

**SKRIPSI**

**GEOKIMIA FLUIDA PANASBUMI KAMOJANG JAWA  
BARAT**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUH. DANI RAMADHAN PRAYITNO  
D061 19 1014**



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA  
2024**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****GEOKIMIA FLUIDA PANASBUMI KAMOJANG JAWA BARAT****Disusun dan Diajukan Oleh****MUH. DANI RAMADHAN PRAYITNO****D061191014**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 24 September 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

*a.m* **Dr. Ir. Ratna Husain L., M.T**  
NIP. 195902021986012001

**Dr. Ir. Musri Ma'waleda, M.T**  
NIP. 19611231 198903 1 019

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Geologi  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

**Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng**  
NIP. 19771214 200501 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muh. Dani Ramadhan Prayitno

NIM : D061191014

Program Studi : Teknik Geologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul

### ***"GEOKIMIA FLUIDA PANASBUMI KAMOJANG JAWA BARAT"***

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa tulisan yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan dari tugas akhir ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Oktober 2024

Yang menyatakan



**Mu. Dani Ramadhan Prayitno**

NIM D061191014

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat dan karunia-Nya, Skripsi dengan judul “Geokimia Fluida Panasbumi Kamojang Jawa Barat” dapat berjalan lancar dan selesai dengan bantuan-nya.

Penyusunan skripsi ini tak lepas dari bantuan berbagai pihak. Maka penulisingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Ratna Husain L., M.T sebagai Dosen Pembimbing utama telah memberikan waktu dan bimbingan kepada penulis selama penyusunan laporan.
2. Bapak Dr. Ir. Musri Ma’waleda, M.T selaku Dosen Pembimbing dari penulis yang telah memberikan waktu dan bimbingan kepada penulis.
3. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T. M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Ibu Dr. Ulva Ria Irfan, S. T., M.T selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang baik kepada penulis
5. Ibu Dr. Ir. Haeranny Sirajuddin, M.T selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang baik kepada penulis
6. Bapak Mulyanto, Geoscience Manager PT. Pertamina Geothermal Energy yang telah memberikan izin, telah memberikan support, dan membimbing penulis selama penelitian.
7. Ibu Baig Lolla Riandari, Geochemist PT. Pertamina Geothermal Energy selaku Pembimbing di PT. Pertamina Geothermal Energy yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama penelitian.
8. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Departemen Tenik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bimbingannya.
9. Staf Administrasi Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

10. Bapak dan ibu pekerja PT. Pertamina Geothermal Energy pada fungsi *Geoscience* Bapak Taufan, Bapak Fadhil, Bapak Tajul, Bapak Jodi, Kak Artur, Kak Naufal, dan Bapak Oji yang telah membimbing penulis selama penelitian.
11. Kedua Orang Tua penulis, yang selalu memberikan doa yang tidak pernah putus, memberikan semangat, memberikan moril serta materil yang membuat penulis menyelesaikan penelitian ini dengan lancar.
12. Almarhum ayah tercinta alm. Bagus Budi Prayitno yang sudah memberikan semangat, memberikan kasih sayang yang tidak pernah habis, memberikan nasehat kepada penulis, sehingga bisa memotivasi penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.
13. Teman-teman intern PT. Pertamina Geothermal Energy yang telah menemani penulis pada masa penelitian sebagai berikut:
  - M. Dian Apriansyah (Teknik Geologi, UNHAS)
  - Renita Asri Sekarningrum (Teknik Geologi, UNSOED)
  - Amethysha Sonya Fidarini (Teknik Geologi, UNDIP)
  - Syifa Aulia (Teknik Geologi, UNSOED)
  - Ryandra Satya Dharmawan (Teknik Perminyakan, UNEJ)
  - Dicki (Teknik Geofisika, ITERA)
  - Ganendra Andiwardhana (Earth Science, University of Lorraine)
14. Teman-teman Jaeger - Teknik Geologi 2019. Teman seperjuangan dalam segala medan yang telah menemani dan memberikan dukungan kepada penulis.
15. Husnul Erika yang sudah memberikan semangat dan bantuan selama penulis melakukan penelitian, serta memberikan motivasi kepada penulis untuk segera menyelesaikan penelitian.
16. HMG FT-UH yang sudah memberikan kesempatan untuk belajar untuk berdinamika di organisasi dan menjadi keluarga selama berkuliah.
17. UNHAS JABODETABEK. Teman seperjuangan penulis selama merantau di Makassar yang telah memberikan semangat untuk bertahan dan memberikan rumah sementara selama merantau.

18. Semua Pihak yang telah membantu penulis sampai detik ini dan belum sempat disebutkan. Terima kasih untuk uluran tangan dan kerendahan hati yang kalian miliki.

Dalam penyusunan laporan ini, penulis sadar bahwa masih banyak terdapat kesalahan serta kekeliruan didalamnya. Maka penulis sangat mengharapkan kritik, saran dan masukan yang membangun terhadap laporan ini. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun bagi semua pihak yang berkepentingan lainnya

Gowa, Oktober 2024

Penulis

## ABSTRAK

Muh. Dani Ramadhan Prayitno *GEOKIMIA FLUIDA PANASBUMI KAMOJANG JAWA BARAT* dibimbing oleh Dr. Ir. Ratna Husain L., M.T dan Dr. Ir. Musri Ma'waleda, M.T

Secara administratif daerah penelitian berada di Kamojang, Desa Laksana, Kecamatan Igun, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat dimana daerah tersebut merupakan lapangan panasbumi tertua di Indonesia dan memiliki keunikan dimana merupakan sistem panasbumi dominasi uap (Vapour Dominated System). Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat  $107^{\circ}37,5' - 107^{\circ}48'$  BT dan  $7^{\circ}5,5' - 7^{\circ}16,5'$  LS. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui tipe air panasbumi, untuk mengetahui sumber gas dan indikasi kontaminasi udara, zona panasbumi, memperkirakan temperatur pada daerah penelitian, dan mengetahui geotermometer yang cocok digunakan pada daerah penelitian. Untuk mengetahui tipe air pada plotting diagram segitiga Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> pada daerah penelitian menunjukkan nilai SO<sub>4</sub> yang tinggi akibat air dipermukaan terpanaskan oleh hasil kondensasi gas panasbumi dan nilai HCO<sub>3</sub> yang tinggi yang dimana air ini terbentuk oleh hasil kondensasi gas yang bereaksi dengan air dibawah permukaan yang miskin O<sub>2</sub>. Untuk mengetahui sumber gas dan indikasi kontaminasi udara pada plotting diagram segitiga N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>-Ar pada daerah penelitian menunjukkan sumber gas berasal dari gas magmatik dan gas atmosfer, sedangkan kontaminasi udara tidak ditemukan adanya kontaminasi udara pada daerah penelitian. Untuk mengetahui zona panasbumi pada plotting diagram segitiga CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S-NH<sub>3</sub> pada daerah penelitian terletak pada zona upflow dan outflow. Untuk mengetahui temperatur pada daerah penelitian berkisar antara 175°C-250°C. Untuk mengetahui geotermometer yang cocok digunakan pada daerah penelitian menggunakan geotermometer CAR-HAR karena memiliki kemiripan dengan temperatur aktual pada daerah penelitian yang dibandingkan menggunakan data Pressure and Temperature (P&T).

**Kata kunci:** Tipe Air, Sumber Panas, Kontaminasi Udara, Temperatur Bawah Permukaan

## ABSTRACT

Muh. Dani Ramadan prayitno *GEOCHEMISTRY OF FLUID GEOTHERMAL OF KAMOJANG WEST JAVA* supervised by Dr. Ir. Ratna Husain I., M.T and Dr. Ir. Musri Ma 'Waleda, M.T.

The administrative testing area is in Kamojang, a Laksana Village, Ibum District, Bandung, West Java where the area is the oldest geologic ground in Indonesia and the uniqueness of which is a vaporistic system. The geographic area of the study lies in coordinates  $107^{\circ}37.5' - 107^{\circ}48'$  bt and  $7^{\circ}5.5' - 7^{\circ}16.5'$  ls. The purpose of this study is to identify the type of water from heasbumi, to identify the source of gas and to indicate air contamination, the hot zone, to estimate temperature in the research area, and to identify a geothermometer that would suit the research area. To find out the type of water in the diagram of the triangle Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> in the research area shows a high SO<sub>4</sub> value as a result of water condensation of the geothermal gas and a high HCO<sub>3</sub> value which the water is formed by the condensation of a gas that reacts with the water below the surface of the poor o<sub>2</sub>. To know the source of the gas and the indication of air contamination in the N<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>-Ar triangular diagram in the research area indicates that gas sources came from magmatic gases and atmospheric gases, while air contamination was not found in the research area. To learn the hot zone on the plotting diagram of the CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S-NH<sub>3</sub> triangle in the research area lies in upflow and outflow zones. To know the temperature in the research area ranges from 175°C-250°C. For more information on the well-suited geothermometer used in the research area, it is similar to the actual temperature in the research area compared with the use of pressure and temperature (P & T) data.

Keywords: Type Water, Heat Source, Air contaminants, subsurface temperatures

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB I</b> .....	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II</b> .....	<b>4</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Geologi Daerah Penelitian .....	4
2.1.1 Fisiografi dan Geomorfologi Daerah Penelitian .....	4
2.1.2 Stratigrafi Daerah Penelitian .....	6
2.1.3 Struktur Daerah Penelitian .....	6
2.2 Sistem Panasbumi .....	7
2.2.1 Sumber Panas (Heat source) .....	8
2.2.2 Batuan Reservoar .....	8
2.2.3 Fluida .....	8
2.2.4 Manifestasi Panasbumi .....	8
2.2.4.1 Mata Air Panas ( <i>Hot Spring</i> ) .....	9
2.2.4.2 Permukaan Tanah Beruap ( <i>Steaming Ground</i> ) .....	9
2.2.4.3 Lumpur Panas ( <i>Mud Pool</i> ) .....	9
2.2.4.4 Fumarola dan Sulfatar .....	9
2.2.4.4 Geysir .....	9

2.2.4.5	Batuan Alterasi .....	10
2.3	Klasifikasi Panasbumi .....	10
2.3.1	Asal Fluida.....	10
2.3.2	Suhu Reservoir.....	11
2.3.3	Jenis Sumber Panas .....	11
2.4	Geokimia Fluida Panasbumi.....	12
2.4.1	Geokimia Air Panasbumi .....	13
2.4.2	Tipe Air Panasbumi .....	15
2.5	Geokimia Gas Panasbumi.....	17
2.5.1	Sumber Gas .....	19
2.5.2	Penentuan Zona Upflow/Outflow.....	20
2.6	Geotermometer Gas .....	21
2.6.1	Geotermometer H <sub>2</sub> /Ar.....	21
2.6.2	Geotermometer CO <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> .....	22
2.6.3	Geotermometer H <sub>2</sub> S/Ar .....	22
2.6.4	Geotermometer CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub> .....	22
2.6.5	Geotermometer H <sub>2</sub> S/H <sub>2</sub> .....	22
2.6.6	Geotermometer CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> .....	22
2.6.7	Cross - Plot CAR-HAR .....	23
2.6.9	Diagram FT-HSH.....	24
<b>BAB III.....</b>		<b>26</b>
<b>METODE PENELITIAN .....</b>		<b>26</b>
5.1	Metode Penelitian.....	26
5.2	Lokasi Penelitian dan Kesempaan Daerah .....	26
5.3	Tahap Penelitian .....	27
3.3.1	Tahap Persiapan.....	27
3.3.2	Tahap Pengumpulan Data.....	27
3.3.3	Tahap Analisis Data .....	28
3.3.4	Tahap Penyusunan Laporan.....	28
<b>BAB IV .....</b>		<b>30</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>30</b>
4.1	Karakteristik Fluida Panasbumi.....	30
4.1.1	Tipe Fluida.....	30
4.1.2	Sumber Gas dan Indikasi Kontaminasi Udara.....	31
4.1.3	Penentuan Zona Panasbumi.....	33
4.2	<i>Pressure and Temperature (P&amp;T) Daerah Penelitian .....</i>	<i>34</i>

4.2.1	Data Pressure and Temperature (P&T) KMJ WELL A.....	35
4.2.2	Data Pressure and Temperature (P&T) KMJ WELL B.....	36
4.2.3	Data Pressure and Temperature (P&T) KMJ WELL C.....	37
4.3	Geotermometer Gas Panasbumi .....	37
4.3.1	Geotermometer Gas H <sub>2</sub> /Ar.....	37
4.3.2	Geotermometer CO <sub>2</sub> -N <sub>2</sub> .....	38
4.3.3	Geotermometer H <sub>2</sub> S-Ar .....	39
4.3.4	Geotermometer CH <sub>4</sub> -CO <sub>2</sub> .....	40
4.3.5	Geotermometer CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> .....	40
4.3.6	Geotermometer H <sub>2</sub> S-H <sub>2</sub> .....	41
4.3.7	Geotermometer FT-HSH.....	42
4.3.8	Geotermometer CAR-HAR .....	42
	<b>BAB V.....</b>	<b>44</b>
	<b>PENUTUP.....</b>	<b>44</b>
5.1	Kesimpulan .....	44
5.2	Saran .....	45
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>46</b>

**DAFTAR TABEL**

Tabel 1. Nilai Cl-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> .....	31
Tabel 2. Nilai N <sup>2</sup> -CO <sup>2</sup> -Ar.....	33
Tabel 3. Nilai CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> S-NH <sub>3</sub> .....	33
Tabel 4. Hasil Perhitungan Geotermometer H <sub>2</sub> /Ar.....	38
Tabel 5. Hasil perhitungan geotermometer CO <sub>2</sub> -N <sub>2</sub> .....	39
Tabel 6. Hasil perhitungan geotermometer H <sub>2</sub> S-Ar.....	39
Tabel 7. Hasil perhitungan geotermometer CH <sub>4</sub> -CO <sub>2</sub> .....	40
Tabel 8. Hasil perhitungan geotermometer CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> .....	41
Tabel 9. Hasil perhitungan geotermometer H <sub>2</sub> S-H <sub>2</sub> .....	41

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 1. Peta fisiografi Jawa Barat (Van Bemmelen, 1949) .....	4
Gambar 2. Peta Geologi Daerah Penelitian (Alzwar, dkk. 1992) .....	6
Gambar 3. Diagram ternary Cl-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> .....	17
Gambar 4. Diagram ternary N <sub>2</sub> -CO <sub>2</sub> -Ar .....	20
Gambar 5. Diagram ternary CO <sub>2</sub> - CH <sub>4</sub> - H <sub>2</sub> S .....	21
Gambar 6. Diagram CAR-HAR .....	24
Gambar 7. Diagram grid FT-HSH .....	25
Gambar 8. Peta Lokasi Penelitian .....	27
Gambar 9. Plotting tipe fluida daerah penelitian berdasarkan klasifikasi (Giggenbach, 1991) .....	30
Gambar 10. Plotting indikasi magmatik dan indikasi kontaminasi udara daerah penelitian berdasarkan klasifikasi (Giggenbach, 1991) .....	32

# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Posisi geologi Indonesia yang dikenal sebagai Cincin Api Pasifik (*ring of fire*) disebabkan oleh keberadaan gunung berapi yang terletak di sepanjang jalur pegunungan Sirkum Pasifik. Kondisi ini memberikan keuntungan tersendiri bagi Indonesia. Aktivitas magmatik yang tinggi juga menciptakan zona mineralisasi. Selain itu, potensi sumber daya panas bumi semakin meningkat berkat iklim tropis yang memiliki curah hujan yang cukup tinggi. Panas bumi merupakan sumber daya alam berupa energi panas yang terbentuk di bawah permukaan bumi. Energi panas ini berasal dari interaksi antara pemanasan batuan dan air dengan unsur lain yang terperangkap dalam reservoir (Armstead, 1977).

Energi panas bumi adalah energi yang tersimpan dalam bentuk air atau uap panas pada kondisi geologi tertentu beberapa kilometer jauhnya di dalam kerak bumi. Energi panas bumi memiliki unsur unik karena melibatkan lapisan-lapisan retakan yang terhubung dengan lapisan yang mengandung fluida panas. Air permukaan dan air tanah masuk ke sumber panas dan mengisi ulang sistem panasbumi (Grant et al., 1982).

Wohletz dan Heiken (1992) menyatakan bahwa manifestasi panasbumi terjadi berupa keluarnya fluida panas bumi dari reservoir melalui rekahan atau zona permeabel ke permukaan bumi. Fenomena panas bumi dapat terjadi dalam bentuk air, seperti fluida hidrotermal, kolam air panas, atau dalam bentuk uap, seperti fumarol dan geyser, tergantung pada suhu reservoir dan laju aliran fluida panas bumi.

Lapangan Panasbumi Kamojang merupakan lapangan panasbumi tertua yang beroperasi di Indonesia, pertama kali digali pada tahun 1975. Sistem Panasbumi Kamojang merupakan sistem dominasi uap, dengan 5 (lima) unit PLTP yang saat ini beroperasi dengan total 94 sumur, terdiri dari 38 cluster (Kementerian ESDM, 2017).

Geokimia panasbumi adalah suatu metode eksplorasi panasbumi yang menggunakan manifestasi yang muncul di permukaan bumi dan menghitungnya

berdasarkan komposisi kimia air, gas, dan batuan pada daerah penelitian. Karakteristik kimia air dan gas dari suatu lapangan panasbumi merupakan informasi yang sangat penting mengenai kondisi reservoir itu sendiri (Polanunu et al., 2021).

Analisis geokimia fluida untuk menginterpretasikan karakteristik panasbumi bawah permukaan berperan sangat penting. Analisis geokimia juga dapat mengetahui potensi panas bumi suatu wilayah dengan menganalisis sampel dari manifestasi panasbumi.

Oleh karena itu, perlunya penelitian untuk mengetahui Karakteristik fluida panasbumi pada daerah penelitian, maka diadakan penelitian pada Wilayah Kerja Panasbumi (WKP) Kamojang milik PT. Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang dengan judul **"GEOKIMIA FLUIDA PANASBUMI KAMOJANG JAWA BARAT"**

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian diatas didapatkan rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana tipe air panasbumi pada daerah penelitian?
2. Bagaimana sumber gas panasbumi dan indikasi kontaminasi udara pada daerah penelitian?
3. Bagaimana zona panasbumi pada daerah penelitian?
4. Bagaimana temperatur suhu reservoir pada daerah penelitian?
5. Geotermometer bagaimana yang cocok digunakan pada daerah penelitian?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, antara lain:

1. Untuk mengetahui tipe air panasbumi pada daerah penelitian.
2. Untuk mengetahui sumber gas dan indikasi kontaminasi udara pada daerah penelitian.
3. Untuk mengetahui zona panasbumi pada daerah penelitian.
4. Untuk Memperkirakan suhu reservoir panasbumi pada daerah penelitian.

5. Untuk Mengetahui geotermometer yang cocok digunakan pada daerah penelitian.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini penulis melakukan penelitian dengan batasan pada analisis karakteristik fluida panasbumi dan geotermometer gas pada daerah penelitian menggunakan analisis geokimia, pada penelitian ini menggunakan data geokimia fluida, data geokimia gas, dan data *pressure and temperature* (P & T) sumur pada Lapangan Panasbumi PT. Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

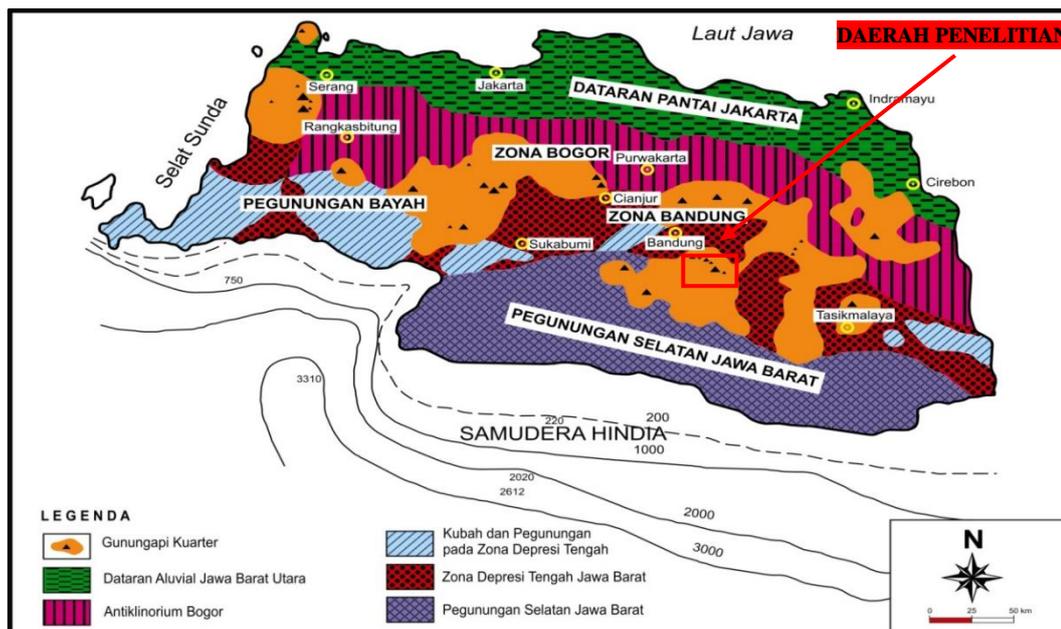
Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai acuan atau referensi untuk mengetahui karakteristik fluida panasbumi, mengetahui suhu reservoir dan memberikan rekomendasi penggunaan geotermometer gas yang cocok pada lapangan PT. Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Geologi Daerah Penelitian

#### 2.1.1 Fisiografi dan Geomorfologi Daerah Penelitian

Zona fisiografi berdasarkan Van Bemmelen (1949) Daerah Jawa barat terbagi menjadi 4 fisiografi terdiri dari Zona Dataran Pantai Jakarta, Zona Bogor, Zona Bandung, dan Zona Pegunungan Selatan. Daerah penelitian termasuk kedalam Zona Bandung bagian selatan yang dicirikan dengan adanya barisan gunungapi berumur Kuarter. Kamojang terletak pada kelompok Garut (*Garut section*), dan merupakan bagian dari barisan gunungapi pemisah Garut dan dataran tinggi Bandung.



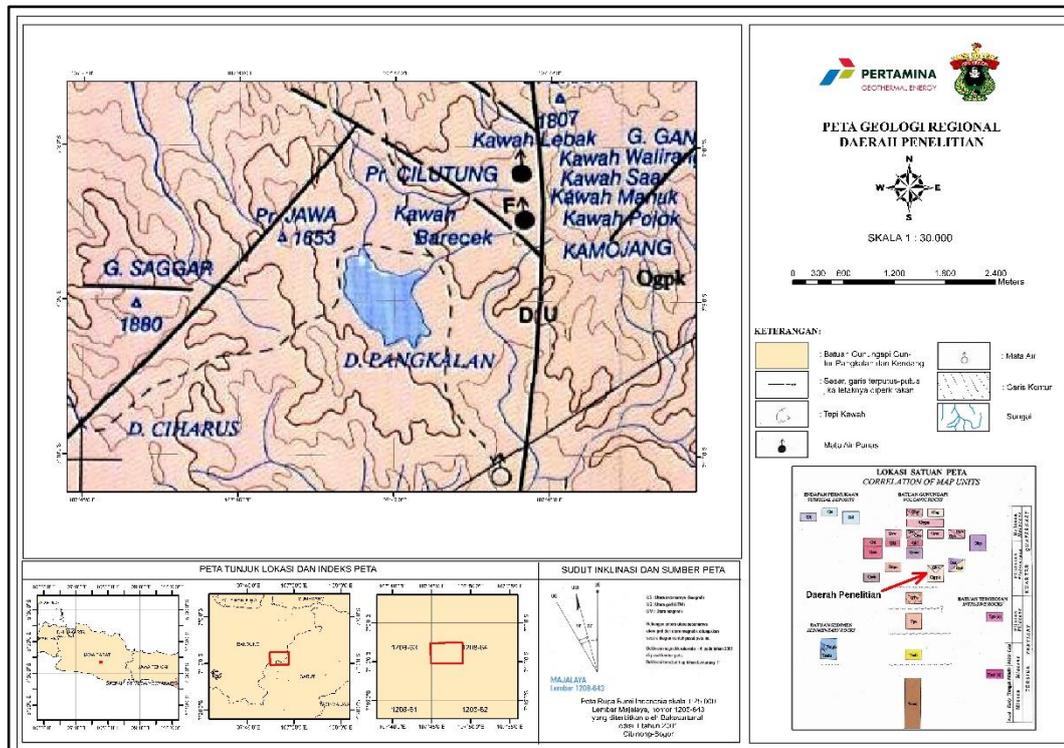
Gambar 1 Peta fisiografi Jawa Barat (Van Bemmelen, 1949)

Satuan geomorfologi daerah penelitian terbagi menjadi dua bagian, yaitu Satuan Perbukitan Kerucut Debu (*cinder cone*) dan Satuan Danau Kawah atau Kaldera Purba. Satuan Perbukitan Kerucut Debu adalah satuan perbukitan yang menempati sekitar 85% daerah penelitian dan terletak di semua bagian daerah penelitian, terdiri dari Gunung Jahe, Kaki Gunung Rakutak, Gunung Sanggar, Gunung Jawa, Gunung Pedang, Gunung Kamasan, Gunung Ciharus, Gunung

Beling, Gunung Dano, dan Kaki Gunung Cibatuipis. Ciri-ciri pada satuan ini adalah pola kontur rapat sampai sangat rapat, mempunyai relief yang tinggi, kemiringan lereng miring sampai terjal ( $6^{\circ}$ - $55^{\circ}$ ), dan ketinggian sekitar antara 1150-1882 mdpl. Perbukitan kerucut debu (*cinder cone*) dibentuk oleh tefra berukuran debu sampai lapili yang menutupi perbukitan sebagai produk gunung api paling muda. Litologi lainnya sebagai penyusun satuan ini adalah berupa aliran Lava Andesit sampai Basalt (Loback, 1939).

Sedangkan satuan kaldera purba terdiri dari Danau Ciharus, Danau Pedang, dan Kaldera Purba Pangkalan yang dimana terletak di bagian Timur, Tengah, dan bagian Barat daerah penelitian. Satuan kaldera purba memiliki pola kontur sangat renggang, relief sangat halus, kemiringan lereng sangat datar sampai miring ( $0^{\circ}$ - $7^{\circ}$ ), dan ketinggian sekitar antara 1475-1500 mdpl. Danau Ciharus dan air pada Danau Pedang termasuk air meteorik yang berasal dari akumulasi pada morfologi lembah dari pertemuan antar kaki gunung pada Satuan Perbukitan Kerucut Debu, dan juga berperan sebagai hulu sungai. Tata guna lahan pada satuan Kaldera Pangkalan dijadikan sebagai permukiman warga Desa Pangkalan, sedangkan tata guna lahan Danau Ciharus sebagai daerah objek wisata setempat. Morfologi berupa depresi merupakan ekspresi topografi dari bentukan dataran rendah yang dikelilingi oleh satuan geomorfologi Perbukitan Kerucut Debu dan diinterpretasikan sebagai morfologi kaldera yang menjadi pusat erupsi Gunung Kamojang Tua.

## 2.1.2 Stratigrafi Daerah Penelitian



Gambar 2 Peta Geologi Daerah Penelitian (Alzwar, dkk. 1992)

Daerah penelitian termasuk ke dalam Wilayah Kerja Panasbumi (WKP) Kamojang yang secara fisiografis terletak pada kelompok Garut seperti yang telah dijelaskan sebelumnya yang terdiri dari endapan vulkanik berumur Kuartar. Mengacu pada peta geologi Lembar Garut dan Pameungpeuk oleh (Alzwar, dkk. Tahun 1992), daerah penelitian termasuk pada *Qgpk/Qko Batuan Gunungapi Guntur-Pangkalan dan Kendang*: rempah lepas (*eflata*) dan lava.

Remah lepas dan lava tersusun oleh andesit dan andesit - basalt yang dihasilkan oleh kelompok Gunungapi tua Guntur, Gandapura, dan Pangkalan, di bagian utara, dan kelompok Gunungapi Kendang di bagian selatan. Tubuh gunungapi yang terbentuk di bagian timur-tengah lembar merupakan sisa-sisa kaldera (Gunung Kendang dan Gunung Pangkalan) dan Soma (Guntur Tua).

Sisa Gunungapi Guntur Tua sebagian besar runtuh ke arah utara dan tenggara dan kemudian tertutup oleh lava atau kerucut-kerucut gunungapi muda. Dinding Kaldera Pangkalan bagian utara dan timur runtuh terpatahkan dan

kemudian tertutup oleh rempah gunungapi muda, kaldera terdiri dari tiga bagian, yaitu Pangkalan, Kamojang, dan Cakra.

Lava umumnya tersusun oleh andesit piroksen dan andesit hornblend yang mengalami pelapukan yang kuat. Beberapa sumber erupsi menghasilkan lava andesit piroksen yang mengandung sedikit olivin dan andesit hornblend G. Kiamis (1705 m, *Qko*) merupakan kubah obsidian yang sebagian besar bersusunan asam-menengah (dasitik) yang diselingi oleh tufa kaca yang terkandung oleh lapili obsidian. Satuan ini muncul sebagai parasit di sebelah utara kaldera Kendang.

### **2.1.3 Struktur Daerah Penelitian**

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Garut dan Pameungpeuk, Jawa Barat oleh Alzwar dkk. (1992), sesar yang dijumpai pada daerah ini merupakan sesar normal dan sesar geser. Sesar normal merupakan unsur utama terbentuknya depresi (Zona Bandung). Sesar yang berkembang saat berumur Kuartar umumnya yang mengontrol terbentuknya gunungapi, terutama sistem yang berarah barat daya-timur laut yang memotong bagian tengah dari daerah penelitian dan ditempati jajaran gunungapi, antara Kendang – Pangkalan – Guntur - Mandalawangi. Aktivitas tektonik pada daerah penelitian pada Zaman Tersier dipengaruhi oleh penujaman Lempeng Samudra Hindia ke bawah Lempeng Asia. Penujaman ini terbentuk pada Oligosen Akhir - Miosen Awal/Tengah dan menghasilkan kegiatan gunungapi yang tersusun atas andesit.

## **2.2 Sistem Panasbumi**

Sistem Panasbumi adalah elemen-elemen yang berkumpul menjadi satu sistem yang berinteraksi satu sama lain. Terdapat tiga komponen utama panasbumi, yaitu adanya batuan reservoir yang permeabel, adanya air yang membawa panas, dan sumber panas itu sendiri. Komponen-komponen tersebut saling berkaitan dan membentuk sistem yang mampu mengantarkan energi panas dari bawah permukaan hingga ke permukaan bumi. Sistem ini bekerja dengan mekanisme konduksi dan konveksi (Hochstein & Sudarman, 2008).

### 2.2.1 Sumber Panas (Heat source)

Sumber panas (*heat source*) umumnya berupa tubuh intrusi magma dari suatu sistem hidrotermal. Namun ada juga sumber panas hidrotermal yang bukan berasal dari batuan beku. Sumber panas dapat dihasilkan dari hasil *uplift basement rock* yang masih panas, dan sumber panas yang berasal dari hasil adanya aktivitas tektonik berupa perlipatan atau patahan yang bereaksi dengan air. Perbedaan sumber panas ini akan berdampak pada perbedaan sistem panasbumi.

### 2.2.2 Batuan Reservoir

Batuan reservoir adalah komponen panasbumi yang berperan menyimpan dan meloloskan fluida dalam jumlah yang besar karena memiliki porositas dan permeabilitas yang cukup baik yang berpengaruh terhadap kecepatan sirkulasi fluida. Komposisi kimia fluida hidrotermal juga dipengaruhi oleh batuan reservoir, hal tersebut dikarenakan fluida hidrotermal yang berada di bawah permukaan akan mengalami reaksi dengan batuan reservoir yang dimana dari reaksi tersebut akan mengubah komposisi kimia dari fluida hidrotermal tersebut.

### 2.2.3 Fluida

Nicholson (1993) menyebutkan ada 4 (empat) asal fluida panasbumi, yaitu Air meteorik (air permukaan) merupakan air yang berasal dari air permukaan yang masuk ke dalam permukaan yang biasanya berasal dari hasil presipitasi atau air hujan, air formasi (*connate water*) merupakan air meteorik yang terperangkap di dalam formasi batuan dalam kurun waktu yang lama. Air formasi akan mengalami interaksi yang intensif dengan batuan yang menyebabkan air ini menjadi saline, air metamorfik yang berasal dari modifikasi khusus dari air formasi yang berasal dari rekristalisasi mineral *hydrous* menjadi mineral yang kurang *hydrous* selama proses metamorfisme batuan, dan air magmatik, Ellis & Mahon (1977) membagi fluida magmatik menjadi dua jenis, yaitu air magmatik yang berasal dari magma namun pernah menjadi bagian dari air meteorik dan air meteorik dan air juvenile yang belum pernah menjadi bagian dari meteorik.

## **2.2.4 Manifestasi Panasbumi**

Manifestasi panasbumi merupakan adanya perpindahan panas dari permukaan melalui rekahan – rekahan yang memungkinkan fluida/gas panasbumi muncul ke permukaan panasbumi sebagai bukti awal adanya aktivitas panasbumi di bawah permukaan (Ibrahim, dkk, 2022).

### **2.2.4.1 Mata Air Panas (*Hot Spring*)**

Mata air panas (*Hot spring*) merupakan salah satu petunjuk adanya potensi panasbumi. Reaksi antara batuan yang berada dalam dapur magma dengan air tanah yang turun/tersimpan di bawah permukaan akan terpanaskan dan cenderung naik ke permukaan melalui rekahan-rekahan pada batuan dan membentuk sumber mata air panas (Suharno, 2013).

### **2.2.4.2 Permukaan Tanah Beruap (*Steaming Ground*)**

Permukaan tanah beruap (*steaming ground*) merupakan permukaan tanah yang mengeluarkan uap panas (*steam*). Uap panas tersebut diperkirakan berasal dari sebuah lapisan yang berada di dekat permukaan yang mengandung air panas yang mempunyai temperature suhu mendekati titik didih (*boiling point*) sehingga terjadi penguapan di atas permukaan (Suharno, 2013).

### **2.2.4.3 Lumpur Panas (*Mud Pool*)**

Lumpur panas (*mud pool*) merupakan manifestasi yang umumnya mengandung uap panas yang tidak terlalu banyak dan banyak gas CO<sub>2</sub> dengan sejumlah kecil uap panas, sedangkan letupan-letupan yang terjadi pada lumpur panas disebabkan karena pancara CO<sub>2</sub> (Suharno, 2013).

### **2.2.4.4 Fumarola dan Sulfatar**

Fumarol ”lubang asap” merupakan tempat keluarnya gas-gas panasbumi yang dihasilkan oleh gunung api berupa uap panas kering (*dry steam*) atau uap panas yang mengandung butiran-butiran air (*wet steam*). Fumarol yang memancarkan uap dengan kecepatan tinggi dijumpai pada sistem panasbumi

dominasi uap (*vapor dominated system*) yang banyak mengandung SO<sub>2</sub>. Sedangkan sulfatar adalah apabila fumarol mengandung gas H<sub>2</sub>S (Suharno, 2013).

#### **2.2.4.4 Geysir**

Geysir adalah air tanah yang menyembur ke udara secara tidak menentu waktunya dengan ketinggian air yang beraneka ragam, geysir merupakan salah satu manifestasi panasbumi penciri sistem dominasi air (*water dominated system*), geysir terbentuk oleh adanya celah yang terisi oleh air, kemudian terdorong ke atas permukaan oleh tekanan uap air dari bawah permukaan (Suharno, 2013).

#### **2.2.4.5 Batuan Alterasi**

Batuan alterasi merupakan tanda-tanda penting dalam suatu lapangan panasbumi. Batuan alterasi terjadi karena adanya proses interaksi antara batuan asal dengan fluida panasbumi. Batuan alterasi terjadi karena beberapa faktor, antara lain suhu, tekanan, jenis batuan, komposisi fluida, pH, dan lamanya interaksi antara batuan asal dan fluida (Brownie, 1998).

### **2.3 Klasifikasi Panasbumi**

Klasifikasi panasbumi digunakan sebagai acuan berbagai peneliti berdasarkan beberapa aspek seperti asal fluida, suhu fluida pada reservoir, dan jenis sumber panas.

#### **2.3.1 Asal Fluida**

Pembagian asal fluida panasbumi ini disampaikan oleh Giggenbach (1987). Asal fluida panasbumi dibagi menjadi 2 yaitu *cyclic system* dan *storage system*.

- 1 *Cyclic System*, merupakan fluida hidrotermal dari air meteorik yang mengalami infiltrasi dan masuk jauh ke bawah permukaan, fluida hidrotermal kemudian terpanaskan, dan bergerak naik ke permukaan sebagai fluida panas. Pada sistem ini, air meteorik mengalami *recharge* dari air hujan, sehingga siklus sistem ini berjalan terus menerus.

- 2 *Storage System*, merupakan air yang tersimpan pada batuan dalam skala waktu geologi yang cukup lama, selanjutnya air tersebut terpanaskan oleh sumber panas secara insitu. *Storage system* ini dibagi berdasarkan *host* atau batuan tempat tersimpannya fluida tersebut, menjadi: (1) *Sedimentary basin system* dimana fluida diperoleh saat sedimen terendapkan. Salinitas yang dihasilkan oleh air formasi umumnya lebih tinggi dibanding salinitas pada air magmatik. (2) *Metamorphic system* dimana air berasal dari pelepasan H<sub>2</sub>O saat proses metamorfisme batuan sedimen asal laut berjalan.

### 2.3.2 Suhu Reservoir

Ada beberapa standar yang berbeda digunakan untuk menentukan klasifikasi berdasarkan suhu reservoir panasbumi. Menurut Goff & Janik (2000) dan Nicholson (1993) merujuk pada suhu reservoir dengan suhu <150° C sebagai sistem panasbumi bertemperatur rendah, sementara temperatur reservoir dengan suhu ≥150° C disebut bertemperatur tinggi. Nicholson (1993) memisahkan sistem bertemperatur tinggi menjadi *liquid dominated* dan *vapor dominated*.

Hochstein & Sudarman (2008) membagi sistem panasbumi menjadi suhu rendah, menengah, dan tinggi. Sistem bertemperatur rendah memiliki temperatur reservoir <125° C, sistem menengah memiliki temperatur reservoir antara 125-225 °C, dan sistem bertemperatur tinggi memiliki temperatur >225° C.

### 2.3.3 Jenis Sumber Panas

Nicholson (1993) mengilustrasikan bahwa umumnya sumber panasbumi dibagi menjadi dua tipe, yaitu *volcanogenic system* dan *non-volcangenic system*. Ellis & Mahon (1977) menyebutnya sistem bertemperatur tinggi berasosiasi dengan vulkanik dan sistem bertemperatur tinggi yang berasosiasi dengan tektonik aktif, bukan daerah vulkanik, sedangkan menurut Goff & Janik (2000) membagi menjadi 2 yaitu vulkanik muda dan tektonik model.

1. *Volcanogenic system* adalah sistem hidrotermal yang sumber panasnya berasal dari aktivitas magma. Intrusi magma andesitik biasanya membentuk geometri intrusi dengan diameter kecil, tetapi berada dekat

dengan permukaan secara vertikal. Sebaliknya, magma asam umumnya memiliki tubuh yang lebih besar, namun terletak jauh di bawah permukaan. Hochstein & Sudarman (2008) mengklasifikasikan sistem volcanogenik dengan relief tinggi menjadi tiga kategori berdasarkan fase fluida di reservoir yaitu pertama *liquid dominated system* yang terbentuk jika permeabilitas batuan di reservoir tinggi, sedangkan di area recharge sedang. kedua *Natural two-phase system* terjadi ketika permeabilitas di kedua area, reservoir dan recharge, berada pada tingkat sedang, ketiga *vapor dominated system* terjadi jika permeabilitas batuan reservoir tinggi, tetapi permeabilitas batuan di sekitarnya rendah. Sistem volcanogenik dengan relief rendah biasanya terbentuk akibat magma asam yang menghasilkan erupsi eksplosif dan membentuk kaldera yang luas. Selain itu, sistem ini juga dapat terbentuk melalui proses *rifting* pada batas lempeng yang menjauh satu sama lain. Dalam kondisi tektonik tersebut, magma yang dihasilkan cenderung bersifat basaltik, dan fluida hidrotermal berasal dari magma serta infiltrasi dari punggung di sisi rift. Penting untuk dicatat bahwa sistem volcanogenic tidak selalu menghasilkan suhu tinggi; contohnya, di Horohoro dan Atiamuri, Selandia Baru, terdapat sistem vulkanik dengan suhu sedang (Hochstein & Sudarman, 2008).

2. *Non-volcanogenic system* adalah sistem hidrotermal yang sumber panasnya tidak terkait dengan aktivitas vulkanisme. Nicholson (1993) menjelaskan bahwa panas dalam sistem ini dapat berasal dari peristiwa uplift batuan dasar yang masih panas, sirkulasi air tanah dalam yang mengalami pemanasan akibat perlipatan atau patahan, serta panas residual dari batuan beku pluton. Sistem ini mampu menghasilkan fluida dengan temperatur yang bervariasi, dari tinggi hingga rendah. Sistem yang terkait dengan batuan beku intrusif biasanya ditemukan di lingkungan tektonik pada batas antar lempeng. Hochstein dan Sudarman (2008) menjelaskan beberapa setting tektonik yang berhubungan dengan sistem panas bumi ini, termasuk kolisi antar lempeng dan zona patahan. Dalam setting kolisi, suhu di reservoir dapat bervariasi dari tinggi hingga rendah, dengan anomali panas yang dihasilkan dari batuan kerak yang terpengaruh oleh

aktivitas kolisi. Di sisi lain, pada sistem zona patahan, fluida berasal dari air meteorik yang bersirkulasi dan berinteraksi dengan batuan intrusi, seperti granit, yang masih panas. Fluida ini kemudian bergerak naik melalui zona patahan yang memiliki permeabilitas tinggi, memungkinkan air untuk mencapai permukaan. Goff & Janik (2000) menjelaskan tentang model tektonik yang merupakan model konseptual sistem geotermal dalam lingkungan ekstensi. Di zona ekstensi, seperti pada zona rifting, terjadi penipisan kerak akibat stretching yang membuat kerak saling menjauh. Penipisan ini membawa batuan mantel lebih dekat ke permukaan, menghasilkan gradien temperatur yang lebih besar dan anomali aliran panas di zona sesar. Sirkulasi dalam menuju graben menyediakan suplai fluida yang terpanaskan dan terakumulasi di reservoir, kemudian bergerak ke permukaan melalui zona permeabel di sesar-sesar tersebut. Nicholson (1993) juga memberikan contoh lain dari sistem panas bumi yang tidak terkait langsung dengan proses magmatisme, yang disebut sistem geopressured. Pada sistem ini, panas dihasilkan oleh tekanan dari bebatuan itu sendiri, dan umumnya memiliki suhu yang rendah. Fluida dalam sistem ini biasanya terdiri dari connate water yang terperangkap dalam batuan sedimen, menghasilkan air yang bersifat klorida dan sangat salin, yang dikenal sebagai brine water.

## **2.4 Geokimia Fluida Panasbumi**

Analisis kimia bertujuan untuk mengelompokkan dasar umum dalam perbandingan dan klasifikasi cairan panas bumi, serta mengumpulkan data kimia terkait fluida, gas, dan unsur-unsur lain yang terdapat dalam manifestasi tersebut. Data kimia panas bumi sangat penting untuk memperkirakan kondisi sistem panas bumi di bawah permukaan, sehingga karakteristik panasbumi, suhu fluida, dan kondisi reservoir dapat diketahui (Arikalang, dkk, 2000).

Data kimia fluida panas bumi memiliki banyak manfaat, termasuk memberikan estimasi tentang sistem panas bumi yang ada di bawah permukaan, serta membantu dalam memahami sifat fluida, terutama terkait korosifitas dan kecenderungan untuk membentuk endapan padat (scale). Hal ini sangat penting

untuk perencanaan sistem pemipaan dan pembangkit listrik. Untuk memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai hal ini, tulisan ini akan membahas aspek-aspek geokimia, termasuk kandungan kimia fluida, teknik pengambilan sampel, jenis air, kegunaan data kimia air, jenis sistem hidrotermal, penentuan suhu reservoir, jenis reservoir, asal usul air, serta korosivitas dan kecenderungan *scaling*.

#### 2.4.1 Geokimia Air Panasbumi

Fluida air pada daerah panas bumi memiliki sifat yang berbeda berdasarkan kandungan unsur dan konsentrasinya. Konsentrasi kimia dari fluida panas bumi dapat digunakan sebagai analisis interpretasi karakteristik geokimia panas bumi pada tahap eksplorasi maupun produksi dari suatu lapangan panas bumi. Kegunaan setiap unsur kimia air panas bumi dijelaskan oleh Nicholson (1993).

1. Klorida ( $\text{Cl}^-$ )

Konsentrasi klorida ( $\text{Cl}$ ) yang tinggi di mata air menunjukkan air yang diumpankan langsung dari reservoir yang dalam, dengan pencampuran minimal (Mixing) atau pendinginan konduktif. Tingkat klorida ( $\text{Cl}$ ) rendah pada fluida dari manifestasi adalah karakteristik pengenceran air tanah. Sebagai elemen yang paling umum dalam fluida panas bumi, klorida ( $\text{Cl}$ ) adalah zat terlarut diagnostik yang penting dan sering digunakan dalam rasio dengan elemen lain dalam interpretasi. Konsentrasi dapat berkisar dari  $<10$  hingga  $>100.000$  mg/kg.

2. Bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )

Reaksi antara karbon dioksida terlarut dan batuan induk membentuk bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ), yang konsentrasinya dipengaruhi oleh permeabilitas dan aliran lateral. Akibatnya, manifestasi yang langsung dari reservoir cenderung memiliki konsentrasi bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ) rendah. Hal ini memungkinkan rasio  $\text{HCO}_3/\text{SO}_4$  digunakan sebagai indikator arah aliran. Aliran fluida menjauh dari aliran ke atas menghasilkan peluang yang lebih besar untuk reaksi air-batuan dan oleh karena itu meningkatkan produksi bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ) Ini, dikombinasikan dengan hilangnya hidrogen sulfat

(H<sub>2</sub>S) oleh reaksi air dan batuan dengan peningkatan aliran lateral, menyebabkan peningkatan rasio HCO<sub>3</sub>/SO<sub>4</sub> menjauh dari zona upflow.

3. Sulphate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Konsentrasi sulfat pada fluida panas bumi cenderung rendah sekitar (<50 mg/kg), tetapi meningkat dengan meningkatnya oksidasi hidrogen sulfida. Konsentrasi sulfat yang tinggi di air permukaan (pada tingkat yang lebih besar dari atau kira-kira sama dengan konsentrasi Cl) biasanya merupakan hasil kondensasi uap ke dekat permukaan.

4. Boron (B)

Boron (B) adalah unsur penting dalam studi panas bumi. Pada kandungan fluida manifestasi dan sumur dari fluida bertipe klorida biasanya mengandung boron (B) 10- 50 mg/kg, tetapi konsentrasi boron yang sangat tinggi (-800- 1000 mg/kg) ditemukan pada fluida yang berasosiasi dengan batuan sedimen yang kaya organik. Fluida dari batuan andesit memiliki kadar boron yang lebih tinggi daripada batuan vulkanik lainnya. Rasio Cl/B sering digunakan untuk menunjukkan sumber reservoir.

5. Sodium (Na) dan Potassium (K)

Sodium (Na) merupakan kation utama dalam fluida reservoir panas bumi, dengan konsentrasi 200-2000 mg/kg. Potassium (K) juga merupakan kation utama, tetapi hadir dengan konsentrasi yang lebih rendah daripada natrium. Rasio Na/K yang lebih rendah (-<15) cenderung terjadi pada fluida yang telah mencapai permukaan dengan cepat, dan karena itu terkait dengan struktur upflow atau zona yang lebih permeabel. Rasio yang lebih tinggi menunjukkan aliran lateral, reaksi dekat permukaan dan pendingin yang konduktif.

6. Lithium (Li<sup>+</sup>), Rubidium (Rb<sup>+</sup>) dan Cesium (Cs<sup>+</sup>)

Ketiga unsur kimia ini masuk ke dalam mineral alterasi sekunder dan sering menunjukkan penurunan konsentrasi dengan meningkatnya migrasi ke permukaan, Tingkat konsentrasi yang umum adalah sekitar Lithium (Li) <20 mg/kg, Rubidium (Rb) <2 mg/kg, Cesium (Cs) <2 mg/kg.

Unsur-unsur ini mencapai konsentrasi terbesar (dari urutan 1-10 mg/kg) di daerah dengan batuan induk komposisi riolitik dan andesit (termasuk lingkungan

sedimen dengan kimia batuan serupa), dan secara signifikan lebih rendah ( $<0,1$  mg/kg) dalam cairan dari daerah basaltik (Nicholson, 1993).

## 2.4.2 Tipe Air Panasbumi

Tipe air panas bumi ditentukan untuk melihat kandungan utama dari fluida panasbumi. Kandungan ini dapat menjadi petunjuk mengenai sumber maupun proses yang mempengaruhi terbentuknya fluida tersebut. Tipe air panasbumi biasanya menggunakan 3 unsur utama dalam suatu fluida panasbumi, yaitu klorida (Cl), sulfat ( $\text{SO}_4$ ), bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ). Kandungan ketiga unsur ini diplot dalam sebuah diagram ternary untuk melihat tipe air dari fluida panasbumi (Giggenbach, 1991).

### 1. Air Klorida (Cl)

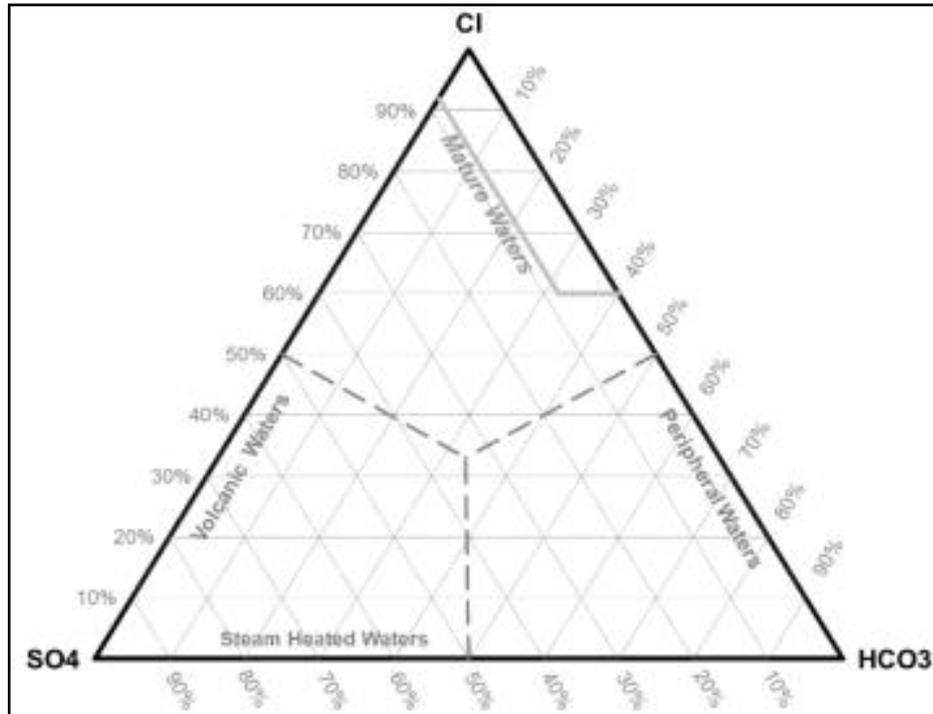
Jenis air ini merupakan tipe fluida panasbumi yang ditemukan dominan pada area dengan sistem temperatur tinggi. Jenis air ini biasanya memiliki mata air panas yang mengalir dalam skala besar dengan konsentrasi Cl tinggi yang berasal dari reservoir dalam dan merupakan indikasi dari zona permeabel tinggi pada daerah tersebut.

### 2. Air Sulfat ( $\text{SO}_4$ )

Jenis air panasbumi ini dikenal juga dengan Air Asam Sulfat (Acid-Sulphate Water) merupakan tipe fluida panasbumi yang terbentuk akibat kondensasi gas panasbumi yang memanaskan air yang berada di permukaan. Air sulfat biasanya ditemukan pada daerah yang tidak berjarak jauh dari zona upflow utama.

### 3. Air Bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ )

Air tipe ini banyak mengandung karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Jenis tipe fluida ini disebut juga dengan netral bicarbonate-sulphate waters, merupakan produk dari proses kondensasi gas dan uap menjadi mata air bawah tanah yang miskin oksigen. Air bikarbonat banyak ditemukan pada area non-volcanogenic dengan temperatur yang tinggi, dengan pH yang mendekati netral sebagai akibat reaksi dengan batuan lokal. Selama reaksi tersebut, proton banyak yang hilang dan menghasilkan air dengan pH mendekati netral dengan bikarbonat dan sodium sebagai parameter utama.



Gambar 3 Diagram ternary Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> (Giggenbach,1991)

## 2.5 Geokimia Gas Panasbumi

Gas merupakan salah satu parameter yang dapat diamati Ketika menganalisis suatu lapangan panas bumi. Konsentrasi dari unsur-unsur yang terdapat dalam gas dapat berbeda-beda pada setiap lokasi panas bumi tergantung dari proses yang terjadi pada lapangan tersebut. Kandungan pada tiap-tiap unsur gas dapat berguna untuk menginterpretasi karakteristik gas pada suatu lapangan panas bumi. Karakteristik dari tiap unsur pada gas tela dijelaskan oleh Nicholson (1993) sebagai berikut.

### 1. Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) adalah gas yang paling melimpah dalam sistem panas bumi, sering mewakili lebih dari 85% baik volume maupun berat dari total kandungan gas suatu pelepasan (Mahon, et al., 1980 dalam Nicholson, 1993). Gas dapat dihasilkan oleh 34 perubahan alterasi batuan dan mineral karbonat, dari degradasi bahan organik di dalam batuan sedimen di kedalaman atau reaksi dekat permukaan, dan dari zat terlarut dalam air meteorik (terutama konversi HCO<sub>3</sub>(aq) menjadi CO<sub>2</sub>(aq) saat mendidih) atau bisa juga, sebagian, berasal dari magmatik.

2. Hidrogen Sulfida ( $H_2S$ )

Hidrogen Sulfida ( $H_2S$ ) dapat dihasilkan oleh perubahan batuan reservoir atau dari sumber magmatik. Proses gas yang hilang melalui reaksi dari waktu ke waktu, meningkatkan rasio  $CO_2/H_2S$  dengan peningkatan migrasi. Hidrogen sulfida adalah 2-3 kali lebih larut daripada karbon dioksida (Nicholson, 1993).

3. Hidrogen ( $H_2$ )

Hidrogen ( $H_2$ ) adalah gas yang sangat reaktif, hidrogen mudah dihilangkan pada reaksi dengan batuan. Hal ini biasanya hilang dari waktu ke waktu dan dengan peningkatan migrasi (Arnorsson dan Gunnlaugsson, 1985 dalam Nicholson, 1993), dan ini memungkinkan kandungan hidrogen dan  $H^2/CO^2$  dari pelepasan digunakan untuk mengenali arah aliran dan zona aliran ke atas.

4. Nitrogen ( $N_2$ )

Sebagian besar nitrogen ( $N_2$ ) dalam sistem panas bumi berasal dari yang terlarut dalam air meteorik, meskipun dapat juga berasal dari magmatik. Namun, sumber asli nitrogen ( $N_2$ ) dalam pelepasan magmatik tidak pasti.

5. Argon (Ar)

Argon (Ar) merupakan unsur gas mulia yang banyak terdapat di gas atmosfer yang dapat terkandung dalam gas panasbumi melalui influx air hujan. Argon (Ar) dapat menjadi salah satu penentu *air contamination* tinggi/rendah yang dapat menjadi evaluasi pada saat pengambilan sampel.

6. Amonia ( $NH_3$ )

Amonia ( $NH_3$ ) merupakan unsur gas yang paling mudah terlarut dibandingkan unsur lain seperti karbon dioksida ( $CO_2$ ) dan hidrogen sulfat ( $H_2S$ ). Konsentrasi amonia ( $NH_3$ ) yang tinggi menjadi indikasi bahwa hasil dari alterasi material organik pada batuan sedimen. amonia ( $NH_3$ ) selama migrasi akan menurun konsentrasinya disebabkan bereaksi dengan batuan sekitar. Meskipun amonia ( $NH_3$ ) relatif mudah larut, gas ini akan berubah menjadi fase uap apabila temperatur menurun. Maka ketika fluida panasbumi mengalami pendinginan/menurun nya temperatur, maka kandungan amonia ( $NH_3$ ) akan menjadi semakin tinggi.

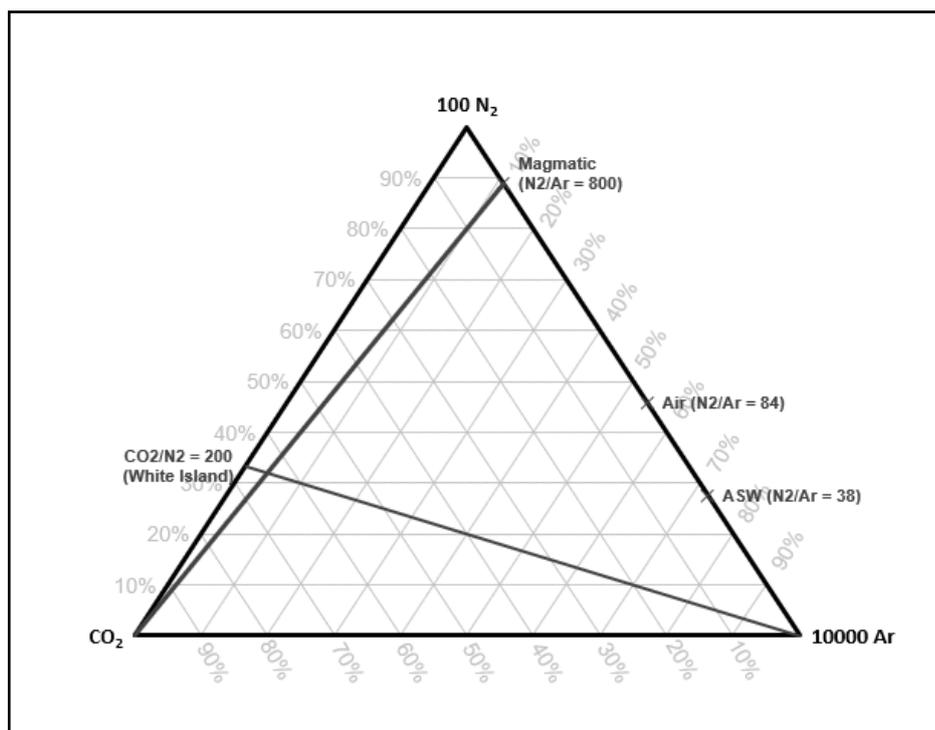
## 7. Metana (CH<sub>4</sub>)

Metana (CH<sub>4</sub>) merupakan unsur gas yang paling umum ditemukan. Konsentrasi dari metana (CH<sub>4</sub>) yang tinggi dapat berasal dari alterasi batuan sedimen di bawah permukaan, khususnya yang kaya akan organik, dan metana (CH<sub>4</sub>) sebagai unsur utama pada gas *discharge* dari sistem yang memiliki batuan induk sedimen bertemperatur rendah.

### 2.5.1 Sumber Gas

Menurut Giggenbach (1987) Diagram ternary CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-Ar dapat digunakan untuk penentuan gas panasbumi. Giggenbach (1987). Bahwa memperkenalkan diagram sumber gas yang diterapkan untuk menganalisis fumarol pada daerah *White Island*, Selandia Baru. Dengan menggunakan unsur karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang dimana gas (CO<sub>2</sub>) adalah gas yang melimpah dan dominan dalam suatu sistem panasbumi, dan gas yang berasal dari unsur magmatik.

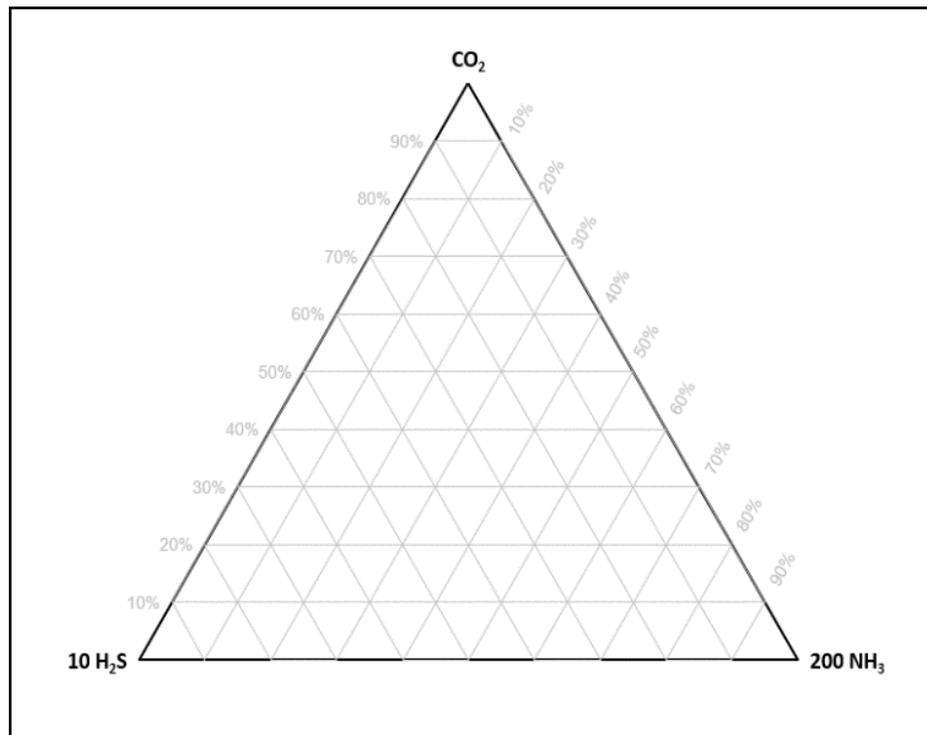
Diagram CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-Ar juga dapat digunakan untuk mengetahui indikasi kontaminasi udara (*air contamination*) terhadap gas panasbumi menggunakan rasio N<sub>2</sub>/Ar yang disebabkan kesalahan pada saat pengambilan sampel gas. Dalam penentuan asal gas, dapat ditentukan menggunakan parameter rasio perbandingan N<sub>2</sub>/Ar (Nicholson, 1993). Gas yang berasal dari air meteorik (ASW: *air saturated water*) akan memiliki rasio N<sub>2</sub>/Ar sekitar 38, gas yang terkontaminasi dengan udara (*air contamination*) memiliki rasio N<sub>2</sub>/Ar sekitar 84. Garis *White Island* memiliki rasio sekitar CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> sekitar 200 yang menandakan bahwa apabila hasil plot terdapat disekitar garis *white island* (CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>:200) gas pada sistem panasbumi tersebut memiliki kesamaan karakteristik pada daerah *White Island*, Selandia Baru. *White Island* sendiri memiliki sumber gas yang berasal dari magmatik yang kaya akan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Garis magmatik dengan rasio N<sub>2</sub>/Ar sekitar 800 menandakan bahwa gas pada lapangan tersebut terdapat pengaruh magmatik.



Gambar 4 Diagram ternary  $N_2$ - $CO_2$ -Ar (Giggenbach, 1991)

### 2.5.2 Penentuan Zona Upflow/Outflow

Penentuan zona upflow/outflow dapat diinterpretasikan menggunakan diagram ternary yang menggunakan unsur gas  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2S$ . Diagram ini digunakan untuk menentukan zona upflow/outflow suatu manifestasi/sumur. karbon dioksida ( $CO_2$ ) merupakan unsur yang berasal dari batuan karbonat atau gas magmatik, karbon dioksida ( $CO_2$ ) merupakan unsur yang sangat berlimpah pada sistem panasbumi. Unsur hydrogen sulfat ( $H_2S$ ) digunakan terbentuk dari hasil alterasi batuan reservoir dan merupakan unsur yang mudah larut, unsur hydrogen sulfat ( $H_2S$ ) pula dapat digunakan dalam interpretasi migrasi gas menggunakan rasio  $CO_2/H_2S$ . Unsur Metana ( $CH_4$ ) adalah gas hidrokarbon yang paling banyak ditemui dalam panasbumi. Konsentrasi metana ( $CH_4$ ) yang tinggi mengindikasikan alterasi batuan sedimen atau menunjukkan bahwa gas berasal dari air dengan pH yang netral (Nicholson, 1993)



Gambar 5 Diagram ternary CO<sub>2</sub> - CH<sub>4</sub> - H<sub>2</sub>S (Giggenbach,1991)

## 2.6 Geotermometer Gas

Geotermometer gas digunakan dalam penentuan perkiraan temperatur reservoir. Dikarenakan sampel gas sangat mudah tercampur terhadap gas yang lainnya, maka saat pengambilan sampel haruslah dilakukan dengan hati-hati sehingga perhitungan geotermometer menjadi akurat.

Terdapat sembilan perhitungan geotermometer gas yang dapat dilakukan dalam menentukan temperatur reservoir yang ada pada daerah penelitian. Geotermometer yang digunakan antara lain, geotermometer H<sub>2</sub>/Ar, geotermometer CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, geotermometer H<sub>2</sub>S/Ar, geotermometer CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>, geotermometer H<sub>2</sub>S/H<sub>2</sub>, cross-plot CAR-HAR dan diagram FT-HSH.

### 2.6.1 Geotermometer H<sub>2</sub>/Ar

Pada geotermometer ini menggunakan perhitungan dengan konsentrasi rasio gas hidrogen (H<sub>2</sub>) dan argon (Ar). Persamaan pada geotermometer ini adalah

$$T^{\circ}\text{C} = 70 (2.5 + \log \text{H}_2/\text{Ar}) \text{ (Giggenbach, 1991)}$$

### 2.6.2 Geotermometer CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>

Perhitungan geotermometer ini menggunakan konsentrasi antara karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan nitrogen (N<sub>2</sub>). Persamaan pada geotermometer ini adalah :

$$T^{\circ}\text{C} = 341.7 - 28.571(\log CO_2/N_2) \text{ (Arnorsson, dkk, 2007).}$$

### 2.6.3 Geotermometer H<sub>2</sub>S/Ar

Perhitungan geotermometer ini menggunakan konsentrasi antara hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) dan argon (Ar). Persamaan pada geotermometer ini adalah:

$$T^{\circ}\text{C} = 4.108 + (\log H_2S/Ar)^2 + 42.256 + (\log H_2S/Ar) + 137.6 \\ \text{(Arnorsson, dkk, 2007)}$$

### 2.6.4 Geotermometer CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>

Perhitungan geotermometer ini menggunakan konsentrasi antara metana (CH<sub>4</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Persamaan pada geotermometer ini adalah :

$$T^{\circ}\text{C} = 4625/10.4 + \log (CH_4/CO_2) - 273 \text{ (Giggenbach, 1991)}$$

### 2.6.5 Geotermometer H<sub>2</sub>S/H<sub>2</sub>

Perhitungan geotermometer ini menggunakan konsentrasi antara hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) dan hidrogen (H<sub>2</sub>). Persamaan pada geotermometer ini adalah:

$$T^{\circ}\text{C} = 304.1 - 39.481 (\log H_2S/H_2) \text{ (Arnorsson, dkk, 2007)}$$

### 2.6.6 Geotermometer CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>

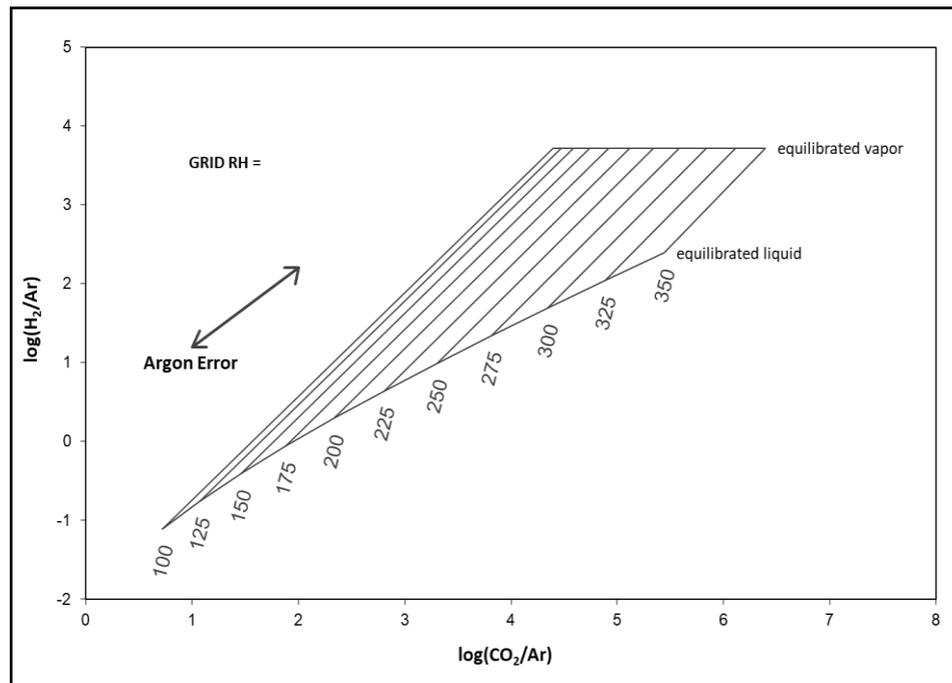
Perhitungan geotermometer ini menggunakan konsentrasi antara karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan hidrogen (H<sub>2</sub>). Persamaan pada geotermometer ini adalah :

$$T^{\circ}\text{C} = 341.7 - 28.571 (\log CO_2/H_2) \text{ (Arnorsson, dkk, 2007)}$$

### 2.6.7 Cross - Plot CAR-HAR

Powell dan Cumming (2010) mengembangkan geothermometer  $\text{CO}_2/\text{Ar}$  dan  $\text{H}_2/\text{Ar}$  atau yang lebih dikenal sebagai geothermometer CAR-HAR dengan menggunakan grafik perbandingan  $\text{CO}_2/\text{Ar}$  dengan  $\text{H}_2/\text{Ar}$ . Grafik ini melibatkan rasio gas dengan tingkat kelarutan yang rendah. Geothermometer ini menentukan interpretasi untuk menentukan fraksi uap dimana gas setimbang. Grafik ini menjajarkan geothermometer  $\text{CO}_2$  dengan geothermometer  $\text{H}_2$  menggunakan argon sebagai konsentrasi yang mewakili rasio gas-uap. Dikarenakan ketiga gas memiliki tingkat kelarutan yang rendah, grid dari ketiga gas tidak terganggu secara signifikan dari perbedaan kelarutan gas antara uap dan air dan diharapkan dapat berguna bagi air panas dan fumarol. Karena ketergantungan pada konsentrasi argon, grafik ini sangat rentan terhadap kontaminasi udara

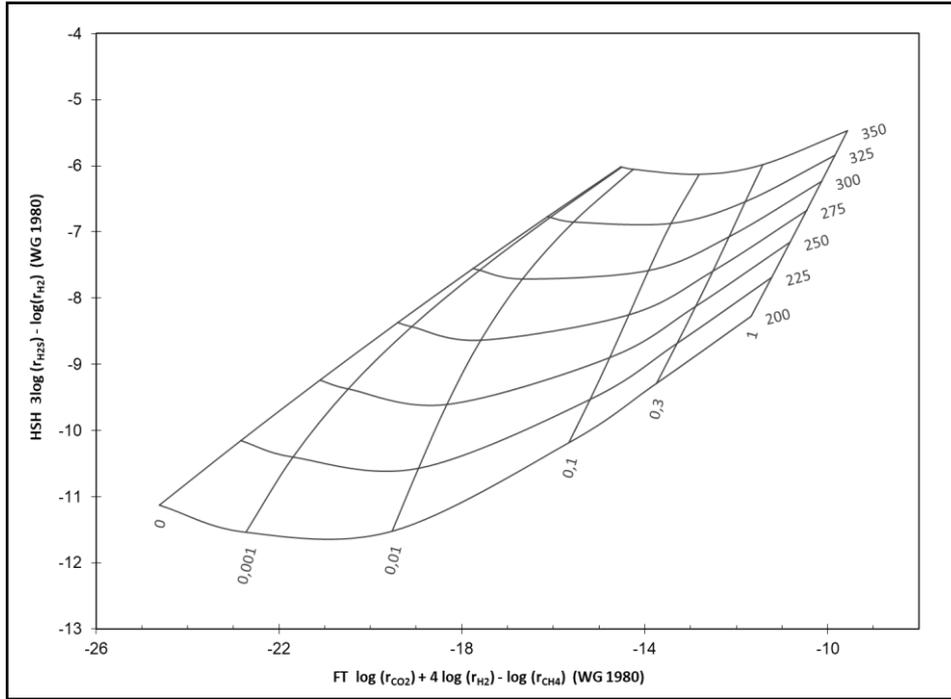
Asumsi keadaan redoks tunggal tetap (atau RH) untuk semua sistem hidrotermal memungkinkan reaksi disosiasi air yang bergantung pada suhu digunakan sebagai geothermometer hidrogen. Dikombinasikan dengan argon sebagai ukuran  $\text{PH}_2\text{O}$ , geothermometer hidrogen dan karbon dioksida telah digabungkan untuk menghasilkan rasio gas yang diilustrasikan pada Gambar 6 berdasarkan Powell dan Cumming (2000). Diagram rasio  $\text{CO}_2/\text{Ar}-\text{H}_2/\text{Ar}$  umumnya ditemukan memberikan hasil yang baik, dan kemampuan untuk menerapkannya pada berbagai sumber sampel membuatnya cukup serbaguna.



Gambar 6 Diagram CAR-HAR (Giggenbach, 1991)

### 2.6.9 Diagram FT-HSH

Dalam penentuan temperatur reservoir panasbumi dapat menggunakan diagram grid FT (Fisher-Tropsch) dan HSH (Pyrite-Magmatite), D'Amore dan Celati (1983) awalnya mengembangkan diagram grid FT-HSH yang kemudian D'Amore dan Truessdell (1985) diagram grid FT-HSH dikembangkan. Diagram ini digunakan dengan mengasumsikan bahwa komposisi gas di sumur produksi (*discharge*) merupakan representasi fluida pada reservoir. memerlukan fraksi mol  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$  untuk menggunakan diagram grid FT-HSH dimana fraksi mol tersebut diperoleh dari analisis *condensable* gas dan *noncondensable* gas yang kemudian dimasukkan kedalam formula FT-HSH dan diplotkan dalam diagram grid pada gambar 7.



Gambar 7 Diagram grid FT-HSH (Giggenbach, 1991)