

**SKRIPSI**

**ANALISIS ZONA PERMEABILITAS TINGGI DAN  
KARAKTERISTIK GEOKIMIA FLUIDA PANAS BUMI DI  
DAERAH MUARO PAITI, KABUPATEN LIMAPULUH KOTA,  
SUMATRA BARAT**



Oleh:  
Arif Rahmatullah  
NIM. 03071281924028

**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2024**

**ANALISIS ZONA PERMEABILITAS TINGGI DAN  
KARAKTERISTIK GEOKIMIA FLUIDA PANAS BUMI DI  
DAERAH MUARO PAITI, KABUPATEN LIMAPULUH KOTA,  
SUMATRA BARAT**

Laporan ini sebagai bagian dari Tugas Akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Geologi



Oleh:  
Arif Rahmatullah  
NIM. 03071281924028

**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2024**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**ANALISIS ZONA PERMEABILITAS TINGGI DAN  
KARAKTERISTIK GEOKIMIA FLUIDA PANAS BUMI DI  
DAERAH MUARO PAITI, KABUPATEN LIMAPULUH  
KOTA, SUMATRA BARAT**

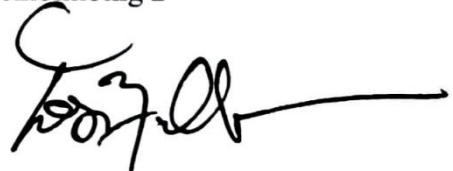
**Laporan ini sebagai bagian dari Tugas Akhir untuk memperoleh  
gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Geologi**

Menyetujui,  
Pembimbing 1



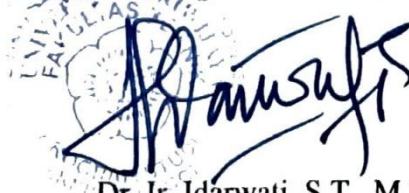
Budi Setiawan, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP 197211121999031002

Palembang, 29 Januari 2024  
Pembimbing 2



Yogie Zulkurnia Rochmana, S.T., M.T.  
NIP 198904222020121003

Mengetahui,  
Koordinator Program Studi Teknik Geologi



Dr. Ir. Idarwati, S.T., M.T.  
NIP 198306262014042001


## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis Zona Permeabilitas Tinggi dan Karakteristik Geokimia Fluida Panas Bumi di Daerah Muaro Paiti, Kabupaten Limapuluh Kota, Sumatra Barat” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, pada 27 Januari 2024.

Palembang, 29 Januari 2024

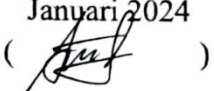
Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Tugas Akhir

Ketua : Dr. Ir. Endang Wiwik Dyah Hastuti, M.Sc.

Januari 2024  
()

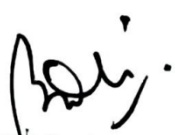
NIP. : 195902051988032002

Anggota : M. Alfath Salvano Salni, S.T., M.T., M.Sc.

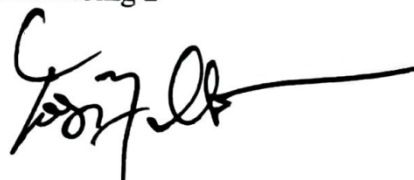
Januari 2024  
()

NIP. :-

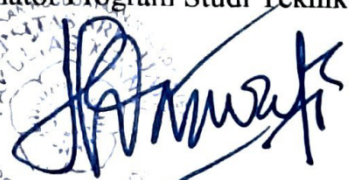

Menyetujui,  
Pembimbing 1

  
Budi Setiawan, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP 197211121999031002

Palembang, 29 Januari 2024  
Pembimbing 2

  
Yogie Zulkurnia Rochmana, S.T., M.T.  
NIP 198904222020121003

Mengetahui,  
Koordinator Program Studi Teknik Geologi

  
  
Dr. Ir. Idarwati, S.T., M.T.  
NIP 198306262014042001

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Arif Rahmatullah

NIM : 03071281924028

Judul : Analisis Zona Permeabilitas Tinggi dan Karakteristik Geokimia Fluida Panas Bumi di Daerah Muaro Paiti, Kabupaten Limapuluh Kota, Sumatra Barat.

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiarisme, saya bersedia skripsi ini di gugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S1) dibatalkan, serta di proses sesuai dengan peraturan yang berlaku pada (UU No. 20 Tahun 2003 Pasal 25 Ayat 2 dan Pasal 70).

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, 29 Januari 2024  
Peneliti



Arif Rahmatullah  
NIM 03071281924028

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah diberikan kepada penulis, karena berkat rahmat dan hidayahnya sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir “Analisis Zona Permeabilitas Tinggi dan Karakteristik Geokimia Fluida Panas Bumi di Daerah Muaro Paiti, Kabupaten Limapuluh Kota, Sumatra Barat”, sebagai persyaratan dalam penelitian tugas akhir di Program Studi Teknik Geologi Universitas Sriwijaya. Shalawat serta salam tak lupa sampaikan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW.

Dalam pengerjaan laporan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Budhi Setiawan, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Yogie Zulkurnia Rochmana, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dalam membimbing hingga terselesaikannya laporan ini. Penulis sadari bahwa masih banyak kekurangan pada laporan ini sehingga membutuhkan saran serta kritik yang membangun agar dapat dilakukan perbaikan. Namun penulis berharap laporan ini dapat menjadi bahan literasi atau acuan dalam penelitian geologi. Mohon maaf apabila ada kata-kata yang tidak sesuai dan kepada Allah SWT penulis mohon ampun. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Palembang, 29 Januari 2024

Peneliti



Arif Rahmatullah

NIM 03071281924028

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Zona Permeabilitas Tinggi dan Karakteristik Geokimia Fluida Panas Bumi di Daerah Muaro Paiti, Kabupaten Limapuluh Kota, Sumatra Barat” sebagai syarat kelulusan mata kuliah Tugas Akhir Program Studi Teknik Geologi (PSTG) Universitas Sriwijaya. Penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Budhi Setiawan, S.T., M.T., Ph.D., Bapak Yogie Zulkurnia Rochmana, S.T., M.T., dan Ibu Ir. Endang Wiwik Dyah Hastuti, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan arahan selama penyusunan laporan.
2. Seluruh jajaran Dosen dan Staf Program Studi Teknik Geologi Universitas Sriwijaya
3. Pak Lano, Pak Andri, A Ady, Faiq, Azriel, dan Emi Sukmaningsih yang telah membersamai penulis selama penelitian hingga penyusunan laporan ini.
4. Kedua orang tua tercinta yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil serta doa yang tiada henti-hentinya kepada penulis.
5. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu yang telah membantu dalam penyelesaian penulisan laporan ini.

Akhir kata, penulis mengharapkan skripsi ini dapat memberikan manfaat untuk penelitian ke depannya. Penulis pun berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan semoga Allah SWT memberi perlindungan bagi kita semua.

Palembang, 29 Januari 2024

Peneliti



Arif Rahmatullah

NIM 03071281924028

## RINGKASAN

ANALISIS ZONA PERMEABILITAS TINGGI DAN KARAKTERISTIK GEOKIMIA FLUIDA PANAS BUMI DI DAERAH MUARO PAITI, KABUPATEN LIMAPULUH KOTA, SUMATRA BARAT

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir, 27 Januari 2024

Arif Rahmatullah, dibimbing oleh Budhi Setiawan, S.T., M.T., Ph.D. dan Yogie Zulkurnia Rochmana, S.T., M.T.

ANALYSIS OF HIGH PERMEABILITY ZONE AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF GEOTHERMAL FLUID IN MUARO PAITI AREA, LIMAPULUH KOTA DISTRICT, WEST SUMATRA

xxi + 51 Halaman, 40 Gambar, 12 Tabel, 7 Lampiran

### RINGKASAN

Daerah penelitian berada di Desa Muaro Paiti dan sekitarnya, Kecamatan Kapur IX, Kabupaten Limapuluh Kota, Provinsi Sumatra Barat. Secara geografis, daerah penelitian terletak pada koordinat  $100^{\circ} 31' 11.4295''$  -  $100^{\circ} 37' 39.4516''$  BT dan  $0^{\circ} 16' 56.9664''$  S -  $0^{\circ} 10' 26.2417''$  LS dengan luas daerah penelitian  $144 \text{ km}^2$ . Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui geometri dan distribusi struktur geologi yang mengontrol kemunculan manifestasi panas bumi di permukaan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui karakteristik geokimia fluida panas bumi pada manifestasi yang ditemukan di daerah penelitian. Penelitian ini dilakukan dengan tiga metode, yaitu pemetaan geologi, analisis kelurusan, dan analisis geokimia fluida panas bumi. Pemetaan geologi bertujuan untuk mengetahui kondisi geologi serta struktur geologi yang berperan sebagai media keluarnya air panas dari reservoir. Hasil pemetaan geologi didukung dengan analisis kelurusan. Analisis kelurusan dilakukan untuk mengetahui pola umum kelurusan serta interpretasi zona permeabilitas tinggi. Analisis geokimia air panas dilakukan untuk mengetahui karakteristik geokimia fluida panas bumi, meliputi tipe fluida, maturitas fluida, asal usul fluida dan perkiraan temperatur reservoir. Berdasarkan hasil observasi lapangan dan analisis data, terdapat empat satuan geomorfologi di daerah penelitian, diantaranya Punggungan Homoklin (PH), Lembah Sinklin (LS), Punggungan Blok Sesar (PBS) dan *Channel Irregular Meander* (CIM). Daerah penelitian tersusun oleh dua formasi, diantaranya Formasi Menggala dan Formasi Telisa. Formasi Menggala tersusun oleh litologi batupasir, batupasir kerikilan dan konglomerat. Sedangkan Formasi Telisa tersusun oleh litologi batulempung dan setempat ditemukan sisipan batulanau. Daerah penelitian memiliki dua pola kelurusan yang dominan, yaitu pola yang cenderung berarah barat laut – tenggara dan pola yang cenderung berarah timur laut – barat daya. Dominasi pola umum kelurusan tersebut diinterpretasikan terbentuk akibat tegasan kompresional yang berarah timur laut – barat daya. Struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian diantaranya Sinklin Paiti,



Sesar Batangpaiti, Sesar Patamuhan, Sesar Batangbatiung, Sesar Batangkapugadang, dan Sesar terduga Batuputih. Dari enam struktur yang berkembang di daerah penelitian, terdapat dua struktur geologi yang diinterpretasikan sebagai struktur yang paling berperan terhadap kemunculan manifestasi panas bumi di permukaan, yaitu Sesar normal Patamuhan dan Sesar geser sinistral Batangkapugadang. Sesar normal Patamuhan memiliki orientasi barat laut – tenggara, di sepanjang kelurusan ini ditemukan manifestasi berupa mata air panas. Selain itu, di sepanjang Sesar geser sinistral Batangkapugadang juga ditemukan beberapa titik munculnya manifestasi panas bumi berupa mata air panas. Pada peta *lineament density*, perpotongan kedua struktur tersebut menghasilkan area dengan densitas kelurusan yang rapat, yang juga menjadi area munculnya manifestasi berupa mata air panas. Sehingga dapat diinterpretasikan bahwa kedua struktur ini menjadi media munculnya manifestasi panas bumi di permukaan. Hasil analisis geokimia air panas menunjukkan bahwa air panas di Muaro Paiti bertipe air bikarbonat, berasal dari reservoir batuan sedimen, tingkat kematangan *immature*, dan memiliki temperatur bawah permukaan yang berkisar antara 89,02°C hingga 188,59°C. Kondisi geologi dan karakteristik geokimia dari sampel air panas menunjukkan bahwa sistem panas bumi di daerah Muaro Paiti termasuk dalam sistem panas bumi non-vulkanik dengan temperatur sedang (125°C - 225°C).

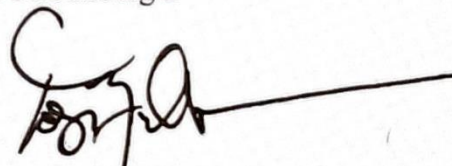
**Kata Kunci:** geokimia, kelurusan, manifestasi, muaro paiti, struktur.

Menyetujui,  
Pembimbing 1



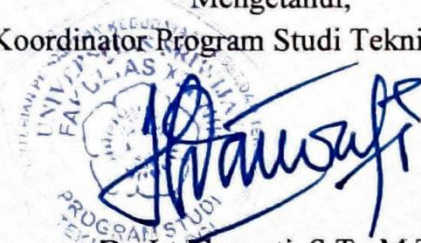
Budhi Setiawan, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP 197211121999031002

Palembang, 29 Januari 2024  
Pembimbing 2



Yogie Zukurnia Rochmana, S.T., M.T.  
NIP 198904222020121003

Mengetahui,  
Koordinator Program Studi Teknik Geologi



Dr. Ir. Idarwati, S.T., M.T.  
NIP 198306262014042001

## SUMMARY

### ANALYSIS OF HIGH PERMEABILITY ZONE AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF GEOTHERMAL FLUID IN MUARO PAITI AREA, LIMAPULUH KOTA DISTRICT, WEST SUMATRA

Scientific paper in the form of a Final Project, January 27, 2024

Arif Rahmatullah, supervised by Budhi Setiawan, S.T., M.T., Ph.D. and Yogie Zulkurnia Rochmana, S.T., M.T.

xxi + 51 Pages, 40 Picture, 12 Table, 7 Attachment

### ANALISIS ZONA PERMEABILITAS TINGGI DAN KARAKTERISTIK GEOKIMIA FLUIDA PANAS BUMI DI DAERAH MUARO PAITI, KABUPATEN LIMAPULUH KOTA, SUMATRA BARAT

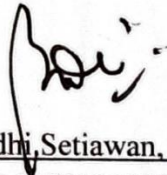
#### SUMMARY

*The study area is in Muaro Paiti Village and its surroundings, Kapur IX Sub-district, Limapuluh Kota Regency, West Sumatra Province. Geographically, the study area is located at coordinates  $100^{\circ} 31' 11.4295''$  -  $100^{\circ} 37' 39.4516''$  East and  $0^{\circ} 16' 56.9664''$  S -  $0^{\circ} 10' 26.2417''$  LS with a study area of 144 km<sup>2</sup>. This research aims to determine the geometry and distribution of geological structures that control the appearance of geothermal manifestations on the surface. In addition, this study also aims to determine the geochemical characteristics of geothermal fluids in manifestations found in the study area. This research was conducted using three methods: geological mapping, lineament analysis, and geochemical analysis of geothermal fluids. Geological mapping aims to determine the geological conditions and structures that act as a medium for releasing hot water from the reservoir. The results of geological mapping are supported by lineament analysis. Lineament analysis is carried out to determine the general pattern of lineaments and the interpretation of high permeability zones. Geochemical analysis of hot water is carried out to determine the geochemical characteristics of geothermal fluids, including fluid type, fluid maturity, fluid origin and estimated reservoir temperature. Based on the results of field observations and data analysis, there are four geomorphological units in the study area, including Homocline Ridge (PH), Valley Syncline (LS), Fault Block Ridge (PBS) and Channel Irregular Meander (CIM). The study area consists of two formations, the Menggala Formation and the Telisa Formation. The Menggala Formation consists of sandstone, pebble sandstone and conglomerate lithologies. While the Telisa Formation is composed of mudstone lithology and locally found siltstone interbeds. The study area has two dominant lineaments patterns, namely patterns that tend to run northwest - southeast and patterns that tend to run northeast - southwest. The dominance of the general pattern of lineaments is interpreted to be formed due to compressional stress in the northeast - southwest direction. Geological structures that develop in the study area include the*

Paiti Syncline, Batangpaiti Fault, Patamuan Fault, Batangbatiung Fault, Batangkapugadang Fault, and Batuputih Suspected Fault. Of the six structures that develop in the study area, two geological structures are interpreted as the structures that play the most role in the appearance of geothermal manifestations on the surface, namely the Patamuan normal fault and the Batangkapugadang sinistral strike-slip fault. The Patamuan normal fault has a northwest-southeast orientation; manifestations in hot springs are found along this lineament. In addition, along the Batangkapugadang sinistral strike-slip fault, several points of geothermal manifestation in hot springs were also found. On the lineament density map, the intersection of the two structures produces an area with a dense lineament density, which is also where hot spring manifestations appear. So, it can be interpreted that these two structures become the media for the appearance of geothermal manifestations on the surface. The results of the geochemical analysis of hot water show that the hot water in Muaro Paiti is a bicarbonate water type, comes from sedimentary rock reservoirs, immature maturity level, and has subsurface temperatures ranging from 89.02°C to 188.59°C. The geological conditions and geochemical characteristics of the hot water samples indicate that the geothermal system in the Muaro Paiti area belongs to a non-volcanic geothermal system with medium temperature (125°C - 225°C).

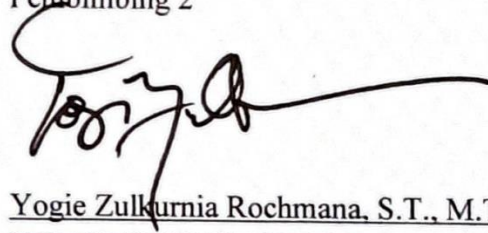
**Keywords:** geochemistry, lineament, manifestation, Muaro Paiti, structure.

Menyetujui,  
Pembimbing 1



Budhi Setiawan, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP 197211121999031002

Palembang, 29 Januari 2024  
Pembimbing 2



Yogie Zulkurnia Rochmana, S.T., M.T.  
NIP 198904222020121003

Mengetahui,  
Koordinator Program Studi Teknik Geologi



Dr. Ir. Idarwati, S.T., M.T.  
NIP 198306262014042001

## DAFTAR ISI

<b>SKRIPSI .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS SKRIPSI .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>viii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Maksud dan Tujuan .....	1
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah Pemetaan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Fisiografi Regional .....	4
2.2 Tektonik Regional.....	4
2.2.1 Fase Deformasi <i>Basement</i> (Pra-Tersier) (F0).....	5
2.2.2 Fase <i>Rifting</i> (Eosen-Oligosen) (F1).....	5
2.2.3 Fase Amblasan dan Transtensional (Miosen Awal-Tengah) (F2).....	5
2.2.4 Fase Kompresi dan Reaktivasi (Miosen Akhir-Resen) (F3).....	6
2.3 Stratigrafi Regional.....	6
2.3.1 Batuan Dasar.....	7
2.3.2 Kelompok Pematang (F1).....	7
2.3.3 Kelompok Sihapas (F2) .....	7
2.3.4 Formasi Petani (F3) .....	8
2.3.5 Formasi Minas .....	8
2.4 Struktur Regional.....	9
2.5 Kelurusan dan Zona Permeabilitas Tinggi.....	10
2.6 Sistem Panas Bumi .....	10
2.7 Geokimia Panas Bumi .....	12
2.7.1 Manifestasi Panas Bumi di Permukaan .....	12
2.7.2 Tipe Air Panas Bumi.....	13
2.7.3 Geoindikator .....	14
2.7.4 Geotermometri Unsur Terlarut .....	16
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>17</b>
3.1 Tahapan Pendahuluan .....	18
3.1.1 Penentuan Lokasi .....	18

3.1.2 Studi Literatur .....	18
3.1.3 Persiapan alat .....	18
3.2 Tahapan Observasi Lapangan .....	18
3.2.1 Pengambilan Data Struktur Geologi .....	19
3.2.2 Pengumpulan Data Litologi .....	19
3.2.3 Pengambilan Sampel Fluida Panas Bumi .....	19
3.2.4 Pengamatan Geomorfologi .....	19
3.2.5 Pengamatan Peta Citra .....	19
3.3 Tahapan Analisis Studio dan Laboratorium .....	20
3.3.1 Analisis Kelurusan .....	20
3.3.2 Analisis Struktur Geologi .....	20
3.3.3 Analisis Geomorfologi.....	20
3.3.4 Hasil Analisis Kegeologian .....	22
3.3.5 Analisis Geokimia Air .....	22
3.4 Penyusunan Laporan.....	22
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>23</b>
4.1 Geologi Lokal .....	23
4.1.1 Geomorfologi.....	23
4.1.2 Stratigrafi .....	25
4.1.3 Struktur Geologi .....	27
4.2 Analisis Zona Permeabilitas Tinggi.....	31
4.2.1 Analisis Pola Kelurusan.....	31
4.2.2 Pola Umum Struktur Geologi .....	36
4.2.3 Densitas Kelurusan .....	36
4.3 Manifestasi Panas Bumi di Daerah Penelitian .....	37
4.3.1 Sifat Fisik.....	37
4.3.2 Sifat Kimia.....	41
4.3.3 Perhitungan Geotermometri.....	45
4.4 Diskusi dan Pembahasan .....	45
4.4.1 Analisis Zona Permeabilitas Tinggi.....	45
4.4.2 Geokimia Fluida Panas Bumi .....	47
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>51</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>xviii</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Ketersampaian Lokasi .....	3
Gambar 2.1	Fisiografi Cekungan Sumatra Tengah (Heidrick dan Aulia, 1993). .....	4
Gambar 2.2	Blok-blok <i>Gondwana</i> yang menyatu menjadi <i>Sundaland</i> pada Masa Paleozoikum-Mesozoikum (Hall, 2014). .....	5
Gambar 2.3	Perkembangan tektonik Cekungan Sumatera Tengah (Heidrick dan Aulia, 1993). .....	6
Gambar 2.4	Tektonostratigrafi Cekungan Sumatera Tengah (Heidrick dan Aulia, 1993). .....	8
Gambar 2.5	Perkembangan struktur pada Cekungan Sumatera Tengah (Heidrick dan Aulia, 1993). .....	9
Gambar 2.6	Sistem Panas Bumi pada Cekungan Sedimen (Anderson & Lund, 1979) .....	11
Gambar 2.7	Diagram Turner Cl – SO <sub>4</sub> – HCO <sub>3</sub> untuk menentukan tipe fluida panas bumi. ....	14
Gambar 2.8	Diagram Turner Na/1000 – K/100 – √Mg untuk menentukan maturitas fluida panas bumi. ....	15
Gambar 2.9	Diagram Turner Cl/100 – Li – B/4 untuk menentukan asal fluida panas bumi. ....	15
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian. ....	17
Gambar 4.1	Satuan geomorfik di daerah penelitian. ....	24
Gambar 4.2	Peta Geomorfologi Daerah Penelitian. ....	25
Gambar 4.3	Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian. ....	25
Gambar 4.4	Foto singkapan jarak jauh dan jarak dekat pada singkapan batupasir Formasi Menggala di lokasi pengamatan 46. ....	26
Gambar 4.5	Foto singkapan jarak jauh dan jarak dekat pada singkapan batulempung Formasi Telisa di lokasi pengamatan 84. ....	27
Gambar 4.6	Hasil analisis stereografis pada Sinklin Paiti (kanan) dan kenampakan pada peta citra yang menunjukkan adanya perbedaan relief (kiri). ....	28
Gambar 4.7	Hasil analisis stereografis pada Sesar Patamuan (kanan) dan foto lapangan Sesar Patamuan (kiri). ....	29
Gambar 4.8	Hasil analisis stereografis pada Sesar F3 (kanan) dan foto lapangan Sesar F3 (kiri). ....	30
Gambar 4.9	Hasil analisis stereografis pada Sesar F4 (kanan) dan foto lapangan Sesar F4 (kiri). ....	30
Gambar 4.10	Hasil analisis stereografis pada Sesar F5 (kanan) dan foto lapangan Sesar F5 (kiri). ....	31
Gambar 4.11	Peta Pola Kelurusan Daerah Penelitian (Azimuth 0°). ....	32
Gambar 4.12	Peta Pola Kelurusan Daerah Penelitian (Azimuth 45°). ....	33
Gambar 4.13	Peta Pola Kelurusan Daerah Penelitian (Azimuth 90°). ....	34
Gambar 4.14	Peta Pola Kelurusan Daerah Penelitian (Azimuth 135°). ....	35
Gambar 4.15	Peta struktur geologi daerah penelitian. ....	36

Gambar 4.16	Peta <i>Lineament/Fault-Fracture Density</i> (FFD). .....	37
Gambar 4.17	Manifestasi berupa mata air panas pada lokasi APMP 1. ....	38
Gambar 4.18	Manifestasi berupa mata air panas pada lokasi APMP 2. ....	38
Gambar 4.19	Manifestasi berupa mata air panas pada lokasi APMP 3. ....	39
Gambar 4.20	Manifestasi berupa mata air panas pada lokasi APMP 4. ....	39
Gambar 4.21	Manifestasi berupa mata air panas pada lokasi APLP 1. ....	40
Gambar 4.22	Manifestasi berupa mata air panas pada lokasi APLP 2. ....	40
Gambar 4.23	Manifestasi berupa mata air panas pada lokasi APBB.....	40
Gambar 4.24	Diagram terner Cl-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> .....	42
Gambar 4.25	Diagram terner Na/1000-K/100-√Mg.....	43
Gambar 4.26	Diagram terner Cl/100-Li-B/4.....	44
Gambar 4.27	Peta Lineament Density dan Struktur Geologi daerah penelitian .....	47
Gambar 4.28	Letak Daerah Muaro Paiti, Muaro Laboh, dan Sarulla. ....	49
Gambar 4.29	Letak Daerah Muaro Paiti, Donggala, dan Kutai Kartanegara. ....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perbandingan dengan penelitian terdahulu .....	2
Tabel 3.1 Klasifikasi bentang alam pegunungan lipatan (Brahmantyo & Bandonu, 2006).....	20
Tabel 3.2 Klasifikasi Sungai (Buffington & Montgomery, 2013).....	22
Tabel 4.1 Data Lapangan Manifestasi Air Panas .....	38
Tabel 4.2 Data hasil analisis kimia air panas .....	41
Tabel 4.3 Perhitungan Persentase Cl-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> .....	42
Tabel 4.4 Perhitungan Persentase Na/1000-K/100-√Mg.....	43
Tabel 4.5 Perhitungan Persentase Cl/100-Li-B/4 .....	44
Tabel 4.6 Perhitungan Geotermometri Na-K-Ca.....	45
Tabel 4.7 Perbandingan karakteristik struktur geologi yang mengontrol kemunculan manifestasi panas bumi di sekitar daerah penelitian dan di Sulawesi.....	46
Tabel 4.8 Perbandingan Karakteristik Geokimia Air Panas di Muaro Paiti dengan Sistem Panas Bumi Vulkanik di Sarulla dan Muara Laboh .....	49
Tabel 4.9 Perbandingan Karakteristik Geokimia Air Panas di Muaro Paiti dengan Sistem Panas Bumi Non-Vulkanik di Sulawesi dan Kalimantan.....	50



## **DAFTAR LAMPIRAN**

- LAMPIRAN A Tabulasi Data Lapangan
- LAMPIRAN B Peta Lintasan
- LAMPIRAN C Peta Geomorfologi
- LAMPIRAN D Analisis Struktur Geologi
- LAMPIRAN E Peta Geologi
- LAMPIRAN F Peta Montage Sebaran Manifestasi Panas Bumi
- LAMPIRAN G Perhitungan Geotermometer

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

Untuk mengetahui kondisi geologi dan potensi panas bumi dari suatu daerah, perlu dilakukan sebuah penelitian meliputi pemetaan geologi dan survei geokimia panas bumi. Pemetaan geologi dimaksudkan untuk mengetahui aspek kegeologian dari daerah penelitian. Sedangkan analisis geokimia fluida bertujuan untuk mengetahui karakteristik fluida panas bumi pada daerah penelitian. Pada bab ini akan menjelaskan mengenai latar belakang, maksud dan tujuan, rumusan masalah, serta batasan masalah dalam penelitian

### **1.1 Latar Belakang**

Kehadiran manifestasi panas bumi umumnya berasosiasi dengan keberadaan struktur geologi. Struktur geologi memiliki peranan penting dalam sirkulasi fluida panas bumi (Chen et al., 2021). Salah satu sistem panas bumi yang dikontrol oleh keberadaan struktur geologi diantaranya terdapat di Daerah Sarulla, Sumatra Utara. Struktur geologi yang mengontrol sistem panas bumi di Daerah Sarulla dipengaruhi oleh tegasan maksimum berarah timur laut – barat daya. Struktur tersebut menghasilkan manifestasi panas bumi berupa mata air panas dan fumarol (Hickman et al., 2004). Selain itu, terdapat pula sistem panas bumi di Daerah Muara Laboh, Sumatra Barat. Sistem panas bumi di Muara Laboh dikontrol oleh struktur geologi dengan tegasan maksimum yang berarah timur laut – barat daya. Struktur tersebut menghasilkan manifestasi panas bumi berupa mata air panas, fumarol, dan sinter silika (GMI, 2013; Stimac et al., 2019).

Salah satu sistem panas bumi di Cekungan Sumatra Tengah yang dipengaruhi oleh struktur geologi terdapat di Daerah Muaro Paiti, Sumatra Barat. Daerah Muaro Paiti memiliki manifestasi panas bumi berupa mata air panas. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Almuhsinin & Putra (2019) telah menganalisis karakteristik geokimia air panas di Daerah Muaro Paiti. Hasil analisis geokimia air panas menunjukkan bahwa air tersebut merupakan air bikarbonat, dengan maturitas fluida *immature*, mengandung unsur boron yang relatif sedikit, dan diinterpretasikan telah banyak mengalami pengenceran oleh air tanah (Almuhsinin & Putra, 2019). Pada penelitian tersebut belum dilakukan perhitungan geotermometer, analisis zona permeabilitas tinggi, maupun analisis struktur geologi yang mengontrol kemunculan manifestasi panas bumi di daerah penelitian, sehingga penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui lebih lanjut terkait karakteristik geokimia air panas serta perkiraan temperatur bawah permukaan. Penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui geometri dan distribusi struktur geologi yang mengontrol kemunculan manifestasi panas bumi di daerah penelitian.

### **1.2 Maksud dan Tujuan**

Maksud dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kondisi geologi, zona permeabilitas tinggi, dan karakteristik geokimia fluida panas bumi di daerah penelitian. Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi geologi di daerah penelitian, meliputi aspek geomorfologi, stratigrafi, dan struktur geologi.

2. Mengetahui pengaruh kerapatan kelurusan dan struktur geologi terhadap zona permeabilitas tinggi pada sistem panas bumi di daerah penelitian.
3. Mengetahui karakteristik fisik dan geokimia fluida panas bumi di daerah penelitian.
4. Mengetahui perkiraan temperatur bawah permukaan pada reservoir panas bumi di daerah penelitian.

### 1.3 Rumusan Masalah

Pembuatan rumusan masalah dibuat merujuk pada penelitian-penelitian terdahulu (Tabel 1.1). Adapun rumusan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi geomorfologi, stratigrafi, dan struktur geologi yang terdapat di daerah penelitian?
2. Bagaimana pengaruh dari kerapatan kelurusan dan struktur geologi terhadap zona permeabilitas tinggi pada sistem panas bumi di daerah penelitian?
3. Bagaimana karakteristik fisik dan geokimia fluida panas bumi di daerah penelitian?
4. Berapa perkiraan temperatur bawah permukaan pada reservoir panas bumi di daerah penelitian?

Tabel 1.1 Perbandingan dengan penelitian terdahulu

No	Peneliti	Analisis <i>Fault-Fracture Density</i> (FFD)	Analisis Struktur Geologi	Geokimia Fluida Panas Bumi	
				Geoindikator	Geotermometri
1	Almuhsinin & Putra (2019). Klasifikasi Mata Air Panas Berdasarkan Diagram Segitiga Fluida di Batu Balang dan Muaro Paiti, Kabupaten 50 Kota.				
2	Hickman et al. (2004). Tectonic and stratigraphic evolution of the Sarulla graben geothermal area, North Sumatra, Indonesia.				
3	Stimac et al. (2019). An overview of the Muara Laboh geothermal system, Sumatra.				
4	Arif Rahmatullah. Analisis Zona Permeabilitas Tinggi dan Karakteristik Geokimia Fluida Panas Bumi di Daerah Muaro Paiti, Kabupaten Limapuluh Kota, Sumatra Barat.				

**Keterangan**

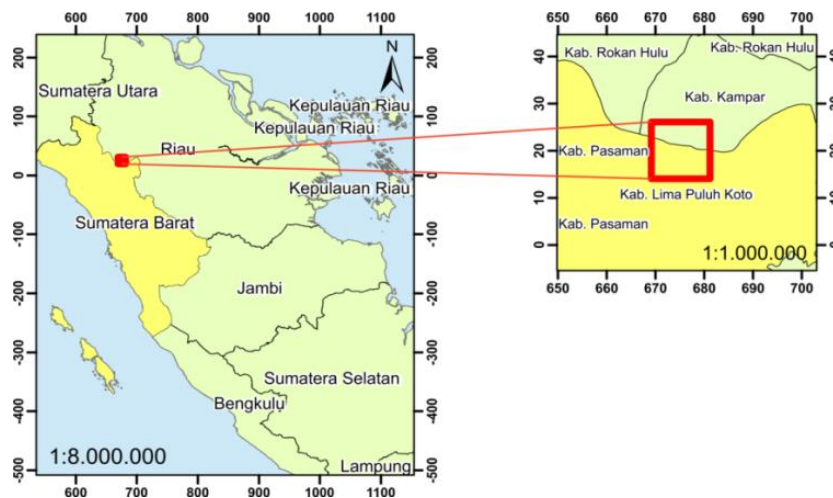
- Sudah diteliti
- Objek Penelitian

#### 1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini batasan masalah yang dibahas hanya berfokus pada kondisi geologi lokal, pembahasan mengenai zona permeabilitas tinggi dan kontrol struktur geologi terhadap kemunculan manifestasi panas bumi, serta karakteristik geokimia fluida panas bumi di daerah penelitian. Aspek kegeologian yang dimaksud meliputi kondisi litologi, geomorfologi, dan struktur geologi yang terdapat di daerah penelitian. Sedangkan analisis geokimia fluida panas bumi bertujuan untuk mengetahui tipe fluida, asal usul fluida, maturitas fluida, serta perkiraan temperatur bawah permukaan. Setelah kedua aspek tersebut dilakukan analisis, kedua aspek tersebut akan diintegrasikan sehingga didapatkan hubungan antara kondisi geologi dengan karakteristik geokimia fluida panas bumi di Daerah Penelitian.

#### 1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah Pemetaan

Lokasi penelitian terletak di Daerah Muaro Paiti, Kecamatan Kapur IX, Kabupaten Limapuluh Kota, Provinsi Sumatra Barat. Berdasarkan estimasi jarak dan waktu pada google maps, lokasi penelitian berjarak  $\pm 903$  km dari Kota Palembang. Adapun waktu yang ditempuh dari Kota Palembang menuju lokasi penelitian dapat ditempuh dalam waktu  $\pm 20$  jam. Jalur darat menuju daerah penelitian dapat ditempuh melalui jalan raya. Berikut rute perjalanan dari Kota Palembang menuju Daerah Muaro Paiti yang ditampilkan pada peta indeks.



Gambar 1.1 Ketersampaian Lokasi

## DAFTAR PUSTAKA

- Almuhsinin, & 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.
- Anderson, D. N., & Lund, J. W. (1979). *Direct utilization of geothermal energy: a technical handbook: a joint project of the geothermal resources council and the geo-heat utilization center oregon institute of technology 1979*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:106472705>
- Andri Eko Ari Wibowo, Mochamad Nur Hadi, & Dikdik Risdianto. (2021). Sistem Panas Bumi Temperatur Rendah-Sedang Pada Cekungan Kutai Dan Rekomendasi Pemanfaatannya. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 16(2), 133–151. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v16i2.311>
- Arikalang, M., Palilingan, R., & Polii, J. (2022). *Karakteristik Fluida Panas Bumi Menggunakan Geoindikator Cl-Li-B di Daerah Desa Bakan*. 3(1), 20–23.
- Arnorrson, S., & D'Amore, F. (2000). *Isotopic and Chemical Techiques in Geothermal Exploration, Development and Use*. International Atomic Energy Agency.
- Arrofi, D., Mahfouz, I. S. A., & 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*. <https://doi.org/10.1186/s40517-022-00241-3>
- Asrafil, A., Mukaddas, A., Listianti, A., & Jamil, W. P. R. (2022). Investigasi Kontrol Struktur Geologi Pada Manifestasi Geotermal Di Daerah Lompio, Donggala, Sulawesi Tengah. *Jurnal Geosapta*, 8(1), 67. <https://doi.org/10.20527/jg.v8i1.12133>
- Barber, A. J., Crow, M. . J., & Milsom, J. S. (2005). *Sumatra: Geology, Resources, and Tectonic Evolution*. The Geological Society.
- Baroek, M., Stimac, J., Sihotang, A. M., Putra, A. P., & Martikno, R. (2018). Formation and fracture characterization of the Muara Laboh geothermal system, Sumatera, Indonesia. *Transactions - Geothermal Resources Council*, 42(October), 1289–1315.
- Bintang, A. A., Sasmito, B., & Firdaus, H. S. (2019). *Analisis Potensi Panas Bumi Menggunakan Citra Aster Level 1 T Tahun 2015 (Studi Kasus Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah)*. 8(April), 1–7.
- Brahmantyo, B., & Bandonu, S. (2006). Klasifikasi Bentuk Muka Bumi (Landform) untuk Pemetaan Geomorfologi pada Skala 1:25.000 dan Aplikasinya untuk Penataan Ruang. *Jurnal Geoaplika*, 1, 71–79.
- Buffington, J. M., & Montgomery, D. R. (2013). Geomorphic Classification of Rivers and Streams. In *Tools in Fluvial Geomorphology* (Vol. 9). <https://doi.org/10.1002/0470868333.ch7>
- Bujung, C. A. N., Singarimbun, A., Muslim, D., Hirnawan, F., & Sudradjat, A. (2011). Identifikasi Prospek Panas Bumi Berdasarkan Fault and Fracture Density (FFD): Studi kasus Gunung Patuha , Jawa Barat. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 2(1), 67–75.
- Chen, B. C., Perdana, T., & Kuo, L. W. (2021). Fluid flow and fault-related subsurface fractures in slate and metasandstone formations: A case study of the Jentse Geothermal Area, Taiwan. *Geothermics*, 89(300), 101986. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101986>
- Clarke, M. C. G., Kartawa, W., Djunuddin, E., Suganda, & Bagdja, M. (1982). *Geologic Map of The Pakan Baru Quadrangle (0816; Scale 1:250.000), Sumatra*,

- Indonesia*. Geological Research and Development Centre.
- Darmawan, I. G. B., Fahlevi, D. I., Yassar, M. F., & Pramudya, F. A. (2021). Identifikasi Zona Reservoir Panas Bumi Berdasarkan Analisis Fault Fracture Density Citra Digital Elevation Model Alos Palsar Di Gunung Rajabasa. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 16(2), 119–131. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v16i2.315>
- Dasgupta, S., & Mukherjee, S. (2019). Remote Sensing in Lineament Identification: Examples from Western India. In *Problems and Solutions in Structural Geology and Tectonics* (1st ed., Vol. 5). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814048-2.00016-8>
- Faulds, J. E., Hinz, N. H., Dering, G. M., & Siler, D. L. (2013). The hybrid model - The most accommodating structural setting for geothermal power generation in the Great Basin, western USA. *Transactions - Geothermal Resources Council*, 37(PART 1), 3–10.
- Fossen, H. (2010). *Structural Geology*. Cambridge University Press. <https://doi.org/DOI:10.1017/CBO9780511777806>
- Fournier, R. O. (1981). *Application of Water Geochemistry Geothermal Exploration and Reservoir Engineering*, “Geothermal System: Principles and Case Histories”. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:130016999>
- Fournier, R. O., & Truesdell, A. H. (1973). An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37(5), 1255–1275. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(73\)90060-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(73)90060-4)
- Giggenbach, W. F. (1988). Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52(12), 2749–2765. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(88\)90143-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(88)90143-3)
- Grant, M. A., Donaldson, I. G., & Bixley, P. F. (1982). *Geothermal Reservoir Engineering*. Academic Press.
- Gunderson, R. P., Dobson, P. F., Sharp, W. D., Pudjianto, R., & Hasibuan, A. (1995). Geology and Thermal Features of the Sarulla Contract Area, North Sumatra, Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress*, 687–692. [https://www.geothermal-energy.org/cpdb/record\\_detail.php?id=4610](https://www.geothermal-energy.org/cpdb/record_detail.php?id=4610)
- Gunnarsson, G., & Aradóttir, E. S. P. (2014). The Deep Roots of Geothermal Systems in Volcanic Areas: Boundary Conditions and Heat Sources in Reservoir Modeling. *Transport in Porous Media*, 108(1), 43–59. <https://doi.org/10.1007/s11242-014-0328-1>
- Hall, R. (2014). Indonesian Tectonics: Subduction, Extension, Provenance and More. *Proceedings, Indonesian Petroleum Association, Thirty-Eig*(May).
- Heidrick, T. L., & Aulia, K. (1993). A structural and tectonic model of the Coastal Plains Block, Central Sumatra Basin, Indonesia. *Proceeding Indonesian Petroleum Association, 22nd Annua*. <https://doi.org/10.29118/ipa.572.285.317>
- Hickman, R. G., Dobson, P. F., Gerven, M. Van, Sagala, B. D., & Gunderson, R. P. (2004). *Tectonic and stratigraphic evolution of the Sarulla graben geothermal area , North Sumatra , Indonesia*. 23, 435–448. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(03\)00155-X](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(03)00155-X)
- Hidayat, M. R., Marin, J., Abdurrahman, R. B., Devienna, S. N., & Fatimah, I. N. (2023). Land Surface Temperature (LST) and Fault Fracture Density (FFD) Analysis in Bukit Kili-Gunung Talang Geothermal Area, West Sumatra. *Journal of Aceh Physics Society*, 12(2), 25–31. <https://doi.org/10.24815/jacps.v12i2.31160>
- Hochstein, M. P., & Browne, P. R. L. (2000). Surface Manifestations of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources. In *Encyclopedia of Volcanoes*.
- International, G. (2013). *Geomechanical Model and Fracture Analysis for ML-H2 Well*,

*Muara Laboh Field.*

- Iqbal, M., & Juliarka, B. R. (2019). Analisis Kerapatan Kelurusan (Lineament Density) sebagai indikator tingkat permeabilitas di Lapangan Panasbumi Suoh-Sekincau, Lampung. *Journal of Science and Applicative Technology*, 3(2), 61.
- Kasbani. (2009). Tipe Sistem Panas Bumi di Indonesia dan Estimasi Potensi Energinya. In *Buletin Sumber Daya Geologi* (Vol. 4, Issue 3, pp. 19–26).
- Kharaka, Y. K., Callender, E., & Carothers, W. W. (1977). Geochemistry of geopressured geothermal waters from the Texas Gulf Coast. *Third Geopressured-Geothermal Energy Conference*, 1, 121–166. [https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1209946/m2/1/high\\_res\\_d/6475270.pdf](https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc1209946/m2/1/high_res_d/6475270.pdf)
- Lund, J. W., Bjelm, L., Bloomquist, G., & Mortensen, A. K. (2008). Characteristics, development and utilization of geothermal resources - A nordic perspective. *Episodes*, 31(1), 140–147. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2008/v31i1/019>
- Mertosono, S., & Nayoan, G. A. S. (1974). The Tertiary Basinal Area of Central Sumatra. *Proceeding Indonesian Petroleum Association*, 3rd annual, 63–76.
- Nicholson, K. (1993). *Geothermal Fluids Chemistry and Exploration Techniques*.
- Oktoberiman, Ramadhan P, D. A., W, F. R., & A, R. T. (2015). Identification of Geothermal Potential Based on Fault Fracture Density (FFD), Geological Mapping and Geochemical Analysis, Case Study : Bantarkawung, Brebes, Central Java. *KnE Energy*, 2(2), 141. <https://doi.org/10.18502/ken.v2i2.369>
- Powell, T., & Cumming, W. (2010). Spreadsheets for Geothermal Water and Gas Geochemistry In: Proceedings, Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. *Thirty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, 408–417.
- Prost, G. L. (2013). *Remote Sensing for Geoscientists* (3rd Editio). CRC Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/b15638>
- Rahayudin, Y., Kashiwaya, K., Susmanto, A., Tada, Y., Iskandar, I., & Koike, K. (2018). Estimation of Fluid-rock Interaction Process and Recharge Area of the Tampomas Geothermal Field , West Java , Indonesia by Water Chemistry. *43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, 2018*, 1–8.
- Rickard, M. J. (1972). Fault classification: Discussion. *Bulletin of the Geological Society of America*, 83(8), 2545–2546. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1972\)83\[2545:FCD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1972)83[2545:FCD]2.0.CO;2)
- Siler, D. L., Faulds, J. E., Hinz, N. H., Dering, G. M., Edwards, J. H., & Mayhew, B. (2019). Three-dimensional geologic mapping to assess geothermal potential: examples from Nevada and Oregon. *Geothermal Energy*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40517-018-0117-0>
- Stimac, J., Ganefianto, N., Baroek, M., Sihotang, M., Ramadhan, I., Mussofan, W., Sidik, R., Alfiady, Dyaksa, D. A., Azis, H., Putra, A. P., Martikno, R., Irsamukhti, R., Santana, S., Matsuda, K., Hatanaka, H., Soeda, Y., Cariou, L., & Egermann, P. (2019). An overview of the Muara Laboh geothermal system, Sumatra. *Geothermics*, 82(May), 150–167. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.05.008>
- Tian, J., Pang, Z., Guo, Q., Wang, Y., Li, J., Huang, T., & Kong, Y. (2018). Geochemistry of geothermal fluids with implications on the sources of water and heat recharge to the Rekeng high-temperature geothermal system in the Eastern Himalayan Syntax. *Geothermics*, 74(19), 92–105. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2018.02.006>
- Tingay, M., Morley, C., King, R., Hillis, R., Coblenz, D., & Hall, R. (2012). Present-day stress field of Southeast Asia. *Tectonophysics*, 482(1–4), 92–104.

- <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.06.019>
- 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, April, 25–29*.
- Wita, L. M., Syafri, I., Cssa, B. Y., Eko, A., & Wibowo, A. (2019). Karakteristik Hidrokimia Untuk Mengetahui Sistem Dan Pemanfaatan Fluida Panas Bumi Daerah Kutai Kartanegara , Kalimantan Timur. *Geoscience Journal*, 3(5), 361–368. <http://jurnal.unpad.ac.id/geoscience/article/download/26324/12801>