49.47125
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -30.27394
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.52885
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.53763
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -55.98784
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -11.83174
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
  K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.0789
  K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.8883
  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
```

#### 4.1 Menentukan Suhu Permukaan Suatu Wilayah Berdasarkan Ketinggian

Ketinggian suatu tempat yang ada di permukaan bumi berpengaruh terhadap suhu permukaan yang dimiliki, dimana semakin tinggi tempat di permukaan bumi, semakin rendah suhunya. Oleh karena itu, suhu permukaan pada ketinggian yang ditunjukkan oleh Gambar 4.1 dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut ini :

$$T = 26,3^{\circ}\text{C} - \frac{(0,61^{\circ}\text{C} \cdot h)}{100}$$

- Daerah yang disimbolkan dengan warna kuning (683-952 mdpl)

$$T = 26,3^{\circ}\text{C} - \frac{(0,61^{\circ}\text{C} \cdot 683 \text{ m})}{100 \text{ m}} = 26,3^{\circ}\text{C} - 4,2^{\circ}\text{C} = 22,1^{\circ}\text{C}$$

- Daerah yang disimbolkan dengan warna merah (953-1261 mdpl)

$$T = 26,3^{\circ}\text{C} - \frac{(0,61^{\circ}\text{C} \cdot 953 \text{ m})}{100 \text{ m}} = 26,3^{\circ}\text{C} - 5,8^{\circ}\text{C} = 20,5^{\circ}\text{C}$$

- Daerah yang disimbolkan dengan warna coklat tua (1262-1583 mdpl)

$$T = 26,3^{\circ}\text{C} - \frac{(0,61^{\circ}\text{C} \cdot 1262 \text{ m})}{100 \text{ m}} = 26,3^{\circ}\text{C} - 7,7^{\circ}\text{C} = 18,6^{\circ}\text{C}$$

- Daerah yang disimbolkan dengan warna coklat muda (1584-1944 mdpl)

$$T = 26,3^{\circ}\text{C} - \frac{(0,61^{\circ}\text{C} \cdot 1584 \text{ m})}{100 \text{ m}} = 26,3^{\circ}\text{C} - 9,7^{\circ}\text{C} = 16,6^{\circ}\text{C}$$

- Daerah yang disimbolkan dengan warna abu-abu (1945-2395 mdpl)

$$T = 26,3^{\circ}\text{C} - \frac{(0,61^{\circ}\text{C} \cdot 1945 \text{ m})}{100 \text{ m}} = 26,3^{\circ}\text{C} - 11,9^{\circ}\text{C} = 14,4^{\circ}\text{C}$$

- Daerah yang disimbolkan dengan warna putih (2396-3271 mdpl)

$$T = 26,3^{\circ}\text{C} - \frac{(0,61^{\circ}\text{C} \cdot 2396 \text{ m})}{100 \text{ m}} = 26,3^{\circ}\text{C} - 14,6^{\circ}\text{C} = 11,7^{\circ}\text{C}$$

### 4.2 Peta Monitoring Hari Tanpa Hujan Berturut-Turut

