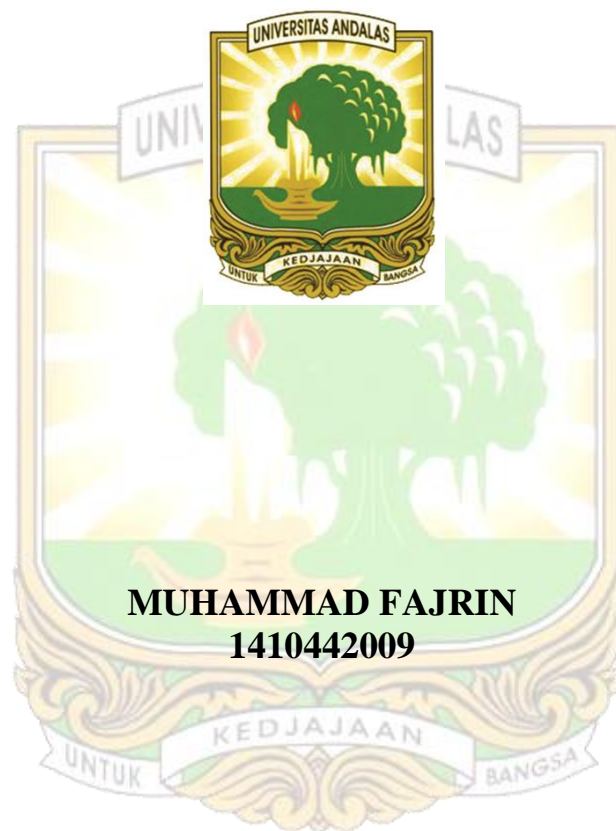


**KARAKTERISTIK FLUIDA MATA AIR PANAS
DI KABUPATEN TANAH DATAR**

SKRIPSI



**MUHAMMAD FAJRIN
1410442009**

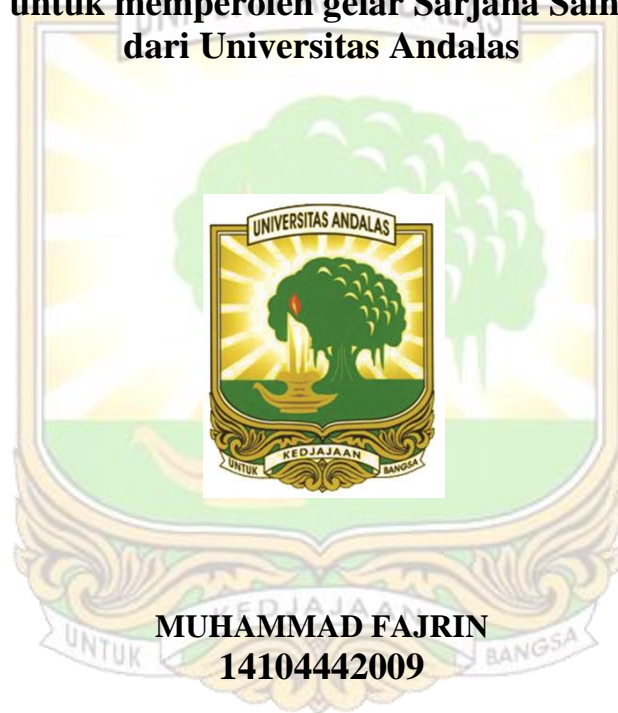
**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG**

2021

**KARAKTERISTIK FLUIDA MATA AIR PANAS
DI KABUPATEN TANAH DATAR**

SKRIPSI

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
dari Universitas Andalas**



**MUHAMMAD FAJRIN
14104442009**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUANALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG**

2021

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Judul Proposal Penelitian : **Karakteristik Fluida Mata Air Panas di Kabupaten Tanah Datar**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Fajrin**

Nomor BP : **1410442009**

telah disetujui untuk diseminarkan pada tanggal 21 Januari 2021

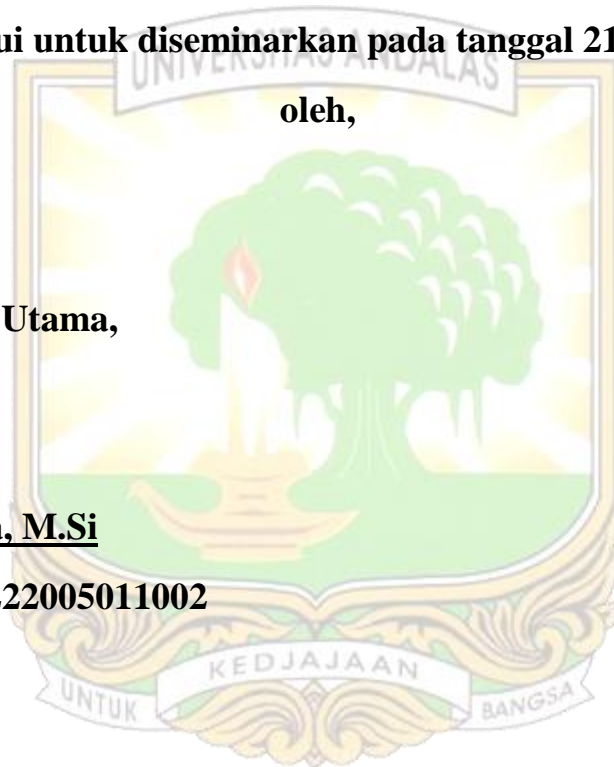
oleh,

Pembimbing Utama,



Ardian Putra, M.Si

NIP. 198304222005011002



SKRIPSI

**KARAKTERISTIK FLUIDA MATA AIR PANAS
DI KABUPATEN TANAH DATAR**

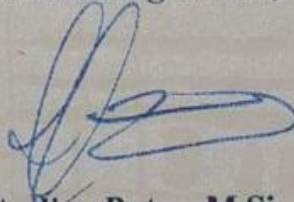
Disusun oleh:

Muhammad Fajrin
1410442009

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada tanggal 21 Januari 2021

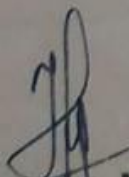
Tim Penguji

Pembimbing Utama,



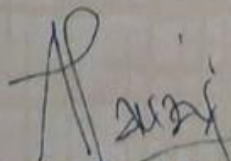
Ardian Putra, M.Si
NIP.198304222005011002

Penguji I



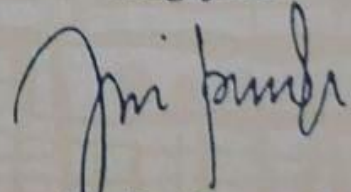
Dr. techn. Marzuki
NIP. 197909082002121002

Penguji II



Ahmad Fauzi Pohan, M.Sc
NIP. 199001122019031011

Penguji III



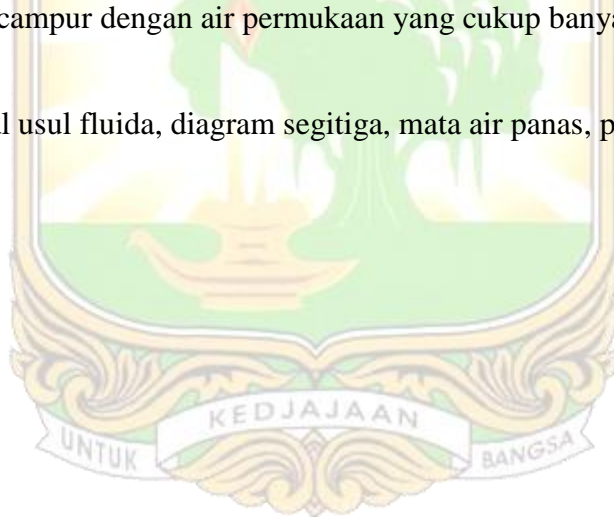
Dr. Dwi Purianti
NIP.196904191997022001

KARAKTERISASI FLUIDA MATA AIR PANAS Di KABUPATEN TANAH DATAR

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik fluida pada 6 (enam) titik mata air panas di Kabupaten Tanah Datar terkait asal usul fluida panas bumi, pengenceran fluida panas bumi dan kesetimbangan fluida panas bumi. Konsentrasi Li, B, Na, K, dan Mg pada masing-masing sampel diukur dengan menggunakan *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-AES) dan konsentrasi Cl diukur menggunakan dengan metode titrasi. Berdasarkan hasil tersebut, diagram segitiga Cl-Li-B menunjukkan seluruh sampel didominasi oleh Cl yang mengindikasikan bahwa mata air panas Di Kabupaten Tanah Datar berasal dari sumber panas bumi dan terjadi sedikit pengenceran batuan sedimen organik. Plot diagram segitiga Na-K-Mg menunjukkan seluruh sampel berada pada daerah *immature water* yang mengindikasikan fluida panas bumi Kabupaten Tanah Datar bercampur dengan air permukaan yang cukup banyak.

Kata kunci: asal usul fluida, diagram segitiga, mata air panas, panas bumi,

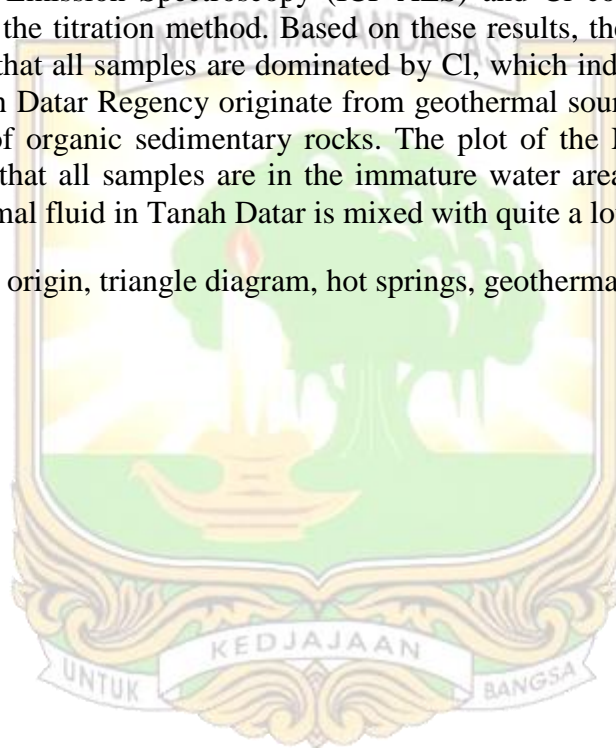


CHARACTERIZATION OF GEOTHERMAL FLUID FROM HOT SPRINGS IN TANAH DATAR REGENCY

ABSTRACT

This study aims to identify the characteristics of the fluids at 6 (six) hot springs in Tanah Datar Regency regarding the origin of geothermal fluids, dilution of geothermal fluids and equilibrium of geothermal fluids. The concentrations of Li, B, Na, K, and Mg in each sample were measured using Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES) and Cl concentrations were measured using the titration method. Based on these results, the Cl-Li-B triangle diagram shows that all samples are dominated by Cl, which indicates that the hot springs in Tanah Datar Regency originate from geothermal sources and there is a slight dilution of organic sedimentary rocks. The plot of the Na-K-Mg triangle diagram shows that all samples are in the immature water area, which indicates that the geothermal fluid in Tanah Datar is mixed with quite a lot of surface water.

Keywords: fluid origin, triangle diagram, hot springs, geothermal,



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Karakterisasi Fluida Panas Mata Air Panas di Kabupaten Tanah Datar”**. Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas. Selesaiannya penulisan skripsi ini tidak terlepas oleh bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada,

1. Orang tua yang telah membesarkan ananda dengan tulus dan kasih sayang mendidik dan memotivasi penulis selama berlangsungnya perkuliahan.
2. Bapak Ardian Putra, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya dan sabar untuk memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Techn. Marzuki, Ahmad Fauzi Pohan, M.Sc, dan Ibu Dr. Dwi Puryanti selaku dosen penguji yang telah memberikan kritikan, arahan serta saran untuk kebaikan karya ini. Sehingga penulis mendapatkan tambahan ilmu yang sangat berharga, karena tanpa masukan dari Bapak dan Ibu karya ini tidak bisa menjadi lebih baik.
4. Ibuk Dr. Zulfi selaku penasehat akademik yang telah meluangkan waktunya memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan dibangku perkuliahan ini.

5. Bapak Dr. rer. nat. Muladarisnur selaku ketua Jurusan fisika, serta seluruh dosen dan staf pegawai Jurusan Fisika (Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam).
6. Rekan-rekan seperjuangan di Jurusan Fisika yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar skripsi ini menjadi lebih baik. Mudah-mudahan skripsi ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun bagi pembaca.



Padang, 15 Februari 2021

Muhammad Fajrin

DAFTAR ISI

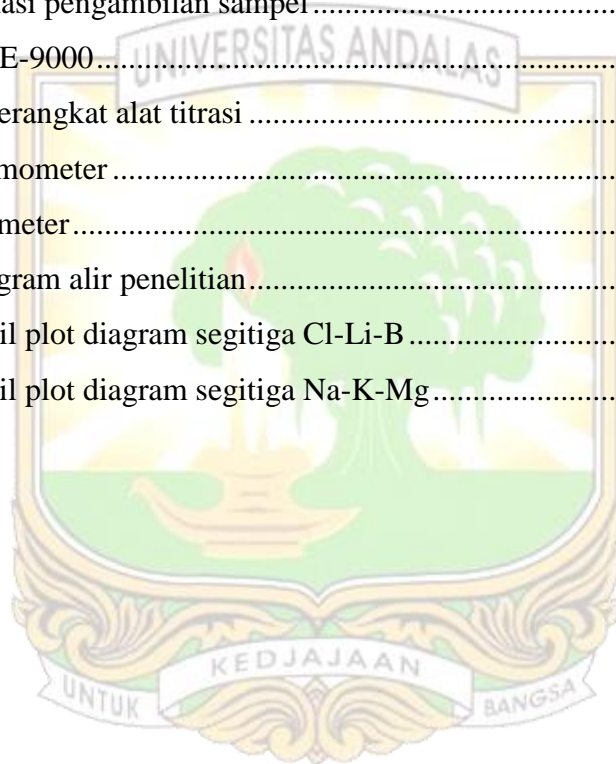
	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian	4
1.3 Batasan Masalah	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Panas Bumi	5
2.2 Manifestasi Panas Bumi.....	9
2.3 Sifat Fluida Panas bumi	12
2.4 Tipe Fluida, Asal usul Fluida, dan Keseimbangan Fluida Panas Bumi	13
2.5 Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy ICP-AES	19
2.6 Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	21
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	22
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	23
3.2.1 Bahan Penelitian	23
3.2.2 Alat Penelitian.....	23
3.2.3 Teknik Penelitian	25
3.3 Tahap Penelitian	26
3.3.1 Pengambilan sampel	26
3.3.2 Pengukuran Sampel.....	27

3.4	Pengolahan dan Analisis Data	27
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1	Data Sampel Air Panas	28
4.2	Asal Usul dan Pengenceran Air Panas.....	29
4.3	Keseimbangan Fluida Panas Bumi	31
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	35
5.1	Kesimpulan	35
5.2	Saran	35
	DAFTAR PUSTAKA	36
	LAMPIRAN.....	38



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema umum sistem panas bumi	5
Gambar 2.2 Diagram Segitiga Cl-SO ₄ -HCO ₃	15
Gambar 2.3 Diagram segitiga Cl-Li-B	16
Gambar 2.4 Diagram Na-K-Mg	18
Gambar 3.1 Lokasi pengambilan sampel	22
Gambar 3.2 ICPE-9000	23
Gambar 3.3 Seperangkat alat titrasi	24
Gambar 3.4 Termometer	24
Gambar 3.5 pH meter	25
Gambar 3.6 Diagram alir penelitian	26
Gambar 4.1 Hasil plot diagram segitiga Cl-Li-B	30
Gambar 4.2 Hasil plot diagram segitiga Na-K-Mg	33



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4. 1 Data sampel air panas	28
Tabel 4. 2 Persentase unsur Cl, Li, dan B	29
Tabel 4. 3 Persentase Unsur Na, K dan Mg	32



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Peningkatan jumlah industri dan penduduk meningkatkan konsumsi energi listrik setiap tahunnya. Untuk mengatasi kekurangan sumber energi penghasil listrik di masa mendatang, diperlukan sumber energi terbarukan. Energi terbarukan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Salah satu energi terbarukan yang banyak dimanfaatkan saat ini adalah energi panas bumi. Energi panas bumi telah dimanfaatkan untuk pembangkit listrik di beberapa negara termasuk Indonesia, dan juga dimanfaatkan untuk sektor non listrik seperti pemanas ruangan, pemanas air, pengering hasil produk pertanian, pengering kayu, kertas dan lain-lain (Fitrianty 2012).

Energi panas bumi adalah energi yang tersimpan dalam bentuk air atau uap panas pada kondisi geologi tertentu pada kedalaman beberapa kilometer di dalam kerak bumi (Santoso, 2012). Energi panas bumi memiliki komponen yang khas dimana terdapat lapisan dengan patahan yang terhubung dengan lapisan yang berisi fluida panas. Air permukaan dan air tanah masuk menuju sumber panas untuk mengisi ulang sistem panas bumi (Grant dan Bixley, 2011).

Panas bumi dapat dicirikan dengan adanya tanda-tanda yang muncul ke permukaan yang disebut dengan manifestasi (Saptadji, 2009). Rekahan kerak bumi dan dorongan temperatur bawah bumi yang tinggi menyebabkan manifestasi panas bumi naik ke permukaan (Suparno, 2009). Manifestasi panas bumi tersebut dapat berupa tanah panas, geyser, fumarol, uap panas, sinter silika dan mata air

panas (Saptadji, 2009). Sebagian mata air panas yang muncul dapat mengidentifikasi adanya sistem panas bumi di bawah permukaan bumi tersebut.

Menurut Direktorat Panas Bumi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia (2017) Indonesia memiliki potensi panas bumi sebesar 28.579 MW dengan total sumberdaya 11.073 MW dan total cadangan 17.506 MW. Menurut data pada *website* Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Sumatera Barat (2017) Sumatera Barat memiliki potensi panas bumi sebesar 1.656 MW dengan total cadangan 858 MW. Potensi Panas Bumi Sumatera Barat tersebar di Kabupaten Pasaman, Pasaman Barat, Lima Puluh Kota, Tanah Datar, Agam, Solok, dan Solok Selatan.

Nicholson (1993) karakterisasi fluida panas bumi dapat dilakukan menggunakan diagram segitiga. Jenis fluida panas bumi dapat diketahui menggunakan diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃. Keseimbangan fluida panas bumi dapat ditentukan menggunakan diagram segitiga Na-K-Mg. Proses pengenceran fluida panas bumi dapat ditentukan menggunakan diagram segitiga Cl-Li-B. Utami dan Putra (2018) Penentuan karakteristik fluida panas bumi dilakukan menggunakan diagram segitiga Na-K-Mg dan Cl-Li-B. Diagram Na-K-Mg digunakan untuk menentukan keseimbangan fluida reservoir panas bumi. Diagram segitiga Cl-Li-B digunakan untuk menentukan asal-usul, pendidihan, dan pengenceran fluida reservoir panas bumi.

Guo dan Wang (2012) telah melakukan penelitian di kawasan hidrotermal Thengchong Barat-daya China menggunakan diagram segitiga panas bumi.

Berdasarkan diagram segitiga Na-K-Mg didapatkan kesimpulan bahwa mata air panas berada pada *immature water* dimana fluida tercampur dengan air yang lebih dingin di dekat permukaan. Zulwidyatama (2016) telah melakukan penelitian di lapangan Zw, Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat dan berdasarkan diagram segitiga Cl-Li-B didapatkan kesimpulan bahwa fluida panas bumi terjadi pengenceran oleh air tanah. Sobirin dkk. (2017) juga telah melakukan penelitian di Gunung Endut dan berdasarkan diagram segitiga Cl-Li-B didapatkan fluida panas bergerak secara lateral. Tian dkk. (2018) meneliti sumber air panas di Timur Himalaya dan berdasarkan diagram Cl-Li-B didapatkan kesimpulan bahwa fluida berasal dari sumber panas bumi yang bercampur air tanah. Pada diagram segitiga Cl-Li-B untuk menganalisis karakteristik asal usul dan pengenceran fluida panas bumi dan diagram segitiga Na-K-Mg untuk menganalisis kesetimbangan fluida panas bumi

Pemetaan tipe mata air panas di semua mata air panas di Sumatera Barat menggunakan diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ telah dilakukan Burhan dan Putra (2017). Penelitian ini memperlihatkan bahwa daerah di Kabupaten Tanah Datar memiliki lima titik sumber mata air panas yang terdiri dari empat tipe bikarbonat dan satu tipe sulfat. Menurut Nicholson (1993) menyatakan daerah tipe mata air panas bikarbonat mengindikasikan sistem panas bumi bertemperatur sedang atas dibawah 250°C. Karena adanya potensi panas bumi di daerah tersebut, maka peneelitan ini akan dilakukan di daerah Tanah Datar sebanyak empat titik sampel yang memiliki sifat bikarbonat untuk mengetahui karakteristik lain tentang fluida yang keluar pada mata air panas di daerah Tanah Datar. Penelitian ini akan

mengevaluasi proses pengenceran fluida, asal usul fluida dan kesetimbangan fluida panas bumi menggunakan diagram segitiga Cl-Li-B dan diagram segitiga Na-K-Mg.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kesetimbangan fluida panas bumi menggunakan diagram segitiga Na-K-Mg dan menentukan asal-usul dan pengenceran fluida panas bumi menggunakan diagram segitiga Cl-Li-B di empat sumber mata air panas Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat. Lokasi mata air panas penelitian ini berada di 4 titik sumber air panas yaitu Pariangan1, Pariangan2, Batu Basa, dan Padang Ganting. Manfaat penelitian ini untuk mendapatkan informasi karakteristik fluida panas bumi yaitu asal usul, pengenceran dan kesetimbangan fluida panas bumi di empat mata air Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat yang berguna sebagai data awal mengenai potensi panas bumi di daerah tersebut.

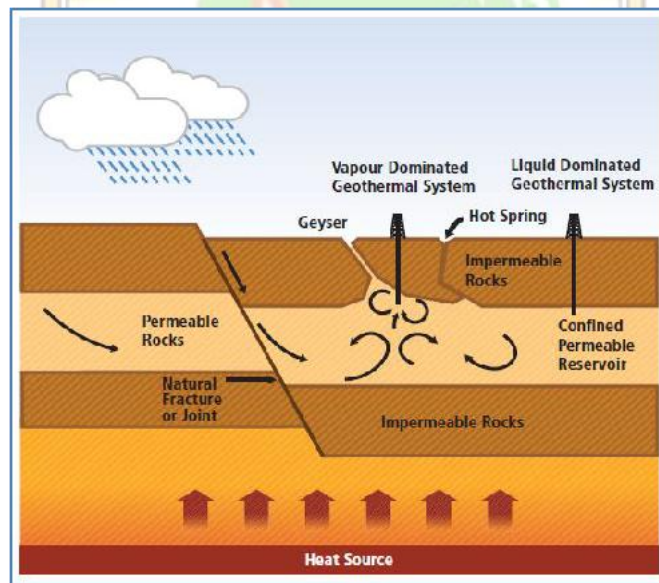
1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan pada 4 titik sumber mata air panas Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat. Data fluida diperoleh dari alat *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-AES) untuk Na, K, Mg, Li, B, dan metode titrasi untuk memperoleh Cl. Data tersebut diplot pada diagram segitiga Cl-Li-B untuk menganalisis karakteristik asal usul dan pengenceran fluida panas bumi dan diagram segitiga Na-K-Mg untuk menganalisis kesetimbangan fluida panas bumi.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Panas Bumi

Panas bumi adalah energi panas yang terkandung dalam bumi yang menghasilkan fenomena geologi pada sebuah planet (Dickson dan Fanelli., 2003). Perpindahan panas bumi dari sumber panas ke zona pelepasan panas terjadi secara alami dalam volume tertentu di kerak bumi (Hochstein dan Browne, 2000 dalam Saptadji, 2009). Panas bumi memiliki suhu yang tinggi jika berada di kawasan gunung api (Wohletz dan Heiken, 1992). Skema umum sistem panas bumi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema umum sistem panas bumi
(Sumber: Goldstein, dkk., 2011)

Model konseptual panas bumi yaitu bumi memiliki rekahan dan patahan yang terdapat di permukaan, membuat air dapat masuk ke dalam pori-pori batuan yang menembus ke bawah maupun ke samping selama masih ada celah untuk air dapat mengalir. Ketika air sampai ke sumber panas maka suhu air tersebut akan

meningkat dan air akan menguap dan sebagian lagi akan tetap menjadi air dengan suhu yang tinggi. Fluida panas akan menekan batuan sekitarnya untuk mencari celah atau jalan keluar dan melepaskan tekanan. Fluida akan bergerak naik melalui celah-celah karena tekanan lebih tinggi dibandingkan tekanan di permukaan.

Menurut DiPippo (2012), sistem panas bumi memiliki komponen penting sebagai berikut:

1. Sumber panas

Perpindahan panas umumnya terjadi secara konduksi dan konveksi akibat adanya interaksi molekul penyusun batuan dalam mantel sedangkan perpindahan panas secara konvektif adalah perpindahan panas yang diikuti oleh perpindahan molekul (Liney dkk., 2010). Sistem geotermal ada empat macam diantaranya yaitu:

- a. Hidrothermal

Pada reservoir ini, air berasal dari permukaan yang diperoleh dari air hujan. Air ini kemudian masuk karena adanya rekahan batuan melalui saluran pori-pori diantara batuan. Air tersebut kemudian terakumulasi di dalam reservoir sampai penuh dan terpanaskan oleh batuan beku panas. Pada reservoir yang sudah berisi air terjadi arus konveksi sehingga memanaskan semua air di dalam reservoir tersebut.

- b. *Geopressured*

Lokasi reservoir ini lebih dalam dari pada reservoir hidrothermal, yaitu sekitar 2400 m - 9100 m. Reservoir ini memiliki kadar garam yang tinggi, tetapi

memiliki temperatur yang rendah. Sistem ini berasosiasi dengan sistem reservoir gas dan minyak. Reservoir ini berisi air panas yang mengandung banyak sekali gas metana sehingga berada pada lingkungan yang gradien tekanannya lebih besar dari pada gradien hidrostatik.

c. *Hot Dry Rock*

Reservoir ini memiliki kedalaman yang sangat dalam sehingga permeabilitasnya menjadi lebih kecil. Sumber panas yang tinggi dalam batuan *impermeable* berasal dari intrusi magma. Tidak terdapat fluida pada batuan yang *impermeable*. Pemanfaatannya dilakukan dengan cara membor reservoir ini dengan membuat injeksi air dingin, kemudian dilakukan rekahan buatan dimana air diinjeksikan dengan tekanan yang besar sehingga mengakibatkan rekahan di reservoir.

d. Magma

Eksplorasi pada reservoir ini sangat berbahaya sehingga belum banyak yang mengkajinya. Caranya adalah dengan mencari reservoir yang berisi magma pada kedalaman yang relatif dangkal kemudian mengambil magma tersebut dari sebuah sumur untuk memanasi *heat exchanger*.

2. Fluida panas bumi

Fluida panas bumi berasal dari air permukaan dan air tanah yang masuk ke bawah permukaan melalui rekahan maupun ruang antar batuan. Karakteristik fluida panas bumi dapat memberikan informasi tentang tipe sistem panas bumi, pendugaan temperatur reservoir, komposisi kimia fluida, asal-usul fluida, interaksi fluida terhadap batuan serta campuran fluida reservoir dengan fluida lain.

Klasifikasi Sistem Panas Bumi Berdasarkan Tipe Fluida :

a. Dominasi Uap

Sistem panas bumi dominasi uap adalah reservoir panas bumi yang memiliki fluida uap lebih besar dari pada air. Fluida panas bumi dominasi uap memiliki reservoir dengan permeabilitas rendah. Fluida yang masuk kedalam reservoir langsung berubah menjadi fasa uap di dalam reservoir. Pengoperasian lapangan fluida panas bumi domiasi uap lebih mudah. Fluida panas bumi dominasi biasanya memiliki temperatur sekitar 240 °C

b. Dominasi Air

Reservoir panas bumi dominasi air memiliki fluida air lebih banyak dari pada uap. Daerah *Recharge* dan reservoir mempunyai permeabilitas yang relatif sama. Laju penguapan di reservoir dapat diimbangi oleh laju *recharge* sehingga pori-pori batuan terisi oleh air panas. Permasalahan teknis (masalah air buangan) lebih banyak terjadi pada reservoir dominasi air. Temperatur reservoir biasanya sekitar 280 °C

c. Dua Fasa

Reservoir panas bumi dua fasa memiliki perbandingan uap dan air yang sama. Pembentukan reservoir tipe ini melibatkan proses yang lebih rumit dibanding dominasi uap dan air.

d. Sistem Vulkanik

Sistem panas bumi ini berasosiasi dengan gunung vulkanik. Sistem panas bumi ini kurang baik untuk dikembangkan, karena hazard yang cukup tinggi

(fluida sangat korosif, kandungan gas tinggi). Sistem ini biasanya memiliki indikasi gas HCl, HF.

3. Reservoir

Reservoir panas bumi adalah tempat berkumpulnya fluida panas bumi. Lapisan ini bisa berasal dari batuan vulkanik yang telah mengalami rekahan secara kuat. Reservoir panas bumi yang produktif harus memiliki permeabilitas dan porositas tinggi, ukuran volume cukup besar, temperatur tinggi dan kandungan fluida yang cukup.

4. Batuan penudung

Lapisan penudung berfungsi sebagai penutup reservoir untuk mencegah keluar fluida panas bumi dari reservoir. Batuan penudung harus berupa lapisan batuan yang memiliki permeabilitas rendah. Lapisan penudung umumnya tersusun oleh lapisan batuan yang terdiri dari mineral lempung sekunder hasil ubahan (alterasi) akibat interaksi fluida dengan batuan yang dilewatinya.

Menurut Saptadji (2009) sistem panas bumi diklasifikasikan berdasarkan temperatur reservoir sebagai berikut:

- a. Sistem temperatur rendah memiliki temperatur lebih kecil dari 125 °C.
- b. Sistem temperatur sedang memiliki temperatur antara (125-225) °C.
- c. Sistem temperatur tinggi memiliki temperatur besar dari 225 °C.

2.2 Manifestasi Panas Bumi

Manifestasi panas bumi adalah gejala di permukaan bumi yang merupakan ciri terdapatnya energi panas bumi. DiPippo (2012) menyatakan bahwa

manifestasi yang keluar ke permukaan dapat menginformasikan bahwa terdapat sistem panas bumi di bawah permukaan daerah sekitar manifestasi.

Menurut Saptadji (2009), manifestasi panas bumi ada beberapa yaitu:

1. Tanah hangat

Tanah hangat adalah tanah yang memiliki temperatur yang panas dipermukaan. Hal ini terjadi karena adanya perpindahan panas secara konduksi dari batuan bawah permukaan ke batuan permukaan.

2. Permukaan tanah beruap

Permukaan tanah beruap adalah permukaan tanah yang mengeluarkan uap panas. Uap panas diperkirakan berasal dari suatu lapisan tipis dekat permukaan yang mengandung air panas yang mempunyai temperatur sama atau lebih besar dari titik didihnya.

3. Mata air panas

Mata air panas adalah aliran air panas yang keluar ke permukaan melalui rekahan-rekahan batuan. Laju aliran air panas yang tidak terlalu besar umumnya terbentuk teras silika yang berwarna keperakan sekitar mata air panas. Jika air panas banyak mengandung karbonat maka akan terbentuk teras-teras travertine.

4. Kolam air panas

Kolam air panas ini terbentuk karena adanya aliran air panas dari bawah permukaan melalui rekahan-rekahan batuan. Pada permukaan air terjadi penguapan yang disebabkan oleh adanya perpindahan panas dari permukaan air ke atmosfer.

5. Fumarol

Fumarol adalah lubang kecil yang memancarkan uap panas kering atau uap panas yang mengandung butiran-butiran air. Apabila uap tersebut mengandung gas H_2S maka manifestasi permukaan tersebut disebut solfatar. Fumarol merupakan manifestasi permukaan dari sistem panas bumi dominasi uap.

6. Geysir

Geysir adalah air panas yang menyembur ke udara pada selang waktu tak tentu. Selang waktu penyemburan air beraneka ragam, yaitu dari beberapa detik hingga beberapa hari. Lamanya air menyembur ke permukaan juga sangat beraneka ragam, yaitu dari beberapa detik hingga beberapa jam.

7. Lumpur panas

Lumpur panas adalah aliran lumpur yang memiliki temperatur tinggi. Kubangan lumpur panas umumnya mengandung gas CO_2 dengan sejumlah kecil uap panas. Lumpur terdapat dalam keadaan cair karena kondensasi uap panas sedangkan letupan-letupan yang terjadi adalah karena pancaran CO_2 .

8. Sinter Silika

Sinter silika adalah endapan silika di permukaan yang berwarna keperakan. Umumnya dijumpai di sekitar mata air panas dan lubang geysir yang menyemburkan air yang bersifat netral. Silika sinter merupakan manifestasi permukaan dari sistem panas bumi yang didominasi air.

2.3 Sifat Fluida Panas bumi

1. Volume spesifik

Volume spesifik suatu fasa fluida adalah perbandingan antara volume dengan masa dari fasa fluida tersebut. Volume spesifik air dan uap tergantung dari besarnya tekanan dan temperature.

2. Densitas

Densitas suatu fasa fluida adalah perbandingan antara massa dengan volume dari fasa fluida tersebut. Densitas air dan densitas uap tergantung dari besar tekanan dan temperatur dimana harganya ditentukan dari volume spesifik.

3. Energi dalam

Energi dalam merupakan parameter yang menyatakan banyaknya panas yang terkandung didalam suatu fasa persatuan masa. Besarnya energi dalam uap dan energi dalam air juga tergantung dari tekanan dan temperatur.

4. Entalpi dan panas laten

Entalpi adalah jumlah dari energi dalam dengan energi yang dihasilkan oleh kerja tekanan. Besarnya entalpi uap dan entalpi air juga tergantung dari tekanan dan temperatur. Panas laten adalah panas yang diperlukan untuk mengubah satu satuan masa air pada kondisi saturasi (jenuh) menjadi 100% uap.

5. Entropi

Entropi adalah besaran termodinamika yang mengukur energi dalam sistem per satuan temperatur yang tak dapat digunakan untuk melakukan usaha. Entropi juga besarnya ditentukan dari tekanan dan temperatur.

6. Viskositas

Viskositas atau kekentalan adalah ukuran keengganan suatu fluida untuk mengalir. Viskositas dibedakan menjadi dua, yaitu viskositas dinamik dan viskositas kinematik. Viskositas kinematis adalah viskositas dinamis dibagi dengan densitasnya.

2.4 Tipe Fluida, Asal usul Fluida, dan Kesetimbangan Fluida Panas Bumi

Air panas berasal dari air tanah atau air permukaan yang mengalami pemanasan oleh uap panas atau sumber panas yang meresap melalui rekahan dan sampai ke batuan permeabel. Komposisi mineral yang terlarut di dalam air akan mengalami perubahan seiring larutnya mineral batuan yang dilewati oleh air. Air panas yang berasal dari reservoir panas bumi bersifat netral, jernih, dan berwarna kebiruan (Saptadji, 2009).

Menurut Nicholson (1993) tipe fluida panas bumi terdiri dari beberapa jenis diantaranya yaitu tipe klorida, sulfat dan bikarbonat.

1. Tipe air klorida

Air klorida merupakan fluida yang paling dominan pada kebanyakan lapangan panas bumi. Air jenis ini diprediksi berasal dari bagian dalam reservoir, bersifat netral (pH antara 6 - 8,5) atau dapat pula sedikit asam atau sedikit basa. Manifestasi permukaan tipe air klorida dicirikan oleh kenampakannya yang jernih sering berasosiasi dengan endapan sinter silika. Air klorida di dekat permukaan sering mengandung CO_2 , H_2S dan sulfat yang signifikan, sedangkan di dalam reservoir perbandingan atau rasio Cl/SO_4 tinggi. Mata air panas Klorida mengidentifikasi daerah permeabel zona tinggi seperti patahan, erupsi breksi dan konduktif (Aribowo dan Nurrohman, 2012).

2. Tipe air sulfat

Tipe air sulfat ini kandungan kloridanya rendah, kandungan sulfat tinggi, Al dan Fe cukup tinggi. Air asam sulfat terdapat pada sistem panas bumi di daerah vulkanik, dimana uap air berkondensasi ke air tanah kandungan sulfat yang tinggi berasal dari oksidasi H_2S pada zona *vados* dan temperatur rendah (Saptdaji, 2009). Air sulfat hanya dapat memberikan sangat sedikit informasi tentang bagian dalam sistem panas bumi. Ciri fisik fluida jenis ini biasanya berwarna keruh, sering berasosiasi dengan kolam lumpur dan *collapse creater*. Warna keruh dan kandungan Al dan Fe yang cukup tinggi mengindikasikan adanya pelarutan batuan, hal ini disebabkan karena fluida jenis ini cenderung reaktif terhadap batuan yang dilewatinya.

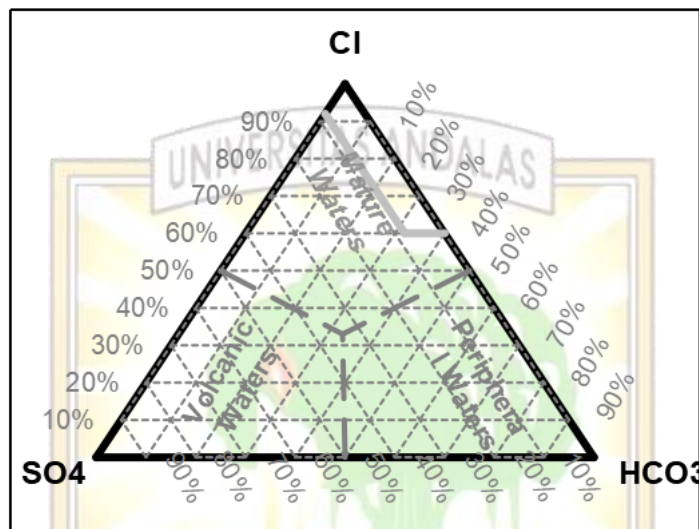
3. Tipe air bikarbonat

Fluida jenis ini dicirikan dengan kandungan Cl yang rendah, kandungan sulfat juga rendah dan bikarbonat (HCO_3) tinggi. Sistem yang berasosiasi dengan batuan vulkanik biasanya air bikarbonat terbentuk pada bagian yang dangkal di tepi lapangan oleh kondensasi uap di bawah muka air tanah. Pada sistem yang berasosiasi dengan batuan sedimen pembentukan fluida jenis ini dikontrol oleh keberadaan batu gamping. Air bikarbonat cenderung sedikit asam bisa juga netral atau sedikit basa.

Unsur Cl, B, Li, Na, K, dan Mg sebagai tracer dan geoindikator dapat digunakan untuk mengkaji aspek kimia fluida mata air panas. Hal tersebut diterapkan dengan metode sederhana yaitu pengeplotan pada diagram segitiga.

a. Diagram segitiga $Cl-SO_4-HCO_3$

Jenis cairan yang paling umum ditemukan di kedalaman sistem geotermal suhu tinggi adalah klorida sebagai anion dominan. Karakteristik diklasifikasikan menurut anion dominan. Meskipun bukan skema genetik formal, klasifikasi ini memungkinkan dibuat pada asal-usul air (Nicholson, 1993). Bentuk diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram Segitiga Cl-SO₄-HCO₃
(Sumber : Simmons, 1998)

Data diagram segitiga dapat ditentukan dengan Persamaan (2.1) sampai (2.4) :

$$S = [Cl] + [SO_4] + [HCO_3] \quad (2.1)$$

$$\%Cl = \frac{[Cl]}{S} \times 100 \quad (2.2)$$

$$\%SO_4 = \frac{[SO_4]}{S} \times 100 \quad (2.3)$$

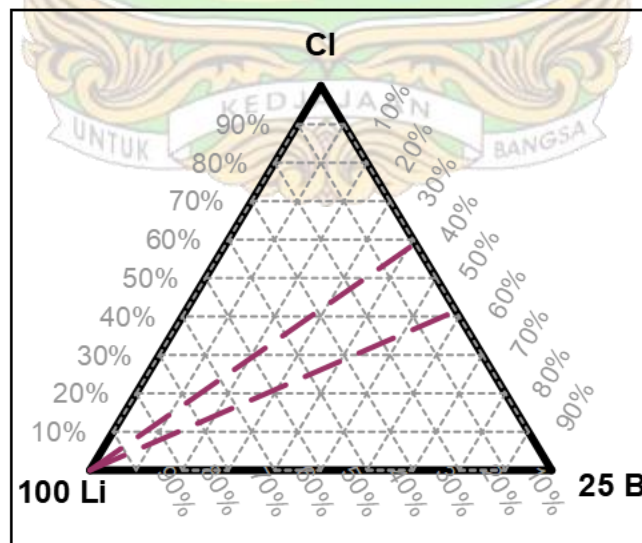
$$\%HCO_3 = \frac{[HCO_3]}{S} \times 100 \quad (2.4)$$

dengan S adalah penjumlahan konsentrasi Cl, SO₄, dan HCO₃. [Cl] adalah konsentrasi Cl, [SO₄] adalah konsentrasi SO₄ dan [HCO₃] adalah konsentrasi HCO₃. Semua komponen dinyatakan dalam mg/kg atau ppm.

Berdasarkan diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃, jika hasil plot data konsentrasi unsur air panas berada pada daerah dominan Cl maka air panas tersebut bertipe air Klorida. Jika hasil plot data konsentrasi unsur air panas berada pada daerah dominan SO₄ maka air panas tersebut bertipe Sulfat. Jika hasil plot data unsur air panas berada pada daerah dominan HCO₃ maka air panas tersebut bertipe Bikarbonat.

b. Diagram segitiga Cl-Li-B

Kandungan relatif Cl, Li, dan B dapat memberikan informasi mengenai kondisi di bawah permukaan hingga dedalaman sekitar 5 km. Zona *upflow* memiliki rasio B/Li rendah sedangkan pada zona *outflow* rasio B/Li tinggi (Aribowo, 2011). Bentuk diagram segitiga Cl-Li-B dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram segitiga Cl-Li-B
(Sumber : Simmons, 1998)

Plot data fluida dapat menggunakan Persamaan (2.5) sampai (2.8) :

$$S = [Cl] + 100[Li] + 25[B] \quad (2.5)$$

$$\%Cl = \frac{[Cl]}{S} \times 100 \quad (2.6)$$

$$\%Li = \frac{100[Li]}{S} \times 100 \quad (2.7)$$

$$\%B = \frac{25[B]}{S} \times 100 \quad (2.8)$$

dengan S adalah penjumlahan konsentrasi Cl, 100Li, dan 25B. [Cl] adalah konsentrasi Cl, [Li] adalah konsentrasi Li, dan [B] adalah konsentrasi B. Semua komponen dinyatakan dalam mg/kg atau ppm.

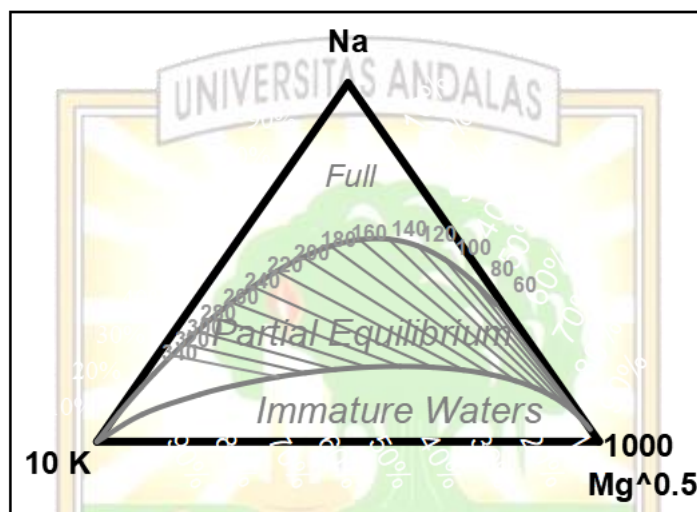
Konsentrasi Cl yang tinggi mengidentifikasi air berasal langsung dari sumber panas dengan minimal pencampuran atau pendinginan secara konduksi. Unsur Cl termasuk unsur yang pertama kali terbentuk pada sistem panas bumi dimana Cl tidak mudah bereaksi sehingga dapat menentukan asal usul dari fluida panas bumi. Kadar unsur B tinggi mata air panas mengindikasikan telah mengalami pengenceran dengan air tanah. Unsur B bereaksi dengan batuan yang dilewati. Kadar unsur Li tinggi mata air panas mengindikasikan berada dekat dengan sumber panas. Unsur Li merupakan unsur yang mudah bereaksi sehingga semakin jauh migrasi fluida semakin kecil kadar unsur Li. Air panas bumi yang mengandung Cl tinggi dibandingkan Li dan B menunjukkan bahwa air panas berasal dari vulkanik-magmatik. Apabila posisi mata air panas cenderung ke arah Cl-B, hal tersebut mengidentifikasi air panas berinteraksi dengan batuan sedimen yang kaya zat organik. Li sering terserap oleh mineral klorit, kuarsa, dan mineral

lempung sehingga pada zona *upflow* rasio B/Li rendah sedangkan pada zona *outflow* rasio B/Li tinggi (Nicholson, 1993).

c. Diagram Segitiga Na-K-Mg

Plot segitiga Na-K-Mg dapat memberikan penilaian lebih lanjut dari kesesuaian analisis air untuk aplikasi geoindikator zat ionik (Aulia, 2014).

Bentuk diagram segitiga Na-K-Mg dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram Na-K-Mg
(Sumber : Simmons, 1998)

Plot data pada diagram segitiga Na-K-Mg dapat ditentukan dengan Persamaan (2.9) sampai (2.12) :

$$S = [Na] + 10[K] + 1000[Mg]^{1/2} \quad (2.9)$$

$$\%Na = \frac{[Na]}{S} \times 100 \quad (2.10)$$

$$\%K = \frac{10[K]}{S} \times 100 \quad (2.11)$$

$$\%Mg = \frac{1000[Mg]^{1/2}}{S} \times 100 \quad (2.12)$$

dengan S adalah penjumlahan $[Na]$, $10[K]$, $1000[Mg^{1/2}]$. $[Na]$ adalah konsentrasi Na. $[K]$ adalah konsentrasi K, dan $[Mg]$ adalah konsentrasi Mg. Semua konsentrasi dinyatakan dalam mg/kg atau ppm.

Jika air panas berada pada daerah *immature water*, hal tersebut menandakan adanya pengaruh air permukaan yang tercampur dengan air panas pada permukaan mata air panas. Selain itu air panas berarti juga dipengaruhi oleh interaksi antara fluida dengan batuan dalam keadaan panas. Jika air panas berada pada daerah *partial equilibrium*, hal tersebut mengindikasikan fluida panas terjadi sedikit pencampuran dengan air permukaan. Jika air panas berada pada *full equilibrium*, hal tersebut mengindikasikan air panas tidak terjadi pencampuran dengan air tanah atau air permukaan. Unsur Na tinggi dalam sistem panas bumi merupakan interaksi fluida dengan batuan panas pada sistem reservoir temperatur tinggi. Unsur Mg tinggi pada fluida panas bumi menandakan bahwa fluida panas bumi telah terjadi pencampuran dengan air permukaan (Nicholson, 1993).

2.5 Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy ICP-AES

Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES) adalah sebuah teknik analisis yang digunakan untuk mendeteksi jejak logam dalam sampel dan mendapatkan karakteristik unsur-unsur yang memancarkan gelombang tertentu. *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-AES) merupakan instrumen yang digunakan untuk menganalisis kadar unsur-unsur logam dari suatu sampel dengan menggunakan metode spektrofotometer emisi. Spektrofotometer emisi adalah metode analisis yang didasarkan pada pengukuran intensitas emisi pada panjang gelombang yang khas

untuk setiap unsur. Bahan yang akan dianalisis untuk alat ICP-AES ini harus berwujud larutan yang homogen. ICP-AES adalah induksi yang diperoleh dari arus bolak-balik pada frekuensi radio melalui kumparan yang berguna untuk mendeteksi kandungan logam dalam sampel dari lingkungan (Wibawa, 2008).

Prinsip kerja ICP-AES adalah sampel diangkut ke dalam ICP-AES sebagai aliran sampel cairan. Sampel diubah menjadi aerosol oleh *nebulizer* melalui proses yang disebut nebulisasi. Tetesan aerosol besar dipisahkan dari tetesan aerosol kecil oleh *spray chamber*. Tetesan-tetesan kecil (1-10 μ m) diteruskan oleh argon ke plasma argon, sedangkan tetesan besar (>90%) dipompa ke pembuangan melalui saluran pembuangan (*drain*). Plasma dihasilkan dengan cara gas argon disediakan untuk kumparan obor, dan frekuensi arus listrik tinggi diterapkan ke kumparan kerja di ujung tabung obor. Medan elektromagnetik diciptakan dalam tabung obor dari frekuensi arus listrik tinggi untuk mengionisasi gas argon yang menghasilkan plasma. Plasma ini memiliki kerapatan elektron yang tinggi dan bertemperatur tinggi (1000 K). Energi ini digunakan dalam eksitasi-emisi sampel. Dalam plasma, banyak energi ditransfer ke atom dan ion, untuk mengakibatkan eksitasi elektron ke tingkat energi yang lebih tinggi. Ketika atom-atom dan ion tereksitasi kemudian kembali ke keadaan dasar atau keadaan eksitasi rendah dan akan memancarkan radiasi elektromagnetik pada spektrum rentang ultraviolet atau spektrum cahaya tampak. Setiap unsur tereksitasi memancarkan panjang gelombang tertentu, sedangkan intensitas radiasi sebanding dengan konsentrasi unsur tersebut. Pancaran radiasi karakteristik dikumpulkan oleh perangkat yang

menyortir radiasi pada panjang gelombang tertentu yaitu Spektrofotometer. Spektrofotometer ini yang akan mengubah ke tampilan dalam komputer.

2.6 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Daerah Lokasi Penelitian berada di daerah Kabupaten Tanah Datar, Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis lokasi penelitian ini berada di di antara dua gunung, yaitu Gunung Marapi dan Gunung Snggalang dengan ketinggian rata-rata 400 sampai 1000 meter di atas permukaan laut (mdpl) dan lebih tepatnya berada pada koordinat $00^{\circ}17''$ LS - $00^{\circ}39''$ LS dan $100^{\circ}19''$ BT – $100^{\circ}51''$ BT. Lokasi penelitian ini terletak di antara 3 gunung yaitu Gunung Marapi, Gunung Singgalang, dan Gunung Tandikek. Kabupaten Tanah Datar dipilih sebagai daerah penelitian untuk mengukur potensi panas bumi karena mempertimbangkan latar belakang dari proses geologi yang meliputi kondisi tektonik dan vulkanik yang masih aktif. Berdasarkan kondisi tektonik daerah penelitian ini berada pada zona sesar Sumatera yang masih aktif dan terus bergerak 7cm/tahunnya. Berdasarkan kondisi vulkanisme daerah ini masih menunjukkan aktivitas-aktivitas vulkanik yang diikuti oleh munculnya manifestasi berupa mata air panas yang ada di sekitar Kabupaten Tanah Datar (wikipedia,2020).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan bulan Juni sampai Oktober 2020. Lokasi pengambilan sampel air panas adalah di 4 titik sumber mata air panas yang berada di Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat, yang diberi label Pariangan1, Pariangan2, Batu Basa, dan Padang Gantiang. Titik lokasi ini diambil berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Burhan dan Putra (2017) dan koordinatnya terlihat pada Gambar 3.1. Pengujian kandungan unsur pada sampel dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan, Universitas Andalas dan pengolahan data hasil pengujian dilakukan di Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika Universitas Andalas.



Gambar 3.1 Lokasi pengambilan sampel

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan Penelitian adalah sampel air panas sebanyak 250 ml dari 4 titik sumber mata air panas, Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat.

3.2.2 Alat Penelitian

1. ICPE-9000 berfungsi sebagai alat untuk mengetahui konsentrasi kandungan logam di dalam air panas seperti Na, K, Mg, Cl, Li, dan B. Bentuk fisik alat dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 ICPE-9000

2. Seperangkat alat titrasi yang terdiri dari buret, statif, gelas ukur, dan labu ukur. Titrasi dilakukan untuk mengukur konsentrasi Cl pada air panas. Bentuk fisik alat dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Seperangkat alat titrasi

3. Termometer digital TP-101 digunakan untuk mengukur temperatur permukaan air panas. Resolusi termometer ini adalah $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan akurasi $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. TP-101 mampu mengukur temperatur dari $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bentuk fisik dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Termometer

4. PH Tester-107 digunakan untuk mengukur pH air panas, dan memiliki ketelitian $0,1$. Bentuk fisik alat dapat dilihat pada Gambar 3.5.

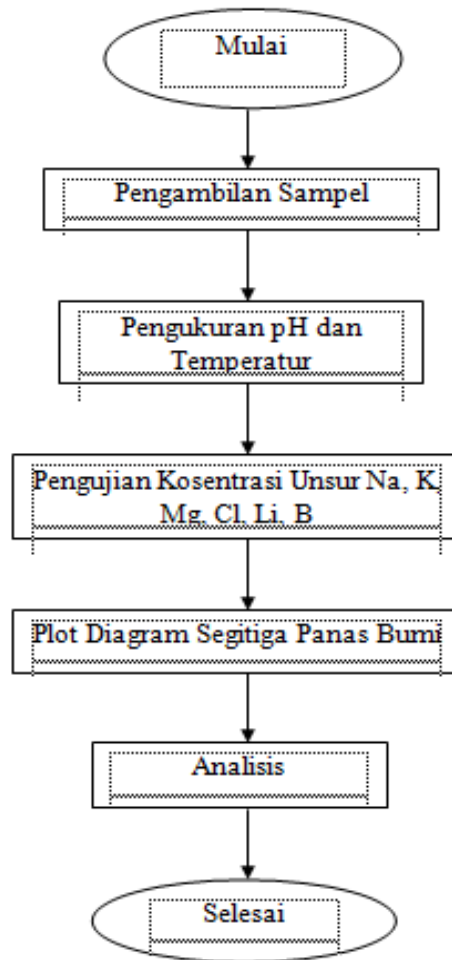


Gambar 3.5 pH meter

5. Botol plastik digunakan sebagai tempat sampel air panas.
6. GPS digunakan untuk menentukan posisi lokasi pengambilan sampel.

3.2.3 Teknik Penelitian

Pengukuran pH dan temperatur mata air panas dilakukan secara *on-site*. Sampel air panas kemudian dibawa menggunakan botol dan dilakukan pengujian kandungan unsur menggunakan alat ICP-AES dan metode titrasi. Penentuan karakteristik fluida mata air panas dilakukan berdasarkan hasil plot diagram segitiga panas bumi Cl-Li-B dan diagram segitiga panas bumi Na-K-Mg yang kemudian dianalisis asal usul, pengenceran dan kesetimbangan fluida panas bumi. Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram alir penelitian

3.3 Tahap Penelitian

3.3.1 Pengambilan sampel

Sampel diambil dari 4 titik sumber mata air panas Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat. Sampel diambil langsung dari mata air panas pada setiap titik mata air panas.

3.3.2 Pengukuran Sampel

a. Pengukuran temperatur permukaan dan pH fluida

Temperatur permukaan fluida air panas diukur menggunakan termometer digital. Pengukuran ini dilakukan langsung pada setiap sampel di lokasi penelitian. Nilai pH fluida air panas diukur menggunakan pH meter dan dilakukan pada setiap lokasi sampel mata air panas.

b. Pengujian Sampel

Pengujian sampel fluida mata air panas dilakukan dengan alat ICP-AES dan titrasi di Laboratorium Teknik Lingkungan, Universitas Andalas. Pengujian ini untuk mengetahui konsentrasi Na, K, Mg, Cl, Li, dan B. Pengujian dilakukan untuk seluruh sampel.

3.4 Pengolahan dan Analisis Data

Konsentrasi Cl, Li, dan B yang telah diketahui dimasukkan ke dalam Persamaan 2.5 sampai Persamaan 2.8 untuk menentukan persentase dari unsur Cl, Li, dan B, kemudian diplot pada diagram segitiga Cl-Li-B. Konsentrasi Na, K, dan Mg yang telah diketahui dimasukkan ke dalam Persamaan 2.9 sampai Persamaan 2.12 kemudian diplot pada diagram segitiga Na-K-Mg. Berdasarkan diagram segitiga tersebut dilihat dimana posisi sampel setelah diplot. Kemudian dianalisa asal usul, pengenceran dan kesetimbangan fluida panas bumi hasil plot tersebut.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Sampel Air Panas

Hasil pengukuran temperatur permukaan, pH air, kandungan natrium, kalium, magnesium, litium, boron, klorida pada masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 4.1. Temperatur permukaan pada daerah penelitian berkisar antara 31,4 °C - 47,7 °C. Setiap sampel air panas daerah penelitian memiliki pH pada rentang 6,2-8,7. Pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa pada setiap sampel untuk unsur yang sama memiliki konsentrasi yang berbeda-beda. Hal tersebut disebabkan karena setiap sistem panas bumi memiliki karakteristik masing-masing. Setiap manifestasi panas bumi yang keluar ke permukaan mengalami reaksi yang berbeda-beda dan jenis batuan yang dilewati yang berbeda-beda juga. Konsentrasi seluruh unsur yang terkandung pada mata air panas dapat dilihat pada Lampiran 2.

Tabel 4. 1 Data sampel air panas

Kode Sampel	T (°C)	pH	Konsentrasi (ppm)					
			Na	K	Mg	Cl	Li	B
A1	41,9	6,4	1,02	1,22	0,25	150	0,0018	0,0053
A2	41,5	6,2	1,06	1,18	0,24	140	0,0022	0,0063
A3	45,3	6,4	1,16	1,26	0,23	160	0,0032	0,0048
A4	44,3	6,2	1,20	1,16	0,22	140	0,0039	0,0051
A5	31,4	7,1	1,55	1,32	0,52	180	0,0041	0,0072
A6	47,7	8,7	1,34	1,45	0,23	170	0,0037	0,0043

4.2 Asal Usul dan Pengenceran Air Panas

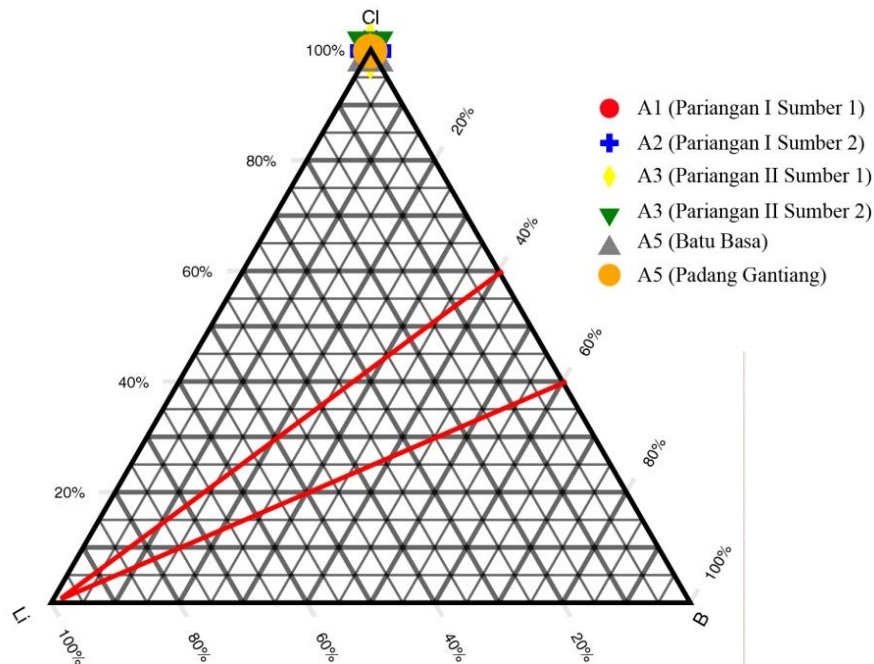
Untuk menentukan asal dan pengenceran fluida panas bumi dapat diketahui menggunakan unsur Cl, Li dan B karena unsur ini berasal dari sumber panas bumi. Perhitungan persentase kandungan unsur Na, K, dan Mg dilakukan menggunakan Persamaan 2.5 sampai Persamaan 2.8. Langkah perhitungan persentase unsur Cl, Li dan B dapat dilihat pada Lampiran 3. Hasil perhitungan persentase seluruh sampel mata air panas diplot pada diagram segitiga CL-Li-B. Persentase unsur Cl, Li dan B seluruh sampel dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Persentase unsur Cl, Li, dan B

Kode Sampel	Persentase (%)		
	Cl	Li	B
A1	99,792	0,119	0,088
A2	99,731	0,156	0,112
A3	99,725	0,199	0,074
A4	99,631	0,277	0,090
A5	99,673	0,227	0,099
A6	99,719	0,217	0,063

Hasil plot persentase data kimia untuk unsur Cl, Li dan B dapat dilihat pada Gambar 4.1. Keenam sampel air panas berada pada daerah dominan Cl pada diagram segitiga Cl-Li-B. Air panas yang mengandung unsur Cl yang tinggi umumnya memiliki pH netral sampai sedikit basa. Konsentrasi Cl yang tinggi mengindikasikan bahwa air panas yang naik ke permukaan merupakan fluida yang berasal dari sumber panas dengan pendinginan yang sangat sedikit oleh batuan sekitar aliran fluida (Nicholson, 1993). Hal tersebut disebabkan karena di dalam

sistem panas bumi, unsur Cl termasuk susah bereaksi, mudah berpindah di dalam larutan dan bersifat tetap sehingga dapat dilacak asal-usulnya.



Gambar 4.1 Hasil plot diagram segitiga Cl-Li-B

Unsur Cl merupakan unsur yang pertama kali terbentuk pada suhu 350 °C dengan konsentrasi yang sangat tinggi. Unsur Cl naik ke permukaan akibat tekanan yang tinggi di bawah permukaan di daerah Kabupaten Tanah Datar. Unsur Cl yang tinggi menandakan proses aliran fluida biasanya terjadi secara *upflow* atau cukup dekat dengan aliran utama fluida panas bumi (Nicholson,1993). Air panas yang mengandung unsur Cl yang tinggi umumnya memiliki pH netral sampai sedikit basa. pH permukaan air panas bumi ditentukan oleh hilangnya karbon dioksida pada pemanasan fluida yang menyebabkan air menjadi semakin basa.

Sampel air panas berada jauh dari unsur Li pada diagram segitiga Cl-Li-B. Hal tersebut mengindikasikan bahwa mata air panas berada jauh dari sumber panas sistem panas bumi. Menurut Grant dan Bixely (2011) reservoir panas bumi yang dalam memiliki kedalaman lebih dari 2 km dari permukaan. Unsur Li memiliki konsentrasi yang kecil menjelaskan bahwa unsur Li mudah terserap oleh mineral sekunder seperti klorit, kuarsa dan lempung, sehingga semakin jauh jarak migrasi fluida ke permukaan maka konsentrasinya akan semakin berkurang.

Unsur B sampel yang berada jauh dari diagram segitiga Cl-Li-B menandakan bahwa selama perjalanan mata air panas dari sumber panas ke permukaan terjadi sedikit pengenceran oleh batuan yang dilewati oleh aliran air panas. Unsur B dalam larutan merupakan unsur yang sukar bereaksi. Konsentrasi unsur B yang sedikit menandakan bahwa terjadi sedikit asosiasi panas bumi dengan batuan sedimen yang kaya zat organik (Nicholson, 1993). Proses pencucian oleh batuan samping yang berupa batuan beku yang bersifat asam menyebabkan rendahnya kandungan unsur B (Aulia, 2014).

4.3 Kestimbangan Fluida Panas Bumi

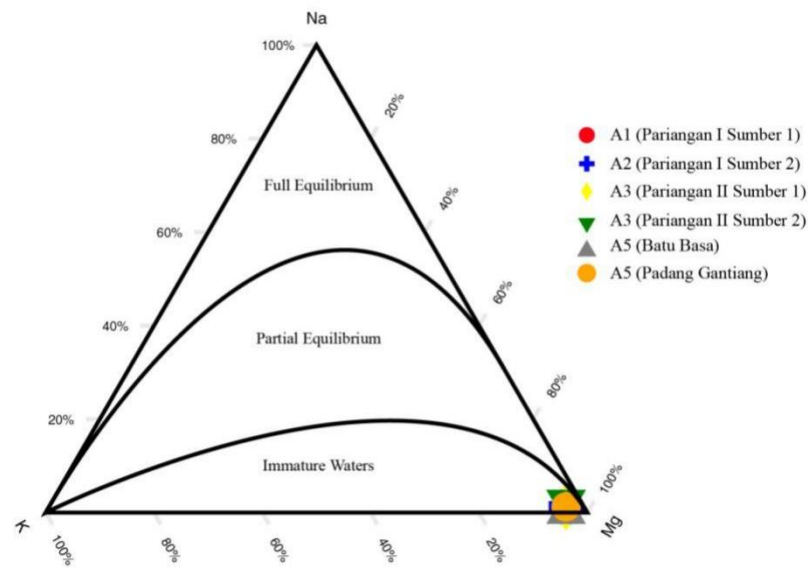
Untuk menentukan kestimbangan fluida panas bumi dapat diketahui dengan menggunakan konsentrasi unsur Na, K dan Mg yang telah diuji karena unsur ini terbentuk akibat perubahan temperatur fluida panas bumi. Perhitungan persentase kandungan unsur Na, K, dan Mg dilakukan menggunakan Persamaan 2.9 sampai Persamaan 2.12. Langkah perhitungan persentase unsur Na, K, dan Mg dapat dilihat pada Lampiran 3. Hasil perhitungan persentase seluruh sampel

mata air panas diplot pada diagram segitiga Na-K-Mg. Persentase unsur Na, K dan Mg seluruh sampel dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Persentase Unsur Na, K dan Mg

Kode Sampel	Persentase (%)		
	Na	K	Mg
A1	0,198	2,377	97,424
A2	0,210	2,347	97,442
A3	0,235	2,554	97,210
A4	0,249	2,407	97,343
A5	0,210	1,793	97,995
A6	0,270	2,926	96,802

Terlihat bahwa temperatur permukaan pada lokasi penelitian berkisar antara 31,4 °C – 47,7 °C. Temperatur permukaan yang terukur tersebut merupakan temperatur yang sedang untuk fasa air. Daerah *immature water* pada diagram segitiga Na-K-Mg menandakan fluida panas bumi telah bercampur dengan air permukaan yang lebih dingin sehingga menyebabkan temperatur fluida panas bumi yang sampai ke permukaan menjadi berkurang.

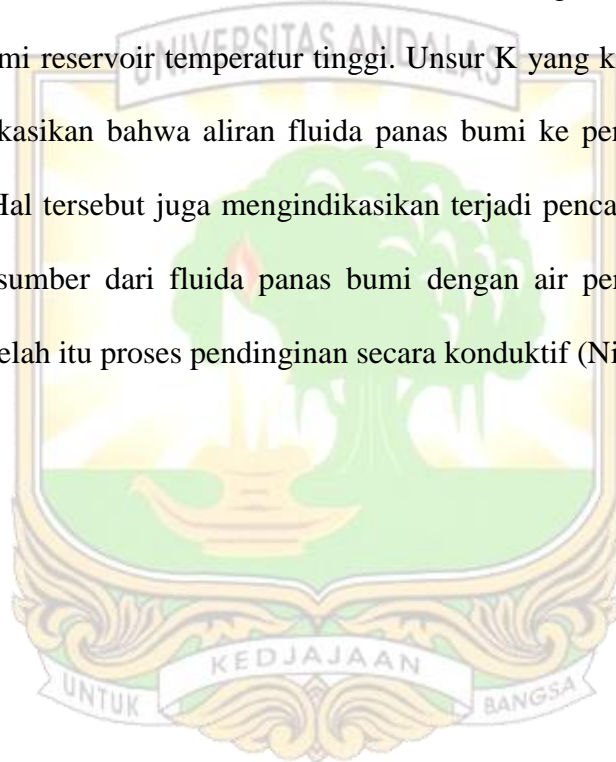


Gambar 4.2 Hasil plot diagram segitiga Na-K-Mg

Hasil plot persentase unsur Na, K dan Mg dapat dilihat pada Gambar 4.2 dimana seluruh sampel mata air panas daerah penelitian berada daerah *immature water*. Hal tersebut mengindikasikan bahwa fluida panas bumi di daerah penelitian telah mengalami interaksi dengan batuan panas dan terjadi pencampuran dengan air permukaan yang cukup banyak (Nicholson, 1993). Hasil plot keenam sampel juga memperlihatkan bahwa sampel air panas berada pada dominan Mg pada diagram segitiga Na-K-Mg. Unsur Mg yang berada di dalam suatu sistem panas bumi berjumlah sangat sedikit sehingga persentase Mg yang besar tersebut diindikasikan bersumber dari air permukaan. Kondisi *immature water* menandakan bahwa batuan reservoir terletak pada kondisi temperatur dan tekanan yang tinggi dimana mengalami pengenceran oleh air permukaan sebelum mencapai permukaan (Aribowo dan Nurohman, 2012).

Ditinjau dari persentase Na yang dihasilkan, kadar Na dalam air panas di 6 (enam) sampel tersebut berada antara 0,198% sampai 0,270%. Na merupakan unsur yang dikontrol oleh interaksi fluida dengan batuan panas pada sistem panas bumi. Rendahnya kandungan Na pada pengujian mengindikasikan bahwa temperatur reservoir berada di bawah 250 °C.

Diagram segitiga Na-K-Mg pada Gambar 4.2 memperlihatkan konsentrasi K yang kecil. Unsur K dikontrol oleh interaksi fluida dengan batuan panas pada sistem panas bumi reservoir temperatur tinggi. Unsur K yang kecil pada mata air panas mengindikasikan bahwa aliran fluida panas bumi ke permukaan bergerak secara lambat. Hal tersebut juga mengindikasikan terjadi pencampuran antara air panas yang bersumber dari fluida panas bumi dengan air permukaan di dekat permukaan. Setelah itu proses pendinginan secara konduktif (Nicholson, 1993).



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian unsur dan pengolahan data unsur Cl, Li, B, Na, K, Mg yang telah dilakukan terhadap 6 sampel air panas yang diambil di daerah Kabupaten Tanah Datar, maka dapat disimpulkan bahwa mata air panas daerah Kabupaten Tanah Datar berasal dari sumber panas bumi hal ini terlihat dari hasil plot diagram segitiga Cl-Li-B. Namun selama fluida panas bumi bergerak ke permukaan telah terjadi pencucian oleh batuan beku yang dilewati. Berdasarkan diagram segitiga Na-K-Mg, fluida panas bumi Kabupaten Tanah Datar mengalami sedikit pengenceran oleh air permukaan yang cukup banyak. Hal tersebut menandakan sistem panas bumi di kabupaten Tanah Datar dapat digunakan untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga panas bumi.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan penelitian menggunakan metode geofisika untuk pengujian bawah permukaan bumi atau melakukan penelitian lanjutan menggunakan geotermometer air untuk mendapatkan perkiraan temperatur reservoir panas bumi di Kabupaten Tanah Datar.

DAFTAR PUSTAKA

- Aribowo, Y., dan Nurrohman, H., 2012, Studi Geokimia Air Panas Area Prospek Panas Bumi Gunung Kendalisodo Kabupaten Semarang Provinsi Jawa Tengah, *Jurnal Teknik*, Vol. 33, No. 1, hal 32-36.
- Aulia, M. Z., 2014, Karakterisasi Panas Bumi TP dengan Analisis Data Geokimia dan Model Magnetotellurik untuk Menentukan Lokasi Titik Bor Eksplorasi, *Skripsi*, Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung, Lampung.
- Burhan, D. dan Putra, A., 2017, Pemetaan Tipe Air Panas di Sumatera Barat, *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, Padang.
- Dickson, M.H. dan Fanelli, M., 2003, *Geothermal Energy: Utilization and Technology*, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, France.
- DiPippo, R., 2012, *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Enviromental Impact*, Elsevier, United Kingdom.
- Direktorat Panas Bumi Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral Indonesia, "Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1", Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 2017.
- Fitrianty, U., 2012, Sebaran Mata Air Panas Di Kabupaten Serang, skripsi Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Depok.
- Goldstein, B., Hiriart, G., Bertani, R., Bromley, C., Gutiérrez-Negrin, L., Huenges, E., Muraoka, H., Ragnarsson, A., Tester, J. dan Zui, V., 2011, *Geothermal Energy In IPCC Special Report on Renewable Energy Source and Climate Change Mitigation*, Cambride University Press, Cambridge.
- Grant, M.A. dan Bixley, P.F., 2011, *Geothermal Reservoir Engineering Edition 2*, Elsevier, Netherland.
- Guo Q. dan Wang Y., 2012, Geochemistry of Hot Springs in The Tengchong Hydrothermal Areas Southwestern China, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 2015-216, Elsevier, hal. 61-73
- Liney, H., Flovenz, O.G., Arnason, K., Bhurn, D., Milsch, H., Spangeberg, E., dan Kulenkampff, J., 2010, Electrical Conductivity and P-Wave Velocity in Rock Sample from High Temperature Icelandic Geothermal Field, *Geothermics*, Vol. 39, Elsevier, hal 94-105.


- Nicholson, K., 1993, *Geothermal Fluids*, Springer Verlag, Inc., Berlin.
- Santoso, D., 2012, *Volkanologi dan Eksplorasi Geotermal, Catatan Kuliah Prodi Teknik Geofisika*, Penerbit ITB, Bandung.
- Saptadji, M, N., 2009. *Teknik Panas Bumi*. Penerbit ITB, Bandung.
- Simmons, S. F., 1998, *Geochemistry Lecture Note*, University of Auckland, Auckland.
- Sobirin, R, Permadi, A. N., Akbar A. M., Wildan D., dan Supriyanto., 2017, Analysis Geothermal Prospect of Mt. Endut Using Geochemistry Methods, *AIP Conference Proceedings*, USA.
- Suparno, S., 2009, *Energi Panas Bumi: A Present from The Heart of The Earth, Edisi Pertama*, Penerbit UI, Depok.
- Tian, J., Pang Z., Guo, Q., Wang, Y., Li, J., Huang,T., dan 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*, Vol. 74, No. 92, Elsevier. Hal 92-105.
- Utami, Z.D., dan Putra, A., (2018), Penentuan Karakteristik Fluida Dan Estimasi Temperatur Reservoir Panas Bumi Di Sekitar Gunung Talang, *Jurnal Fisika Unand*, 7(2) hal 130-136.
- Wibawa, A., 2008, Prinsip Kerja Inductively Plasma (ICP), *Makalah Ilmiah*, Departemen Kimia UI, Jakarta.
- Wohletz, K. dan Heiken, G., 1992, *Volcanology and Geothermal Energy*, University of California Press, United States of America.
- Zulwidyatama, W., 2016, Analisis Geokimia Fluida untuk Penentuan Potensi Sumber Daya Panas bumi Lapangan Zw Kabupaten Garut Provinsi Jawa Barat, *Jurnal Teknik*, Vol 40, No. 1, hal 11-16.
- Website Dinas pertambangan dan Energi Provinsi Sumatera Barat, 2017, www.sumbarprov.go.id diakses Juni 2020.
- Wikipedia, 2020, Kabupaten Tanah Datar, <https://id.wikipedia.org>, diakses Juni 2020.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Mata Air Panas Kabupaten Tanah Datar.



Lampiran 2. Hasil Pengujian Sampel dan Perhitungan Persentase Kandungan Air Panas



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
FAKULTAS TEKNIK, UNIVERSITAS ANDALAS
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
LABORATORIUM AIR**
Kampus Unand Limau Manis Padang 25163
Telp. (0751) 7862901. Fax. (0751) 72566


HASIL ANALISIS No : 040/IX/HA-LA/2020
SAMPEL : Air Panas Bumi
ANALISIS : Logam

Sample Name	Ag (mg/L)	Al (mg/L)	As (mg/L)	B (mg/L)	Ba (mg/L)	Ca (mg/L)	Cd (mg/L)	Co (mg/L)
Padang gantung	0,0088	0,0121	0,0034	0,0043	Ttd	1,23	0,045	Ttd
Pariangan I sumber 1	0,0052	0,0143	0,0052	0,0053	Ttd	1,54	0,057	Ttd
Pariangan I sumber 2	0,0061	0,0138	0,0043	0,0063	Ttd	1,63	0,068	Ttd
Pariangan II sumber 1	0,0045	0,0200	0,0048	0,0048	Ttd	1,72	0,055	Ttd
Pariangan II sumber 2	0,0052	0,0188	0,0052	0,0051	Ttd	1,68	0,063	Ttd
Batu Basa	0,0075	0,0164	0,0082	0,0072	Ttd	1,88	0,082	0,0045

Sample Name	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Hg (mg/L)	K (mg/L)	La (mg/L)	Mg (mg/L)	Mn (mg/L)
Padang gantung	0,0062	0,0652	0,256	Ttd	1,45	Ttd	0,231	0,087
Pariangan I sumber 1	0,0024	0,0331	0,231	Ttd	1,22	Ttd	0,251	0,054
Pariangan I sumber 2	0,0024	0,0324	0,218	Ttd	1,18	Ttd	0,242	0,072
Pariangan II sumber 1	0,0039	0,0412	0,226	Ttd	1,26	Ttd	0,234	0,088
Pariangan II sumber 2	0,0030	0,0420	0,231	Ttd	1,16	Ttd	0,221	0,080
Batu Basa	0,0040	0,0489	0,338	Ttd	1,32	Ttd	0,524	0,053


Sample Name	Na (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Se (mg/L)	Su (mg/L)	Sr (mg/L)	Zn (mg/L)	Li (mg/L)
Padang gantung	1,34	Ttd	0,0012	0,0010	Ttd	Ttd	0,0632	0,0037
Pariangan I sumber 1	1,02	Ttd	0,0005	0,0008	Ttd	Ttd	0,0212	0,0018
Pariangan I sumber 2	1,06	Ttd	0,0002	0,0002	Ttd	Ttd	0,0188	0,0022
Pariangan II sumber 1	1,16	Ttd	0,0005	0,0003	Ttd	Ttd	0,0155	0,0032
Pariangan II sumber 2	1,20	Ttd	0,0005	0,0002	Ttd	Ttd	0,0123	0,0039
Batu Basa	1,55	Ttd	0,0005	0,0005	Ttd	Ttd	0,0325	0,0041

Ket : Ttd = Tidak terdeteksi



Padang, 03 September 2020
 Analis Laboratorium
 Syofni .S.Si


Tembusan :
I. Arsip



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
FAKULTAS TEKNIK, UNIVERSITAS ANDALAS
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
LABORATORIUM AIR**
Kampus Unand Limau Manis Padang 25163
Telp. (0751) 7862901. Fax. (0751) 72566

HASIL ANALISIS No : 040/IX/HA-LA/2020
SAMPEL : Air Panas Bumi
ANALISIS : Klorida (Cl)

No	Sampel	Satuan	Klorida
1	Padang gantung	mg/L	170
2	Pariangan I sumber 1	mg/L	150
3	Pariangan I sumber 2	mg/L	140
4	Pariangan II sumber 1	mg/L	160
5	Pariangan II sumber 2	mg/L	140
6	Batu Basa	mg/L	180



Padang, 03 September 2020
 Analis Laboratorium
 Syofni .S.Si

Tembusan :
I. Arsip

Lampiran 3. Perhitungan Persentase Kandungan Air Panas

1. Sampel P1 Cl-Li-B

Dik : [Cl] = 150 ppm

[Li] = 0,0018 ppm

[B] = 0,0053 ppm

$$S = [\text{Cl}] + 100[\text{Li}] + 25[\text{B}]$$

$$S = 150 + 100(0,0018) + 25(0,0053) = 150,312 \text{ ppm}$$

$$\% \text{Cl} = \frac{[\text{Cl}]}{S} \times 100$$

$$\% \text{Cl} = \frac{150}{150,312} \times 100 = 99,792$$

$$\% \text{B} = \frac{25[\text{B}]}{S} \times 100$$

$$\% \text{B} = \frac{(25)0,0053}{150,312} \times 100 = 0,0881$$

$$\% \text{Li} = \frac{100[\text{Li}]}{S} \times 100$$

$$\% \text{Li} = \frac{100(0,0018)}{150,312} \times 100 = 0,1197$$

2. Sampel P1 Na-K-Mg

Dik : [Na] = 1,02 ppm

[K] = 1,22 ppm

[Mg]= 0,25 ppm

$$S = [\text{Na}] + 10[\text{K}] + 1000 \left[\text{Mg}^{\left(\frac{1}{2}\right)} \right]$$

$$= 1,02 + 10(1,22) + 1000(0,25^{1/2}) = 513,22 \text{ ppm}$$

$$\% \text{Na} = \frac{[\text{Na}]}{S} \times 100$$

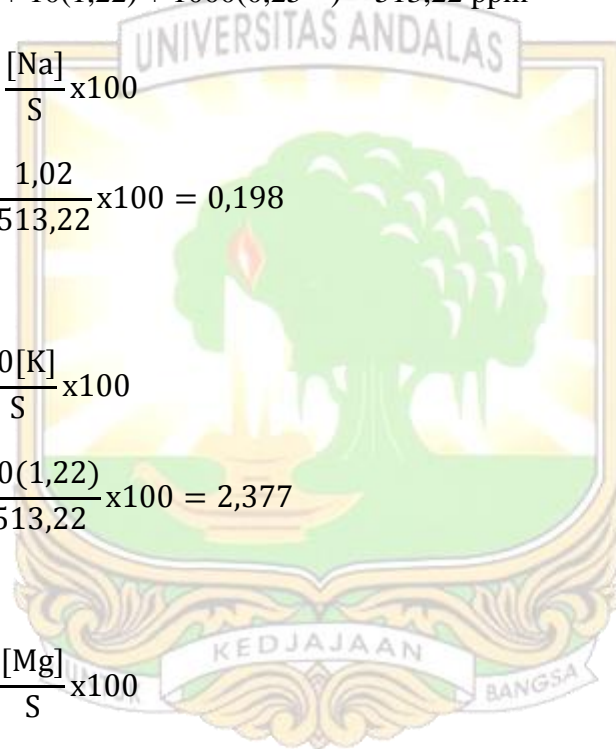
$$\% \text{Na} = \frac{1,02}{513,22} \times 100 = 0,198$$

$$\% \text{K} = \frac{10[\text{K}]}{S} \times 100$$

$$\% \text{K} = \frac{10(1,22)}{513,22} \times 100 = 2,377$$

$$\% \text{Mg} = \frac{[\text{Mg}]}{S} \times 100$$

$$\% \text{Mg} = \frac{1000(0,25^{\frac{1}{2}})}{513,22} \times 100 = 97,424$$



KARAKTERISTIK FLUIDA MATA AIR PANAS DI KABUPATEN TANAH DATAR

ORIGINALITY REPORT



PRIMARY SOURCES

1	jfu.fmipa.unand.ac.id Internet Source	13%
2	id.123dok.com Internet Source	5%
3	es.scribd.com Internet Source	4%

