

**ANALISIS POTENSI PANAS BUMI SUOH MENGGUNAKAN
METODE *ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS* (AHP)**

(Skripsi)

Oleh

**Astri Niken Saputri
1915051044**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**ANALISIS POTENSI PANAS BUMI SUOH MENGGUNAKAN METODE
*ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP)***

Oleh

ASTRI NIKEN SAPUTRI

SKRIPSI

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

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

ANALISIS POTENSI PANAS BUMI SUOH MENGGUNAKAN METODE *ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP)*

Oleh

ASTRI NIKEN SAPUTRI

Pemerintah Indonesia menargetkan bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% yang dituangkan dalam PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Hal tersebut menunjukkan dorongan pemerintah untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan. Panas bumi adalah salah satu bentuk energi terbarukan dengan besar potensi sebesar 28.5 GW di Indonesia. Suoh diduga sebagai salah satu daerah yang memiliki potensi panas bumi di Indonesia yang dicirikan dengan kemunculan manifestasi panas bumi berupa fumarola dan mata air panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasi parameter *input* penelitian dan menganalisis daerah berpotensi panas bumi tinggi. Metode *Analytical Hierarchy Process (AHP)* menjadi salah satu metode yang telah digunakan penelitian terdahulu dalam menganalisis potensi panas bumi suatu daerah. Pada penelitian ini digunakan parameter geosains berupa geologi, manifestasi, alterasi hidrotermal, suhu permukaan, kerapatan kelurusan, dan anomali gaya berat. Bobot tiap parameter ditentukan dari metode AHP dan hasilnya dilakukan pembobotan *overlay*. Peta potensi panas bumi daerah Suoh diklasifikasikan menjadi 4 kelas, yaitu potensi panas bumi rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Daerah dengan potensi panas bumi tinggi tersebut berada pada daerah didekat manifestasi dengan jenis batuan vulkanik, memiliki densitas kelurusan yang cenderung tinggi, merupakan daerah dengan alterasi, suhu permukaannya tinggi, anomali residual cenderung sedang hingga sangat tinggi. Daerah berpotensi panas bumi tinggi berkorelasi dengan 8 titik manifestasi panas bumi di daerah penelitian. Oleh karena itu, tingkat keberhasilan penelitian diperkirakan sebesar 70%.

Kata kunci: panas bumi, potensi, *analytical hierarchy process (AHP)*, analisis spasial

ABSTRACT

ANALYSIS GEOTHERMAL POTENTIAL OF SUOH USING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) METHOD

By

ASTRI NIKEN SAPUTRI

The Indonesian government aims to achieve a minimum of 23% of new and renewable energy mix by 2025, as stipulated in Government Regulation No. 79 of 2014 on National Energy Policy. This demonstrates the government's commitment to increasing the use of renewable energy sources. Geothermal energy is one of the forms of renewable energy, with a significant potential of 28.5 GW in Indonesia. Suoh is suspected to be one of the areas in Indonesia with geothermal potential, characterized by the presence of geothermal manifestations such as fumaroles and hot springs. This research aims to classify input parameters and analyze areas with high geothermal potential. The Analytical Hierarchy Process (AHP) is one of the methods previously used in geothermal potential analysis. In this study, geological parameters, manifestations, hydrothermal alteration, surface temperature, lineament density, and gravity anomalies are used as geoscientific parameters. The weight of each parameter is determined using the AHP method, and the results are combined through overlay weighting. The geothermal potential map of the Suoh area is classified into four classes: low, moderate, high, and very high geothermal potential. Areas with high geothermal potential are typically located near geothermal manifestations, characterized by volcanic rocks, high lineament density, alteration zones, high surface temperatures, and moderately to very high residual anomalies. High geothermal potential areas correlate with eight geothermal manifestation points in the research area. Therefore, the success rate of this research is estimated to be around 70%.

Judul Skripsi : **ANALISIS POTENSI PANAS BUMI SUOH
MENGUNAKAN METODE
ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP)**

Nama Mahasiswa : **Astri Niken Saputri**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1915051044**

Program Studi : **Teknik Geofisika**

Fakultas : **Teknik**



Pembimbing 1

Pembimbing 2

Karyanto, S.Si., M.T.
NIP. 19691230 199802 1001

Dr. Ir. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.
NIP. 19750911 200012 1002

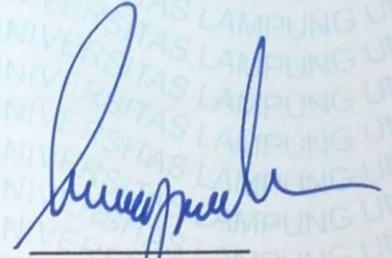
2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

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

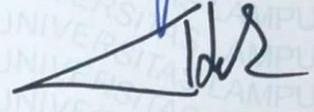
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

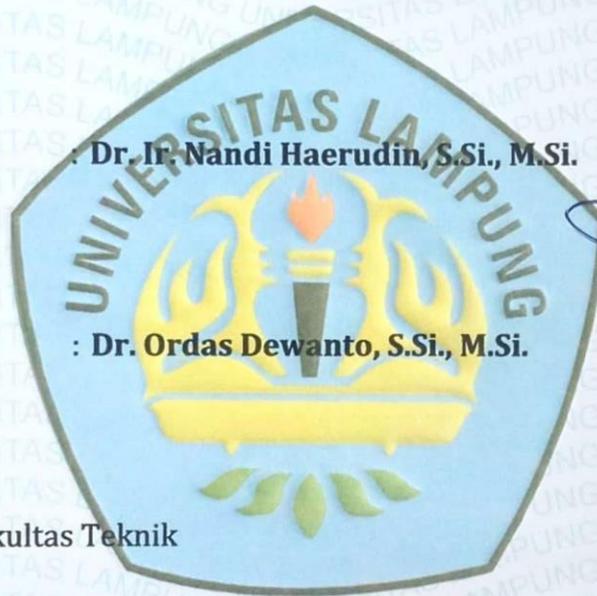
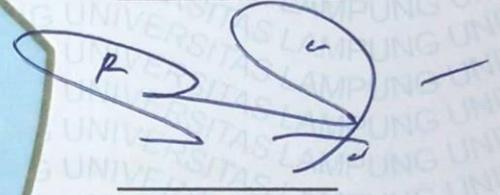
Ketua : **Karyanto, S.Si., M.T.**



Sekretaris : **Dr. Ir. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.**



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



2. Dekan Fakultas Teknik


Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. ✍
NIP 19750928/200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 25 Agustus 2023

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan dengan judul “Analisis Potensi Panas Bumi Suoh Menggunakan Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)” adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang diakui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang telah berlaku.

Bandar Lampung, 25 September 2023



Astri Niken Saputri
NPM. 1915051044

RIWAYAT HIDUP



Astri Niken Saputri lahir di Bandar Jaya pada 8 Juli 2001, sebagai anak sulung dari dua bersaudara dari Bapak Sunardi dan Ibu Triningsih. Penulis menempuh pendidikan pertama pada tahun 2006 di Taman Kanak-kanak (TK) At-Taqwa Bandar Jaya Barat dan melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Negeri 6 Bandar Jaya dari tahun 2007 hingga 2013. Selanjutnya, penulis menempuh pendidikan di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 3 Terbanggi Besar hingga tahun 2016 dan dilanjutkan dengan Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Terbanggi Besar hingga 2019. Selama SMA, penulis aktif mengikuti organisasi siswa intra sekolah (OSIS) selama 2 tahun masa jabatan, sebagai anggota seksi bidang keterampilan dan kewirausahaan, serta Sekretaris 1.

Pada tahun 2019, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika di Universitas Lampung. Selama masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti beberapa kepanitiaan dan organisasi kemahasiswaan, diantaranya sebagai Anggota Bidang Sains dan Teknologi di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HIMA TG) Bhuwana tahun 2021 dan 2022, serta sebagai anggota Divisi Edukasi tahun 2021 di Seksi Mahasiswa Ikatan Ahli Geologi Indonesia (SM-IAGI). Selain itu, penulis juga aktif dalam Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) tingkat fakultas maupun

universitas, diantaranya sebagai Anggota tahun 2020 dan Sekretaris Departemen Kaderisasi tahun 2021 di Forum Silaturahmi dan Studi Islam (FOSSI) Fakultas Teknik, sebagai Keluarga Muda Birohmah (KMB) 2019, sebagai Sekretaris Umum Harmoni 5.0 (Penyambutan Mahasiswa Baru oleh Birohmah) dan sebagai Anggota Departemen Kaderisasi Birohmah 2020, serta sebagai Member of English Society (Eso) UNILA batch 2019.

Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum untuk beberapa mata kuliah, antara lain Metode Geolistrik, Sistem Informasi Geografis, Metode Gravity, dan Eksplorasi Geothermal. Selain itu, penulis juga aktif mengikuti kompetisi yang selaras dengan bidang keilmuan, diantaranya memperoleh Juara 3 *Paper Competition* pada *Geophysics Whiz Event and Seminar (GWES) ke-8 UNILA 2022*, sebagai Finalis *Paper and Poster Competition* pada *Geology Student Competition (GSC)* di ITB 2022, dan Peraih Insentif Program Kreativitas Mahasiswa Artikel Ilmiah (PKM-AI) tahun 2023. Penulis juga pernah mengikuti kegiatan pengabdian (*Volunteer*) pada kegiatan Youth Social Expedition #3 di Pulau Jinato, Sulawesi Selatan bersama 40 relawan dari seluruh Indonesia.

Penulis melaksanakan Kerja Praktik di Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi (PSDMBP) pada April 2022. Untuk penelitian Tugas Akhir penulis dilakukan di Laboratorium Geofisika Geothermal, Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung dimulai pada Januari 2023. Penulis berhasil menyelesaikan penelitian Tugas Akhir dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada 25 Agustus 2023.

PERSEMBAHAN

Atas berkat rahmat, nikmat, dan ridho dari Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

Ayah dan Ibu tersayang,

SUNARDI dan TRININGSIH

Yang selalu memberikan doa dan dukungan, serta kasih sayang selalu. Terima kasih atas kepercayaan, kesempatan, dukungan yang diberikan, sehingga penulis bisa sampai di titik ini.

Adikku,

ASTRA NOVA SAGARA

Yang sudah menjadi adik yang baik. Terima kasih atas candaan, pelukan, dan cerita-cerita yang menghibur dan menemani penulis selama ini. Semoga kamu bisa menjadi orang yang lebih hebat dan lebih baik dari mbak.

MOTTO

“Dan ingatlah Tuhanmu dalam hatimu dengan rendah hati dan rasa takut, dan dengan tidak mengeraskan suara, pada waktu pagi dan petang, dan janganlah kamu termasuk orang-orang yang lengah.”

-Q.S. Al-A'raf (7): 205-

“Dan apabila hamba-hamba-Ku bertanya kepadamu (Muhammad) tentang aku, maka sesungguhnya Aku dekat. Aku Kabulkan permohonan orang yang berdoa apabila dia berdoa kepada-Ku. Hendaklah mereka itu memenuhi (perintah)-Ku dan beriman kepada-Ku, agar mereka memperoleh kebenaran.”

-Q.S. Al-Baqara (2): 186-

“If you choose not to plant flower on your garden, then weeds will grow without encouragement and support”

Felix Y. Siauw

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul “Analisis Potensi Panas Bumi Suoh Menggunakan *Analytical Hierarchy Process* (AHP)” dengan baik. Laporan ini disusun sebagai syarat terpenuhinya mata kuliah skripsi dan memperoleh gelar Teknik. Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam penulisan laporan ini. Penulis juga menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan ini, sehingga sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga dengan adanya laporan ini dapat memberikan manfaat kepada siapa pun, baik khalayak umum maupun akademisi untuk kemajuan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 25 September 2023

Penulis,



Astri Niken Saputri

NPM. 1915051044

SANWACANA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan dan penyusunan skripsi dengan judul “Analisis Potensi Panas Bumi Suoh Menggunakan Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)” dengan baik. Tak lupa shalawat serta salam yang selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad Shallallahu ‘Alaihi Wasallam yang selalu menjadi suri tauladan bagi kita semua. Dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT., yang selalu memberikan limpahan nikmat hidayah, ridho, kesehatan, dan kesempatan.
2. Kedua orang tua, Ayah dan Ibu tersayang, yang selalu doa dan dukungannya selalu menyertai penulis.
3. Adik saya, Astra Nova Sagara, yang menjadi adik sekaligus teman berbagi, selalu.
4. Bapak Karyanto, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung sekaligus Dosen Pembimbing 1 Skripsi saya, yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyusunan skripsi.
5. Bapak Dr. Ir. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing 2 Skripsi saya yang telah memberikan saran dan masukan, arahan dan koreksi selama penyusunan skripsi.
6. Bapak Dr. Ordas Dewanto S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji Skripsi saya yang telah memberikan koreksi, saran dan masukannya.
7. Bapak I Gede Boy Darmawan, S.Si., M.Eng., yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dari awal hingga akhir penyusunan skripsi. Terimakasih atas waktu dan kesediaannya membimbing penulis.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu dan wawasan.

9. Alm. S.H., yang kini telah kembali ke pangkuan Allah SWT. Terima kasih telah menjadi salah satu orang yang sangat berharga dalam hidup penulis. Terima kasih sudah sudi berbagi kisah dan waktu 10 tahun terakhir.
10. Teman-teman terdekat penulis. Afiqa yang selalu ada dalam kesibukan dan ke-gabutan. Olip yang sering menemani dalam proses naik-turun pengerjaan skripsi. Nikmah yang menjadi teman gila penulis sedari kecil.
11. Kos Kita atau Kunang-kunang (Aul, Isti, Jay, Upik), yang telah menjadi teman seperjuangan hingga akhir.
12. Teknik Geofisika 2019, terkhusus Tatak, Nanda, Gita, Alda, anak badminton (Isti, Elisa, Fariz, Air, Wanda, Latri, Abram, Dany, Adel), Komti, Haidar, Bila, dan yang lain. Terima kasih sudah menjadi keluarga baru selama 4 tahun terakhir. Semoga silaturahmi ini sampai selamanya.
13. Keraton Agung P Tobat, Imam, Usup, Uwik, Dita, Febri, Dani. Terima kasih sudah menjadi sahabat tempat melepas penat dan segalanya.
14. Teman-teman rumah, Risti, Nikmah, Tika, Ripa, Mulya, Indri, dan GCC. Terima kasih sudah menjadi teman sekaligus sahabat sedari kecil, menemani penulis dari masa lalu hingga masa depan, InsyaAllah.
15. YukNgaji (Naurah, Vinny, Indah, Noeris, dkk.), Fossi-FT 2021 (Mba Nad, Yona, Mba Hay, Ulwan, Naim, dkk.), Harmoni 5.0 terkhusus presidium (Haqqa, Sari, Dinni, Isro), RQC 4 (Mba Niken, Ummu, Mba Dwi, Mba Afiza, Mba Upik, Mba Monik, Mba Sri, Mba Yeyen, Mba Nida, dkk.), dan teman-teman yang telah menyertai perjalanan panjang ini, yang belum bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam perjalanan panjang sejauh ini.

Bandar Lampung, 25 September 2023

Penulis,



Astri Niken Saputri

NPM. 1915051044

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PERSETUJUAN	v
PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN	x
MOTTO	xi
KATA PENGANTAR	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Lokasi Daerah Penelitian.....	5
2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian	5
2.3 Stratigrafi Lembar Kotaagung.....	9

2.4	Morfologi Daerah Penelitian	11
III.	TEORI DASAR	13
3.1	Sistem Panas Bumi	13
3.2	Parameter Geosains	15
3.2.1	Manifestasi Panas Bumi	15
3.2.2	Alterasi Hidrotermal	16
3.2.3	<i>Land Surface Temperature</i> (LST)	19
3.2.4	<i>Lineament Density</i>	20
3.2.5	Metode Gaya Berat	21
3.3	Metode <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP)	24
IV.	METODOLOGI PENELITIAN	27
4.1	Waktu dan Tempat Penelitian	27
4.2	Alat dan Bahan Penelitian	28
4.3	Prosedur Penelitian	28
4.3.1	Persiapan Data	28
4.3.2	Pengolahan Data	29
4.3.3	Metode <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP)	34
4.4	Diagram Alir	40
4.4.1	Data Geologi	40
4.4.2	Data Manifestasi Panas Bumi	41
4.4.4	Data DEMNAS	42
4.4.5	Data Citra Landsat 8 OLI/TIRS	43
4.4.6	Data Gaya Berat	44
4.4.7	Metode <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP)	45
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN	46
5.1	Analisis Parameter Geosains	46
5.1.1	Geologi	46
5.1.2	Manifestasi Panas Bumi	48
5.1.3	<i>Lineament Density</i>	51
5.1.4	Alterasi Hidrotermal	54
5.1.5	<i>Land Surface Temperature</i> (LST)	58
5.1.6	Metode Gaya Berat	61
5.2	Metode <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP)	76

VI. KESIMPULAN DAN SARAN	82
6.1 Kesimpulan.....	82
6.2 Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA	84

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian	7
Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian	8
Gambar 3. Konten stratigrafi pada Peta Geologi Lembar Kotaagung.....	10
Gambar 4. Peta topografi daerah penelitian	12
Gambar 5. Skema sistem panas bumi ideal	14
Gambar 6. Gaya tarik-menarik antara dua benda bermassa	21
Gambar 7. Ilustrasi Koreksi Bouguer	23
Gambar 8. Diagram alir untuk data geologi	40
Gambar 9. Diagram alir untuk data manifestasi panas bumi.....	41
Gambar 10. Diagram alir untuk data DEMNAS	42
Gambar 11. Diagram alir untuk data Citra Landsat 8.....	43
Gambar 12. Diagram alir untuk data gaya berat.....	44
Gambar 13. Diagram alir untuk metode AHP	45
Gambar 14. Peta geologi daerah penelitian	47
Gambar 15. Peta geologi terklasifikasi.....	48
Gambar 16. Peta lokasi manifestasi panas bumi Suoh	49
Gambar 17. Peta manifestasi panas bumi daerah penelitian terklasifikasi.....	50
Gambar 18. Peta kelurusan daerah penelitian	52
Gambar 19. Peta <i>lineament density</i> daerah penelitian.....	53
Gambar 20. Peta <i>lineament density</i> Suoh-Sekincau	54
Gambar 21. Peta sebaran alterasi mineral lempung daerah penelitian.....	56
Gambar 22. Peta sebaran alterasi mineral <i>ferrugination</i> daerah penelitian.....	57
Gambar 23. Peta sebaran mineral alterasi daerah penelitian	58
Gambar 24. Peta sebaran pemukiman daerah penelitian.....	59

Gambar 25. Peta <i>land surface temperature</i> daerah penelitian.....	60
Gambar 26. Peta <i>free air anomaly</i> daerah penelitian	62
Gambar 27. Peta topografi daerah penelitian	62
Gambar 28. Grafik densitas metode Parasnis	63
Gambar 29. Peta <i>slicing</i> topografi daerah penelitian.....	64
Gambar 30. Grafik <i>slicing</i> topografi daerah penelitian	64
Gambar 31. Grafik densitas metode Nettleton	65
Gambar 32. Peta Anomali Bouguer Lengkap daerah penelitian	67
Gambar 33. Peta lintasan analisis spektrum pada ABL.....	68
Gambar 34. Grafik analisis spektrum lintasan 1.....	69
Gambar 35. Grafik analisis spektrum lintasan 2.....	69
Gambar 36. Grafik analisis spektrum lintasan 3.....	70
Gambar 37. Grafik analisis spektrum lintasan 4.....	70
Gambar 38. Grafik analisis spektrum lintasan 5.....	71
Gambar 39. Peta anomali regional daerah penelitian	73
Gambar 40. Peta anomali residual daerah penelitian	74
Gambar 41. Peta anomali residual daerah penelitian terklasifikasi.....	75
Gambar 42. Hasil standarisasi untuk parameter AHP	77
Gambar 43. Peta potensi panas bumi daerah penelitian	79

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Time schedule penelitian.....	27
Tabel 2. Matriks perbandingan berpasangan.....	35
Tabel 3. Skala penilaian perbandingan berpasangan.....	36
Tabel 4. Nilai <i>Random Index</i> (RI)	38
Tabel 5. Analisis vektor eigen untuk mineral lempung (kaolinit).....	55
Tabel 6. Analisis vektor eigen untuk mineral <i>ferrugination</i> (limonit)	55
Tabel 7. Nilai korelasi densitas permukaan metode Nettleton	65
Tabel 8. Estimasi kedalaman anomali regional dan residual	72
Tabel 9. Estimasi nilai <i>cut-off</i> dan lebar jendela	72
Tabel 10. Penilaian perbandingan berpasangan	78
Tabel 11. Luas daerah potensi panas bumi daerah penelitian	79
Tabel 12. Tingkat keberhasilan hasil penelitian	81

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Besarnya potensi panas bumi di Indonesia menjadi salah satu hal yang menjanjikan untuk bisa berlepas dari ketergantungan terhadap penggunaan energi fosil saat ini. Tingginya angka pasokan energi tak terbarukan, terutama energi fosil hingga mencapai 88% dari total pasokan energi primer, menjadi bukti ketergantungan Indonesia pada energi fosil (Kementerian ESDM, 2021). Dampak serius terhadap lingkungan hidup yang ditimbulkan akibat penggunaan energi fosil juga menjadi alasan perlunya pengembangan penggunaan energi terbarukan.

Kebijakan pemerintah dalam PP No.79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional menyatakan bahwa target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Energi panas bumi menjadi salah satu bentuk energi terbarukan yang juga relatif bersih dan memiliki besar potensi sangat tinggi untuk dikembangkan. Menurut Ditjen EBTKE (2018), Indonesia memiliki potensi panas bumi sebesar 28.5 GW hingga Desember 2019 dan baru sekitar 8.9% yang sudah dimanfaatkan. Oleh karena itu, diperlukan berbagai upaya dalam pengembangan pemanfaatan energi panas bumi, salah satunya dengan melakukan kegiatan eksplorasi.

Sebagai bentuk energi yang tersimpan di dalam bebatuan di bawah permukaan, perlu dilakukan eksplorasi untuk mengetahui besar potensi panas bumi di suatu daerah. Eksplorasi geologi, geofisika dan geokimia (3G) menjadi survei awal untuk mengetahui kondisi permukaan maupun bawah

permukaan di suatu daerah panas bumi (Kurniawan dkk., 2017). Pengintegrasian data ketiga metode di atas juga dapat dilakukan untuk memperoleh informasi daerah berpotensi panas bumi. Pengintegrasian data akan memberikan informasi yang lebih akurat dengan melihat yang memiliki kesesuaian atau korelasi dari ketiga jenis data ataupun dalam bentuk beberapa parameter penelitian.

Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) menjadi salah satu metode yang digunakan untuk melakukan pemecahan masalah dengan berbagai parameter/variabel. Metode ini memfokuskan pada hierarki antar parameter dengan menguji konsistensinya dan memperoleh nilai prioritas dari parameter tersebut. Metode AHP ini banyak digunakan dalam penelitian dengan luasan area penelitian yang besar, sehingga nantinya hasilnya akan berfokus pada daerah yang berpotensi tinggi (Meng dkk., 2021). Dalam pemanfaatannya untuk eksplorasi panas bumi, metode ini telah digunakan beberapa peneliti untuk menentukan daerah yang cocok untuk eksplorasi lanjutan. Penelitian tersebut pernah dilakukan pada batas *Akarçay Basin*, Turkey oleh Yalcin dan Gul (2017), *Kenyan Rift* oleh Macharia dkk. (2018), *northeastern China's Changbai Mountain* oleh Meng dkk. (2021) dan penelitian sejenis lainnya.

Di Indonesia sendiri, Provinsi Lampung menjadi salah satu daerah yang memiliki potensi panas bumi cukup besar. Ulubelu menjadi bentuk pemanfaatan energi panas bumi yang telah berhasil. Selain itu, masih ada beberapa daerah yang juga berpotensi untuk dikembangkan, salah satunya daerah Suoh. Daerah Suoh terletak di Kabupaten Lampung Barat dan berada di sepanjang Sesar Semangko. Selain itu, juga terdapat kenampakan manifestasi panas bumi berupa mata air panas dan fumarola yang menjadi penciri keberadaan sistem panas bumi dibawahnya.

Sementara itu, penelitian terkait potensi panas bumi di daerah Suoh sudah dilakukan, seperti analisa struktur patahan, kerapatan kelurusan, pemetaan zona alterasi, analisa geokimia manifestasi panas bumi, dan beberapa penelitian lainnya. Namun, belum pernah dilakukan penelitian terkait

pengintegrasian beberapa data untuk mengetahui daerah yang berpotensi di Suoh. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tersebut untuk mempersempit daerah yang berpotensi tinggi untuk selanjutnya dapat dilakukan eksplorasi lanjutan.

Penelitian ini mencakup daerah Suoh dan sekitarnya yang diduga memiliki potensi panas bumi, dicirikan dengan adanya manifestasi. Daerah penelitian meliputi 6 titik mata air panas dan 4 titik manifestasi fumarole (Hidayatika dkk., 2015). Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) digunakan untuk mengintegrasikan data yang digunakan. Metode AHP ini baik digunakan untuk pengintegrasian data yang tak terstruktur untuk mendapatkan suatu tujuan tertentu. Metode ini juga sudah banyak digunakan oleh peneliti untuk tujuan yang sama, yaitu menganalisis daerah potensi panas bumi. Keberhasilan yang cukup baik pada penelitian sebelumnya juga menjadi alasan digunakannya metode ini. Selain itu, penggunaan metode AHP untuk analisis potensi panas bumi pada tahap awal eksplorasi relatif lebih terjangkau dan mudah. Pada penelitian ini, parameter geosains yang digunakan antara lain geologi, manifestasi, alterasi hidrotermal, suhu permukaan, kerapatan kelurusan, dan anomali gaya berat. Hasil yang diperoleh nantinya akan menunjukkan daerah dengan potensi panas bumi tinggi, sehingga akan mempersempit area dalam eksplorasi lanjutan maupun pengembangannya.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengklasifikasikan parameter *input* metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk Panas Bumi Suoh.
2. Menentukan bobot tiap parameter dan konsistensi rasio dari perbandingan berpasangan antar parameter penelitian.
3. Menganalisis area potensi Panas Bumi Suoh berdasarkan hasil pembobotan metode AHP.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Area penelitian merupakan daerah Suoh dan sekitarnya yang mencakup 10 titik manifestasi panas bumi sebagai indikasi awal adanya potensi panas bumi.
2. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini antara lain geologi, manifestasi, alterasi hidrotermal, suhu permukaan, kerapatan kelurusan, dan anomali gaya berat.
3. Data penelitian bersumber dari data citra Landsat 8 OLI/TIRS oleh USGS, data Digital Elevation Model (DEM) oleh DEMNAS dan data gaya berat berupa data gravitasi satelit TOPEX.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memperoleh area dengan prospek panas bumi yang lebih fokus untuk eksplorasi lanjutan maupun pengembangan potensinya.
2. Sebagai referensi terkait penelitian potensi panas bumi di daerah Suoh dan sekitarnya.
3. Evaluasi efektivitas penggunaan metode AHP untuk analisis potensi panas bumi di suatu daerah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lokasi Daerah Penelitian

Lokasi daerah penelitian berada pada $5^{\circ} 12' 3.18''$ LS sampai $5^{\circ} 18' 5.12''$ LS dan $104^{\circ} 14' 27.99''$ BT sampai $104^{\circ} 21' 31.53''$ BT. Lokasi penelitian tersebut berada di daerah Suoh, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung (**Gambar 1**). Luas daerah penelitian sekitar $13.2 \text{ km} \times 9.8 \text{ km}$, dimana mencakup pula Kecamatan Bandar Negeri Suoh dan Ngambur. Selain itu, bagian barat daerah penelitian juga berbatasan langsung dengan Kabupaten Pesisir Barat.

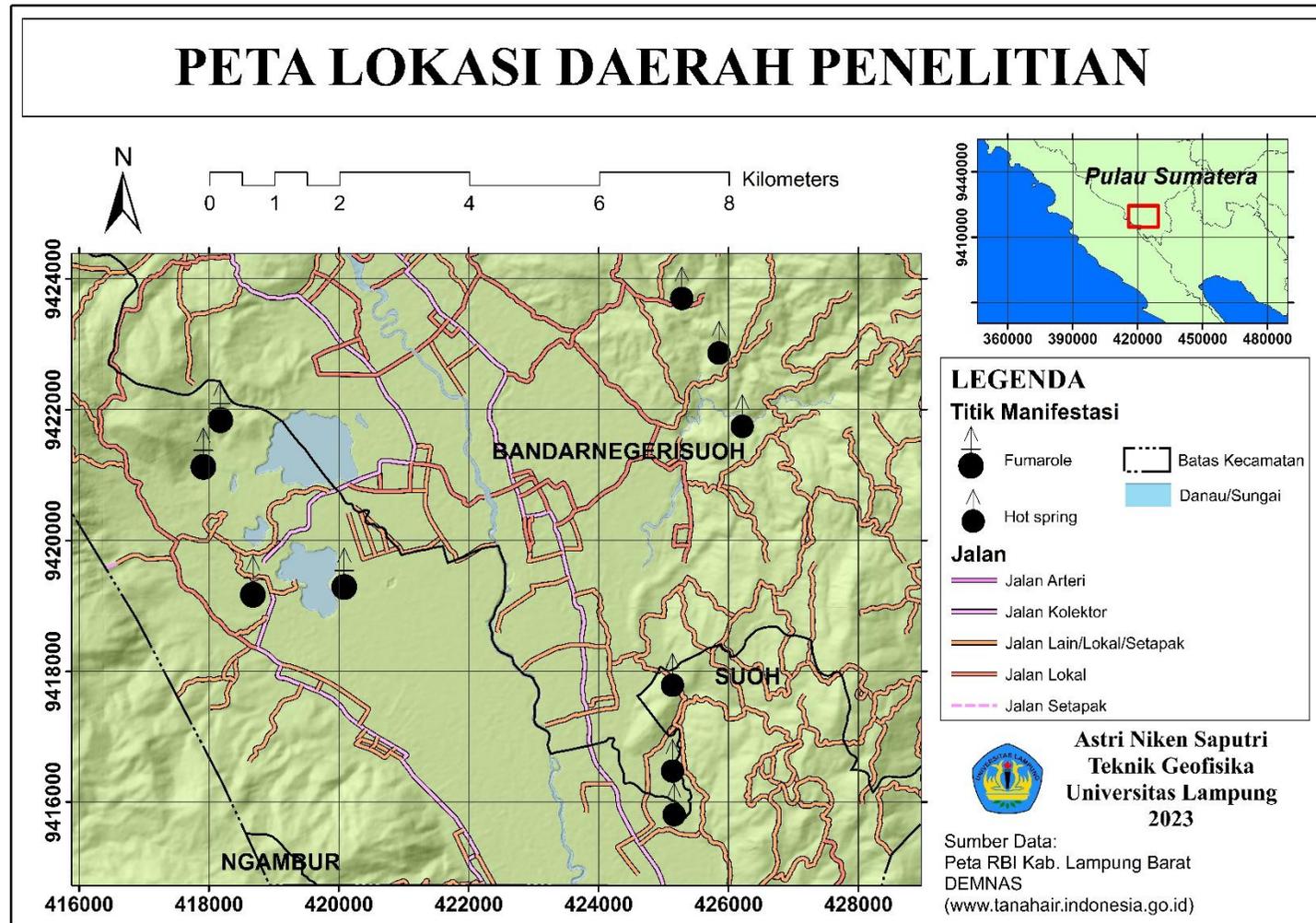
2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian

Daerah penelitian termasuk dalam peta geologi lembar Kotaagung oleh Amin dkk. (1993). Berdasarkan **Gambar 2**, daerah penelitian tersusun atas 5 formasi batuan yang terbentuk pada zaman tersier hingga zaman kuartar. Berikut adalah formasi batuan yang berada pada daerah penelitian yang diendapkan dari tua ke muda.

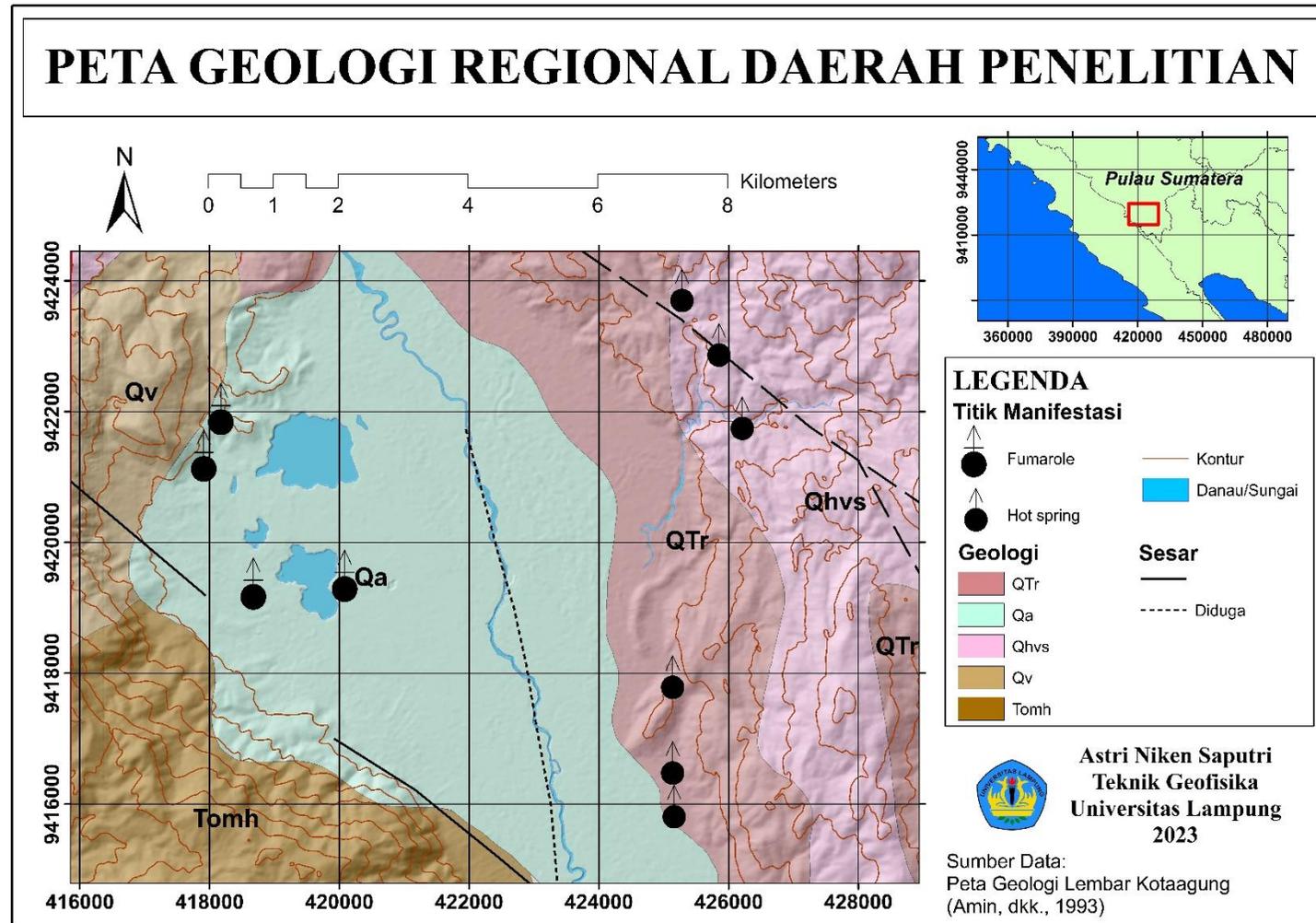
1. Formasi Hulusimpang (Tomh), tersusun atas breksi gunungapi, lava, tuf bersusunan adesitik-basal, terubah, berurat kuarsa dan bermineral sulfida.
2. Formasi Ranau (QTr), tersusun atas breksi batuapung, tuf mikaan, tuf batuapung dan kayu terkeringkan.
3. Batuan Gunungapi Kuartar Tua (Qv), tersusun atas lava andesit-basal, tuf dan breksi gunungapi.
4. Batuan Gunungapi Kuartar Muda (Qhv), tersusun atas breksi, lava dan tuf bersusunan andesit-basal, yang mana bersumber dari Gunung Sekincau.

5. Aluvium (Qa), tersusun atas bongkah, kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan lumpur.

Pada daerah penelitian, struktur geologi berarah barat laut – tenggara mendominasi, yang mana merupakan bagian dari Sesar Semangko. Struktur geologi yang terbentuk berupa sesar geser (Sesar Semangko) dan sesar diduga. Selain itu, pada bagian tengah daerah penelitian terdapat kenampakan Danau Suoh yang terbentuk akibat sesar *strike-slip* dan membentuk *pull-apart basin* (Fossen, 2010). Pada **Gambar 2** juga menunjukkan keberadaan manifestasi panas bumi berupa fumarola dan *hot spring*. Fumarola terletak di daerah Danau Suoh yang merupakan kontak antara satuan/formasi Aluvium (Qa) dengan Gunungapi Kuartir Tua (Qv). Sementara itu, *hot spring* terletak di daerah lereng Gunung Sekincau pada formasi Gunungapi Kuartir Muda (Iqbal dan Juliarka, 2019).



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian (Badan Informasi Geospasial, 2023)



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

2.3 Stratigrafi Lembar Kotaagung

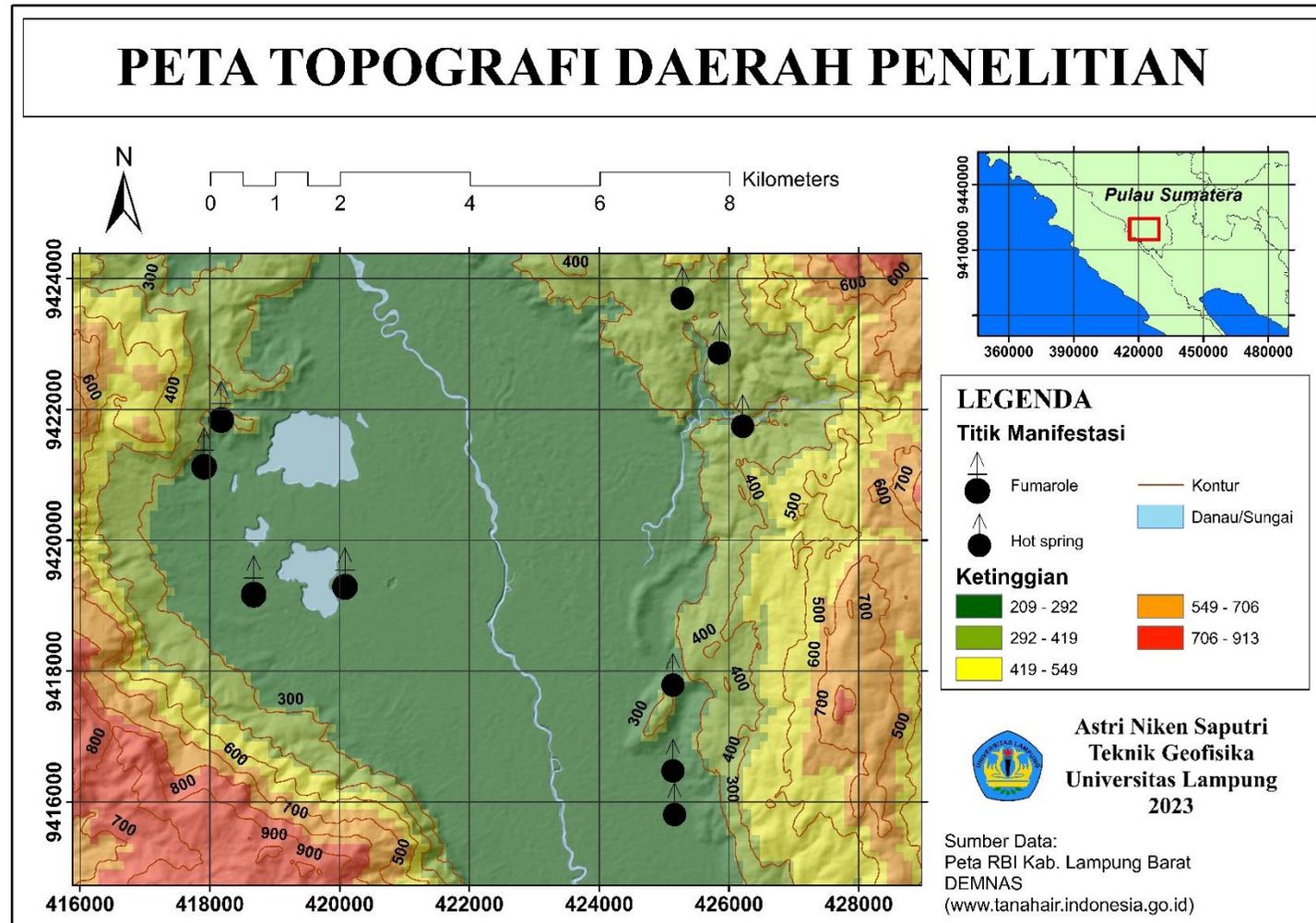
Pada daerah penelitian, diketahui bahwa Formasi Hulusimpang (Tomh) merupakan formasi yang tertua dan berada di sepanjang sisi barat daya dari Sesar Semangko. Formasi Hulusimpang terbentuk pada zaman tersier pada kala Oligosen – Miosen awal. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Kotaagung oleh Amin dkk. (1993), formasi ini memiliki kontak berupa terobosan dari *granodiorite bodies* (Tmgr), bersinggungan dengan sedimen laut (Tmos) dan ditindih oleh sedimen vulkanik (Tmba) dan sedimen laut lainnya (Tml dan Tmps). Selain ditemukan di sepanjang Sesar Semangko, Formasi Hulusimpang ini juga berada di daerah timur laut yang dikelilingi oleh batuan berumur lebih muda (Hidayatika dkk., 2015).

Menurut Amin dkk. (1993), Formasi Ranau (QTr) terbentuk pada kala Pliosen – Plistosen. Formasi ini diperkirakan berasal dari letusan Kaldera Danau Ranau yang terletak 50 km ke arah barat daya dari Suoh. Formasi Ranau ini merupakan bagian dari batuan sedimen dan gunungapi pada Lajur Barisan. Sementara itu, satuan Batuan Gunungapi Kuartar Tua (Qv) dan Batuan Gunungapi Kuartar Muda (Qhv) terbentuk pada zaman kuartar di kala Plistosen – Holosen. Satuan Batuan Gunungapi Kuartar Muda mendominasi pada daerah Lampung Barat. Satuan Gunungapi Kuartar Muda ini diperkirakan berasal dari letusan beberapa gunung api, salah satunya Gunung Sekincau. Kemudian, dari kelompok endapan permukaan terdapat satuan Aluvial yang berumur termuda yaitu terbentuk pada zaman kuartar kala Holosen. Aluvial ini berada pada cekungan yang dikelilingi oleh kelompok satuan batuan gunungapi tua hingga muda.

2.4 Morfologi Daerah Penelitian

Secara morfologi, daerah penelitian berada pada wilayah Bukit Barisan Sumatera yang merupakan Busur Gunung Api (*volcanic arc*) hasil dari aktivitas subduksi Lempeng Indo-Australia di bawah Lempeng Eurasia. Daerah Depresi Suoh – Gunung Sekincau berada di dalam zona busur magmatic Barisan dari sistem subduksi dengan cekungan busur muka Bengkulu di sebelah barat daya dan cekungan busur belakang Sumatera Selatan di sebelah timur laut. Zona tersebut adalah zona dari Pegunungan Bukit Barisan, yang mana aktivitas vulkanik busur pulau berkaitan dengan proses subduksi (Hidayatika dkk., 2015).

Daerah penelitian berada di sepanjang jalur Sesar Sumatra segmen Semangko. Umumnya, daerah ini didominasi oleh struktur berarah barat laut – tenggara searah dengan Sesar Semangko. Bentang alam di daerah ini berupa lembah bersungai, berawa dan juga lembah kering. Selain itu, terdapat pula lereng lembah yang curam hingga landau dengan pola jurus memanjang searah dengan Sesar Semangko (U 330°T atau barat laut – tenggara). Kondisi daerah penelitian dilihat dari **Gambar 4** didominasi oleh topografi yang terjal/curam dan memiliki daerah dengan topografi rendah (cekungan) di bagian tengah dimana terdapat Danau Suoh (Barber dkk., 2005; Iqbal dan Juliarka, 2019; Siregar dan Yudhicara, 2017).



Gambar 4. Peta topografi daerah penelitian (Badan Informasi Geospasial, 2023)

III. TEORI DASAR

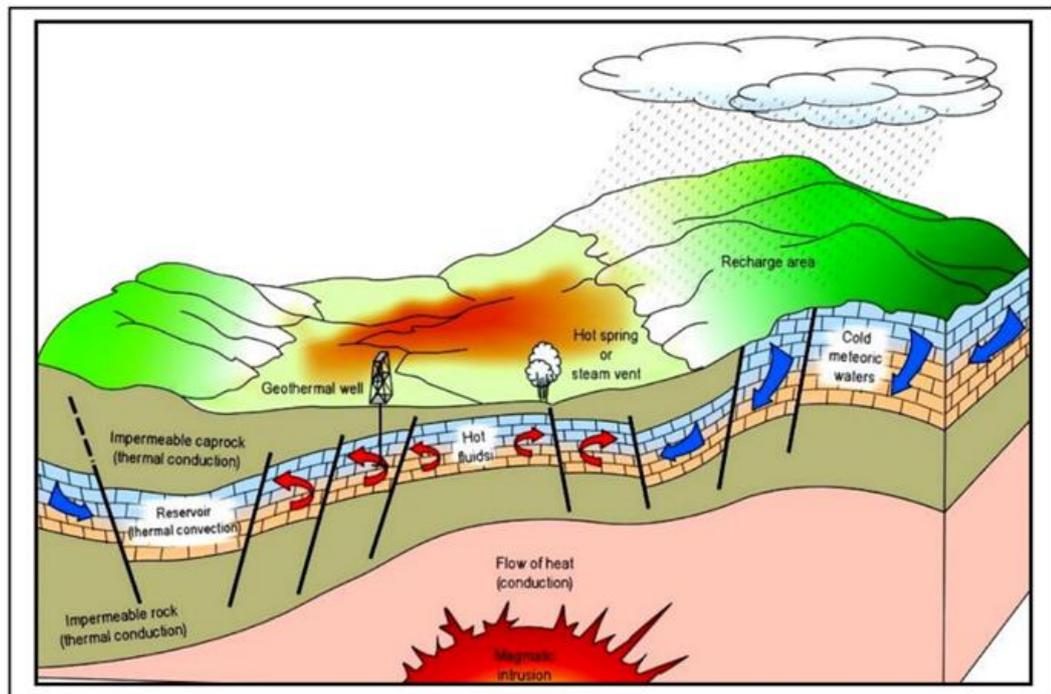
3.1 Sistem Panas Bumi

Panas bumi adalah energi panas yang tersimpan dalam batuan di bawah permukaan bumi dan terkandung fluida di dalamnya (Torkis, 2012). Selain itu, panas bumi atau *geothermal* juga dapat diartikan sebagai panas yang dimiliki oleh bumi yang terbentuk secara alami di bawah permukaan. Sementara itu menurut Hochstein dan Browne (2000), sistem panas bumi merupakan perpindahan panas alami dalam volume tertentu di kerak bumi dari sumber panas ke zona pelepasan panas.

Menurut Sukhyar dkk. (2014), energi panas tersebut dapat berpindah secara konduktif dan konvektif. Secara konduktif panas akan berpindah melalui bahan atau akibat dari adanya kontak batuan satu dengan lainnya. Sedangkan secara konvektif, panas akan berpindah disertai dengan perpindahan massa. Massa yang dimaksudkan adalah fluida yang bergerak akibat perbedaan densitas antara air masuk dan fluida di dalam batuan (Parapat, 2017; Torkis, 2012).

Terdapat berbagai pendapat ahli terkait dengan komponen penyusun sistem panas bumi. Secara umum, komponen penyusun sistem panas bumi terdiri dari sumber panas (*heat source*), fluida panas bumi, batuan *permeable* sebagai zona akumulasi (*reservoir*), batuan *impermeable* sebagai batuan penudung (*cap rock*), area resapan fluida (*recharge area*), struktur geologi

berupa patahan, dan manifestasi panas bumi. Skema sistem panas bumi ideal ditunjukkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Skema sistem panas bumi ideal (White, 1973)

Komponen penyusun suatu sistem panas bumi dijelaskan secara singkat sebagai berikut.

1. Sumber panas (*heat source*), dalam sistem panas bumi dapat berupa magma *chamber* dan intrusi batuan yang biasanya ditemukan pada daerah gunung api (*volcanic*). Selain itu, terdapat pula gradien temperatur yang dimana suhunya akan meningkat seiring penambahan kedalaman, biasanya berada pada daerah lempeng tektonik aktif dan cekungan sedimen. Sumber panas tersebut akan berpindah secara konduksi maupun konveksi (Aqli, 2019).
2. Fluida panas, dapat berupa *juvenile water*, air magmatik, air meteorik, dan *connate water*. *Juvenile water* berasal dari magma primer yang menjadi bagian hidrosfer, sedangkan air magmatik berasal dari magma yang bersatu dengan air dari material sedimen. Air meteorik berasal dari permukaan bumi, sedangkan *connate water* berasal dari laut, namun mengalami perubahan oleh proses fisika dan kimia (Moehadi, 2010).

3. Zona akumulasi (reservoir), terdiri atas batuan dengan porositas dan permeabilitas tinggi sebagai tempat terakumulasinya fluida panas bumi. Reservoir panas bumi merupakan air yang dipanaskan dan bertekanan atau dapat dikatakan juga sebagai akumulasi uap yang panasnya dapat diekstraksi ke permukaan (Huenges, 2010).
4. Batuan penudung (*cap rock*), terdiri atas batuan yang berada di atas reservoir dengan permeabilitas yang buruk dan memiliki konduktivitas panas yang kecil sehingga akan menjaga fluida panas dalam reservoir.
5. *Recharge area*, merupakan daerah resapan yang dimana air meteorik akan memasuki sistem panas bumi (Hendrasto dkk., 2018). Air meteorik yang masuk akan menjaga kestabilan sistem panas bumi.
6. Struktur geologi, sebagai jalur migrasi fluida panas bumi ke permukaan bumi. Struktur geologi ini dapat berupa patahan baik patahan normal, patahan naik maupun patahan geser. Patahan tersebut terbentuk akibat pergerakan tektonik aktif sehingga menyebabkan batuan mengalami pengurangan kekompakan (Parapat, 2017).
7. Manifestasi panas bumi, sebagai ciri adanya potensi energi panas bumi di suatu tempat. Manifestasi di permukaan ini merupakan fluida hidrotermal yang berasal dari reservoir yang keluar melalui celah batuan (patahan/rekahan) (Murbanendra, 2016).

3.2 Parameter Geosains

3.2.1 Manifestasi Panas Bumi

Keberadaan suatu sumber daya panas bumi dapat dicirikan dengan munculnya manifestasi panas bumi di permukaan bumi. Manifestasi panas bumi tersebut muncul akibat adanya perambatan panas ataupun rekahan pada batuan yang memungkinkan fluida panas bumi (baik uap maupun air panas) dari reservoir mengalir/naik ke permukaan. Dalam eksplorasi panas bumi daerah manifestasi menjadi tujuan awal untuk memulai kegiatan eksplorasi. Karakteristik manifestasi panas bumi dan kandungan kimia fluida dapat digunakan sebagai perkiraan terkait sistem panas bumi yang ada di bawah permukaan (Saptadji, 2001).

Secara umum, manifestasi panas bumi yang sering muncul di Indonesia antara lain mata air panas, fumarola, *steaming ground*, *warm ground*, solfatara, dan batuan teralterasi (Marthen, 2016).

1. Mata air panas muncul akibat keluarnya air tanah dari kerak bumi (dari reservoir) setelah dipanaskan oleh *heat source* dan muncul sebagai mata air (Murbanendra, 2016). Temperatur dari mata air panas disebut hangat apabila lebih kecil dari 50° C, sedangkan disebut panas apabila suhunya lebih besar dari 50° C. Selain itu, sifat dari mata air panas juga dapat digunakan untuk memperkirakan jenis reservoir.
2. Fumarola adalah lubang kecil yang memancarkan uap panas dengan kandungan butiran air yang keluar melalui celah batuan yang mengandung SO₂ dan CO₂. Fumarola juga dapat berupa uap kering (*dry steam*). Sebagian besar fumarola merupakan hasil dari sistem panas bumi dengan dominasi air. Umumnya, temperatur uap yang dihasilkan tidak lebih dari 100°C.
3. Batuan alterasi merupakan batuan yang mengalami perubahan mineral batuan karena perubahan kondisi, seperti perubahan suhu, tekanan, kondisi kimia ataupun keduanya. Sementara itu, alterasi hidrotermal adalah perubahan mineral akibat interaksi batuan dengan fluida panas, disebut juga hidrotermal.

3.2.2 Alterasi Hidrotermal

Batuan teralterasi sebagai salah satu bentuk manifestasi panas bumi terbentuk akibat proses alterasi hidrotermal. Alterasi sendiri mengacu pada pergantian/perubahan mineral primer menjadi mineral sekunder pada kondisi tertentu pada daerah dengan sistem panas bumi (Putra dkk., 2017). Sementara itu, alterasi hidrotermal dapat diartikan sebagai perubahan mineralogi, tekstur serta kimia batuan akibat perubahan suhu maupun tekanan dan sifat kimia lingkungan karena interaksi dengan air panas, uap ataupun gas (fluida panas bumi) dalam suatu sistem panas bumi (Mahwa dkk., 2022).

Menurut mineral hidrotermal yang terbentuk dari hasil alterasi akan bergantung pada beberapa faktor, antara lain suhu, tekanan, jenis batuan asal, permeabilitas reservoir, komposisi fluida (terutama pH) dan lamanya interaksi. Alterasi hidrotermal memiliki beberapa tipe/jenis, antara alterasi berupa pengendapan (*direct deposition*), pergantian (*replacement*), pencucian (*leaching*), dan *ejecta*.

1. Alterasi pengendapan merupakan jenis alterasi yang sangat umum dan banyak ditemui di lapangan panas bumi, yang mengendap langsung dari larutan. Pada alterasi ini biasanya akan melibatkan/terbentuk di kekar, sesar, ketidakterusan, *hydraulic fracture*, lubang, pori-pori maupun celah. Kuarsa, kalsit, dan anhidrit biasanya mudah terbentuk dan mengisi lubang/celah, sedangkan mineral seperti klorit, illite, pirit, hematit, dan epidot biasanya terendapkan langsung dari fluida/larutannya. Kalsit, aragonite dan silika juga sering kali terendapkan pada lubang bor dan saluran pembuangan (Browne, 1978).
2. Alterasi pergantian (*replacement*) terjadi apabila mineral primer ubahan menjadi mineral sekunder yang lebih stabil pada kondisi tertentu. Ketidakstabilan mineral asal menjadi sebab terjadinya pergantian mineral menjadi mineral sekunder yang stabil. Proses tersebut dipengaruhi oleh sifat fisik batuan reservoir berupa permeabilitas batuan. Permeabilitas yang besar diartikan bahwa fluida yang akan diloloskan atau dengan kata lain potensi fluida berinteraksi dengan mineral batuan besar pula sehingga alterasi yang dapat terjadi semakin kuat (Putra dkk., 2017).
3. Alterasi pencucian (*leaching*) terjadi pada batuan asal yang berinteraksi dengan fluida yang bersifat asam, seperti H₂S yang terjadi saat proses kondensasi fase uap dari fluida hidrotermal. Pada proses tersebut fluida akan bercampur dengan air meteorik dan mengalami oksidasi sehingga menghasilkan sulfat. Pada umumnya batuan teralterasi *leaching* ini akan memiliki rongga, terutama pada bagian fenokris (Nicholson, 1993; Putra dkk., 2017).

Setiap mineral yang terkandung dalam batuan asal akan memiliki sensitivitas yang berbeda-beda terhadap proses alterasi yang terjadi. Ziolit dan montmorillonit cenderung stabil pada suhu rendah sekitar 100°C, sedangkan illite stabil pada suhu 200°C. Sementara itu, pada lingkungan yang kaya akan kalsit, mineral epidot akan terbentuk pada suhu 250°C, sementara kalsit akan berubah menjadi aktinolit dan diopside pada suhu di atas 300°C (Spichak dan Zakharova, 2015). Pada *steam-heated zone* akan banyak dijumpai mineral alunite, kaolinit, dan *iron oxide*, sementara pada kondisi yang kaya akan sulfur akan dijumpai mineral pirit.

Pemetaan distribusi spasial dari keberadaan alterasi hidrotermal dapat menunjukkan adanya potensi sumber daya panas bumi di suatu daerah. Analisis dengan citra landsat banyak digunakan untuk mengetahui kondisi permukaan bumi dengan memanfaatkan karakter reflektansi dan adsorpsi gelombang elektromagnetik pada objek di permukaan bumi. Landsat 8 *Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor* (OLI/TIRS) merupakan salah satu jenis citra landsat yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan alterasi hidrotermal. Mineral hasil alterasi akan memiliki karakter reflektansi yang berbeda-beda yang akan menunjukkan warna tertentu melalui citra komposit warna konstruktif RGB (Pratama dkk., 2021).

Directed principal component analysis (DPCA) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan alterasi hidrotermal. Menurut Fraser dan Green (1987), metode ini menganalisis komponen utama pada dua gambar *band ratio* masukan. Rasio *input* dipilih atas informasi mengenai target/komponen yang dituju misalnya alterasi *clay*. Sementara itu, rasio kedua berisi informasi mengenai komponen yang mengganggu secara spektral yaitu vegetasi. Metode DPCA ini didasarkan pada nilai vektor eigen dari *principal component* (komponen utama) untuk memusatkan gambar pada informasi yang terkait langsung dengan spektral dari target. Material

target akan diwakili oleh piksel terang ataupun gelap sesuai dengan magnitude dan tanda vektor eigen (Salamba dkk., 2019).

3.2.3 *Land Surface Temperature (LST)*

Land surface temperature atau suhu permukaan tanah merupakan salah satu indikator yang digunakan dalam eksplorasi sumber daya panas bumi. Suhu permukaan tanah menggambarkan kondisi suhu terluar dari tanah yang bergantung pada sifat fisis objek antara lain emisivitas, kapasitas panas jenis dan konduktivitas *thermal*. Suhu permukaan akan meningkat apabila tingkat emisivitas dan kapasitas panas jenisnya rendah, sedangkan konduktivitas termalnya tinggi. Pada daerah perkotaan/pemukiman padat cenderung akan memiliki suhu permukaan yang tinggi. Selain itu, semakin tinggi suatu permukaan bumi atau semakin bertambah posisi lintang, maka suhu permukaan tanah akan semakin rendah (Utomo dkk., 2017).

Dalam eksplorasi panas bumi, penginderaan jauh digunakan untuk mendapatkan gambaran distribusi spasial dan temporal dari suhu permukaan dalam wilayah yang luas. Dalam penginderaan jauh digunakan *thermal infrared bands* untuk mengetahui besar suhu permukaan suatu daerah (Gupta dan Roy, 2006). Data citra Landsat 8 OLI/TIRS merupakan salah satu jenis data *remote sensing* yang dapat digunakan untuk estimasi suhu permukaan. Pada Landsat 8 saluran termal berupa band 10 dan 11, dimana dalam penggunaan diperlukan koreksi radiometrik dan beberapa proses pengolahan untuk mendapatkan nilai suhu permukaan tanah (Anandababu dkk., 2018; Saragih dkk., 2015).

Diketahuinya suhu permukaan tanah juga membantu untuk memperkirakan sifat aktivitas fluida di bawah permukaan pada lapangan panas bumi (Yalcin dan Kilic Gul, 2017). Sementara itu, suhu permukaan dan suhu udara memiliki keterkaitan tersendiri. Menurut penelitian Azevedo dkk. (2016), daerah bervegetasi cenderung memiliki

suhu permukaan lebih dingin, begitu pula suhu udaranya juga lebih dingin. Pada daerah pemukiman suhu permukaan dan suhu udara akan cenderung lebih panas. Hubungan antara suhu permukaan dan suhu udara dapat bervariasi, biasanya pada siang hari selisih antara keduanya dapat mencapai $5,4^{\circ}\text{C}$ (Saputri dkk., 2022).

3.2.4 *Lineament Density*

Manifestasi panas bumi sebagai penciri keberadaan sistem panas bumi di suatu daerah terbentuk dari struktur berupa rekahan batuan atau pun sesar. Pola sesar dan zona rekahan mengindikasikan daerah produktif reservoir panas bumi yang menjadi target dalam kegiatan eksplorasi. Fluida panas akan mengalir melalui zona rekahan dan sesar dan akan menunjukkan kelurusan di permukaan. Zona rekahan dan sesar ini juga disebut sebagai bidang lemah jalur aliran fluida panas yang menunjukkan zona permeabel/ zona reservoir (Kurnianto, 2022; Wibowo, 2010).

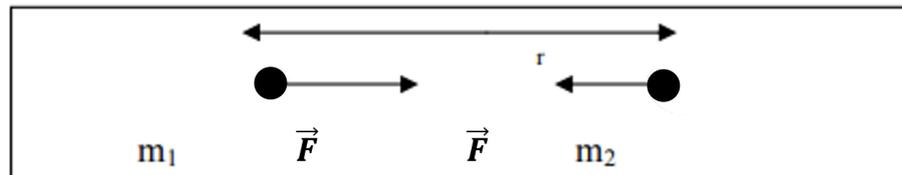
Fault and fracture density (FFD) adalah metode yang digunakan untuk menganalisa *fracture*/rekahan melalui peta kerapatan kelurusan (*lineament density*). Dalam membuat peta *lineament density* dapat digunakan data peta topografi digital (*digital elevation model*/DEM) dengan menarik *shaded relief* sebagai kelurusan (Marthen, 2016). Kelurusan di permukaan bumi sendiri akan berkaitan dengan ekstensi, kompresi, *stike-slip* atau pun hasil dari aktivitas batuan beku atau metamorf.

Dalam melakukan ekstraksi kelurusan menggunakan data DEM dapat dilakukan secara manual maupun otomatis. Secara manual, ekstraksi dilakukan menggunakan *hillshade* dengan beberapa sudut pencahayaan, biasanya digunakan 4 sudut azimuth yaitu 45° , 90° , 135° , dan 180° . Analisis kelurusan dilakukan secara manual untuk menghindari ekstraksi elemen garis yang tidak sesuai, seperti jalanan dan bangunan. Setelah didapatkan kelurusannya maka dapat dilakukan

perhitungan untuk mendapatkan nilai *lineament density* (Arrofi dkk., 2022).

3.2.5 Metode Gaya Berat

Metode gaya berat adalah suatu metode penyelidikan geofisika yang dapat digunakan dalam eksplorasi potensi panas bumi. Metode ini didasarkan pada Hukum Gravitasi Newton yang menyatakan gaya tarik-menarik antara dua benda sebanding dengan massa kedua benda tersebut dan berbanding terbalik dengan jarak kuadrat antara dua benda tersebut. Hukum gravitasi Newton diilustrasikan pada **Gambar 6** dan dinyatakan dalam persamaan (1).



Gambar 6. Gaya tarik-menarik antara dua benda bermassa (modifikasi dari Hinze dkk., 2012)

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1)$$

Dimana: \vec{F} : gaya tarik-menarik antar benda (N)

G : konstanta gravitasi ($G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$)

m_1, m_2 : massa benda (kg)

r : jarak antara titik pusat kedua massa (m)

Kemudian, terdapat pula Hukum II Newton tentang gaya gerak benda yang dituliskan pada persamaan (2) berikut.

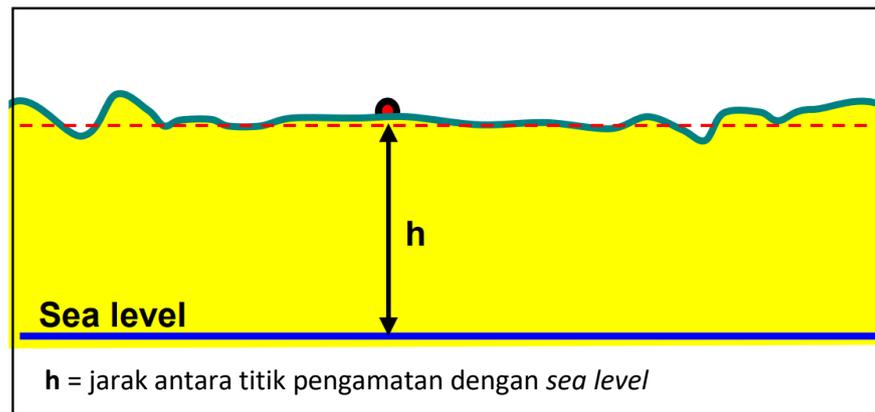
$$\vec{F} = m \cdot a \quad (2)$$

Dengan a merupakan percepatan benda yang identik dengan g (kuat medan gravitasi), maka kuat medan gravitasi pada benda 2 akibat benda 1 dituliskan pada persamaan (3) berikut.

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m_1} = G \frac{m_2}{r^2} \hat{r} \quad (3)$$

Persamaan (3) menyatakan percepatan gravitasi bumi, dimana r merupakan jari-jari bumi. Bersarnya gravitasi akan sebanding dengan massa penyebabnya dan massa benda berbanding langsung dengan rapat massa (ρ) dan volume benda. Besaran fisis yang diukur dalam metode *gravity* adalah percepatan gravitasi bumi. Oleh karena itu, besarnya gravitasi terukur akan mencerminkan rapat massa dan volume benda yang berkaitan dengan geometri dari benda tersebut, sehingga struktur geologi bawah permukaan dapat ditentukan. Selain itu, anomali gravitasi akan berhubungan dengan perubahan rapat massa yang terjadi akibat adanya perubahan material pengisi volume pori suatu batuan (Oktobiyanti, 2009; Sam, 2020; Taufiquddin, 2014).

Untuk memperoleh nilai gravitasi di suatu wilayah dapat dilakukan pengukuran secara langsung dengan alat gravimetri. Selain itu, dapat pula digunakan data gravitasi hasil akuisisi dari satelit gravimetri. Data gravitasi satelit diperoleh dengan cara mengamati perubahan jarak antara dua pasang satelit gravimetri pada orbitnya. Salah satu jenis satelit gravimetri adalah satelit TOPEX/Poseidon (Maulana dan Prasetyo, 2019). TOPEX merupakan sebuah satelit Bersama antara *National Aeronautics and Space Administration* (NASA/badan Antariksa milik Amerika Serikat) dan *Centre National D'Etudes Spatiales* (CNES/Lembaga ruang angkasa milik Prancis) yang digunakan untuk memetakan topografi permukaan laut. Data gravitasi satelit yang diperoleh dari TOPEX berupa data *Free Air Anomaly* (FAA). Data tersebut telah otomatis terkoreksi *drift*, koreksi pasang surut, koreksi lintang, dan data juga telah mengandung nilai topografi. Data FAA tersebut kemudian dilakukan koreksi Bouguer dan koreksi medan untuk mendapatkan Anomali Bouguer Lengkap (Maimuna dkk., 2021; Siombone dkk., 2022).



Gambar 7. Ilustrasi Koreksi Bouguer (Alsadi dan Baban, 2014)

Ilustrasi dalam koreksi Bouguer ditunjukkan oleh **Gambar 7**. Koreksi Bouguer dilakukan untuk menghilangkan efek massa batuan yang ada di antara permukaan laut dan titik pengamatan yang mengakibatkan perubahan nilai gravitasi (Alsadi dan Baban, 2014). Sementara itu, koreksi medan (*terrain correction*) dilakukan untuk menghilangkan pengaruh nilai gravitasi terhadap topografi dan perbedaan elevasi yang besar, seperti keberadaan bukit dan lembah di sekitar titik pengukuran. Efek topografi tersebut akan mempengaruhi pembacaan nilai gravitasi yang bersifat konservatif dan dapat mengurangi nilai bacaannya (Maulana dan Prasetyo, 2019).

Dalam eksplorasi panas bumi, anomali gravitasi positif akan terkait dengan intrusi mafik hingga menengah dan intrusi muda sebagai sumber panas (*heat source*) yang potensial. Selain itu, juga dapat disebabkan oleh pengendapan silikat dari aktivitas hidrotermal. Untuk anomali gravitasi negatif disebabkan oleh kepadatan yang rendah dan menjadi hal yang menjanjikan untuk eksplorasi panas bumi. Anomali negatif timbul karena adanya intrusi *felsic* seperti granit, *magma bodies*, atau batuan dengan porositas tinggi. Batuan dengan porositas tinggi akan memberikan potensi adanya kandungan fluida dan/atau permeabilitas yang tinggi. Selain itu, mineral alterasi yang dihasilkan oleh sirkulasi air panas yang juga dapat menyebabkan anomali densitas negatif (Huenges, 2010).

3.3 Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Metode *analytical hierarchy process* (AHP) merupakan metode yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty pada tahun 1970-an yang digunakan untuk memecahkan masalah yang kompleks. Pada metode ini dilakukan penyusunan hierarki untuk mengatur kelompok-kelompok tak terstruktur dan menggunakan nilai numerik untuk menggantikan perbandingan relatif oleh manusia dan disintesis yang kemudian ditentukan elemen dengan prioritas/hierarki tertinggi (Saaty, 1996). Dalam metode AHP persepsi peneliti menjadi *input* utama dalam penentuan hierarkinya. Penggunaan hierarki dilakukan untuk menguraikan masalah ke dalam kelompok-kelompoknya yang kemudian dibentuk suatu hierarki sehingga permasalahan tersebut akan tampak lebih terstruktur dan sistematis (Putri, 2016).

Prinsip dasar dalam penggunaan metode AHP yang perlu dipahami adalah sebagai berikut (Fauza, 2020).

1. *Decomposition* (menyusun hierarki), hierarki atau urutan tingkatan ini digunakan untuk menentukan dan mempertimbangkan kriteria/parameter yang digunakan untuk mencapai tujuan atau memecahkan permasalahan.
2. *Comparative judgment* (penilaian perbandingan berpasangan), dilakukan dengan membandingkan kepentingan relative dari dua elemen tertentu dan memberikan bobot numerik berdasarkan perbandingan keduanya. Hasil nilai perbandingan berpasangan ini biasanya disajikan dalam matriks *Pairwise comparison*.
3. *Synthesis of priority* (penentuan prioritas), dimana berdasarkan nilai dari matriks *pairwise comparison* dihitung nilai *eigen vector* untuk memperoleh nilai *local priority*.
4. *Logical consistency*, konsistensi ini berhubungan dengan tingkat hubungan antara objek-objek yang didasarkan pada kriteria tertentu.

Setiap metode akan memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri, begitu pula metode AHP. Analisis dengan metode AHP memiliki beberapa kelebihan antara lain memudahkan penyelesaian masalah tidak terstruktur dan kompleks menjadi lebih mudah dipahami, dapat digunakan untuk elemen

yang bebas dan tidak memerlukan hubungan linear, serta memperhitungkan validitas dari hasil yang diperoleh (Munthafa dan Mubarak, 2017). Sementara itu, kekurangan dari metode AHP sendiri adalah ketergantungan model AHP pada persepsi peneliti sehingga bersifat subjektif dan pengujian belum dilakukan secara statistic sehingga belum ada batas kepercayaan dari model yang dihasilkan.

Metode *analytical hierarchy process* (AHP) ini banyak digunakan dalam berbagai bidang, salah satunya dalam bidang energi yaitu eksplorasi panas bumi. Macharia dkk. (2018) dalam penelitiannya menggunakan metode AHP untuk menentukan potensi panas bumi di sepanjang *The Kenyan Rift*. Adapun parameter *input* yang digunakan adalah *Land Surface Temperature* (LST), geologi, *slope* (kemiringan lereng), *drainage*, dan penggunaan lahan. Hasil yang diperoleh menunjukkan daerah dengan potensi panas bumi dalam 3 rentang, yaitu rendah, sedang dan tinggi. Hasil yang diperoleh juga berkesesuaian dengan data survei lapangan dengan tingkat keberhasilan lebih dari 50 %. Peneliti juga mengungkapkan penggunaan metode ini dengan data SIG dan penginderaan jauh menjadi model yang baik untuk digunakan dan dikembangkan, serta dapat mengurangi biaya eksplorasi.

Selain itu, (Yalcin dan Kilic Gul, 2017) juga melakukan penelitian terkait potensi panas bumi di Afyonkarahisar yang berada pada batas Akarcay *Basin*, Turkey. Pada penelitian ini digunakan parameter seperti LST, *drainage density*, *fault lines*, geologi, dan manifestasi berupa *hot spring*. Model hasil yang diperoleh dibandingkan dengan lokasi manifestasi berupa mata air panas. Hasilnya daerah dengan potensi panas bumi tinggi yang diperoleh dari model berkesesuaian dengan lokasi mata air panas di lapangan.

Penelitian terkait juga dilakukan oleh Mahwa dkk. (2022) di Tangyin Rift, bagian tenggara dari Gunung Taihang di Cina. Penelitian tersebut bertujuan untuk menentukan daerah yang potensial untuk pengembangan eksplorasi panas bumi secara rinci dan untuk uji pengeboran sumur. Parameter yang digunakan berupa geologi, struktur, LST, dan alterasi mineral hidrotermal.

Hasil yang diperoleh menunjukkan daerah potensial berada Sebagian besar di sepanjang struktur sesar utama. Selain itu, model hasil juga berkesesuaian dengan lokasi manifestasi panass bumi, serta diverifikasi oleh peta potensi anomali panas bumi.

4.2 Alat dan Bahan Penelitian

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

1. Laptop
2. *Software* ArcGIS v.10.8.
3. *Software* Microsoft Excel 2019
4. *Software* Geosoft Osis Montaj
5. *Software* Surfer 12
6. *Software* Numeri
7. Data DEMNAS Daerah Suoh.
8. Data Citra Landsat 8 OLI/TIRS level 1 (LC08_L1TP_124064_20150626_20170407_01_T1).
9. Peta Geologi Lembar Kotaagung oleh Amin, dkk. tahun 1993.
10. Peta Geologi daerah Suoh oleh Hidayatika (2015).
11. Peta Rupa Bumi Indonesia Kabupaten Lampung Barat.
12. Data Gravity dan topografi TOPEX Daerah Suoh.

4.3 Prosedur Penelitian

4.3.1 Persiapan Data

Tahapan awal penelitian yang dilakukan adalah persiapan data berupa pengumpulan data yang akan digunakan pada proses penelitian. Pada penelitian ini digunakan beberapa macam data untuk setiap parameter *input* dari penelitian. Adapun parameter yang digunakan antara lain geologi, sebaran dan jenis manifestasi, *fault fracture density* (FFD), alterasi hidrotermal, suhu permukaan/*land surface temperature* (LST), dan data gravitasi. Setiap parameter memiliki jenis data yang berbeda sehingga perlu dilakukan pengumpulan data.

Parameter berupa geologi menggunakan sumber data yaitu Peta Geologi Regional Lembar Kotaagung oleh Amin dkk. (1993). Untuk data manifestasi panas bumi menggunakan Peta Geologi daerah Suoh oleh Hidayatika dkk. (2015). Untuk FFD digunakan data DEMNAS

yang diunduh dari laman <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/demnas>. Data DEMNAS yang digunakan antara lain DEMNAS_1010-51_v1.0, DEMNAS_1010-52_v1.0, DEMNAS_1010-53_v1.0, dan DEMNAS_1010-54_v1.0. Sementara itu, untuk parameter berupa alterasi hidrotermal dan suhu permukaan menggunakan data citra Landsat 8 OLI/TIRS (LC08_L1TP_124064_20150626_20170407_01_T1) dengan *land cloud cover* sebesar 12.94 %. Data citra landsat ini diunduh dari laman <https://earthexplorer.usgs.gov/> (USGS, 2023). Untuk data gravitasi digunakan data satelit TOPEX yang diunduh dari laman http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi. Hasil yang diperoleh berupa data *free air anomaly* (FAA) dan data topografi.

4.3.2 Pengolahan Data

1. Data Geologi

Pada tahapan ini dilakukan persiapan data geologi dengan sumber data peta geologi daerah setempat. Tahapan dimulai dengan melakukan *georeferencing* terhadap Peta Geologi Lembar Kotaagung oleh Amin dkk. (1993). Kemudian dilakukan proses pemotongan data sesuai dengan *Area of Interest* (daerah penelitian) yang telah ditentukan. Selanjutnya, dilakukan digitasi terhadap setiap formasi pada peta geologi lembar. Daerah penelitian mencakup Formasi Hulusimpang (Tomh), Formasi Ranau (QTr), Batuan Gunungapi Kuarter Muda (Qhv), Batuan Gunungapi Kuarter Tua (Qv), dan Aluvium (Qa). Setelah itu, dilakukan pengelompokkan berdasarkan kelompok batumannya. Pada penelitian ini kelima formasi dikelompokkan menjadi dua jenis kelompok batuan, yaitu kelompok endapan permukaan (alluvium) serta batuan sedimen dan gunungapi (Tomh, QTr, Qhv, dan Qv). Data hasil pengelompokkan tersebut masih dalam bentuk vektor sehingga perlu diubah menjadi bentuk data raster. Perubahan data

dalam bentuk raster bertujuan untuk menyesuaikan dengan *input* untuk proses *overlay*.

2. Data Manifestasi Panas Bumi

Pengolahan data manifestasi berupa peta geologi oleh Hidayatika dkk. (2015) dimulai dengan melakukan *georeferencing* pada peta tersebut. Setelah itu, dilakukan digitasi titik manifestasi panas bumi yang ada pada peta. Manifestasi panas bumi pada daerah penelitian berupa fumarola dan mata air panas (*hot spring*). Untuk menggambarkan kedekatan satu titik dengan titik manifestasi digunakan metode *Euclidean distance*. Setelah itu, dilakukan *reclassify* pada data raster dengan metode *Natural Breaks* dengan 5 kelas klasifikasi.

3. Data DEMNAS

Pada penelitian ini data DEMNAS digunakan untuk memperoleh nilai kerapatan kelurusan di daerah penelitian. Data DEMNAS yang digunakan adalah DEMNAS_1010-51_v1.0, DEMNAS_1010-52_v1.0, DEMNAS_1010-53_v1.0, dan DEMNAS_1010-54_v1.0. pada proses pengolahan data ini digunakan *software* ArcGIS v.10.8. Tahapan awal yang dilakukan adalah *define projection* dari setiap data DEMNAS, dimana proyeksi awal yang digunakan adalah WGS 1984. Kemudian dilakukan proses penyatuan data raster (*mosaic to new raster*) untuk memperoleh data raster yang mencakup *area of Interest*. Selain itu, dilakukan pula penentuan *project raster* dimana proyeksi data raster yang sebelumnya adalah WGS 1984 diubah menjadi UTM 48S. Selanjutnya, dilakukan pemotongan data raster sesuai dengan lebar *area of interest* yang telah ditentukan.

Untuk mendapatkan nilai kerapatan dan kelurusan digunakan metode *fault fracture density* (FFD), dimana nilai kerapatan dan

kelurusan dianalisis dari rekahan/*fracture* yang ada pada daerah penelitian. Dalam menganalisisnya digunakan *hillshade* dari data topografi (DEM) untuk menentukan kelurusan dari *shaded relief*. Oleh karena itu, data DEM hasil proses sebelumnya dilakukan analisis spasial berupa *hillshade* dengan beberapa arah pencahayaan. Setelah itu, dilakukan analisis kelurusan dari peta *hillshade* secara manual. Hasil kelurusan yang diperoleh dilakukan analisis spasial berupa *lineament density* menggunakan *tools* yang ada di ArcGIS.

4. Data Citra Landsat 8 OLI/TIRS

Data citra Landsat 8 OLI/TIRS digunakan untuk memperoleh nilai dari parameter alterasi hidrotermal dan suhu permukaan (*Land Surface Temperature*). Data citra Landsat 8 ini memiliki 11 *band* dengan *band* 10 dan 11 sebagai *thermal bands*.

a. Alterasi Hidrotermal

Untuk mendapatkan sebaran alterasi hidrotermal pada daerah penelitian digunakan Band 2, 4, 5, 6, dan 7. Tahapan awal yang dilakukan adalah koreksi radiometrik untuk mendapatkan nilai reflektansi dari tiap band. Selanjutnya, dilakukan *masking* sesuai dengan *Area of interest* yang telah ditentukan. Setelah itu, dilakukan *band ratio* dengan beberapa jenis rasio, yaitu rasio band 4/5 untuk vegetasi, rasio band 4/2 untuk mineral limonit, dan rasio band 6/7 untuk mineral lempung (kaolinit). Untuk mendapatkan sebaran mineral hidrotermal digunakan metode *Directed PCA* (DPCA). Metode DPCA menggunakan nilai vector eigen dari *principal component* (PC) untuk memutuskan gambar PC yang memusatkan informasi terkait target dari penelitian. Pada tahapan ini akan diperoleh peta sebaran alterasi hidrotermal pada daerah penelitian.

b. *Land Surface Temperature (LST)*

Pada proses ini digunakan data citra Landsat 8 band 10 sebagai *band thermal* dan juga band 4 dan band 5 untuk menghitung kepadatan vegetasi (NDVI). Pengolahan data dimulai dengan melakukan koreksi radiometric, dimana nilai digital (DN) akan diubah menjadi nilai *Top of Atmosphere (TOA) Radiance* dan *Reflectance*. Hasil koreksi radiometrik band 10 akan menghasilkan nilai radiansi, yang kemudian akan dilakukan konversi radian menjadi nilai *satellite temperature (TOA Brightness Temperature)* dengan persamaan (4) (USGS, 2019).

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L} + 1\right)} - 273 \quad (4)$$

Dimana:

T_s : *satellite temperature* dalam satuan Celcius

K_1 : *calibration constant 1* Band 10

K_2 : *calibration constant 2* Band 10

L : *spectral radian*

Sementara itu, hasil koreksi band 4 dan 5 berupa nilai reflektansi, yang kemudian akan dilakukan perhitungan nilai NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) pada persamaan (5).

$$NDVI = \frac{\text{Band 5 (NIR)} - \text{Band 4 (Red)}}{\text{Band 5 (NIR)} + \text{Band 4 (Red)}} \quad (5)$$

Setelah itu, dilakukan perhitungan nilai fraksi vegetasi (Pv) menggunakan persamaan (6) berikut.

$$PV = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right] \quad (6)$$

Kemudian, dilakukan perhitungan nilai emisivitas (e) dengan persamaan (7) berikut.

$$e = 0.004 \times PV + 0.986 \quad (7)$$

Setelah diperoleh nilai *satellite temperature* dan nilai emisivitas, maka dilakukan konversi menjadi *land surface temperature* dengan persamaan (8) berikut.

$$T_k = \frac{T_s}{\left[1 + \left(\lambda \times \frac{T_s}{C_2}\right) \times \ln(e)\right]} \quad (8)$$

Dimana:

T_k : *land surface temperature*

T_s : *satellite temperature*

λ : panjang gelombang citra Landsat 8: 10.8

C_2 : 14388

e : emisivitas

Hasil LST yang diperoleh kemudian dilakukan pemotongan (*masking*) sesuai dengan luasan *Area of Interest* yang digunakan dalam penelitian. Setelah itu, dilakukan *overlay* dengan data pemukiman untuk mengeliminasi nilai suhu permukaan yang disebabkan oleh pemukiman. Daerah pemukiman dianggap nilainya 0 atau bukan suhu permukaan yang muncul tersebut sebab potensi *geothermal*.

5. Data Gaya Berat

Pada penelitian ini digunakan data gravitasi satelit TOPEX untuk memperoleh nilai anomali Bouguer di daerah penelitian. Data gravitasi satelit yang diperoleh adalah nilai *free air anomaly* (FAA) dan topografi. Data FAA kemudian dilakukan koreksi gaya berat berupa koreksi medan dan koreksi Bouguer untuk mendapatkan nilai Anomali Bouguer Lengkap.

Koreksi medan (*TC*) dilakukan untuk menghilangkan efek topografi di sekitar daerah penelitian, yang mana pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software Oasis Montaj*. Selanjutnya, koreksi Bouguer (*BC*) dilakukan untuk

menghilangkan massa batuan di sekitar daerah penelitian. Koreksi Bouguer dinyatakan pada persamaan (9) berikut.

$$BC = 2\pi G\rho h = 0.0419\rho h \quad (9)$$

Dimana, h adalah elevasi titik pengukuran dalam meter dan ρ adalah densitas permukaan rata-rata dalam gr/cc (Alsadi dan Baban, 2014). Densitas permukaan rata-rata yang digunakan dalam koreksi Bouguer diperoleh dengan menggunakan penentuan densitas metode Parasnis dan Nettleton. Anomali Bouguer Lengkap diperoleh dengan persamaan (10) berikut.

$$g_{AB} = FAA - BC + TC \quad (10)$$

Selanjutnya, dilakukan analisis spektrum pada data ABL untuk mendapatkan nilai lebar jendela yang kemudian akan digunakan dalam pemisahan anomali menggunakan filter *moving average* dengan *software* Surfer 12. Hasil pemisahan anomali Bouguer tersebut berupa anomali regional dan residual. Anomali residual yang diperoleh akan dijadikan parameter dalam penentuan lokasi berpotensi panas bumi pada penelitian ini. Anomali residual yang diperoleh akan diubah menjadi data raster untuk tahap *overlay* pada ArcGIS.

4.3.3 Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) merupakan metode berbasis GIS yang digunakan untuk analisis multi kriteria atau membantu mengintegrasikan berbagai lapisan tematik. Tahapan awal yang dilakukan adalah menentukan tujuan dari penelitian, yang mana dalam penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi panas bumi di daerah Suoh. Selanjutnya, ditentukan parameter/variabel yang digunakan dalam penelitian. Pada penelitian ini digunakan 6 parameter, yaitu manifestasi panas bumi, geologi, kerapatan kelurusan, alterasi hidrotermal, suhu permukaan (*land surface temperature*), dan anomali gaya berat.

Parameter yang diperoleh selanjutnya dilakukan standarisasi, yang mana seluruh *layer* (peta parameter) memiliki nilai yang sama yaitu 0 – 1. Metode transformasi skala linear merupakan metode yang banyak digunakan dalam penelitian sejenis. Metode rentang nilai maksimum dan minimum digunakan dalam melakukan transformasi skala linear untuk standarisasi setiap *layer* (Yalcin dan Kilic Gul, 2017). Persamaan (11) digunakan untuk transformasi pada *layer* yang peningkatan besar nilainya selaras dengan besar potensi panas buminya. Sementara itu, persamaan (12) digunakan untuk transformasi pada *layer* yang peningkatan besar nilainya berbanding terbalik dengan besar potensi panas buminya.

$$x' = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (11)$$

$$x' = 1 - \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (12)$$

Setelah itu, ditentukan struktur hierarki dari parameter yang ada. Berdasarkan struktur hierarki yang ditentukan, kemudian dilakukan *pairwise comparison* atau perbandingan berpasangan antar variabel. Perbandingan berpasangan ini dilakukan untuk menentukan bobot setiap variabel. **Tabel 2** menyajikan matriks perbandingan berpasangan pada penelitian ini dan **Tabel 3** sebagai skala penilaiannya.

Tabel 2. Matriks perbandingan berpasangan

	Geologi	Manifestasi Panas Bumi	Lineament Density	Alterasi Hidrotermal	Suhu Permukaan	Anomali Gravity	Bobot
Geologi	1						
Manifestasi Panas Bumi		1					
Lineament Density			1				
Alterasi Hidrotermal				1			
Suhu Permukaan					1		
Anomali Gravity						1	

Setelah mendapatkan nilai perbandingan berpasangan, langkah selanjutnya adalah melakukan sintesis untuk mendapatkan nilai eigen (*eigen value*) dan *consistency ratio* (CR). Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Menjumlahkan nilai pada setiap kolom matriks.
2. Normalisasi matriks dengan cara membagi nilai dari tiap kolom dengan jumlah total nilai kolom tersebut.
3. Menghitung nilai prioritas relatif dengan cara menjumlahkan nilai setiap baris dan membagi nilai tersebut dengan jumlah elemen matriks.

Tabel 3. Skala penilaian perbandingan berpasangan

Intensitas Kepentingan	Keterangan	Penjelasan
1	Kedua elemen sama pentingnya	Dua elemen mempunyai pengaruh yang sama besar terhadap tujuan
3	Elemen satu yang sedikit lebih penting daripada elemen yang lainnya	Pengalaman dan penilaian sedikit menyokong satu elemen dibandingkan elemen yang lainnya
5	Elemen yang satu lebih penting daripada elemen lainnya	Pengalaman dan penilaian sangat kuat menyokong satu elemen dibandingkan elemen lainnya
7	Satu elemen jelas lebih mutlak penting dari pada elemen lainnya	Satu elemen yang kuat disokong dan dominan terlihat dalam praktek
9	Satu elemen mutlak penting dari pada elemen yang lainnya	Bukti yang mendukung elemen yang satu terhadap elemen lain memiliki tingkat penegasan tertinggi yang mungkin menguatkan
2, 4, 6, 8	Dapat digunakan untuk menyatakan nilai diantara 2 nilai	

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & a_{22} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Persamaan (13) merupakan bentuk matriks yang digunakan pada metode AHP dengan jumlah elemen matriks bergantung pada jumlah variabel yang digunakan dalam penelitian. Tahapan selanjutnya adalah uji konsistensi dari perbandingan berpasangan yang telah ditentukan sebelumnya. Berikut adalah langkah-langkah dalam uji konsistensi (Fauza, 2020).

1. Mengalikan matriks perbandingan berpasangan (c_{ij}) dengan nilai prioritas relatif (w_{ij}) yang telah diperoleh sebelumnya.

$$P_{ij} = c_{ij} \times w_i \quad (14)$$

2. Menjumlahkan nilai setiap baris dari hasil perkalian matriks di atas.

$$T_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} \quad (15)$$

3. Membagi hasil penjumlahan nilai tiap baris (T_i) dengan nilai prioritas relatif.

$$A_i = \frac{T_i}{w_i} \quad (16)$$

4. Menjumlahkan hasil perhitungan pada tahap 3 dengan banyak elemen matriks untuk mendapatkan nilai eigen (*eigen value*).

$$\lambda_{maks} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n} \quad (17)$$

5. Menghitung nilai *Consistency Index* (CI) dengan persamaan (18) berikut.

$$CI = \frac{(\lambda_{maks} - n)}{n-1} \quad (18)$$

6. Menghitung nilai *consistency ratio* (CR) dengan persamaan (19) berikut.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (19)$$

Dimana, *RI* adalah *Random Index Consistency* yang besar nilainya bergantung pada jumlah elemen matriks. Untuk nilai *RI* dapat dilihat pada **Tabel 4** berikut.

Tabel 4. Nilai *Random Index* (RI) (Suryadi dan Ramdhani, 1998)

Ukuran Matriks	<i>Random Index</i> (RI)
1	0
2	0
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49
11	1.51
12	1.48
13	1.56
14	1.57
15	1.59

Nilai *Consistency Ratio* (CR) yang diperoleh menjadi penentu diterima atau ditolak perbandingan berpasangan yang telah ditentukan sebelumnya. Untuk matriks dengan jumlah elemen lebih dari 4 elemen, maka CR harus kurang dari 10%. Apabila nilai rasio konsistensinya lebih dari ketentuan, maka perlu dilakukan kembali perbandingan berpasangan hingga memperoleh rasio konsistensi yang sesuai (Saaty, 1996).

Apabila hasil uji konsistensi telah menyatakan bahwa perbandingan matriks dapat diterima, maka dapat dilanjutkan pada tahap pembobotan. Pembobotan tiap variabel diperoleh dari nilai prioritas elemen yang

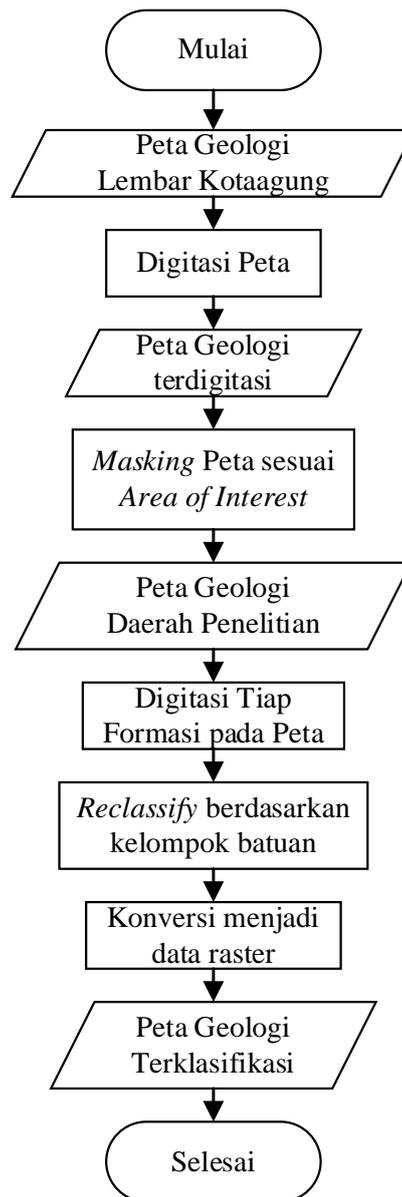
telah dihitung pada tahapan yang telah dijelaskan sebelumnya. Nilai prioritas tersebut digunakan sebagai nilai pembobotan variabel menggunakan *software* ArcGIS dengan tools *weighted overlay*. Hasil *overlay* yang diperoleh akan menunjukkan daerah berpotensi panas bumi pada daerah penelitian. Hasil tersebut akan dianalisis lebih lanjut terkait pengaruhnya dengan setiap parameter yang digunakan. Selain itu, juga dievaluasi hasilnya dengan merujuk pada penelitian terdahulu.

4.4 Diagram Alir

Adapun diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

4.4.1 Data Geologi

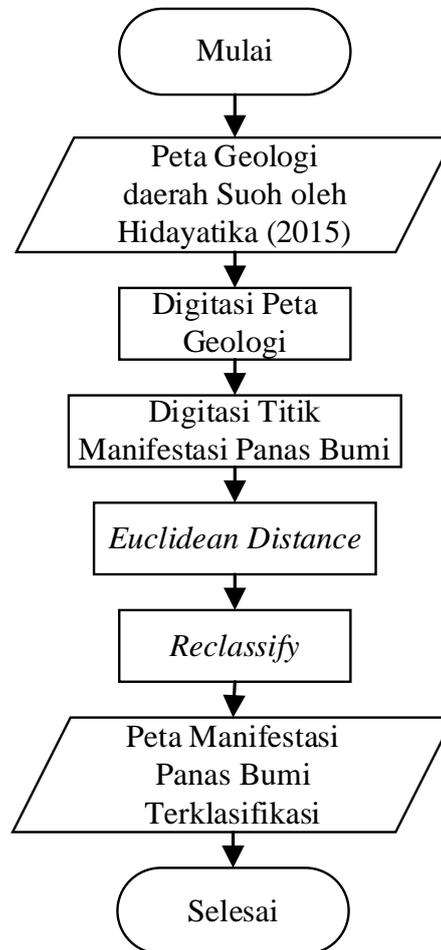
Adapun diagram alir penelitian untuk pengolahan data geologi ditunjukkan pada **Gambar 8** berikut.



Gambar 8. Diagram alir untuk data geologi

4.4.2 Data Manifestasi Panas Bumi

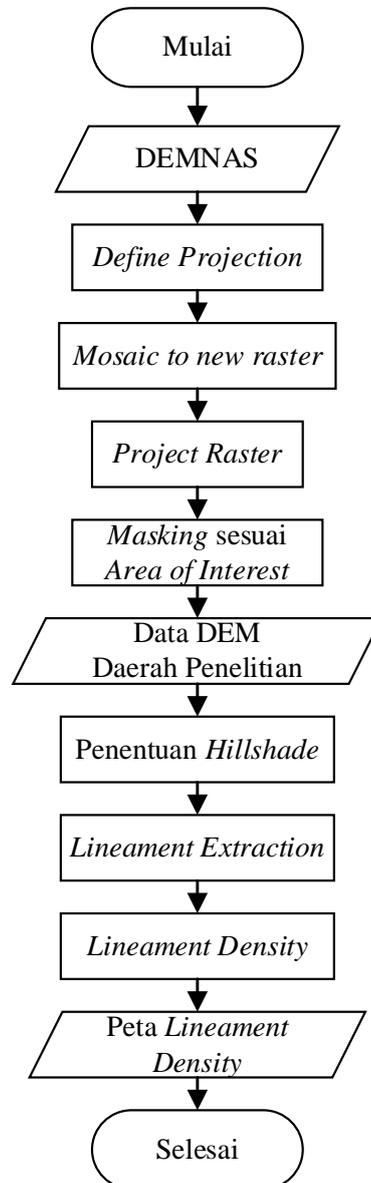
Adapun diagram alir penelitian untuk pengolahan data manifestasi panas bumi ditunjukkan pada **Gambar 9** berikut.



Gambar 9. Diagram alir untuk data manifestasi panas bumi

4.4.4 Data DEMNAS

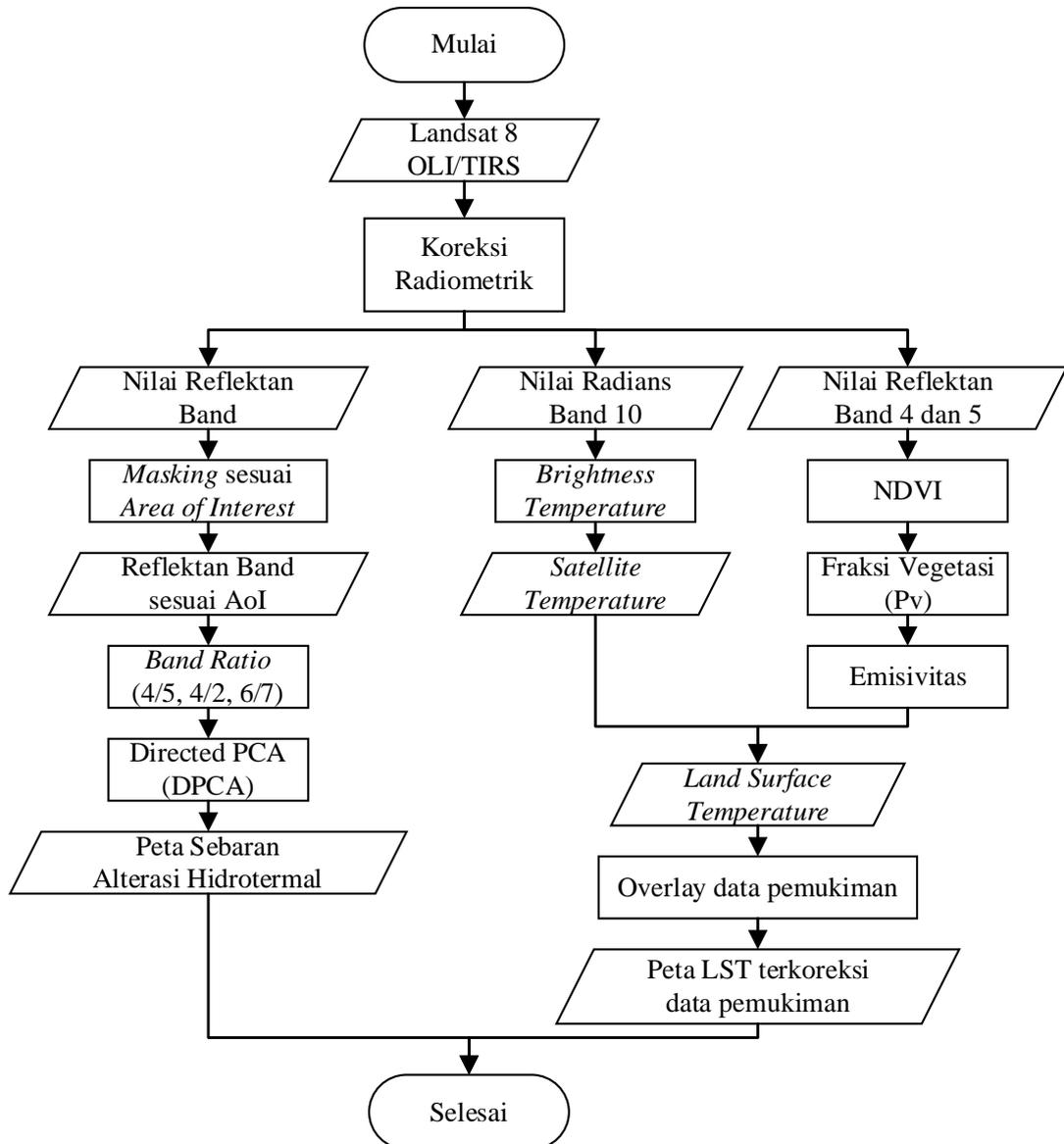
Adapun diagram alir penelitian untuk pengolahan data DEMNAS ditunjukkan pada **Gambar 10** berikut.



Gambar 10. Diagram alir untuk data DEMNAS

4.4.5 Data Citra Landsat 8 OLI/TIRS

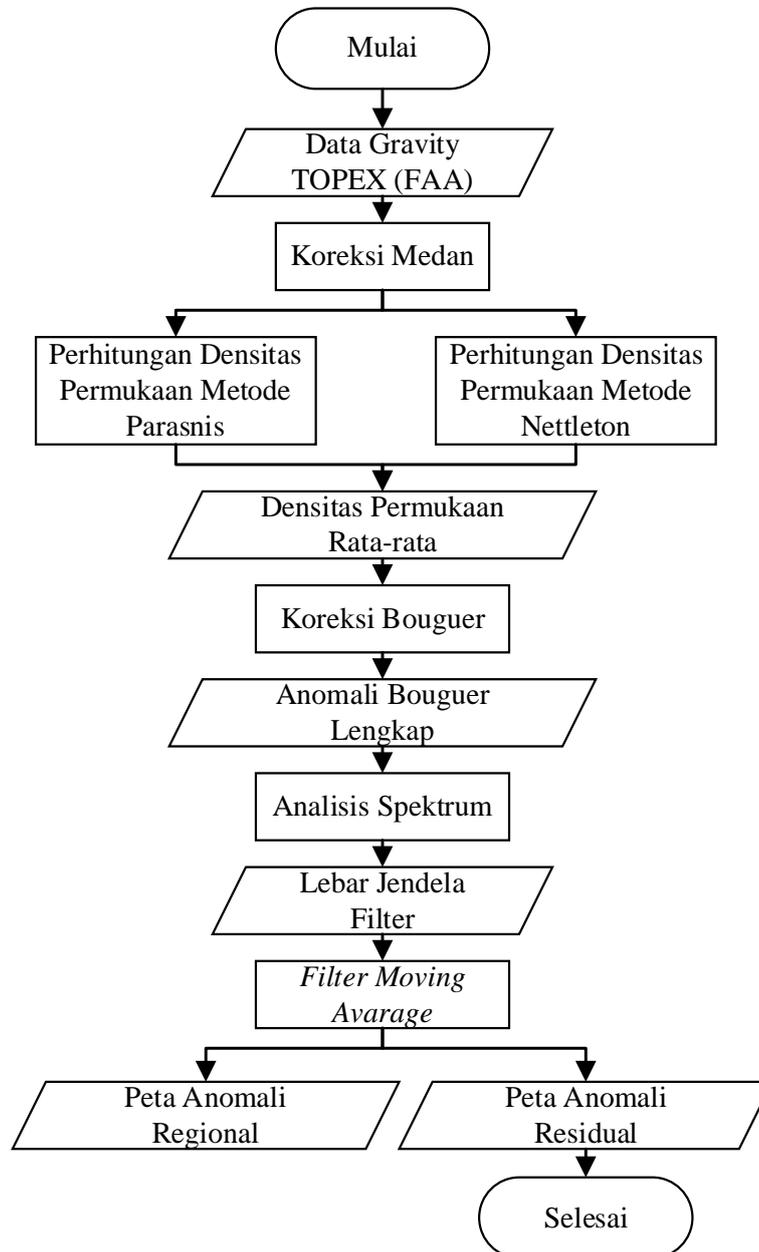
Adapun diagram alir penelitian untuk pengolahan data citra Landsat 8 OLI/TIRS ditunjukkan pada **Gambar 11** berikut.



Gambar 11. Diagram alir untuk data Citra Landsat 8

4.4.6 Data Gaya Berat

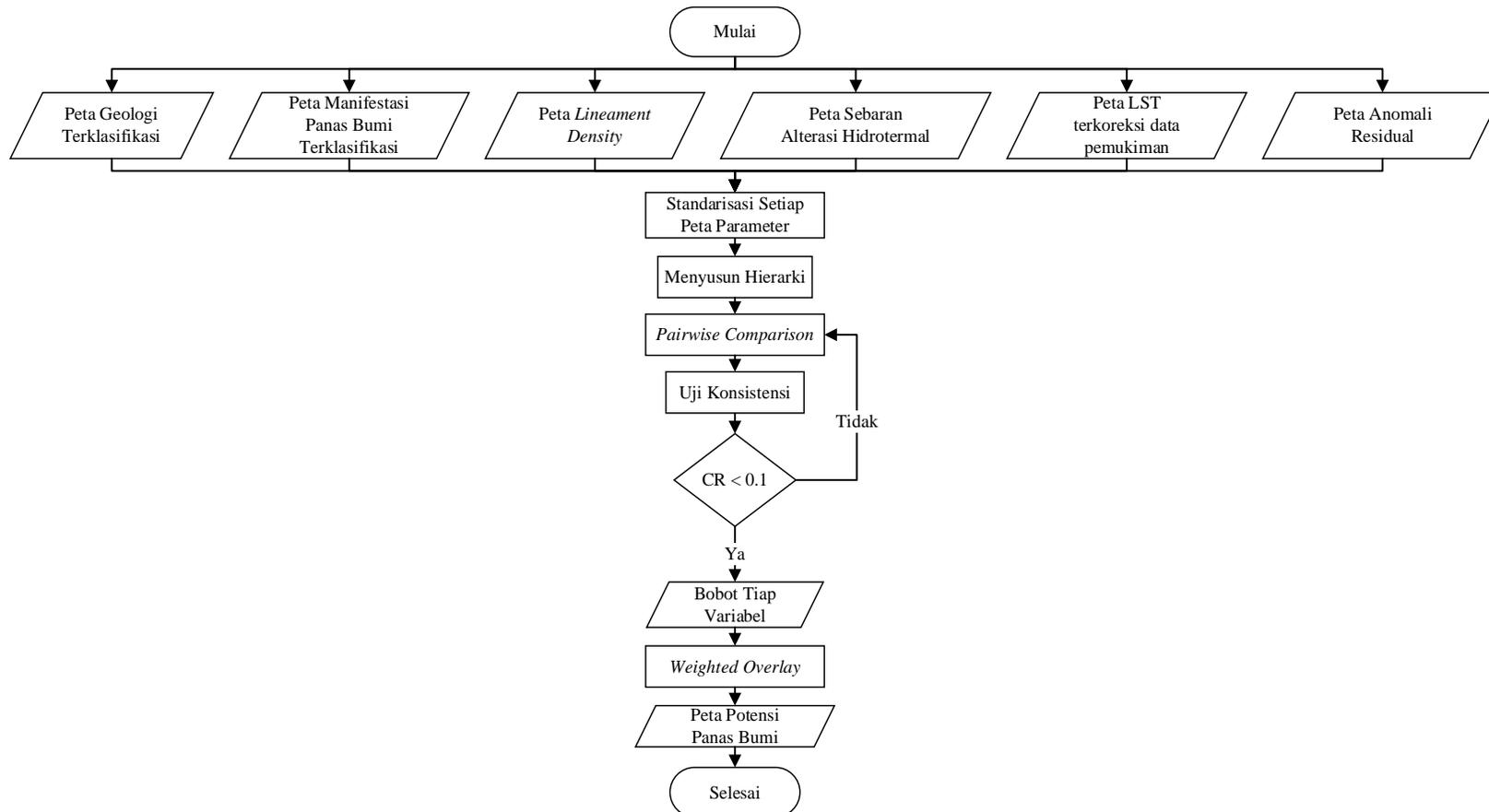
Adapun diagram alir penelitian untuk pengolahan data gaya berat TOPEX ditunjukkan pada **Gambar 12** berikut.



Gambar 12. Diagram alir untuk data gaya berat

4.4.7 Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Adapun diagram alir penelitian untuk proses AHP ditunjukkan pada **Gambar 13** berikut.



Gambar 13. Diagram alir untuk metode AHP

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Parameter *input* yang digunakan dalam penelitian ini adalah geologi, manifestasi panas bumi, densitas kelurusan, daerah teralterasi, suhu permukaan tanah, dan anomali residual data gaya berat.
2. Tingkatan kepentingan (hierarki) dari parameter penelitian ditentukan dari tertinggi hingga terendah, yaitu manifestasi panas bumi, geologi, daerah teralterasi, densitas kelurusan, anomali residual data gaya berat dan suhu permukaan tanah. Berdasarkan penilaian perbandingan berpasangan yang dirumuskan, *consistency ratio* yang diperoleh sebesar 6.4%. Nilai CR tersebut bernilai kurang dari 10%, sehingga penilaian perbandingan berpasangan tersebut dapat diterima.
3. Berdasarkan peta potensi panas bumi yang dihasilkan, disimpulkan bahwa daerah penelitian memiliki potensi panas bumi dari rendah hingga sangat tinggi. 20.23% dari luas daerah penelitian memiliki potensi panas bumi yang tinggi. Potensi panas bumi tinggi tersebut berada pada daerah didekat manifestasi, memiliki densitas kelurusan yang cenderung tinggi, merupakan daerah dengan alterasi, suhu permukaannya tinggi, anomali residual cenderung sedang hingga sangat tinggi, serta didominasi oleh formasi dengan batuan vulkanik.
4. Pada penelitian ini, metode *analytical hierarchy process* (AHP) berhasil memetakan daerah berpotensi panas bumi pada daerah penelitian dengan tingkat keberhasilan sebesar 70%. Daerah berpotensi panas bumi tinggi berkorelasi dengan 8 titik manifestasi panas bumi di daerah penelitian.

6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Diperlukan data lapangan sebagai validasi hasil penelitian, seperti data geokimia fluida panas bumi ataupun data bor untuk mendapatkan informasi geologi yang lebih akurat.
2. Penentuan kriteria atau parameter dan bobot parameter dalam penelitian dilakukan secara subjektif. Oleh karena itu, diperlukan lebih banyak studi penelitian terkait berdasarkan pendapat ahli, penelitian terdahulu, dan disesuaikan karakteristik dari daerah penelitain.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsadi, H. N., dan Baban, E. N. (2014). *Introduction to Gravity Exploration Method* (First Edition). Iraq: University of Sulaimani, Sulaimaniyah, Kurdistan Region- Iraq.
- Amin, T. C., Sidarto, Santosa, S., dan Gunawan, W. (1993). *Peta Geologi Lembar Kotaagung, Sumatera*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Anandababu, D., Purushothaman, B. M., dan Suresh Babu, S. (2018). Estimation of Land Surface Temperature using LANDSAT 8 Data. *International Journal of Advance Research*, 4(2).
- Aqli, M. R. (2019). Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Prospek Panas Bumi dengan Metode Gravitasi (Studi Kasus di Daerah Mata Air Panas Padusan Desa Padusan Kecamatan Pacet Kabupaten Mojokerto). *Skripsi*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Arrofi, D., Abu-Mahfouz, I. S., dan Prayudi, S. D. (2022). Investigating High Permeable Zones In Non-Volcanic *Geothermal* Systems Using Lineament Analysis And Fault Fracture Density (FFD): Northern Konawe Regency, Indonesia. *Geothermal Energy*, 10(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s40517-022-00241-3>
- Azevedo, J. A., Chapman, L., dan Muller, C. L. (2016). Quantifying The Daytime And Night-Time Urban Heat Island In Birmingham, UK: A Comparison Of Satellite Derived Land Surface Temperature And High Resolution Air

Temperature Observations. *Remote Sensing*, 8(2).
<https://doi.org/10.3390/rs8020153>

Badan Informasi Geospasial. (2023a). *Peta Rupa Bumi Kabupaten Lampung Barat*. Diakses pada 9 Januari 2023, dari <https://tanahair.indonesia.go.id/>.

Badan Informasi Geospasial. (2023b). *Seamless Digital Elevation Model (DEM)*. Diakses pada 9 Januari 2023, dari <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/>.

Barber, A. J., Crow, M. J., dan J. S. Milsom. (2005). Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution. Dalam *GEOLOGICAL SOCIETY MEMOIRS NO. 31*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Browne, P. R. L. (1978). Hydrothermal Alteration in Active *Geothermal* Fields. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 6(1), 229–248.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ea.06.050178.001305>

Fauza, G. D. (2020). Penerapan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dalam Penentuan Penerima Bantuan Program Keluarga Harapan (PKH) di Kelurahan Binjai Kecamatan Medan Denai. *Skripsi*. Medan: Universitas Islam Negeri Sumatera Utama.

Fossen, H. (2010). Structural Geology and Structural Analysis. Dalam *Structural Geology* (hlm. 1–20). New York: Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511777806.003>

Fraser, S. J., dan Green, A. A. (1987). A Software Defoliant for Geological Analysis of Band Ratios. *International Journal of Remote Sensing*, 8(3).
<https://doi.org/10.1080/01431168708948659>

Gupta, H., dan Roy, S. (2006). *Geothermal Energy: An Alternative Resource for the 21st Century*. Dalam *Geothermal Energy: An Alternative Resource for the 21st Century*. Elsevier.

- Haerudin, N., Despa, D., dan Suharno. 2020. Penentuan Patahan dan Saluran Fluida Panas Bumi Rajabasa Bagian Selatan dengan Kombinasi Metode *Second Horizontal Derivatif* (SHD) dan *Audio Magnetotelluric* (AMT). *Jurnal Profesi Insinyur*, 1(1), 11– 9.
- Hendrasto, F., Hutasoit, L., Kusuma, S. B., dan Sapiie, B. (2018). Penerapan Model Nreca pada Daerah Resapan Lapangan Panasbumi Wayang Windu, Jawa Barat. *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 28(1). <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2018.v28.428>
- Hidayatika, A., Utami, P., Suharno, dan Amukti, R. (2015). Analysis of Thermal Manifestation in Suoh West Lampung Indonesia. *World Geothermal Congress*.
- Hinze, W. J., von Frese, R. R. B., dan Saad, A. H. (2012). Gravity and Magnetic Exploration. Dalam *Gravity and Magnetic Exploration: Principles, Practices, and Applications*. New York: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511843129>
- Hochstein, M. P., dan Browne, P. R. L. (2000). Surface Manifestations Of *Geothermal* Systems With Volcanic Heat Sources. *Encyclopedia Of Volcanoes*.
- Huenges, E. (2010). *Geothermal* Energy Systems: Exploration, Development, and Utilization. Dalam *Geothermal Energy Systems: Exploration, Development, and Utilization*. <https://doi.org/10.1002/9783527630479>
- Iqbal, M., dan Juliarka, B. R. (2019). Analisis Kerapatan Kelurusan (Lineament Density) di Lapangan Panasbumi Suoh-Sekincau, Lampung. *Journal of Science and Applicative Technology*, 3(2). <https://doi.org/10.35472/jsat.v3i2.212>
- Karyanto, K., Haerudin, N., Mulyasari, R., Suharno, dan Manurung, P. 2020. *Geothermal* Potential Assesment of Way Ratai Area Based on Thermal

Conductivity Measurement to Measure Thermal Properties of Rocks. *Journal of the Earth and Space Physics*, 45(4), 89–98.

Kementerian ESDM. (2021). *Handbook of Energy dan Economic Statistics of Indonesia*. Jakarta.

Kurnianto, B. (2022). Identifikasi Prospek Panasbumi Berdasarkan Analisis Fault Fracture Density (FFD) Lapangan Panasbumi Gunung Ungaran, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah. *Seminar Nasional Riset dan Inovasi Teknologi*, 1(1), 265–274. <https://e-proceeding.itp.ac.id/index.php/sinarint/article/view/54>

Kurniawan, M., Janat, N. R., Musa, Moh. D. Th., Febrianto, R. A., Maulana, A., dan Rahmania. (2017). Penyelidikan Geofisika, Geologi, dan Geokimia pada Panas Bumi Non-Vulkanik di Pulu Sulawesi Tengah. *Seminar Nasional Kebumihan Ke-10, Peran Penelitian Ilmu Kebumihan Dalam Pembangunan Infrastruktur Di Indonesia*, 1435–1447.

Macharia, M. W., Gachari, M. K., Mariita, N. O., Mundia, C. N., dan Kurnia, D. N. (2018). A GIS-Based Approach for Exploring *Geothermal* Resources Along Part of The Kenyan Rift. *Journal of Applied Science, Engineering and Technology for Development*. <https://doi.org/10.33803/jasetd.2017.3-1.1>

Mahwa, J., Li, D., Ping, J., Leng, W., Tang, J., dan Shao, D. (2022). Mapping The Spatial Distribution of Fossil *Geothermal* Manifestations and Assessment of *Geothermal* Potential of The Tangyin Rift, Southeast of Taihang Mountain In China. *Journal of Mountain Science*, 19(8), 2241–2259. <https://doi.org/10.1007/s11629-022-7329-2>

Maimuna, A. K., Pramesthi, E. A., Segoro, Y. A., Margiono, R., Azzahra, K. S., Akhadi, M., dan Siregar, D. v. (2021). Analisis Anomali Gaya Berat Menggunakan Metode SVD dan Pemodelan 3D (Studi Kasus Gempa di Kepulauan Togean, Kabupaten Tojo Una-Una, Sulawesi Tengah). *Jurnal Geofisika*, 19(1), 17–23.

- Marthen, Y. (2016). Identifikasi Struktur Geologi dan Sistem Panasbumi Kompleks Kaldera Ijen Berdasarkan Gravitasi Citra Satelit. *Skripsi*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Maulana, A. D., dan Prasetyo, D. A. (2019). Analisa Matematis pada Koreksi Bouguer dan Koreksi Medan Data Gravitasi Satelit TOPEX dan Penerapan dalam Geohazard Studi Kasus Sesar Palu Koro, Sulawesi Tengah. *Jurnal Geosaintek*, 5(3), 91–100. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v5i3.6100>
- Meng, F., Liang, X., Xiao, C., dan Wang, G. (2021). *Geothermal Resource Potential Assessment Utilizing GIS - Based Multi Criteria Decision Analysis Method*. *Geothermics*, 89, 101969. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101969>
- Moehadi, M. (2010). *Fundamental of Petroleum Geology and Exploration*. Universitas Indonesia.
- Munthafa, A. E., dan Mubarak, H. (2017). Penerapan Metode Analytical Hierarchy Process dalam Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Mahasiswa Berprestasi. *Jurnal Siliwangi*, 3(2).
- Murbanendra, B. W. (2016). Identifikasi Panas Bumi Di Gedongsongo Menggunakan Metode Magnetik. *Skripsi*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Nettleton, L.L. (1976). *Gravity and Magnetics In Oil Prospecting*. USA: McGraw-Hill Book Co.
- Nicholson, K. (1993). *Geothermal Fluids*. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-77844-5>
- Oktobiyanti, R. (2009). Pemodelan Sistem *Geothermal* Daerah Sibayak Menggunakan Data Magnetotellurik Dan Gravitasi. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.

- Parapat, J. (2017). Analisis dan Pemodelan Inversi 3D Struktur Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi Sipoholon Berdasarkan Data Gaya Berat. *Skripsi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Pratama, Y. A., Rifaldy, dan Mutika, A. (2021). Identifikasi Alterasi Hidrotermal Menggunakan Citra Landsat 8 OLI/TIRS: Studi Kasus Gunung Patuha, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. *Bulletin Of Geology*, 5(1), 528–534.
- Putra, I., Nasution, R., dan Harijoko, A. (2017). Aplikasi LANDSAT 8 OLI/TIRS Dalam Mengidentifikasi Alterasi Hidrotermal Skala Regional : Studi Kasus Daerah Rejang Lebong dan Sekitarnya, Provinsi Bengkulu. *Seminar Nasional Kebumihan ke-10*.
- Putri, V. N. T. (2016). Analisa Daerah Potensi Panas Bumi Berdasarkan Parameter Geosains Menggunakan Metode Spatial Multi Criteria Analysis (SMCA). *Tugas Akhir*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Saaty, T. L. (1996). *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*. Int. J. Services Sciences.
- Salamba, K. E., Hawu Hede, A. N., dan Nur Heriawan, M. (2019). Identification Of Alteration Zones Using A Landsat 8 Image of Densely Vegetated Areas Of The Wayang Windu Geothermal Field, West Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 254, 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/254/1/012004>
- Sam, N. A. R. (2020). Studi Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Gaya Berat di Daerah Panas Bumi Kec. Lasusua Kab. Kolaka Utara. *Skripsi*. Makassar: UIN Alauddin Makassar.
- Saptadji, N. M. (2001). *Teknik Panasbumi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Saputri, A. N., Rahmawati, L., dan Aziza, A. N. (2022). Pemanfaatan Citra Landsat 8 untuk Mengidentifikasi Keberadaan Heat Flow di Daerah Prospek Panas

Bumi Suoh, Lampung Barat. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing*, 3(1), 36–42. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2022.v3i1.73>

Saragih, B. F., Prasetyo, Y., dan Sasmito, B. (2015). Identifikasi Manifestasi Panas Bumi dengan Memanfaatkan Kanal Thermal pada Citra Landsat (Studi Kasus: Kawasan Dieng). *Jurnal Geodesi Undip*, 4(4), 25–33.

Şener, E., dan Şener, Ş. (2021). Exploration of *Geothermal* Potential Using Integrated Fuzzy Logic And Analytic Hierarchy Process (AHP) In Ağrı, Eastern Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30(SI-2), 1134–1150. <https://doi.org/10.3906/yer-2105-18>

Siombone, S. H., Susilo, A., dan Maryanto, S. (2022). Integration of Topex Satellite Gravity and DEM SRTM Imagery for Subsurface Structure Identification at Tiris *Geothermal* Area, Lamongan Volcano Complex, Probolinggo, East Java. *POSITRON*, 12(2), 98–111. <https://doi.org/10.26418/positron.v12i2.56880>

Siregar, D. A., dan Yudhicara. (2017). Pentarikhan Radiokarbon dalam Penentuan Umur Aktivitas Sesar Sumatra di Liwa, Lampung. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 8(1), 13–17.

Spichak, V. V., dan Zakharova, O. K. (2015). Electromagnetic Geothermometry. Dalam *Electromagnetic Geothermometry*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-01908-9>

Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R dan B*. Bandung: Alfabeta.

Sukhyar, R., Gurusinga, C. K. K., Kasbani, dan Widodo, S. (2014). *Potensi dan Pengembangan Sumber Daya Panas Bumi di Indonesia*. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi - Badan Geologi, Kementerian ESDM.

Suryadi, K., dan Ramdhani, M. A. (1998). *Sistem Pendukung Keputusan : Suatu Wacana Struktural Idealisasi dan Implementasi Konsep Pengambilan Keputusan*. Bandung: Remadja Rosdakarya.

- Taufiquddin. (2014). Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Potensi Panas Bumi dengan Metode Gravity (Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep). *Skripsi*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Torkis, R. (2012). Analisa dan Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Gaya Berat di Daerah Prospek Panas Bumi Gunung Lawu. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- USGS. (2019). Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. Versión 4.0. Dalam *Data user handbook* (hlm. 1–115). Department of the Interior U.S. Geological Survey. <https://landsat.usgs.gov/landsat-8-l8-data-users-handbook>
- USGS. (2023). *Landsat 8 OLI/TIRS Level 1*. Diakses pada 20 Januari 2023, dari <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- Utomo, A. W., Suprayogi, A., dan Sasmito, B. (2017). Analisis Hubungan Variasi Land Surface Temperature dengan Kelas Tutupan Lahan Menggunakan Data Citra Satelit Landsat (Studi Kasus: Kabupaten Pati). *Jurnal Geodesi Undip*, 6(2), 71–80.
- White, D. E. (1973). Characteristics of *Geothermal Resources*. *Geothermal Energy: Resources, Production, Stimulation*.
- Wibowo, H. H. (2010). Application of Fault and Fracture Density (FFD) Method for *Geothermal* Exploration in Non-Volcanic *Geothermal* System; a Case Study in Sulawesi-Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress*.
- Yalcin, M., dan Kilic Gul, F. (2017). A GIS-Based Multi Criteria Decision Analysis Approach for Exploring *Geothermal* Resources: Akarcay Basin (Afyonkarahisar). *Geothermics*, 67, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2017.01.002>

Zaenudin, A., Karyanto, K., Kurniasih, A., dan Wibowo, R. C. (2021). Analisis Struktur Patahan Daerah Suoh Menggunakan Metode Gaya Berat dan Penentuan Kerapatan Patahan. *POSITRON*, 11(2), 95. <https://doi.org/10.26418/positron.v11i2.48461>