

**STUDI SIFAT TERMAL BATUAN DAERAH LAPANGAN
PANAS BUMI WAY RATAI BERDASARKAN PENGUKURAN
METODE KONDUKTIVITAS TERMAL**

(Skripsi)

Oleh

RYAN DONOVAN



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2018**

ABSTRACT

THERMAL PROPERTIES OF ROCK RESEARCH IN WAY RATAI GEOTHERMAL FIELD AREA BASED ON THERMAL CONDUCTIVITY MEASUREMENT METHOD

By

RYAN DONOVAN

Research on Way Ratai geothermal field has been done by measuring the thermal conductivity method. The thermal conductivity data is used to generate a map of the dispersion of heat conductively conductive rocks in the geothermal system. The result of measurement by thermal conductivity method in Way Ratai geothermal field is data of k (conductivity), Rt (thermal resistivity), and T (temperature). The value of the measured conductivity data in the geothermal field has range between 0.056-0.664 W/mK, the measured thermal resistivity value has range between 1.344-17.527mK/W, and the measured temperature value is between 22.68-52.59°C. The difference value of rock's thermal conductivity is influenced by several factors, which is the existing geological structures in the field such as normal faults and lineaments, the presence of alteration, also the manifestation zone of hot water or hot vapor that caused from fumaroles.

Keywords: Conductivity, Thermal Resistivity, Temperature, Geothermal.

ABSTRAK

STUDI SIFAT TERMAL BATUAN DAERAH LAPANGAN PANAS BUMI WAY RATAI BERDASARKAN PENGUKURAN METODE KONDUKTIVITAS TERMAL

Oleh

RYAN DONOVAN

Telah dilakukan penelitian pada daerah lapangan panas bumi Way Ratai dengan pengukuran metode konduktivitas termal. Data konduktivitas termal digunakan untuk memetakan persebaran batuan menghantarkan panas secara konduksi dalam sistem panas bumi. Hasil data pengukuran dengan metode konduktivitas termal pada daerah lapangan panas bumi Way Ratai berupa data k (konduktivitas), Rt (resistivitas termal), dan T (suhu). Nilai data konduktivitas yang terukur di lapangan panas bumi tersebut berkisar 0.056–0.664W/mK, nilai data resistivitas termal yang terukur berkisar 1.344–17.527mK/W, dan nilai suhu yang terukur berkisar 22.68–52.59°C. Tinggi rendahnya nilai konduktivitas termal batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu struktur geologi yang ada di lapangan seperti sesar normal dan kelurusan-kelurusan (*lineaments*), keberadaan alterasi, serta manifestasi air panas atau tempat keluarnya uap panas dari fumarol.

Kata kunci: Konduktivitas, Panas Bumi, Resistivitas Termal, Suhu.

**STUDI SIFAT TERMAL BATUAN DAERAH LAPANGAN
PANAS BUMI WAY RATAI BERDASARKAN PENGUKURAN
METODE KONDUKTIVITAS TERMAL**

Oleh

RYAN DONOVAN

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik
Universitas Lampung**



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2018**

Judul Skripsi : **STUDI SIFAT TERMAL BATUAN DAERAH
LAPANGAN PANAS BUMI WAY RATAI
BERDASARKAN PENGUKURAN METODE
KONDUKTIVITAS TERMAL**

Nama Mahasiswa : **Ryan Donovan**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1315051051

Jurusan : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik



Pembimbing I

Karyanto, S.Si., M.T.
NIP 19691230 199802 1 001

Pembimbing II

Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.
NIP 19750911 200012 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

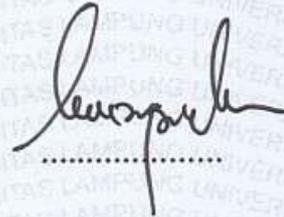
Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.
NIP 19720928 199903 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Karyanto, S.Si., M.T.



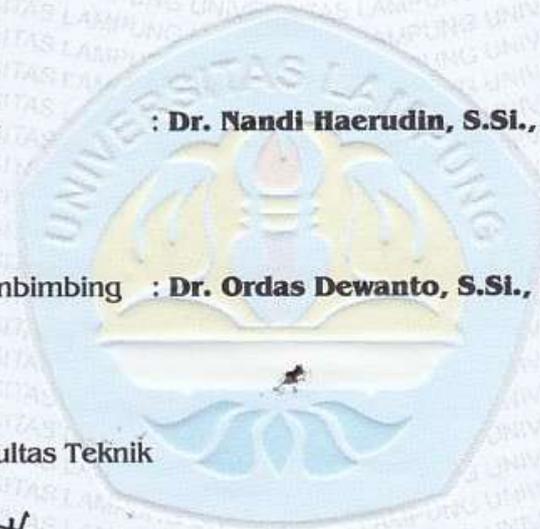
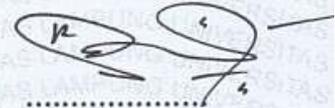
Sekretaris

: Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 24 Januari 2018

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 01 Februari 2018

Penulis,



Ryan Donovan

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 13 April 1995. Penulis merupakan anak ketiga dari pasangan Bapak Jesse Sihombing dan Ibu Mernawati Sinaga. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Regency, Jakarta pada tahun 2001 dan melanjutkan ke jenjang Sekolah Dasar di SDS Tunas Kasih, Jakarta yang selesai pada tahun 2007. Selanjutnya, penulis menempuh pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 255 Jakarta hingga tahun 2010 dilanjutkan di SMA Negeri 44 Jakarta pada tahun 2013.

Selanjutnya, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Tes Tertulis). Pada tahun 2013, penulis terdaftar sebagai anggota Eksekutif Muda Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Teknik Universitas Lampung. Di tahun berikutnya, 2014, penulis bergabung menjadi *staff Fieldtrip* di *Society of Exploration Geophysicist* (SEG) SC UNILA dan anggota aktif Bidang Sains dan Teknologi Himpunan Mahasiswa TG Bhuwana Universitas Lampung. Pada tahun 2015, penulis bergabung menjadi *staff* Internal Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia (HMGI) Regional 1 Sumatera.

Pada bulan Januari-Maret 2016, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Kecubung Raya, Kecamatan Meraksa Aji, Kabupaten Tulang Bawang dan menjadi koordinator desa (kordes). Selanjutnya, di bulan Juli-Agustus 2016, penulis telah melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PT. Bukit Asam (PTBA), Sumatera Selatan divisi *Geology Department* dengan mengambil tema penelitian “Interpretasi Data *Logging* Untuk Mengetahui Litologi Bawah Permukaan di PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan”.

Penulis juga melakukan Tugas Akhir untuk penulisan skripsi di lapangan panas bumi Way Ratai, Lampung, dan dilanjutkan di Laboratorium Eksplorasi Teknik Geofisika Universitas Lampung hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjananya pada tanggal 24 Januari 2018 dengan skripsi yang berjudul **“Studi Sifat Termal Batuan Daerah Lapangan Panas Bumi Way Ratai Berdasarkan Pengukuran Metode Konduktivitas Termal”**.

PERSEMBAHAN

*Aku persembahkan skripsi ini kepada,
Ayahanda Jesse Sihombing
&
Ibunda Mernawati Sinaga*

*Abang dan Adikku Tersayang
(Rikho Paskah, Yoshua Kristianto, Glenn Arthur)*

Teknik Geofisika Universitas Lampung 2013

Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung

Almamater Tercinta Universitas Lampung

MOTTO

Saya datang, saya bimbingan, saya ujian, saya revisi, dan saya menang.

(Penulis)

Janganlah hendaknya kamu kuatir tentang apapun juga, tetapi nyatakanlah dalam segala hal keinginanmu kepada Allah dalam doa dan permohonan dengan ucapan syukur.

(Filipi 4:6)

Berbuat baik kepada sesama manusia merupakan kewajiban kita sebagai manusia tanpa memandang AGAMA, SUKU, DAN RAS.

(HOS Tjokroaminoto)

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan kasih karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Studi Sifat Termal Batuan Daerah Lapangan Panas Bumi Way Ratai Berdasarkan Pengukuran Metode Konduktivitas Termal”**. Adapun dalam pelaksanaan dan penulisan skripsi ini penulis menyadari bahwa selesainya proses ini tidak lepas dari bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan.

Atas segala kekurangan dan ketidaksempurnaan skripsi ini, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun ke arah perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan wawasan bagi para pembaca.

Penulis

Ryan Donovan

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan kasih karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Dalam pelaksanaan dan penyelesaian skripsi ini tentunya tidak lepas dari bimbingan dan dukungan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang bersangkutan, yaitu :

1. Ayah dan Ibu tercinta, Bapak **Jesse Sihombing** dan Ibu **Mernawati Sinaga** yang tak henti-hentinya mendidik, berkorban, berdoa, dan mendukung penulis dalam segala hal terutama dalam pendidikan. Terimakasih atas motivasi dan dorongannya selama ini, sehingga penulis, anakmu tercinta, berhasil menyelesaikan pendidikan program sarjana.
2. Kedua abangku tersayang, **Rikho Paskah Hamonangan Sihombing** dan **Yoshua Kristianto Sihombing**, dan adikku terkasih **Glenn Arthur Sena Sihombing** yang memberikan semangat kepada penulis.
3. Bapak **Karyanto, S.Si., M.T.**, selaku Pembimbing I penulis yang telah memberikan arahan, masukan, ilmu, dan motivasi bagi penulis.
4. Bapak **Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.**, selaku Pembimbing II yang telah memberikan arahan, masukan, ilmu dan motivasi bagi penulis.
5. Bapak **Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.**, selaku Penguji yang telah memberi masukan dan perbaikan sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.
6. Bapak **Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.**, selaku pembimbing akademik yang telah memberikan arahan, masukan, ilmu dan motivasi selama di dunia perkuliahan bagi penulis.

7. Seluruh Dosen dan Staff TU Jurusan Teknik Geofisika, Staff Dekanat Fakultas Teknik yang saya hormati, terimakasih atas ilmu dan bantuannya yang diberikan kepada penulis.
8. Keluargaku dan rekan seperjuanganku Teknik Geofisika angkatan 2013 tercinta, yang tak pernah lelah saling menyemangati, menghibur dan memotivasi selama menjalankan perkuliahan. Teruntuk Haidar, Bunga, Edy, Putu, Aloy, Egi, Dwi, Nico, Wuri, Kholil, Abdi, Feni, Reza, Shiska, Nafis, Atikah, Ulfa, Farkhan, Suryadi, Kurnia, Azhari, Aji, Widia, Yeni, Noris, Fajri, Udin, Alicya, Dian, Endah, Herlin, Hanun, Eci, Syabana, Ravide, Winda, Rafi, Cahaya, Imbron, Deswita, Dody, Yasrifa, Pipit, Priesta, Ririn, Helton, Aristo dan Agung terimakasih kebersamaannya.
9. Teman-teman yang telah membantu dalam penelitian, Kak Doni, Aloy, Edy, Kholil, Fajri, Aji, Imbron, Suryadi, Ravide, Farkhan, Abdi, Martin, Aziz.
10. Teman-teman KKN Kecubung Raya, Aldi, Rio, Dila, Dita, dan Delima yang tak pernah henti memberikan semangat kepada penulis.
11. BTB *squad*, Nando, Arnold, Andre, Anggun, Desmonda, Tasya, dan Vian yang selalu memotivasi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
12. Semua pihak yang telah membantu terlaksananya Tugas Akhir ini.

Semoga dengan adanya skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Penulis

Ryan Donovan

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Manfaat.....	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Letak dan Lokasi Penelitian.....	3

2.2 Geologi Regional.....	3
2.3 Geologi Lokal.....	6
2.4 Struktur Sesar.....	19
2.5 Geomorfologi.....	21

III. TEORI DASAR

3.1 Sistem Panas Bumi.....	22
3.2 Sifat Batuan Panas Bumi.....	24
3.3 Konduktivitas Termal.....	28
3.4 Transfer Panas.....	31
3.5 Konduksi dan Konveksi Batuan.....	32
3.6 Gradien Panas Bumi.....	33

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	34
4.2 Alat dan Bahan.....	34
4.3 Prosedur Penelitian	
4.3.1 Akuisisi Data.....	35
4.3.2 Pengolahan Data.....	36
4.3.3 Interpretasi Data.....	37
4.4 Diagram Alir.....	39

V. HASIL PENGAMATAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengamatan.....	40
5.2 Pembahasan	
5.2.1 Peta Konduktivitas – Geologi Lokal.....	41
5.2.2 Peta Konduktivitas - Topografi.....	44
5.2.3 Peta Suhu.....	46
5.2.4 Peta Resistivitas.....	48

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan.....	51
6.2 Saran.....	52

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Letak dan lokasi penelitian.....	4
Gambar 2. Peta geologi regional.....	5
Gambar 3. Peta geologi lokal.....	7
Gambar 4. Stratigrafi lokal.....	8
Gambar 5. Sistem panas bumi.....	22
Gambar 6. Ilustrasi porositas batuan.....	26
Gambar 7. Hubungan porositas dan permeabilitas batuan.....	27
Gambar 8. Arah aliran konduksi panas.....	30
Gambar 9. Desain survey penelitian.....	34
Gambar 10. Diagram alir penelitian.....	38
Gambar 11. Peta konduktivitas – geologi lokal.....	42
Gambar 12. Peta konduktivitas – topografi.....	45
Gambar 13. Peta suhu.....	47
Gambar 14. Peta resistivitas.....	49

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Konduktivitas termal beberapa jenis batuan.....	29

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batuan memiliki berbagai sifat fisika, salah satunya adalah sifat termal. Sifat termal meliputi konduksi, konveksi, dan lain-lain. Pada penelitian ini sifat termal yang digunakan adalah konduktivitas. Konduktivitas atau keterhantaran termal (k) adalah suatu besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuannya untuk menghantarkan panas. Setiap batuan memiliki tingkat konduktivitas yang berbeda-beda tergantung dari struktur batuan.

Lokasi daerah penelitian berada di daerah panas bumi Way Ratai, Kecamatan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung. Menurut Karyanto, (2003) bahwa pada daerah panas bumi ini terdapat sumur-sumur air panas yang terdapat di permukaan mempunyai suhu yang relatif tinggi (80°C - 90°C) yang berada di beberapa tempat. Sumur tersebut merupakan manifestasi permukaan dari suatu sistem panas bumi yang sampai saat ini belum banyak dieksplorasi oleh para peneliti.

Data konduktivitas, resistivitas, dan suhu berperan penting dalam suatu sistem panas bumi. Pada sistem panas bumi, konduktivitas atau konduksi digunakan untuk menghantarkan panas yang melewati batuan dari batuan sumber

panas melalui lapisan batuan *impermeable* hingga ke permukaan. Resistivitas sendiri menjadi pembanding dari data konduktivitas yang dihasilkan.

Menurut Karyanto dan Haerudin (2013), panas merupakan parameter yang dominan pada daerah panas bumi, sehingga perlu dilakukan penelitian di daerah panas bumi Way Ratai. Penelitian metode konduktivitas termal digunakan untuk melihat kemampuan suatu batuan untuk menghantarkan panas dengan cara konduksi.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memetakan persebaran nilai konduktivitas termal batuan
2. Menganalisis sebaran nilai konduktivitas termal batuan di lapangan panas bumi Way Ratai.
3. Menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi nilai dari konduktivitas termal batuan.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah memetakan sebaran nilai konduktivitas termal dari data akuisisi lapangan panas bumi Way Ratai yang didukung dengan data suhu dan resistivitasnya.

1.4 Manfaat

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat mengerti dan mengetahui tentang kemampuan suatu batuan untuk menghantarkan panas dengan baik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

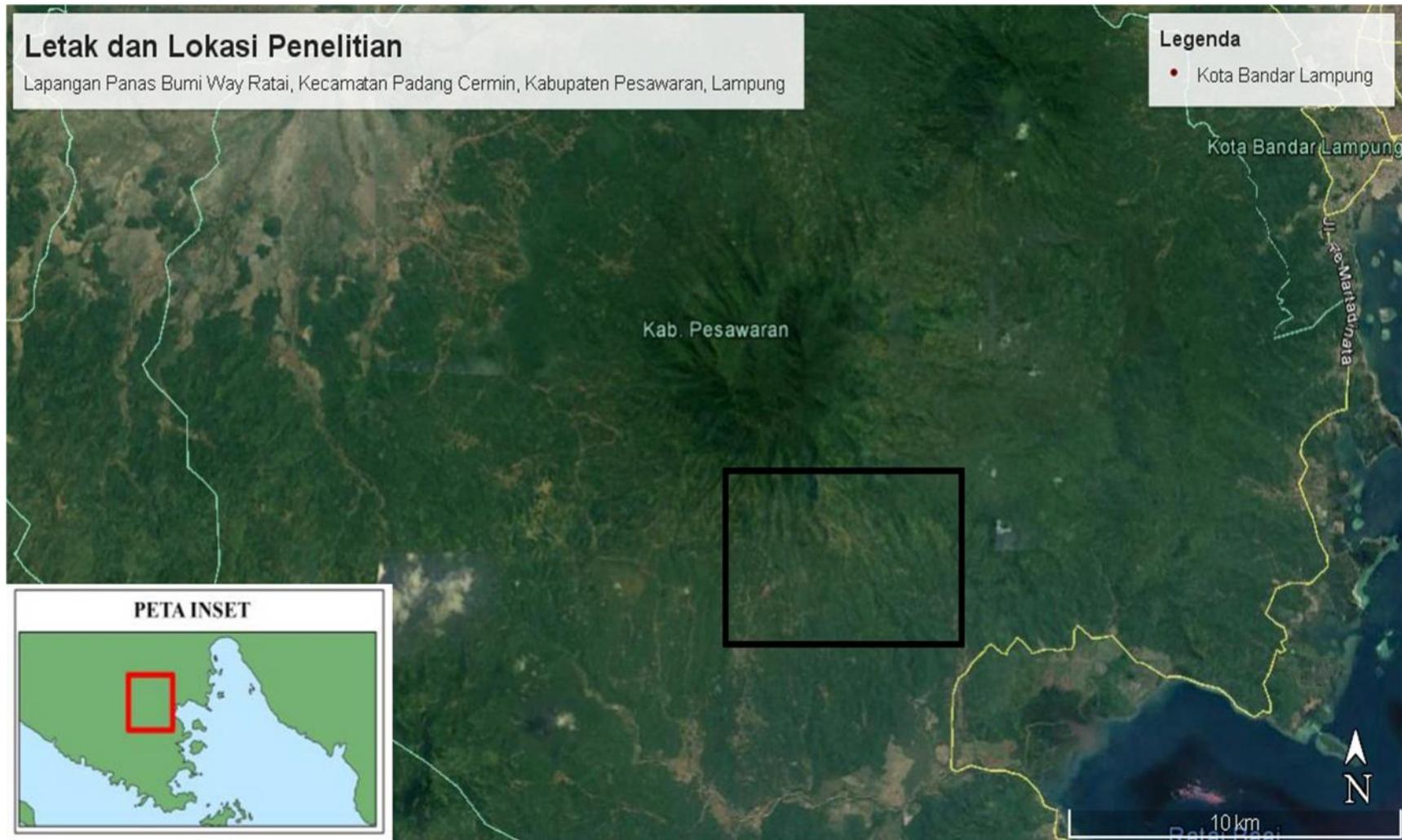
2.1 Letak dan Lokasi Penelitian

Letak dan lokasi penelitian terletak pada lapangan panas bumi Way Ratai, Kecamatan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung. Secara geografis, Kabupaten Pesawaran terletak pada koordinat $5,12^{\circ}$ - $5,84^{\circ}$ LS dan $104,92^{\circ}$ - $105,34^{\circ}$ BT. Berikut ini akan ditunjukkan pada **Gambar 1** yang merupakan letak dan lokasi penelitian yang dilihat dari *google earth*.

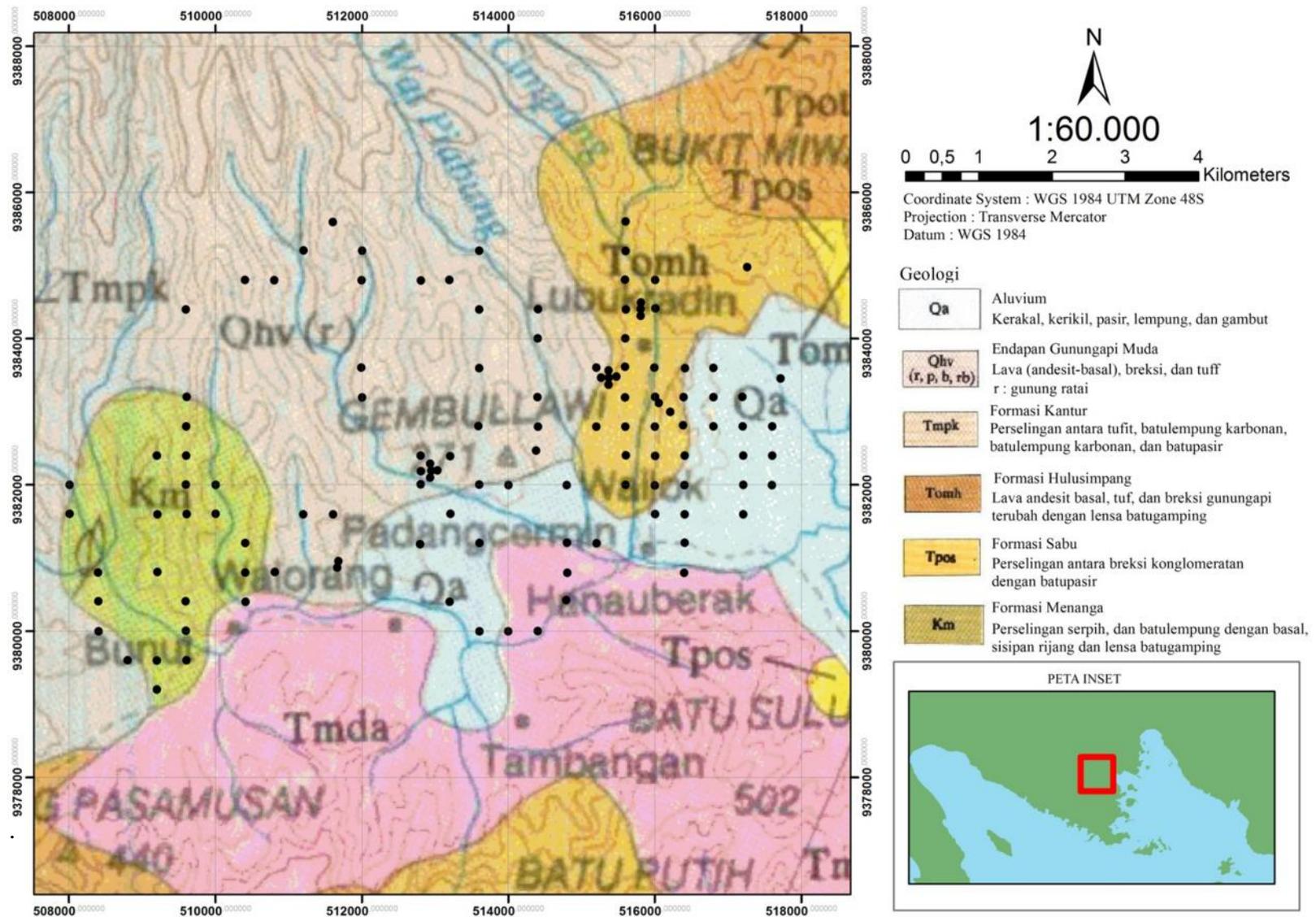
2.2 Geologi Regional

Secara umum daerah Way Ratai, Kecamatan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung berada pada geologi regional Tanjung Karang. Berikut ini akan ditunjukkan pada **Gambar 2** yang merupakan peta geologi regional daerah panas bumi Way Ratai, Provinsi Lampung.

Pada peta geologi daerah penelitian batuan didominasi oleh batuan yang merupakan produk dari gunung api muda (Qhv) yang terdiri dari batuan lava (andesit-basal), breksi, dan tuff, terdapat juga aluvium (Qa) yang terdiri atas batuan jenis batuan kerikil, pasir, lempung, dan gambut yang berumur Holosen, formasi Hulusimpang (Tomh) yang terdiri atas lava andesit basal, tuf, dan breksi gunungapi terubah dengan batugamping yang berumur Oligosen – Miosen awal,



Gambar 1. Letak dan lokasi penelitian.



Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian (modifikasi dari Gafoer dkk, 1993).

Formasi Sabu (Tpos) yang terdiri atas perselingan antara breksi konglomerat dengan batupasir yang berumur Paleosen - Oligosen, Formasi Kantur (Tmk) yang terdiri atas perselingan antara tufit, batulempung karbonan, dan batupasir yang berumur Miosen akhir - Pliosen, dan Formasi Menanga (Km) yang terdiri atas perselingan serpih, dan batulempung dengan basal, sisipan rijang, dan batugamping yang berumur Kapur awal.

2.3 Geologi Lokal

Berikut ini akan ditunjukkan pada **Gambar 3** dan **Gambar 4** yang merupakan peta geologi lokal dan kolom stratigrafi lokal daerah panas bumi Way Ratai, Provinsi Lampung.

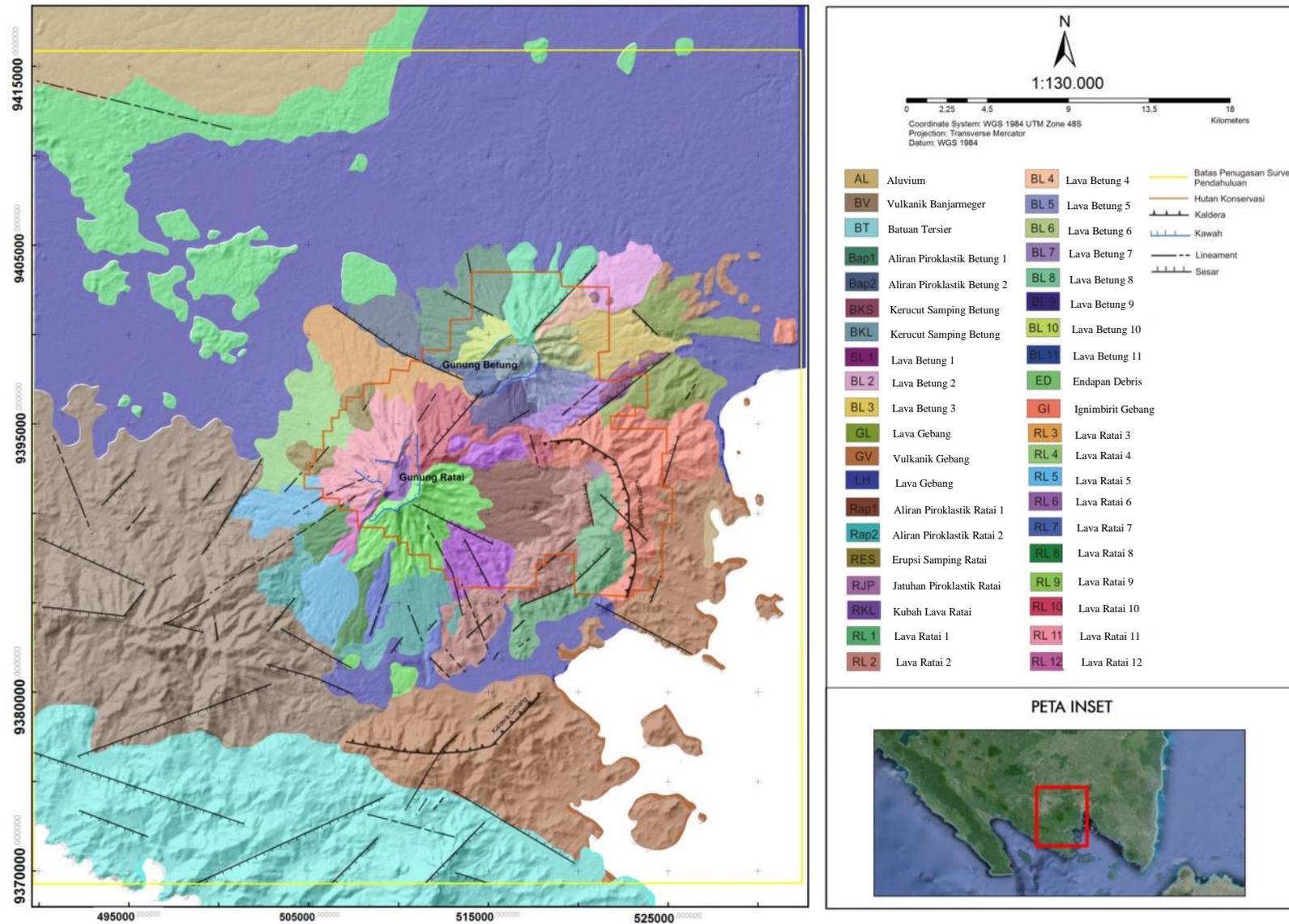
Adapun stratigrafi lengkap lapangan panas bumi Way Ratai dikelompokkan menjadi empat kelompok, yaitu:

1. Batuan Tersier

Mengacu kepada stratigrafi regional, bahwa batuan Tersier di sekitar daerah panas bumi Way Ratai dikenal sebagai batuan sedimen dari Formasi Ratai (Sutawidjaja, I. S., 1982), disusun oleh konglomerat, batupasir, breksi lahar dan batulempung yang kadangkala berasosiasi dengan tufandesit. Sedimen Tersier ini tersebar di sisi selatan-baratdaya (Gafuer S, dkk, 1993).

2. Batuan Vulkanik Pra Erupsi Gunung Betung dan Ratai

Kelompok batuan vulkanik dari yang lebih tua ke muda adalah batuan Vulkanik Gebang (GV), batuan Ignimbirit Gebang (GI), Aliran Lava Gebang (GL), Endapan Debris (ED), batuan Banjarmerger vulkanik (BV). Batuan vulkanik pra erupsi ini secara stratigrafi terletak diatas batuan sedimen Tersier



Gambar 3. Peta geologi lokal (modifikasi dari Gafoer dkk, 1993).

- Batuan Gebang Vulkanik (GV) tersingkap baik (tebal singkapan > 15 m) dan tersebar di bagian selatan & baratdaya daerah penyelidikan. Menurut analisis mikroskopis sayatan tipis dari batuan, bahwa batuan vulkanik Gebang ini berupa tufa gelas hingga tufa kristal.
- Batuan Ignimbirit Gebang (GI) tersingkap baik pada dinding timur Kaldera Gebang. Walaupun sebarannya tidak menerus dari dinding Kaldera Gebang ke arah timur, tetapi singkapannya masih muncul cukup tebal (>10 m) di sisi timur daerah penyelidikan. Dilihat dari kehadirannya di bagian atas dinding Kaldera Gebang, maka sangat mungkin bahwa erupsi eksplosif Ignimbirit Gebang (GI) ini merupakan fase awal deformasi pembentukan Kaldera Gebang.
- Batuan Aliran Lava Gebang (GL) tersebar cukup luas dan berasosiasi dengan sebaran batuan vulkanik tua dari satuan Vulkanik Gebang (GV) dan Ignimbirit Gebang (GI) di sebelah timurlaut dinding Kaldera Gebang. Batuan Aliran Lava Gebang ini berkomposisi andesitik berwarna abu-abu kekuningan – kehitaman hingga coklat (lapuk).
- Endapan longsoran vulkanik (*volcanic debris*) (ED) terutama tersebar di sebelah baratlaut dan sedikit lereng utara daerah penyelidikan. Menurut analisis mikroskopis sayatan tipis pada batuan ini, mengindikasikan endapan debris yang disusun oleh tufa kristal terubah dan sekis mika terubah.
- Batuan Banjarmasin Vulkanik (BV) tersebar luas di sebelah baratdaya & barat kedua gunungapi ini. Berdasarkan pengamatan singkapan, bahwa batuan BV ini berkomposisi andesit basaltik berwarna abu-abu kehitaman.

- Satuan batuan lain yang berumur lebih tua dari batuan Gunung Betung dan Ratai adalah Basal Lava (LB) dan kerucut sinder – aliran lava (KSL) yang tidak diketahui sumber erupsinya. Kerucut sinder aliran lava (KSL) ini diduga mengawali kegiatan vulkanisme Betung dan Ratai (PT Optima Nusantara Energi, 2009).

3. Batuan Vulkanik Erupsi Gunung Betung dan Ratai

Batuan vulkanik Kuartar di erupsikan menjadi dua sumber erupsi, yaitu erupsi Gunung Betung dan Ratai di dasar Kaldera Gebang. Adapun stratigrafi dari kedua sumber erupsi gunung ini adalah sebagai berikut.

❖ Satuan Lava Betung 1 (BL 1)

Satuan BL 1 merupakan erupsi pusat yang mengawali aktivitas vulkanik Post Kaldera di Gunung Betung. Bentuk persebaran dari satuan batuan ini memanjang dan mengisi lembah sempit di lereng timur Gunung Betung. Batuan ini berkomposisi andesitik dan berwarna abu-abu kehitaman (relatif segar).

❖ Satuan Lava Ratai 1 (RL 1)

Satuan RL 1 merupakan erupsi pusat yang mengisi lembah di dasar Kaldera Gebang, tepatnya di lereng timur–tenggara Gunung Ratai. Bentuk sebaran memanjang pada zona lembah yang mengikuti bentuk setengah lingkaran dari rim kaldera Gebang. Batuan ini berkomposisi andesitik dan berwarna abu-abu kecoklatan (lapuk).

❖ Satuan Lava Betung 2 (BL 2)

Satuan BL 2 tersingkap di sebelah timurlaut kaki Gunung Betung, berupa bongkah-bongkah lava andesit yang berdiameter sampai 2 m. Batuan ini berkomposisi andesit dan berwarna abu-abu cerah (relatif segar).

❖ Satuan Lava Ratai 2 (RL 2)

Satuan RL 2 tersebar memanjang, mengikuti lembah di dasar Kaldera Gebang, mulai dari sebelah timur, tenggara, hingga selatan kaki Gunung Ratai. Batuan ini berkomposisi andesitik dan berwarna abu-abu keputih-putihan kecoklatan.

❖ Satuan Lava Betung 3 (BL 3)

Satuan BL 3 tersebar cukup luas di lereng dan kaki timur Gunung Betung berupa massif lava andesitik yang kompak dan keras. Batuan ini berkomposisi andesit dan berwarna abu-abu cerah sampai abu-abu kehitaman.

❖ Satuan Lava Ratai 3 (RL 3)

Satuan RL 3 tersebar di kaki utara – barat laut Gunung Ratai. Singkapan batuan RL 3 mengalami pelapukan kuat menjadi tubuh tanah berwarna coklat muda. Batuan ini berkomposisi andesitik dan berwarna abu-abu keputih-putihan kehitaman.

❖ Satuan Jatuhan Piroklastika Ratai (RJP)

Singkapan dan sebaran satuan (RJP) ini sangat terbatas di kaki timur Gunung Ratai dengan ketebalan tersingkap minimum 1,5 m. Di beberapa tempat, jatuhan piroklastika ini diapit oleh endapan aliran piroklastika dan mengalami pelapukan menjadi tubuh tanah berwarna coklat muda. Secara megaskopis, jatuhan piroklastika ini berwarna abu-abu kecoklatan (lapuk), tekstur klastik

halus–sedang, terdiri dari abu vulkanik bersama dengan beberapa fragmen litik andesit dan batu apung.

❖ Satuan Aliran Piroklastika Betung 1 (Bap 1)

Satuan Bap 1 tersebar cukup luas di lereng dan kaki barat laut Gunung Betung. Singkapan endapan aliran piroklastika ini mempunyai ketebalan minimum 3 m dan telah mengalami pelapukan kuat menjadi tubuh tanah berwarna coklat muda. Secara megaskopis, aliran piroklastika ini berwarna abu-abu hingga coklat muda (lapuk), bertekstur klastik halus–sedang, terdiri dari abu vulkanik bersama dengan fragmen-fragmen batu apung dan litik andesit.

❖ Satuan Aliran Piroklastika Ratai 1 (Rap 1)

Satuan Rap 1 tersebar cukup luas di lereng dan kaki timur Gunung Ratai. Ketebalan tersingkap dari aliran piroklastika ini adalah minimum 2 m, ditindih oleh beberapa lapisan endapan jatuhnya piroklastika. Secara megaskopis, aliran piroklastika ini berwarna abu-abu keputih-putihan hingga kecoklatan (lapuk), bertekstur klastik halus–kasar, terdiri dari abu vulkanik bersama dengan beberapa fragmen litik andesit dan batu apung.

❖ Satuan Aliran Piroklastika Betung 2 (Bap 2)

Satuan Bap 2 tersebar cukup luas di kaki barat laut Gunung Betung. Singkapan endapan aliran piroklastika ini relatif cukup segar dan ketebalan minimum 5 m. Secara megaskopis, aliran piroklastika ini berwarna abu keputih-putihan, bertekstur klastik kasar, terdiri dari abu vulkanik dengan komponen (fragmen) batu apung dan litik andesit yang melimpah.

❖ Satuan Aliran Piroklastika Ratai 2 (Rap 2)

Satuan Rap 2 tersebar luas di kaki selatan dan baratdaya Gunung Ratai. Ketebalan tersingkap hingga 20 m dan telah terubah hidrotermal berwarna keputih-putihan. Dilihat dari ketebalannya yang besar dan sebarannya cukup luas, tampaknya erupsi ini disertai dengan peningkatan aktivitas tektonik penyebab struktur sesar normal di daerah ini. Secara megaskopis, aliran piroklastika ini berwarna abu-abu keputih-putihan, umumnya bertekstur klastik halus hingga agak kasar, terdiri dari material vulkanik dengan beberapa fragmen batuan terubah, fragmen batu apung dan fragmen litik andesit.

❖ Satuan Lava Betung 4 (BL 4)

Satuan BL 4 tersebar di lereng tenggara Gunung Betung. Singkapan batuan ini tampak mengalami deformasi akibat pengaruh sesar normal berarah timurlaut – baratdaya dan melapuk kuat di bagian permukaan menjadi tubuh tanah berwarna coklat. Batuan ini berkomposisi andesitik dan berwarna abu-abu kecoklatan.

❖ Satuan Lava Ratai 4 (RL 4)

Satuan RL 4 tersebar cukup luas terutama di lereng-kaki baratlaut Gunung Ratai. Batuan ini tersingkap berupa massif lava yang relatif segar dengan bongkah-bongkah lava di sekitarnya. Batuan ini berkomposisi andesitik dan berwarna abu-abu kecoklatan.

❖ Satuan Lava Betung 5 (BL 5)

Satuan BL 5 tersebar di lereng tenggara Gunung Betung. Berdasarkan morfostratigrafi, maka BL 5 diperkirakan berumur lebih muda dibanding BL 4. Batuan ini berkomposisi andesitik dan berwarna abu-abu kehitaman.

❖ Satuan Lava Ratai 5 (RL 5)

Singkapan batuan RL 5 tersebar luas di kaki baratdaya dan lereng barat Gunung Ratai. Singkapan di lereng barat Gunung Ratai memperlihatkan tubuh lava andesitik dengan bongkah-bongkahanya yang tersebar luas di sekitarnya. Bentuk morfologinya RL 5 ini menabrak morfologi Rap 2. Dengan demikian, berdasarkan korelasi morfostratigrafi maka satuan RL 5 diperkirakan berumur lebih muda dibanding dengan satuan Rap 2. Batuan ini berkomposisi andesitik dan berwarna abu-abu kehitaman

❖ Satuan Lava Betung 6 (BL 6)

Satuan BL 6 tersebar cukup luas, mulai dari kawah Betung hingga lereng timur Gunung Betung berupa tubuh lava dengan bongkah-bongkah lava yang tersebar cukup luas di sekitar singkapan. Secara morfologi aliran lava dari BL 6 ini memotong punggung aliran lava dari Betung lava-3 yang lebih tua. Batuan ini berkomposisi andesit dan berwarna abu-abu cerah (relatif segar).

❖ Satuan Lava Ratai 6 (RL 6)

Satuan RL 6 tersebar mengisi lembah sempit di sebelah utara dan selatan dari morfologi punggung Rap 1, pada lereng timur – timurlaut dan lereng tenggara Gunung Ratai. Batuan ini berkomposisi andesit dan berwarna abu-abu (relatif segar).

❖ Satuan Lava Betung 7 (BL 7)

Satuan BL 7 tersebar memanjang di lereng timurlaut Gunung Betung, yakni pada lembah sempit di bagian utara morfologi punggung dari BL 6. Batuan ini berkomposisi andesit dan berwarna abu-abu (relatif segar).

❖ Satuan Lava Ratai 7 (RL 7)

Satuan RL 7 ini terbatas mulai dari lereng hingga kaki barat dan baratlaut Gunung Ratai. Singkapan batuan tampak tidak begitu luas, umumnya berupa bongkah-bongkah lava berkomposisi andesit. Batuan ini berkomposisi andesit dan berwarna kehitaman – kecoklatan.

❖ Satuan Lava Betung 8 (BL 8)

Satuan BL 8 tersebar di lereng-kaki utara Gunung Betung. Batuan ini berkomposisi andesit dan berwarna abu-abu bintik putih.

❖ Satuan Lava Ratai 8 (RL 8)

Satuan RL 8 mengisi lembah di antara morfologi punggung dari satuan RL 5 pada lereng selatan dan baratdaya Gunung Ratai. Singkapan tubuh batuan tampak tidak begitu luas, tetapi bongkah-bongkah lava andesit berukuran maksimum 4 meter hadir cukup banyak di sekitar singkapan. Batuan ini berkomposisi andesit dan berwarna abu-abu keputih-putihan.

❖ Erupsi Samping Ratai (RES)

Satuan RES membentuk punggung memanjang di lereng selatan Gunung Ratai yang diperkirakan dirupsikan dari sesar normal berarah utara-timurlaut hingga selatan – baratdaya. Batuan ini berkomposisi andesit dan berwarna abu-abu kecoklatan.

❖ Satuan Lava Betung 9 (BL 9)

Satuan BL 9 tersebar di lereng selatan Gunung Betung. Penentuan satuan batuan ini didasarkan pada morfostratigrafi. Akses ke lokasi ini sangat sulit, karena daerah ini termasuk kawasan hutan konservasi. Dari bentuk sebarannya dipastikan bahwa aliran lava berkomposisi andesitik.

❖ Satuan Lava Ratai 9 (RL 9)

Satuan RL 9 tersebar mulai dari puncak hingga lereng timur-selatan Gunung Ratai. Seperti halnya satuan BL 9, ternyata satuan RL 9 ini termasuk kawasan hutan konservasi sehingga akses ke daerah ini sangat sulit. Posisi stratigrafinya didasarkan pada morfostratigrafi. Mengingat pelamparannya yang cukup luas, maka diperkirakan aliran lava ini berkomposisi andesit–basaltik.

❖ Satuan Kerucut Sinder Betung (BKS)

Satuan BKS tersebar berupa bukit-bukit kecil di kaki timur laut Gunung Betung. Penentuan posisi stratigrafi satuan batuan ini didasarkan pada morfostratigrafi. Satuan batuan BKS terdiri dari skoria dan lava, abu-abu kehitaman, pelapukan dipermukaannya berbongkah-bongkah dan menjadi tubuh tanah berwarna coklat kehitaman.

❖ Satuan Lava Ratai 10 (RL 10)

Mengingat satuan RL 10 terletak pada kawasan hutan konservasi dan aksesnya sangat sulit, maka penentuan jenis dan posisi satuan batuan ini didasarkan pada morfostratigrafi. Hasilnya bahwa satuan Ratai lava-10 (RL 10) tersebar luas dengan bentuk pipih – memanjang, mengisi lembah diantara morfologi punggung dari RL 6 dengan BL 9. Mengacu pada sebarannya yang luas, pipih, dan memanjang, maka hal ini sangat mungkin terjadi akibat aliran lava yang encer, paling tidak berkomposisi andesit–basaltik.

❖ Satuan Lava Betung 10 (BL 10)

Seperti halnya satuan RL 10 bahwa satuan BL 10 terletak pada kawasan hutan konservasi dan aksesnya sangat sulit. Karena itu, penentuan jenis dan posisi satuan batuan ini didasarkan pada morfostratigrafi. Hasilnya menggambarkan

bahwa satuan BL 10 tersebar di lereng barat laut Gunung Betung. Mengacu pada sebarannya, diperkirakan aliran lava ini berkomposisi andesit.

❖ Satuan Lava Betung 11 (BL 11)

Satuan BL 11 juga terletak pada kawasan hutan konservasi dan aksesnya sangat sulit. Penentuan jenis dan posisi satuan BL 11 didasarkan pada morfostratigrafi yang menggambarkan penyebaran di lereng barat Gunung Betung. Aliran lava BL11 ini diperkirakan berkomposisi andesit.

❖ Satuan Lava Ratai 11 (RL 11)

Satuan RL 11 terletak pada kawasan hutan konservasi dan aksesnya sulit. Penentuan jenis dan posisi satuan RL 11 juga didasarkan pada morfostratigrafi yang menggambarkan penyebaran di sekitar kawah puncak hingga lereng barat, barat laut hingga utara Gunung Ratai. Mengingat jangkauan sebaran aliran lava RL 11 ini sangat terbatas (pendek), maka lava ini diperkirakan berkomposisi andesit hingga dasitik.

❖ Satuan Kubah Lava Betung (BKL)

Satuan BKL merupakan fase akhir kegiatan erupsi Gunung Betung. Kubah lava ini mengisi kawah puncak Gunung Betung. Mengingat kawah ini berada di kawasan hutan konservasi dan aksesnya sulit, maka lava BKL ini diasumsikan sebagai komposisi umum kubah lava, yaitu andesit hingga dasitik.

❖ Satuan Lava Ratai 12 (RL 12)

Satuan RL 12 tersebar pada zona sempit – memanjang pada lembah antara morfologi punggung satuan RL 9 dengan morfologi punggung satuan RL 8 di lereng kaki baratdaya Gunung Ratai. Singkapan satuan RL 12 ini berkomposisi andesitik dan berwarna abu-abu cerah.

❖ Satuan Kubah Lava Ratai (RKL)

Satuan RKL merupakan fase akhir kegiatan erupsi Gunung Ratai. Kubah lava ini mengisi kawah di puncak Gunung Ratai. Mengingat aksesnya sulit karena kawah ini terletak di kawasan hutan konservasi, maka penentuan komposisi lava (RKL) ini diasumsikan sebagai komposisi umum kubah lava, yaitu andesit hingga dasitik (Gafoer dkk, 1993).

4. Endapan Permukaan

Adapun endapan permukaan yang meliputi adalah sebagai berikut:

➤ Endapan Lahar (LH)

Endapan LH tersebar sangat luas di sebelah barat laut, utara, hingga timur laut daerah penyelidikan. Sebagian sebaran endapan lahar ini berasosiasi dan menutup sebaran endapan debris (ED). Berdasarkan hasil analisis mikroskopis, menunjukkan bahwa komposisi endapan LH dari jenis tufa kristal berubah kuat dan berwarna hijau kecoklatan

➤ Aluvium (Al)

Endapan permukaan Al merupakan satuan batuan termuda di daerah penyelidikan, membentuk morfologi pedataran yang tersebar luas di sisi barat laut peta, sedikit di dekat pantai timur Lampung Selatan. Endapan Al memperlihatkan warna yang bervariasi mulai dari abu-abu, coklat keputih-putihan sampai coklat kehitaman, terdiri dari material vulkanik, pasir, fragmen-fragmen batuan beku, batuan sedimen, dan fragmen-fragmen batuan metamorf (Gafoer dkk, 1993).

2.4 Struktur Sesar

Struktur sesar di lapangan panas bumi Way Ratai dan sekitarnya didominasi oleh struktur sesar berarah baratlaut – tenggara dan timurlaut – baratdaya yang diduga kuat sebagai sesar normal. Di samping kedua struktur sesar normal yang disebutkan di atas, daerah penyelidikan juga dicirikan oleh kelurusan-kelurusan (*lineaments*) berarah utama timurlaut – baratdaya dan baratlaut – tenggara. Kelurusan-kelurusan (*lineaments*) hadir cukup banyak, terutama di bagian barat, baratdaya, selatan dan sedikit di bagian tengah daerah penyelidikan

Mekanisme pembentukan sesar normal diakibatkan oleh gaya tarik (*extention*) dan cenderung menimbulkan *open space* yang cukup lebar. Karena itu, kehadirannya dianggap penting sebab dapat menyokong tingginya permeabilitas batuan di zona reservoir panas bumi Way Ratai. Karena itu pembahasan struktur sesar adalah sangat penting, khususnya untuk struktur sesar normal berarah timur laut – baratdaya, sesar normal berarah baratlaut – tenggara dan kelurusan-kelurusan yang diperkirakan mempengaruhi zona prospek panas bumi di Way Ratai.

Berikut ini akan dijelaskan secara rinci mengenai penjelasan dari kedua struktur sesar yang ada di lapangan panas bumi Way Ratai.

1. Sesar normal berarah baratlaut – tenggara

Terutama berada di sekitar puncak, atau sedikit di utara Gunung Betung dan di sebelah selatan–tenggara kawah puncak Gunung Ratai. Pergerakan relatif dari kedua sesar normal di sekitar puncak Gunung Betung tampak berbeda, yaitu satu diantaranya memperlihatkan blok timurlaut relatif turun terhadap blok

tenggara. Kedua sesar normal baratlaut – tenggara di sekitar puncak Gunung Betung ini membentuk struktur graben. Sedangkan sesar normal berarah baratlaut – tenggara disekitar puncak Gunung Ratai memperlihatkan blok timurlaut yang relatif turun terhadap blok baratdaya. Struktur sesar normal yang berarah baratlaut–tenggara lainnya (relatif kecil), terdapat di sisi tenggara, selatan, baratdaya dan barat daerah penyelidikan. Pergerakan sesar normal yang kecil-kecil ini sangat beragam, ada yang blok timurlaut relatif turun terhadap blok baratdaya, dan sebaliknya ada yang blok baratdaya relatif turun terhadap blok timurlaut. Sebagai tambahan, satu pasang struktur sesar normal yang berarah baratlaut–tenggara di kaki tenggara Gunung Ratai membentuk struktur graben.

2. Sesar normal berarah timurlaut – baratdaya

Terutama dicirikan oleh dua struktur sesar normal, yaitu yang pertama memotong puncak kawah Gunung Betung, sedangkan yang kedua di kaki tenggara Gunung Betung. Pergerakan relatif dari kedua sesar normal ini relatif sama, yaitu blok timurlaut relatif turun terhadap blok tenggara. Kedua sesar normal timurlaut – baratdaya ini membentuk *step fault*.

Struktur sesar normal yang berarah timurlaut – baratdaya lainnya tampak relatif pendek, terdapat di sisi timur, tenggara, selatan dan barat daerah penyelidikan. Pergerakan sesar normal yang kecil-kecil ini sangat beragam, ada yang blok baratlaut relatif turun terhadap blok tenggara, dan sebaliknya ada yang blok tenggara relatif turun terhadap blok baratlaut (Gafoer dkk, 1993).

2.5 Geomorfologi

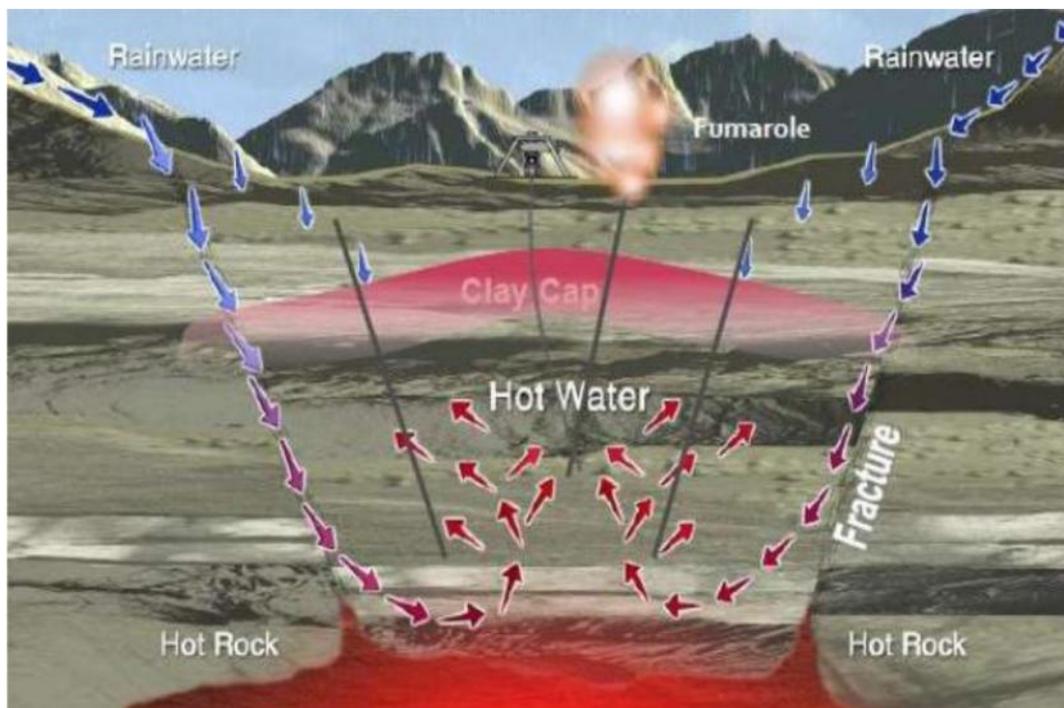
Lapangan panas bumi Way Ratai berada di dalam lingkungan kompleks gunungapi yang memiliki dua kerucut gunungapi berdampingan, yaitu Gunung Ratai di sebelah baratdaya dan Gunung Betung di sebelah timurlaut. Pembentukan bentang alam kompleks gunungapi yang mendasari pembentukan sistem panas bumi daerah Way Ratai dipengaruhi oleh proses endogen dan eksogen yang terjadi selama zaman Kuartar. Proses endogen berasal dari dinamika gunungapi Ratai dan Betung, serta tektonik regional yang berpengaruh di kawasan tersebut. Sementara itu, proses eksogen merupakan proses hidrosfir yang diakibatkan oleh erosi permukaan bumi. Kedua proses alam ini pada akhirnya menghasilkan suatu bentang alam berupa perbukitan dan pedataran.

Masing-masing bentang alam dikelompokkan berdasarkan karakteristik bentang alamnya, seperti bentuk atau dimensi morfologi, kemiringan lereng, tekstur dan pola aliran sungai. Berdasarkan parameter tersebut, morfologi Way Ratai dan sekitarnya dikelompokkan menjadi tujuh satuan morfologi, yaitu morfologi kubah lava, perbukitan bertekstur kasar, perbukitan bertekstur halus, perbukitan tua, pedataran bergelombang lemah, pedataran landai, dan perbukitan terisolir (Gafoer dkk, 1993).

BAB III TEORI DASAR

3.1 Sistem Panas Bumi

Secara umum panas bumi merupakan suatu bentuk energi panas yang tersimpan dalam batuan di bawah permukaan bumi dan fluida yang terkandung di dalamnya. Sementara sistem panas bumi memiliki pengertian yaitu suatu sistem yang memungkinkan terjadinya fluida dari daerah *meteoric recharge* ke dalam reservoir yang berada diatas sumber panas (*heat source*). Sistem panas bumi secara umum dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Sistem panas bumi (Torkis, 2012).

Air hujan akan merembes ke dalam tanah melalui saluran pori-pori atau rongga diantara butir-butir batuan, sehingga air dengan leluasa menerobos turun ke batuan panas (*hot rock*). Akibatnya temperatur air meningkat, volume air bertambah, dan tekanan menjadi naik. Tekanan yang terus meningkat, membuat fluida panas tersebut menekan batuan panas yang melingkupinya seraya mencari jalan terobosan untuk melepaskan tekanan tinggi. Kalau fluida tersebut menemukan celah yang bisa mengantarnya menuju permukaan bumi, maka akan dijumpai sejumlah manifestasi, namun bila celah itu tidak tersedia maka fluida panas akan tetap terperangkap disana selamanya.

Suatu daerah dikatakan memiliki sistem panas bumi jika memiliki beberapa komponen-komponen penting (Suharno, 2010) sebagai berikut:

- Sumber panas (*heat source*)

Sumber panas pada sistem panas bumi berasal dari intrusi batuan beku, dapur magma atau gradien temperatur. Sumber panas yang berasal dari intrusi batuan beku, diperkirakan terdapat pada kedalaman 2 – 5 km dan biasanya berada pada daerah gunungapi. Komposisi intrusi bisa granit atau gabro, tapi yang umum adalah diorit (Basid, dkk, 2014). Sedangkan sumber panas yang berasal dari gradien temperatur biasa terdapat pada daerah lempeng tektonik aktif. Sumber panas mengalirkan panas secara konveksi dan konduksi.

- Batuan reservoir (*permeable rock*)

Reservoir panas bumi merupakan formasi batuan dibawah permukaan yang mampu menyimpan dan mengalirkan fluida termal (uap dan atau air panas). Umumnya, batuan reservoir memiliki porositas dan permeabilitas yang baik sehingga fluida dapat terakumulasi untuk dipanaskan oleh sumber panas.

Secara umum reservoir panas bumi yang produktif harus memiliki porositas rendah, konduktivitas termal dan permeabilitas yang tinggi, ukuran volume cukup besar, suhu tinggi, kandungan fluida yang cukup, dan kandungan silika pada batuan reservoirnya (Suparno, 2009). Porositas berfungsi menyimpan fluida termal, sedangkan permeabilitas berperan dalam mengalirkan fluida termal (Torkis, 2012).

- Batuan penutup (*caprock*)

Caprock pada sistem panas bumi berguna untuk menjaga agar panas yang berasal dari reservoir tidak keluar ke permukaan. Batuan penutup memiliki karakteristik yaitu permeabilitas yang rendah, tebal, dan berada di atas reservoir. Pada umumnya batuan penutup berupa *clay*, sering terjadi proses alterasi hidrotermal yang disebabkan oleh interaksi fluida dan aliran panas saat melewati batuan sehingga dapat menjadi indikator adanya sistem panas bumi pada suatu daerah (Riri, 2009).

- Struktur geologi

Struktur geologi bawah permukaan bumi merupakan salah satu komponen utama suatu sistem panas bumi, seperti adanya patahan, rekahan, dan ketidakselarasan. Manifestasi panas bumi muncul akibat dari zona lemah patahan atau sesar (Santoso, 2004).

3.2 Sifat Batuan Panas Bumi

Sebagian besar reservoir panas bumi terdapat pada batuan vulkanik dengan aliran utama melalui rekahan. Seperti halnya di perminyakan, sifat batuan yang penting menerangkan sifat batuan reservoir panas bumi adalah porositas,

permeabilitas dan densitas batuan. Beberapa parameter lain yang penting untuk menerangkan sifat batuan reservoir panas bumi adalah panas spesifik dan konduktivitas panas (Saptadji, 2002).

✓ Porositas ()

Porositas didefinisikan sebagai rasio antara ruang pori pada batuan dengan volume total batuan dan biasanya dinyatakan dalam satuan persen (Harsono, 1997). Adapun rumus dari porositas dalam batuan akan ditampilkan dalam persamaan (1) seperti berikut:

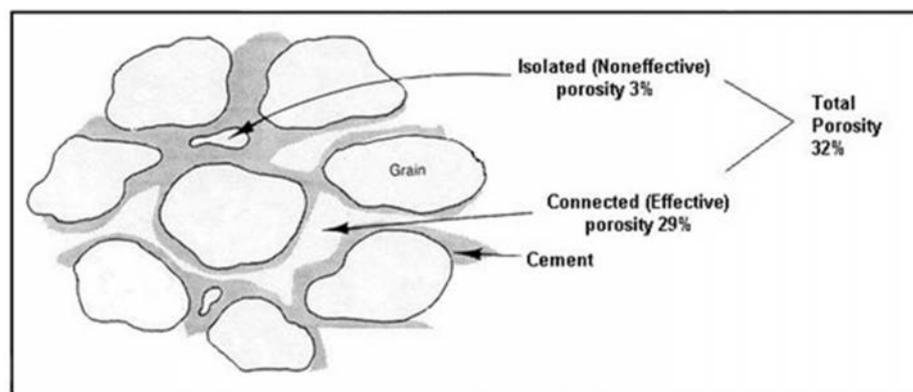
$$= \frac{\text{Volume pori}}{\text{Volume total batuan}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Porositas batuan menentukan kapasitas penyimpanan fluida dalam batuan yang berpengaruh dalam menghasilkan uap panas. Reservoir panas bumi sebagai sumber energi panas bumi harus menghasilkan suhu yang sangat tinggi agar uap yang dihasilkan memiliki tekanan yang kuat untuk memutar turbin pembangkit listrik. Batuan dengan porositas tinggi lebih cenderung memiliki kandungan air yang banyak sehingga uap yang dihasilkan lebih basah dan tekanan uap yang dihasilkan juga lebih berat karena mengandung banyak air, sehingga batuan reservoir dengan porositas tinggi tidak cocok sebagai sumber energi panas bumi (Suparno, 2009).

Porositas batuan reservoir panas bumi dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu porositas total dan porositas efektif. Porositas total adalah perbandingan antara volume pori total terhadap volume batuan total yang dinyatakan dalam persen (Loversen, 1954). Porositas efektif adalah perbandingan antara volume pori-pori yang saling berhubungan terhadap volume batuan total yang dinyatakan dalam persen (Labo, 1987).

Porositas sangat berpengaruh terhadap besar kecilnya konduktivitas panas batuan. Jika dalam suatu batuan mempunyai pori-pori yang besar, maka pada batuan tersebut akan mempunyai konduktivitas panas batuan yang kecil, begitu juga sebaliknya, sehingga konduktivitas panas batuan (sedimen) mempunyai harga yang berbeda-beda (Dewanto, 2002). Parameter yang menentukan tinggi atau rendahnya nilai porositas, yaitu jenis batuan, keseragaman butir, kompaksi, sementasi, susunan butir, dan umur batuan (Bemmelen, 1949).

Berikut ini merupakan gambaran dari ilustrasi porositas:

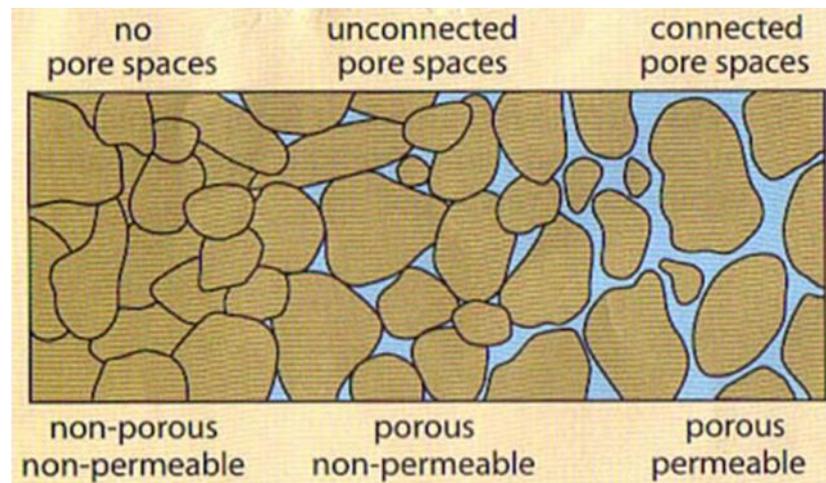


Gambar 6. Ilustrasi porositas batuan (Bemmelen, 1949).

✓ Permeabilitas (k)

Permeabilitas suatu batuan merupakan ukuran kemampuan batuan untuk mengalirkan fluida. Permeabilitas merupakan parameter yang penting untuk menentukan kecepatan aliran fluida di dalam batuan berpori dan batuan rekah alami. Permeabilitas biasanya dinyatakan dalam satuan mD (mili Darcy), di bidang panas bumi seringkali dinyatakan dalam m^2 , dimana 1 Darcy besarnya sama dengan $10^{-12} m^2$. Besarnya permeabilitas batuan tidak sama ke segala arah, umumnya permeabilitas pada arah horizontal jauh lebih besar dari permeabilitas pada arah vertikal (Saptadji, 2002).

Batuan reservoir panas bumi umumnya mempunyai permeabilitas matriks batuan sangat kecil, dimana reservoir mempunyai permeabilitas antara 1 sampai 100 mD (Saptadji, 2002).



Gambar 7. Hubungan porositas dan permeabilitas batuan (Saptadji, 2002).

✓ Densitas ()

Densitas batuan adalah perbandingan antara berat batuan dengan volume batuan tersebut. Semakin besar densitas suatu batuan, maka semakin tinggi kerapatan suatu batuan (Saptadji, 2002).

✓ Panas spesifik batuan (C_p)

Panas spesifik batuan adalah suatu parameter yang menyatakan banyaknya panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu satu satuan massa batuan tersebut 1°C (Saptadji, 2002).

Satuan dari panas spesifik batuan adalah $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$. Panas spesifik batuan umumnya mempunyai harga sebagai berikut:

- Pada temperatur rendah : $T = 0,75\text{--}0,85 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$
- Pada temperatur sedang : $T = 0,85\text{--}0,95 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$
- Pada temperatur tinggi : $T = 0,95\text{--}1,10 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ (Saptadji, 2002).

3.3 Konduktivitas Termal

Konduktivitas panas adalah sifat termal suatu benda untuk merambatkan panas dalam suatu unit waktu melalui luas penampang tertentu yang diakibatkan oleh adanya perbedaan suhu (Jangam dan Mujumdar, 2010). Konduktivitas termal batuan mengindikasikan seberapa cepat panas dalam reservoir mengalir sampai ke permukaan bumi. Tinggi rendahnya nilai konduktivitas termal batuan menentukan potensi reservoir dari panas bumi sebagai energi panas bumi (Endovani, 2016). Menurut Raina (1993), nilai konduktivitas batuan sekitar 0,05 W/m°C sampai 3,0 W/m°C.

Berikut ini akan ditampilkan **Tabel 1** yang merupakan tabel konduktivitas termal beberapa jenis batuan.

Tabel 1. Konduktivitas termal beberapa jenis batuan (Saptadji, 2002).

Lithology	Sources										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sandstone	7.1	4.2 ± 1.4	3.1 ± 1.3		3.7 ± 1.2	2.8		3.7 ± 1.2			4.7 ± 2.8
Claystone	2.9				2.0						1.8
Mudstone	2.9							2.0 ± 0.4			1.9 ± 0.4
Shale	2.9	1.5 ± 0.5	1.4 ± 0.4		2.1 ± 0.4	1.4		2.1 ± 0.4			1.8 ± 1.2
Kaolinite									1.8 ± 0.3		
Glauconite									0.5 ± 0.2		
Siltstone	2.9	2.7 ± 0.9	3.2 ± 1.3		2.7 ± 0.2	2.7 ± 0.9		2.7 ± 0.2			
Limestone	3.1	2.9 ± 0.9	2.4 ± 0.9	2.21	2.8 ± 0.4		3.4 ± 3.0	2.8 ± 0.3			2.5 ± 0.6
Marl	3.2	2.1 ± 0.7	3.0 ± 1.1		2.7 ± 0.5						2.4 ± 0.5
Dolomite		5.0 ± 0.6	3.1 ± 1.4		4.7 ± 0.8		4.8 ± 1.5	4.7 ± 1.1			3.7 ± 1.8
Halite		5.5 ± 1.8	5.7 ± 1.0		5.4 ± 1.0			5.4 ± 0.3			5.9
Chert		4.2 ± 1.5	1.4 ± 0.5		1.4 ± 0.5						
Quartzite				6.0			5.0 ± 2.4	5.9 ± 0.8		3.5 ± 0.4	5.6 ± 1.9
Granite							3.4 ± 1.2			3.5 ± 0.4	2.8 ± 0.6
Basalt	1.8			1.7			1.7 ± 0.6			2.0 ± 0.2	1.5
Tuff				1.7 ± 0.3							
Conglomerate		2.4 ± 0.8	3.2 ± 1.8		2.1 ± 1.0						
Coal		0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.04	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.1					
Loose sand				2.44 ± 0.8							

**Matrix conductivity values, only representing bulk conductivity when $\sigma = 0$*
Sources: 1 = Beardsmore (1996), 2 = Majorowicz and Jessop (1981), 3 = Beach, Jones, and Majorowicz (1987), 4 = Raznjevic (1976), 5 = Reiter and Jessop (1985), 6 = Taylor, Judge, and Allen (1986), 7 = Roy et al. (1981), 8 = Reiter and Tovar (1982), 9 = Touloukian et al. (1970), 10 = Drury (1986), 11 = Barket (1996).

Konduktivitas panas tidak sama untuk setiap batuan. Konduktivitas panas suatu batuan tidak hanya ditentukan oleh jenis batuan atau mineral-mineral penyusunnya, tetapi juga ditentukan oleh struktur kristal yang membentuk batuan tersebut. Mungkin ini juga yang menyebabkan harga konduktivitas berlainan ke semua arah. Hal ini menyebabkan panas merambat dengan laju yang berbeda ke arah yang berlainan (Saptadji, 2002).

Hubungan dasar untuk perpindahan panas dengan cara konduksi dikemukakan oleh ilmuwan Prancis J.B.J Fourier. Hubungan ini menyatakan bahwa laju aliran panas dengan cara konduksi dalam suatu bahan sama dengan hasil kali dari tiga buah besaran, yaitu:

- a. Konduktivitas termal bahan (k).
- b. Luas penampang melalui magma panas mengalir dengan cara konduksi, yang harus diukur secara tegak lurus terhadap arah aliran panas (A).
- c. Gradien suhu pada penampang tersebut yaitu laju perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah aliran panas ($\frac{\partial T}{\partial z}$).

Adapun persamaannya dapat ditulis dalam persamaan (2) berikut:

$$q_k = k.A.\frac{\partial T}{\partial z} \dots \dots \dots (2)$$

dimana: q_k = laju aliran panas (KJ/det.W)

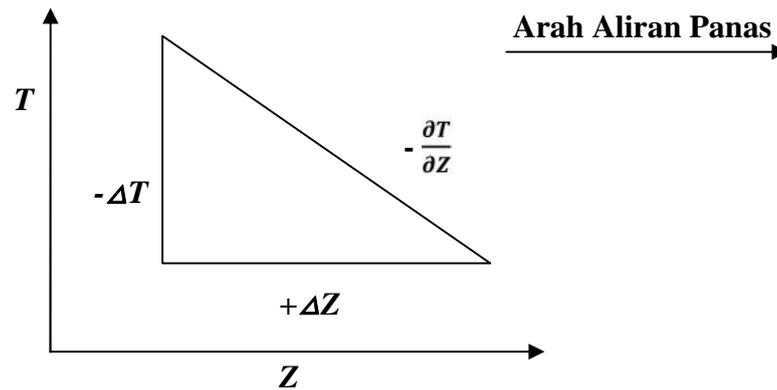
k = konduktivitas termal bahan (W/m.K)

A = luas penampang (m^2)

$\frac{\partial T}{\partial z}$ = gradien suhu (K)

Dan Persamaan (2) disebut Hukum Fourier untuk perpindahan panas konduksi (Purwanto, 2007).

Mengingat Hukum Kedua Termodinamika bahwa konduktivitas panas akan mengalir secara otomatis dari titik yang suhunya lebih tinggi menuju ke titik yang suhunya rendah, maka aliran konduksi panas q adalah positif jika gradien suhu berharga negatif. Selain itu arah kenaikan jarak z merupakan arah aliran konduksi panas positif, seperti pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Arah aliran konduksi panas.

Jika gradien suhu $\frac{\partial T}{\partial Z} = 1$, maka besarnya konduktivitas panas suatu bahan merupakan jumlah energi panas yang mengalir pada suatu bahan tiap satuan luas. Suatu bahan yang memiliki nilai konduktivitas panas besar merupakan penghantar yang baik dan sering disebut konduktor panas, sebaliknya suatu bahan yang memiliki nilai konduktivitas panas kecil merupakan penghantar panas yang buruk dan sering disebut isolator (Wahyono, dkk, 2004).

3.4 Transfer Panas

Transfer panas (transfer oleh energi panas) dinyatakan oleh proses fisika, diantaranya:

✓ Konduksi

Pemindahan kalor yang terjadi pada dua benda padat yang berbeda temperatur dan terjadi kontak langsung.

✓ Konveksi

Terjadi dengan medium fluida (gas / zat cair) dengan dicirikan oleh ikut berpindahannya pembawa panas.

✓ Radiasi

Dimana panas ditransfer secara langsung tidak memerlukan medium, terpancar dalam bentuk gelombang elektromagnetik seperti cahaya atau gelombang radio.

Radiasi umumnya diabaikan untuk kondisi *lithosperic*, begitu juga konveksi diabaikan di kebanyakan proses. Oleh karena itu, untuk studi geofisika dari litosfer bumi, hanya konduksi yang penting dan sifat termal batuan paling substansial adalah konduktivitas termalnya (Chermak, 1982).

3.5 Konduksi dan Konveksi Batuan

Fluida panas bumi yang terkandung dalam reservoir hidrotermal berasal dari air permukaan, antara lain air hujan (air meteorik) yang meresap masuk ke bawah permukaan. Air tersebut akan masuk melalui rekahan-rekahan ke dalam batuan permeabel. Apabila disekitar batuan tersebut terdapat sumber panas, maka panas akan dirambatkan melalui batuan (secara konduksi) dan melalui fluida (secara konveksi) (Singarimbun, dkk, 2012).

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas melalui bahan akibat adanya interaksi atomik atau molekul penyusun batuan tersebut dalam

mantel. Perpindahan panas secara konduksi terjadi ketika panas melewati batuan, pada sistem panas bumi panas secara konduksi dapat terjadi ketika perpindahan panas dari batuan sumber panas melalui lapisan batuan *impermeable* hingga ke permukaan.

Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi karena gaya apung air, karena gaya gravitasi selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak ke bawah, akan tetapi apabila air tersebut kontak dengan suatu sumber panas maka akan terjadi perpindahan panas sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan. Keadaan ini menyebabkan air yang lebih panas bergerak ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah, sehingga terjadi sirkulasi air atau arus konveksi (Basid, dkk, 2014).

3.6 Gradien Panas Bumi

Gradien panas bumi adalah laju peningkatan temperatur seiring dengan meningkatnya kedalaman di bawah permukaan bumi. Artinya, semakin ke bawah, maka temperatur atau suhu bawah permukaan bumi semakin meningkat atau semakin panas. Secara umum, setiap penurunan 1 km kedalaman ke perut bumi maka temperatur akan naik sebesar 25-30°C, atau setiap kedalaman bertambah 100 meter temperatur naik sekitar 2,5-3°C. Untuk tempat-tempat tertentu di sekitar daerah vulkanik, maka gradien panas bumi dapat memiliki nilai temperatur yang lebih besar lagi, sekitar 1-5°C/100meter (Ismul, 2009).

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama kurang lebih sebulan, dimulai pada tanggal 14 Agustus s.d. 31 Agustus 2017 untuk akuisisi data di lapangan panas bumi Way Ratai dan dilanjutkan dengan melakukan pengolahan data dan analisis data di Laboratorium Eksplorasi Teknik Geofisika Universitas Lampung.

4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Peta WKP skala 1 : 500.000.
2. Peta DEM SRTM
3. Peta geologi regional.
4. Peta geologi lokal.
5. GPS garmin *map 78s*.
6. Bor CT.
7. *Main unit* M.A.E v.A5000T.

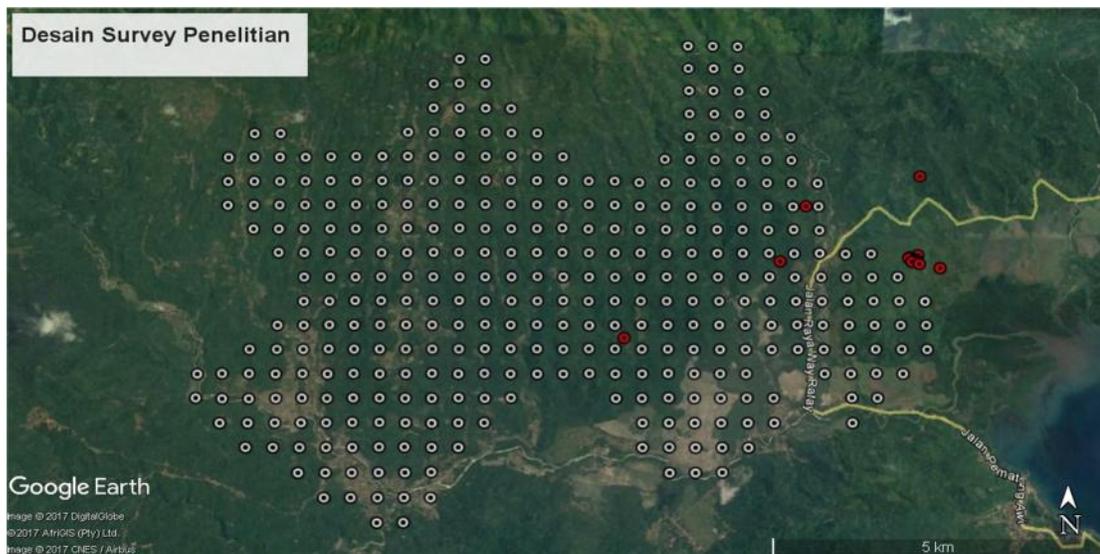
8. *Probe CTS45*.
9. Form pengukuran CT & Alat Tulis.
10. Laptop serta perangkat lunak, seperti: *Global Mapper v.13*, *Surfer v.12*, *ArcMap v.10.0*, *Map Source v.240*, *Microsoft Excel v.2007*.

4.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

4.3.1 Akuisisi Data

Sebelum melakukan akuisisi data, perlu adanya suatu desain survey penelitian. Desain survey dibuat dengan tipe *grid* dalam *software ArcMap*. Jarak antar titik adalah 400 meter, lalu pada saat akuisisi data disekitar manifestasi dibuat beberapa titik tambahan dengan jarak 100 meter guna melihat persebaran konduktivitasnya. Berikut ini akan ditunjukkan pada **Gambar 9** yang merupakan gambar desain survey daerah penelitian lapangan panas bumi Way Ratai.



Gambar 9. Desain survey penelitian dilihat dari *google earth*

Pada **Gambar 7** tersebut, bisa dijelaskan bahwa titik putih merupakan titik desain pengukuran konduktivitas termal, sedangkan titik berwarna merah merupakan titik manifestasi permukaan berdasarkan penelitian sebelumnya dengan menggunakan survey awal magnetik, graviti, dan MT.

Dalam akuisisi data dilakukan pengukuran dalam kondisi sensor elektroda atau *probe* yang berada di bawah permukaan sedalam setengah meter dengan kondisi lubang tertutup. Usahakan agar kontak *probe* menyentuh dengan tanah permukaannya dan tidak gantung. Serta dihindari untuk tidak memaksa memasukkan *probe* dengan keras ke dalam bawah permukaan karena dapat mengakibatkan *probe* patah. Lakukan pengukuran atau perekaman data selama 5 menit (sudah diatur). Data pengukuran yang dihasilkan berupa nilai Rt (resistivitas), k (konduktivitas), serta T (suhu).

Hasil dokumentasi pada saat dilakukannya akuisisi data metode konduktivitas termal daerah lapangan panas bumi Way Ratai sudah terlampir ke dalam **lampiran**.

4.3.2 Pengolahan Data

Setelah selesai melakukan proses akuisisi data, maka tahapan selanjutnya adalah proses pengolahan data. Pengolahan data dilakukan dengan memasukkan input data ke dalam *Microsoft Excel* yang berupa koordinat titik pengukuran X & Y (berasal dari GPS garmin *map 78s*), nilai Rt (resistivitas), k (konduktivitas), serta T (suhu). Setelah diinput, lakukan *grid data* dalam *software Surfer*. Sehingga dapat dihasilkan empat buah peta, yaitu peta konduktivitas termal batuan dengan topografi daerah penelitian (data topografi dari peta DEM SRTM), peta konduktivitas termal batuan yang di-*overlay* dengan kondisi geologi lokal (tahap *overlay* dilakukan dalam *software ArcMap*), peta resistivitas termal, serta peta suhu daerah penelitiannya.

4.3.3 Interpretasi Data

Setelah selesai melakukan proses pengolahan data, maka tahapan selanjutnya adalah proses interpretasi data atau analisis data. Interpretasi data dilakukan dengan melihat dari keempat hasil peta pengolahan data yang telah dibuat.

Pertama, peta konduktivitas termal batuan yang di-*overlay* dengan kondisi geologi lokalnya. Suatu daerah yang memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi diduga bahwa pada daerah tersebut berada di dekat manifestasi air panas yang kemunculannya berkaitan erat dengan kondisi geologi berupa sesar dan kelurusan-kelurusan (*lineaments*) untuk mengontrol daerah itu.

Kedua, peta konduktivitas termal batuan dengan topografinya. Kontur topografi suatu daerah umumnya digunakan untuk melihat bagaimana kondisi di lapangan saat melakukan akuisisi data. Semakin rapat suatu kontur topografi menyatakan daerah tersebut daerah yang curam, sedangkan semakin renggang suatu kontur topografi menyatakan daerah tersebut daerah yang landai.

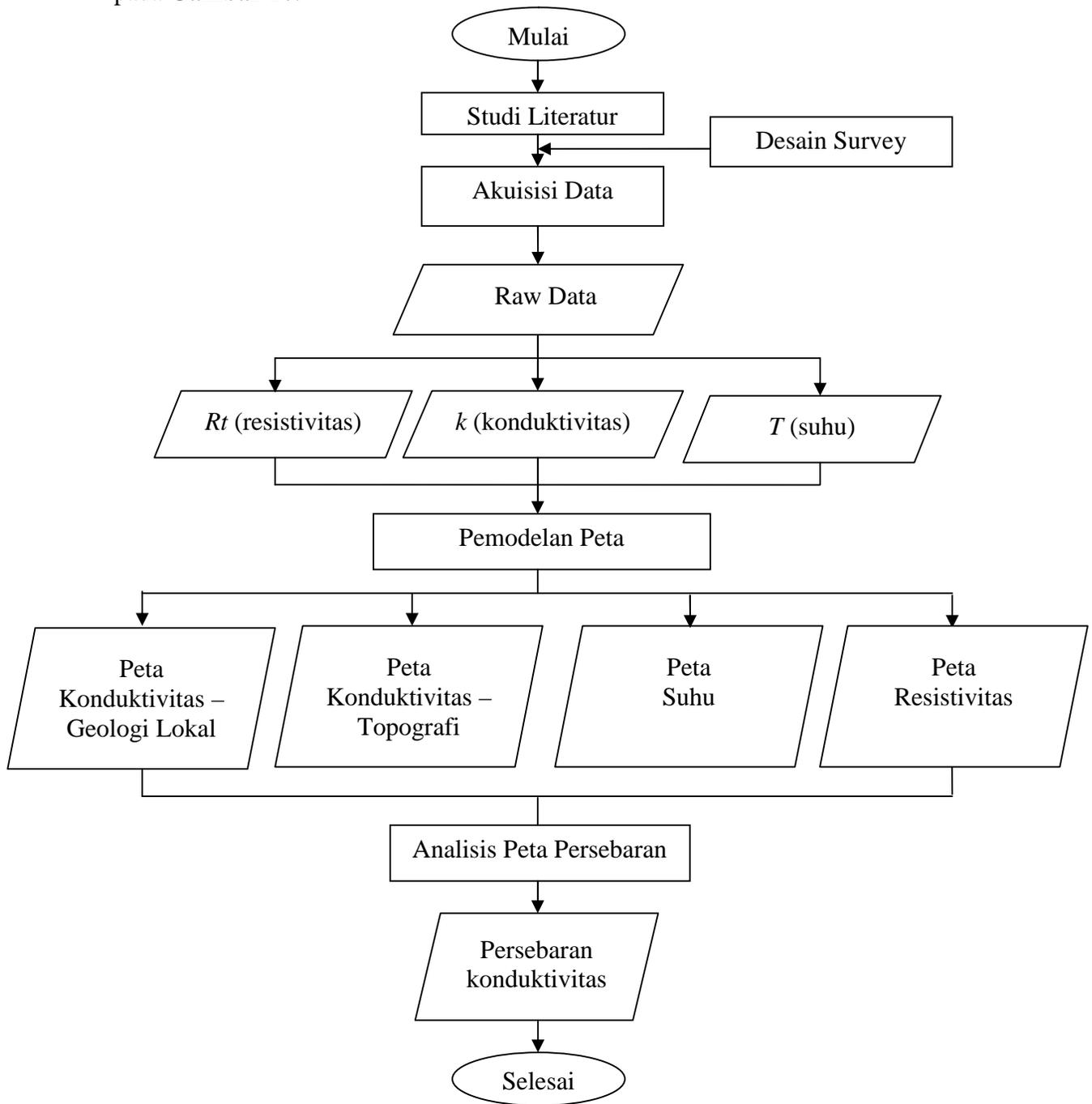
Ketiga, peta suhu. Data suhu sangat diperlukan guna mendukung nilai konduktivitas termal batuan suatu daerah. Umumnya, nilai suhu dan konduktivitas termal adalah berbanding lurus. Jika nilai konduktivitas suatu titik menunjukkan nilai yang tinggi, maka nilai suhunya akan tinggi juga. Dan sebaliknya, jika nilai konduktivitas suatu titik menunjukkan nilai yang rendah, maka nilai suhunya akan rendah juga.

Keempat, peta resistivitas termal. Data resistivitas digunakan sebagai data pembandingan dari nilai konduktivitas termal batuan. Secara teori dijelaskan bahwa nilai konduktivitas berbanding terbalik dengan nilai resistivitasnya. Jika nilai

konduktivitas suatu titik menunjukkan nilai yang tinggi, maka nilai resistivitasnya akan rendah. Dan sebaliknya, jika nilai konduktivitas suatu titik menunjukkan nilai yang rendah, maka nilai resistivitasnya akan tinggi.

4.4 Diagram Alir

Adapun diagram alir dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini ditunjukkan pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Diagram alir penelitian.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian metode konduktivitas termal ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil peta konduktivitas – geologi lokal dan peta konduktivitas – topografi didapatkan nilai hasil pengukuran konduktivitas termalnya di daerah lapangan panas bumi Way Ratai dan sekitarnya berkisar 0.056–0.664W/mK. Nilai konduktivitas termal tertinggi berada di manifestasi panas bumi Padok.
2. Berdasarkan hasil peta suhu didapatkan nilai hasil pengukuran suhu di daerah lapangan panas bumi Way Ratai dan sekitarnya berkisar 22.68–52.59°C. Nilai suhu tertinggi berada di manifestasi panas bumi Padok.
3. Berdasarkan hasil peta resistivitas termal didapatkan nilai hasil pengukuran resistivitas termal di daerah lapangan panas bumi Way Ratai dan sekitarnya berkisar 1.344–17.527mK/W. Nilai resistivitas termal tertinggi berada di titik J10.
4. Nilai konduktivitas termal batuan daerah lapangan panas bumi Way Ratai dan sekitarnya dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu struktur geologi yang ada

di lapangan seperti sesar normal dan kelurusan-kelurusan (*lineaments*), keberadaan alterasi, serta manifestasi air panas atau tempat keluarnya uap panas dari fumarol.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah perlu menambahkan beberapa titik pengukuran metode konduktivitas termal yang merata untuk di beberapa daerah yang kosong guna melihat persebaran konduktivitas termal batumannya secara lebih rinci atau detail.

DAFTAR PUSTAKA

- Basid, A., Andriani, N., dan Arfiyaningsih, S., 2014. Pendugaan Reservoir Sistem Panasbumi Dengan Menggunakan Survey Geolistrik, Resistivitas, dan Self Potensial (Studi Kasus: Daerah Manifestasi Panasbumi di Desa Lombang, Kecamatan Batang-Batang, Sumenep). *Jurnal Neutrino*. Vol 7. No 1. Hal 61 dan 62.
- Bemmelen, R.2.V., 1949. *The Geology of Indonesia Volume II: Economic Geology*. Government Printing Office: The Hague.
- Chermak., 1982. *Conduction of Heat in Solids*. Oxford University, Press.
- Dewanto, O., 2002. Analisa Hubungan Porositas Terhadap Konduktivitas Panas Batuan Hasil Pengukuran dan Perhitungan pada Sumur Minyak. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Vol 8 (2): 27-41.
- Endovani, R., 2016. Analisis Konduktivitas Termal dan Porositas Silika Sinter Sumber Mata Air Panas di Sapan Maluluang, Kecamatan Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan. *Jurnal Fisika Unand*. Vol 4. No 1. Hal. 65.
- Gafoer, S., Amirudin., Mangga, A., dan Sidarto., 1993. *Peta Geologi Lembar Tanjungkarang, Sumatera, Skala 1 : 250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Harsono, A., 1997. *Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log*. Schlumberger Oilfield Service. Jakarta.
- Ismul, A., 2009. Potensi Energi Panas Bumi Berdasarkan Data Gradien Suhu Bawah Permukaan Daerah Gunungapi Kaba, Bengkulu. *Jurnal Gradien*. Vol 5. No 2. Hal 472-475.

- Jangam, S.V., dan Mujumdar, A.S., 2010. *Basic Concepts and Definitions. Drying of Foods, Vegetables, and Fruits*. Singapore.
- Karyanto., 2003. Pencitraan Bawah Permukaan Daerah Panasbumi Way Ratai Lampung Dengan Metode Tahanan Jenis 2 Dimensi. *Jurnal Sains Teknologi*. Vol 9. No.3. Hal 55.
- Karyanto., dan Haerudin, N., 2013. Interpretasi Kualitatif Suhu Permukaan di Potensi Panasbumi Way Ratai, Lampung. *Prosiding Seminar Nasional Sains & Teknologi V*. Lembaga Penelitian Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Labo, J., 1987. *A Practical Introduction to Borehole Geophysics*. Society of Exploration Geophysicists. Tulsa.
- Loverson, A., 1954. *Geology of Petroleum*. W.H. Freeman & Company. San Fransisco. Amerika Serikat.
- Purwanto, A., 2007. Analisis Data Suhu, Konduktivitas, dan Aliran Panas Untuk Menafsir Struktur Bawah Permukaan Daerah Air Putih Lebong Utara. *Jurnal Gradien*. Vol 3. No.2. Hal 252.
- Raina, V. K., 1993. *Concrete for Construction, Facts and Practic*, Tata McGraw-Hill Publishing Company, Ltd., New Delhi.
- Riri, O., 2009. *Pemodelan Sistem Geothermal Daerah Sibayak Menggunakan Data Magnetotellurik dan Gravitasi*. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok.
- Santoso, D., 2004. *Catatan Kuliah "Eksplorasi Energi Geothermal"*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Saptadji., N. 2002. . *Catatan Kuliah "Teknik Panasbumi"*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Singarimbun., A, Ehara, S., dan Fujimitsu, Y. 2012. Estimation of Parameter Distribution and Injection Process in Geothermal Reservoir. *International Journal of Energy and Environment*. Issue 6. Volume 6.

Suharno., 2010. *Pengembangan Prospek Panasbumi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Suparno, S., 2009. *A present from the heart of the earth*. *Jurnal Edisi Pertama*. Universitas Indonesia. Depok.

Torkis, R., 2012. *Analisa dan Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Gayaberat di Daerah Prospek Panas Bumi Gunung Lawu*. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok.

Wahyono, T., Wahyudi, dan Suyanto, I., 2004. Analisis Data Suhu, Konduktifitas, dan Aliran Panas Untuk Menafsir Struktur Bawah Permukaan Daerah Gedongsongo Beserta Potensinya. *Prosiding Himpunan Ahli Geofisika Indonesia*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.