

**SKRIPSI**

**ANALISIS GEOKIMIA AIR PANAS BUMI  
DAERAH X PT. GEO DIPA ENERGI (PERSERO)**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**FRANCIS EKATRI ESSENCYANO SUARDI  
D061 18 1345**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**SKRIPSI**

**ANALISIS GEOKIMIA AIR PANAS BUMI  
DAERAH X PT. GEO DIPA ENERGI (PERSERO)**

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana strata satu (S1) pada  
Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*

**FRANCIS EKATRI ESSENCYANO SUARDI  
D061 18 1345**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### ANALISIS GEOKIMIA AIR PANAS BUMI DAERAH X PT. GEO DIPA ENERGI (PERSERO)

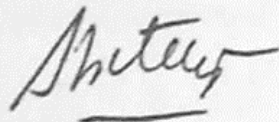
Disusun dan diajukan oleh

**FRANCIS EKATRI ESSENCYANO SUARDI**  
**D061 18 1345**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 29 Maret 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



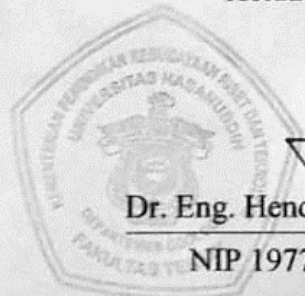
Dr. Adi Tonggiroh, S.T, M.T  
NIP 196509282000031002

Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Safri Burhanuddin, DEA.  
NIP 196107241988101001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng  
NIP 197712142005011002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Francis Ekatri Essencyano Suardi  
NIM : D061181345  
Program Studi : Teknik Geologi  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Geokimia Air Panas Bumi  
Daerah X PT. Geo Dipa Energi (Persero)

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi 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 di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 14 April 2023

Yang Menyatakan



Francis Ekatri Essencyano Suardi

## ABSTRAK

Penelitian potensi panas bumi mencakup penelitian dari aspek geologi, geokimia, dan geofisika. Kajian geokimia dalam penelitian panas bumi di daerah penelitian bertujuan untuk mengetahui tipe air panas bumi, karakteristik reservoir, dan perkiraan besar sumber daya panas bumi di daerah penelitian. Metode penelitian yang digunakan adalah observasi, studi pustaka, dan analisis kandungan ion serta isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dari air panas bumi. Berdasarkan analisis tipe fluida pada diagram Cl-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>, air panas bumi daerah penelitian terbagi ke dalam 4 tipe, yaitu tipe klorida, tipe sulfat, tipe sulfat-klorida, dan tipe bikarbonat. APWS-1, APWS-2, APWS-4, APSN, AHN, dan AHG tergolong ke dalam tipe Klorida. APWS-3 dan Air Danau (ADS-1-3, OUTLET, dan A1-5) tergolong ke dalam tipe Sulfat-Klorida. ADBO, INLET, dan ADCR tergolong ke dalam tipe bikarbonat. ADPI dan ADSA tergolong ke dalam tipe Sulfat. Adapun hasil analisis isotop menunjukkan fluida sistem panas bumi di daerah penelitian mendapat pengaruh dari air meteorik, air formasi, dan air laut. Hasil analisis karakteristik reservoir daerah penelitian menunjukkan bahwa lapisan reservoir panas bumi terletak pada kedalaman 1-1,3 km di bawah permukaan dan berasosiasi dengan batuan sedimen karbonatan. Hasil analisis karakteristik reservoir juga menunjukkan perkiraan suhu reservoir sebesar 218,5°C sehingga lapisan reservoir di daerah penelitian tergolong ke dalam reservoir bertemperatur sedang. Berdasarkan perhitungan dengan metode volumetrik, sumber daya panas bumi di daerah penelitian dihipotesiskan sebesar 48 MWe.

**Kata kunci:** Geokimia, Air, Reservoir, Temperatur, Sumber Daya

## **ABSTRACT**

*The research of geothermal potential includes the geological research, geochemical research, and the geophysics research. The geochemical research in the research area is purposed to determine the types of geothermal fluid (water), the characteristic of reservoir, and the approximate size of the geothermal resources in the research area. The research methods used are observation, literature study, and analysis of ion content and  $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$  isotopes from geothermal fluid (water). Based on the analysis of fluid types in the  $\text{Cl-HCO}_3\text{-SO}_4$  diagram, the geothermal water is divided into 4 types, namely chloride type, sulfate type, sulfate-chloride type, and bicarbonate type. APWS-1, APWS-2, APWS-4, APSN, AHN, and AHG belong to the Chloride type. APWS-3 and Lake Water (ADS-1-3, OUTLET, and A1-5) belong to the Sulphate-Chloride type. ADBO, INLET, and ADCR belong to the bicarbonate type. ADPI and ADSA belong to the Sulphate type. The result of isotope analysis indicates that the geothermal fluid in the research area is from meteoric water, connate water, and sea water. The characteristics of reservoir interpreted are that the reservoir is at a depth of 1-1.3 km below the surface and is associated with carbonate sedimentary rocks with an estimated reservoir temperature of  $218.5^\circ\text{C}$ , so it is classified as a medium temperature reservoir. Based on calculations using the volumetric method, the geothermal resources in the research area are hypothesized to be 48 MWe.*

**Keywords:** *Geochemistry, Water, Reservoir, Temperature, Resources*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah Yang Maha Kuasa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi dengan judul “**Analisis Geokimia Air Panas Bumi Daerah X PT Geo Dipa Energi (Persero)**” ini dapat penulis selesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan kepada penulis baik berupa bantuan moril maupun materiil selama pengerjaan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Kedua Orang Tua penulis yang senantiasa memberikan penulis segala bentuk dukungan baik berupa dukungan moril maupun materiil;
2. Bapak **Dr. Adi Tonggiroh, S. T, M. T** sebagai dosen pembimbing utama yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada penulis selama proses pengerjaan skripsi ini;
3. Bapak **Dr. Ir. Safri Burhanuddin, DEA.** sebagai dosen pembimbing pendamping yang telah memberikan motivasi dan pelajaran selama penulisan skripsi ini;
4. Bapak **Prof. Dr. –Eng. Asri Jaya HS, S.T., M.T.** dan bapak **Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T.** sebagai dosen penguji yang telah memberikan ilmu dan saran kepada penulis dalam proses penyusunan skripsi ini;
5. Bapak **Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng** sebagai ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin;
6. Bapak **Ridwan Permana Sidik** dan Mbak **Yuniar Zhafira Abdillah** selaku pembimbing tugas kuliah kerja praktik geologi di PT. Geo Dipa Energi (Persero) yang telah membimbing dan memberikan ilmu serta pengalamannya kepada penulis;
7. Bapak dan Ibu dosen serta staf Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah membantu dan mengajarkan ilmu geologi kepada penulis;

8. Saudara-saudari Teknik Geologi Angkatan 2018 (Xenolith) yang telah membantu dan kebersamai penulis;
9. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas segala bantuan yang telah diberikan selama ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis terbuka terhadap segala saran dan kritik yang membangun untuk penyempurnaan skripsi ini. Penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkannya.

Gowa, April 2023

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Maksud dan Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Peneliti Terdahulu .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 Tektonik Regional Daerah Penelitian .....	4
2.2 Stratigrafi Regional Daerah Penelitian .....	7
2.3 Struktur Geologi Regional Daerah Penelitian .....	10
2.4 Geologi Daerah Penelitian .....	11
2.4.1 Geomorfologi Daerah Penelitian .....	11
2.4.2 Stratigrafi Daerah Penelitian .....	15
2.4.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian .....	20
2.5 Gejala Panas Bumi Daerah Penelitian .....	22
2.6 Sistem Panas Bumi .....	25
2.7 Analisis Geokimia Air Panas Bumi .....	27
2.7.1 Analisis Diagram Piper .....	32
2.7.2 Analisis Diagram Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> .....	33
2.7.3 Diagram Cl-Li-B .....	33
2.7.4 Analisis Diagram Na-K-Mg .....	34
2.7.5 Analisis Isotop D dan <sup>18</sup> O .....	35
2.8 Perhitungan Potensi Panas Bumi dan Data Ketenagalistrikan .....	36
2.8.1 Metode Perbandingan .....	37
2.8.2 Metode Volumetrik .....	38
<b>BAB III METODE DAN TAHAPAN PENELITIAN</b> .....	40
4.1 Metode Penelitian .....	40
4.2 Tahapan Penelitian .....	40
4.2.1 Tahap Persiapan Penelitian .....	40

4.2.2 Tahap Penelitian Lapangan .....	41
4.2.3 Tahap Analisis Data .....	43
4.2.4 Tahap Penyusunan Laporan .....	44

<b>BAB IV ANALISIS GEOKIMIA AIR PANAS BUMI .....</b>	<b>46</b>
4.1 Analisis Geokimia Air Panas Bumi .....	46
4.1.1 Keseimbangan Ion.....	46
4.1.2 Tipe Fluida Air Panas Bumi.....	46
4.1.2.1 Analisis Diagram Piper .....	46
4.1.2.2 Diagram Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> .....	47
4.1.3 Karakteristik Reservoir .....	49
4.1.3.1 Asal-usul Manifestasi Panas Bumi.....	49
4.1.3.2 Temperatur dan Kedalaman Reservoir.....	51
4.1.4 Analisis Isotop <sup>18</sup> O dan <sup>2</sup> H .....	53
4.2 Potensi Panas Bumi Daerah Penelitian .....	55

<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>60</b>
5.1 Kesimpulan .....	60
5.2 Saran.....	60

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>62</b>
-----------------------------	-----------

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Peta yang menunjukkan letak Pulau Flores dimana daerah penelitian ditandai dengan kotak berwarna merah (Wensink dan van Bergen, 1995 dalam Hartono, dkk., 2014).....	4
<b>Gambar 2.2</b> Peta Tektonik Busur Banda dimana daerah penelitian ditandai dengan kotak berwarna merah (Hamson, 2004 dalam Ngadmanto, 2009).....	5
<b>Gambar 2.3</b> Penampang A-B ( <b>lihat Gambar 2.2</b> ) yang memotong Timor-Flores (Katili, 1975 dalam Hartono, dkk, 2014) dimana daerah penelitian terletak di <i>vulcanic arc</i> yang ditandai dengan kotak berwarna merah.....	6
<b>Gambar 2.4</b> Peta Geologi Regional modifikasi peta geologi Lembar Komodo oleh Ratman dan Yasin (1978) dan Lembar Ruteng oleh Koesoemadinata (1994).....	7
<b>Gambar 2.5</b> Korelasi satuan peta geologi regional modifikasi Lembar Komodo oleh Ratman dan Yasin (1978) dan Lembar Ruteng oleh Koesoemadinata (1994).....	10
<b>Gambar 2.7</b> Peta geomorfologi daerah penelitian modifikasi Peta Geomorfologi Daerah Panas Bumi PSDMBP (2015).....	14
<b>Gambar 2.8</b> Kolom Stratigrafi daerah penelitian modifikasi Kolom Stratigrafi Daerah Panas Bumi PSDMBP (2015).....	18
<b>Gambar 2.9</b> Peta Geologi daerah panas bumi modifikasi Peta Geologi Panas Bumi PSDMBP (2015).....	19
<b>Gambar 2.10</b> Gambaran zona subduksi yang menunjukkan letak suatu area panas bumi.....	25
<b>Gambar 2.11</b> Pengambilan sampel seep (Watson, 1978).....	29
<b>Gambar 2.12</b> Pengambilan sampel fumarol (Nicholson, 19993) dimana 1) <i>Steam outlet</i> ; 2) Corong; 3) Saluran silikon diameter ¼; 4) Ember berisi air dingin; 5) Labu/botol sampel.....	30
<b>Gambar 2.13</b> Pengambilan sampel gas pada <i>deep hot spring</i> (Watson, 1978).....	31
<b>Gambar 2.14</b> Pengambilan sampel gas pada <i>shallow hot spring</i> (Watson, 1978).....	32
<b>Gambar 2.15</b> Diagram Piper.....	32
<b>Gambar 2.16</b> Diagram Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> .....	33
<b>Gambar 2.17</b> Diagram CL-Li-B.....	34
<b>Gambar 2.18</b> Diagram Na-K-Mg.....	35
<b>Gambar 2.19</b> Diagram Isotop D dan <sup>18</sup> O.....	36
<b>Gambar 3.1</b> Kegiatan pengamatan kondisi geologi pada tahap penelitian lapangan ....	42
<b>Gambar 3.2</b> Kegiatan pengamatan kondisi manifestasi pada tahap penelitian lapangan.....	43
<b>Gambar 3.3</b> Pengolahan data geokimia air panas bumi daerah penelitian.....	44

<b>Gambar 3.4</b>	Analisis data geokimia air panas bumi daerah penelitian.....	44
<b>Gambar 3.5</b>	Bagan alir tahapan penelitian.....	45
<b>Gambar 4.1</b>	Plot kandungan air panas bumi daerah penelitian pada diagram Piper .....	47
<b>Gambar 4.2</b>	Plot kandungan air panas bumi daerah penelitian pada diagram Cl- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> .....	49
<b>Gambar 4.3</b>	Diagram Cl-Li-B air panas bumi daerah penelitian.....	50
<b>Gambar 4.4</b>	Diagram Na-K-Mg air panas bumi daerah penelitian.....	51
<b>Gambar 4.5</b>	Diagram isotop <sup>18</sup> O dan <sup>2</sup> H air panas bumi daerah penelitian .....	53
<b>Gambar 4.6</b>	Model konseptual sistem panas bumi daerah penelitian (Widiatmoko, dkk., 2020) .....	55

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Manifestasi mata air panas bumi pada daerah penelitian (PSDMBP, 2015).....	24
<b>Tabel 2.2</b> Klasifikasi sistem panas bumi berdasarkan entalpi .....	27
<b>Tabel 4.1</b> Hasil perhitungan temperatur reservoir sampel air panas bumi daerah penelitian .....	52
<b>Tabel 4.2</b> Hasil perhitungan kedalaman reservoir panas bumi daerah penelitian .....	53
<b>Tabel 4.3</b> Parameter Perhitungan Metode Volumetrik (BSN, 2018) .....	57

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia memiliki 40% sumber daya panas bumi dunia. Potensi panas bumi Indonesia adalah sebesar 23,9 gigawatt (GW) atau sekitar 29 GWe. Berdasarkan data IEA, pemanfaatan energi panas bumi secara nasional saat ini mencapai 8% atau sekitar 2.130,7 MW. Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) menargetkan kapasitas terpasang Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) mencapai 7.000 megawatt (MW) pada 2025. Pemerintah pun menargetkan pengembangan panas bumi hingga 2030 mencapai 8.007,7 MW. Hal tersebut berarti bahwa dengan kapasitas terpasang saat ini sebesar 2.130,7 MW, masih diperlukan sekitar 177 proyek pengembangan panas bumi dengan kapasitas total sekitar 5.877 MW hingga tahun 2030.

Arah kebijakan nasional dalam pengembangan pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) berdasarkan Rencana Strategis Ditjen EBTKE 2020-2024 adalah mengembangkan daerah Flores menjadi *Flores Geothermal Island*. Daerah penelitian adalah salah satu daerah di pulau Flores yang memiliki sumber daya panas bumi yang belum dikembangkan. Gejala potensi panas bumi yang ditemukan di daerah ini antara lain berupa manifestasi mata air panas, mata air hangat, air dingin netral, air dingin asam, dan fumarol. Sistem panas bumi daerah penelitian berasosiasi dengan aktivitas gunungapi tipe c. Sumber daya panas bumi ini mesti dikembangkan mengingat pemanfaatan energi panas bumi memiliki banyak keuntungan seperti tersedianya energi pada tingkat yang konstan dan tidak tergantung pada cuaca atau pertimbangan musim, rendahnya emisi udara hingga dapat diabaikan, dan sedikitnya jejak permukaan yang ditimbulkan bila dibandingkan dengan pemanfaatan energi yang lain. Oleh karena itu, skripsi ini dimaksudkan untuk mengkaji sumber daya panas bumi di daerah penelitian dalam lingkup analisis geokimia.

Analisis geokimia yang dimaksud adalah analisis untuk penentuan tipe air panas bumi, karakteristik reservoir, dan perhitungan sumber daya hipotesis panas bumi di daerah penelitian.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana menentukan tipe air panas bumi pada daerah penelitian?
2. Bagaimana menentukan karakteristik reservoir panas bumi pada daerah penelitian?
3. Bagaimana menentukan perkiraan sumber daya panas bumi pada daerah penelitian?

### **1.3 Maksud dan Tujuan**

Berdasarkan penjelasan rumusan masalah penelitian, maka maksud dari penelitian ini adalah untuk melengkapi analisis geokimia air panas bumi di daerah penelitian. Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui tipe mata air panas bumi daerah penelitian;
2. Mengetahui karakteristik reservoir panas bumi pada daerah penelitian;
3. Mengetahui perkiraan sumber daya panas bumi pada daerah penelitian.

### **1.4 Batasan Masalah**

Pada penelitian ini, penulis membatasi kajian masalah di daerah penelitian pada analisis geokimia air panas bumi. Analisis yang dimaksud terdiri atas identifikasi tipe air panas bumi, karakteristik reservoir panas bumi yang meliputi litologi, temperatur, dan kedalaman, serta perkiraan sumber daya panas bumi di daerah penelitian.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Secara umum, penelitian ini dapat menjadi salah satu referensi yang berkaitan dengan analisis geokimia air panas bumi. Secara khusus, penelitian ini memberikan kesempatan bagi penulis untuk mengaplikasikan ilmu geologi panas bumi dan geokimia sehingga penulis memperoleh wawasan yang lebih baik terkait ilmu tersebut.

### **1.6 Peneliti Terdahulu**

Beberapa ahli dan tim ahli geologi yang telah mengadakan penelitian di daerah ini di antaranya adalah sebagai berikut.

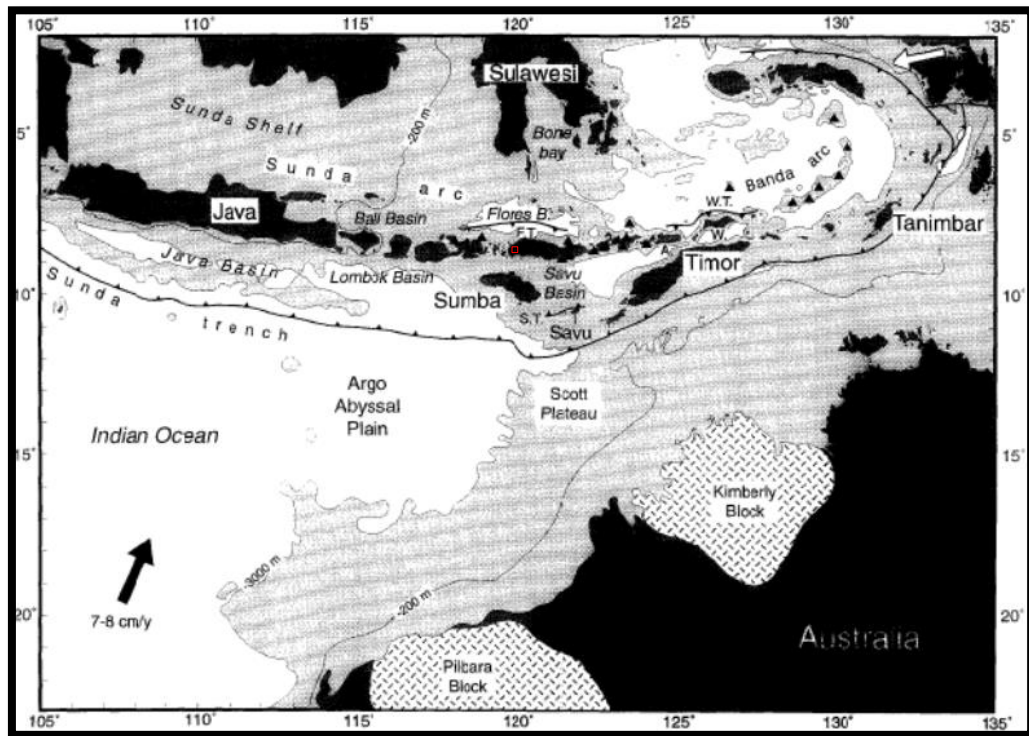
1. Fajar Rizki Widiatmoko, dkk (2020) yang melakukan penelitian dengan judul “*The Conceptual Model of Wae Sano Geothermal Field Based On Geology and Geochemistry Data*”.
2. Kelompok Penyelidikan Panas Bumi, Pusat Sumber Daya Geologi (2015) yang melakukan penyelidikan panas bumi dengan judul “Survei Geologi dan Geokimia Panas Bumi Daerah Wae Sano, Kabupaten Manggarai Barat, Provinsi Nusa Tenggara Timur”.
3. Sitorus, dkk. (1996) melakukan penyelidikan gunungapi dan panas bumi dengan judul “Geologi Panas Bumi Daerah Werang, Manggarai Flores-Nusa Tenggara Timur”;
4. Koesoemadinata, dkk. (1994) dalam peta geologi regional Lembar Ruteng dengan skala 1:250,000;
5. Tim Prospeksi Panas Bumi (1990) yang melakukan penyelidikan dengan judul “Geologi Panas Bumi Daerah Werang DT. II Manggarai Flores, Nusa Tenggara Timur”;
6. Ratman dan Yasin (1978) dalam peta geologi regional Lembar Komodo dengan skala 1:250,000.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tektonik Regional Daerah Penelitian

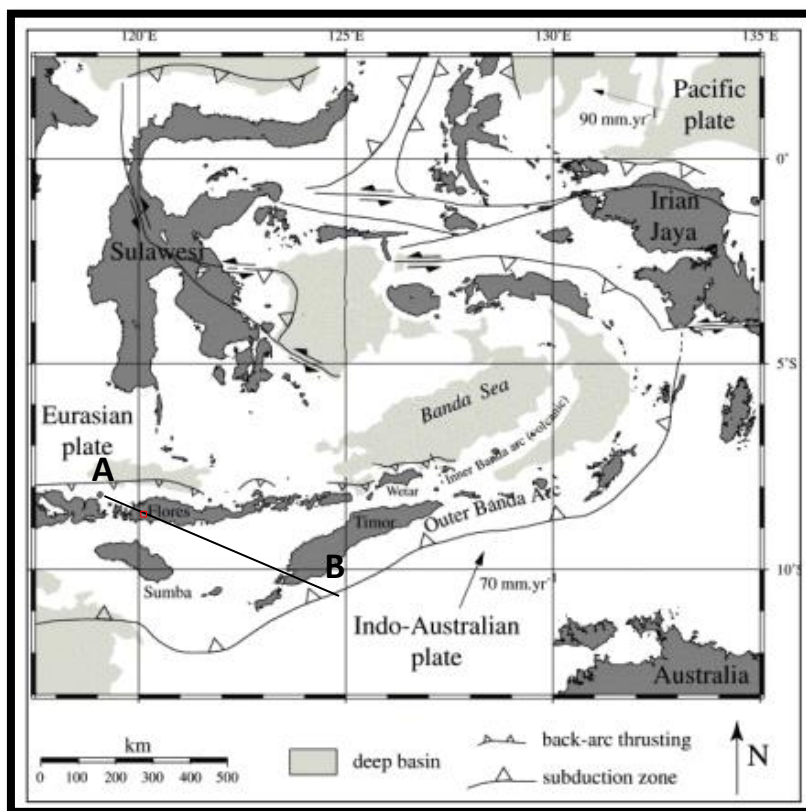
Daerah penelitian terletak di Pulau Flores. Pulau Flores berada di busur Banda yang memanjang dari Bali ke arah timur dan melengkung ke arah utara. Di bagian barat Pulau Flores terdapat busur Sunda, di bagian utara terdapat cekungan Flores, dan di bagian selatan terdapat cekungan Savu (lihat Gambar 2.1).



**Gambar 2.1** Peta yang menunjukkan letak Pulau Flores dimana daerah penelitian ditandai dengan kotak berwarna merah (Wensink dan van Bergen, 1995 dalam Hartono, dkk., 2014)

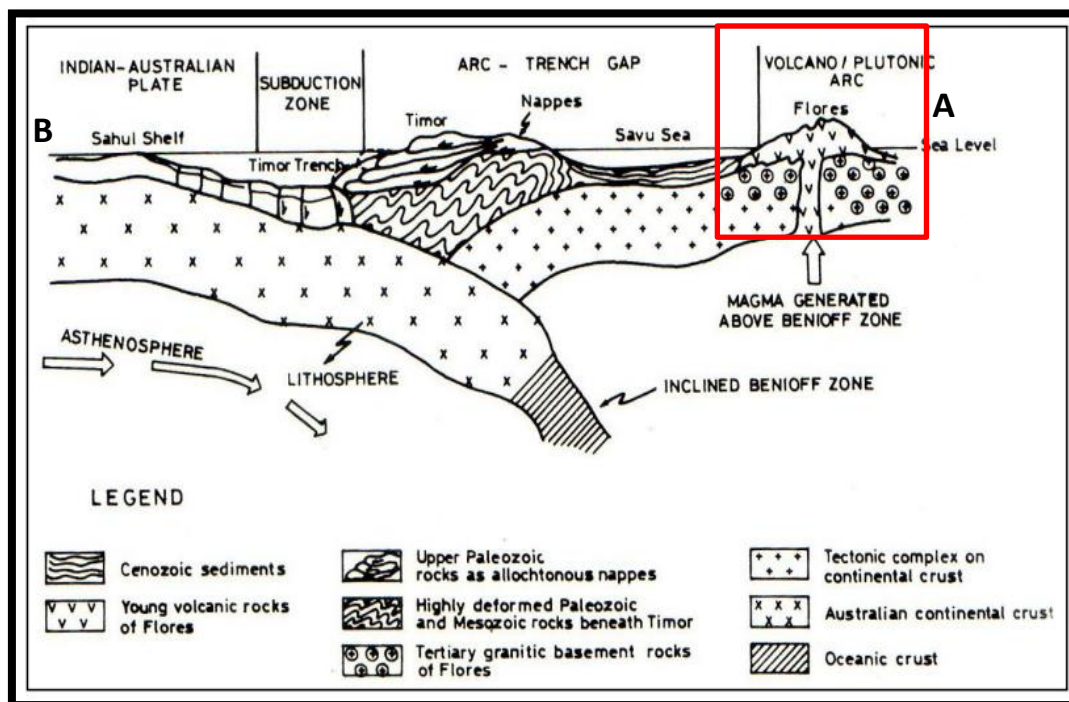
Pembentukan Busur Banda disebabkan oleh tumbukan lempeng Eurasia yang relatif diam dengan lempeng Indo-Australia dari sebelah selatan dengan kecepatan sekitar 70 mm/tahun, sementara lempeng pasifik menabrak dari sebelah timur dengan kecepatan sekitar 90 mm/tahun (Ngadmanto, 2009) (lihat Gambar 2.2). Pergerakan lempeng-lempeng tersebut mengakibatkan terbentuknya gunungapi dan pulau-pulau yang dapat

dikelompokkan ke dalam 4 satuan tektono-struktur dari utara hingga selatan (Darman dan Sidi, 2000).



**Gambar 2.2** Peta Tektonik Busur Banda dimana daerah penelitian ditandai dengan kotak berwarna merah (Hamson, 2004 dalam Ngadmanto, 2009)

Satuan tersebut antara lain Satuan Belakang Busur meliputi Laut Flores; Satuan Busur Dalam meliputi kepulauan vulkanik seperti Bali, Lombok, Rinca, Flores, Adonara, Solor, Lomblen, Pantar, Alor, Kambing, dan Wetar; Satuan Busur Laut terdiri atas kepulauan non-vulkanik meliputi Dana, Raijua, Sawu, Roti, Semau, dan Timor; dan Satuan Busur Depan terdiri atas cekungan-cekungan dalam seperti Cekungan Lombok dan Sawu. Daerah penelitian berada di Pulau Flores yang termasuk dalam Satuan Busur Vulkanik Dalam (**lihat Gambar 2.3**).

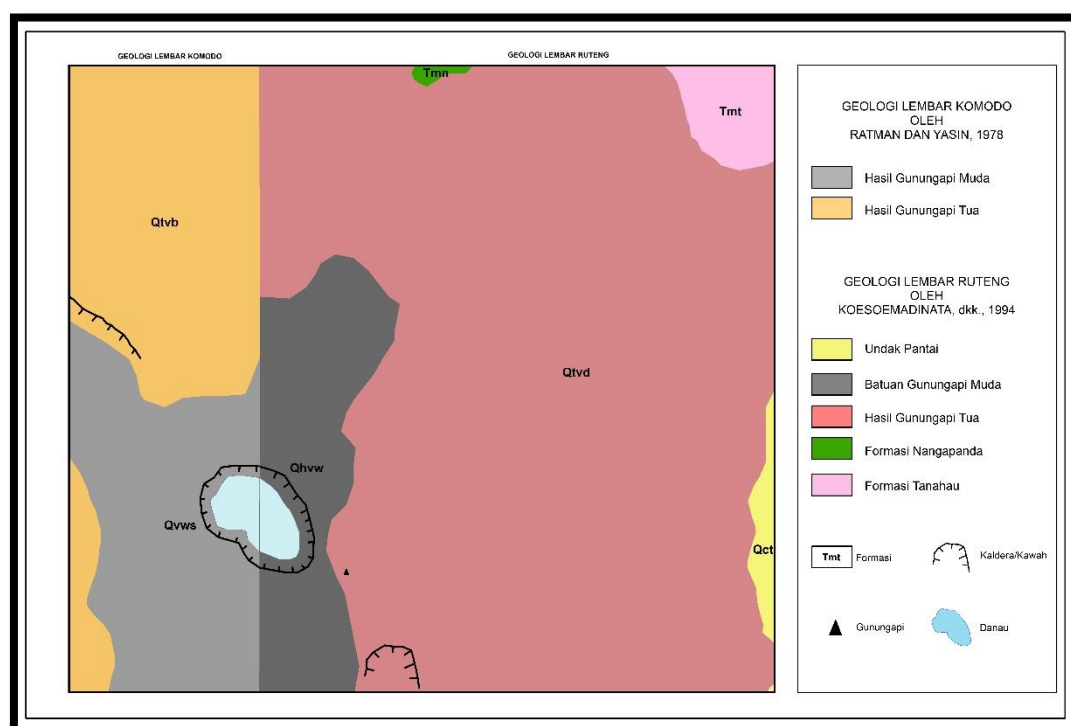


**Gambar 2.3** Penampang A-B (lihat Gambar 2.2) yang memotong Timor-Flores (Katili, 1975 dalam Hartono, dkk, 2014) dimana daerah penelitian terletak di *vulcanic arc* yang ditandai dengan kotak berwarna merah

Secara umum, tatanan geologi pulau Flores di bagian Utara disusun oleh batuan berumur Tersier, sedangkan di bagian Selatan terdapat batuan gunungapi berumur Kuartar. Keberadaan batuan gunungapi berumur Kuartar di Pulau Flores berasal dari sedikitnya 13 gunung api aktif yang berjajar di bagian selatan dengan arah penyebaran barat-timur. Di antara keberadaan gunungapi tersebut terdapat sekurangnya 5 gunung api yang merupakan bagian dari lapangan panas bumi, sedangkan lebih kurang sejumlah 4 gunung api kegiatan vulkanismenya terjadi pada masa prasejarah (van Padang, 1951 dalam Hartono, 2014). Salah satu daerah yang terletak di bagian selatan Pulau Flores yang termasuk dalam lapangan panas bumi adalah daerah penelitian. Di daerah penelitian dijumpai gejala panas bumi di permukaan yang ditunjukkan oleh kehadiran manifestasi panas bumi seperti mata air panas, mata air hangat, air dingin netral, air dingin asam, fumarol, dan batuan terubah.

## 2.2 Stratigrafi Regional Daerah Penelitian

Daerah penelitian termasuk dalam Geologi Lembar Komodo oleh Ratman dan Yasin (1978) dan Lembar Ruteng oleh Koesoemadinata (1994) (**lihat Gambar 2.4**). Susunan stratigrafi regional pada daerah penelitian secara berurutan dari tua ke muda adalah sebagai berikut.



**Gambar 2.4** Peta Geologi Regional modifikasi peta geologi Lembar Komodo oleh Ratman dan Yasin (1978) dan Lembar Ruteng oleh Koesoemadinata (1994)

**Formasi Tanahau (Tmt)** terdiri atas lava, breksi, dan tufa. Lava berwarna kelabu kehitaman, bersusunan dasit, dan setempat berstruktur bantal. Breksi berwarna kelabu kehitaman, berkomposisi dasit berukuran 0,5-3 cm, menyudut-tanggung-menyudut, perekat tuf pasiran terkersikkan. Tuf berwarna putih kelabu, bersusunan dasit, berbutir halus-menengah, pejal terkersikkan, permineralan. Satuan ini menjemari dengan Formasi Bari (*Tmb*) dan menindih selaras Formasi Kiro (*Tmk*).

**Formasi Nangapanda (Tmn)** terdiri atas batupasir dan batugamping, setempat lensa dan sisipan napal serta setempat sisipan breksi. Batupasir berbutir halus – kasar,

konglomeratan, komponen andesit dan basal berukuran 0,5 – 2 cm, perekat batupasir, menyudut tanggung sampai membundar, padu, dan berlapis. Setempat berselingan dengan batupasir gampingan. Batugamping berwarna kelabu, keras, dan padu. Napal berwarna putih kotor dengan kemiringan perlapisan 25° - 30° ke arah Barat Daya – Timur Laut. Terdapat fosil *orbulina*, *globoquadrina*, *Globorotalia*, *Praeorbulina sp.* yang menunjukkan umur Miosen Tengah dengan lingkungan pengendapan neritik. Tebal formasi ini diperkirakan 2000 m dan menjemari dengan Formasi Kiro (*Tmk*) dan Formasi Bari (*Tmb*) serta tertindih tidak selaras oleh Formasi Waihekang (*Tmpw*) dan Formasi Laka (*Tmpl*).

***Hasil Gunung Api Tua (Qtvb)*** terdiri atas perselingan breksi, lava, dan tufa yang berkomposisi basalt dan andesit. Pemeriksaan topografi menunjukkan bahwa batuanannya terdiri dari andesit piroksin, andesit berongga, basal gelas, basal, dan basal olivine. Topografi batuan gunungapi tersebut membentuk beberapa kerucut dan setengah kerucut yang terpisah satu sama lain. Berdasarkan morfologinya, diduga bahwa pusat-pusat erupsi adalah kerucut Doro Lambuwu (*QTvl*), Doro Maria (*QYvm*), Doro Saboke (*QTvs*), Gilibanta (*QTVg*), DoroOtota (*QTvd*), Doro Orora (*QTvo*), dan Gunung Mbeliling (*QTVb*). Batuan Gunungapi ini di Pulau Sumbawa menempati jalur bagian utara, sedangkan di daerah Timur mulai dari Pulau Komodo sampai Pulau Flores menempati jalur bagian selatan. Di daerah puncak Doro Lambuwu, Doro Maria, dan Gunung Mbeliling terdapat dinding kaldera dan dinding kawah lama. Pantai Utara Gunung Gilibanta membentuk setengah lingkaran yang diduga merupakan sisa dinding kaldera tua. Batuan gunungapi yang mengandung leusit di sebelah Timur Laut Doro Lambuwu tidak ditemukan.

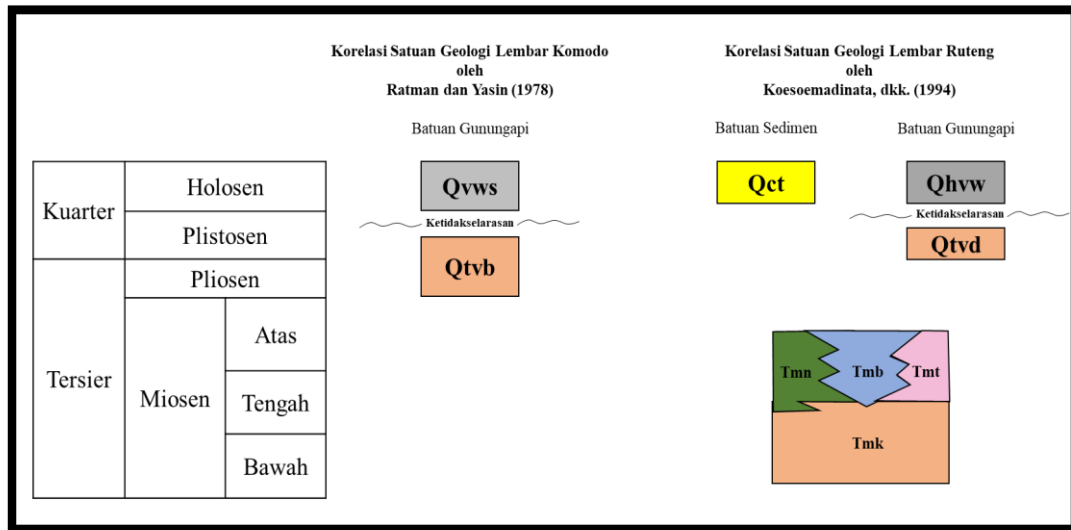
***Hasil Gunung Api Tua (Qtd)*** terdiri atas lava bersusunan andesit dan piroksin setempat berstruktur kekar meninang dan kekar melembar, breksi dan aglomerat dengan

komponen andesit dan basal, kemas terbuka, mudah lepas, bersisipan tuf, tuf lapilli, dan tuf batuapung. Setempat sisipan lanau hitam dan batugamping koral; di beberapa tempat struktur silang siur.

***Batuan Gunungapi Muda (Qhvw)*** terdiri atas lava, breksi, aglomerat bersusunan andesit-basal, struktur kekar melembar, tuf pasiran, pasir gunungapi, mudah lepas, dan berasal dari gunungapi strato muda.

***Hasil Gunungapi Muda (Qvws)*** adalah hasil erupsi Gunungapi Wai Sano yang terutama tufa, tufa pasiran, dan tufa batuapung yang berwarna putih dan mudah hancur. Di bagian tengah Gunung Wai Sano terdapat satu danau kawah berbentuk lingkaran dan berdiameter lebih kurang 2,5 km. Di sekelilingnya terdapat beberapa mata air panas dan fumarole dengan endapan belerang. Di sekita gunung ini ditemukan juga beberapa singkapan kecil yang terdiri atas lava dan breksi berupa andesit piroksin, andesit berongga, dan basal.

***Undak Pantai (Qct)*** terdiri atas perselingan konglomerat dan batupasir, sedikit gampungan, mudah lepas, hampir mendatar, struktur silang siur, dan mencapai ketinggian 10-50 m di atas permukaan laut. Korelasi satuan geologi regional pada daerah penelitian diperlihatkan pada **Gambar 2.5**.



**Gambar 2.5** Korelasi satuan peta geologi regional modifikasi Lembar Komodo oleh Ratman dan Yasin (1978) dan Lembar Ruteng oleh Koesoemadinata (1994)

### 2.3 Struktur Geologi Regional Daerah Penelitian

Struktur geologi regional yang dijumpai di daerah penelitian adalah sebagai berikut (PSDMBP, 2015).

#### 1) Sesar Normal NM

Sesar ini ditandai oleh bentuk segitiga (*triangular facet*) pada lereng pegunungan/perbukitan sebagai hasil erosi, kelurusan-kelurusan topografi, dan pemunculan mata air panas/mata air dingin. Sesar ini berarah Timurlaut - Baratdaya di mana blok bagian utara relatif bergerak naik terhadap blok bagian selatan.

#### 2) Sesar normal WR

Sesar ini ditandai oleh pemunculan mata air panas/mata air dingin di sepanjang sungai WR dan bentuk kelurusan berarah N 320° E. Beberapa rembesan air panas muncul di tepi sungai sehingga bercampur dengan air dingin dari sungai.

### **3) Kaldera WS**

Kaldera ini berbentuk elips yang berarah Baratlaut - Tenggara dengan diameter terpanjang 3 km dan terpendek 1 km yang membentuk suatu danau. Kedalaman air danau  $\pm 30$  m dan ketinggian permukaan 643 mdpl.

## **2.4 Geologi Daerah Penelitian**

Pembahasan geologi daerah penelitian meliputi kajian geomorfologi, stratigrafi, dan struktur geologi daerah penelitian. Adapun kajian geologi daerah penelitian adalah sebagai berikut.

### **2.4.1 Geomorfologi Daerah Penelitian**

Satuan geomorfologi di daerah penelitian disusun berdasarkan morfogenesis dan morfometri. Kondisi bentang alam daerah penelitian dikelompokkan menjadi delapan satuan geomorfologi, yaitu geomorfologi tubuh M Curam, Tubuh W Curam, Tubuh GL Curam, Puncak PD Terjal, Tubuh PD Bergelombang, Kaki PD Landai, Tubuh SN Curam, dan Kaki RL (PSDMBP, 2015). Satuan geomorfologi daerah penelitian terpetakan dalam peta geomorfologi daerah penelitian (**lihat Gambar 2.7**)

#### **1) Satuan Geomorfologi Tubuh M Curam**

Satuan ini menempati bagian utara dengan luas mencapai 35% dari total areal penelitian. Satuan ini berada pada ketinggian antara 350-1300 mdpl dengan kemiringan lereng  $> 30^\circ$ . Pola aliran sungainya adalah pola sub-radial hingga sub-paralel dengan torehan lembah "V". Relief permukaan membentuk topografi kasar. Bentuk lembah yang tajam dengan stadium sungai muda.



## **2) Satuan Geomorfologi Tubuh W Curam**

Satuan ini menempati bagian timur laut dengan luas mencapai 7% dari total areal penelitian. Satuan ini berada pada ketinggian antara 150-550 mdpl dengan kemiringan lereng 25-35°. Pola aliran sungai membentuk pengaliran sub-paralel dengan torehan lembah “V”. Relief permukaan membentuk topografi kasar. Bentuk lembah yang tajam dengan stadium sungai muda.

## **3) Satuan Geomorfologi Tubuh GL Bergelombang**

Satuan ini menempati bagian timur dengan luas mencapai 5% dari total areal penelitian. Satuan ini berada pada ketinggian antara 75-375 mdpl dengan kemiringan lereng 7-15°. Pola aliran sungai membentuk pengaliran sub-radial dengan torehan lembah “V”. Relief permukaan membentuk topografi sedang. Bentuk lembah yang tajam dengan stadium sungai muda.

## **4) Satuan Geomorfologi Puncak PD Curam**

Satuan ini menempati bagian selatan dan memiliki luas hingga mencapai 2% dari total areal penelitian. Satuan ini berada pada ketinggian antara 1000-1250 mdpl dengan kemiringan lereng 20-25°. Pola aliran sungai membentuk pengaliran radial dengan torehan lembah “V”. Relief permukaan membentuk topografi kasar. Bentuk lembah yang tajam dengan stadium sungai muda.

## **5) Satuan Geomorfologi Tubuh PD Bergelombang**

Satuan ini menempati bagian selatan dengan luas hingga mencapai 14% dari total areal penelitian. Satuan ini berada pada ketinggian antara 300-950 mdpl dengan kemiringan lereng 6-15°. Pola aliran sungai membentuk pengaliran sub dendritik dengan torehan lembah “V”. Relief permukaan membentuk topografi sedang. Bentuk lembah yang tajam

dengan stadium sungai muda. Satuan ini dimanfaatkan oleh sebagian penduduk untuk perkebunan dan untuk wilayah hutan lindung.

#### **6) Satuan Geomorfologi Kaki PD Landai**

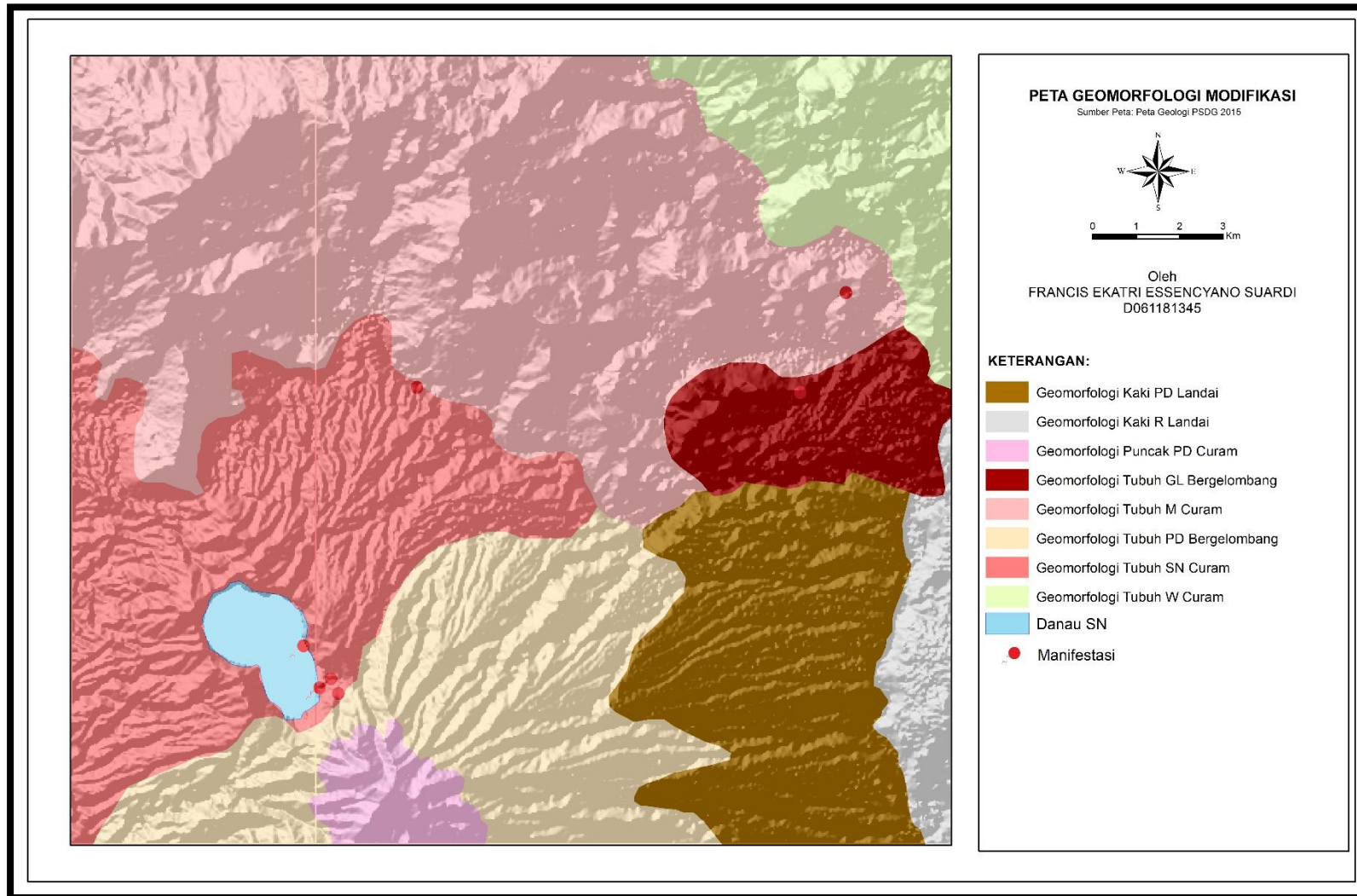
Satuan ini menempati bagian selatan dengan luas mencapai 11% dari total areal penelitian. Berada pada ketinggian antara 75-400 mdpl dengan kemiringan lereng 3-10°. Pola aliran sungai membentuk pengaliran sub dendritik dengan torehan lembah “V”. Relief permukaan membentuk topografi halus. Bentuk lembah yang tajam dengan stadium sungai muda.

#### **7) Satuan Geomorfologi Tubuh SN Curam**

Satuan ini menempati bagian tengah dengan luas mencapai 16% dari total areal penelitian. Satuan ini berada pada ketinggian antara 350-850 mdpl dengan kemiringan lereng 15-30°. Pola aliran sungai membentuk pengaliran sub dendritik dengan torehan lembah “V”. Relief permukaan membentuk topografi kasar. Bentuk lembah yang tajam dengan stadium sungai muda.

#### **8) Satuan Geomorfologi Kaki R Landai**

Satuan ini menempati bagian tenggara dengan luas mencapai 2% dari total areal penelitian. Satuan ini berada pada ketinggian antara 75-125 mdpl dengan kemiringan lereng 2°. Pola aliran sungai membentuk pengaliran sub anastomatik dengan torehan lembah “U”. Relief permukaan membentuk topografi halus. Bentuk lembah dengan stadium sungai dewasa.



**Gambar 2.6** Peta geomorfologi daerah penelitian modifikasi Peta Geomorfologi Daerah Panas Bumi PSDMBP (2015)

## 2.4.2 Stratigrafi Daerah Penelitian

Daerah penelitian tersusun atas satuan batupasir, satuan vulkanik M, satuan vulkanik R, satuan vulkanik PD, satuan vulkanik GT, satuan vulkanik GL, satuan Lava GK, satuan Lava T, dan satuan Vulkanik SN (**lihat Gambar 2.9**). Stratigrafi daerah penelitian secara berurutan dari tua ke muda adalah sebagai berikut (PSDMBP, 2015).

### 1) Satuan batupasir

Satuan ini merupakan satuan tertua yang juga diduga sebagai basement dari daerah survei. Singkapan batupasir berlapis baik berada di bagian timur laut dengan tebal mencapai 50 m. Batupasir berwarna abu-abu tua hingga pucat, ukuran butir berupa pasir kasar hingga sedang, terpilah baik, kemas terbuka, karbonatan, keras padu dan terkekarkan. Satuan ini dibandingkan dengan Formasi Nangapada yang terbentuk pada Miosen Tengah.

### 2) Satuan vulkanik M

Satuan ini didominasi oleh batuan vulkanik dengan jenis ignimbrite, aliran piroklastik, dan lava riolit. Tersusun oleh komponen lava dasit – riolit berwarna putih ke abuan, dengan matrik tufa keras, di beberapa tempat tersusun oleh lapisan tufa tebal, massif dan keras. Aliran piroklastik telah teralterasi nampak di sepanjang jalan dari arah Labuan bajo ke arah WS. Warna kecoklatan hingga kehijauan dengan komponen *ignimbrite* dan lava riolit. Satuan ini tersebar luas membentuk kaldera besar dengan dinding terjal.

### 3) Satuan Vulkanik R

Satuan ini tersebar di bagian tenggara membentuk morfologi kaki R dengan relief halus dan landai. Tersusun oleh litologi berupa laharik dan aliran piroklastik halus dengan ukuran komponen lapilli berupa lava andesit. Tertanam dalam matrik abu vulkanik

kecoklatan padat. Satuan ini diduga terbentuk sebagai batuan tertua dari produk R yang melampar hingga ke daerah Lembor.

#### **4) Satuan vulkanik PD**

Satuan ini menempati bagian selatan dan terbagi menjadi tiga satuan batuan, yaitu lava PD, aliran piroklastik PD 1 dan 2. Morfologi yang terbentuk berupa tubuh vulkanik dengan puncak yang terpancung dan ditempati oleh produk lava dasit berwarna abu-abu terang keputih-putihan, porfiritik, vesicular dan beberapa tempat menunjukkan struktur berlembar / sheeting joint. Lava dasit keras dan tebal mencapai 3–4 m dijumpai di bagian selatan danau SN. Hasil pentarikan umur batuan pada lava ini dengan menggunakan metoda K-Ar dieproleh umur sekitar  $0,3 \pm 0,2$  juta tahun yang lalu, yang berarti terbentuknya erupsi gunungapi P pada Masa Plistosen (Kuartar).

#### **5) Satuan Vulkanik GT**

Satuan ini menempati bagian timur laut daerah penyelidikan dengan morfologi yang curam hingga bergelombang. Tersusun oleh batuan vulkanik dengan jenis lava basal serta di beberapa tempat ditemukan aliran piroklastik. Lava basal berwarna kehitaman, afanitik, keras, tersusun oleh mineral plagioklas –mikrolit dan olivine. Aliran piroklastik berwarna coklat dan tersusun oleh komponen lava basal kehitaman berukuran lapilli tertanam dalam matrik abu vulkanik berukuran sedang yang ditindih oleh lava basal.

#### **6) Satuan vulkanik GL**

Satuan ini menempati bagian tenggara dari Danau SN dan membentuk morfologi curam dengan depresi W yang membuka ke bagian selatan. Terdiri dari batuan vulkanik dengan jenis lava andesit. Lava andesit berwarna abu –abu muda, porfiritik, vesicular dan keras. Massif dan setempat telah tersilisifikasi. Lava ini menindih batuan sedimen dengan jenis batu lempung karbonat di sekitar Waemunting.

### **7) Satuan Lava GK**

Satuan ini tersebar di bagian selatan dari GT membentuk morfologi curam dengan depresi GL yang membuka ke arah timur. Tersusun oleh batuan vulkanik dengan jenis lava basal berwarna kehitaman dengan tekstur kolumnar joint. Tersingkap di jalan menuju Lembor dari arah Bambor. Lava basal kehitaman keras dan masif.

### **8) Satuan Lava GT**

Satuan ini tersingkap di bagian tenggara dari SN, membentuk morfologi curam dengan batuan penyusun berupa lava dan aliran piroklastik. Aliran piroklastik berwarna kecoklatan tersebar mengisi depresi ke bagian timur dan tertahan di sekitar Lengkongkayu. Komponen terdiri dari lava andesit dengan ukuran lapilli dan tertanam dalam masa dasar abu vulkanik kecoklatan berukuran sedang. Pada satuan ini terdapat airpanas nampar macing yang memiliki endapan traventin tersebar cukup luas namun suhu air panasnya rendah.






















### **9) Satuan Vulkanik SN**

Produk vulkanik SN melampar dari anau sebagai pusat erupsi ke bagian utara pada umumnya, karena di bagian selatannya tertahan oleh produk PD yang umurnya lebih tua. Produk SN ini kemudian di bagi menjadi erupsi pusat dalam bentuk lava dasit 1–3 dan aliran piroklastik 1–6. Lava SN 1 berada di bagian utara danau, membentuk tebing yang terjal hingga hampir 90°, tersusun oleh jenis lava dasit dengan komposisi plagioklas, kuarsa dan piroksen. Pembentukan lava ini setelah terjadi erupsi pertama yang memuntahkan aliran piroklastik SN 1 dan 2 ke arah barat daya. Komposisi komponen berupa lava dasit dengan ukuran lapilli sampai bom. Lava SN ke 2 berada di bagian selatan danau, komposisinya sama dengan lava pertama. Erupsi besar kedua menghasilkan aliran piroklastik 3–5 yang mengalir ke bagian barat laut dan ke timur laut. Dan pembentukan

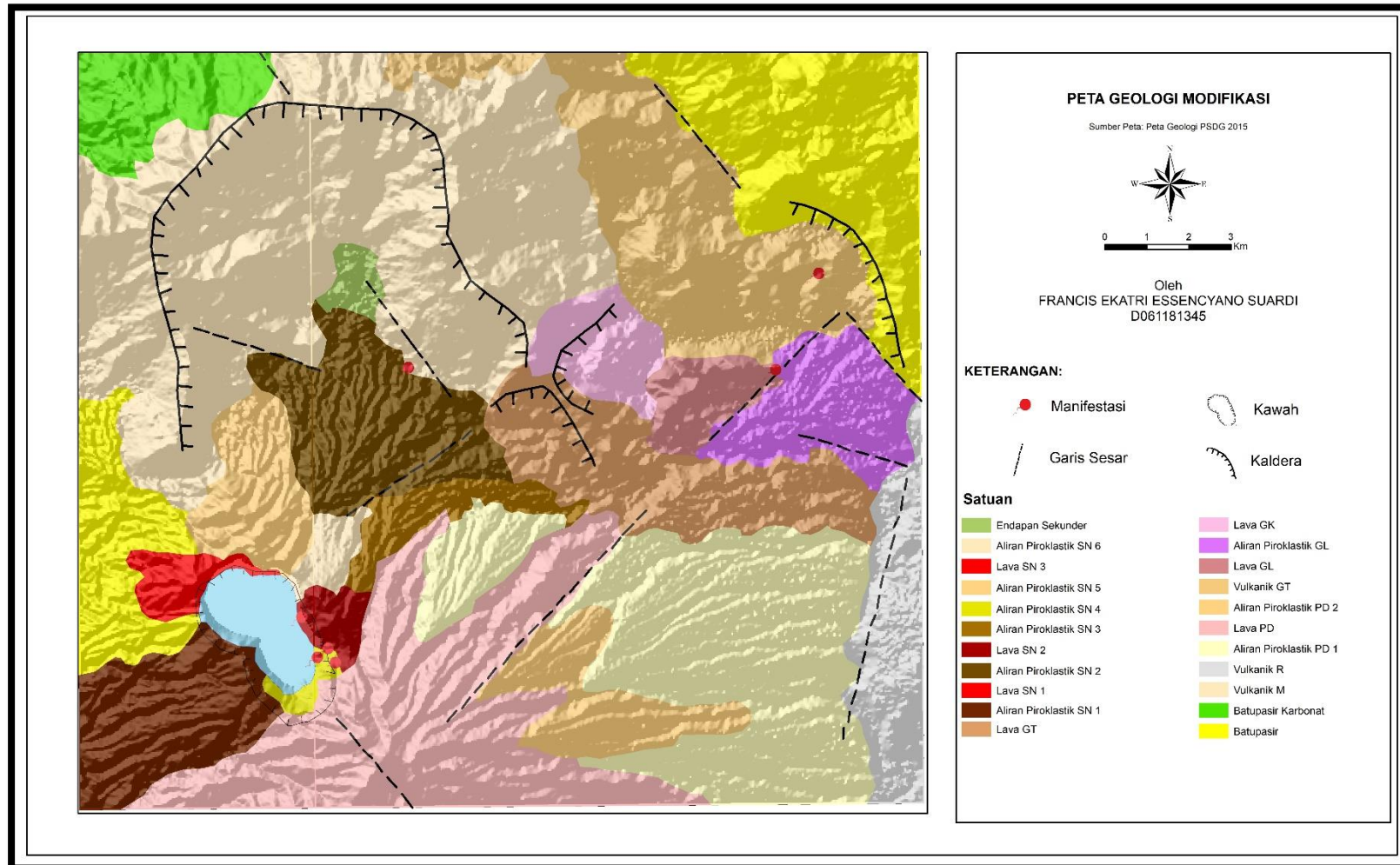
lava terakhir berada di bagian timur laut danau dengan komposisi dasit. Hasil pentarikan umurnya adalah  $0,2 \pm 0,2$  juta tahun yang lalu. Produk erupsinya berupa aliran piroklastik 6 dan 7 yang menutupi aliran piroklastik 3,4, dan 5. Erupsi terakhir menghasilkan aliran piroklastik pada periode sebelumnya menjadi terelaskan/welded, seperti yang nampak di pinggir jalan ke arah danau di sekitar kampung Taal.

### 10) Endapan Sekunder/Longsoran

Endapan longsoran terbentuk di sekitar danau bagian selatan, tepatnya di sekitar munculnya manifestasi air panas dan batuan alterasi. Membentuk morfologi pedataran yang tidak terlalu luas. Tersusun oleh batuan lepas berupa endapan vulkanik lepas yang telah terpadatkan menjadi lapisan tanah. Korelasi satuan geologi daerah penelitian diperlihatkan pada **Gambar 2.8**.

Umur	Vulkanik				Sedimen	
	Produk	Lava	Piroklastik			Sekunder
			Aliran	Laharik		
Kuartar	SN	  	   			
	Gunung T					
	Gunung K					
	Gunung L					
	Gunung T					
	PD			 		
	PR					
Tersier	M				 	

**Gambar 2.7** Kolom Stratigrafi daerah penelitian modifikasi Kolom Stratigrafi Daerah Panas Bumi PSDMBP (2015)



**Gambar 2.8** Peta Geologi daerah panas bumi modifikasi Peta Geologi Panas Bumi PSDMBP (2015)



### 2.4.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian

Pembagian struktur geologi daerah penelitian dikelompokkan menjadi struktur sesar berarah Baratlaut-Tenggara, struktur sesar berarah Baratdaya-Timurlaut, dan struktur vulkanik sebagai akibat dari proses vulkanisme seperti kaldera, depresi, dan kawah (PSDMBP, 2015). Adapun struktur geologi tersebut diuraikan sebagai berikut.

#### 1) Struktur Vulkanik

Nampak di bagian depresi Vulkanik M, pada pembentukan kawah SN yang berbentuk *ellipsoid* dan di sekitar Golo Leleng yang membentuk setengah lingkaran, diduga merupakan produk eksplosif dari letusan yang bersifat asam, seperti Kaldera M, Depresi GL, Depresi W. Kawah SN terbentuk di sekitar SN dan berupa danau yang terisi oleh air dengan pH asam. Kawah ini merupakan hasil dari produk SN dan terdapat sedikitnya tiga kali proses letusan besar serta menghasilkan endapan sulfur dan mata air panas bagian tenggara danau. Kawah ini menghasilkan produk letusan berupa aliran piroklastik yang tersebar ke bagian utara danau hingga ke barat daya danau, sedangkan di bagian selatannya terhalang oleh produk yang lebih tua yang berasal dari PD.

##### a. Kaldera M

Struktur ini terbentuk sebagai akibat dari proses erupsi besar yang terjadi pada kompleks M dimana erupsi bersifat eksplosif dengan memuntahkan produk aliran piroklastik berkomposisi asam, dijumpai ignimbrite dalam bentuk bongkah–bongkah besar di sekitar Mborong. Setelah erupsi besar kemungkinan terbentuk kekosongan ruang dan amblas di bagian selatannya. Bukaan kaldera kearah selatan menunjukkan produk terhempas ke bagian Laut Sawu yang kemudian tertutup oleh produk SN dan PD. Dimensi dari ring kaldera sekitar 7 km.

### **b. Depresi GL**

Struktur ini terbentuk di sekitar bagian tengah di ujung dari kaldera M. Kenampakan di lapangan berupa tebing terjal dengan pola semi radial yang membuka ke bagian timur. Terisi oleh batuan vulkanik produk GK berupa lava dan aliran piroklastik. Dimensi depresi ini mencapai 2 km. Diperkirakan terbentuk setelah amblasnya tubuh GK pada erupsi terakhir.

### **c. Depresi W**

Depresi waemunting terbentuk akibat erupsi yang menghasilkan produk vulkanik GL dalam bentuk lava basal dan aliran piroklastik. Struktur ini membuka ke selatan dengan bagian yang mengalami amblasan di sekitar desa Waemunting dan Nggolar. Secara topografi berupa perbukitan terjal dan dijumpai triangular facet.

### **d. Kawah SN**

Struktur kawah terbentuk di sekitar SN dan berupa danau yang terisi oleh air dengan pH asam. Kenampakan di lapangan berupa dinding kawah yang terjal dan juga berbentuk radial. Kawah ini merupakan hasil erupsi dari produk SN dan terdapat sedikitnya tiga kali proses letusan besar serta menghasilkan endapan sulfur dan mata air panas di bagian tenggara danau.

## **2. Struktur Sesar Berarah Baratlaut-Tenggara**

### **a. Sesar PD**

Sesar ini berarah barat laut – tenggara yang terbentuk akibat tektonik regional yang bisa mencapai *basement* dari pembentukan geologi di daerah penelitian yang memungkinkan memfasilitasi munculnya erupsi. Sesar ini terlihat pada topografi dan kelurusan pusat erupsi produk SN dan PD yang dibuktikan dengan adanya manifestasi air panas dan silika residu.

**b. Sesar T1 dan W1**

Sesar ini berarah barat laut – tenggara yang membatasi batuan sedimen dan produk vulkanik GT. Bagian selatan adalah bagian yang menurun. Daerah ini terdapat manifestasi air panas dan sejumlah sinter karbonat seperti di daerah GL.

**c. Sesar N**

Sesar ini berarah barat laut – tenggara yang ditunjukkan oleh objek wisata air terjun Cunca Rami dengan ketinggian mencapai 50 m.

**d. Sesar W2**

Sesar ini berarah barat laut – tenggara yang ditarik berdasarkan kelurusan topografi dan munculnya air dingin Wae Bobok dengan temperatur 36°C.

**3. Struktur Sesar Berarah Baratdaya – Timur****a. Sesar L dan N**

Kelurusan sesar berarah baratdaya – timur laut ini merupakan pasangan sesar yang berarah sebaliknya atau biasa disebut antitetik. Kedua sesar ini diduga merupakan jalur lemah yang memfasilitasi munculnya air panas NM dan endapan travertin dalam jumlah yang luas.

**b. Sesar T2**

Sesar yang berarah barat daya – timur laut ini berhubungan dengan terbentuknya depresi W dan GL.

**2.5 Gejala Panas Bumi Daerah Penelitian**

Kenampakan gejala panas bumi di daerah penelitian dan sekitarnya berupa batuan terubah, fumarol, mata air panas, air hangat, air dingin netral, dan air dingin asam yang lokasinya terdistribusi di sekitar Danau SN, Kecamatan SN, dan sekitarnya. Pada daerah

penelitian dan sekitarnya banyak tersebar batuan ubahan baik yang masih berupa batuan keras maupun sudah menjadi tanah/soil dengan kenampakan fisik berupa warna yang berbeda-beda. Kehadiran batuan ubahan ini mencirikan bahwa daerah tersebut telah mengalami proses hidrotermal yang berhubungan dengan fluida panas berpH netral maupun asam (PSDMBP, 2015).

Jumlah sampel air di daerah lapangan panas bumi daerah penelitian adalah 23 sampel antara lain 4 sampel air panas, 3 sampel air hangat, 9 sampel air dingin, 5 sampel air danau, 1 sampel inlet danau, dan 1 sampel outlet danau. Sebanyak 23 sampel dilakukan analisis isotop dan sebanyak 21 sampel untuk analisis anion dan kation.

Pada daerah penelitian, terdapat mineral alterasi seperti halosit, kalsit, montmorilonit, kaolinit, pyrophyllite, illite, paragonite, dickite, K-Na Alunite, paligorskite, gypsum, diaspor, dan jarosite yang diduga terbentuk selama periode pembentukan sistem hidrotermal di daerah penelitian. Kehadiran mineral montmorillonite dan halosite dengan temperatur mencapai  $< 150^{\circ}\text{C}$ , pH netral, dan berada pada zona argilik dikelompokkan menjadi mineral ubahan yang berasosiasi sebagai batuan penudung (*caprock*). Munculnya mineral piropilit, illite, kaolinite, dicklite dan alunite mencerminkan temperatur pembentukan yang cukup tinggi  $< 200^{\circ}\text{C}$  dengan pengaruh pH asam. Adapun kehadiran mineral *gypsum* mencirikan adanya pengaruh gas sulfur yang bereaksi dengan kalsit yang dicirikan oleh keterdapatannya endapan sulfur di permukaan (PSDMBP, 2015).

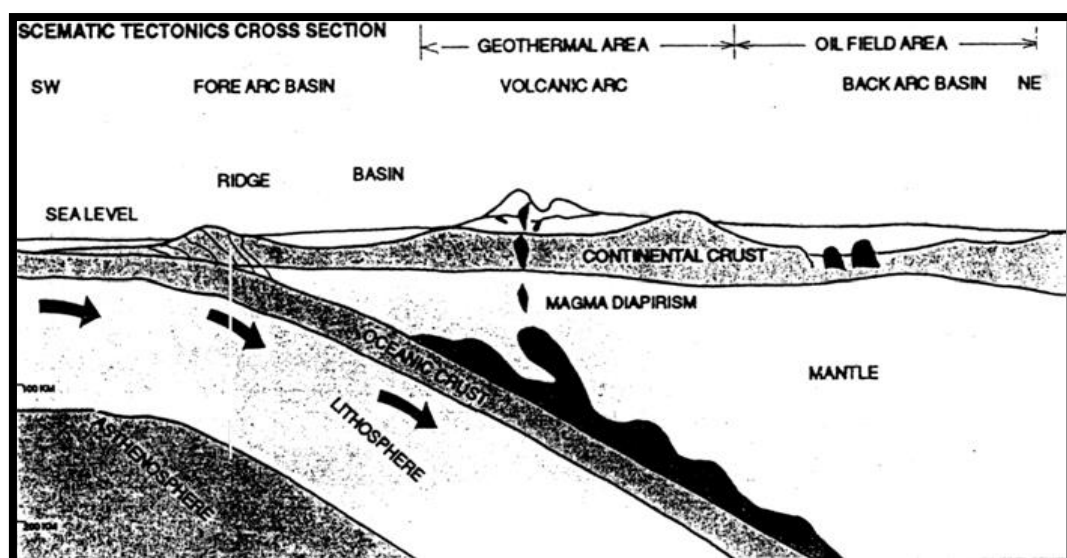
**Tabel 2.1** Manifestasi mata air panas bumi pada daerah penelitian (modifikasi PSDMBP, 2015)

No.	Kode	Elevasi (m)	T. Man (°C)	T.ud (°C)	pH	Debit (L/det.)	EC (µS/cm)	Keterangan
1.	APWS 1	647	81.57	24.91	5.79	0.1	53200	Jernih, tidak berwarna, asin, bau H <sub>2</sub> S sangat kuat, Map di pinggir danau
2.	APWS 2	646	71.13	24.91	6.21	0.1	36000	Jernih, tidak berwarna, asin, bau H <sub>2</sub> S sangat kuat, Map di pinggir danau
3.	APWS 3	680	36.8	24.3	3.67	0.5	627	Jernih, tidak berwarna, asin, bau H <sub>2</sub> S sangat kuat, Map di pinggir danau
4.	APWS 4	646	53.9	25	5.98	0.1	11200	Jernih, tidak berwarna, asin, bau H <sub>2</sub> S sangat kuat, Map di pinggir danau
5.	AHN	159	36	32.03	6.75	0.1	16950	Sinter karbonat, jernih, tidak berwarna, agak asin,
6.	AHG	111	36	29.6	7.07	0	17990	Sinter karbonat, jernih, tidak berwarna, agak asin,
7.	ADS 1	646	30.27	24.91	2.52		3930	Jernih, tidak berwarna, tidak berasa, tidak berbau, air danau
8.	ADS 2	646	29.16	25.99	2.54		2720	Jernih, tidak berwarna, tidak berasa, tidak berbau, air danau
9.	ADS 3	646	28.9	26.2	2.52	> 100	2500	Jernih, tidak berwarna, tidak berasa, tidak berbau, buangan air danau
10.	ADSA	606	25.34	28.07	7.65	100	60	Jernih, tidak berwarna, tidak berasa, tidak berbau, air sungai
11.	ADCR	405	23.54	23.7	7.88	> 500	52.1	Jernih, tidak berwarna, tidak berasa, tidak berbau, air terjun
12.	ADPI	389	25.1	25.05	4.51	1	108	Jernih, tidak berwarna, tidak berasa, berbau H <sub>2</sub> S, air asam
13.	ADBO	320	33.43	28.32	5.73	1	1000	Air dingin, jernih, tidak berwarna, berasa manis, tidak berbau, sekitar persawahan
14.	ADL 1	738	22.8	24.13	8.09	10	30	Jernih, tidak berwarna, tidak berasa, tidak berbau, air sungai
15.	ADL 2	789	22.87	23.03	7.95	20	35	Jernih, tidak berwarna, tidak berasa, tidak berbau, air sungai

## 2.6 Sistem Panas Bumi

Panas bumi atau geothermal berasal dari kata bahasa Yunani ‘geo’ yang berarti bumi dan ‘thermal’ yang berarti panas. Panas bumi pada dasarnya merupakan energi yang terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber panas (Saptadji, 2003).

Suatu sistem panas bumi umumnya dijumpai di sepanjang zona vulkanik punggung pemekaran benua, di atas zona subduksi seperti di Indonesia, dan di daerah sekitar anomali lelehan di dalam lempeng (**lihat Gambar 2.10**). Hal tersebut disebabkan oleh keterkaitan sumber daya panas bumi dengan mekanisme pembentukan magma dan kegiatan vulkanisme. Batas-batas pertemuan lempeng yang bergerak merupakan pusat lokasi munculnya sistem hidrotermal magma di mana transfer panas secara konduksi diperbesar oleh pergerakan magma dan sirkulasi hidrotermal (Kasbani, 2009).



**Gambar 2.9** Gambaran zona subduksi yang menunjukkan letak suatu area panas bumi

Energi panas bumi yang paling banyak dimanfaatkan adalah energi dari sistim hidrotermal (*hydrothermal system*), karena pada sistim hidrotermal, pori-pori batuan mengandung air atau uap, atau keduanya, dan reservoir umumnya terletak tidak terlalu dalam sehingga masih ekonomis untuk diusahakan (Saptadji, 2003). Sistim hidrotermal mempunyai empat komponen utama, yaitu sumber panas, daerah resapan untuk menangkap air hujan dan atau air lelehan salju (air meteorik), batuan reservoir yaitu batuan tempat fluida (umumnya air) panas terakumulasi dan fluida/air yang membawa panas dari reservoir ke permukaan bumi (White, 1967 dalam Saptadji, 2009).

Berdasarkan pada jenis fluida produksi dan jenis kandungan fluida utamanya, sistim hidrotermal dibedakan menjadi dua, yaitu sistim satu fasa dan sistim dua fasa. Sistim satu fasa merupakan suatu sistim dimana batuan reservoirnya seluruhnya terisi oleh air. Walaupun reservoir hanya mengandung air, kehilangan tekanan yang terjadi dari dasar sumur hingga ke permukaan dapat menyebabkan fluida produksi di permukaan terdiri dari dua fasa, yaitu campuran uap dan air.

Sistim dua fasa dapat merupakan sistem dominasi uap atau dominasi air. Sistim dominasi uap merupakan suatu sistim dimana kandungan fasa uap di dalam reservoir lebih banyak atau lebih dominan dibandingkan dengan fasa airnya. Sistim dominasi uap merupakan sistim yang sangat jarang dijumpai di dunia. Sistim dominasi air merupakan sistim panas bumi yang telah banyak ditemukan dan dimanfaatkan di dunia. Dalam sistim ini kandungan air dalam reservoir lebih banyak atau lebih dominan bila dibandingkan dengan kandungan uapnya (Saptadji, 2009).

Berdasarkan pada besarnya temperatur, Hochstein (1990) membedakan sistim panas bumi menjadi tiga, yaitu

1. Sistem panasbumi bertemperatur rendah, yaitu suatu sistem yang reservoirnya mengandung fluida dengan temperatur lebih kecil dari 125°C;
2. Sistem/reservoir bertemperatur sedang, yaitu suatu sistem yang reservoirnya mengandung fluida bertemperatur antara 125°C dan 225°C;
3. Sistem/reservoir bertemperatur tinggi, yaitu suatu sistem yang reservoirnya mengandung fluida bertemperatur diatas 225°C.

Sistem panasbumi seringkali juga diklasifikasikan berdasarkan entalpi fluida yaitu sistem entalpi rendah, sedang dan tinggi seperti tabel di bawah ini.

**Tabel 2.2** Klasifikasi sistem panas bumi berdasarkan entalpi

	Muffer & Cataldi (1978)	Benderiter & Cormy (1990)	Haenel, Rybach & Stegna (1988)	Hochestein (1990)
Sistem panasbumi entalpi rendah	<90°C	<100°C	<150°C	<125°C
Sistem panasbumi entalpi sedang	90-150°C	100-200°C	-	125-225°C
Sistem panasbumi entalpi tinggi	>150°C	>200°C	>150°C	>225°C

## 2.7 Analisis Geokimia Air Panas Bumi

Penyelidikan lapangan secara geokimia adalah salah satu metode yang digunakan dalam melakukan eksplorasi panas bumi. Data kimia fluida panas bumi memberikan perkiraan mengenai data sistem panas bumi yang terdapat di bawah permukaan seperti temperatur, jenis reservoir, dan asal muasal air. Di samping itu, data kimia panas bumi menunjukkan sifat fluida khususnya tentang korosifitasnya dan kecenderungannya untuk membentuk endapan padat (*scale*) yang diperlukan untuk perencanaan sistem pemipaan dan sistem pembangkit listrik (Saptadji, 2003). Secara umum, penyelidikan lapangan secara geokimia terdiri atas penelitian lapangan dan analisis laboratorium.

Penelitian lapangan geokimia berkaitan dengan pengambilan sampel manifestasi panas bumi dimana dilakukan sesuai dengan prosedur pengambilan sampel. Alat dan

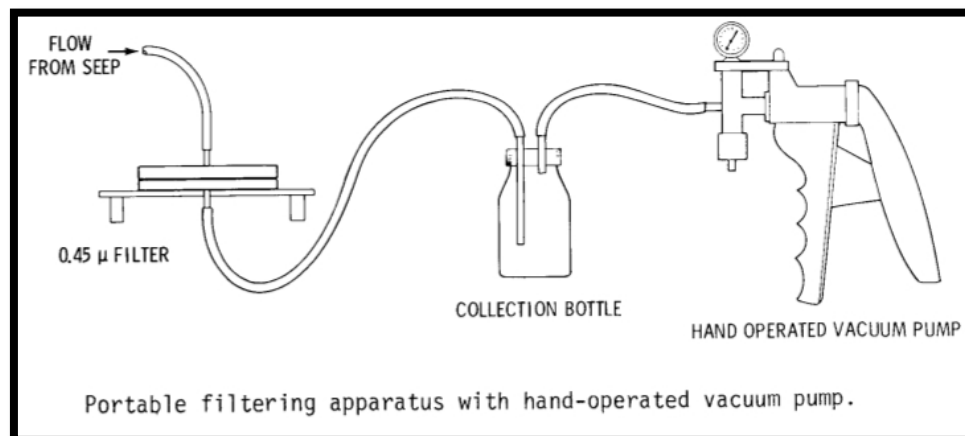


bahan yang digunakan berupa corong, gayung, *thermometer contact and thermometer infrared*, *thermocouple*, karet latex tubing, *vacuum hand pump and mini condenser*, sekop/cangkul lipat, botol sampel hdpe/pp untuk sampel air dan isotop, botol sampel gas dengan *stopcock valve*, larutan HNO<sub>3</sub>, dan *pH paper and pH&TDS meter*. Prosedur pengambilan sampel air panas bumi dalam bentuk *pool* menurut Nicholson (1993) adalah sebagai berikut.

- 1) Mengukur dan mencatat pH serta mengukur dan mencatat suhu dengan thermometer;
- 2) Mendeskripsi manifestasi, seperti menentukan tipe manifestasi, *map plotting*, mencatat waktu pengambilan sampel, dimensi manifestasi, debit, temperatur, pH, warna manifestasi, deposit, sketsa manifestasi, dan pengambilan gambar manifestasi;
- 3) Membilas gayung sebanyak dua kali dengan air dm;
- 4) Menyiapkan alat penyaring, yaitu dengan meletakkan filter 0.45 di *filter holder* lalu menutup sekrup *filter holder* tersebut dan bilas dengan air dm;
- 5) Menyaring 50-100mL air dm ke dalam setiap wadah sampel, menutupnya, dan membilasnya sampai bersih. Lalu, membilas setiap botol setidaknya dua kali dengan air panas bumi;
- 6) Mengumpulkan sampel. Sampel yang dikumpulkan adalah sebagai berikut.
  - a. Satu sampel 500ml (disaring, tidak diasamkan, botol plastik) untuk ph,ids dan penentuan anion;
  - b. Satu sampel 500ml (disaring, diasamkan hingga  $ph < 3$ , botol plastik) untuk penentuan silika dan kation (terutama trace metal) ;
  - c. Satu sampel 500ml (disaring , tidak diasamkan, botol kaca dengan segel tabung karet butil) untuk volatil dan peka terhadap atmosfer (ph, H<sub>2</sub>S, HCO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>) dan spesies organik dan tambahan jika secara khusus diperlukan;

- d. Satu sampel 100ml (disaring, tidak diasamkan, diencerkan 1+10 dengan air deionisasi dalam labu takar plastik) untuk silika;
- e. Satu sampel 500ml (disaring, tidak diasamkan, botol kaca dengan larutan pengoksidasi) untuk merkuri;
- f. Satu sampel 100ml (tidak diasamkan, botol kaca) untuk 18O dan 2H;
- g. Satu sampel 1L (tidak diasamkan, botol kaca) untuk 3H;
- h. Satu sampel 1L (disaring, tidak diasamkan, disterilkan dalam botol kaca) untuk 34S dan 18O dalam sulfat.

Prosedur pengambilan sampel manifestasi *seep* menurut Watson (1978) digambarkan sebagai berikut (**lihat Gambar 2.11**).



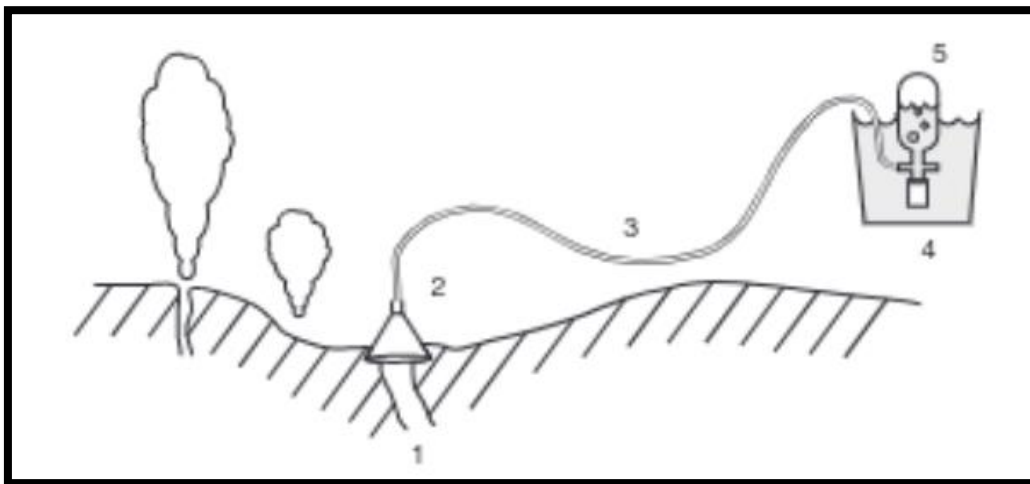
**Gambar 2.10** Pengambilan sampel seep (Watson, 1978)

Pengambilan sampel dilakukan dengan memasukkan saluran tygon berdiameter 1/4" langsung ke aliran, dan air diambil dengan pompa vakum yang dioperasikan dengan tangan. Air akan mengalir langsung ke botol pengumpul. Namun, air juga dapat diambil langsung melalui filter selulosa asetat 0,45 µp.

Sedangkan, prosedur pengambilan sampel gas fumarol (**lihat Gambar 2.12**) terdiri atas:

- 1) Corong harus ditempel dengan kuat ke tanah dan ditutup dengan tanah;

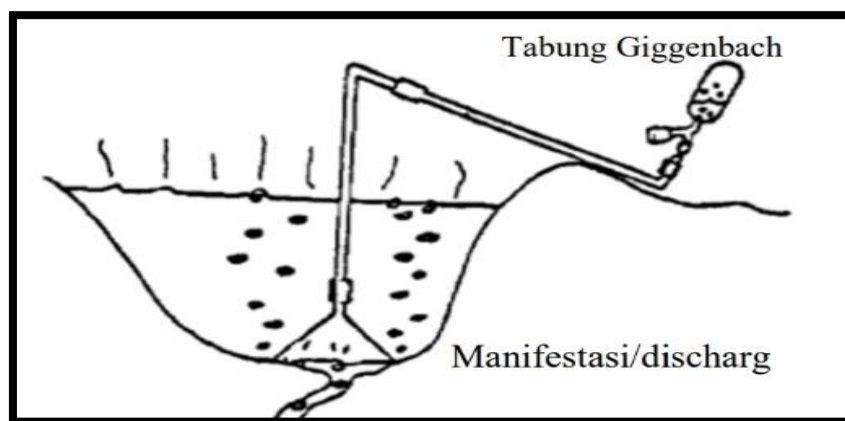
- 2) Lubang gas dibiarkan beberapa menit untuk membersihkan saluran dari udara dan menghangatkannya untuk mengurangi pengembunan;
- 3) Labu dilekatkan pada saluran silikon dan keran dibuka perlahan-lahan hingga menghasilkan aliran gas yang cepat tetapi tetap (Botol dipegang dengan katup ke bawah untuk memungkinkan gas mengalir melalui larutan hidroksida untuk menyerap gas asam);
- 4) Memutar labu dan mendinginkannya dengan air dalam ember selama pengumpulan sampel dapat membantu kondensasi uap dan penyerapan gas oleh hidroksida;
- 5) Pengambilan sampel harus berhenti ketika gelembung berhenti atau ketika kondensat mengisi sekitar 90% dari botol. Stopcock harus ditutup dan dikencangkan kembali setelah botol mendingin.



**Gambar 2.11** Pengambilan sampel fumarol (Nicholson, 19993) dimana 1) *Steam outlet*; 2) Corong; 3) Saluran silikon diameter  $\frac{1}{4}$ ; 4) Ember berisi air dingin; 5) Labu/botol sampel

Pengambilan sampel gas juga dilakukan pada manifestasi kolam air panas (**lihat Gambar 2.13**). Pengambilan sampel gas pada kolam air panas yang dalam dijumpai adanya pelepasan gas dari kolam sering kali memiliki aliran yang lembut dan dalam kondisi seperti itu keadaan gas yang cukup dibiarkan untuk membersihkan tabung

sebelum pengambilan sampel. Corong ditempatkan di atas lubang gas di dasar kolam. Corong dapat dibuat dari baja tahan karat, titanium atau teflon dan dihubungkan ke labu sampel dengan saluran. Dalam pengambilan sampel dari kolam yang dalam, mungkin lebih mudah untuk menahan corong di atas lubang gas dengan menjepitnya ke tongkat yang panjang.



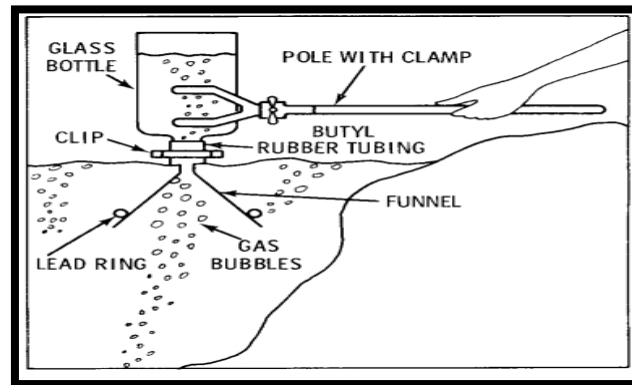
**Gambar 2.12** Pengambilan sampel gas pada *deep hot spring* (Watson, 1978)

Selain sampling gas pada *deep hot spring*, pengambilan gas juga dilakukan pada *shallow hot spring* (**lihat Gambar 2.14**). Prosedur pengambilan gas pada *shallow hot spring* adalah sebagai berikut.

- 1) Botol dan corong (dapat dipasang pada tongkat), dicelupkan ke dalam sumber air panas;
- 2) Rakitan kemudian diposisikan dengan corong di atas area gelembung paling aktif.

Ujung corong harus selalu berada di bawah permukaan air untuk mencegah kontaminasi udara;

- 3) Sebuah klem pada pipa karet yang menghubungkan corong dengan botol menutup botol ketika telah diisi dengan gas;

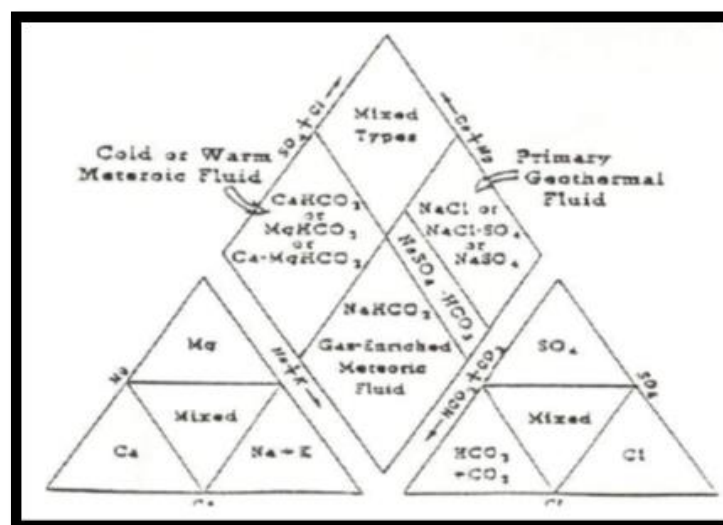


**Gambar 2.13** Pengambilan sampel gas pada *shallow hot spring* (Watson, 1978)

Analisis laboratorium geokimia air pada daerah penelitian dilakukan untuk mengetahui tipe air panas bumi, karakteristik reservoir, dan perkiraan sumber daya panas bumi. Adapun analisis geokimia air panas bumi pada penelitian ini sebagai berikut.

### 2.7.1 Analisis Diagram Piper

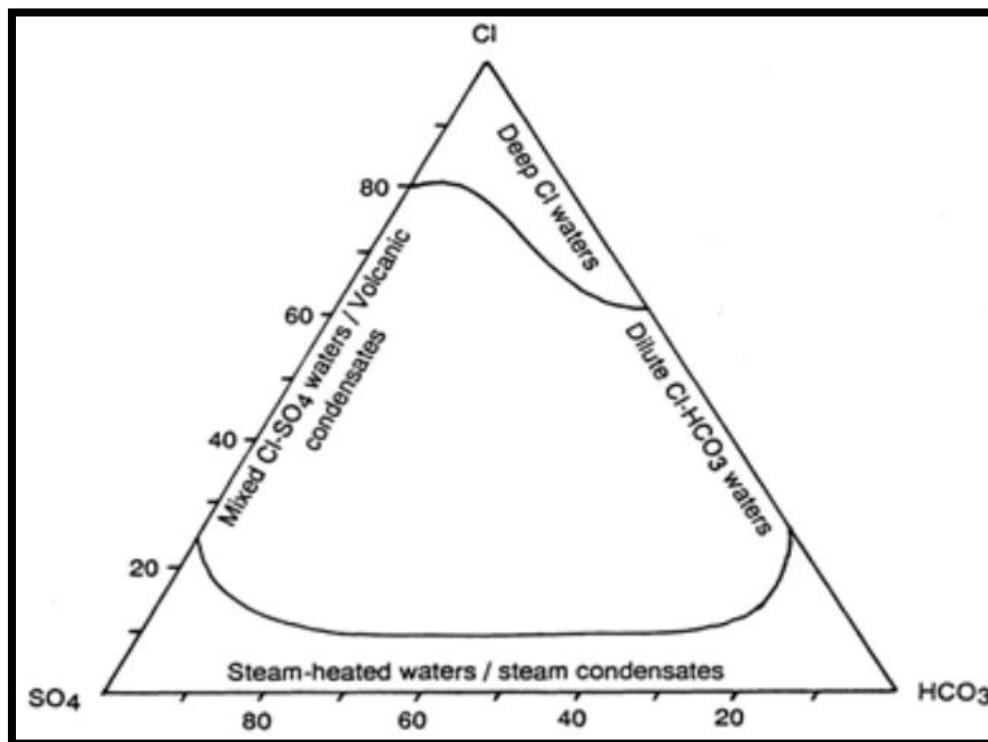
Analisis diagram Piper bertujuan untuk mengetahui sumber unsur terlarut dalam air dan perubahan sifat-sifat air. Plot ini memungkinkan pengelompokan titik data untuk menunjukkan sampel yang memiliki kesamaan (**lihat Gambar 2.15**). Hasil interpretasi yang diperoleh meliputi dominansi Kation-Anion, *weak/strong acid*, dan dominansi alkali/alkali tanah.



**Gambar 2.14** Diagram Piper

### 2.7.2 Analisis Diagram Cl-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>

Analisis diagram Cl-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> bertujuan untuk menentukan tipe fluida panas bumi. Data fluida manifestasi diplot dalam segitiga Cl-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> untuk mengetahui apakah sampel tergolong air klorida (Cl), sulfat (SO<sub>4</sub>), atau bikarbonat (HCO<sub>3</sub>) (**lihat Gambar 2.16**). Adapun secara umum air klorida (Cl) menunjukkan asal air dari reservoir, air sulfat (SO<sub>4</sub>) menunjukkan adanya pengaruh gas magmatik terhadap fluida, dan air bikarbonat (HCO<sub>3</sub>) menunjukkan adanya pengenceran fluida air oleh *shallow water*.

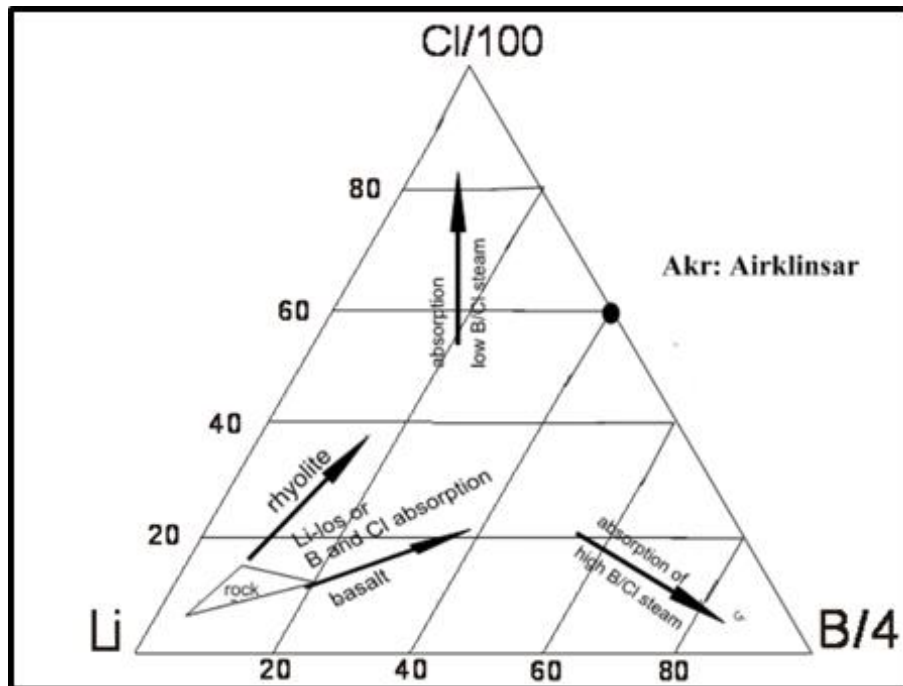


Gambar 2.15 Diagram Cl-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>

### 2.7.3 Diagram Cl-Li-B

Analisis diagram Cl-Li-B (**lihat Gambar 2.17**) bertujuan untuk menentukan asal fluida panas bumi. Kandungan B yang sangat tinggi (hingga ratusan ppm) biasanya mencirikan asosiasi sistem panas bumi dengan batuan sedimen yang kaya zat organik atau evaporit. Unsur Li tergolong dalam *rare alkalies*, mudah bergabung dengan mineral

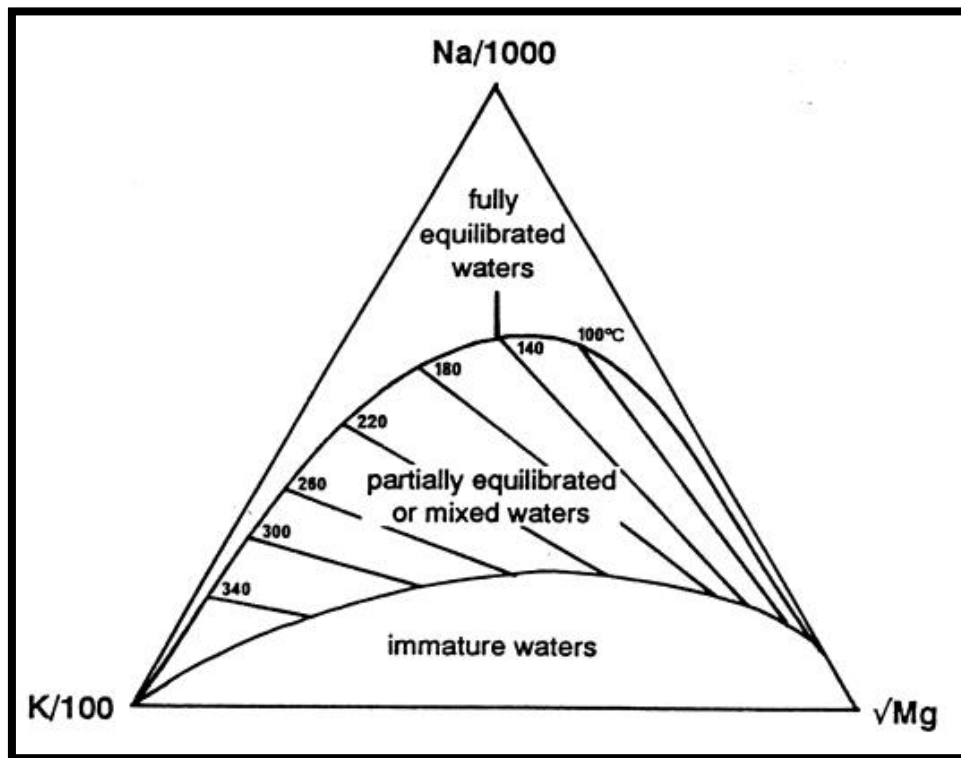
sekunder di mana bila jarak migrasi fluida ke permukaan semakin jauh, konsentrasinya akan semakin berkurang.



Gambar 2.16 Diagram CL-Li-B

#### 2.7.4 Analisis Diagram Na-K-Mg

Diagram segitiga Na-K-Mg (lihat Gambar 2.18) menurut Giggenbach (1988), merupakan salah sebuah metode yang dipakai untuk memperkirakan temperatur reservoir dan untuk mengetahui air yang mencapai keseimbangan dalam litologi. Dalam estimasi temperatur reservoir pada analisis diagram segitiga Na-K-Mg menurut Giggenbach (1988), geotermometer Na-K lebih cocok digunakan pada sampel yang berada mendekati daerah *full equilibrium*. Geotermometer K-Mg lebih cocok digunakan pada daerah *partial equilibrium*, dan geotermometer silika lebih cocok digunakan pada daerah *immature water* (Zhang dkk, 2014 dalam Utami, 2018). Estimasi temperatur reservoir yang baik tetap harus mempertimbangkan unsur lain yang ada pada fluida reservoir terutama fluida yang telah mengalami pengenceran dan keadaan manifestasi panas bumi tersebut. (Aribowo, 2011 dalam Utami, 2018).

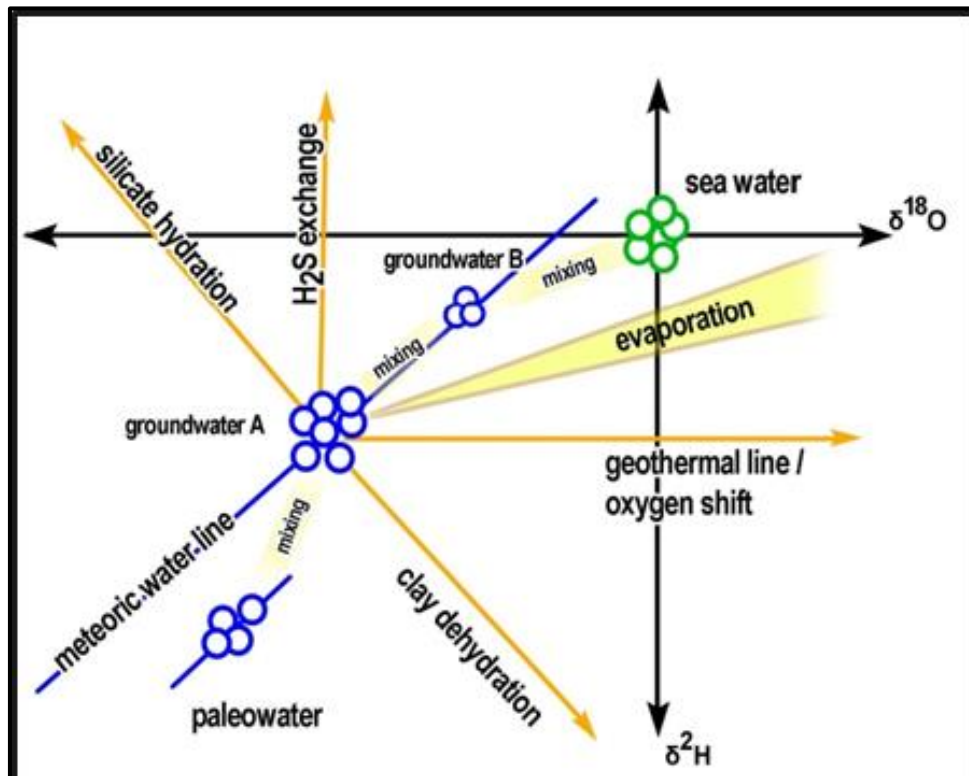


Gambar 2.17 Diagram Na-K-Mg

### 2.7.5 Analisis Isotop D dan $^{18}\text{O}$

Analisis isotop D dan  $^{18}\text{O}$  (lihat Gambar 2.19) bertujuan untuk mengetahui proses dan asal fluida. Craig mendemonstrasikan bahwa apabila fluida berasal dari air meteorik, maka nilai isotop D pada fluida panas bumi mirip dengan nilai *local meteoric water*, meskipun nilai isotop  $^{18}\text{O}$  lebih positif (Craig, dkk, 1956 dan Craig, 1963 dalam Nicholson, 1993). White (1974) meneliti kandungan isotop D dan O pada *juvenile* atau air magmatik berada pada rentang nilai  $^{18}\text{O} +6$  sampai  $+9\text{‰}$  dan D  $-40$  sampai  $-8\text{‰}$ . Adanya pengaruh infiltrasi air laut pada system panas bumi dapat ditunjukkan oleh kandungan isotop D dan  $^{18}\text{O}$  yang tinggi atau mendekati nol pada fluida (Nicholson, 1993). Analisis isotope  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  bertujuan untuk menentukan asal larutan panas bumi atau komponen terlarut dalam larutan.





Gambar 2.18 Diagram Isotop D dan  $^{18}\text{O}$

## 2.8 Perhitungan Potensi Panas Bumi dan Data Ketenagalistrikan

Potensi panas bumi dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu potensi sumber daya dan potensi cadangan. Klasifikasi tersebut berdasarkan pada data yang diperoleh, metode perhitungan, serta tahap pengembangan lapangan. Metode yang paling umum digunakan adalah metode perbandingan dan metoda volumetrik. Ada dua jenis potensi panas bumi, yaitu

### 1) Potensi Panas Bumi Statis

Potensi statis merujuk pada perhitungan energi ketika fluida dalam keadaan statis atau belum diproduksi. Metode yang digunakan untuk potensi statis yaitu metode perbandingan dan volumetrik.

## 2) Potensi Panas Bumi Dinamis

Potensi dinamis merujuk pada keadaan perhitungan energi ketika fluida dalam keadaan dinamis dimana fluida telah mengalami perpindahan panas secara konveksi dan telah diproduksi. Metode yang digunakan untuk potensi dinamis yaitu dengan metode simulasi reservoir.

### 2.8.1 Metode Perbandingan

Metode ini digunakan apabila penyelidikan yang dilakukan berada pada tahap eksplorasi awal dan survei permukaan. Pada tahap ini, belum ada data yang dapat dipergunakan untuk memperkirakan besarnya sumber daya dengan menggunakan metode lain. Oleh karena itu potensi energi sumber daya panas bumi diperkirakan berdasarkan pada potensi lapangan lain yang memiliki kemiripan kondisi geologi (Saptadji, 2003).

Prinsip dasar metode perbandingan adalah menyetarakan besar potensi energi suatu daerah panas bumi yang belum diketahui potensinya dengan lapangan lain yang telah diketahui potensinya dan memiliki kemiripan kondisi geologi. Dengan metoda perbandingan besarnya sumberdaya panasbumi di suatu daerah prospek panasbumi dapat diperkirakan dengan cara sebagai berikut (Saptadji, 2003).

$$H_{el} = A \times Q_{el}$$

dimana

$H_{el}$  = Besarnya sumber daya (MWe).

$A$  = Luas daerah prospek panas bumi (km<sup>2</sup>). Luas prospek pada tahapan ini dapat diperkirakan dari penyebaran manifestasi permukaan dan pelamparan struktur geologinya secara global.

$Q_{el}$  = Daya listrik yang dapat dibangkitkan persatuan luas (MWe/km<sup>2</sup>)

### 2.8.2 Metode Volumetrik

Metoda yang umum digunakan untuk perhitungan sumberdaya panas bumi (resources), banyaknya energi panas bumi yang dapat dimanfaatkan pada kenyataannya (cadangan), dan besarnya energi listrik yang dapat dihasilkannya (potensi listrik tenaga panas bumi) dilakukan berdasarkan kandungan energi panas di dalam batuan dan di dalam fluida (uap dan air) sebagai berikut (Saptadji, 2003).

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Panas yang} \\ \text{terkandung} \\ \text{dalam} \\ \text{reservoir} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Panas yang} \\ \text{terkandung} \\ \text{dalam} \\ \text{batuan} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{Panas yang} \\ \text{tersimpan} \\ \text{dalam} \\ \text{fluida} \\ \hline \end{array}$$

Data yang diperlukan untuk perhitungan adalah

- 1) Data luas daerah;
- 2) Ketebalan;
- 3) Temperatur reservoir;
- 4) Porositas saturasi air dan uap;
- 5) Densitas batuan;
- 6) Daya hantar panas batuan;
- 7) Densitas uap dan air;
- 8) Energi dalam uap dan air.

Berdasarkan data statistik ketenagalistrikan tahun 2021 Sekretariat Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, rasio elektifikasi provinsi Nusa Tenggara Timur adalah sebesar 89,01% dengan rincian total jumlah Rumah Tangga di provinsi NTT adalah 1.501.500 dan jumlah Rumah Tangga Berlistrik adalah 1,336,485. Hal tersebut berarti bahwa masih ada sekitar 165,015 Rumah

Tangga yang belum memiliki akses listrik pada tahun 2021. Rasio elektrifikasi tahun 2021 ini berada di bawah rasio elektrifikasi nasional sebesar 99,45% dan merupakan yang terendah dari 33 provinsi lainnya.

Produksi tenaga listrik di Nusa Tenggara Timur berasal dari jenis pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTPB), pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), dan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTM). Produksi tenaga listrik oleh pembangkit listrik tenaga panas bumi adalah sebesar 56,44 GWh. Produksi listrik tertinggi berasal dari jenis pembangkit listrik tenaga diesel, yaitu sebesar 543.86 GWh.

Sementara itu, penjualan tenaga listrik PLN di Nusa Tenggara Timur terbagi atas kelompok pelanggan rumah tangga, kelompok pelanggan industri, kelompok pelanggan usaha, kelompok pelanggan sosial, kelompok pelanggan gedung pemerintah, dan kelompok pelanggan penerangan jalan umum. Penjualan tenaga listrik tertinggi adalah kelompok pelanggan rumah tangga, yaitu sebesar 749.026.011,67 GWh atau sekitar 64,6%. Penjualan tenaga listrik terendah adalah kelompok pelanggan penerangan jalan umum, yaitu sebesar 17.908.357,76 GWh atau sekitar 1,5%.