

**PENENTUAN SUMBER DAYA SPEKULATIF DAN SUMBER DAYA
HIPOTESIS LAPANGAN PANASBUMI PADANG CERMIN LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

**FERYANIKA UKHTI
NPM 1715051026**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

**PENENTUAN SUMBER DAYA SPEKULATIF DAN SUMBER DAYA
HIPOTESIS LAPANGAN PANAS BUMI PADANG CERMIN LAMPUNG**

Oleh

Feryanik Ukhti

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

PENENTUAN SUMBER DAYA SPEKULATIF DAN SUMBER DAYA HIPOTESIS LAPANGAN PANASBUMI PADANG CERMIN LAMPUNG

Oleh

Feryanika Ukhti

Lapangan Panasbumi Padang Cermin merupakan salah satu lapangan potensi panasbumi yang terletak di Padang Cermin, Lampung. Berdasarkan analisis geokimia, diketahui bahwa Lapangan Panasbumi Padang Cermin memiliki tipe air panasbumi klorida dari hasil *plotting* pada diagram Cl-SO₄-HCO₃ yang menunjukkan kandungan Cl lebih tinggi dibandingkan HCO₃ dan SO₄ dengan suhu reservoir sebesar 182°C hingga 296°C dan rata-rata sebesar 288°C berdasarkan *geothermometer* Na/K. Luas area prospek panasbumi Padang Cermin diketahui seluas 5km² berdasarkan luasan area alterasi mineral lempung dan karbonat menggunakan data citra Landsat-8 metode *Band Ratio* dan *Density Slicing*. Data yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung nilai sumber daya spekulatif dan sumber daya hipotesis yang mana merupakan hasil dari penelitian pendahuluan dan penelitian pendahuluan lanjut. Penelitian pendahuluan dan penelitian pendahuluan lanjut memeran peranan penting karena menjadi tahap awal dalam identifikasi lapangan apakah ekonomis untuk dimanfaatkan atau tidak. Berdasarkan hasil penelitian diketahui Lapangan Panasbumi Padang Cermin memiliki nilai sumber daya spekulatif sebesar 75 MWe dan sumber daya hipotesis sebesar 72 MWe. Berdasarkan nilai sumber daya yang diketahui jika dibandingkan dengan besaran umum energi panasbumi yang ekonomis dengan nilai setidaknya 55 MWe maka nilai ini dianggap ekonomis dan layak untuk dilanjutkan ke tahap eksplorasi selanjutnya sampai ke tahap pemanfaatan panasbumi.

Kata kunci : panasbumi, geokimia, *geothermometer*, sumber daya spekulatif, sumber daya hipotesis.

ABSTRACT

DETERMINATION OF SPECULATIVE RESOURCES AND HYPOTHETICAL RESOURCES OF THE PADANG CERMIN LAMPUNG GEOTHERMAL FIELD

By

Feryanika Ukhti

Padang Cermin Geothermal Field is one of the geothermal potential fields located in Padang Cermin, Lampung. Based on the geochemical analysis, it is known that the Padang Cermin Geothermal Field has a chloride geothermal water type from the plotting results on the Cl-SO₄-HCO₃ diagram which shows a higher Cl content than HCO₃ and SO₄ with a reservoir temperature of 182°C to 296°C and an average of 288°C based on a geothermometer Na/K. The area of the Padang Cermin geothermal prospect is known to be 5km² based on the area of clay and carbonate mineral alteration using Landsat-8 image data using Band Ratio and Density Slicing methods. The data obtained can be used to calculate the value of speculative resources and hypothetical resources which are the results of preliminary research and further preliminary research. Preliminary research and further preliminary research play an important role because they are the initial stage in identifying whether the field is economical to use or not. Based on the research results, it is known that the Padang Cermin Geothermal Field has a speculative resource value of 75 MWe and a hypothetical resource of 72 MWe. Based on the known resource value when compared to the general amount of economical geothermal energy with a value of at least 55 MWe, this value is considered economical and feasible to proceed to the next exploration stage to the geothermal utilization stage.

Key words: geothermal, geochemistry, geothermometer, speculative resources, hypothetical resources.

Judul Skripsi : **PENENTUAN SUMBER DAYA SPEKULATIF
DAN SUMBER DAYA HIPOTESIS
LAPANGAN PANASBUMI PADANG CERMIN
LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : **Feryanika Ukhti**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715051026

Program Studi : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 2

Pembimbing 1

Karyanto, S.Si., M.T.

NIP. 19691230 199802 1001

Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.

NIP. 196207171 198703 1002

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

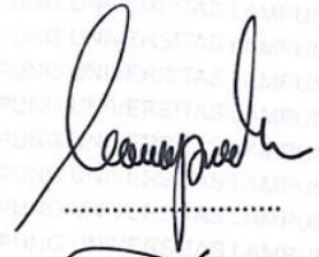
Karyanto, S.Si., M.T.

NIP. 19691230 199802 1001

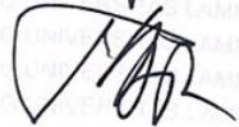
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

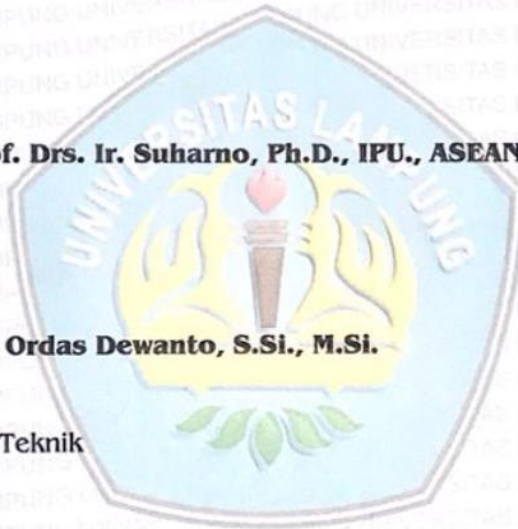
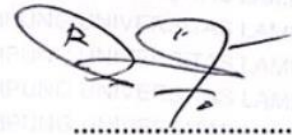
Ketua : Karyanto, S.Si., M.T.



Sekretaris : Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.



Anggota : Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng
NIP. 196207171 198703 1002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 22 Juli 2021

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis bukan merupakan karya dari orang lain melainkan berdasarkan pemikiran saya sendiri, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapun kutipan tertentu dalam penulisan skripsi ini terdapat karya atau pendapat orang lain yang ditulis menurut sumbernya sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

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

Bandar Lampung, Agustus 2021



Feryanika Ukhti
1715051026

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Penentuan Sumber Daya Spekulatif dan Sumber Daya Hipotesis Lapangan Panasbumi Padang Cermin Lampung”** Skripsi ini merupakan hasil penelitian Tugas Akhir penulis di Laboratorium Teknik Geofisika Universitas Lampung sekaligus bahan dari persyaratan meraih gelar S1 Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini tidak lepas dari kesalahan. Karena ini penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari pembaca agar kedepannya penulis dapat memberikan yang lebih baik. Semoga laporan ini berguna dan dapat menunjang perkembangan ilmu pengetahuan serta dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan juga para pembaca pada umumnya terutama di bidang keilmuan geofisika.

Penulis

Feryanika Ukhti

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Feryanika Ukhti yang lahir di Bengkulu, 27 April 1999, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Fery Haryanto dan Ibu Suryani. Penulis memulai pendidikan pertama di Taman Kanak-Kanak (TK) Andung Bengkulu selama 2 tahun yang diselesaikan tahun 2005, kemudian dilanjutkan Sekolah Dasar Negeri (SDN) 25 Sukamerindu Kota Bengkulu selama 3 tahun sampai pada tahun 2008 yang kemudian dilanjutkan selama beberapa bulan di SDN 30 Kota Manado. Pada tahun 2009 penulis melanjutkan studi kembali di SDN 25 Karang Yudha Kota Cirebon selama 1 tahun, hingga akhirnya penulis menyelesaikan studi Sekolah Dasar pada tahun 2011 di SDN 2 Purwawinangun Kab. Cirebon. Kemudian melanjutkan studi Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 2 Gunung Djati Kab. Cirebon selama 2 tahun, dan melanjutkan studi di SMP Negeri 36 Kota Bekasi hingga lulus tahun 2014. Selanjutnya penulis melanjutkan jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 9 Kota Bekasi hingga tahun 2017, dan pada tahun 2017 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika pada Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN dan berhasil menyelesaikan studi pada tahun 2021.

Penulis aktif berorganisasi sejak Sekolah Menengah Pertama dan Menengah Atas pada beberapa organisasi seperti OSIS, PMR, dan Mading yang berlanjut hingga menjadi mahasiswa. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di berbagai organisasi kampus baik di tingkat jurusan, fakultas, universitas, maupun nasional. Pada lingkup jurusan penulis menjadi anggota Bidang Kaderisasi Himpunan

Mahasiswa TG Bhuwana periode 2018-2019 dan 2019-2020. Selain itu menjadi anggota *Human Resource Department of American Association of Petroleum Geologist Student Chapter* Universitas Lampung (AAPG-SC Unila) pada periode 2018-2019, 2019-2020, hingga menjadi *Head of Human Resource Department* pada periode 2020-2021. Pada tingkat fakultas, penulis aktif di Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT) sebagai Sekretaris Dinas Eksternal periode 2019. Berikutnya pada tingkat universitas penulis aktif di Badan Eksekutif Universitas (BEM U) menjadi staff Pergerakan dan Pemberdayaan Wanita Kabinet Sinergis dalam gerak periode 2018. Selanjutnya pada tingkat nasional penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia (HMGI) Pusat sebagai sekretaris umum periode 2020-2021.

Selain aktif diberbagai organisasi, penulis aktif mengikuti kegiatan-kegiatan nasional dan menjadi *volunteer* dalam beberapa kegiatan. Dalam bidang akademik penulis aktif dalam kegiatan-kegiatan perlombaan, seminar nasional, *workshop*, *course*, kunjungan industri dan kuliah lapangan. Selain itu, penulis aktif mengambil peran sebagai asisten praktikum perpetaan tahun 2018-2019, praktikum metode geolistrik tahun 2019-2020, praktikum perpetaan kembali tahun 2020-2021, dan praktikum eksplorasi geothermal tahun 2020-2021. Penulis melakukan Kerja Praktek di Laboratorium Teknik Geofisika mengenai *heat loss* panasbumi dengan data yang diambil langsung di Lapangan Panasbumi Way Ratai Lampung. Hingga pada akhir studi penulis menyelesaikan pendidikan sarjana teknik pada tanggal 22 Juli 2021 dengan judul skripsi **“Penentuan Sumber Daya Spekulatif dan Sumber Daya Hipotesis Lapangan Panasbumi Padang Cermin Lampung”**

PERSEMBAHAN

Puji syukur saya panjatkan pada Allah Subhanahu wa ta'ala atas terselesaikannya skripsi ini dengan baik dan lancar. Dan skripsi ini saya persembahkan untuk:

IBU DAN AYAH TERCINTA

**SURYANI
&
FERY HARYANTO**

Yang telah memberikan kasih sayang, dukungan, dan cinta kasih yang tak terhingga yang tiada mungkin dapat dibalaskan hanya dengan selembar kertas yang bertuliskan kata cinta dalam kata persembahan. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat ibu dan ayah bahagia karena teteh sadar selama ini belum bisa berbuat yang lebih.

ADIK-ADIK TERCINTA

**BIMA HARYANDANA SURYANDANU
&
ARJUNA ARGHA HARYANDANA SURYANDANU**

Atas semua doa, semangat, perhatian. Walaupun kalian sangat menyebalkan tetapi cinta serta kasih dari teteh tak kan pernah terhingga.

PARTNER KULIAH

TEKNIK GEOFISIKA UNILA 2017

Terima kasih atas semua canda tawa dan bahkan tangis yang akan sangat-sangat saya rindukan dikemudian hari. Terima kasih sudah memberi bantuan disaat-saat sulit. Terima kasih sudah menjadi keluarga yang baik di perantauan. Semoga kita sukses selalu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, petunjuk, dan ilmu kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada nabi Muhaammad SAW.

Skripsi dengan judul “Penentuan Sumber Daya Spekulatif dan Sumber Daya Hipotesis Lapangan Panasbumi Padang Cermin Lampung” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Geofisika di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Drs. Ir. Suharno, Phd., IPU., ASEAN Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik Universits Lampung sekaligus Pembimbing 2 skripsi saya yang telah banyak membimbing saya.
2. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung sekaligus Pembimbing Akademik dan Pembimbing 1 skripsi saya yang telah banyak memberikan bimbingan, nasihat-nasihat dan ilmu-ilmu yang penting bagi saya.
3. Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si. selaku penguji skripsi saya yang telah memberikan saran-saran dan perbaikan pada skripsi saya.
4. Bapak I Gede Boy Darmawan, S.Si., M.Eng yang sudah banyak memberikan ilmu dan membantu pengerjaan skripsi saya.
5. Dosen-dosen Teknik Geofisika Universitas Lampung yang saya hormati karena telah banyak memberikan saya ilmu-ilmu yang bermanfaat.
6. Bapak Fery Haryanto dan Ibu Suryani selaku kedua orang tua saya yang amat saya cintai dalam hidup karena telah banyak memberikan dukungan motivasi, semangat, *financial*, menyayangi dan mencintai saya dengan sepenuh hari.

7. Bima Haryandana Suryandanu dan Arjuna Arga Haryandanu selaku kedua adik saya yang amat saya sayangi walaupun sangat menyebalkan.
8. Kelurga Teknik Geofisika 2017 atas kebersamaan dan dukungannya.
9. Tim Ratai Ceria (Bryan, Acep, Ryaz, Kak Adli, Kak Winda, Iacun, dan Muse) yang telah banyak memberi dukungn dan senda gurau suka duka.
10. Teman-teman TGIF IDGAF atas info-info terkini yang memberikan semangat semasa kuliah.
11. Teman sebelah kamarku Mba Yuli yang menjadi partner mengerjakan skripsi tiap malam.
12. Teman-teman maupun pihak terlibat yang tidak disebutkan namanya.
13. *Last but not least, I wanna thank me, for believing in me, for doing all this hard work, for having no days off, for never quitting, for just being me at all times.*

Bandar Lampung, Agustus 2021

Feryanika Ukhti

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Daerah Penelitian	4
2.2 Geologi Regional	5
2.3 Penelitian Terdahulu	5
III. TEORI DASAR	
3.1 Sistem Panasbumi	11
3.2 Manifestasi Panasbumi	12
3.3 Geokimia Panasbumi	13
3.3.1 <i>Geothermometer</i>	14
3.3.2 <i>Geoindikator dan Tracer</i>	20
3.4 Landsat-8.....	22
3.5 Sumber Daya Panasbumi	23
3.5.1 Sumber Daya Spekulatif	24
3.5.2 Sumber Daya Hipotesis	25
IV. METODOLOGI PENELITIAN	
4.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	26
4.2 Alat dan Bahan.....	26
4.3 Jadwal Penelitian	26

4.4 Tahap Pengolahan Data	28
4.4.1 Pengolahan Geokimia Fluida	28
4.4.2 Pengolahan Citra Landsat-8	28
4.4.3 Perhitungan Sumber Daya Spekulatif	29
4.4.4 Perhitungan Sumber Daya Hipotesis.....	29
4.5 Diagram Alir	29

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian	31
5.1.1 Luas Area Alterasi Berdasarkan Citra Landsat-8	31
5.1.2 Karakterisasi Fluida dan Perhitungan Suhu Reservoir.....	32
5.1.3 Sumber Daya Spekulatif dan Sumber Daya Hipotesis	33
5.2 Pembahasan.....	34
5.2.1 Penentuan Area Alterasi Menggunakan Citra Landsat-8.....	34
5.2.2 Karakterisasi Fluida Berdasarkan Diagram Cl-SO ₄ -HCO ₃	35
5.2.3 Perhitungan Suhu Reservoir	37
5.2.4 Sumber Daya Spekulatif dan Sumber Daya Hipotesis	40

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan	42
6.2 Saran	42

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Lokasi Penelitian.....	4
2. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian.....	6
3. Sistem Panas Bumi (Daud, 2010).....	12
4. Diagram Na-K-Mg.....	20
5. Diagram Segitiga Cl-SO ₄ -HCO ₃	22
6. Diagram Alir Penelitian	30
7. Peta Sebaran Alterasi Lapangan Panasbumi Padang Cermin	31
8. Hasil Plot Sampel Fluida pada Diagram CL-SO ₄ -HCO ₃	32
9. Hasil Plot Sampel Fluida pada Diagram Na-K-Mg	32
10. Mata Air Panas Mengalir pada Lapangan Panasbumi Padang Cermin	36
11. Kolam Air Panas pada Lapangan Panasbumi Padang Cermin	36
12. Silika Sinter pada Lapangan Panasbumi Padang Cermin	37

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2. Potensi Sumber Daya Panasbumi (ESDM, 2017).....	10
3. Persamaan <i>Geothermometer</i> Silika (Ariwibowo, 2011).....	16
4. Beberapa Persamaan <i>Geothermometer</i> Na-K (Ariwibowo, 2011)	17
5. Asumsi daya per satuan luas reervoar panasbumi dalam SNI 13617,1999 (Suharno, 2013).	25
6. Suhu <i>cut-off</i> reservoar panasbumi dalam SNI 13617,1999 (Suharno, 2013).....	25
7. Jadwal Penelitian Tugas Akhir	27
8. Hasil Perhitungan <i>Geothermometer</i> Sampel Fluida Panasbumi	33
9. Presentasi Kandungan Cl, SO ₄ , dan HCO ₃ pada Sampel Fluida	35

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lapangan panasbumi Padang Cermin merupakan salah satu lokasi potensi energi panasbumi yang terletak di Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung. Status pekerjaan yang sampai saat ini dilakukan di Padang Cermin masih pada tahap eksplorasi. Proses eksplorasi prospek panasbumi dalam rangka mendapatkan sumber daya dan cadangan energi panasbumi, pengembangan proyek, produksi energi dan pemanfaatan energi diperlukan berbagai tahapan yaitu eksplorasi pendahuluan, eksplorasi pendahuluan lanjut, eksplorasi rinci, pemboran eksplorasi, pra studi kelayakan, pemboran deliniasi, studi kelayakan, dan pemboran pengembangan (Suharno, 2013) yang ada menjadi hal penting dalam proses penyelidikan dan pengembangan energi panasbumi. Eksplorasi pendahuluan dan eksplorasi pendahuluan lanjut memegang peran penting dalam tahapan eksplorasi karena pada tahap awal ini dapat menjadi acuan apakah daerah penelitian berpotensi dijadikan pembangkit listrik atau tidak. Hal ini bisa dilihat berdasarkan nilai sumber daya spekulatif dan hipotesis yang menjadi *output* dari eksplorasi pendahuluan dan pendahuluan lanjut, karena sumber daya merupakan bagian dari potensi energi yang diharapkan dapat dimanfaatkan (Putriyana, 2018).

Eksplorasi pendahuluan dilakukan dalam rangka mencari prospek panasbumi yang diketahui berdasarkan informasi geologi dan adanya manifestasi di permukaan. Pada tahap ini data yang diperoleh masih sangat terbatas namun dapat dilakukan spekulasi yang nantinya menghasilkan nilai sumber daya spekulatif yang masih bersifat umum tetapi sudah dapat diketahui apakah

prospek panasbumi yang diteliti cukup baik atau kurang baik untuk dikembangkan. Jika daerah penelitian dirasa layak untuk dikembangkan maka akan dilanjutkan penelitian lebih lanjut dalam eksplorasi pendahuluan lanjutan. Dalam eksplorasi pendahuluan lanjutan dilakukan beberapa penelitian seperti geokimia untuk mengetahui gambaran tipe fluida bawah permukaan, sumber asal fluida, dan perkiraan suhu reservoir. Selain itu dilakukan pula penelitian geofisika menggunakan metode geofisika untuk menghitung luas reservoir atau volume reservoir, dengan sasaran akhir dari eksplorasi pendahuluan lanjut ialah menentukan nilai sumber daya hipotesis. Dari sumber daya hipotesis akan menghasilkan informasi yang lebih informatif mengenai area panasbumi yang dapat dijadikan pertimbangan ke tahap eksplorasi selanjutnya.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian pada tugas akhir ini adalah:

1. Identifikasi karakteristik fluida dan estimasi suhu reservoir sistem panasbumi Padang Cermin berdasarkan analisis geokimia.
2. Menghitung perkiraan luas area prospek panasbumi berdasarkan pemetaan area alterasi lapangan panasbumi Padang Cermin.
3. Menghitung nilai sumber daya spekulatif dan sumber daya hipotesis sistem panasbumi Padang Cermin.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Penggunaan data geokimia fluida dilakukan untuk mengetahui karakteristik fluida, reservoir dan perkiraan suhu reservoir berdasarkan *geothermometer*.
2. Pemetaan area alterasi panasbumi dilakukan menggunakan citra Landsat 8 untuk mencari luas area alterasi pada sistem panasbumi Padang Cermin.
3. Parameter perhitungan potensi sumber daya didapatkan berdasarkan data penelitian dan SNI 136171, 1999.

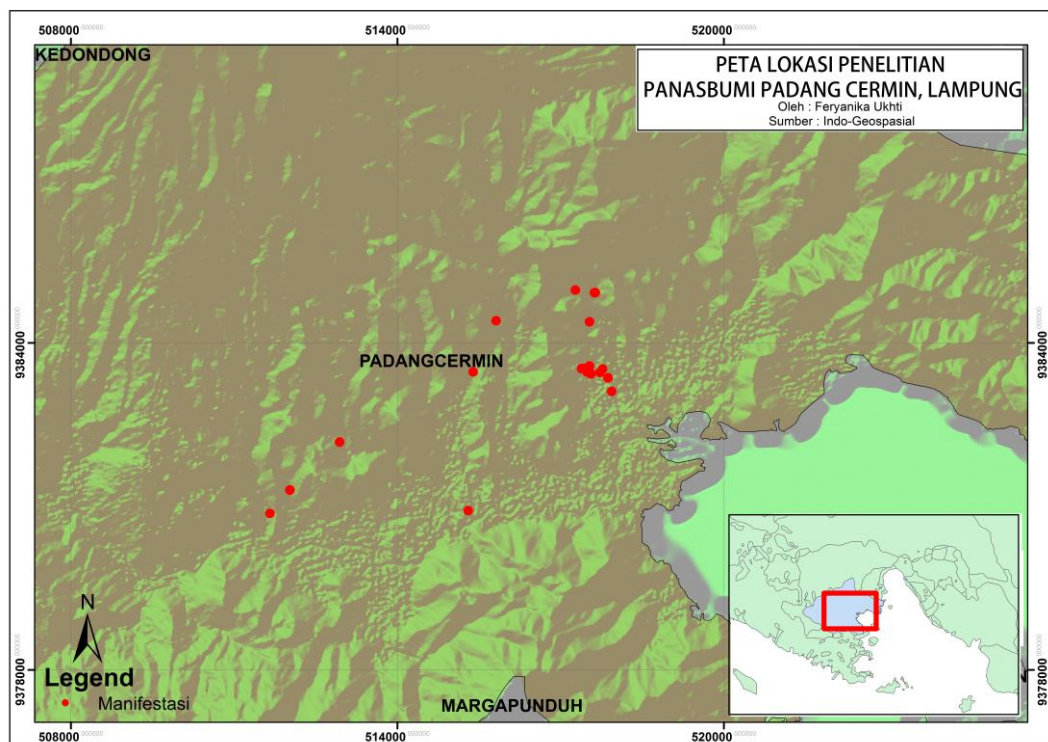
1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah mendapatkan nilai sumber daya spekulatif dan hipotesis yang dapat memberikan gambaran potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari lapangan panasbumi Padang Cermin dan bermanfaat dalam penentuan area potensi panasbumi Padang Cermin ke tahap eksplorasi selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Penelitian

Adapun daerah penelitian berada pada area lapangan panasbumi Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung yang secara geografis berada pada $5^{\circ}23'11,72''$ LS sampai $5^{\circ}37'29,05''$ LS dan $105^{\circ}01'52,30''$ BT sampai $105^{\circ}12'18,60''$ BT. Berikut daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

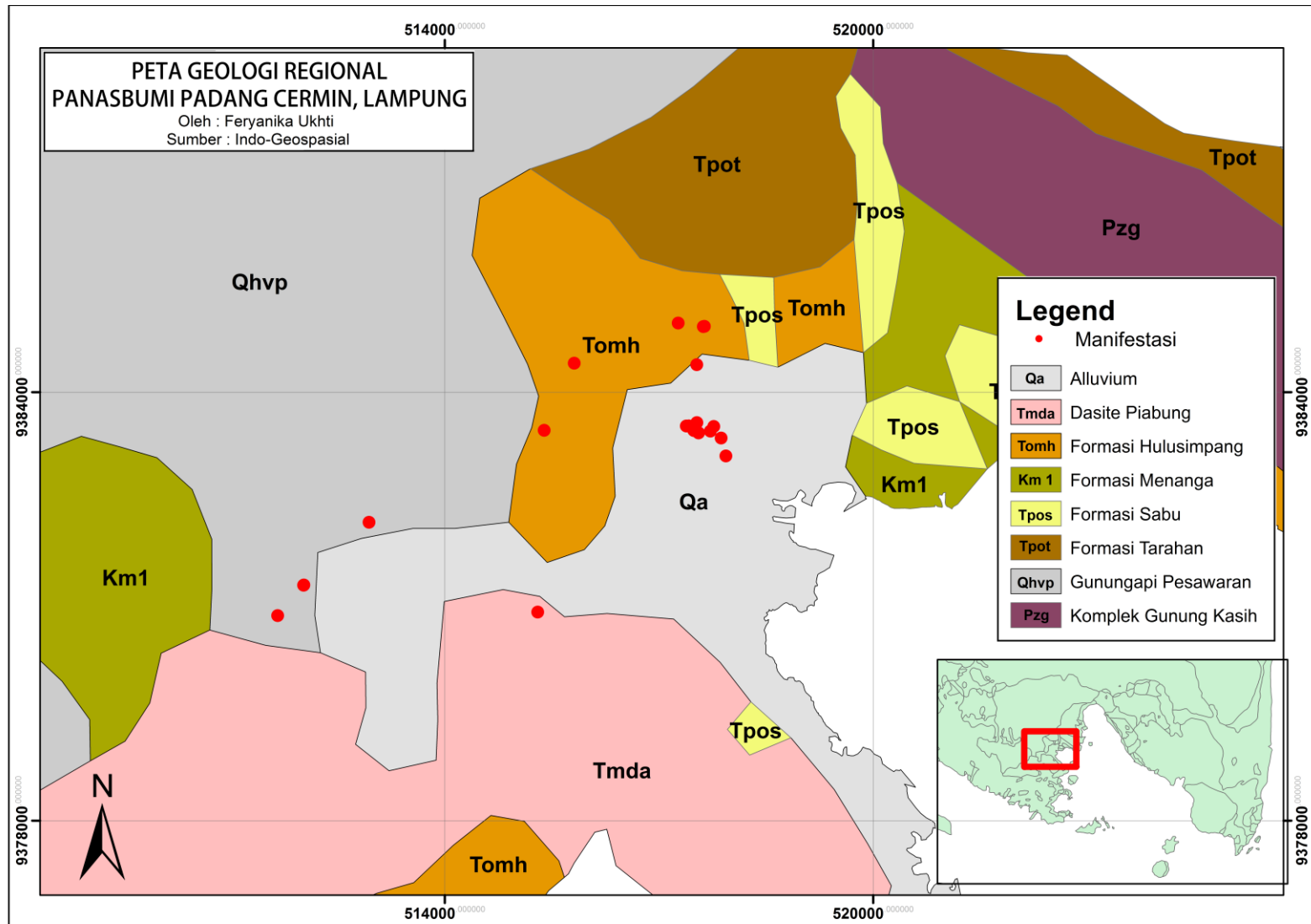
2.2 Geologi Regional

Secara umum daerah penelitian Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung berada pada peta geologi regional Tanjung Karang. Adapun peta geologi regional daerah Padang Cermin seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Dari peta geologi pada Gambar 2 terlihat lokasi penelitian memiliki beberapa formasi batuan diantaranya adalah Komplek Gunung Kasih (Pzg), Alluvium (Qa), Gunungapi Pesawaran (Qhvp), Formasi Tarahan (Tpot), Dasite Piabung (Tmda), Formasi Hulusimpang (Tomh), dan Formasi Sabu (Tpos). Formasi Menanga terdiri atas perselingan serpih, dan batu lempung dengan basal, sisipan rijang dan lensa batu gamping. Komplek Gunung Kasih berisikan sekis pelitan dan sedikit gnes. Alluvium terdiri atas kerakal, kerikil, pasir, lempung dan gambut. Gunungapi Pesawaran terdiri atas lava (andesit-basal), breksi dan ruff erupsi dari Gunung Pesawaran. Formasi Tarahan terdiri atas tuf padu, breksi dengan sisipan rijang. Dasite Piabung terdiri atas dasit. Formasi Hulusimpang terdiri atas lava andesit basal, tuf dan breksi gunungapi terubah dengan lensa batugamping. Dan Formasi Sabu terdiri atas perselingan antara breksi konglomeratan dengan batupasir.

2.3 Penelitian Terdahulu

Lapangan panasbumi Padang Cermin atau Way Ratai sudah banyak dilakukan dalam beberapa penelitian. Dalam pola aliran fluida panasbumi ditemukan mata air panas, geysir, serta ditemukan *terracing* silika sinter yang merupakan karakteristik dari deposit sistem panasbumi. Adanya uap dan air panas yang muncul di permukaan melalui struktur-struktur seperti sesar dan rekahan berkaitan dengan kondisi geologis. Jika dilihat dari kondisi geologinya, sumber air resapan pada lapangan kemungkinan berasal dari dataran inggi yang mengelilingi maupun air laut yang letaknya tak jauh dari lokasi penelitian (Suharno dkk., 2016). Manifestasi di lapangan panasbumi Way Ratai diidentifikasi sebagai bagian dari struktur berarah baratlaut-



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

tenggara melalui mata air panas Bambu Kuning dan Margodadi. Struktur yang diduga sebagai sesar tersebut mempengaruhi hasil pengukuran konduktivitas termal di Way Ratai dimana pada penelitian metode konduktivitas termal didapatkan konduktivitas berkisar 0,056-0,664 W/mK, resistivitas termal berkisar 1,344-17,527 mK/W, dan suhu terukur berkisar 22,65-52,59°C (Donovan dkk., 2018). Hal ini selaras dengan inversi data *Audio Magnetotelluric* (AMT) di Way Ratai yang juga menggambarkan konseptual model panasbumi dengan *cap rock* berada pada kedalaman 100-750 meter, reservoir berada pada kedalaman 300-1600 meter dan batuan *basement* yang berada pada kedalaman 700-3000 meter (Suryadi dkk., 2017). Selain itu pada hasil pengolahan data magnetik penampang *forward modelling reduce to pole* regional teridentifikasi zona reservoir pada formasi Tomh, lalu dari hasil penampang kontur dan inversi 3D *reduce to pole* regional dan *pseudo-gravity* regional dapat diketahui memiliki pola persebaran zona reservoir yang mengarah dari utara-selatan menuju tenggara (Iskandar, 2020).

Diagram Na-K-Mg menunjukkan kesetimbangan antara fluida panasbumi, batuan, dan suhu reservoir, dalam suatu penelitian diketahui suhu reservoir 300°C karena sampel penelitian berada pada garis *full equilibrium*. Setelah dibandingkan dengan *geothermometer* Na-K Fournier 1979 sebesar 429°C-439°C dan Na-K Giggenbach 1988 sebesar 421°C-431°C yang jika dibandingkan, nilai yang didapat dari diatas 300°C. Hal ini membuktikan adanya korelasi yang baik antara kedua metode tersebut (Virgo dkk., 2012). Pada penelitian lainnya, berdasarkan diagram Na-K-Mg reservoir memiliki suhu sekitar 287°C-297°C, sedangkan jika dihitung berdasarkan *geothermometer* Na-K suhu reservoir diatas 280°C dengan komposisi air daerah penelitian adalah air karbonat dan air klorida (Suprianto dkk., 2012). Korelasi antara kedua *geothermometer* ini dipakai kembali pada suatu penelitian dimana temperatur yang dihitung menggunakan *geothermometer* Na-K dan diagram Na-K-Mg menunjukkan suhu lebih dari 300°C dengan komposisi air daerah penelitian adalah karbonat sulfat (Karyanto, 2012).

Berdasarkan analisis Cl-SO₄-HCO₃ dan Na-K-Mg sistem panasbumi Padang Cermin menunjukkan tipe air panasbumi klorida di area Padang Cermin dengan area manifestasi ada yang berada di area *partial equilibrium* dan *immature water*, sedangkan di manifestasi Margodadi terindikasi air karbonat dalam kondisi *partial equilibrium*. Reservoir panasbumi Padang Cermin dapat dikatakan sebagai sistem panasbumi suhu tinggi jika dibandingkan dengan sistem panasbumi Wairakei, Selandia Baru (Suharno dkk., 2015). Berikutnya dari analisis citra Landsat-8 menunjukkan bahwa mineral alterasi yang tersebar pada Lapangan Panasbumi Way Ratai ialah mineral *iron oxide* dan mineral lempung yang berjenis propilitik dengan estimasi suhu berkisar 100°C sampai 250°C. Analisis geokimia menunjukkan tipe air klorida sama seperti penelitian oleh Suharno dkk., 2015 yang berasal dari area *upflow* dengan suhu reservoir berkisar 196°C sampai 218°C berdasarkan *geothermometer* Na-K (Kurnia, 2018). Sedangkan suhu reservoir berdasarkan sampel SiO₂ adalah sebesar 131,8°C, sesuai dengan zona *steam loss* yaitu 100°C-250°C (Suharno, 2016).

Suhu air panas di manifestasi Padang Cermin hampir mendekati titik air didid air murni dimana suhu mulai dari 85°C-95°C. Air panas diduga selain berasal dari air meteorik, berasal juga dari air laut mengingat area penelitian adalah wilayah pesisir. Silica sinter ditemukan di beberapa manifestasi dimana silika sinter umumnya terbentuk di keadaan yang kaya akan dilika dan mendingin dengan sangat cepat. Adapun luas atau sebaran manifestasi panasbumi Padang Cermin diperkirakan berukuran ± 5 km² (Suharno, 2015). Sistem panasbumi Way Ratai didominasi oleh air yang dapat disimpulkan bahwa sistem panasbumi Way Ratai termasuk dalam kategori *liquid dominates system* (Suharno, 2016). Adapun besar potensi sumber daya spekulatif lapangan panasbumi Way Ratai sebesar 6.4 MWe yang dihitung dengan Metode *Heat Loss*, tetapi dalam penelitian ini parameter luas area yang digunakan hanya terbatas pada luasan manifestasi saja tidak menyeluruh pada area alterasi yang jika diperkirakan hanya sekitar 10% dari luas area alterasi (Laporan KP Penulis, 2020).

Berdasarkan buku potensi Panasbumi yang dikeluarkan oleh ESDM tahun 2017 dikatakan bahwa Indonesia teridentifikasi 331 titik potensi yang terdiri dari sumber daya sebesar 11.073 MW dan cadangan sebesar 17.506 MW yang tersebar di 30 provinsi. Adapun sebaran sumberdaya yang tersebar di beberapa area seperti pada Tabel 1 yang menunjukkan besar sumber daya spekulatif dan hipotesis di beberapa area potensi panasbumi disertakan dengan status pengembangannya dan keterangan pembangkitnya. Seperti pada WKP Seulawah Agam yang memiliki sumber daya hipotesis sebesar 63 MWe dengan status rencana pengembangan 1 Unit Pembangkit 55 MWe pada Tahun 2024 berdasarkan *Excevutive Summary* PT Pertamina Geothermal Energy Tahun 2011, WKP Sarulla dengan sumber daya hipotesis sebesar 100 MWe yang sudah terpasang pembangkit 110 MWe sebanyak 3 Unit berdasarkan Laporan Sarulla Operation Limited, WKP Cibereum Parabakti dengan sumber daya spekulatif sebesar 225 MWe yang sudah terpasang 3 Unit Pembangkit 60 MWe dan 65,6 MWe atau sebanyak 6 Unit Pembangkit berdasarkan Laporan Star Energy Geothermal Salak Tahun 2017, WKP Hululais dan Ulubelu berdasarkan laporan PT Pertamina Geothermal Energy Tahun 2014, WKP Gunung Gede Pangrango berdasarkan Laporan Akhir Evaluasi Terpadu PT Pertamina (Persero), dan beberapa area lainnya seperti WKP Pangalengan dan WKP Dieng yang berdasarkan Laporan PT Geo Dipa Energi.

Tabel 1. Potensi Sumber Daya Panasbumi (ESDM, 2017)

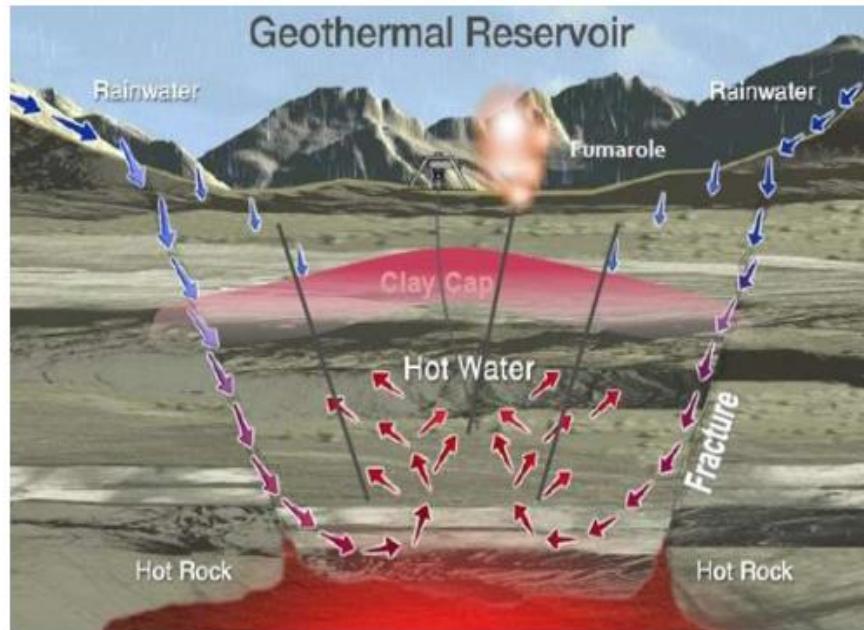
No	Area	Spekulatif (Mwe)	Hipotesis (Mwe)	Status	Keterangan
1	WKP Seulawah Agam	-	63	Rencana pengembangan	1 Unit Pembangkit 55 Mwe Tahun 2024
2	Potensi Alue Long	100	-	Eksplorasi	-
3	WKP Sarulla	-	100	Terpasang pembangkit	3 Unit Pembangkit 110 Mwe
4	Sibubuhan	-	100	Eksplorasi	-
5	WKP Graho Nyabu	225	-	Rencana pengembangan	2 Unit Pembangkit 55 Mwe Tahun 2025
6	WKP Hululais	225	223	Terpasang pembangkit	1 Unit Pembangkit 55 Mwe
7	Ulubelu	-	156	Terpasang pembangkit	4 Unit Pembangkit 55 Mwe
8	Potensi Suoh Antatai	-	163	Eksplorasi	-
9	WKP Cibeureum Parabakti	225	-	Terpasang pembangkit	3 Unit Pembangkit 60 Mwe dan 65,6 Mwe
10	WKP Gunung Gede Pangrango	75	-	Rencana pengembangan	1 Unit Pembangkit 55 Mwe tahun 2025
11	WKP Gunung Tangkuban Perahu	-	100	Rencana pengembangan	1 Unit Pembangkit 45 Mwe Tahun 2025
12	WKP Pangalengan	-	150	Terpasang pembangkit	1 Unit Pembangkit 110 Mwe, 117 we, dan 55 Mwe
13	WKP Dieng	-	200	Terpasang pembangkit	1 Unit Pembangkit 60 Mwe
14	WKP Gunung Ungaran	-	50	Rencana pengembangan	1 Unit Pembangkit 55 Mwe Tahun 2024
15	WKP Blawan Ijen	-	92	Rencana pengembangan	1 unit Pembangkit 55 Mwe Tahun 2021

III. TEORI DASAR

3.1 Sistem Panasbumi

Panasbumi secara umum dapat diartikan sebagai jumlah kandungan panas yang tersimpan dalam bumi dan membentuk sistem panasbumi yang telah ada sejak bumi terbentuk. Sistem panasbumi tersebut mencakup sistem hidrotermal yang merupakan sistem tata air, proses pemanasan dan kondisi sistem dimana air yang terpanasi terkumpul sehingga sistem panasbumi mempunyai persyaratan harus tersedianya air, batuan pemanas, batuan sarang dan batuan penutup (Alzwar dkk., 1987).

Sistem panasbumi tersusun oleh beberapa parameter kebumihan seperti sumber panas, reservoir, batuan penudung, sumber fluida dan siklus hidrologi, yang ada pada Gambar 3. Air hujan (*rain water*) akan merembes ke dalam tanah melalui saluran pori-pori atau rongga-rongga di antara butir-butir batuan, sehingga air dengan leluasa menerobos turun ke batuan panas (*hot rock*). Air tersebut terakumulasi dan terpanaskan oleh batuan panas (*hot rock*), akibatnya temperatur air meningkat, volume bertambah dan tekanan menjadi naik. Tekanan yang terus meningkat menyebabkan air panas naik ke atas melalui celah, retakan dan pori-pori yang berhubungan di dalam permukaan. Sumber panasbumi berasal dari distribusi suhu dan energi panas di bawah permukaan bumi. Suhu di permukaan ditentukan oleh konduksi panas melalui batuan padat dan konveksi di dalam sirkulasi fluida. Suhu bumi bertambah besar secara konstan selaras dengan bertambahnya kedalaman posisi di bawah permukaan bumi (Suharno, 2012).



Gambar 3. Sistem panasbumi (Daud, 2010)

3.2 Manifestasi Panasbumi

Manifestasi panasbumi adalah sirkulasi fluida yang berasal dari daerah *recharge* yang muncul ke permukaan melalui *upflow* dan *outflow* dan fluida tersebut akan keluar dan melewati batuan, komposisi mineral pada batuan tersebut berubah dan menghasilkan mineral ubahan kemudian fluida yang muncul ke permukaan akan menjadi air panas atau uap air melalui rekahan batuan (Ibradi dkk., 2019).

Panasbumi dipermukaan dapat berbentuk seperti *warm ground*, *steaming ground*, kolam lumpur panas, kolam air panas, fumarole, sumber air panas, rembesan, geyser, dan daerah alterasi hidrotermal selalu dikaitkan dengan proses geologi dan model sistem panasbumi. *Warm ground* adalah tanah panas yang keluar karena konduktivitas termal pada lapisan bagian atas dan gradien temperatur lebih dari 25°-30°C. Aliran panas yang tinggi dapat di deteksi dengan infra merah. *Steaming ground* diartikan sebagai tanah beruap. Uap yang keluar berasal dari penguapan air panas pada kedalaman dangkal atau dari kedalaman yang dalam. Kolam lumpur panas atau *mud vulkano* adalah kubangan lumpur panas, sedikit mengandung uap dan gas CO₂ dan

tidak terkondensasi. Gas CO₂ keluar dari salah satu celah dengan temperature lebih kecil dari titik didih. Kolam air panas biasanya terdapat di tengah-tengah suatu kubahan hidrotermal minor purba dan bisa juga berbentuk *hot lake*. Kolam air panas terjadi dari fumarole yang sudah tidak aktif lagi. Kolam air panas yang bersistem uap air biasanya berlumpur dan berwarna abu-abu, sedang yang bersistem air panas biasanya bersih dan sedikit abu-abu, yang bersistem air panas asam terjadi pada kedalaman yang sangat dalam. Fumarol adalah hembusan gas magnetik dan uap yang keluar dengan suhu tinggi, dimana uap air umumnya lebih banyak dengan temperatur kurang dari 100°C (Basid dkk., 2014).

Manifestasi panasbumi di permukaan sangat penting untuk mendapatkan perkiraan awal. Data hasil analisis air yang diambil dari manifestasi permukaan, sangat berguna untuk memperkirakan asal sumber air, jenis reservoir, suhu dibawah permukaan, karakter dan jenis fluida reservoir (Suharno, 2013).

3.3 Geokimia Panasbumi

Geokimia panasbumi mempelajari komposisi kimia fluida panasbumi (air dan uap) untuk panas mengetahui karakteristik fluida dan proses yang mempengaruhi tersebut, baik di reservoir maupun saat fluida tersebut naik ke permukaan. Survey geokimia bertujuan untuk mencari indikasi mineralisasi pada suatu daerah dimana metode ini digunakan untuk memperoleh data yang berkaitan dengan pola geokimia yang tidak normal atau dikenal dengan istilah anomali (Fadhly dkk., 2017).

Tipe air panasbumi berdasarkan kandungan anion dominan berupa Cl, SO₄, dan HCO₃ terbagi menjadi (Nicholson dalam Rony dkk., 2019):

a. Air Klorida

Merupakan tipe fluida panasbumi dalam atau *deep geothermal fluid* yang umumnya ditemukan pada sistem panasbumi bertemperatur tinggi. Mata air panas dengan tipe air klorida memiliki temperatur tinggi, debit yang

besar, rasio Cl/SO₄ tinggi, pH 5-9 dan kandungan klorida yang tinggi yang berasal langsung dari reservoir.

b. Air Sulfat

Merupakan tipe fluida panasbumi yang terbentuk akibat kondensasi gas panasbumi pada air permukaan Hidrogen Sulfida (H₂S) yang terdapat dalam uap panas tersebut mengalami oksidasi menjadi sulfat. Tipe air panas ini juga disebut sebagai *steam-heated water*. Mata air panas bertipe sulfat biasanya berasal dari reservoir dangkal, memiliki pH rendah, kandungan klorida rendah dan sulfat tinggi.

c. Air Bikarbonat

Merupakan tipe fluida panasbumi yang terbentuk akibat kondensasi uap dan gas ke dalam air permukaan yang minim oksigen. Tipe air bikarbonat biasanya memiliki pH mendekati netral akibat adanya reaksi dengan batuan selama migrasi lateralnya.

3.3.1 *Geothermometer*

Geothermometer merupakan salah satu parameter untuk menghitung atau untuk mengukur tingkat kepanasan air yang ada dalam wilayah sumber air panas dengan menggunakan thermometer, dan yang menjadi objek pengukurannya adalah kandungan unsur kimia yang ada di dalam air tersebut. Adapun cara yang lain digunakan adalah dengan menggunakan persamaan yang telah ditetapkan tergantung unsur-unsur yang terkandung di dalam air (Wowa dan Wiloso, 2017).

Aplikasi konsep *geothermometer* berdasar asumsi bahwa apabila fluida bergerak dengan cepat ke permukaan, fluida akan mempertahankan komposisi kimianya selama perjalanan dari reservoir ke permukaan, karena tidak atau sedikit sekali mengalami pencampuran. Namun pada kenyataannya fluida dapat mengalami perubahan dalam perjalanan dari reservoir permukaan. Perubahan tersebut terjadi karena adanya proses *mixing*, *dilution*, *boiling*, dan juga pelarutan batuan samping, sehingga

dalam perhitungan *geothermometer* harus mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, dan diusahakan memilih unsur/senyawa yang tepat, dengan kata lain diperlukan ‘diagnosa’ untuk memilih *geothermometer* yang cocok. Persyaratan dasar adalah bahwa fluida yang dipakai adalah fluida yang berasal dari reservoir dan hasil analisis kimianya harus baik, yakni, *charge balance error* kurang dari 5% (Ariwibowo, 2011).

a. *Geothermometer Silika*

Didaerah panasbumi silika dijumpai pada berbagai kedalaman dalam berbagai bentuk seperti kuarsa, kalsedon, kristobalit, dan silika amorf. Kuarsa adalah bentuk silika yang paling stabil dan kelarutannya paling rendah. Kelarutan kuarsa hampir tidak berpengaruh oleh adanya garam-garam terlarut (Wowa dan Wiloso, 2017).

Geothermometer silika dibuat berdasar kelarutan berbagai jenis silika dalam air sebagai fungsi dari temperatur yang ditentukan dengan eksperimen. Reaksi yang menjadi dasar pelarutan silika dalam air adalah:



(Ariwibowo, 2011).

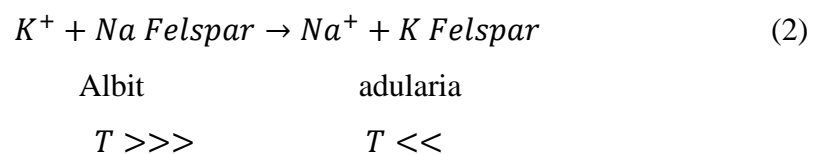
Adapun beberapa jenis persamaan *geothermometer* silika ditampilkan pada Tabel 2 dimana penerapannya sangat tergantung kondisi fluida dan jenis endapan silika. Persamaan-persamaan tersebut dikembangkan berdasar pendekatan terhadap nilai kurva kelarutan macam-macam (kuarsa, kalsedon, kristobalit, opal, dan silika amorf). *Geothermometer* kuarsa umumnya baik digunakan untuk reservoir bertemperatur lebih dari 150°C. Dibawah 150°C kandungan silika dikontrol oleh kalsedon. Persamaan yang terdapat pada Tabel 2 merupakan persamaan oleh Fournier dalam Ariwibowo (2011) dengan enam jenis persamaan dan paling utama adalah *geothermometer* kuarsa yang memerlukan diagnose ada tidaknya *steam loss*/kehilangan uap pada fluida yang dianalisis.

Tabel 2. Persamaan *Geothermometer* Silika (Ariwibowo, 2011)

<i>Geothermometer</i>	Persamaan	Referensi
Quartz-no steam loss	$T = \frac{1309}{5.19 - \log c} - 273.15$	Fournier (1977)
Quartz-maximum Steam loss at 100°C	$T = \frac{1522}{5.75 - \log c} - 273.15$	Fournier (1977)
Quartz	$T = 42.198 + 0.28831 \text{ SiO}_2 - 3.6686 \times 10^{-4} (\text{SiO}_2)^2 + 3.1665 \times 10^{-7} (\text{SiO}_2)^3 + 77.034 \log \text{SiO}_2$	Fournier and Potter (1982)
Quartz	$T = 53.500 + 0.236C - 0.05559 \times 10^{-4}C^2 + 0.1772 \times 10^{-7}C^3 + 88.390 \log C$	Amorsson (1985)
Chalcedony	$T = \frac{1032}{4.69 - \log c} - 273.15$	Fournier (1977)
Chalcedony	$T = \frac{1112}{4.91 - \log c} - 273.15$	Amorsson (1985)
Alpha Cristobalite	$T = \frac{1000}{4.78 - \log c} - 273.15$	Fournier (1977)
Beta Cristobalite	$T = \frac{781}{4.51 - \log c} - 273.15$	Fournier (1977)
Amorphous Silica	$T = \frac{731}{4.52 - \log c} - 273.15$	Fournier (1977)
C = Konsentrasi SiO ₂		

b. *Geothermometer* Na-K

Respon rasio konsentrasi Na terhadap K yang menurun terhadap meningkatnya temperature fluida didasarkan pada reaksi pertukaran kation yang sangat bergantung pada suhu yaitu:



Penerapan *Geothermometer* Na-K dapat diterapkan untuk reservoir air klorida dengan T lebih dari 180°C. Keunggulan *geothermometer* ini

yaitu tidak banyak terpengaruh oleh *dilution* maupun *steam loss*. *Geothermometer* ini kurang bagus untuk T kurang dari 100°C , juga untuk air yang kaya Ca banyak berasosiasi dengan endapan travertin. Adapun pada Tabel 3 merupakan beberapa persamaan *geothermometer* Na-K.

Tabel 3. Beberapa Persamaan *Geothermometer* Na-K
(Ariwibowo, 2011)

Persamaan	Referensi
$T = \frac{855.6}{0.857 + \log\left(\frac{Na}{K}\right)} - 273.15$	(Truesdell, 1976)
$T = \frac{833}{0.780 + \log\left(\frac{Na}{K}\right)} - 273.15$	(Tonani, 1980)
$T = \frac{1319}{1.699 + \log\left(\frac{Na}{K}\right)} - 273.15 \text{ (250 - 350}^{\circ}\text{C)}$	(Arnorsson et al, 1983)
$T = \frac{1217}{\log\frac{Na}{K} + 1.483} - 273$	(Fournier, 1979)
$T = \frac{1178}{1.470 + \log\left(\frac{Na}{K}\right)} - 273.15$	(Nieva and Nieva, 1987)
$T = \frac{855.6}{\log\frac{Na}{K} + 1.75} - 273$	(Giggenbach, 1988)

c. *Geothermometer* Na-K-Ca

Geothermometer Na-K-Ca diterapkan untuk air yang memiliki konsentrasi Ca tinggi. *Geothermometer* ini bagus dalam mengidentifikasi suhu dengan konsentrasi unsur Ca yang besar (Karingithi, 2009). Batasan teoritis untuk *geothermometer* ini adalah ekuilibrium antara Na dan K Felspar serta konveksi mineral kalsium alumino silikat (misalnya plagioklas) menjadi kalsit. Asumsi yang digunakan untuk membuat persamaan ini adalah:

1. Ada kelebihan silika (biasanya benar).

2. Aluminium tetap berada pada fase padat (biasanya benar karena fluida biasanya miskin Al).

Adapun rumus persamaan untuk *geothermometer* ini adalah:

$$T = \frac{1647}{\left(\log\left(\frac{Na}{K}\right)\right) + \beta\left(\log\left(\frac{Ca}{Na}\right) + 2.06\right) + 2.47} - 273.15 \quad (3)$$

Ada 2 uji untuk menerapkan *geothermometer* ini yaitu :

1. Jika $\left(\log\left(\frac{Ca}{Na}\right) + 2.06\right) < 0$, gunakan $\beta = 1/3$ dan hitung $T^{\circ}C$.
2. Jika $\left(\log\left(\frac{Ca}{Na}\right) + 2.06\right) > 0$, gunakan $\beta = 4/3$ dan hitung $T^{\circ}C$, jika T terhitung kurang dari $100^{\circ}C$ maka hasil dapat diterima. Jika hasil perhitungan T pada (2) $> 100^{\circ}C$, hitung ulang $T^{\circ}C$ dengan $\beta = 1/3$.

Kisaran temperatur yang bagus untuk *geothermometer* Na-K-Ca adalah $120-200^{\circ}C$, selebihnya tidak terlalu bagus. Keterbatasan lainnya adalah temperatur sangat dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi karena *boiling* dan *dilution*. *Boiling* menyebabkan *loss* pada CO_2 , terjadi pengendapan kalsit, Ca keluar dari larutan, sehingga T hasil perhitungan terlalu tinggi.

d. Diagram Na–K–Mg

Penggunaan diagram Na-K-Mg digunakan untuk menunjukkan kandungan dominan fluida adalah Mg yang mengindikasikan banyak pencampuran dengan air tanah (Almuhsinin, 2019). Didalam reservoir, reaksi kimia antara Na dengan K adalah reaksi kesetimbangan kimia sehingga rasio Na/K yang dihasilkan masih murni dalam kondisi reservoir. Kondisi ini disebut dengan kondisi *full equilibrium* (kesetimbangan penuh). Untuk Na dan K adalah unsur yang tidak mudah larut sehingga saat air bergerak ke permukaan, unsur Na dan K tidak akan bereaksi dengan batuan sekitar (Giggenbach, 1988).

Saat air naik ke permukaan, akan terjadi pencampuran dengan air meteorik yang masuk ke bawah permukaan. Air meteorik mengandung unsur Na dan K serta terdapat unsur Mg. Unsur Na dan K dari reservoir akan bercampur dengan unsur Na dan K dari permukaan sehingga akan mempengaruhi rasio Na/K ditambah sedikit kontaminasi oleh unsur Mg. Hal ini menyebabkan reaksi kesetimbangan kimia akan berkurang tetapi tetap mencerminkan kondisi reservoir. Kondisi ini adalah kondisi *partial equilibrium* (kesetimbangan parsial). Semakin air bergerak mendekati permukaan, kontaminasi dari unsur Mg akan semakin banyak dan akan menyebabkan reaksi kesetimbangan semakin rusak. Kondisi ini adalah kondisi *immature waters*. Evaluasi dari analisis konsentrasi Na, K, dan Mg menggunakan diagram ini dapat memberikan perbedaan antara air yang cocok atau tidak cocok untuk dianalisis menggunakan *geothermometer* ion unsur terlarut (Giggenbach, 1988). Posisi dari titik plot data dalam diagram segitiga dapat diperoleh dengan pertama-tama menjumlahkan konsentrasi (dalam mg/kg) unsur - unsur yang terlibat.

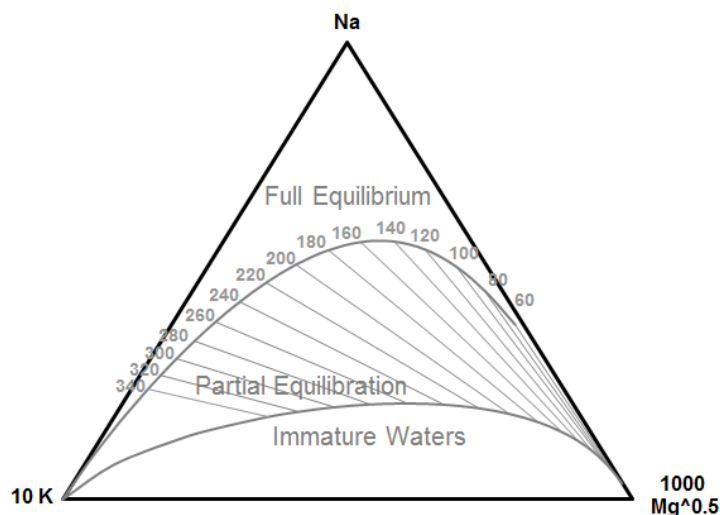
$$\Sigma = Na + (10xK) + (1000x\sqrt{Mg}) \quad (4)$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung persentase dari ketiga senyawa tersebut, kemudian melakukan *plotting* pada diagram segitiga Na-K-Mg

$$\%Na = (Na/\Sigma) \times 100\% \quad (5a)$$

$$\%K = (10K/\Sigma) \times 100\% \quad (5b)$$

$$\%Mg = (1000\sqrt{Mg}/\Sigma) \times 100\% \quad (5c)$$



Gambar 4. Diagram segitiga Na-K-Mg (Powel dan Cumming, 2010)

3.3.2 Geoindikator dan *Tracer*

Geoindikator merupakan metode untuk menentukan zona *upflow* dan *outflow* pada sistem panasbumi. Zat-zat terlarut dibagi menjadi geindikator dan *tracer* (Giggenbach dalam Rony dkk., 2019). *Tracer* secara geokimia bersifat *inert* yang artinya akan sulit berinteraksi dengan senyawa lain dan apabila berada dalam fluida panasbumi akan bersifat tetap dan dapat dilacak asal-usulnya. Geoindikator adalah zat terlarut yang bersifat reaktif dan mencerminkan lingkungan ekuilibrium atau kesetimbangan (Rony dkk., 2019).

Geoindikator adalah zat terlarut yang bersifat reaktif dan mencerminkan lingkungan ekuilibrium atau kesetimbangan, misalnya Na, K, Li, Rb dan Cs. Boron dalam bentuk H_3BO_3 atau HBO_2 merupakan unsur diagnostik yang artinya dapat digunakan untuk melacak asal-usul dari fluida panasbumi. Konsentrasi Na dan K dikontrol oleh interaksi fluida dengan batuan yang bergantung pada temperature. Na merupakan kation utama pada fluida panasbumi dengan konsentrasi yang berkisar 200 sampai 2000 ppm. Apabila perbandingan Na dengan K semakin kecil maka dapat diinterpretasikan bahwa temperatur semakin tinggi. Unsur Li, Rb, dan Cs merupakan unsur yang mudah larut dari batuan. Li, Rb dan Cs merupakan

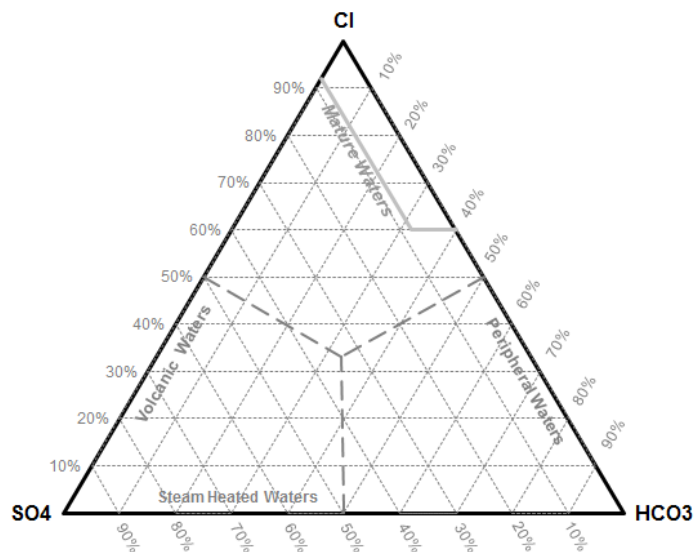
unsur yang sering dipakai bersama Cl dan B untuk karakterisasi fluida. Ketiga unsur ini mudah bergabung dengan mineral sekunder, sehingga diperoleh semakin jauh jarak migrasi dari fluida ke permukaan maka konsentrasinya akan semakin berkurang. Konsentrasi umum Li berkisar kurang dari 20 ppm, Rb kurang dari 2 ppm dan Cs kurang dari 2 ppm. Li sering terserap oleh mineral klorit, kuarsa dan mineral lempung sehingga pada zona *upflow* rasio B/Li rendah sedangkan pada zona *outflow* rasio B/Li tinggi (Ariwibowo, 2011).

Penggunaan unsur Cl, B, Li, Na, K dan Mg sebagai geoindikator dan *tracer* diterapkan dengan metode sederhana yaitu *plotting* pada diagram segitiga (*ternary plot*). *Plotting* ini merupakan cara yang tepat untuk mengkaji aspek kimia fluida mata air panas maupun fluida sumur panasbumi.

1. Diagram Segitiga Cl-SO₄-HCO₃

Penggunaan komponen anion Cl, SO₄ dan HCO₃ untuk mengetahui komposisi fluida panasbumi karena anion-anion tersebut merupakan zat terlarut yang paling banyak dijumpai dalam fluida panasbumi. Cl, SO₄ dan HCO₃ dapat digunakan untuk menginterpretasi kondisi dan proses yang berlangsung di dekat permukaan, yakni kurang dari 1km (Herdianita dan Priadi, 2006).

Konsentrasi Cl tinggi dalam mata air mengindikasikan air berasal langsung dari reservoir, dengan minimal pencampuran atau pendinginan secara konduksi. Kadar Cl rendah pada air (yang tidak menunjukkan karakteristik uap panas) dari mata air panas adalah karakteristik dari pengenceran air tanah. Konsentrasi dapat berkisar dari kurang dari 10 sampai lebih 100000 mg/kg, namun nilai-nilai orde 1000 mg/kg adalah khas dari jenis air klorida.



Gambar 5. Diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ (Powel dan Cumming, 2010)

Plotting ke diagram Cl-SO₄-HCO₃ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 agar mempermudah dalam pengelompokan serta pemeriksaan *trend* sifat kimia fluida. Posisi data diagram segitiga dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S = [Cl] + [SO_4] + [HCO_3] \quad (6a)$$

$$\%Cl = \frac{100 \times Cl}{S} \quad (6b)$$

$$\%SO_4 = \frac{100 \times SO_4}{S} \quad (6c)$$

$$\%HCO_3 = \frac{100 \times HCO_3}{S} \quad (6d)$$

3.4 Landsat-8

Sistem satelit LDCM atau Landsat-8 adalah misi kerja sama antara NASA dan USGS. Program Landsat-8 menetapkan sensor pencitra Thermal Infrared Sensor (TIRS) sebagai pilihan (*optional*), yang dapat menghasilkan kontinuitas data untuk kanal – kanal inframerah termal yang tidak dicitrakan oleh OLI (*Operational Land Imager*). Landsat-8 dapat digunakan untuk aplikasi pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan di Indonesia (Sitanggang, 2010). Analisis citra landsat umum digunakan dalam

mengetahui kondisi di permukaan bumi dengan melihat karakter reflektansi dan adsorpsi gelombang Elektromagnetik dari objek-objek yang berada di permukaan bumi. Salah satu aplikasi dari Landsat-8 ini adalah untuk mengetahui keberadaan alterasi hidrotermal dalam skala regional (Putra dkk., 2017).

Kehadiran alterasi hidrotermal dapat diketahui dengan mengambil beberapa kombinasi saluran yang memiliki nilai reflektansi tinggi terhadap mineral-mineral alterasi hidrotermal. Saluran 4 (0,636-0,673 μm), saluran 2 (0,452-0,512 μm), saluran 5 (0,851-0,879), saluran 6 (1,566-1,650 μm), saluran 7 (2,107-2,294 μm), dan saluran 10 (10,600-11,190 μm) digunakan dalam menentukan persebaran mineral alterasi hidrotermal. Pada beberapa saluran, dilakukan metode rasio yaitu metode membagi nilai panjang gelombang suatu saluran dengan saluran yang lain untuk memperjelas kenampakan suatu objek di permukaan bumi yang sulit atau tidak dapat dilihat oleh saluran yaitu pada saluran 4 dirasiokan dengan saluran 2, dan saluran 6 dirasiokan dengan saluran 7 untuk mendapatkan nilai pantulan yang semakin baik dari mineral alterasi hidrotermal di permukaan. Setelah dilakukan rasio dapat dilakukan metode *density slicing* yaitu metode pengambilan jumlah nilai piksel yang menunjukkan keberadaan mineral di permukaan bumi berdasarkan pantulannya. Diketahui bahwa mineral alterasi Lempung dan karbonat terpetakan melalui *density slicing* pada rasio 6/7 dengan rentang nilai piksel 208,45-255 (Pour dalam Putra dkk., 2017).

3.5 Sumber Daya Panasbumi

Sumber daya atau *resource* adalah bagian dari potensi energi yang diharapkan dapat dimanfaatkan. Klasifikasi sumber daya panasbumi berdasarkan tahapan penyelidikan geologi, geokimia, geofisika, teknik reservoir, dan estimasi kesetaraan listrik yang disusun dalam SNI 6009:2017 terbagi menjadi dalam dua kelas yaitu kelas sumber daya spekulatif dan hipotesis (Putriyana, 2018).

3.5.1 Sumber Daya Spekulatif

Sumber daya spekulatif adalah hasil dari eksplorasi pendahuluan yang masih sangat umum karena menggunakan data reservoir yang sangat terbatas, namun sudah diperoleh gambaran sumber daya energi panasbumi. Eksplorasi pendahuluan dilakukan dalam rangka mencari daerah prospek panasbumi dengan melihat tanda-tanda adanya sumber daya panasbumi. Secara garis besar pekerjaan yang dilakukan pada tahap eksplorasi pendahuluan terdiri dari: (1) studi literatur, (2) tinjau lapangan, (3) analisis data, (4) menentukan daerah prospek, (5) spekulasi besar potensi energi, dan (6) menentukan jenis survey yang akan dilakukan selanjutnya. Dengan hasil yang dicapai adalah: (1) peta sebaran manifestasi, (2) suhu dan pH fluida di permukaan, (3) Suhu bawah permukaan (estimasi), dan (4) sumber daya spekulatif (Suharno, 2013).

Nilai sumber daya spekulatif memiliki tingkat kepastian paling rendah dan dihitung hanya berdasarkan manifestasi permukaan, namun berdasarkan nilai sumber daya spekulatif yang didapatkan sudah dapat diketahui apakah prospek panasbumi yang diteliti cukup baik atau kurang baik untuk dikembangkan. Luas reservoir dihitung dari penyebaran manifestasi dan batasan geologi, suhu dihitung dengan *geothermometer*, dan daya per satuan luas dihitung dengan asumsi suhu reservoir yang terdapat pada Tabel 4. Adapun perhitungan sumber daya spekulatif dirumuskan sebagai berikut:

$$E_{sd} = A \times Q_e \quad (7)$$

dimana, E_{sd} adalah besarnya sumber daya spekulatif (MWe), A adalah luas daerah prospek panasbumi (km^2), dan Q_e adalah daya listrik per satuan luas (MWe/km^2) (Suharno, 2013).

Tabel 4. Asumsi daya per satuan luas reservoir panasbumi dalam SNI 13617, 1999 (Suharno, 2013).

JENIS RESERVOAR	SUHU RESERVOAR (°C)	DAYA (Qe) Per Satuan Luas (MWe/Km ²)
Suhu rendah	<125	10
Suhu sedang	125-225	12.5
Suhu tinggi	>225	15

3.5.2 Sumber Daya Hipotesis

Sumber daya hipotesis adalah hasil dari eksplorasi pendahuluan lanjut yang bersifat lebih informatif dibandingkan sumber daya spekulatif karena pada eksplorasi pendahuluan lanjut dilakukan beberapa penelitian mengenai geologi, geohidrologi, geokimia, dan geofisika. Penelitian geokimia meliputi pengamatan visul, pengambilan data pH dengan hasil yang diperoleh berupa peta geokimia, gambaran tipe fluida bawah permukaan, sumber asal fluida, distribusi suhu fluida dalam reservoir dan model sistem panasbumi. Penelitian geofisika menggunakan metode geofisika untuk dapat mengetahui luas reservoir atau volume reservoir. Adapun perhitungan sumber daya spekulatif dirumuskan sebagai berikut:

$$E_c = 0,2317 A H_t (T - T_{cut-off}) \quad (8)$$

dimana, E_c adalah sumber daya hipotesis (MWe), A adalah luas daerah prospek panasbumi (km²), H_t adalah ketebalan reservoir (km), T adalah suhu reservoir (°C), dan $T_{cut-off}$ adalah suhu *cut-off* (°C) yang diambil sesuai suhu reservoir berdasarkan Tabel 5 (Suharno, 2013).

Tabel 5. Suhu *cut-off* reservoir panasbumi dalam SNI 13617, 1999 (Suharno, 2013).

JENIS RESERVOAR	SUHU RESERVOAR (°C)	SUHU CUT-OFF (°C)
Suhu rendah	<125	90
Suhu sedang	125-225	120
Suhu tinggi	>225	180

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan mulai tanggal 01 Januari 2021 di Laboratorium Pengolahan dan Pemodelan Data Geofisika, Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung dengan rincian jadwal penelitian seperti pada Tabel 5.

4.2 Alat dan Bahan

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

1. Laptop
2. Data Citra Landsat-8 dengan *path/row* 123/064 pada tanggal 02-01-2018.
3. Tebal Reservoir berdasarkan pengolahan data AMT
4. Data geokima fluida lapangan panasbumi Padang Cermin.
5. Perangkat lunak :
 - a. QGIS Versi 3.8
 - b. Envi Versi 5.3
 - c. ArcGis Versi 10.3
 - d. Ms. Excel

4.3 Jadwal Penelitian

Adapun rincian waktu jadwal penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 6.

4.4 Tahap Pengolahan Data

4.4.1 Pengolahan Geokimia Fluida

Pengolahan data geokimia daerah penelitian yaitu dengan melakukan:

1. *Plotting* pada diagram Cl-SO₄-HCO₃ untuk mengetahui karakteristik fluida reservoir.
2. Perhitungan berbagai jenis *geothermometer* untuk perkiraan suhu reservoir.

4.4.2 Pengolahan Citra Landsat-8

Dari data citra Landsat-8 yang diperoleh dengan mendownload citra di remotepixel.ca pada *path/row* 123/064 akuisisi tanggal tanggal 02-01-2018 dilakukan pengolahan hingga mendapatkan luasan area alterasi.

1. Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik adalah koreksi dasar citra yang dilakukan untuk menghilangkan noise yang terdapat pada citra sebagai akibat dari adanya distorsi oleh posisi cahaya matahari. Koreksi ini ditujukan untuk memperbaiki nilai pixel supaya sesuai dengan yang seharusnya yang biasanya mempertimbangkan faktor gangguan atmosfer sebagai sumber kesalahan utama. Efek atmosfer menyebabkan nilai pantulan objek dipermukaan bumi yang terekam oleh sensor menjadi bukan nilai aslinya, tetapi menjadi lebih besar oleh karena adanya hamburan atau lebih kecil karena proses serapan (Reza, dkk., 2019) dimana Proses koreksi radiometrik ini dilakukan dengan bantuan *software* QGIS Versi 3.8.

2. Pemotongan Citra

Pemotongan citra dilakukan untuk membatasi area penelitian dengan tujuan agar pengolahan data lebih fokus dan lebih rinci pada area tersebut yang dilakukan dengan *software* ArcGis Versi 10.3.

3. *Band Ratio* dan *Density Slicing*

Citra yang telah dipotong dilakukan *band ratio* pada *band* 6 dan *band* 7, selanjutnya dilakukan *density slicing* dengan rentang nilai piksel 208,45-255 untuk melihat persebaran mineral lempung dan karbonat dimana proses ini dilakukan dengan *software* Envi 5.3.

4. Luas Area Alterasi

Proses pencarian luas area alterasi dilakukan dengan menggunakan *calculate geometry* yang ada pada *software* ArcGis Versi 10.3.

4.4.3 Perhitungan Sumber Daya Spekulatif

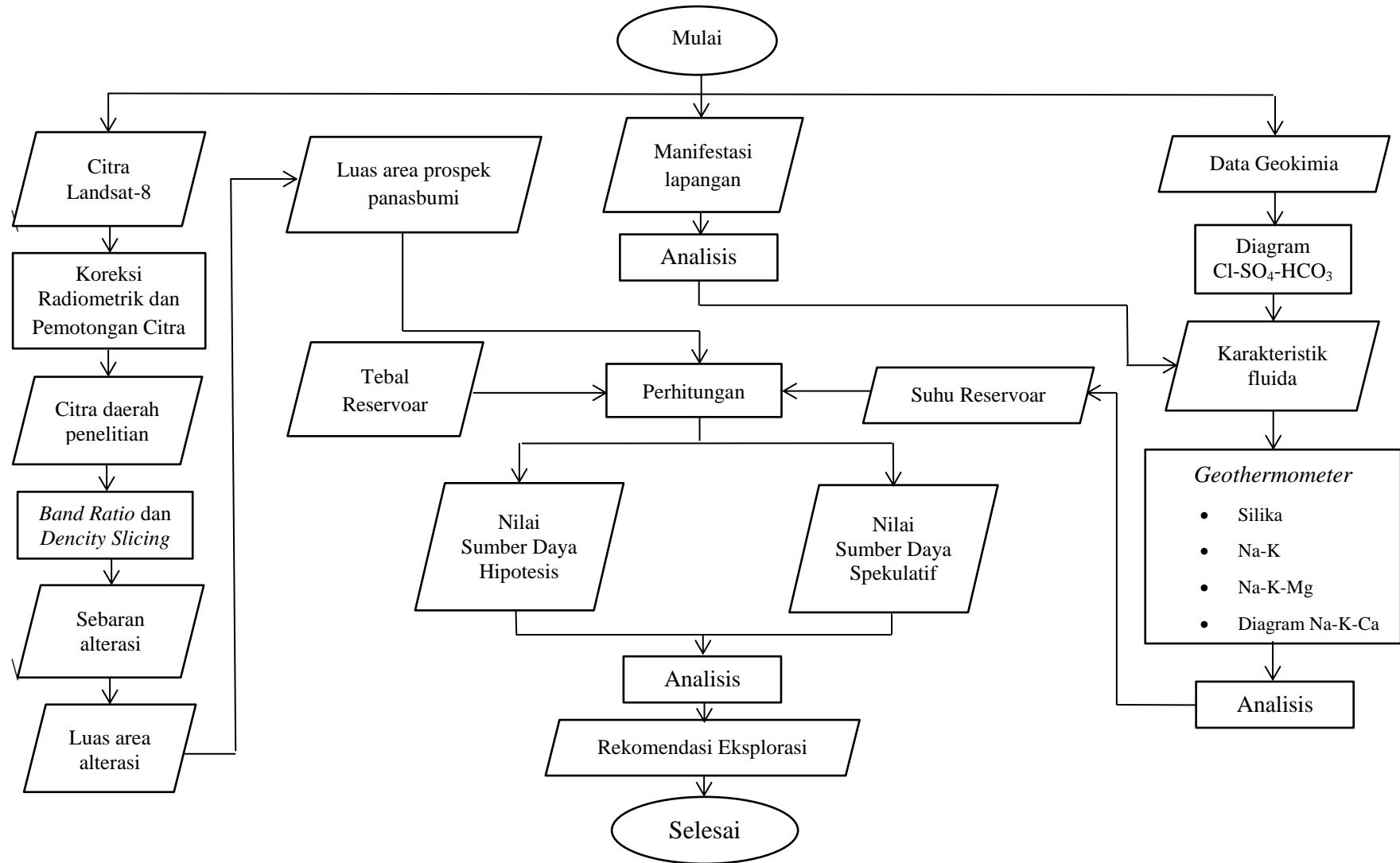
Nilai sumber daya spekulatif dihitung dengan menggunakan Persamaan 7 yang berdasarkan data reservoir yang telah didapat yaitu luas area reservoir prospek panas bumi, suhu reservoir yang diubah ke daya per satuan luas dalam standar SNI 13616,1999.

4.4.4 Perhitungan Sumber Daya Hipotesis

Nilai sumber daya hipotesis dihitung dengan menggunakan Persamaan 8 yang berdasarkan data reservoir yang telah didapat yaitu luas area reservoir prospek panas bumi, ketebalan reservoir, suhu reservoir, dan suhu *cut-off* reservoir panas bumi dalam standar SNI 13616,1999.

4.5 Diagram Alir

Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Luas daerah prospek panasbumi berdasarkan sebaran area alterasi mineral lempung dan karbonat dengan menggunakan metode *band ratio* dan *density slicing* data citra Landsat-8 Lapangan Panasbumi Padang Cermin memiliki luas sebesar 5 km².
2. Lapangan Panasbumi Padang Cermin memiliki tipe air panasbumi jenis klorida dengan rata-rata suhu reservoir sebesar 288°C berdasarkan *geothermometer Na/K* referensi Fournier 1979.
3. Lapangan Panasbumi Padang Cermin memiliki nilai sumber daya spekulatif sebesar 75 MWe dan nilai sumber daya hipotesis sebesar 72 MWe yang jika dibandingkan dengan besaran umum energi panasbumi yang ekonomis dengan nilai setidaknya 55 MWe maka nilai ini dianggap ekonomis dan layak untuk dilanjutkan ke tahap eksplorasi selanjutnya sampai ke tahap pemanfaatan panasbumi.

6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah dilakukannya penelitian-penelitian lebih lanjut agar mendapatkan nilai cadangan mungkin, cadangan terbukti, hingga cadangan siap produksi untuk memastikan agar lapangan panasbumi bisa dikembangkan hingga pemanfaatan panasbumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Almuhsinin, A. dan Putra, A. 2019. Klasifikasi Mata Air Panas Berdasarkan Diagram Segitiga Fluida di Batu Balang dan Muaro Paiti, Kabupaten 50 Kota. *Jurnal Fisika Unand*, 8(4), 394-400.
- Alzwar, M., Samodra, H. dan Tarigan, J.J. 1987. *Pengantar Dasar Ilmu Gunung Api*. Bandung : Penerbit Nova.
- Ariwibowo, Y. 2011. Prediksi Temperatur Reservoir Panas Bumi dengan Menggunakan Metoda Geotermometer Kimia Fluida. *TEKNIK* 32(3), 234-238.
- Basid, A., Andrini, 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: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 7(1), 57-70.
- Daud, Y. 2010. *Electromagnetic Method: Succes Story in Geothermal Exploration and Possibility for Hydrocarbon Exploration*. Diktat Kuliah, FMIPA UI. Depok
- Donovan, R., Karyanto, Haerudin, N. dan Dewanto, O. 2018. Studi Sifat Termal Batuan Daerah Lapangan Panasbumi Way Ratai Berdasarkan Pengukuran Metode Konduktivitas Termal. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 4(3), 103-119.
- ESDM. 2017. *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1*. Direktorat Panas Bumi. Direktorat Jendraal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Fadhly, A., Syafri, I. dan Abdurrokhim. 2017. Zonasi Anomali Unsur Geokimia di Weda, Kabupaten Halmahera Tengah, Maluku Utara Berdasarkan Data Univariat dan Multivariat. *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, 15(3), 243-254
- Gafoer, S., Amin, T. C., dan Pardede, R. 1993. *Peta Geologi Lembar Tanjung Karang*: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Departemen Pertambangan dan Energi. Bandung

- Giggenbach, W. F. (1988). Geothermal solute equilibria. derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochimica et cosmochimica acta*, 52(12), 2749-2765.
- Herdianitaa, N.R. dan Priadi, B. 2006. Manifestation of Geothermal System Surface of Gunung Kendang Angsana, Garut Pameungpeuk, West Java. *Journal of Geoaplika*, 1(1), 047-054.
- Iskandar, D. 2020. "Identifikasi Struktur Bawah Permukaan dan Zona Prospek Panasbumi Menggunakan Analisis *Reduce to Pole*, *Pseuda-Gravity*, dan Inversi 3D pada Lapangan Panasbumi Way Ratai". Skripsi. Fakultas Teknik, Teknik Geofisika. Universitas Lampung.
- Karyanto, Wahyudi, Suharno, Ari, A., dan Suryanto, W. 2012. Geochemical Reservoir Analysis of The Gunung Ungaran Geothermal Prospect, Semarang District, Central Java Province. *Proceedings 3rd Jogja International Conference On Physics 2012, Yogyakarta*.
- Kurnia, E. S. D. 2018. "Integrasi Data Citra Landsat-8, DEM Alos Palsar, Isotop Radon, dan Geokimia untuk Penentuan Distribusi Batuan Alterasi dan Struktur Permeabel Gunung Way Ratai, Lampung". Skripsi. Fakultas Teknik, Teknik Geofisika. Universitas Lampung.
- Putra, I. D., Nasution, R. A. F. dan Harijoko, A. 2017. Aplikasi Landsat-8 OLI/TIRS dalam Mengidentifikasi Alterasi Hidrotermal Skala Regional: Studi Kasus Daerah Rejang Lebong dan Sekitarnya, Provinsi Bengkulu. *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan (Vol. 10)*
- Putriyana, L. 2018. Evaluasi Cadangan Terduga untuk Sistem Panas Bumi Vulkanik dengan Metode Volumetrik: Studi Area Kamojang dan Lahendong. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 13(3), 215-225.
- Rony, P. P. S., Didit, A. H., Hutabarat, J. dan Kusnadi, D. 2019. Sistem Panas Bumi Non-Vulkanik Daerah Buntuna, Tolitoli, Sulawesi Tengah, Berdasarkan Pendekatan Geologi dan Geokimia Air Panas. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 3(4), 254-260.
- Sitanggang, G. 2010. Kajian Pemanfaatan Satelit Masa Depan: Sistem Penginderaan Jauh Satelit LDCM (LANDSAT-8). *Berita Dirgantara*, 11(2).
- Suharno. 2012. *Sistem Panasbumi*. Bandar Lampung: Penerbit Universitas Lampung.
- Suharno. 2013. *Eksplorasi Geothermal*. Bandar Lampung: Penerbit Universitas Lampung.
- Suharno, Putri, M. K. dan Hidayatika, A. 2016. Penelitian Pendahuluan Panasbumi Wai Ratai Pesawaran Lampung Indonesia. *Pertemuan Ilmiah Tahunan Himpunan Ahli Geofisika Indonesia 2016*, 1-4.

- Suharno, Rian, A., Akroma, H., Medi, K. P. 2015. Geothermal Prospect of Padang Cermin Pesawaran Lampung Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress 2015*.
- Suharno, Zaenudin, A., Putri, M. K., Rustadi, dan Hidayatika, A. 2015. Geothermal System Identification Based On Analysis Of Ion Balance Cl-SO₄-HCO₃ And Na-K-Mg Chart Analysis. *Proceedings Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition 2015 Jakarta Convention Center, Indonesia-August 19th-21th, 2015*.
- Suprianto, A., Wahyudi, Utama, W., Suharno, dan Suryanto, W. 2012. Analisis Tipe Reservoir dan Suhu Lapangan Panabumi Tiris Probolinggo Jawa Timur. *Proceedings 3rd Jogja International Conference On Physics 2012, Yogyakarta*.
- Suryadi, Haerudin, N., Karyanto, dan Sudrajat, Y. 2019. Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Lapangan Panas Bumi Way Ratai Berdasarkan Data Audio Magnetotelluric (AMT). *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 3(1), 85-97.
- Virgo, F., Karyanto, Ady, M., Agus, S., Wahyudi, Suharno, dan Suryanto, W. 2012. Water Geochemical Analysis Within Penantian Geothermal Area In Pasema Air Keruh Kabupaten Empat Lawang. *Proceedings The 12th Annual Indonesian Geothermal Association Meeting & Convergence*.
- Wowa, F. dan Wiloso, D. A. 2017. Studi Geokimia untuk Pendugaan Suhu Reservoir Panas Bumi Berdasarkan Analisis Solute Geothermometer di Desa Pablengan, Kecamatan Matesih, Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah. *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan Ke-10 Peran Penelitian Ilmu Kebumihan Dalam Pembangunan Infrastruktur di Indonesia 13-4 September 2017; GRHA SABHA PRAMANA*.