

**Kode /Nama Rumpun Ilmu : 111/Fisika**

**LAPORAN  
PENELITIAN HIBAH BERSAING**



**RANCANGAN MODEL PEMANFAATAN ENERGI GEOTERMAL  
DALAM MENDORONG DESA MANDIRI ENERGI DI PROVINSI GORONTALO**

**TIM PENGUSUL**

**KETUA : RAGHEL YUNGINGER, M.SI  
NIDN : 0026107704  
ANGGOTA: INTAN NOVIANTARI MANYOE, S.SI, MT  
NIDN : 0012118202**

**UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO  
OKTOBER 2016**

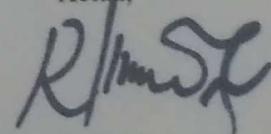
HALAMAN PENGESAHAN

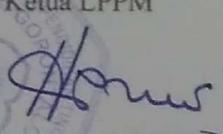
Judul : RANCANGAN MODEL PEMANFAATAN ENERGI  
GEOTERMAL DALAM MENDORONG DESA  
MANDIRI ENERGI DI PROVINSI GORONTALO

**Peneliti/Pelaksana**  
Nama Lengkap : RAGHEL YUNGINGER S.Pd, M.Si  
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Gorontalo  
NIDN : 0026107704  
Jabatan Fungsional : Lektor  
Program Studi : Pendidikan Fisika  
Nomor HP : 085220626075  
Alamat surel (e-mail) : raghel\_ung@yahoo.co.id

**Anggota (1)**  
Nama Lengkap : INTAN NOVIANTARI MANYOE S.Si, M.T  
NIDN : 0012118202  
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Gorontalo  
Institusi Mitra (jika ada) : -  
Nama Institusi Mitra : -  
Alamat : -  
Penanggung Jawab : -  
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun  
Biaya Tahun Berjalan : Rp 50.000.000,00  
Biaya Keseluruhan : Rp 145.384.000,00

Mengetahui,  
Dekan FMIPA  
  
(Prof. Dr. Evi Hulukati, M.Pd)  
NIP/NIK 196005301986032001

Gorontalo, 31 - 10 - 2016  
Ketua,  
  
(RAGHEL YUNGINGER S.Pd, M.Si)  
NIP/NIK 197710262002122003

Menyetujui,  
Ketua LPPM  
  
(Prof. Dr. Fenty U Puluhulawa, SH., M.Hum)  
NIP/NIK 196804091993032001

## RINGKASAN

Manifestasi energy geothermal di Pentadio Resort merupakan salah satu potensi energy *renewable* yang terdapat di Provinsi Gorontalo. Potensi ini menjadi solusi yang dapat dikembangkan dalam mengatasi masalah krisis energy listrik di daerah ini untuk mendukung pertumbuhan ekonomi masyarakat. Oleh karena itu telah dilakukan penelitian dengan tujuan penelitian tahun pertama adalah model sistem hidrotermal panas bumi di Pentadio Resort. Hasil temuan di tahun pertama ini menjadi dasar untuk mencapai tujuan utama penelitian yang akan dihasilkan di tahun kedua yaitu tentang rancangan model pemanfaatan energy panas bumi di Pentadio Resort. Adapun parameter yang telah dianalisis untuk dapat mengetahui sistem hidrotermal panas bumi Pentadio Resort adalah sumber air panas bumi, sistem aliran hidrotermal, tipe air panas bumi dan temperature reservoir. Penelitian ini dilakukan pada lima titik pengukuran yang diukur pada pagi, siang dan malam hari. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode geokimia dan geologi. Sedangkan analisis laboratorium yang digunakan adalah metode AAS. Teknik analisis didukung secara analitik dengan menggunakan klasifikasi diagram Ternary untuk menganalisis karakteristik reservoir bawah permukaan. Berdasarkan hasil pengukuran langsung di lokasi penelitian menunjukkan bahwa suhu air permukaan air panas bumi di Pentadio Resort di atas 50 °C yaitu berkisar dari 64,8°C - 76,7°C dan makin ke arah utara timur laut temperatur air permukaan makin meningkat. Sementara dari analisis geokimia temperatur reservoir berkisar dari 188 °C hingga 208, 11 °C yang berdasarkan kriteria SNI termasuk dalam kategori suhu sedang. Pada MAP 1 sampai MAP 3 terjadi peningkatan rasio  $\text{HCO}_3 / \text{SO}_4$ , sementara pada pada MAP 4 dan MAP 5 terjadi penurunan rasio  $\text{HCO}_3 / \text{SO}_4$  yang menunjukkan bahwa aliran fluida bergerak dari *upflow* ke *outflow* ke arah bagian Selatan Tenggara. Dari hasil analisis geokimia juga menunjukkan bahwa kelima titik air panas memiliki rasio Cl/B yang nilai perbandingannya kecil yaitu antara 0,9 – 1.0. Nilai perbandingan Cl/B yang relative sama ini mengindikasikan bahwa fluida kelima titik air panas ini berasal dari reservoir yang sama. Disamping itu kandungan unsur kimia Boron (B) lebih besar dari kandungan Cl dan Li yang menunjukkan bahwa terjadi interaksi fluida panas dengan batuan sampling berupa batuan sedimen selama di perjalanan menuju permukaan. Hasil analisa ini didukung dengan persebaran litologi di lokasi penelitian yang didominasi batuan sedimen. Sistem aliran fluida memiliki *Zona Upflow* dan pada proses transportasi fluida menuju permukaan fluida telah mengalami proses pencucian dan pelarutan dengan fluida air tanah, namun tidak mengindikasikan adanya *mixing* dengan air laut. Tipe air panas bumi di daerah ini termasuk pada tipe bikarbonat yang ditunjukkan besarnya kandungan anion  $\text{HCO}_3$ , dan kandungan Cl relative rendah dibandingkan dengan  $\text{SO}_4$ , pH juga relative mendekati netral.

Keywords : Rancangan Model Pemanfaatan, Energi Panas Bumi, Energi Listrik, Desa Mandiri Energi.

## PRAKATA



Syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT, kami telah dapat menyelesaikan penelitian Hibah Bersaing di Tahun Pertama ini. Penelitian Tahun Pertama ini bertujuan menentukan model sistem hidrotermal panas bumi Pentadio Resort yang merupakan kajian penting dalam merancang model pemanfaatan energy panas bumi di Pentadio Resort Provinsi Gorontalo. Penelitian ini telah berhasil dilaksanakan dan hasilnya telah tim peneliti laporkan dalam bentuk laporan akhir penelitian untuk tahun pertama.

Dalam melaksanakan penelitian ini tidak terdapat kendala yang signifikan dihadapi karena adanya kerja sama tim peneliti dalam melaksanakan seluruh rangkaian penelitian sehingga penelitian dapat terlaksana dengan lancar dan baik. Namun dalam melaksanakan penelitian ini tim peneliti telah dibantu oleh beberapa pihak. Oleh karena itu peneliti mengucapkan terima kasih kepada mahasiswa Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo yang telah turut menjadi tim survey, pemerintah Kabupaten Gorontalo yang telah mengizinkan pelaksanaan penelitian di tempat wisata air panas Pentadio Resort, Pimpinan LPPM Universitas Negeri Gorontalo, dan seluruh pimpinan UNG yang telah mewedahi dan mengawal kelancaran administrasi penelitian ini.

Hasil penelitian ini diharapkan menjadi bahan masukan dan pertimbangan kepada pemerintah daerah untuk mengembangkan pemanfaatan energy geotermal di Provinsi Gorontalo. Bagi pembaca diharapkan hasil penelitian ini dapat menambah pengetahuan tentang sistem energy panas bumi. Semoga hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan.

Ketua Tim Peneliti



Raghel Yunginger, M.Si

## DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	
Ringkasan .....	i
Prakata .....	ii
Daftar Isi .....	iii
Daftar Tabel .....	iv
Daftar Gambar .....	v
Daftar Lampiran .....	vi
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang dan Permasalahan yang akan Diteliti .....	1
1.2 Temuan yang Ditargetkan .....	2
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
2.1 Tinjauan Energi Panas Bumi .....	3
2.2 Sistem Hidrotermal Panas Bumi .....	3
2.3 Karakteristik Model Reservoir Panas Bumi .....	5
2.4 Sistem Pemanfaatan Energi Panas Bumi .....	8
2.5 Struktur Geologi dan Aktivitas Tektonik Provinsi Gorontalo.....	9
<b>BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT</b> .....	16
<b>BAB IV. METODE PENELITIAN</b> .....	18
<b>BAB V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b> .....	22
5.1 Analisis Geologi .....	22
5.2 Analisis Geokimia .....	26
5.3 Penentuan Sumber Air Panas Bumi dan Karakteristik Aliran Fluida.....	30
5.4 Tipe Air Panas Bumi Pentadio Resort .....	35
5.5 Temperatur Reservoir .....	37
<b>BAB VI. RENCANA TAHAP BERIKUTNYA</b> .....	41
<b>BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	44
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Road Map Penelitian Tahun 2009-2018 .....	15
Tabel 5.1	Data Fisika Air Panas Bumi .....	26
Tabel 5.2	Data Kimia Air Panas Bumi .....	28
Tabel 5.3	Konversi Kandungan Kimia Air dalam Unit <i>meq</i> .....	29
Tabel 5.4	Data Analisis <i>Ion Balance</i> Kimia Air .....	29
Tabel 5.5	Rasio Cl/Mg, Mg/Ca, dan Na/Mg .....	34
Tabel 5.6	Data Rasio HCO <sub>3</sub> dan SO <sub>4</sub> .....	36
Tabel 5.7	Hasil Analisis Geotermometer Na-K .....	37
Tabel 5.8	Klasifikasi Temperatur Reservoir Berdasarkan SNI .....	38
Tabel 5.9	Data Hasil Analisis Geotermometer K-Mg .....	38

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem Panas pada Reservoir Panas Bumi .....	4
Gambar 2.2	Peta Geologi Gorontalo .....	10
Gambar 4.1	Peta Lokasi Penelitian di Pentadio Resort .....	18
Gambar 4.2	Foto Proses Persiapan Penelitian .....	19
Gambar 4.3	Foto Proses Pengukuran Parameter Fisik .....	19
Gambar 4.4	Foto Proses Pengamatan dan Pengukuran Aspek Geologi .....	20
Gambar 5.1	Satuan Morfologi Dataran dan Pegunungan Terjal Selatan .....	22
Gambar 5.2	Satuan Pegunungan Terjal Bagian Utara .....	23
Gambar 5.3	Singkanan pada Daerah Penelitian .....	23
Gambar 5.4	Satuan Batupasir Gampingan .....	24
Gambar 5.5	Satuan Batu Gamping .....	24
Gambar 5.6	Satuan Batu Pasir .....	25
Gambar 5.7	Persebaran Temperatur Panas Bumi Pentadio Resort .....	27
Gambar 5.8	Grafik Data Kimia Air Panas Bumi Pentadio Resort .....	28
Gambar 5.9	Diagram Perbandingan Cl/B Air Panas Bumi Pentadio Resort.....	30
Gambar 5.10	Diagram Ternary Cl/100-2Li-B5 Air Panas Bumi Pentadio Resort .....	31
Gambar 5.11	Diagram Rasio NA/K .....	32
Gambar 5.12	Diagram Rasio B/Li .....	33
Gambar 5.13	Diagram Rasio CL/Mg, Mg/Ca, Na/Mg .....	34
Gambar 5.14	Triplot Cl-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> .....	36

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Personalia Tenaga Peneliti Beserta Kualifikasinya .....	46
Lampiran 2	Susunan Organisasi Tim Peneliti dan Pembagian Tugas .....	55
Lampiran 3	Makalah Seminar Nasional Energi .....	56

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Dan Permasalahan Yang Akan Diteliti

Provinsi Gorontalo merupakan salah satu provinsi termuda yang terus melakukan pembangunan dan kegiatan perekonomian di berbagai sektor. Meningkatnya kegiatan perekonomian tentunya harus didukung oleh ketersediaan energy listrik. Disamping itu pertumbuhan penduduk di Provinsi Gorontalo terus mengalami peningkatan seperti pada angka proyeksi penduduk pada tahun 2014, jumlah penduduk di Provinsi Gorontalo sebanyak 1.115.633 jiwa. Jumlah ini meningkat sebesar 1,61 % dari pada tahun 2013 yang sebelumnya sebesar 1.097.990 jiwa. Kepadatan penduduk di Provinsi Gorontalo ini mencapai 90 jiwa/km<sup>2</sup> dari luas Gorontalo 12.435 km<sup>2</sup> (BPS Provinsi Gorontalo, 2015). Peningkatan pertumbuhan penduduk ini diikuti juga dengan kegiatan perekonomian dan kebutuhan vital lainnya yang sangat membutuhkan pasokan energy listrik. Tentunya secara langsung keadaan ini akan meningkatkan pemakaian BBM yang keberadaannya juga semakin berkurang. Bahkan berdasarkan rasio elektrifikasi bahwa kebutuhan energy listrik pada tahun 2015 dapat naik 3,81 kali lipat dibandingkan tahun 2000. Peningkatan kebutuhan tenaga listrik rata-rata sebesar 10,21 % per tahun, dan pada tahun 2015 diperlukan tenaga listrik sebesar 314,8 GWh. Dengan demikian diperkirakan bahwa beban puncak terjadi tahun 2015 dapat mencapai 71,6 MW atau 3,73 kali dibandingkan beban puncak tahun 2000 sebesar 19,2 MW (Wahid, 2004).

Untuk membantu mengatasi keterbatasan pasokan listrik di Provinsi Gorontalo, maka perlu ada upaya untuk mencari energy alternative yang tersedia di daerah ini sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energy pembangkit listrik. Salah satu potensi energy alternative yang renewable adalah energy panas bumi atau geothermal yang terdapat di beberapa *hot spot* Provinsi Gorontalo yang kemungkinan berpotensi untuk digunakan sebagai energy alternative untuk pembangkit listrik. Sekitar 110 MW potensi energy geothermal di Gorontalo yang tersedia namun belum dimanfaatkan untuk pengembangan energy listrik. Salah satu lokasi potensi energy geothermal di Gorontalo dengan manifestasinya berupa air panas adalah kawasan wisata Pentadio Resort. Sepanjang tahun manifestasi air panas bumi di Pentadio Resort tersedia, bahkan suhunya relative stabil (Yunginger, 2010). Namun sampai saat ini potensi tersebut

hanya dimanfaatkan sebagai tempat wisata dan pemandian, dan belum dimanfaatkan untuk energy pembangkit tenaga listrik dan manfaat langsung lainnya. Oleh karena itu penting untuk melakukan kajian yang lebih dalam dan komprehensif terhadap potensi energy panas bumi di Pentadio Resort sehingga menjadi pertimbangan bagi pemerintah dalam mengembangkan energy panas bumi.

Sebagai upaya untuk menemukenalkan potensi energy panas bumi di Pentadio Resort maka peneliti akan merancang model pemanfaatan energy geothermal ini baik untuk pemanfaatan langsung maupun pemanfaatan tidak langsung. Rancangan model pemanfaatan energy geothermal dirancang untuk mendorong adanya desa mandiri energy sehingga dapat mengurangi krisis energy listrik di Gorontalo. Sebagai langkah awal untuk mendapatkan model pemanfaatan energy panas bumi ini, maka peneliti telah melakukan penelitian tahun pertama untuk Hibah Bersaing Tahun 2016 yang menentukan model karakteristik sistem hidrotermal air panas bumi Pentadio Resort dengan metode analisis geokimia dan geologi.

## **1.2. Temuan yang Ditargetkan dan Penerapannya Dalam Rangka Menunjang Pembangunan dan Pengembangan IPTEKS-SOSBUD**

Krisis energy listrik yang cukup terasa di Gorontalo, membutuhkan perhatian dan penanganan yang nyata untuk memenuhi kebutuhan listrik bagi masyarakat. Oleh karena itu melalui penelitian ini temuan yang ditargetkan adalah rancangan model pemanfaatan energy geothermal yang ada di Pentadio Resort. Tentunya untuk mencapai target temuan ini maka penting untuk mengetahui model aliran hidrotermalnya, serta besarnya kemampuan reservoir dalam memproduksi dan memasok uap yang dibutuhkan untuk pembangkit listrik. Dengan adanya temuan-temuan ini, maka karakteristik model reservoir panas bumi yang terdapat di Pentadio Resort dapat ditemukan juga, dan dapat dirancang model pemanfaatan energinya baik secara langsung maupun tidak langsung utamanya untuk pembangkit listrik. Disamping itu dalam rancangan model pemanfaatan energy geothermal ini akan diketahui bentuk teknologi injeksi pada tahapan eksplorasi dan eksploitasi yang lebih efektif dan efisien dalam menciptakan wilayah mandiri energy. Hal ini akan memberikan dampak positif bagi masyarakat dalam melangsungkan kegiatan ekonomi yang dapat mempercepat pertumbuhan ekonomi Provinsi Gorontalo.

## **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Tinjauan Energi Panas Bumi**

Keberadaan sumber daya panas bumi di suatu daerah umumnya ditunjukkan oleh adanya manifestasi panas bumi di permukaan, seperti mata air panas, kubangan lumpur panas (*mud pools*), kolam air panas, geyser dan sebagainya. Itu terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan. Tiga komponen yang berperan dalam pembentukan kenampakan hidrotermal pada permukaan bumi adalah; 1). Air, 2). Panas, 3). Permeabilitas batuan yang dilalui oleh air sehingga air dapat mengalir di bawah permukaan dan naik ke permukaan tanah (Heslear dkk, 2009).

Energi panas bumi dapat menghasilkan listrik yang reliable dan hampir tidak mengeluarkan gas rumah kaca. Citrosiswoyo (2008:6) menekankan bahwa beberapa keunggulan sumber panas bumi adalah : 1) menyediakan tenaga listrik yang andal dengan pembangkit yang tidak memakan tempat, 2) terbaru dan berkesinambungan, 3) memberikan tenaga beban dasar yang konstan, 4) dapat mengkonfersi bahan bakar, 5) memberikan keuntungan ekonomi secara lokal, 6) dapat dikontrol secara jarak jauh, 7) mengurangi polusi dari bahan bakar fosil.

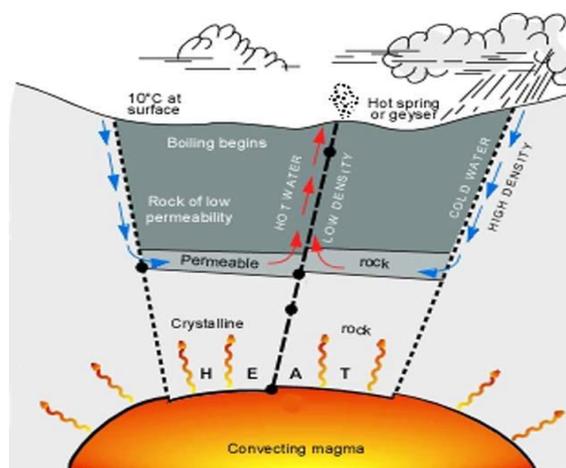
### **2.2. Sistem Hidrotermal Panas Bumi**

Sistem panas bumi mencakup daerah di permukaan bumi dimana dalam batas tertentu terdapat energi panas bumi dalam suatu kondisi hidrologi batuan. Energi panas bumi adalah energi panas yang keluar dari dalam bumi yang terkandung pada batuan dan fluida yang mengisi rekahan dan pori batuan pada kerak bumi. Fluida dan batuan reservoir dalam sistem panas bumi biasanya saling bereaksi mengakibatkan perubahan fase padat dan cair, sehingga menghasilkan mineral baru. Perubahan fase ini disebabkan adanya distribusi suhu yang berbeda-beda dalam reservoir panas bumi. Secara umum bentuk alterasi hidrotermal meliputi mineralogi, tekstur, dan respon kimia batuan termal maupun lingkungan kimianya berubah yang ditandai oleh kenampakan air panas, uap air, dan gas (Hadi, dkk., 2005).

Sumber energi panas bumi yang dipanaskan oleh magma dalam bumi, menghantarkan panas secara konduktif pada batuan di sekitarnya. Kemudian panas tersebut mengakibatkan aliran konveksi fluida hidrotermal di dalam pori-pori batuan,

yang kemudian bergerak ke atas. Namun adanya sifat impermeabilitas batuan yang dilalui oleh fluida hidrotermal, menyebabkan fluida ini tidak sampai ke permukaan bumi. Fluida hidrotermal yang tidak sampai ke permukaan bumi terakumulasi dalam suatu lokasi yang disebut dengan reservoir panas bumi. Dengan adanya lapisan impermeable tersebut, maka hidrotermal yang terdapat pada reservoir panas bumi terpisah dengan *groundwater* yang berada lebih dangkal (Suparno; 2009: 24).

Dengan demikian pada dasarnya reservoir panas bumi terbentuk dari hasil perpindahan panas yang terjadi, baik secara konduksi, yaitu melalui batuan, maupun secara konveksi atau fluida (DiPippo, dkk., 2012). Akibat gaya gravitasi, air selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak ke bawah. Namun, apabila air tersebut kontak dengan satu sumber panas, maka akan terjadi perpindahan panas. Sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan. Keadaan ini menyebabkan air yang lebih panas bergerak ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah. Dari sini, akan terjadi sirkulasi air atau arus konveksi. Adapun system hidrotermal ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1 Sistem panas pada reservoir panas bumi  
(Sumber : Dickson 2004, dalam Suparno 2009)

### 1. Sistem dominasi uap atau *vapour dominated system*

Sistem dominasi uap atau *vapour dominated system* yaitu sistem panas bumi dimana sumur-sumurnya memproduksi uap kering atau uap basah karena rongga-rongga

batuan reservoirnya sebagian besar berisi uap panas. Dalam sistem dominasi uap, diperkirakan uap mengisi rongga-rongga, saluran terbuka atau rekahan-rekahan, sedangkan air mengisi pori-pori batuan. Karena jumlah air yang terkandung di dalam pori-pori relatif sedikit, maka saturasi air mungkin sama atau hanya sedikit lebih besar dari saturasi air konat ( $S_{wc}$ ) sehingga air terperangkap dalam pori-pori batuan dan tidak bergerak.

## **2. Sistem dominasi air atau *water dominated system***

Sistem dominasi air atau *water dominated system* yaitu sistem panas bumi dimana sumur-sumurnya menghasilkan fluida dua fasa berupa campuran uap air. Dalam sistem dominasi air, diperkirakan air mengisi rongga-rongga, saluran terbuka atau rekahan-rekahan.

### **2.3. Karakteristik Model Reservoir Panas Bumi**

Reservoir adalah suatu batuan yang mempunyai porositas dan permeabilitas yang baik serta mengandung fluida panas akibat adanya panas bumi. Reservoir umumnya dilapisi oleh batuan penutup (*caprock*) yang *impermeabel* dan berhubungan dengan permukaan area resapan. Pada umumnya, reservoir sering dijumpai berasal dari batuan vulkanik muda, walaupun tidak menutup kemungkinan jenis batuan lainnya. Fluida pada umumnya berupa air meteorik (berasal dari permukaan bumi), dan adanya air magmatik bersama *volatile* sangat mempengaruhi komposisi kimia. Pada reservoir tersebut air meteorik dapat mengganti fluida yang keluar dari reservoir secara alamiah (*hot springs*) atau fluida yang keluar melalui lubang bor. Air meteorik akan berada dalam fasa uap atau fasa cair, tergantung kepada besarnya tekanan dan temperatur. Air ini terkadang membawa unsur kimia dan gas seperti  $CO_2$ ,  $H_2S$  dan lain-lain (Mardiana : 2007 :6).

Menurut Mahon, dkk (1997)., Saptadji (2009)., DiPippo, dkk (2012) bahwa terdapat beberapa jenis reservoir panas bumi, yaitu ;

1. Reservoir hidrotermal (*hydrothermal reservoir*),
2. Reservoir bertekanan tinggi (*geopressured reservoir*).
3. Reservoir batuan panas kering (*hot dry rock reservoir*) dan
4. Reservoir magma (*magma reservoir*).

Dari keempat reservoir tersebut, reservoir panas bumi yang paling banyak dimanfaatkan hingga saat ini adalah reservoir dari sistem hidrotermal, yaitu sistem panas bumi dimana reservoirnya mengandung uap, air atau campuran keduanya, tergantung tekanan dan temperatur reservoirnya. Apabila temperatur reservoir lebih rendah dari temperatur saturasi atau temperatur titik didih air pada tekanan reservoir tersebut, maka fluida hanya terdiri dari satu fasa saja, yaitu air. Apabila temperatur lebih tinggi dari temperatur saturasi atau temperatur titik didih air pada tekanan reservoir tersebut, maka fluida hanya terdiri satu fasa saja, yaitu uap. Pada kondisi tersebut, uap disebut sebagai *superheated steam*. Apabila tekanan dan temperatur reservoir sama dengan tekanan dan temperatur saturasi air maka fluida terdiri dari dua fasa, yaitu campuran uap dan air (Saptadji, 2009).

Sementara itu menurut Nicholson (1991., Anderson, dkk, (2000) menjelaskan tentang sistem dominasi uap berupa aliran uap dari *boiling zone*, yaitu batuan berisi air mendidih, terjadi hanya pada area atau tempat terbatas. Batuan sumber panas terbatas tidak mencakup seluruh area reservoir. Dari tempat tersebut uap masuk ke dalam reservoir dan mengalir secara lateral. Karena kontak dengan batuan berpemabilitas rendah, terjadi kehilangan panas karena konduksi dan terjadi kondensasi. Kondensasi akan cenderung mengalir ke bawah dan selanjutnya menjadi panas kembali setelah kontak dengan sumber panas.

Saat ini di Indonesia banyak memanfaatkan energy panas bumi berupa reservoir hidrotermal karena mengandung uap, air, atau campuran antara uap dan air. Saptadji (2009) menambahkan apabila temperature lebih tinggi dari temperature saturasi dari pada tekanan, maka fluida hanya terdiri dari satu fasa yaitu uap. Apa bila tekanan dan temperature reservoir sama dengan tekanan dan temperatur saturasi air, maka fluida terdiri dari dua fasa yaitu campuran air dan uap. Perbedaan karakteristik system panas bumi di suatu daerah dapat terjadi karena adanya perbedaan struktur geologi, sifat batuan, intensitas panas, dan kandungan kimia dalam air dan gas. Beberapa ahli geothermal diantaranya Heasler, dkk (2009)., Anderson, dkk (2000) dan Hadi, dkk (2005) membedakan tipe air panas bumi berdasarkan konsentrasi ion yang terdapat dalam air. Tipe air panas tersebut adalah :

1. Air alkali klorida yang dicirikan dengan kandungan klorida yang tinggi, kandungan Na dan K yang tinggi, kandungan SiO<sub>2</sub> yang cukup tinggi dan pH sekitar 6-7. Umumnya ditemukan pada sistem bertemperatur tinggi (>225<sup>0</sup>C)
2. Air asam sulfat yang dicirikan dengan kandungan ion sulfat (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>) yang tinggi, kandungan klorida (Cl<sup>-</sup>) dan karbonat (CO<sub>3</sub><sup>-</sup>) yang sangat rendah, dan pH yang rendah yaitu sekitar 2-3. Manifestasi ini umumnya ditemukan berupa kolam lumpur.
3. Air asam sulfat-klorida yang dicirikan dengan kandungan ion sulfat (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>) dan klorida (Cl<sup>-</sup>) yang tinggi dengan pH sekitar 2-5.
4. Air karbonat dicirikan dengan kandungan ion karbonat (CO<sub>3</sub><sup>-</sup>) yang tinggi, kandungan (Cl<sup>-</sup>) yang rendah dengan pH 5-6.

Untuk mendapatkan pemanfaatan energi panas bumi yang lebih maksimal dan efektif ditekankan lagi oleh Hadi, dkk (2005) bahwa pemanfaatan energi panas bumi yang paling efisien adalah dengan memanfaatkan batuan terobosan yang masih panas dan relatif dangkal, yang umumnya terletak di sekitar gunung api, dan daerah yang berada di sepanjang batas-batas lempeng tektonik, sehingga menyebabkan terdapatnya kegiatan tektonik aktif yang menghasilkan gradien suhu yang tinggi.

Sementara dalam SNI (1999) bahwa klasifikasi reservoir dalam asumsi yang digunakan dalam estimasi potensi energi panas bumi yaitu :

1. Sistem panas bumi bertemperatur rendah, yaitu suatu sistem yang reservoirnya mengandung fluida dengan temperatur lebih kecil dari 125<sup>0</sup>C.
2. Sistem/reservoir bertemperatur sedang, yaitu suatu sistem yang reservoirnya mengandung fluida bertemperatur antara 125<sup>0</sup>C - 225<sup>0</sup>C.
3. Sistem/reservoir bertemperatur tinggi, yaitu suatu sistem yang reservoirnya mengandung fluida bertemperatur diatas 225<sup>0</sup>C.

Untuk mengetahui karakteristik reservoir panas bumi maka DiPippo (2012) menjelaskan lima sasaran yang perlu diidentifikasi yaitu :

1. Menentukan posisi batuan panas (*hot rock*)
2. Mengestimasi atau memperkirakan volume reservoir (kedalaman, ketebalan dan luas reservoir), tekanan dan temperatur fluida yang berada di dalamnya, serta sifat fluida yang terkandung di dalamnya.

3. Memprediksi apakah fluida yang bakal keluar di sumur produksi berupa uap kering (*dry steam*) atau liquid atau campuran dua fasa (*uap dan liquid*)
4. Menentukan sifat kimia dari fluida panas bumi
5. Memperkirakan potensi energi yang bias dihasilkan hingga minimal 20 tahun ke depan.

Syarat mendapatkan energi panas bumi tersebut, perlu adanya reservoir air bawah permukaan yang dipanaskan oleh batuan beku panas atau magma yang disebut sebagai sistem hidrotermal. Namun lapangan panas bumi di setiap tempat mempunyai kondisi yang berbeda-beda karakteristiknya. Keanekaragaman tersebut terjadi pula pada komposisi kimia dalam fluida yang mengalir dari reservoir ke permukaan. Komposisi kimia tersebut sering kali dapat digunakan untuk memperkirakan suhu reservoir. Sehingga analisis tentang karakteristik model reservoir panas bumi merupakan bagian yang sangat penting untuk meminimalisir kesulitan dan kerugian dalam pemanfaatan sumber energi panas bumi pada manifestasi penyelidikan.

#### **2.4 Sistem Pemanfaatan Energi Panas Bumi**

Air dan uap panas yang keluar ke permukaan bumi dapat dimanfaatkan secara langsung sebagai pemanas. Selain bermanfaat sebagai pemanas, panas bumi dapat dimanfaatkan sebagai tenaga pembangkit listrik. Air panas alami bila bercampur dengan udara akan menimbulkan uap panas (*steam*). Air panas dan uap inilah yang kemudian dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit tenaga listrik. Agar panas bumi dapat dikonversi menjadi energi listrik maka diperlukan pembangkit (*power plants*). Reservoir panas bumi biasanya diklasifikasikan ke dalam dua golongan yaitu yang bersuhu rendah ( $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), yang dapat digunakan untuk sumber pembangkit tenaga listrik dan dikomersialkan adalah yang masuk kategori *high temperature*. Namun dengan perkembangan teknologi, sumber panas bumi dengan kategori *low temperature* juga dapat digunakan asalkan suhunya melebihi  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pembangkit listrik dari panas bumi dapat beroperasi pada suhu yang relatif rendah yaitu berkisar antara 50 sampai dengan  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Saptajdi, 2009).

Berdasarkan studi pendahuluan yang telah peneliti lakukan sebelumnya pada bidang geotermal khususnya di Gorontalo bahwa di Gorontalo terdapat titik-titik

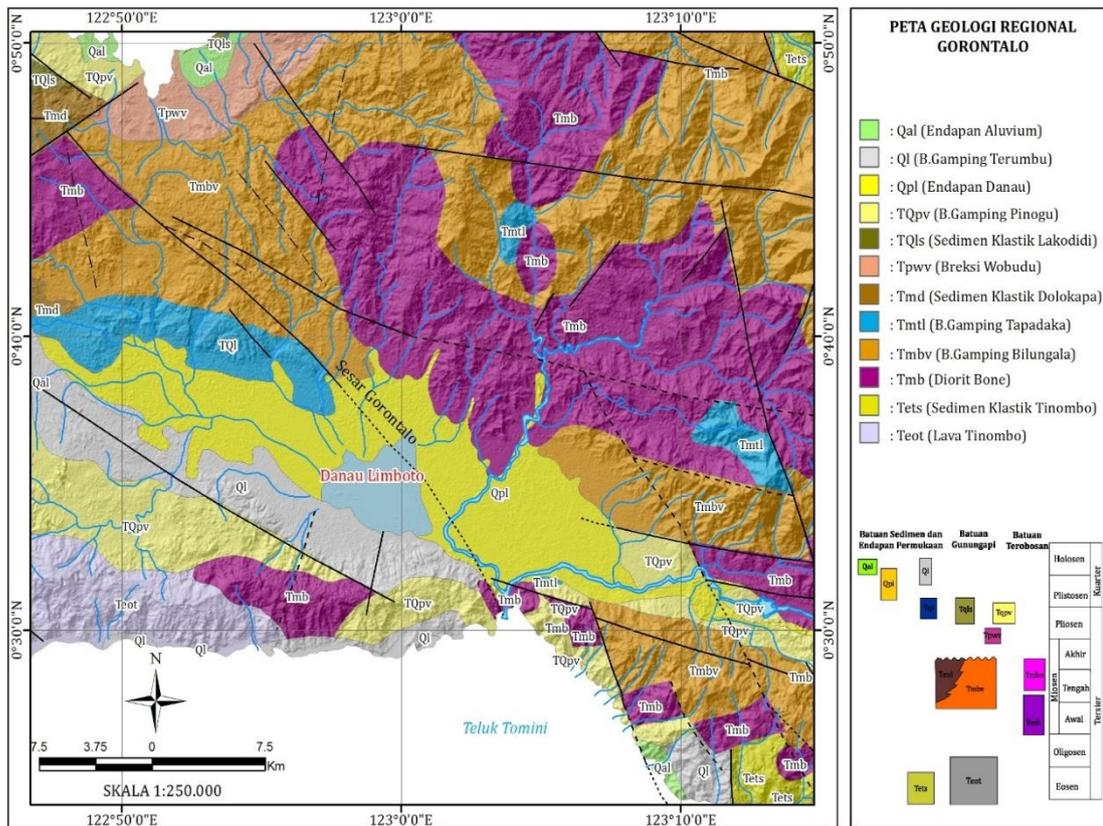
manifestasi panas bumi yaitu berupa air panas bumi khususnya yang terdapat di Kabupaten Bone Bolango, dan Pentadio Resort Kabupaten Gorontalo. Pengukuran temperatur permukaan menunjukkan bahwa lokasi penyelidikan memiliki reservoir yang bertemperatur rendah yaitu sekitar  $64^{\circ}\text{C} - 79^{\circ}\text{C}$  (Yunginger dkk, 2010 : 193). Disamping itu diperoleh juga bahwa manifestasi air panas bumi yang terdapat di Pentadio Resort relatif stabil dibandingkan dengan manifestasi panas bumi yang terdapat di Desa Bulontala Timur Kabupaten Bone Bolango.

Untuk melakukan studi awal di atas peneliti telah melakukan survey di daerah yang memiliki prospek potensi panas bumi. Pencarian terhadap manifestasi panas bumi sebagai langkah awal yang telah peneliti lakukan, kemudian dilanjutkan dengan penentuan manifestasi panas bumi dan prospeknya sebagai sumber energi alternatif untuk tenaga listrik. Beberapa metode penelitian telah digunakan dalam menganalisis prospek geotermal khususnya pada metode geofisika yang menggunakan metode geomagnetik dan metode geolistrik.

## **2.5. Struktur Geologi dan Aktivitas Tektonik Provinsi Gorontalo**

Daerah Sulawesi secara geologi berada dalam daerah yang kompleks secara tektonik yang berada diantara tiga lempeng utama (Eurasia, Indo-Australia dan Samudera Pasifik/ Filipina). Daerah Gorontalo merupakan bagian dari lajur volkano-plutonik Sulawesi Utara yang dikuasai oleh batuan gunung api berumur Eosen sampai Pliosen, batuan plutonik Neogen, serta batuan sedimen yang umumnya materialnya berasal dari gunung api (Sidarto dkk, 2013).

Berdasarkan peta geologi lembar Tilamuta (S. Bachri, dkk, 1993) dan lembar Kotamobagu (Apandi, dkk, 1997) dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung yang telah dimodifikasi oleh peneliti (Gambar 2.2) wilayah Gorontalo berada pada bagian lengan utara Sulawesi, dimana sebagian besar daerah ini ditempati oleh satuan batuan Gunung Api Tersier. Di wilayah bagian tengah daerah ini dijumpai dataran rendah berbentuk memanjang yang terbentang dari arah barat-barat laut ke timur-tenggara yang diduga semula merupakan danau dengan pusatnya berada di Danau Limboto.



Gambar 2.2. Peta Geologi Gorontalo. Dimodifikasi kembali dari sumber (Bakri, dkk., 1993, dan Apandi, dkk, 1997)

### Geologi Daerah Cekungan Limboto

Susunan batuan di daerah Cekungan Limboto disusun oleh beberapa satuan batuan yang berumur muda hingga tua , terdiri dari:

1. Endapan Danau (Qpl), terdiri dari: batu lempung, batu pasir, dan kerikil. Satuan batuan ini umumnya didominasi oleh oleh batu lempung yang berwarna abu-abu kecoklatan, setempat mengandung sisa tumbuhan dan lignit, di beberapa tempat terdapat batu pasir berbutir halus hingga kasar, serta kerikil. Pada batu pasir secara setempat terdapat struktur sedimen silang siur bersekala kecil. Umumnya satuan batuan ini masih belum mampat dan diperkirakan berumur Pliosen hingga Holosen. Sebaran satuan batuan ini menempati daerah dataran yang terhampar di sekitar Danau Limboto. Ketebalan satuan batuan ini mencapai 94 meter dan dialasi oleh batuan diorit (Apandi,dkk., 1997).

2. Batu Gamping Terumbu (QI), terdiri dari: batu gamping korat. Umur dari satuan batuan ini diperkirakan Pliosen Akhir hingga Holosen dengan ketebalan mencapai 100 meter, sedangkan sebarannya terdapat di daerah dekat danau Limboto dan pantai selatan.
3. Batu Gamping Klastik (TQI), terdiri dari : kalkarenit, kalsirudit dan batu gamping koral: Satuan batuan ini diperkirakan berumur Pliosen Akhir hingga Pliosen Awal dengan ketebalan antara 100 hingga 200 meter, sedangkan sebarannya terdapat di bagian utara cekungan yaitu sebelah barat Danau Limboto.
4. Batuan Gunungapi Pinogu (TQpv), terdiri dari : perselingan aglomerat, tuf dan lava. satuan batuan ini! diperkirakan berumur Pliosen Akhir hingga Pliosen Awal dengan ketebalan mencapai 250 meter, sedangkan sebarannya terdapat di sebelah selatan dan sebelah barat Cekungan Limboto dan di beberapa tempat membentuk bukit bukit terpisah.
5. Formasi Tinombo (Teot), terdiri dari : lava basal, lava andesit, breksi gunung api, dengan selingan batu pasir wake, batu pasir hijau, batu lanau, batu gamping merah, batu gamping kelabu, dan sedikit batuan termalihkan. Umur dari satuan batuan ini diperkirakan Eosen hingga Miosen Awal. Satuan batuan dari formasi ini terdapat di daerah sebelah selatan Tolotio (bagian timur).
6. Batuan Gunungapi Bilungala (Tmbv), terdiri dari : breksi gunungapi, tuf dan lava. satuan batuan ini diperkirakan berumur Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir dengan tebal lebih dari 1.000 meter. Sebaran dari satuan batuan ini terdapat di bagian timur Gorontalo, yaitu di daerah Tolotio menerus ke arah timur.

## **Geomorfologi**

Wilayah Gorontalo yang ditempati oleh Cekungan Air Tanah Limboto berada pada bagian lengan utara Sulawesi, dimana sebagian besar daerah ini ditempati oleh satuan batuan Gunung Api Tersier. Di wilayah bagian tengah daerah ini dijumpai dataran rendah berbentuk memanjang yang terbentang dari arah barat-barat laut ke timur-tenggara yang diduga semula merupakan danau dengan pusatnya berada di Danau Limboto.

Wilayah Cekungan Limboto dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) satuan morfologi, yaitu: satuan morfologi satuan pegunungan berlereng terjal, satuan morfologi perbukitan bergelombang dan satuan morfologi dataran rendah.

Satuan morfologi pegunungan berlereng terjal, terutama menempati wilayah bagian tengah dan utara wilayah Gorontalo, yang menjadi pembatas sebelah timur dan sebelah utara dari Cekungan Air Tanah Limboto yaitu dengan beberapa puncaknya berada di Pegunungan Tilongkabila, antara lain : G. Gambut (1954 m), G. Tihengo (1310 m), G. Pombolu (520 m) dan G. Alumolingo (377 m), satuan morfologi ini terutama dibentuk oleh satuan batuan Gunung api tersier dan batuan Plutonik.

Satuan morfologi perbukitan bergelombang, terutama dijumpai di daerah bagian selatan dan bagian barat dan menjadi batas cekungan di sebelah selatan dan sebelah utara. Satuan morfologi ini umumnya menunjukkan bentuk puncak membulat dengan lereng relatif landai dan berjulung kurang dari 200 meter yang terutama ditempati oleh satuan batuan Gunungapi dan batuan sedimen berumur Tersier hingga Kuartar.

Satuan morfologi dataran, merupakan daerah dataran rendah yang berada di bagian tengah wilayah Cekungan Limboto yaitu di sekitar Danau Limboto. Pada umumnya daerah ini ditempati oleh satuan aluvium dan endapan danau. Aliran sungai di wilayah ini umumnya mempunyai pola 'sub dendritic dan 'sub parallel".

## **Stratigrafi**

Stratigrafi wilayah Gorontalo disusun oleh formasi/satuan batuan sebagai berikut:

### *a. Endapan Permukaan*

1. Alwium (Qal), terdiri dari : pasir, lempung, lanau, lumpur, kerikil dan kerakal yang bersifat lepas. Satuan batuan ini menempati daerah dataran rendah, terutama di daerah dataran, lembah sungai dan daerah rawa-rawa. Pelamparan dari satuan batuan ini terbatas pada daerah aliran sungai (DAS) seperti yang terdapat di sebelah barat Danau Limboto.
2. Endapan Danau (Qpl), terdiri dari : batu lempung, batu pasir, dan kerikil. Satuan batuan ini umumnya didominasi oleh batu lempung yang berwarna abu - abu

kecoklatan, setempat mengandung sisa tumbuhan dan lignit, di beberapa tempat terdapat batu pasir berbutir halus hingga kasar, serta kerikil. Pada batupasir secara setempat terdapat struktur sedimen silang siur berskala kecil. Umumnya satuan batuan ini masih belum mampat dan diperkirakan berumur Pliosen hingga Holosen. Sebaran satuan batuan ini menempati lembah di sekitar Danau Limboto. Ketebalan satuan batuan ini mencapai 94 meter dan dialasi oleh batuan Diorit (Apandi, dkk., 1997).

b. *Satuan Batuan Sedimen dan Gunungapi*

1. Formasi 'Anombo (Teot), terdiri dari : lava basal, lava andesit, breksi gunung api, dengan selingan batu pasir wake, batu pasir hijau, batu lanau, batu gamping merah, batu gamping kelabu, dan sedikit batuan termalihkan. Umur dari satuan batuan ini diperkirakan Eosen hingga Miosen Awal. Satuan batuan dari formasi ini terdapat di daerah sekitar G. Tahupo (828 m) di sebelah selatan.
2. Formasi Dolokapa (fmd), terdiri dari : batu pasir wake, batu lanau, batu lumpur, konglomerat, tuf, tuf lapili, aglomerat, breksi gunungapi dan lava bersusunan andesit sampai basal. Umur dari formasi ini diperkirakan Miosen Tengah hingga Awal. Miosen Akhir dengan lingkungan lingkungan pengendapan “inner sublitoral” dengan tebal diperkirakan lebih dari 2.000 meter. Sebaran dari satuan batuan di daerah ini menempati bagian tengah dan utara wilayah Gorontalo, yaitu di sebelah utara dari Cekungan Limboto (daerah Paleleh hingga sekitar daerah daerah Kuandang).
3. Batuan Gunungapi Bilungala (Tmbv), terdiri dari : breksi gunungapi, tuf dan lava. satuan batuan ini diperkirakan berumur Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir dengan tebal lebih dari 1.000 meter. Sebaran dari satuan batuan ini terdapat di bagian timur wilayah Gorontalo, di daerah Tolotio menerus ke timur.
4. Satuan Breksi Wobudu (Tpww), terdiri dari : breksi gunungapi, aglomerat, tuf, tuf lapili, lava andesit dan lava basal. Satuan batuan ini diperkirakan berumur Pliosen Awal dengan ketebalan diperkirakan 1.000 hingga 1.500 meter. satuan batuan ini tersingkap di bagian utara wilayah Cekungan Limboto, mulai dari Pegunungan Paleleh hingga sebelah barat Teluk Kuandang.

5. Batuan Gunungapi Pinogu (TQpv), terdiri dari: perselingan aglomerat, tuf dan lava. satuan batuan ini diperkirakan berumur Pliosen Akhir hingga Pliosen Awal dengan ketebalan mencapai 250 meter, sedangkan sebarannya terdapat di sebelah selatan wilayah Cekungan Limboto dan daerah Teluk Kuandang serta di beberapa tempat yang membentuk bukit - bukit terpisah.
6. Batu Gamping Klastik (TQI), terdiri dari: kalkarenit, kalsirudif dan batu gamping koral. Satuan batuan ini diperkirakan berumur Pliosen Akhir hingga Pliosen Awal dengan ketebalan antara 100 hingga 200 meter, sedangkan sebarannya terdapat di sebelah barat Danau Limboto.
7. Batu Gamping Terumbu (QI), terdiri dari: batu gamping koral. Umur dari satuan batuan ini diperkirakan Pliosen Akhir hingga Holosen dengan ketebalan mencapai 100 meter, sedangkan sebarannya terdapat di daerah dekat danau Limboto dan pantai selatan bagian timur.

c. *Satuan Batuan Terobosan*

1. Diorit Bone (Tmb), terdiri dari : diorit, diorit kuarsa, granodiorit dan adamelit. Satuan batuan ini diduga berumur Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir (Trail, 1974), dan terdapat di daerah sebelah timur sesar Gorontalo, juga di sebelah barat sesar disebelah utara dari Cekungan Limboto (daerah dekat Kuandang dan Paleh).
2. Diorit Boliohuto (Tmbo), terdiri dari : diorit dan granodiorit Satuan batuan ini diperkirakan berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir, dan mempunyai sebaran di daerah G. Boiiohuto.
3. Satuan Batuan Retas, terdiri dari : Andesit (Ta) dan Basal (fb). Satuan batuan ini menerobos satuan batuan dari Formasi Tinombo, Dolokapa, dan breksi Wobudu, sehingga umumnya dianggap Miosen hingga Pliosen.

Khusus stratigrafi geologi wilayah studi terdiri dari lapisan batuan, berturut-turut mulai dari muda ke yang lebih tua, yaitu satuan batuan: aluvium, batugamping terumbu, endapan danau, batuan gunung api Pinogu, batuan gunung api Bilungala, dan Diorit Bone.

Tabel 2.1

ROAD MAP PENELITIAN TAHUN 2009 – 2017

Penelitian sebelumnya				Berjalan sekarang		Usulan	Penelitian selanjutnya			
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
1	2	3	4	5		6	7	8	9	
<b>Judul Penelitian</b>	Penentuan umur stalagmit Provinsi Gorontalo Sebagai proxy data paleoklimat (Tahun ke-2 Hibah Fundamental)	Kajian prospek potensi energi panas bumi di Provinsi Gorontalo sebagai sumber energi listrik yang ramah lingkungan (Tahun 1 Hibah Pekerti)	Kajian prospek potensi energi panas bumi di Provinsi Gorontalo sebagai sumber energi listrik yang ramah lingkungan (Tahun ke-2 Hibah Pekerti)	Faktor Parameter Fisika yang menyebabkan kegagalan panen dan produksi rumput laut di Kabupaten Gorontalo Utara (Mandiri)		Analisis resistivitas batuan di lokasi panas bumi Pentadio Resort Provinsi Gorontalo	Rancangan model pemanfaatan energy geothermal di Pentadio Resort untuk mendorong Desa Mandiri Energi	Produk Rancangan model pemanfaatan Energi Geothermal	Model teknologi injeksi energy panas bumi Pentadio Resort sebagai sumber energi pembangkit listrik di Kabupaten Gorontalo	Produk : Teknologi Injeksi Geothermal

### **BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT**

Permasalahan yang terjadi di Provinsi Gorontalo adalah adanya krisis energy yang berdampak terhadap pemadaman listrik yang cukup mengganggu aktivitas perekonomian masyarakat Gorontalo. Disamping itu masih banyak wilayah di Provinsi Gorontalo yang belum mendapatkan instalasi listrik sehingga masyarakat terus mengeluhkan pemenuhan energy listrik. Kondisi ini diperparah lagi dengan naiknya tarif energy listrik dan bahan bakar minyak bumi yang makin menyulitkan masyarakat untuk mengembangkan usaha perekonomian. Kondisi ini tentunya kurang baik bagi masyarakat dan pertumbuhan ekonomi di Provinsi Gorontalo. Oleh karena itu perlu segera memberikan solusi energy alternative lainnya yang berpotensi mengurangi ketergantungan pada energy listrik yang menggunakan BBM. Salah satu upaya yang dilakukan adalah mengkaji lebih dalam tentang energy geothermal yang terdapat di Pentadio Resort untuk merancang model pemanfaatan baik pemanfaatan secara langsung maupun tidak langsung.

#### **3.1 Tujuan Penelitian**

Keberadaan manifestasi air panas bumi Pentadio Resort di Provinsi Gorontalo merupakan asset sumber daya alam yang penting untuk kehidupan masyarakat. Oleh karena itu manifestasi ini membutuhkan kajian yang lebih dalam sehingga dapat dimanfaatkan secara langsung dan tidak langsung. Dalam penelitian ini tujuan utama yang akan dicapai adalah rancangan model pemanfaatan energy panas bumi di Pentadio Reseort baik pemanfaatan secara langsung dan tidak langsung yang dapat mendorong desir mandiri energy di Provinsi Gorontalo. Dalam mencapai hasil akhir penelitian ini maka tujuan penelitian dibagi dalam dua tahun.

Adapun tujuan khusus penelitian di tahun pertama adalah menganalisis karakteristik sistem hidrotermal panas bumi Pentadio Resort yang meliputi analisis sumber air panas bumi, sistem aliran fluida dan proses *dilution* dan *mixing* terhadap batuan asal, analisis tipe air panas, dan analisis temperature reservoir. Bentuk karakteristik sistem hidrotermal panas bumi di Pentadio Resort ini menjadi factor utama dalam mencapai tujuan akhir penelitian. Untuk itu pada penelitian tahun kedua bertujuan untuk (1) menganalisis besar kemampuan energy panas bumi dan energy listrik pada reservoir panas

bumi Pentadio Resort untuk mendorong desa mandiri energi, (2) Memetakan zona pemanfaatan langsung dan tidak langsung energy panas bumi, (3) Merancang bentuk pemanfaatan secara langsung dan tidak langsung energy panas bumi Pentadio Resort.

### **3.2. Manfaat Penelitian**

Permasalahan utama yang sudah lama dialami oleh masyarakat Provinsi Gorontalo adalah kurangnya pasokan energy listrik yang mengganggu kegiatan di berbagai sektor yang memanfaatkan energy listrik. Di sisi lain Provinsi Gorontalo memiliki sumber air panas bumi seperti Pentadio Resort yang hanya terbatas dimanfaatkan sebagai tempat wisata. Melalui penelitian yang dilakukan pada tahun pertama ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat yaitu terdapatnya informasi karakteristik hidrotermal panas bumi Pentadio Resort yang sangat bermanfaat dalam menentukan model pemanfaatan energy panas bumi untuk kehidupan masyarakat. Sedangkan manfaat yang diharapkan dari seluruh hasil penelitian baik tahun pertama dan tahun kedua adalah ;

1. Terdapatnya zona-zona pemanfaatan energy panas bumi baik untuk pemanfaatan langsung seperti perkebunan dan pertanian, dan pemanfaatan tidak langsung yaitu sebagai energy alternative pembangkit listrik yang ramah lingkungan untuk mendorong terbentuknya desa mandiri energi.
2. Terdapatnya model pemanfaatan energy panas bumi di Pentadio Resort sebagai energy alternative pembangkit listrik dalam skala desa mandiri energy sehingga memberikan solusi terhadap permasalahan krisis energy listrik.
3. Terdapatnya terobosan pengembangan pemanfaatan energy panas bumi untuk sektor perkebunan dan pertanian yang sesuai dengan karakteristik hidrotermal panas bumi Pentadio Resort.

## BAB IV. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan di penelitian ini adalah metode geokimia dan geologi yang dilakukan dengan cara survey untuk melakukan pengukuran langsung di lapangan serta analisis laboratorium. Berdasarkan hasil penelitian dasar yang telah dilakukan sebelumnya bahwa panas bumi di Pentadio Resort memiliki manifestasi air panas yang memiliki anomali negatif di bagian tengah lokasi penelitian sebagai zona lemah yang memiliki siklus pemanasan batuan yang menghasilkan air panas bumi. Untuk menentukan sistem hidrotermal beserta karakteristik reservoir maka metode geologi dan geokimia digunakan secara terpadu pada penelitian tahun pertama ini.

Tujuan penelitian pada tahun pertama ini adalah mengidentifikasi sistem hidrotermal panas bumi di Pentadio Resort. Untuk itu beberapa data yang diperlukan adalah data sifat fisika air panas, sifat batuan dan sifat kimia fluida yang terkandung di dalam reservoir. Secara geografis Pentadio Resort terletak pada  $0^{\circ}36'58''$  LU dan  $123^{\circ}00'26''$  BT. Objek wisata Pentadio Resort tepat berada di Desa Pentadio Timur, Kecamatan Telaga Biru, Kabupaten Gorontalo. Posisi Pentadio Resort ini merupakan area yang dekat dengan Danau Limboto juga. Untuk titik pengukuran dilakukan pada 5 titik yang merupakan manifestasi air panas di Pentadio Resort. Berikut ini adalah Gambar 3.1 tentang peta lokasi penelitian.



Gambar 4.1 Peta Lokasi Penelitian di Pentadio Resort Provinsi Gorontalo

Tahapan kegiatan penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan persiapan penelitian dengan melakukan survey awal lokasi penelitian untuk menentukan titik-titik pengamatan serta mempersiapkan alat-alat pengukuran. Dalam tahap ini peneliti mendiskusikan mekanisme penelitian dan format-format penelitian penelitian bersama tim peneliti.



Gambar 4.2 Foto proses persiapan penelitian yang dibahas bersama tim dan mempersiapkan alat pengukuran yang secara insitu

2. Pengambilan data-data ciri fisik dan kimia mata air panas berupa temperatur, warna, konduktivitas, dan pH yang diukur pada air permukaan masing-masing stasiun yang telah ditentukan. Kegiatan ini pengukuran ini dilakukan selama 10 hari pada pagi hari, siang hari dan malam hari.



Gambar 4.3 Proses Pengukuran Parameter Fisika di Lokasi Penelitian

3. Melakukan pengambilan sampel air panas di 5 titik pengukuran untuk dianalisis kimia air di laboratorium yang menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS-Nyala)*.
4. Melakukan survei geologi dan geomorfologi di sekitar daerah penelitian



Gambar 4.4 Proses Pengamatan Dan Pengukuran Aspek Geologi Dan Geomorfologi

5. Melakukan pengolahan data hasil pengukuran di lapangan dan analisis laboratorium

Adapun tahapan pengolahan data yang dilakukan adalah :

- a. Analisis kesetimbangan ion (*ion balance*)

Analisis ini penting dilakukan diawal untuk mengetahui apakah data kimia air merupakan data yang baik. Langkah ini merupakan cara untuk mengontrol atau mengevaluasi data geokimia air panas bumi. Persamaan yang digunakan untuk menentukan *ion balance* oleh Reed (1991) yaitu :

$$\Delta \text{ charge \%} = \frac{\sum \text{kation} + \sum \text{anion}}{|\sum \text{kation}| + |\sum \text{anion}|} \times 100 \quad (4.1)$$

Ada pun metodenya adalah dengan membandingkan keseimbangan ion kation dan ion anion yang ada pada sampel. Metode ini dilakukan dengan terlebih

dahulu mengkonversi seluruh unsur-unsur kimia yang bermuatan pada sampel air panas dari satuan mg/l atau mg/kg menjadi *meq* (*milliequivalen*), dan menjumlahkan *meq* baik untuk kation maupun anion (Reed, 1991). Pengkonversian dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\boxed{\text{Unsur (mg/kg) massa atom * bilangan oksida unsur (meq)}} \quad (4.2)$$

- b. Menentukan sumber panas dan tipea air panas dengan menggunakan diagram Ternary Cl-Li-B
- c. Menentukan sumber air panas dan system asosiasi fraksi fluida baik dari *zona boiling*, *mixing* maupun dari berbagai sumber dengan membandingkan kandungan Cl dan B, Na dan K, B dan Li, Na dan Ca, Cl dan Mg, Na dan Ca, Na dan Mg, HCO<sub>3</sub> dan SO<sub>4</sub>, Cl dan HCO<sub>3</sub>.
- d. Menentukan temperature reservoir dengan menggunakan persamaan pada geotermometer K-Na dan K-Mg berikut :

Persamaan Geotermometer K-Na adalah :

$$T (^{\circ}\text{C}) \text{ Fournier (1979)} = [1178 / (1.470 + \log (\text{Na}/\text{K}))] - 273.15 \quad (4.3)$$

$$T (^{\circ}\text{C}) = [1390 / (1.750 + \log (\text{Na}/\text{K}))] - 273.15 \quad (4.4)$$

Persamaan Geotermometer K-Mg adalah :

$$T (^{\circ}\text{C}) = (4410 / (14 - \log (\text{K}^2/\text{Mg}))) - 273.15 \quad (4.5)$$

## **BAB V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Analisis sistem hidrotermal Pentadio Resort merupakan tujuan utama pada tahun pertama untuk merancang model pemanfaatan energy geothermal Pentadio Resort yang akan dihasilkan pada penelitian tahun kedua nanti. Sistem hidrotermal dianalisis dengan menggunakan metode geologi dan geokimia. Pada sistem geologi dianalisis morfologi dan litologi daerah penelitian. Sedangkan pada metode geokimia dapat dihasilkan tipe air panas, temperatur reservoir, dan asal air panas.

### **5.1 Analisis Geologi**

#### **5.1.1 Morfologi Daerah Penelitian**

Satuan morfologi daerah penelitian dikelompokkan berdasarkan bentuk bentang lahan yang terdapat pada daerah penelitian. Berdasarkan bentuk bentang lahan terdapat tiga satuan morfologi di daerah penelitian yaitu satuan morfologi dataran, satuan morfologi bukit, dan satuan morfologi pegunungan terjal. Satuan morfologi dataran menempati bagian tengah daerah penelitian. Satuan geomorfologi ini tersusun atas endapan aluvial. Tata guna lahan pada satuan morfologi dataran adalah sebagai tempat pemukiman, gedung pendidikan, pariwisata dan sebagai areal pertanian.



Gambar 5.1. Satuan Morfologi Dataran dan Pegunungan Terjal Bagian Selatan.

Satuan morfologi bukit menempati bagian tengah daerah penelitian dan dikelilingi oleh satuan morfologi dataran. Satuan geomorfologi ini tersusun atas batu pasir

gampingan, batu gamping, dan batu pasir. Tata guna lahan pada satuan morfologi bukit telah digunakan untuk pembangunan gedung pendidikan.



Gambar 5.2. Satuan Pegunungan Terjal Bagian Utara.

Pada sisi lain satuan morfologi pegunungan terjal menempati bagian utara dan selatan. Tata guna lahan pada satuan morfologi dataran adalah sebagai areal perkebunan dan hutan.

### 5.1.2 Litologi Daerah Penelitian

Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan batuan di daerah penelitian terdiri atas enam satuan batuan yaitu satuan batu pasir gampingan, satuan batu gamping, satuan batu pasir halus, satuan tuff, dan endapan alluvial seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 5.3 Singkapan pada Daerah Penelitian.

Singkapan pada daerah penelitian menunjukkan bahwa batu pasir gampingan terendapkan paling bawah. Batu gamping terendapkan di atas batu pasir gampingan sedangkan batu pasir terendapkan di atas batu gamping. Pada singkapan terdapat sesar yang diperkirakan sebagai sesar turun. Keadaan batuan pada singkapan menunjukkan warna batuan yang lapuk.



Gambar 5.4 Satuan Batupasir Gampingan.

Batu pasir gampingan ditemukan di bagian timur laut manifestasi panas bumi. Batu pasir gampingan tersingkap pada morfologi bukit di bagian tengah daerah penelitian. Pengamatan makroskopis pada batuan menunjukkan warna batuan putih krem. Struktur batuan massif dengan ukuran butir pasir halus sampai sedang.



Gambar 5.5 Satuan Batu Gamping

Batu gamping terendapkan membentuk dua lapisan yaitu lapisan bawah berupa batuan bioklastik dengan komposisi fosil 80% dan Ketebalan sekitar 50 cm. Pada lapisan

di atasnya terendapkan batuan gamping dengan komposisi fosil 10% dan ketebalan 30 cm. Pengamatan makroskopis pada batuan menunjukkan warna batuan putih krem dan struktur batuan massif yang ukuran butirnya berupa lempung. Kekompakan batu gamping pada daerah penelitian adalah kekompakan kuat. Pada batu gamping terdapat rekristalisasi mineral karbonat. Keterdapatannya pada daerah penelitian menunjukkan bahwa daerah penelitian merupakan daerah laut yang mengalami pengangkatan oleh tenaga tektonik.



Gambar 5.6 Satuan Batu Pasir.

Satuan batu pasir berada di bagian atas batu gamping. Pengamatan makroskopis pada batuan menunjukkan warna coklat gelap. Struktur batuan adalah massif. Ukuran butir pada batu pasir di daerah penelitian adalah ukuran pasir sedang sampai kasar dengan kekompakan kuat. Bentuk butir adalah *subrounded* (membulat tanggung) sampai *angular* (menyudut). Endapan alluvial adalah satuan batuan yang menempati bagian permukaan daerah penelitian. Endapan alluvial pada daerah penelitian umumnya dikuasai oleh pasir, lempung, kerikil, dan kerakal.

Kenaekaragaman sifat batuan dan intensitas panas yang terdapat di daerah penelitian ini dapat memberikan karakteristik tersendiri sistem air panas Pentadio Resort. Disamping itu batuan yang terpanaskan akan mengalami perubahan bila ada mineral anorganik ikut larut bersama air yang melaluinya. Selain itu panas dalam perjalanannya ke permukaan juga dapat mengalami perubahan fasa sehingga menjadi fluida dua fasa, yaitu campuran uap air. Fluida panas tersebut dapat juga bercampur dengan fluida lainnya, misalnya dengan fluida magmatic dan air dingin dari sumber lain. Komposisi fluida panas juga akan berubah akibat oksidasi di dekat permukaan.

## 5.2 Analisis Geokimia

### 5.2.1 Data Fisika dan Kimia Air Panas

Manifestasi panas bumi di Pentadio Resort adalah air panas. Pada dasarnya kandungan kimia dalam air panas bumi dapat dipengaruhi karakteristik litologi yang dilalui oleh air permukaan yang mengalami siklus arus konveksi. Kandungan kimia air ini dapat menunjukkan karakteristik sistem panas bumi yang berbeda satu dengan yang lain, karena batuan yang terpanaskan akan mengalami perubahan mineral batuan yang ikut larut bersama air yang melaluinya. Oleh karena itu pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran kandungan kimia dari air panas bumi dengan menggunakan AAS.

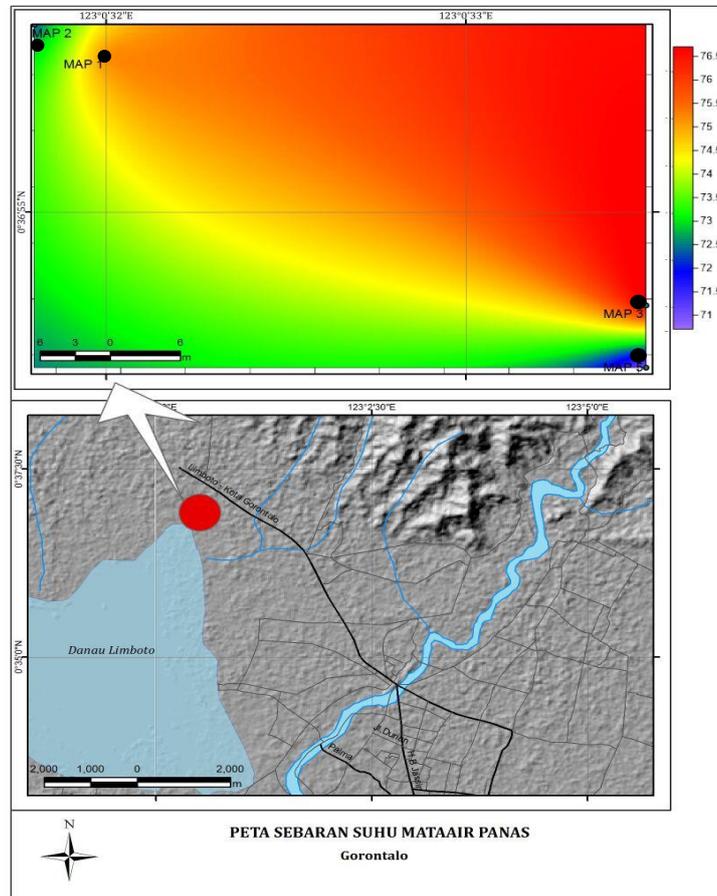
Titik pengambilan sampel air panas dilakukan pada 5 (lima) titik yang memiliki suhu air permukaan di atas 50<sup>0</sup>C. Pengukuran suhu air dilakukan pada pagi, siang, dan malam hari untuk mendapatkan suhu rata-rata air panas bumi yang terdapat di lokasi ini. Berikut ini Tabel 5.1 tentang data pengukuran parameter fisik untuk tiap titik pengukuran ;

Tabel 5.1. Data Fisika Air Panas Bumi Pentadio Resort

No.	Titik mata air panas	Waktu	Koordinat	Elevasi (mdpl)	Rata-rata Suhu (°C)		Rasa	Bau	Warna	pH
1.	MAP 1	Pagi	N 00°36'55.5" E 123°00'32.0"	21	73,5	75,2	Tidak berasa	Sedikit berbau sulfur	Bening	6
		Siang			74					
		Malam			78					
2.	MAP 2	Pagi	N 00°36'55.5" E 123°00'31.8"	21	70	72,3	Tidak berasa	Sedikit berbau sulfur	Bening	6
		Siang			75					
		Malam			72					
3	MAP 3	Pagi	N 00°36'54.7" E 123°00'33.5"	10	75	76,7	Tidak berasa	Sedikit berbau sulfur	Bening	6
		Siang			80					
		Malam			74					
4	MAP 4	Pagi	N 00°36'54.5" E 123°00'33.5"	11	66	70,7	Tidak berasa	Tidak berbau	Bening	6
		Siang			73					
		Malam			73,2					
5	MAP 5	Pagi	N 00°36'54.5" E 123°00'33.5"	10	62,1	64,8	Tidak berasa	Tidak berbau	Bening	6
		Siang			65,9					
		Malam			66,4					

Dari Tabel 5.1 menunjukkan bahwa 5 titik pengukuran memiliki suhu air permukaan di atas 50<sup>0</sup> C yaitu berkisar dari 64,8°C - 76,7°C. Persebaran temperatur di 5 titik pengukuran

ini menunjukkan bahwa makin ke arah utara timur laut temperature air permukaan makin meningkat seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 5.7.



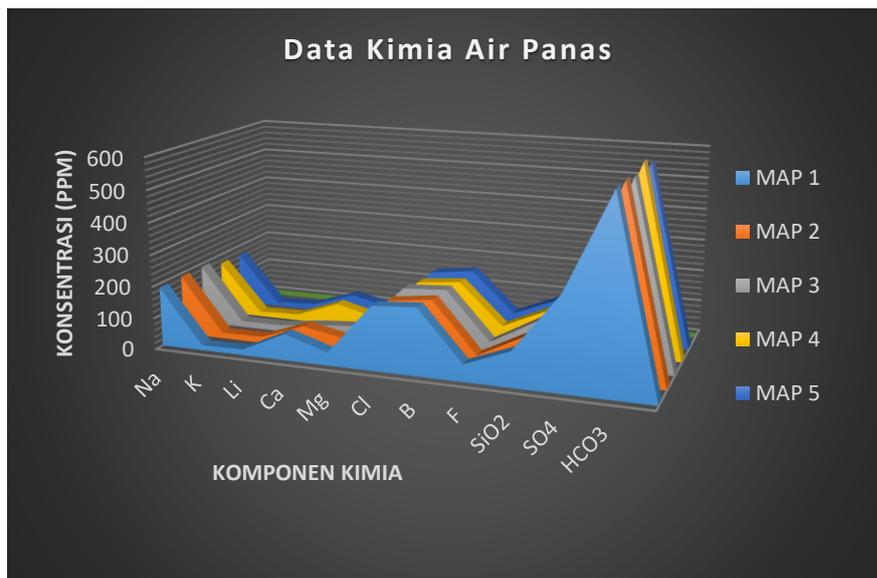
Gambar 5.7. Persebaran temperature panas bumi di Pentadio Resort

Perubahan warna dari warna biru, kehijauan, kuning sampai kemerahan menunjukkan peningkatan temperature air permukaan di lokasi penelitian. Terlihat pada Gambar 5.7 bahwa warna hijau relative rendah, dan warna orange kemerahan menunjukkan peningkatan temperature hingga 76, 5°C. Temperatur yang paling tinggi adalah di MAP 3 yang ditunjukkan dengan warna orange kemerahan. Sedangkan MAP 4 dan MAP 5 relatif rendah dan kedua titik ini saling berdekatan sehingga MAP 5 tidak terlihat dalam peta di Gambar 5.7 tersebut.

Selanjutnya untuk data geokimia air ditunjukkan pada Tabel 5.2 berikut;

Tabel 5.2. Data Kimia Air Panas Pentadio Resort

No	Komponen Kimia	Konsentrasi (ppm)				
		MAP 1	MAP 2	MAP 3	MAP 4	MAP 5
1.	Na	187	184	190	170	168
2.	K	16	18	20	16	14
3.	Li	34	37	38	32	32
4.	Ca	83	60	36	70	65
5.	Mg	34	40	30	25	22
6.	Cl	200	180	184	170	170
7.	B	210	197	193	184	188
8.	F	54	40	42	55	60
9.	SiO <sub>2</sub>	109	112	120	118	118
10.	SO <sub>4</sub>	290	268	210	221	230
11.	HCO <sub>3</sub>	594	593	580	600	576



Gambar 5.8 Grafik Data Kimia Air Panas Bumi pada Lima Titik di Pentadio Resort

Data ini menjadi rujukan untuk melakukan analisis lebih lanjut yaitu tentang

1. Asal fluida dan kemungkinan terjadinya pencampuran
2. Aliran fluida geothermal
3. Tipe fluida reservoir

### 5.2.2 Analisis kesetimbangan ion

Pada tahap ini perlu dianalisis kesetimbangan ion (*ion balance*) berdasarkan data yang terdapat pada Tabel 5. 2 agar dapat mempresentasikan kondisi sebenarnya. Ada pun metodenya adalah dengan membandingkan keseimbangan ion kation dan ion anion yang ada pada sampel. Namun terlebih dahulu melakukan konversi seluruh kandungan unsur-unsur kimia yang bermuatan pada sampel air panas dari satuan mg/l atau mg/kg menjadi *meq* (*milliequivalen*), dan menjumlahkan *meq* baik untuk kation maupun anion yang hasilnya dipaparkan pada Tabel 5.3 berikut ;

Tabel 5.3 Konversi Kandungan Kimia Air dalam Unit *meq*

Kode Sampel	Kation					Total	Anion				Total
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Li <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>		Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
MAP 1	8.13	0.41	2.74	4.15	3.37	<b>18.80</b>	5.64	2.84	6.04	9.90	<b>18.74</b>
MAP 2	8.26	0,46	2.88	3.50	3.62	<b>18.73</b>	5.08	2.11	5.58	9,88	<b>18.43</b>
MAP 3	8,26	0,51	2.88	1.80	3.79	<b>17.24</b>	5.19	2.21	4.37	9.67	<b>17.02</b>
MAP 4	7,39	0,41	2.88	3.50	3.04	<b>17.23</b>	4.80	2,90	4.60	10.00	<b>16.50</b>
MAP 5	7,31	0,36	2.88	3,25	2.77	<b>16.57</b>	4.80	3.16	4.79	9,60	<b>16.02</b>

Berdasarkan Tabel 5.3 maka perhitungan *ion balance* dilakukan dengan menggunakan persamaan (4.2) yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut :

Tabel 5.4 Data Analisis *Ion Balance* Kimia Air Panas Bumi

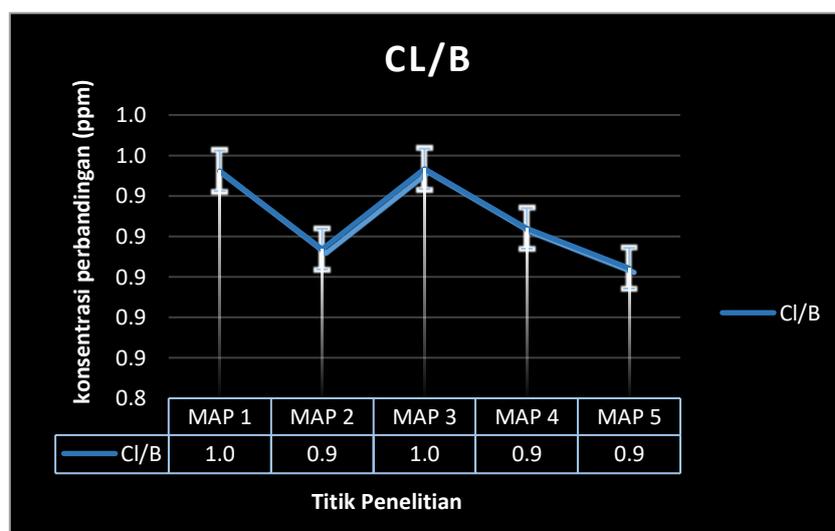
Kode Sampel	$\sum$ Kation	$\sum$ Anion	$\sum$ Kation - $\sum$ Anion	$ \sum$ Kation + $\sum$ Anion	Ion Balance
MAP I	18.80	18.74	0.06	37.54	0.17
MAP 2	18.73	18.43	0.30	37.16	0.80
MAP 3	17.24	17.02	0.22	34.26	0.65
MAP 4	17.23	16.50	0.73	33.73	2.16
MAP 5	16.57	16.02	0.55	32.59	1.68

Data *ion balance* yang terdapat di Tabel 5.4 semuanya berada di bawah 5 % yang berarti data yang diperoleh dari analisis kimia sampel air panas bumi memiliki kualitas baik untuk dilanjutkan pada analisis geokimia.

### 5.3 Penentuan Sumber Air Panas dan Karakteristik Aliran Fluida

Metode yang digunakan untuk menentukan sumber air panas ini, membutuhkan aplikasi software XLSTAT untuk menggunakan diagram segitiga diagram Ternary. Sebelum penentuan sumber reservoir utama dari air panas bumi, maka dilakukan analisis sifat kimia air panas yang terkait dengan kemungkinan adanya pencampuran dengan air laut atau air tanah, aliran fluida geotermal, tipe batuan, pemanasan uap dan daerah permeable.

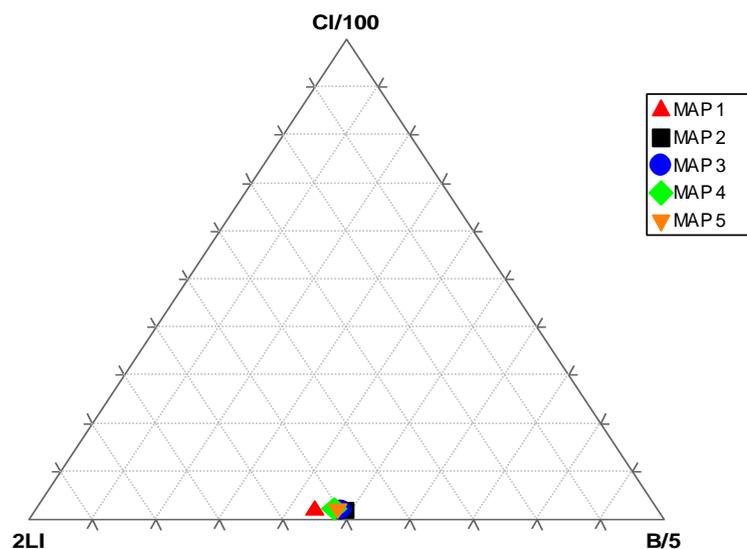
Adanya konsentrasi unsur Boron (B) di air panas bumi memberikan informasi tentang aliran fluida. Konsentrasi Boron di air panas bumi umumnya 10-50 mg/kg, hingga dapat berkonsentrasi tinggi hingga 800-1000 mg/kg. Adanya konsentrasi yang tinggi dapat terjadi akibat adanya asosiasi fluida panas bumi dengan batuan sedimen yang kaya akan bahan-bahan organik. Konsentrasi Boron akan makin meningka fluida melewati satuan batuan beku andesit atau riolitik dibandingkan dengan andesit. Dari hasil penelitian ini diperoleh perbandingan kandungan Cl/B untuk mengindikasikan sumber reservoir seperti pada Gambar 5.9 berikut :



Gambar 5.9. Diagram Perbandingan Cl/B Air Panas Pentadio Resort

Pada Gambar 5.9 menunjukkan bahwa perbandingan Cl/B dari kelima titik air panas di Pentadio Resort memiliki nilai perbandingan yang kecil yaitu antara 0,9 – 1.0. Nilai perbandingan Cl/B yang relative sama ini mengindikasikan bahwa fluida kelima titik air panas ini berasal dari reservoir yang sama.

Adanya sumber fluida yang berasal dari reservoir yang sama ini didukung dengan hasil plot diagram Ternary untuk kelima titik pada Gambar 5.10 berikut ;



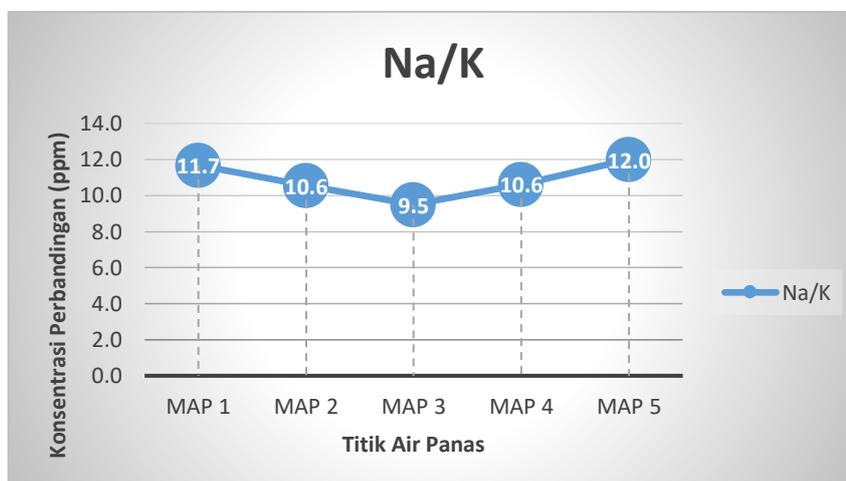
Gambar 5.10 Digram Ternary Cl/100-2Li-B5 pada sampel air panas bumi Pentadio Resort

Dalam menentukan sumber air panas maka unsur yang digunakan adalah Cl, Li, dan B karena unsur ini merupakan konservatif yang tidak mudah bereaksi. Oleh karena itu Gigenbach (1991) menyatakan bahwa rasio dapat digunakan sebagai indikator untuk menentukan kesamaan reservoir, dan juga mengungkapkan asosiasi fraksi fluida baik dari *zona boiling, mixing* maupun dari berbagai sumber. Analisis persentasi konsentrasi Cl, Li, B, diplot dalam diagram Ternary seperti pada Gambar 5.10 di atas.

Dari hasil pengolahan data dan dari diagram Ternary CL-Li-B menunjukkan bahwa kandungan B lebih besar dari Cl dan Li. Terlihat pada Gambar 5.10 bahwa semua mata air panas mengelompok dengan *trend* yang sama walaupun untuk MAP 4 dan MAP 5 terjadi proses induksi yang mungkin disebabkan oleh perubahan litologinya ataupun oleh proses adsorbs kandungan unsur B mineral lempung. Dengan demikian diindikasikan bahwa semua fluida di semua titik di lokasi penelitian ini berasal dari satu reservoir yang

sama. Disamping itu tingginya kandungan B dibandingkan CL dan Li mengindikasikan bahwa batuan sampingnya adalah batuan sedimen, dan pengayaan manifestasi air panas di permukaan dimungkinkan karena adanya interaksi fluida panas selama di perjalanan menuju permukaan.

Disamping itu untuk mengetahui proses transportasi fluida maka rasio Na/K dapat digunakan untuk mengetahui zona temperatur tinggi. Dari hasil analisis data kimia air panas rasio Na/K pada Gambar 5.11 menunjukkan bahwa rasio untuk seluruh titik air panas berada pada nilai rendah dari 15. Hasil rasio ini menunjukkan bahwa proses transportasi fluida ke permukaan relative singkat yang berasosiasi dengan zona *upflow*



Gambar 5.11. Rasio Na/K dari kelima titik air panas bumi Pentadio Resort

Karakteristik batuan dasar yang terdapat di lokasi manifestasi air panas Pentadio Resort dapat mempengaruhi *zona boiling dan mixing*. Dari rasio B/Li dapat diidentifikasi pengaruh jenis batuan dasar dalam aliran fluida. Konsentrasi unsur Litium (Li) < 20 mg/kg menunjukkan batuan dasar berupa batuan beku, dan konsentrasi Li dapat mencapai 20 mg/kg bila batuan dasar berupa batuan sedimen yang kaya organik. Berdasarkan analisis dari lima titik air panas Pentadio Resort dari Tabel 5.2 menunjukkan bahwa konsentrasi Li lebih dominan nilainya 20 ppm. Besarnya nilai konsentrasi ini menunjukkan batuan dasar daerah penelitian merupakan batuan sedimen yang kaya organik yang menyebabkan rasio B/Li makin rendah seperti pada Gambar 5.12.



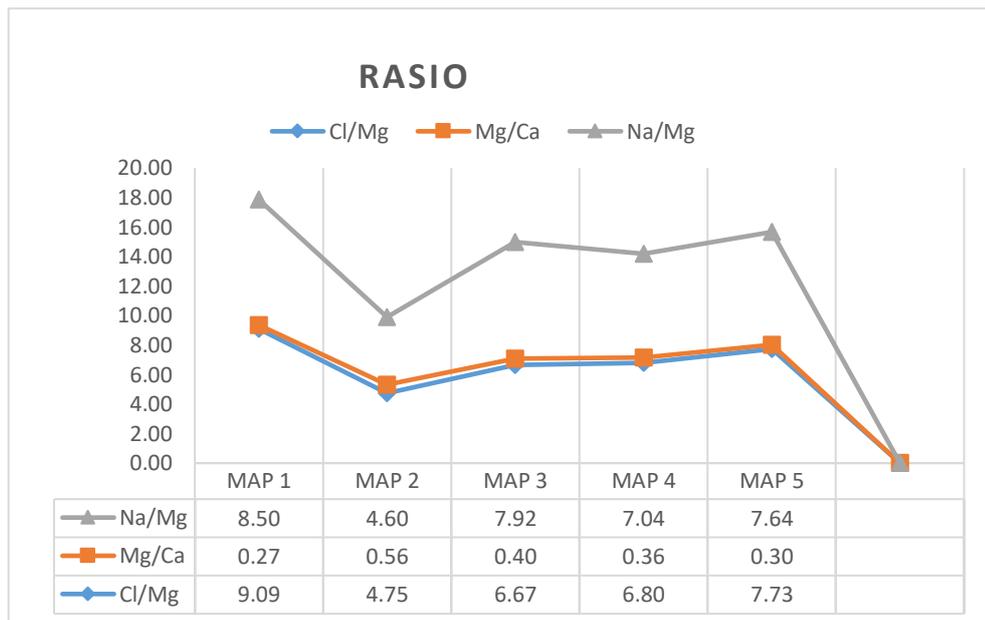
Gambar 5.12. Rasio B/Li pada Lima Titik Air Panas Bumi Pentadio Resort

Sementara itu dari nilai rasio B/Li dapat diketahui bahwa semakin ke arah Barat Laut dan Utara Barat Laut terjadi peningkatan nilai rasio B/Li yang menunjukkan bahwa proses interaksi antara fluida dan batuan samping makin meningkat dan mempengaruhi proses aliran secara lateral. Tentunya keadaan ini berlawanan dengan arah Tenggara dan Selatan Tenggara yang menunjukkan interaksi fluida dengan batuan samping makin menurun, kecuali pada MAP 5 yang sedikit meningkat.

Dalam mengetahui karakteristik hidrotermal perlu juga untuk mengetahui ada tidaknya proses *mixing* fluida geotermal dengan air laut. Pada umumnya untuk mengidentifikasi *dilution* dan *mixing* ini dapat melihat nilai rasio Cl/Mg. Dari data kimia air panas di Tabel 5.2 menunjukkan bahwa konsentrasi Mg lebih tinggi dari konsentrasi yang umum untuk fluida geotermal yang bertemperatur tinggi yaitu berkonsentrasi 0.01-0,1 ppm.

Tabel 5.5. Rasio Cl/Mg, Mg/Ca dan Na/Mg

Titik Sampel	Konsentrasi Komponen Kimia (ppm)						
	Cl	Mg	Na	Ca	Cl/Mg	Mg/Ca	Na/Mg
MAP 1	200	22	187	83	9.09	0.27	8.5
MAP 2	190	40	184	72	4.75	0.56	4.6
MAP 3	160	24	190	60	6.67	0.40	7.9
MAP 4	170	25	176	70	6.80	0.36	7.0
MAP 5	170	22	168	74	7.73	0.30	7.6



Gambar 5.13 Rasio Cl/Mg, Mg/Ca, Na/Mg Air Panas Pentadio Resort

Di Pentadio Resort ini konsentrasi Mg tinggi yaitu berkisar 36 – 46 (Tabel 5.5). Hal ini mengindikasikan bahwa pada zona air panas Pentadio Resort konsentrasi Mg telah mengalami pencucian dari batuan sekitar yang menyebabkan pelarutan (*dilution*) dengan air tanah yang relative memiliki kandungan Mg yang lebih tinggi. Namun adanya pelarutan ini tidak menyebabkan adanya *mixing* fluida geotermal dengan air laut yang ditunjukkan dengan nilai rasio Cl/Mg yang kurang 10 ppm. Grafik dari rasio Cl/Mg, Mg/Ca dan Na/Mg air panas Pentadio Resort dapat dilihat pada Gambar 5.13. Terlihat juga bahwa rasio Mg/Ca sangat rendah dan rasio Na/Mg tinggi yang mengindikasikan bahwa di Pentadio Resort memiliki *Zona Upflow* air panas bumi. Dari data kimia air panas bumi Pentadio Resort ini dapat mengindikasikan bahwa dalam proses transportasi fluida menuju permukaan telah mengalami proses pencucian dan pelarutan dengan fluida air tanah,

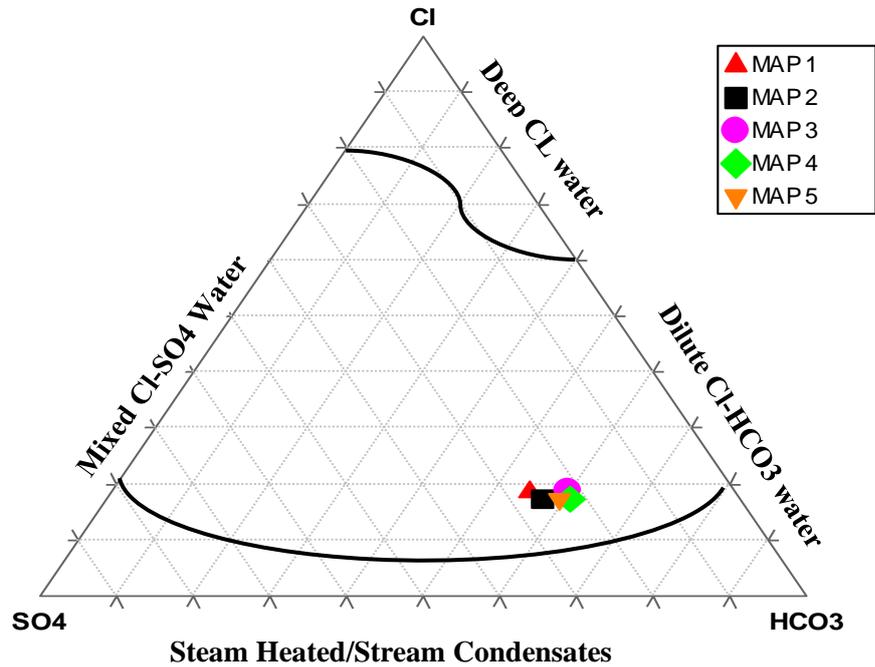
namun tidak mengindikasikan adanya *mixing* dengan air laut. Disamping itu selama proses transportasi juga telah terjadi interkasi antara fluida dengan batuan sampling berupa batuan sedimen.

#### **5.4. Tipe Air Panas Bumi Pentadio Resort**

Faktor penting untuk mengetahui karakteristik hidrotermal adalah dengan mengetahui tipe air panas yang dapat diketahui dari kandungan relative klorida (Cl), Bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ), dan Sulfat ( $\text{SO}_4$ ). Dari analisis data di Tabel 5.2 menunjukkan bahwa kandungan Cl lebih rendah dari pada kandungan  $\text{SO}_4$  yang mengindikasikan bahwa tipe air panas yang terdapat di Pentadio Resort merupakan tipe air Bikarbonat.

Menurut Saptadji (2009) bahwa berdasarkan konsentrasi ion yang terkandung di dalam air, maka tipe air panas bumi dikelompokkan dalam tiga tipe yaitu air alkali klorida, air asam sulfat, air asam sulfat klorida dan air bikarbonat. Untuk menentukan tipe air panas ini maka dihitung kandungan kimia Clorida (Cl), Bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ), dan Sulfat ( $\text{SO}_4$ ). Dari data kimia air menunjukkan bahwa lebih besar kandungan anion  $\text{HCO}_3$ , dan kandungan Cl relative rendah dibandingkan dengan  $\text{SO}_4$ . Ini menunjukkan bahwa tipe air panas di Pentadio Resort merupakan tipe bikarbonat. Sementara nilai pH juga relative mendekati netral. Sistem air panas ini telah terjadi proses pencucian, pelarutan atau pun transportasi yang menyebabkan terjadinya perubahan konsentrasi CL,  $\text{SO}_4$ , dan  $\text{HCO}_3$ . Proses pencucian yang dilalui bersentuhan dengan batuan sedimen dan bukan merupakan batuan beku atau batuan piroklastik dari aktivitas vulkanik. Analisa ini didukung dengan struktur geologi di titik penelitian yang merupakan jalur sesar perkiraan yaitu sesar Gorontalo yang merupakan sesar geser manganan. Ini artinya bahwa air panas yang terdapat di Pentadio Resort merupakan manifestasi yang dipengaruhi oleh tektonik.

Dari triplot diagram Ternary Cl,  $\text{HCO}_3$ , dan  $\text{SO}_4$  Gambar 5.14 memperlihatkan adanya adanya *tren* yang sama pada mata air panas bumi Pentadio Resort. Sumber air panas berasal dari reservoir yang sama dengan kandungan Cl relative rendah dari B,  $\text{SO}_4$  dan  $\text{HCO}_3$ . Keberadaan air panas ini bukan merupakan tipe air vulkanik namun tipe air Bikarbonat dengan  $\text{HCO}_3$  merupakan anion utama. Di bawah muka air tanah bersifat asam lemah dan berasosiasi dengan zona alterasi argilik dan adanya kehadiran batu gamping di lokasi penelitian.



Gambar 5.14. Triplot Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>

Keberadaan tipe air panas bumi Pentadio Resort berupa tipe fluida Bikarbonat yang menandakan adanya percampuran fluida dengan air tanah. Nilai HCO<sub>3</sub> meningkat yang menunjukkan bahwa pada saat aliran fluida menjauh dari upflow kemungkinan besar fluida berinteraksi dengan dengan batuan yang dilewati. Hal ini ditunjukkan juga dengan naiknya rasio HCO<sub>3</sub> dan SO<sub>4</sub> pada Tabel 5.6 yang mengindikasikan aliran fluida menjauh dari *upflow*.

Tabel 5.6. Data Rasio HCO<sub>3</sub> dan SO<sub>4</sub>

Titik Sampel	HCO <sub>3</sub> (ppm)	SO <sub>4</sub> (ppm)	HCO <sub>3</sub> /SO <sub>4</sub>
MAP 1	594	290	2.05
MAP 2	593	268	2.21
MAP 3	580	210	2.76
MAP 4	600	221	2.71
MAP 5	576	230	2.50

Pada Tabel 5.6 menunjukkan bahwa mulai dari MAP 1 sampai MAP 3 terjadi peningkatan rasio HCO<sub>3</sub> /SO<sub>4</sub>, sementara pada pada MAP 4 dan MAP 5 terjadi penurunan

rasio  $\text{HCO}_3/\text{SO}_4$ . Rasio ini menunjukkan bahwa aliran fluida bergerak dari *upflow* ke *outflow* ke arah bagian Selatan Tenggara.

### 5.5 Temperatur Reservoir

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk menghitung temperature reservoir dengan menggunakan geotermometer. Dari karakteristik aliran fluida hidrotermal dan tipe air panas bumi Pentadio Resort maka metode geotermometer yang digunakan untuk menentukan temperatur reservoir adalah geotermometer K-Na dan K-Mg. Selanjutnya sebagai pembanding maka perlu menggunakan metode geotermometer NA-K-Cl. Pada Tabel 5.7 telah dihitung besar suhu reservoir dengan teori Giggenbach  $(1178/(1.470+\log (\text{Na}/\text{K}))- 273.15$  yang menunjukan bahwa suhu reservoir berkisar 188,96 -208,11 °C.

Tabel 5.7. Data Hasil Analisis Geotermometer Na-K

	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>Na/K</i>	<i>Log Na/K</i>	<i>T<sub>Na-K</sub></i> (°C)
<i>MAP 1</i>	187	16	11.69	1.07	191.05
<i>MAP 2</i>	190	18	10.56	1.02	199.28
<i>MAP 3</i>	190	20	9.50	0.98	208.11
<i>MAP 4</i>	170	16	10.63	1.03	198.74
<i>MAP 5</i>	168	14	12.00	1.08	188.96

Dari lima titik sampel air panas bumi yang dianalisis sesuai dengan Tabel 5.7 terlihat bahwa MAP 3 memiliki suhu reservoir lebih tinggi yaitu 208, 11 °C. Besarnya suhu di MAP 3 ini berdekatan dengan MAP 2 dan MAP 1 yang sama-sama memiliki suhu reservoir yang tidak terlalu berbeda secara signifikan. Sedangkan suhu terendah adalah pada MAP 5 yakni sekitar 188°C. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 13-6171-1999) pada Tabel 5.8 temperature air panas pada daerah penelitian Pentadio Reseort termasuk pada temperatur sedang yaitu 125 °C sampai 225 °C.

Tabel 5.8. Klasifikasi Temperatur Reservoir Berdasarkan SNI

<i>Reservoir</i>	Batas Temperatur (°C)	Daya persatuan luas (MW/km <sup>2</sup> )
Temperatur rendah	<125	10
Temperatur sedang	125 sampai 225	12,5
Temperatur tinggi	>225	15

Besarnya temperature reservoir dengan menggunakan geotermometer K-Mg pada Tabel 5.7 menunjukkan bahwa suhu reservoir berkisar 59,48 °C – 60,98 °C. Suhu tertinggi berada pada MAP 3 dan suhu terendah berada di MAP 5. Seperti halnya data hasil analisis menggunakan geotermometer Na-K (Tabel 5.6) menunjukkan bahwa MAP 3 juga memiliki reservoir yang tertinggi sekitar 208,11 °C. Hal ini menunjukkan bahwa suhu reservoir tertinggi berada pada MAP 3 dan besar suhu reservoir untuk titik sampel lainnya relative tidak berbeda signifikan.

Tabel 5.9 Data Hasil Analisis Geotermometer K-Mg

	<i>K</i>	<i>Mg</i>	<i>K</i> <sup>2</sup>	<i>K</i> <sup>2</sup> / <i>Mg</i>	<i>LOG K</i> <sup>2</sup> / <i>Mg</i>	<i>T K-Mg</i> (°C)
<i>MAP 1</i>	16	41	256	6.24	0.80	60.98
<i>MAP 2</i>	18	44	324	7.36	0.87	62.80
<i>MAP 3</i>	20	46	400	8.70	0.94	64.65
<i>MAP 4</i>	16	37	256	6.92	0.84	62.11
<i>MAP 5</i>	14	36	196	5.44	0.74	59.48

Berdasarkan hasil analisis tentang besar temperature reservoir dari beberapa peneliti di daerah lain seperti daerah panas bumi Amohola Sulawesi Tenggara menunjukkan bahwa temperatur reservoir di Pentadio Resort lebih besar, karena temperature reservoir di Amohola berkisar 150 °C -165 °C, sedangkan di Pentadio Resort diperkirakan 188, 96 °C – 208,11 °C. Sementara itu tempeatur reservoir di daerah panas bumi Maritaing Kabupaten Alor, Nusa Tenggara Timur sekitar 150 °C - 200 °C dengan tipe air klorida. Sementara temperature reservoir air panas bumi di Pentadio Resort adalah 188, 96 °C – 208,11 °C dengan tipe air Bikarbonat.

Sebaran manifestasi air panas bumi di Pentadio Resort dengan kandungan klorida rendah dapat memungkinkan karena berdasarkan struktur geologi dan persebaran litologi menunjukkan bahwa daerah penelitian tidak berada di daerah pegunungan yang aktif, namun termasuk dalam daerah yang diperkirakan memiliki sesar aktif. Keberadaan sesar Gorontalo yang merupakan sesar geser mengangan ini memicu adanya jalur pergerakan fluida ke permukaan. Sementara itu tipe litologi yang berada di daerah penelitian didominasi dengan batuan dasar batuan sedimen.

Temuan yang diperoleh dari penelitian ini yaitu berupa karakteristik reservoir yang meliputi sumber air panas, aliran fluida dan kemungkinan terjadinya *dilution* dan *mixing*, tipe fluida reservoir dan temperature reservoir. Kekhasan reservoir yang terdapat di Pentadio Resort dipengaruhi oleh persebaran litologinya dan struktur geologi. Sumber air panas menunjukkan berasal dari reservoir yang sama dengan tipe fluida berupa Bikarbonat. Dalam proses transportasi fluida ke permukaan mengalami interaksi dengan batuan samping berupa batuan sedimen hasil dari endapan pada masa Kuartar (endapan danau dan aluvium) dan material proklastik yang berasal dari material gunung api Bilungala pada Miosen Tengah - Pliosen Awal.

Apandi, dkk (1997), Bachri, dkk (2011), Sidarto, dkk (2013) menjelaskan bahwa sebaran satuan batuan sedimen menempati lembah di sekitar Danau Limboto dekat dengan lokasi penelitian yaitu Pentadio Reseort dengan ketebalan satuan batuan ini mencapai 94 meter dan dialasi oleh batuan Diorit. Disamping itu di bagian barat Danau Limboto terdapat persebaran Satuan Batuan Gamping Klastik (TQI), terdiri dari: kalkarenit, kalsirudif dan batu gamping koral yang diperkirakan berumur Pliosen Akhir hingga Pliosen Awal dengan ketebalan antara 100 hingga 200 meter. Kemudian terdapat juga satuan batuan batu Gamping Terumbu (QI), terdiri dari: batu gamping koral yang diperkirakan berumur Pliosen Akhir hingga Holosen dengan ketebalan mencapai 100 meter yang persebarannya terdapat di daerah dekat danau Limboto dan pantai selatan bagian timur.

Keberadaan karakteristik litologi di sekitar air panas bumi Pentadio Resort ini telah mempengaruhi karakteristik reservoir panas bumi. Interaksi fluida panas bumi dengan batuan samping mempengaruhi temperature reservoir yang proses aliran fluida serta tipe fluida seperti yang telah diuraikan sebelumnya. Dengan temuan dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik hidrotermal panas bumi Pentadio Resort dapat

memungkinkan untuk digunakan dalam pemanfaatan energy panas bumi secara tidak langsung untuk kebutuhan listrik dalam skala kecil.

Untuk lebih lanjut penelitian ini dapat dikembangkan juga untuk pemanfaatan langsung seperti untuk pengeringan hasil pertanian, atau dapat juga untuk perkebunan tanaman yang dapat tumbuh dalam air hangat. Namun tentunya ini perlu diteliti lebih lanjut sehingga dapat ditemukan zona-zona pemanfaatan langsung dan tidak langsung serta model pemanfaatan energy panas bumi Pentadio Resort. Serangkaian temuan ini dapat diperoleh pada produk penelitian tahun kedua yang didukung oleh data karakteristik hidrotermal pada tahun pertama ini.

## **BAB VI. RENCANA TAHAP BERIKUTNYA**

Tujuan utama seluruh rangkaian penelitian ini adalah merancang model pemanfaatan energy panas bumi Pentadio Resort baik secara langsung maupun tidak langsung untuk mendorong desa mandiri energy. Untuk mencapai tujuan akhir dari penelitian ini maka hasil penelitian tahun pertama yaitu tentang karakteristik hidrotermal panas bumi di Pentadio Resort menjadi dasar untuk melaksanakan penelitian di tahun kedua. Karena dengan mengetahui karakteristik hidrotermal yang meliputi asal atau sumber air panas bumi di Pentadio Resort, bentuk aliran fluida, tipe air panas bumi dan temperatur reservoir air panas bumi di Pentadio Resort, maka akan memudahkan dalam menganalisis tujuan penelitian tahun kedua.

Rencana yang akan dilaksanakan di tahun kedua adalah; (1) menganalisis besar kemampuan energy panas bumi dan energy listrik pada reservoir panas bumi Pentadio Resort untuk mendorong desa mandiri energi, (2) Memetakan zona pemanfaatan langsung dan tidak langsung energy panas bumi. (3) Merancang bentuk pemanfaatan secara langsung dan tidak langsung energy panas bumi Pentadio Resort. Dengan demikian *output* penelitian di Tahun kedua ini adalah terdapatnya hasil rancangan model pemanfaatan energy panas bumi di Pentadio Resort yang sesuai dengan karakteristik hidrotermal dan reservoir manifestasi panas bumi di daerah ini. Hasil rancangan ini diharapkan dapat menjadi bahan masukan dan pertimbangan bagi pemerintah dalam memaksimalkan dan mengefektifkan pemanfaatan energy panas bumi Pentadio Resort agar dapat memberikan solusi terhadap permasalahan masyarakat tentang krisis energy listrik.

## BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN

### 7.1. Kesimpulan

Penelitian yang telah dilakukan ini menghasilkan beberapa kesimpulan yang menjadi referensi penting untuk melakukan penelitian tahun ke dua. Adapun hasil penelitian yang dapat disimpulkan adalah :

1. Suhu air permukaan air panas bumi di Pentadio Resort di atas  $50^{\circ}\text{C}$  yaitu berkisar dari  $64,8^{\circ}\text{C}$  -  $76,7^{\circ}\text{C}$  dengan persebaran temperatur di 5 titik pengukuran ini menunjukkan bahwa makin ke arah utara timur laut temperatur air permukaan makin meningkat.
2. Perbandingan Cl/B dari kelima titik air panas di Pentadio Resort memiliki nilai perbandingan yang kecil yaitu antara 0,9 – 1.0. Nilai perbandingan Cl/B yang relative sama ini mengindikasikan bahwa fluida kelima titik air panas ini berasal dari reservoir yang sama.
3. Kandungan unsur kimia Boron (B) lebih besar dari kandungan Cl, dan Li yang menunjukkan bahwa adanya interaksi fluida panas dengan batuan samping selama di perjalanan menuju permukaan dengan batuan samping berupa batuan sedimen.
4. Reservoir air panas Pentadio Resort memiliki *Zona Upflow* air panas bumi. Dari data kimia air panas bumi Pentadio Resort ini dapat mengindikasikan bahwa dalam proses transportasi fluida menuju permukaan telah mengalami proses pencucian dan pelarutan dengan fluida air tanah, namun tidak mengindikasikan adanya *mixing* dengan air laut. Disamping itu selama proses transportasi juga telah terjadi interaksi antara fluida dengan batuan samping berupa batuan sedimen.
5. Dari data kimia air menunjukkan bahwa lebih besar kandungan anion  $\text{HCO}_3$ , dan kandungan Cl relative rendah dibandingkan dengan  $\text{SO}_4$  yang mengindikasikan bahwa tipe air panas di Pentadio Resort merupakan tipe Bikarbonat. Sementara nilai pH juga relative mendekati netral.
6. Sistem air panas ini telah mengalami proses pencucian, pelarutan atau pun transportasi yang menyebabkan terjadinya perubahan konsentrasi CL,  $\text{SO}_4$ , dan

HCO<sub>3</sub>. Proses pencucian yang dilalui bersentuhan dengan batuan sedimen dan bukan merupakan batuan beku atau batuan piroklastik dari aktivitas vulkanik.

7. Suhu reservoir berkisar dari 188 °C hingga 208, 11 °C. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 13-6171-1999) temperature reservoir air panas pada daerah penelitian Pentadio Reseort termasuk pada temperatur sedang yaitu 125 °C sampai 225 °C.
8. Pada MAP 1 sampai MAP 3 terjadi peningkatan rasio HCO<sub>3</sub> /SO<sub>4</sub>, sementara pada pada MAP 4 dan MAP 5 terjadi penurunan rasio HCO<sub>3</sub>/SO<sub>4</sub>. Rasio ini menunjukkan bahwa aliran fluida bergerak dari *upflow* ke *outflow* ke arah bagian Selatan Tenggara.

## 7.2. Saran

Dalam kegiatan penelitian ini peneliti menemukan beberapa hal yang perlu disarankan yaitu :

1. Perlu dilakukan pencarian dan kajian terhadap sumber panas bumi lain di Provinsi Gorontalo untuk mendorong desa mandiri energy di Provinsi Gorontalo
2. Perlu kerja sama dengan disiplin ilmu pertanian dan perkebunan untuk pembudidayaan tanaman perkebunan dan rancangan teknologi pengeringan hasil pertanian menggunakan energy panas bumi. Dengan demikian pemanfaatan energy panas bumi Pentadio Resort tidak sebatas tempat wisata pemandian.
3. Sumber panas bumi Pentadio Resort dapat dijadikan laboratorium alam bagi mahasiswa dan siswa untuk melakukan penelitian pengetahuan sistem panas bumi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Apandi, T., dan Bachri, S. 1997. Peta Geologi Lembar Kotamobagu, skala 1:250.000, Pusat Survey Geologi, Badan Geologi, Bandung.
- Armannsson, H dan Olafsson. 2007. Geothermal sampling and analysis. Geothermal training programme. United Nations University.
- Asosiasi Panas Bumi Indonesia. 2004. Panas Bumi : Energi kini dan masa depan. Buku Panas Bumi Indonesia.
- Andórson, S., D'Amore, F. dan Gerardo J, 2000, Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration (ed. S. Arnórsson). Vienna, International Atomic Energy Agency. 351p.
- Bachri, S., Sukido., dan Ratman, N. 2011. Peta Geologi Lembar Tilamuta, Sulawesi, skala 1:250.000, Pusat Survey Geologi. Badan Geologi. Bandung.
- Citrosiswoyo Wahyudi. 2008. Geotermal dapat mengurangi kebutuhan bahan bakar fosil dalam menyediakan listrik negara. Pusat Studi Kebumihan dan Bencana LPPM : Surabaya.
- DiPippo, Ronald. (2012). Geothermal Power Plants: Principles, Application, Case Studies and Environmental Impact Third Edition. Chancellor Professor Emeritus, University of Massachusetts Dartmouth, Nort Dartmouth, Massachusetts.
- Fathan. 2013. Studi Potensi Panas Bumi Daerah Hululais Kabupaten Lebong Provinsi Bengkulu, Sumatera. Geosains. Volume 09. No.02. 2013. Hal. 125-134
- Giggenbach, WF. 1988. Chemical Techniques in Geothermal Exploration. New Zealand: Chemistry Division, DSIR, Private Bag.
- Hadi Arif Ismul, Refrizon. 2005. Distribusi sumber panas bumi berdasarkan survai gradien suhu dekat permukaan Gunung api Hulu Lais. Jurnal Gradien Vol.1 No.2 Juli 2005 : 64-68. Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Bengkulu: Sumatera.
- Heasler P. Henry, Cheryl Jaworowski. 2009. Geothermal system and monitoring hidrotermal features. The Geological Society of America.
- Ishlah Teuku. Pengawasan eksplorasi panas bumi dalam rangka menuju 9.500 MW pada Tahun 2005. Perekrayasa Madya Bidang Program dan Kerja Sama Pusat Sumber Daya Geologi.
- Mardiana Undang. 2007. Manifestasi Panas Bumi Berdasarkan Nilai Tahanan Jenis Batuan (Studi Kasus Gunung Papandayan Kabupaten Garut- Provinsi Jawa Barat). Laporan Penelitian. Jurusan Geologi Fakultas MIPA, UNPAD

- Mahon K, and Ellis, AJ. 1977. Chemistry and Geothermal System. Orlando: Academic Press Inc.
- Nicholson, K . 1993. Geothermal fluids, chemistry and exploration technique. Springer-Verlag : Berlin
- Reed, M; dan Mariner, R. 1991. Quality control of chemical and isotopic analysis of geothermal water samples. Proceedings, Sixteenth of Geothermal Reservoir Engineering. Januari 23-25, 1991. Stanford, California.
- Saftadji, N.M. 2009. Karakteristik reservoir panas bumi. ITB
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 1998. Klasifikasi potensi energi panas bumi di Indonesia. Badan Standar Nasional – BSN : Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 1999. Metode estimasi potensi energi panas bumi. Badan Standar Nasional – BSN : Jakarta.
- Srigutomo Wahyu, dkk. 2013. Hydrothermal flow modeling at Western Flank of Slamet Volcano, Central Java, Indonesia, Based On Magnetotelluric Data. Proceedings. 2<sup>nd</sup> ITB Geothermal Workshop, Institut Teknologi Bandung.
- Sulistiyarini Yulia Ika, Irjan. 2011. Aplikasi metode geolistrik dalam survey potensi hidrotermal (Studi kasus sekitar air panas Kasina Pensangrahan Batu). Journal Neutron Vol.4, No. 1 Oktober 2011.
- Suparno, Supriyanto. 2009. Energi Panas Bumi. A Present From The Heart of The Earth. Departemen Fisika-FMIPA : Universitas Indonesia.
- Wahid Abdullah La Ode, 2004. Analisis Kebutuhan dan Penyediaan Listrik. Publikasi Ilmiah. ISBN 979-95999-3-7. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Konversi dan Konservasi Energi : Jakarta
- Yunginger, Raghel., Ngkoimani La Ode., Tisen. 2010. Studi awal terhadap estimasi potensi energi panas bumi di Pentadio Resort Gorontalo. Prosiding Seminar Energi 2010. ISSN:2087-7471. Jurusan Fisika, FMIPA UNPAD : Bandung

## LAMPIRAN 1

### PERSONALIA TENAGA PENELITI BESERTA KUALIFIKASINYA

#### I. BIODATA KETUA PENELITI

##### A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Raghel Yunginger, M.Si
2	Jenis Kelamin	Perempuan
3	Jabatan Fungsional	Lektor Kepala
4	NIP/NIK/Identitas lainnya	197710262002122003
5	NIDN	0026107704
6	Tempat dan Tanggal Lahir	Batudaa, 26 Oktober 1977
7	E-mail	<a href="mailto:Raghel_ung@yahoo.co.id">Raghel_ung@yahoo.co.id</a>
8	Nomor Telepon/HP	085220626075
Z9	Alamat Kantor	Jl. Jend. Sudirman No. 6 Kota Gorontalo
10	Nomor Telepon/Faks	(0435) 821125, 825754
11	Lulusan yang Telah Dihasilkan	S-1 = 47 orang; S-2 = - orang; S-3 = - orang
12	Mata Kuliah yg Diampu	1. Termodinamika 2. Listrik Magnet 3. Elektronika Dasar 4. Meteorologi dan Klimatologi 5. Geologi geotermal 6. Struktur geologi Indonesia 7. Geologi Fisik dan Dinamik 8. Geomorfologi Dasar

## B. Riwayat Pendidikan

	S1	S2	S3
Nama Perguruan Tinggi	IKIP Neg. Gorontalo	Institut Teknologi Bandung	-
Bidang Ilmu	Pendidikan Fisika	Fisika bidang keilmuan Fisika Bumi	-
Tahun Masuk-Lulus	1996 – 2002	2004-2006	-
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi	Pengaruh intensitas cahaya terhadap kelelahan mata pengrajin kerawang	Kajian dendrokronologi pada tree ring jati perkebunan	-
Nama Pembimbing/Promotor	Drs. Asri Arbie, M.Si	Prof. Satria Bijaksana, P.hD	-

## C. Pengalaman Penelitian Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (Juta Rp)
1.	2008-2010	Kajian paleoklimat melalui stalagmit dengan menggunakan metode radiocarbon untuk modeling iklim Provinsi Gorontalo	DP2M DIKTI	Rp. 70.000.000
2.	2009	Kajian paleoklimat melalui stalagmite dan tree ring jati perkebunan untuk modeling iklim Provinsi Gorontalo	DP2M DIKTI	Rp. 35.000.000
3.	2010	Analisis potensi daerah rawan bencana alam sebagai acuan dalam pengembangan wilayah dan mitigasi bencana alam di Provinsi Gorontalo	Kolaborasi antar Dosen	20.000.000
	2010-2012	Kajian Prospek Potensi Energi Panas Bumi di Provinsi Gorontalo Sebagai Sumber Energi Pembangkit Tenaga Listrik yang ramah lingkungan	DP2M DIKTI	137.000

\* Tuliskan sumber pendanaan baik dari skema penelitian DIKTI maupun dari sumber lainnya.

**D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir**

No	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (Juta Rp)
1	2009	Perubahan iklim terhadap Teluk Tomini	UNG	Rp. 5.000.000
2	2010	Pembuatan pengering ikan dendeng bagi masyarakat pesisir	UNG	Rp. 5.000.000
3	2010	Pelatihan penyusunan mitigasi dan adaptasi perubahan iklim melalui pendekatan pengelolaan sumber daya alam berbasis lokal di wilayah pesisir Kabupaten Pohuwato	UNG	Rp. 5.000.000
4	2011	Pembuatan Briket Dari Enceng Gondok Sebagai Energi Alternatif Rumah Tangga Dan Peluang Usaha Masyarakat Di Desa Iluta Kecamatan Batudaa Kabupaten Gorontalo	UNG	Rp. 5.000.000

\* Tuliskan sumber pendanaan baik dari skema pengabdian kepada masyarakat DIKTI maupun dari sumber lainnya.

**E. Publikasi Artikel Ilmiah Dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir**

No	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volume/ Nomor/Tahun
1.	Rekonstruksi paleoklimat melalui batuan stalagmit dengan metode radiocarbon	Jurnal Ichsan Gorontalo	ISSN : 1907-5324) Volume 1 Nomor 2, Juni-September 2006)
2.	Menentukan distribusi suhu pada pelat yang berbentuk persegi empat dengan menggunakan pendekatan metode beda hingga terhadap Persamaan Laplace.	Jurnal SaInsTEK	ISSN :1907-1973) volume 1 nomor 4, Maret 2008
3.	Analisis prospek potensi energi geothermal di Pentadio Resort Provinsi Gorontalo	Prosiding Energi	ISSN : 2087-7471 Jurusan Fisika, UNPAD, Bandung.

**F. Pemakalah Seminar Ilmiah (Oral Presentation) dalam 5 Tahun Terakhir**

No	Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1.	Seminar Nasional Fisika Di Universitas Negeri Gorontalo.	Penggunaan metode geolistrik dalam mencari sifat esistivitas/konduktivitas listrik dari lapisan batuan di dalam bumi.	2006, UNG

2.	International Confrence HFI Ke-22,	Kajian paleoklimat melalui stalagmite untuk modeling iklim Provinsi Gorontalo	September 2008, Di Universitas Negeri Gorontalo
3.	Seminar Nasional SUSCLAM bekerja sama BAPEDDA Provinsi Gorontalo, dan JAPESDA dalam rangka Hari Lingkungan Hidup, 2009	Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Teluk Tomini	2009, New Rahmat In Hotel, Gorontalo
4.	The Third International Conference on Natural Resources Exploration For Sustainable Development.	Analisis potensi energi geothermal menggunakan metode geomagnetik dan geolistrik.	5 September 2012. Universitas Negeri Gorontalo

#### G. Karya Buku dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
-				

#### H. Perolehan HKI dalam 5–10 Tahun Terakhir

No	Judul/Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
--	--	--	--	--

#### I. Pengalaman Merumuskan Kebijakan Publik/Rekayasa Sosial Lainnya dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tahun	Tempat Penerapan	Respon Masyarakat
--	-	--	--	--

#### J. Penghargaan dalam 10 tahun Terakhir (dari pemerintah, asosiasi atau institusi lainnya)

No	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Dosen berprestasi tingkat nasional	Direktorat Ketenagaan RI	2009
2	Sang Penemu	TVRI Nasional	2012

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Penelitian Hibah Bersaing.

**Gorontalo, 26 Oktober 2016**

**Ketua Tim Pengusul.**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Raghel Yunginger', with a stylized flourish at the end.

**(Raghel Yunginger, M.Si)**

## II. BIODATA ANGGOTA PENELITIAN

### A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Intan Noviantari Manyoe, S.Si., M.T
2	Jenis Kelamin	Perempuan
3	Jabatan Fungsional	Tenaga Pengajar
4	NIP/NIK/Identitas lainnya	19821112 200812 2 002
5	NIDN	0012118202
6	Tempat dan Tanggal Lahir	Limboto Kabupaten Gorontalo, 12 Nopember 1982
7	E-mail	<a href="mailto:intan.manyoe@ung.ac.id">intan.manyoe@ung.ac.id</a>
8	Nomor Telepon/HP	081280023410
9	Alamat Kantor	Jl. Jend. Sudirman No. 6 Kota Gorontalo
10	Nomor Telepon/Faks	(0435) 821125, 825754
11	Lulusan yang Telah Dihasilkan	S-1 = - orang; S-2 = - orang; S-3 = - orang
12	Mata Kuliah yg Diampu	1. Geofisika 2. Geofisika Eksplorasi 3. Geologi Indonesia 4. Geologi Panas Bumi 5. Geologi Bawah Permukaan 6. Geomorfologi Indonesia 7. Vulkanologi 8. Hidrogeologi 9. Tektonika 10. Seismologi

## B. Riwayat Pendidikan

	S1	S2	S3
Nama Perguruan Tinggi	Unversitas Hasanuddin	Universitas Hasanuddin	-
Bidang Ilmu	Geofisika	Teknik Geologi	-
Tahun Masuk-Lulus	2001 - 2005	2011 – 2014	-
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi	Penentuan Zonasi Kegempaan Berdasarkan Pola Penyebaran Gempa Bumi dan Percepatan Tanah Maksimum (Studi Kasus Provinsi Gorontalo)	Penentuan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Distribusi Anomali Magnetik dan Nilai Resistivitas Batuan Daerah Panas Bumi Bongongoayu Kabupaten Gorontalo	-
Nama Pembimbing/Promotor	Drs. Lantu, M.Eng.Sc DESS dan Syamsu Arif, M.Si	Prof. Dr. Dadang Ahmad Suriamihardja, M.Eng dan Dr. Ulva Ria Irvan, M.T	-

## C. Pengalaman Penelitian Dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Juta Rp)
1.	2009	Pengembangan Media Pembelajaran Animasi Simulasi Daerah Genangan Banjir Menggunakan Aplikasi Swishmax	PNBP	Rp 3.000.000,-
2.	2014	Kajian Geologi Daerah Panas Bumi Bongongoayu Kabupaten Gorontalo	BLU PNBP	Rp 5.000.000,-
3.	2015	Geologi Daerah Panas Bumi Pancuran Kabupaten Bone Bolango	Mandiri	Rp 5.000.000,-
4.	2015	Survei Geolistrik Tahanan Jenis Daerah Panas Bumi Pancuran Kabupaten Bone Bolango	Mandiri	Rp 7.000.000,-

**D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir**

No.	Tahun	Judul Pengabdian kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Juta Rp)
1	2014	Pelatihan Teknis Survei Geomorfologi Bagi Mahasiswa Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo	Mandiri	Rp. 1.000.000,-

**E. Publikasi Artikel Ilmiah dalam Jurnal 5 Tahun Terakhir**

No.	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volume/ Nomor/Tahun
1			
2			

**F. Pemakalah Seminar Ilmiah dalam 5 Tahun Terakhir**

No.	Nama Pertemuan Ilmiah/Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1	Seminar Batu Akik	Batu Akik dalam Tinjauan Geologi	12 Maret 2015, Training Center UNG

**G. Karya Buku dalam 5 Tahun Terakhir**

No.	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
1				
2				

**H. Perolehan HKI dalam 5-10 Tahun Terakhir**

No.	Judul/Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
1				

**I. Pengalaman Merumuskan Kebijakan Publik/Rekayasa Sosial Lainnya dalam 5 Tahun Terakhir**

No.	Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tahun	Tempat Penerapan	Respon Masyarakat
1				

**J. Penghargaan dalam 10 Tahun Terakhir (dari Pemerintah, Asosiasi atau Institusi lainnya)**

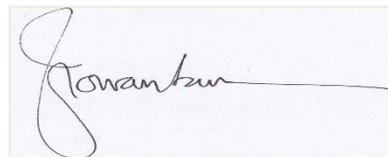
No.	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun
1			

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Hibah Bersaing.

Gorontalo, 26 Oktober 2016

Anggota,



Intan Noviantari Manyoe, S.Si., M.T

**LAMPIRAN 2**

**SUSUNAN ORGANISASI TIM PENELITIAN DAN PEMBAGIAN TUGAS**

No.	Nama / NIDN	Instansi Asal	Bidang Ilmu	Alokasi Waktu	Uraian Tugas
1.	Raghel Yunginger, M.Si / 0026107704	Jurusan Fisika Universitas Negeri Gorontalo	Fisika	44 minggu	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bertanggung jawab penuh terhadap pencapaian tujuan akhir penelitian.</li> <li>2. Merencanakan, melaksanakan, dan melaporkan hasil penelitian, log book keuangan dan kegiatan.</li> <li>3. Melaksanakan seluruh tahapan metodologi penelitian baik metode geologi, dan geokimia</li> <li>4. Merencanakan dan melaksanakan penelitian beserta anggota peneliti, pembantu lapangan, pengolah data, dan juga melibatkan mahasiswa S1.</li> <li>5. Merencanakan dan membuat artikel untuk publikasi hasil penelitian di kegiatan seminar.</li> </ol>
2.	Intan Manyoe, S.Si, MT / 0012118202	Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo	Geologi	38 minggu	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bertanggung jawab penuh terhadap pencapaian tujuan akhir penelitian bersama ketua peneliti.</li> <li>2. Merencanakan, melaksanakan, dan melaporkan hasil penelitian, log book keuangan dan kegiatan bersama ketua peneliti.</li> <li>3. Melakukan survey geologi, preparasi sampel, dan analisis aspek geologi, litologi, bersama ketua peneliti, pembantu lapangan, dan pengolah data.</li> <li>4. Melakukan dokumentasi dan administrasi data-data penelitian sebagai rekaman penelitian.</li> </ol>

**MAKALAH SEMINAR NASIONAL ENERGI**

**UNHAS, 20 NOPEMBER 2016**

**ABSTRAK**

**POLA DAN KARAKTERISTIK PANAS BUMI  
DI PENTADIO RESORT GORONTALO**

**Raghel Yunginger<sup>(1)</sup>, Intan N Manyoe<sup>(2)</sup>**

- 1) Universitas Negeri Gorontalo Prodi Fisika, Email : raghel\_ung@yahoo.co.id**
- 2) Universitas Negeri Gorontalo Prodi Teknik Geologi**

Manifestasi energy geothermal di Pentadio Resort merupakan salah satu potensi energy renewable yang terdapat di Provinsi Gorontalo. Potensi ini menjadi solusi yang dapat dikembangkan dalam mengatasi masalah krisis energy listrik di daerah ini. Disamping itu potensi ini pun dapat dimanfaatkan secara langsung untuk mendukung pertumbuhan ekonomi masyarakat. Oleh karena itu telah dilakukan penelitian tentang pola dan karakteristik panas bumi di Pentadio Resort. Parameter dengan menganalisis sifat fisik dan sifat kimia fluida yang terkandung di dalam reservoir serta sifat batuan. Metode yang digunakan adalah metode geokimia dan geologi. Sedangkan analisis laboratorium menggunakan metode AAS yang selanjutnya data diolah dengan menggunakan klasifikasi diagram Ternary untuk memperoleh karakteristik reservoir bawah permukaan. Penelitian ini dilakukan pada 5 titik pengukuran yang diukur pada pagi, siang dan malam hari. Hasil analisis menunjukkan bahwa Suhu air panas Pentadio Resort termasuk pada suhu rendah karena  $< 125^{\circ}\text{C}$  yaitu berkisar dari  $64,8^{\circ}\text{C}$  -  $76,7^{\circ}\text{C}$ . Sementara dari plotting diagram Ternary Cl-Li-B menunjukkan bahawa kandungan unsur kimia Boron (B) lebih besar dari kandungan Cl, dan Li yang menunjukkan bahawa asal manifestasi ini adalah manifestasi air panas di permukaan. Hal ini dimungkinkan karena adanya interaksi fluida panas selama mengalir menuju permukaan yang bersentuhan dengan batuan sampingnya yaitu batuan sedimen. Dari data kimia air juga menunjukkan bahawa kandungan anion  $\text{HCO}_3^-$  dan kation  $\text{Na}^+$  relatif besar. Sedangkan nilai pH bersifat asam lemah (6). Dengan demikian tipe air panas di Pentadio Resort adalah tipe air Bikarbonat. Sementara itu system air panas ini mengalami proses pencucian yang bersentuhan dengan batuan sedimen dan bukan merupakan batuan beku atau batuan piroklastik dari aktivitas vulkanik. Analisa ini didukung dengan struktur geologi di titik penelitian yang merupakan jalur sesar perkiraan yaitu sesar Gorontalo yang merupakan sesar geser menganan. Ini artinya bahwa air panas yang terdapat di Pentadio Resort merupakan manifestasi yang dipengaruhi oleh tektonik.

Keywords : Sistem hidrotermal, karakteristik reservoir, geokimia dan geologi, Energi Panas Bumi, Energi Listrik,

## PENDAHULUAN

Provinsi Gorontalo merupakan salah satu provinsi termuda yang terus melakukan pembangunan dan kegiatan perekonomian di berbagai sektor. Meningkatnya kegiatan perekonomian tentunya harus didukung oleh ketersediaan energy listrik. Disamping itu pertumbuhan penduduk di Provinsi Gorontalo terus mengalami peningkatan seperti pada angka proyeksi penduduk pada tahun 2014, jumlah penduduk di Provinsi Gorontalo sebanyak 1.115.633 jiwa. Jumlah ini meningkat sebesar 1,61 % dari pada tahun 2013 yang sebelumnya sebesar 1.097.990 jiwa. Kepadatan penduduk di Provinsi Gorontalo ini mencapai 90 jiwa/km<sup>2</sup> dari luas Gorontalo 12.435 km<sup>2</sup> (BPS Provinsi Gorontalo, 2015).

Peningkatan pertumbuhan penduduk ini diikuti juga dengan kegiatan perekonomian dan kebutuhan vital lainnya yang sangat membutuhkan pasokan energy listrik. Tentunya secara langsung keadaan ini akan meningkatkan pemakaian BBM yang keberadaannya juga semakin berkurang. Bahkan berdasarkan rasio elektrifikasi bahwa kebutuhan energy listrik pada tahun 2015 dapat naik 3,81 kali lipat dibandingkan tahun 2000. Peningkatan kebutuhan tenaga listrik rata-rata sebesar 10,21 % per tahun, dan pada tahun 2015 diperlukan tenaga listrik sebesar 314,8 GWh. Dengan

demikian diperkirakan bahwa beban puncak terjadi tahun 2015 dapat mencapai 71,6 MW atau 3,73 kali dibandingkan beban puncak tahun 2000 sebesar 19,2 MW (Wahid, 2004).

Untuk membantu mengatasi keterbatasan pasokan listrik di Provinsi Gorontalo, maka perlu ada upaya untuk mencari energy alternative yang tersedia di daerah ini sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energy pembangkit listrik. Salah satu potensi energy alternative yang renewable adalah energy panas bumi atau geothermal yang terdapat di beberapa *hot spot* Provinsi Gorontalo yang kemungkinan berpotensi untuk digunakan sebagai energy alternative untuk pembangkit listrik.

Sekitar 110 MW potensi energy geothermal di Gorontalo yang tersedia namun belum dimanfaatkan untuk pengembangan energy listrik. Salah satu lokasi potensi energy geothermal di Gorontalo dengan manifestasinya berupa air panas adalah kawasan wisata Pentadio Resort. Sepanjang tahun manifestasi air panas bumi di Pentadio Resort tersedia, bahkan suhunya relative stabil (Yunginger, 2012). Namun sampai saat ini potensi tersebut hanya dimanfaatkan sebagai tempat wisata dan pemandian, dan belum dimanfaatkan untuk energy pembangkit tenaga listrik dan manfaat langsung lainnya. Oleh karena itu penting

untuk melakukan kajian yang lebih dalam dan komprehensif terhadap potensi energy panas bumi di Pentadio Resort sehingga menjadi pertimbangan bagi pemerintah dalam mengembangkan energy panas bumi. Lebih khusus penelitian ini Menganalisis sistem hidrotermal panas bumi Pentadio Resort dan mengidentifikasi besar kemampuan energy panas bumi dan energy listrik pada reservoir panas bumi Pentadio Resort. Dengan karakteristik model reservoir panas bumi yang terdapat di Pentadio Resort dapat ditemukan juga, dan dapat dirancang model pemanfaatan energinya baik secara langsung maupun tidak langsung utamanya. Hal ini akan memberikan dampak positif bagi masyarakat dalam melangsungkan kegiatan ekonomi yang dapat mempercepat pertumbuhan ekonomi Provinsi Gorontalo yang sangat bergantung pada ketersediaan energy listrik.

Saat ini di Indonesia banyak memanfaatkan energy panas bumi berupa reservoir hidrotermal karena mengandung uap, air, atau campuran antara uap dan air. Saptadi (2009) menambahkan apabila temperature lebih tinggi dari temperature saturasi dari pada tekanan, maka fluida hanya terdiri dari satu fasa yaitu uap. Apa bila tekanan dan temperature reservoir sama dengan tekanan dan temperatur saturasi air, maka fluida terdiri dari dua fasa yaitu campuran air dan

uap. Perbedaan karakteristik system panas bumi di suatu daerah dapat terjadi karena adanya perbedaan struktur geologi, sifat batuan, intensitas panas, dan kandungan kimia dalam air dan gas. Berbagai ahli geothermal membedakan tipe air panas bumi berdasarkan konsentrasi ion yang terdapat dalam air. Tipe air panas tersebut adalah :

5. Air alkali klorida yang dicirikan dengan kandungan klorida yang tinggi, kandungan Na dan K yang tinggi, kandungan  $\text{SiO}_2$  yang cukup tinggi dan pH sekitar 6-7.
6. Air asam sulfat yang dicirikan dengan kandungan ion sulfat ( $\text{SO}_4^-$ ) yang tinggi, kandungan klorida ( $\text{Cl}^-$ ) dan karbonat ( $\text{CO}_3^-$ ) yang sangat rendah, dan pH yang rendah yaitu sekitar 2-3.
7. Air asam sulfat-clorida yang dicirikan dengan kandungan ion sulfat ( $\text{SO}_4^-$ ) dan klorida ( $\text{Cl}^-$ ) yang tinggi dengan pH sekitar 2-5.
8. Air karbonat dicirikan dengan kandungan ion karbonat ( $\text{CO}_3^-$ ) yang tinggi, kandungan ( $\text{Cl}^-$ ) yang rendah dengan pH 5-6.

Untuk mendapatkan pemanfaatan energi panas bumi yang lebih maksimal dan efektif ditekankan lagi oleh Arif Ismul Hadi, Refrizon (2005) bahwa pemanfaatan energi panas bumi yang paling efisien adalah

dengan memanfaatkan batuan terobosan yang masih panas dan relatif dangkal, yang umumnya terletak di sekitar gunung api, dan daerah yang berada di sepanjang batas-batas lempeng tektonik, sehingga menyebabkan terdapatnya kegiatan tektonik aktif yang menghasilkan gradien suhu yang tinggi.

Sementara dalam SNI (1999) bahwa klasifikasi reservoir dalam asumsi yang digunakan dalam estimasi potensi energi panas bumi yaitu :

4. Sistem panas bumi bertemperatur rendah, yaitu suatu sistem yang reservoirnya mengandung fluida dengan temperatur lebih kecil dari 125<sup>0</sup>C.
5. Sistem/reservoir bertemperatur sedang, yaitu suatu sistem yang reservoirnya mengandung fluida bertemperatur antara 125<sup>0</sup>C - 225<sup>0</sup>C.
6. Sistem/reservoir bertemperatur tinggi, yaitu suatu sistem yang reservoirnya mengandung fluida bertemperatur diatas 225<sup>0</sup>C.

Untuk mengetahui karakteristik reservoir panas bumi maka DiPippo (dalam Suparno; 2009 : 23) menjelaskan lima sasaran yang perlu diidentifikasi yaitu :

- 6 Menentukan posisi batuan panas (*hot rock*)
- 7 Mengestimasi atau memperkirakan volume reservoir (kedalaman, ketebalan dan luas reservoir),

tekanan dan temperatur fluida yang berada di dalamnya, serta sifat fluida yang terkandung di dalamnya.

- 8 Memprediksi apakah fluida yang bakal keluar di sumur produksi berupa uap kering (*dry steam*) atau liquid atau campuran dua fasa (*uap dan liquid*)
- 9 Menentukan sifat kimia dari fluida panas bumi
- 10 Memperkirakan potensi energi yang bias dihasilkan hingga minimal 20 tahun ke depan.

Syarat mendapatkan energi panas bumi tersebut, perlu adanya reservoir air bawah permukaan yang dipanaskan oleh batuan beku panas atau magma yang disebut sebagai sistem hidrotermal. Namun lapangan panas bumi di setiap tempat mempunyai kondisi yang berbeda-beda karakteristiknya. Keanekaragaman tersebut terjadi pula pada komposisi kimia dalam fluida yang mengalir dari reservoir ke permukaan. Komposisi kimia tersebut sering kali dapat digunakan untuk memperkirakan suhu reservoir. Sehingga analisis tentang karakteristik model reservoir panas bumi merupakan bagian yang sangat penting untuk meminimalisir kesulitan dan kerugian dalam pemanfaatan sumber energi panas bumi pada manifestasi penyelidikan.

Air dan uap panas yang keluar ke permukaan bumi dapat dimanfaatkan secara langsung sebagai pemanas. Selain bermanfaat sebagai pemanas, panas bumi dapat dimanfaatkan sebagai tenaga pembangkit listrik. Air panas alami bila bercampur dengan udara akan menimbulkan uap panas (steam). Air panas dan uap inilah yang kemudian dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit tenaga listrik. Agar panas bumi dapat dikonversi menjadi energi listrik maka diperlukan pembangkit (*power plants*). Reservoir panas bumi biasanya diklasifikasikan ke dalam dua golongan yaitu yang bersuhu rendah ( $150^{\circ}\text{C}$ ), yang dapat digunakan untuk sumber pembangkit tenaga listrik dan dikomersialkan adalah yang masuk kategori *high temperature*.

Namun dengan perkembangan teknologi, sumber panas bumi dengan kategori *low temperature* juga dapat digunakan asalkan suhunya melebihi  $50^{\circ}\text{C}$ . Pembangkit listrik dari panas bumi dapat beroperasi pada suhu yang relatif rendah yaitu berkisar antara  $50$  sampai dengan  $250^{\circ}\text{C}$  (Saptajdi, 2009).

Berdasarkan studi pendahuluan yang telah peneliti lakukan sebelumnya pada bidang geotermal khususnya di Gorontalo bahwa di Gorontalo terdapat titik-titik manifestasi panas bumi yaitu berupa air panas bumi khususnya yang terdapat di Kabupaten Bone Bolango, dan Pentadio Resort Kabupaten

Gorontalo. Pengukuran temperatur permukaan menunjukkan bahwa lokasi penyelidikan memiliki reservoir yang bertemperatur rendah yaitu sekitar  $64^{\circ}\text{C} - 79^{\circ}\text{C}$  (Yunginger dkk, 2011 : 193). Disamping itu diperoleh juga bahwa manifestasi air panas bumi yang terdapat di Pentadio Resort relatif stabil dibandingkan dengan manifestasi panas bumi yang terdapat di Desa Bulontala Timur Kabupaten Bone Bolango.

Untuk melakukan studi awal di atas peneliti telah melakukan survey di daerah yang memiliki prospek potensi panas bumi. Pencapaian terhadap manifestasi panas bumi sebagai langkah awal yang telah peneliti lakukan, kemudian dilanjutkan dengan penentuan manifestasi panas bumi dan prospeknya sebagai sumber energi alternatif untuk tenaga listrik. Beberapa metode penelitian telah digunakan dalam menganalisis prospek geotermal khususnya pada metode geofisika yang menggunakan metode geomagnetik dan metode geolistrik.

## 2. STUDI AREA

Secara geografis Pentadio Resort terletak pada  $0^{\circ}36'58''$  LU dan  $123^{\circ}00'26''$  BT. Objek wisata Pentadio Resort tepat berada di Desa Pentadio Timur, Kecamatan Telaga Biru, Kabupaten Gorontalo. Pada Gambar 1 menunjukkan posisi Pentadio Resort yang berada di area dekat dengan Danau Limboto

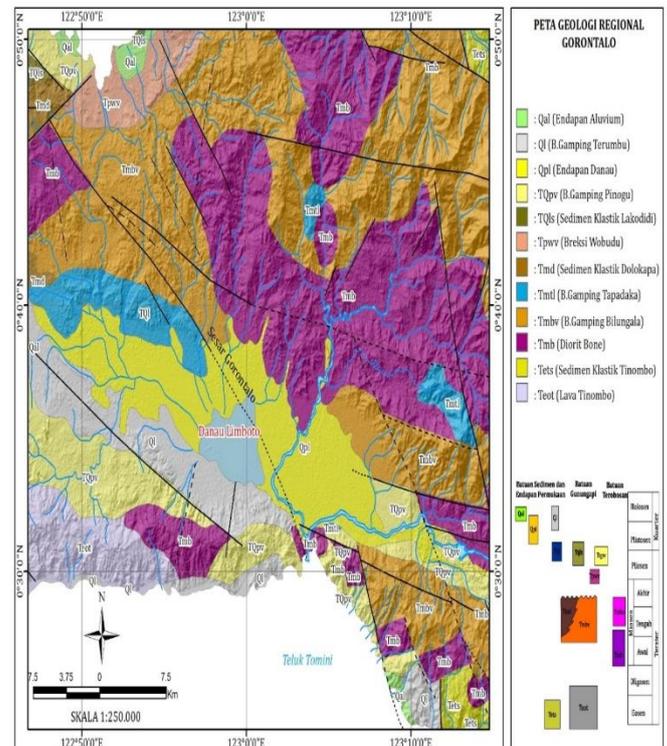
juga. Titik pengukuran pada penelitian ini dilakukan pada 5 titik yang merupakan manifestasi air panas di Pentadio Resort.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian di Pentadio Resort Provinsi Gorontalo

Berdasarkan peta geologi lembar Tilmuta (S. Bachri, dkk, 1993) dan lembar Kotamobagu (T. Apandi, dkk, 1997) dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung (Gambar 4), ang telah dimodifikasi oleh peneliti (Gambar 2) wilayah Gorontalo berada pada bagian lengan utara Sulawesi, dimana sebagian besar daerah ini ditempati oleh satuan batuan Gunung Api Tersier. Di wilayah bagian tengah daerah ini dijumpai dataran rendah berbentuk memanjang yang

terbentang dari arah barat-barat laut ke timur-tenggara yang diduga semula merupakan danau dengan pusatnya berada di Danau Limboto.



Gambar 2. Peta Geologi Gorontalo. Dimodifikasi kembali dari sumber Bakri, dkk., 1993 & Apandi, dkk, 1997)

### ***Geologi Daerah Cekungan Limboto***

Susunan batuan di daerah Cekungan Limboto disusun oleh beberapa satuan batuan yang berumur muda hingga tua , terdiri dari:

1. Endapan Danau (Qpl), terdiri dari: batu lempung, batu pasir, dan kerikil. Satuan batuan ini umumnya didominasi oleh oleh batu lempung yang berwarna abu-abu kecoklatan, setempat mengandung

sisia tumbuhan dan lignit, di beberapa tempat terdapat batu pasir berbutir halus hingga kasar, serta kerikil. Pada batu pasir secara setempat terdapat struktur sedimen silang siur bersekala kecil. Umumnya satuan batuan ini masih belum mampat dan diperkirakan berumur Pliosen hingga Holosen. Sebaran satuan batuan ini menempati daerah dataran yang terhampar di sekitar Danau Limboto. Ketebalan satuan batuan ini mencapai 94 meter dan dialasi oleh batuan diorit (Apani, dkk, 1997).

2. Batu Gamping Terumbu (QI), terdiri dari: batu gamping korat. Umur dari satuan batuan ini diperkirakan Pliosen Akhir hingga Holosen dengan ketebalan mencapai 100 meter, sedangkan sebarannya terdapat di daerah dekat anau Limboto dan pantai selatan.
3. Batu Gamping Klastik (TQI), terdiri dari : kalkarenit, kalsirudit dan batu gamping koral: Satuan batuan ini diperkirakan berumur Pliosen Akhir hingga Pliosen Awal dengan ketebalan antara 100 hingga 200 meter, sedangkan sebarannya terdapat di bagian utara cekungan yaitu sebelah barat Danau Limboto.
4. Batuan Gunungapi Pinogu (TQpv), terdiri dari : perselingan aglomerat, tuf dan lava. satuan batuan ini! diperkirakan berumur Pliosen Akhir hingga Pliosen Awal dengan ketebalan mencapai 250

meter, sedangkan sebarannya terdapat di sebelah selatan dan sebelah barat Cekungan Limboto dan di beberapa tempat membentuk bukit bukit terpisah.

5. Formasi Tinombo (Teot), terdiri dari : lava basal, lava andesit, breksi gunung api, dengan selingan batu pasir wake, batu pasir hijau, batu lanau, batu gamping merah, batu gamping kelabu, dan sedikit batuan termalihkan. Umur dari satuan batuan ini diperkirakan Eosen hingga Miosen Awal. Satuan batuan dari formasi ini terdapat di daerah sebelah selatan Tolotio (bagian timur).
6. Batuan Gunungapi Bilungala (Tmbv), terdiri dari : breksi gunungapi, tuf dan lava. satuan batuan ini diperkirakan berumur Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir dengan tebal lebih dari 1.000 meter. Sebaran dari satuan batuan ini terdapat di bagian timur Gorontalo, yaitu di daerah Tolotio menerus ke arah timur.

### ***Geomorfologi***

Wilayah Gorontalo yang ditempati oleh Cekungan Air Tanah Limboto berada pada bagian lengan utara Sulawesi, dimana sebagian besar daerah ini ditempati oleh satuan batuan Gunung Api Tersier. Di wilayah bagian tengah daerah ini dijumpai dataran rendah berbentuk memanjang yang terbentang dari arah barat-barat laut ke

timur-tenggara yang diduga semula merupakan danau dengan pusatnya berada di Danau Limboto.

Wilayah Cekungan Limboto dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) satuan morfologi, yaitu: satuan morfologi satuan pegunungan berlereng terjal, satuan morfologi perbukitan bergelombang dan satuan morfologi dataran rendah.

Satuan morfologi pegunungan berlereng terjal, terutama menempati wilayah bagian tengah dan utara wilayah Gorontalo, yang menjadi pembatas sebelah timur dan sebelah utara dari Cekungan Air Tanah Limboto yaitu dengan beberapa puncaknya berada di Pegunungan Tilongkabila, antara lain : G. Gambut (1954 m), G. Tihengo (1310 m), G. Pombolu (520 m) dan G. Alumolingo (377 m), satuan morfologi ini terutama dibentuk oleh satuan batuan Gunung api tersier dan batuan Plutonik.

Satuan morfologi perbukitan bergelombang, terutama dijumpai di daerah bagian selatan dan bagian barat dan menjadi batas cekungan di sebelah selatan dan sebelah utara. Satuan morfologi ini umumnya menunjukkan bentuk puncak membulat dengan lereng relatif landai dan berjalur kurang dari 200 meter yang terutama ditempati oleh satuan batuan Gunungapi dan batuan sedimen berumur Tersier hingga Kuartar.

Satuan morfologi dataran, merupakan daerah dataran rendah yang berada di bagian tengah wilayah Cekungan Limboto yaitu di sekitar Danau Limboto. Pada umumnya daerah ini ditempati oleh satuan aluvium dan endapan danau. Aliran sungai di wilayah ini umumnya mempunyai pola 'sub dendritic dan 'sub parallel".

### ***Stratigrafi***

Stratigrafi wilayah Gorontalo disusun oleh formasi/satuan batuan sebagai berikut:

#### ***a. Endapan Permukaan***

1. Aluvium (Qal), terdiri dari : pasir, lempung, lanau, lumpur, kerikil dan kerakal yang bersifat lepas. Satuan batuan ini menempati daerah dataran rendah, terutama di daerah dataran, lembah sungai dan daerah rawa-rawa. Pelamparan dari satuan batuan ini terbatas pada daerah aliran sungai (DAS) seperti yang terdapat di sebelah barat Danau Limboto.
2. Endapan Danau (Qpl), terdiri dari : batu lempung, batu pasir, dan kerikil. Satuan batuan ini umumnya didominasi oleh batu lempung yang berwarna abu - abu kecoklatan, setempat mengandung sisa tumbuhan dan lignit, di beberapa tempat terdapat batu pasir berbutir halus hingga kasar, serta kerikil. Pada batupasir secara setempat terdapat struktur

sedimen silang siur berskala kecil. Umumnya satuan batuan ini masih belum mampat dan diperkirakan berumur Pliosen hingga Holosen. Sebaran satuan batuan ini menempati lembah di sekitar Danau Limboto. Ketebalan satuan batuan ini mencapai 94 meter dan dialasi oleh batuan Diorit (Apandi, dkk, 1997).

**b. Satuan Batuan Sedimen dan Gunungapi**

1. Formasi 'Anombo (Teot), terdiri dari : lava basal, lava andesit, breksi gunung api, dengan selingan batu pasir wake, batu pasir hijau, batu lanau, batu gamping merah, batu gamping kelabu, dan sedikit batuan termalihkan. Umur dari satuan batuan ini diperkirakan Eosen hingga Miosen Awal. Satuan batuan dari formasi ini terdapat di daerah sekitar G. Tahupo (828 m) di sebelah selatan.
2. Formasi Dolokapa (fmd), terdiri dari : batu pasir wake, batu lanau, batu lumpur, konglomerat, tuf, tuf lapili, aglomerat, breksi gunungapi dan lava bersusunan andesit sampai basal. Umur dari formasi ini diperkirakan Miosen Tengah hingga Awal. Miosen Akhir dengan lingkungan lingkungan pengendapan "inner sublitoral" dengan tebal diperkirakan lebih dari 2.000 meter. Sebaran dari satuan

batuan di daerah ini menempati bagian tengah dan utara wilayah Gorontalo, yaitu di sebelah utara dari Cekungan Limboto (daerah Paleleh hingga sekitar daerah daerah Kuandang).

3. Batuan Gunungapi Bilungala (Tmbv), terdiri dari : breksi gunungapi, tuf dan lava. satuan batuan ini diperkirakan berumur Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir dengan tebal lebih dari 1.000 meter. Sebaran dari satuan batuan ini terdapat di bagian timur wilayah Gorontalo, di daerah Tolotio menerus ke timur.
4. Satuan Breksi Wobudu (Tpww), terdiri dari : breksi gunungapi, aglomerat, tuf, tuf lapili, lava andesit dan lava basal. Satuan batuan ini diperkirakan berumur Pliosen Awal dengan ketebalan diperkirakan 1.000 hingga 1.500 meter. satuan batuan ini tersingkap di bagian utara wilayah Cekungan Limboto, mulai dari Pegunungan Paleleh hingga sebelah barat Teluk Kuandang.
5. Batuan Gunungapi Pinogu (TQpv), terdiri dari: perselingan aglomerat, tuf dan lava. satuan batuan ini diperkirakan berumur Pliosen Akhir hingga Pliosen Awal dengan ketebalan mencapai 250 meter, sedangkan sebarannya terdapat di

sebelah selatan wilayah Cekungan Limboto dan daerah Teluk Kuandang serta di beberapa tempat yang membentuk bukit - bukit terpisah.

6. Batu Gamping Klastik (TQI), terdiri dari: kalkarenit, kalsirudif dan batu gamping koral. Satuan batuan ini diperkirakan berumur Pliosen Akhir hingga Pliosen Awal dengan ketebalan antara 100 hingga 200 meter, sedangkan sebarannya terdapat di sebelah barat Danau Limboto.
7. Batu Gamping Terumbu (QI), terdiri dari: batu gamping koral. Umur dari satuan batuan ini diperkirakan Pliosen Akhir hingga Holosen dengan ketebalan mencapai 100 meter, sedangkan sebarannya terdapat di daerah dekat danau Limboto dan pantai selatan bagian timur.

c. *Satuan Batuan Terobosan*

1. Diorit Bone (Tmb), terdiri dari : diorit, diorit kuarsa, granodiorit dan adamelit. Satuan batuan ini diduga berumur Miosen Tengah hingga awal Miosen Akhir (Trail, 1974), dan terdapat di daerah sebelah timur sesar Gorontalo, juga di sebelah barat sesar disebelah utara dari Cekungan Limboto (daerah dekat Kuandang dan Paleleh).

2. Diorit Boliohuto (Tmbo), terdiri dari : diorit dan granodiorit Satuan batuan ini diperkirakan berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir, dan mempunyai sebaran di daerah G. Boiiohuto.
3. Satuan Batuan Retas, terdiri dari : Andesit (Ta) dan Basal (fb). Satuan batuan ini menerobos satuan batuan dari Formasi Tinombo, Dolokapa, dan breksi Wobudu, sehingga umumnya dianggap Miosen hingga Pliosen.

Khusus stratigrafi geologi wilayah studi terdiri dari lapisan batuan, berturut-turut mulai dari muda ke yang lebih tua, yaitu satuan batuan: aluvium, batugamping terumbu, endapan danau, batuan gunung api Pinogu, batuan gunung api Bilungala, dan Diorit Bone.

### 3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan di penelitian ini adalah metode survey dan pengukuran langsung di lapangan serta analisis laboratorium. Berdasarkan hasil penelitian dasar yang telah dilakukan sebelumnya bahwa panas bumi di Pentadio Resort memiliki manifestasi air panas yang memiliki anomali negatif di bagian tengah lokasi penelitian sebagai zona lemah yang memiliki siklus pemanasan batuan yang menghasilkan air panas bumi. Untuk

menentukan sistem hidrotermal beserta karakteristik reservoir maka metode geologi dan geokimia digunakan secara terpadu pada penelitian tahun pertama ini.

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi sistem hidrotermal panas bumi di Pentadio Resort. Untuk itu beberapa data yang diperlukan adalah data kedalaman, sifat fisika air panas, sifat batuan dan sifat kimia fluida yang terkandung di dalam reservoir.

Tahapan kegiatan penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengambilan data-data ciri fisik dan kimia mata air panas berupa temperatur, warna, konduktivitas, dan pH yang diukur pada air permukaan masing-masing stasiun yang telah ditentukan. Kegiatan ini pengukuran ini dilakukan selama 10 hari pada pagi hari, siang hari dan malam hari.



Gambar 1. Proses pengukuran parameter fisik di lokasi penelitian

2. Melakukan pengambilan sampel air panas di 5 titik pengukuran untuk dianalisis kimia air di laboratorium yang menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS-Nyala).
3. Melakukan survei geologi dan geomorfologi di sekitar daerah penelitian



Gambar 2. Proses pengamatan dan pengukuran aspek geologi dan geomorfologi

4. Melakukan pengolahan data hasil pengukuran di lapangan dan analisis laboratorium

Adapun tahapan pengolahan data yang dilakukan adalah :

5. Analisis kesetimbangan ion (*ion balance*)

Analisis ini penting dilakukan diawal untuk mengetahui apakah data kimia air merupakan data yang baik. Langkah ini merupakan cara untuk mengontrol atau mengevaluasi data geokimia air panas bumi. Persamaan yang digunakan untuk menentukan *ion balance* oleh Reed (1991) yaitu :

$$\Delta \text{ charge \%} = \frac{\sum \text{kation} + \sum \text{anion}}{\sum \text{kation} + \sum \text{anion}} \times 100 \dots (1)$$

Ada pun metodenya adalah dengan membandingkan keseimbangan ion kation dan ion anion yang ada pada sampel. Metode ini dilakukan dengan terlebih dahulu mengkonversi seluruh unsur-unsur kimia yang bermuatan pada sampel air panas dari satuan mg/l atau mg/kg menjadi *meq* (*milliequivalen*), dan menjumlahkan *meq* baik untuk kation maupun anion (Reed, 1991). Pengkonversian dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$\text{Unsur (mg/kg) (meq)} = \text{massa atom} \times \text{bilangan oksida unsur} \dots (2)$$

6. Menentukan sumber panas dan tipea air panas dengan menggunakan diagram Terniary Cl-Li-B
7. Menentukan sumber air panas dan system asosiasi fraksi fluida baik dari *zona boiling*, *mixing* maupun dari berbagai sumber dengan membandingkan kandungan Cl dan B, Na dan K, B dan Li, Na dan Ca, Cl dan Mg, Ma dan Ca, Na dan Mg, HCO<sub>3</sub> dan SO<sub>4</sub>, Cl dan HCO<sub>3</sub>.
8. Menentukan temperature reservoir dengan menggunakan persamaan pada geotermometer K-Na dan K-Mg berikut;

**Persamaan Geotermometer K-Na adalah :**

$$T (^{\circ}\text{C}) = [1178 / (1.470 + \log(\text{Na/K}))] - 273.15 \dots (3)$$

$$T (^{\circ}\text{C}) = [1390 / (1.750 + \log(\text{Na/K}))] - 273.15 \dots (4)$$

**Persamaan Geotermometer K-Mg adalah :**

$$T (^{\circ}\text{C}) = (4410 / (14 - \log(\text{K}^2/\text{Mg})) - 273.15 \dots (5)$$

## 4. PEMBAHASAN

### 4.1 Morfologi Daerah Penelitian

Satuan morfologi daerah penelitian dikelompokkan berdasarkan bentuk bentang lahan yang terdapat pada daerah penelitian. Berdasarkan bentuk bentang lahan terdapat tiga satuan morfologi di daerah penelitian yaitu satuan morfologi dataran, satuan morfologi bukit, dan satuan morfologi pegunungan terjal. Satuan morfologi dataran menempati bagian tengah daerah penelitian.

Satuan geomorfologi ini tersusun atas endapan aluvial. Tata guna lahan pada satuan morfologi dataran adalah sebagai tempat pemukiman, gedung pendidikan, pariwisata dan sebagai areal pertanian.



Gambar 3. Satuan morfologi dataran dan pegunungan terjal bagian selatan.

Satuan morfologi bukit menempati bagian tengah daerah penelitian dan dikelilingi oleh satuan morfologi dataran. Satuan geomorfologi ini tersusun atas batu pasir gampingan, batu gamping, dan batu pasir. Tata guna lahan pada satuan morfologi bukit telah digunakan untuk pembangunan gedung pendidikan.



Gambar 4. Satuan pegunungan terjal bagian utara.

Pada sisi lain satuan morfologi pegunungan terjal menempati bagian utara dan selatan. Tata guna lahan pada satuan morfologi dataran adalah sebagai areal perkebunan dan hutan.

## 4.2 Litologi Daerah Penelitian

Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan batuan di daerah penelitian terdiri atas enam satuan batuan yaitu satuan batu pasir gampingan, satuan batu gamping, satuan batu pasir halus, satuan tuff, dan endapan alluvial seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Singkapan pada daerah penelitian.

Singkapan pada daerah penelitian menunjukkan bahwa batu pasir gampingan terendapkan paling bawah. Batu gamping terendapkan di atas batu pasir gampingan sedangkan batu pasir terendapkan di atas batu gamping. Pada singkapan terdapat sesar yang diperkirakan sebagai sesar turun. Keadaan batuan pada singkapan menunjukkan warna batuan yang lapuk seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Satuan batupasir gampingan.

Batu pasir gampingan ditemukan di bagian timur laut manifestasi panas bumi. Batu pasir gampingan tersingkap pada morfologi bukit di bagian tengah daerah penelitian. Pengamatan makroskopis pada batuan menunjukkan warna batuan putih krem. Struktur batuan massif dengan ukuran butir pasir halus sampai sedang.

Batu gamping terendapkan membentuk dua lapisan yaitu lapisan bawah berupa batuan bioklastik dengan komposisi fosil 80% dan Ketebalan sekitar 50 cm. Pada lapisan di atasnya terendapkan batuan gamping dengan komposisi fosil 10% dan ketebalan 30 cm. Pengamatan makroskopis pada batuan menunjukkan warna batuan putih krem dan struktur batuan massif yang ukuran butirnya berupa lempung seperti pada Gambar 6. Kekompakan batu gamping pada daerah penelitian adalah kekompakan kuat. Pada batu gamping terdapat rekristalisasi mineral karbonat. Keterdapatan batu gamping pada daerah penelitian menunjukkan bahwa daerah

penelitian merupakan daerah laut yang mengalami pengangkatan oleh tenaga tektonik.

Satuan batu pasir berada di bagian atas batu gamping. Pengamatan makroskopis pada batuan menunjukkan warna coklat gelap. Struktur batuan adalah massif. Ukuran butir pada batu pasir di daerah penelitian adalah ukuran pasir sedang sampai kasar dengan kekompakan kuat seperti pada Gambar 7. Bentuk butir adalah *subrounded* (membulat tanggung) sampai *angular* (menyudut). Endapan alluvial adalah satuan batuan yang menempati bagian permukaan daerah penelitian. Endapan alluvial pada daerah penelitian umumnya dikuasai oleh pasir, lempung, kerikil, dan kerakal.



Gambar 7. Satuan batu pasir.

Kenaekaragaman sifat batuan dan intensitas panas yang terdapat di daerah penelitian ini dapat memberikan karakteristik tersendiri sistem air panas Pentadio Resort. Disamping itu batuan yang terpanaskan akan mengalami perubahan bila ada mineral yang ikut larut bersama air yang

melaluinya. Selain itu panas dalam perjalanannya ke permukaan juga dapat mengalami perubahan fasa sehingga menjadi fluida dua fasa, yaitu campuran uap air. Fluida panas tersebut dapat juga bercampur dengan fluida lainnya, misalnya dengan fluida magmatic dan air dingin dari sumber lain. Komposisi fluida panas juga akan berubah akibat oksidasi di dekat permukaan.

### 4.3 Data Fisika dan Kimia Air

Manifestasi panas bumi di Pentadio Resort adalah air panas. Pada dasarnya kandungan kimia dalam air panas bumi dapat dipengaruhi karakteristik litologi yang dilalui oleh air permukaan yang mengalami siklus arus konveksi. Kandungan kimia air ini dapat menunjukkan karakteristik sistem panas bumi yang berbeda satu dengan yang lain, karena batuan yang terpanaskan akan mengalami perubahan mineral batuan yang ikut larut bersama air yang melaluinya. Oleh karena itu pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran kandungan kimia dari air panas bumi dengan menggunakan AAS.

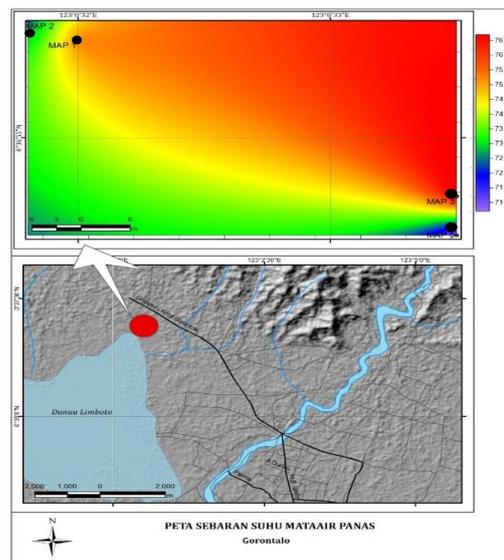
Titik pengambilan sampel air panas dilakukan pada 5 (lima) titik yang memiliki suhu air permukaan di atas 50°C. Pengukuran suhu air dilakukan pada pagi, siang, dan malam hari untuk mendapatkan suhu rata-rata air panas bumi yang terdapat di lokasi ini. Berikut ini Tabel 1 tentang data

pengukuran parameter fisik untuk tiap titik pengukuran ;

Tabel 1. Data fisik titik pengukuran

No.	Titik mata air panas	Waktu	Rata-rata Suhu (°C)		Rasa	Bau	Warna	pH
1.	MAP 1	Pagi	73.5	75,2	Tidak berasa	Sedikit berbau sulfur	Bening	6
		Siang	74					
		Malam	78					
2.	MAP 2	Pagi	70	72,3	Tidak berasa	Sedikit berbau sulfur	Bening	6
		Siang	75					
		Malam	72					
3	MAP 3	Pagi	75	76,7	Tidak berasa	Sedikit berbau sulfur	Bening	6
		Siang	80					
		Malam	74					
4	MAP 4	Pagi	66	70,7	Tidak berasa	Tidak berbau	Bening	6
		Siang	73					
		Malam	73,2					
5	MAP 5	Pagi	62,1	64,8	Tidak berasa	Tidak berbau	Bening	6
		Siang	65,9					
		Malam	66,4					

Dari Tabel 1 menunjukkan bahwa 5 titik pengukuran memiliki suhu air permukaan di atas 50°C yaitu berkisar dari 64,8°C - 76,7°C. Persebaran temperatur di 5 titik pengukuran ini menunjukkan bahwa makin ke arah utara timur laut temperature air permukaan makin meningkat seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 8.

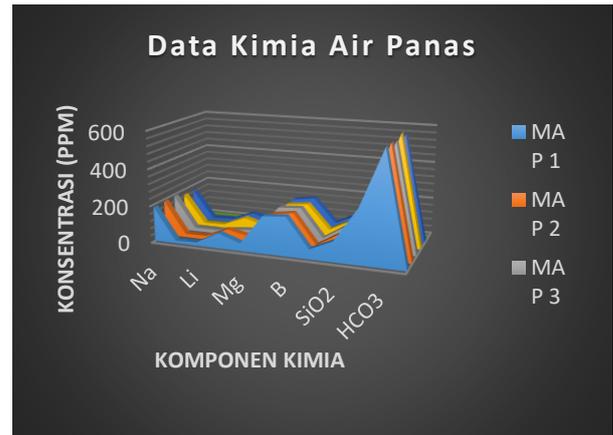


Gambar 8. Persebaran temperature panas

Perubahan warna dari warna biru, kehijauan, kuning sampai kemerahan menunjukkan peningkatan temperature air permukaan di lokasi penelitian. Terlihat pada Gambar 10 bahwa warna hijau relative rendah, dan warna orange kemerahan menunjukkan peningkatan temperature hingga 76, 5°C. Temperatur yang paling tinggi adalah di MAP 3 yang ditunjukkan dengan warna orange kemerahan. Sedangkan MAP 4 dan MAP 5 relatif rendah dan kedua titik ini saling berdekatan sehingga MAP 5 tidak terlihat dalam peta di Gambar 8 tersebut. Selanjutnya untuk data geokimia air ditunjukkan pada Tabel 2 berikut;

Tabel 2. Data Kimia Air Panas Bumi Pentadio Resort

No	Komponen Kimia	Konsentrasi (ppm)				
		MAP I	MAP 2	MAP 3	MAP 4	MAP 5
1.	Na	187	184	190	170	168
2.	K	16	18	20	16	14
3.	Li	34	37	38	32	32
4.	Ca	83	60	36	70	65
5.	Mg	34	40	30	25	22
6.	Cl	200	180	184	170	170
7.	B	210	197	193	184	188
8.	F	54	40	42	55	60
9.	SiO <sub>2</sub>	109	112	120	118	118
10.	SO <sub>4</sub>	290	268	210	221	230
11.	HCO <sub>3</sub>	594	593	580	600	576



Gambar 9. Data kimia air panas bumi pada lima titik di Pentadio Resort

Data ini menjadi rujukan untuk melakukan analisis lebih lanjut yaitu tentang

4. Asal fluida dan kemungkinan terjadinya pencampuran
5. Aliran fluida geothermal
6. Tipe fluida reservoir

#### 4.4 Analisis kesetimbangan ion

Pada tahap ini perlu dianalisis kesetimbangan ion (*ion balance*) berdasarkan data yang terdapat pada Tabel 2 agar dapat mempresentasikan kondisi sebenarnya. Ada pun metodenya adalah dengan membandingkan keseimbangan ion kation dan ion anion yang ada pada sampel. Namun terlebih dahulu melakukan konversi seluruh kandungan unsur-unsur kimia yang bermuatan pada sampel air panas dari satuan mg/l atau mg/kg menjadi meq (*milliequivalen*), dan menjumlahkan meq baik untuk kation maupun anion yang hasilnya dipaparkan pada Tabel 3 berikut ;

Tabel 3. Konversi kandungan kimia air dalam meq untuk kation

Kode Sampel	Kation					Total
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Li <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	
MAP 1	8.13	0.41	2.74	4.15	3.37	<b>18.80</b>
MAP 2	8.26	0,46	2.88	3.50	3.62	<b>18.73</b>
MAP 3	8,26	0,51	2.88	1.80	3.79	<b>17.24</b>
MAP 4	7,39	0,41	2.88	3.50	3.04	<b>17.23</b>
MAP 5	7,31	0,36	2.88	3,25	2.77	<b>16.57</b>

Tabel 4. Konversi kandungan kimia air dalam meq untuk anion

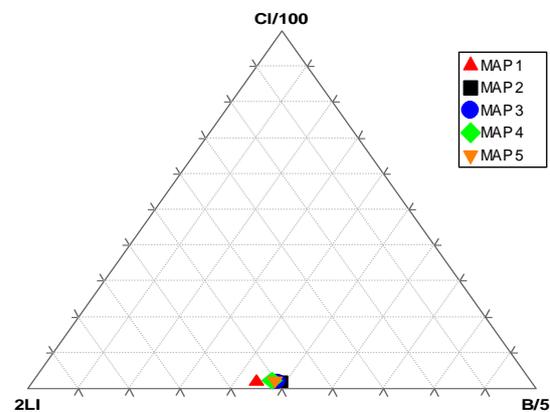
Kode Sampel	Anion				Total
	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
MAP 1	5.64	2.84	6.04	9.90	<b>18.74</b>
MAP 2	5.08	2.11	5.58	9,88	<b>18.43</b>
MAP 3	5.19	2.21	4.37	9.67	<b>17.02</b>
MAP 4	4.80	2,90	4.60	10.00	<b>16.50</b>
MAP 5	4.80	3.16	4.79	9,60	<b>16.02</b>

Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 maka perhitungan *ion balance* dilakukan dengan menggunakan persamaan (2) yang hasilnya menunjukkan *ion balance* berada di bawah 5 % yang berarti data yang diperoleh dari analisis kimia sampel air panas bumi memiliki kualitas baik untuk dilanjutkan pada analisis geokimia.

#### 4.5 Penentuan Asal Air Panas

Metode yang digunakan untuk menentukan sumber air panas ini, membutuhkan aplikasi software XLSTAT untuk menggunakan diagram segitiga diagram Ternary. Dalam menentukan sumber air panas maka unsur yang digunakan adalah Cl, Li, dan B karena

unsur ini merupakan konservatif yang tidak mudah bereaksi. Oleh karena itu Gigenbach (1991) menyatakan bahwa rasio dapat digunakan sebagai indikator untuk menentukan kesamaan reservoir, dan juga mengungkapkan asosiasi fraksi fluida baik dari *zona boiling*, *mixing* maupun dari berbagai sumber. Analisis persentasi konsentrasi Cl, Li, B, diplot dalam diagram Ternary seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Digram Ternary Cl/100-2Li-B5 pada sampel air panas bumi Pentadio Resort

Dari hasil pengolahan data dan dari diagram Ternary CL-Li-B menunjukkan bahwa kandungan B lebih besar dari Cl dan Li. Terlihat pada Gambar 10 bahwa semua mata air panas mengelompok dengan trend yang sama walaupun untuk MAP 4 dan MAP 5 terjadi proses induksi yang mungkin disebabkan oleh perubahan litologinya ataupun oleh proses adsorbs kandungan unsur B mineral lempung. Dengan demikian diindikasikan bahwa semua fluida di semua titik di lokasi penelitian ini berasal dari satu

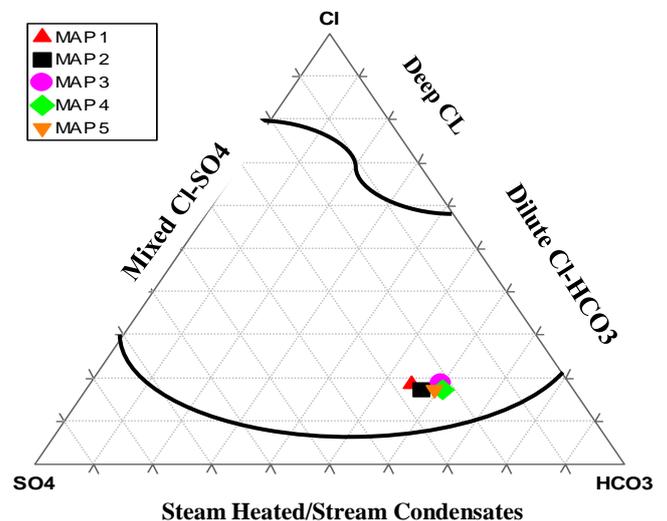
reservoir yang sama. Disamping itu tingginya kandungan B dibandingkan CL dan Li mengindikasikan bahwa batuan sampingnya adalah batuan sedimen, dan pengayaan manifestasi air panas dipermukaan dimungkinkan karena adanya interaksi fluida panas selama di perjalanan menuju permukaan.

#### 4.6 Tipe Air Panas

Air panas Pentadio Resort termasuk dalam tipe air Bikarbonat. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya kandungan anion  $\text{HCO}_3$ , dan kandungan Cl relative rendah dibandingkan dengan  $\text{SO}_4$ . Sementara nilai pH juga relative mendekati netral. Sistem air panas ini telah terjadi proses pencucian, pelarutan atau pun transportasi yang menyebabkan terjadinya perubahan konsentrasi CL,  $\text{SO}_4$ , dan  $\text{HCO}_3$ . Proses pencucian yang dilalui bersentuhan dengan batuan sedimen dan bukan merupakan batuan beku atau batuan piroklastik dari aktivitas vulkanik. Analisa ini didukung dengan struktur geologi di titik penelitian yang merupakan jalur sesar perkiraan yaitu sesar Gorontalo yang merupakan sesar geser menganan. Ini artinya bahwa air panas yang terdapat di Pentadio Resort merupakan manifestasi yang dipengaruhi oleh tektonik.

Dari triplot diagram Ternary Cl,  $\text{HCO}_3$ , dan  $\text{SO}_4$  Gambar 4.14 memperlihatkan adanya adanya *tren* yang

sama pada mata air panas bumi Pentadio Resort. Sumber air panas berasal dari reservoir yang sama dengan kandungan Cl relative rendah dari B,  $\text{SO}_4$  dan  $\text{HCO}_3$ . Keberadaan air panas ini bukan merupakan tipe air vulkanik namun tipe air Bikarbonat dengan  $\text{HCO}_3$  merupakan anion utama. Di bawah muka air tanah bersifat asam lemah dan berasosiasi dengan zona alterasi argilik dan adanya kehadiran batu gamping di lokasi penelitian.



Gambar 11. Triplot Cl- $\text{SO}_4$ - $\text{HCO}_3$

Keberadaan tipe air panas bumi Pentadio Resort berupa tipe fluida Bikarbonat yang menandakan adanya pencampuran fluida dengan air tanah. Nilai  $\text{HCO}_3$  meningkat yang menunjukkan bahwa pada saat aliran fluida menjauh dari upflow kemungkinan besar fluida berinteraksi dengan dengan batuan yang dilewati. Hal ini ditunjukkan juga dengan naiknya rasio  $\text{HCO}_3$  dan  $\text{SO}_4$  pada Tabel 5 yang

mengindikasikan aliran fluida menjauh dari *upflow*.

Tabel 5. Data Rasio HCO<sub>3</sub> dan SO<sub>4</sub>

Titik Sampel	HCO <sub>3</sub> (ppm)	SO <sub>4</sub> (ppm)	HCO <sub>3</sub> /SO <sub>4</sub>
MAP 1	594	290	2.05
MAP 2	593	268	2.21
MAP 3	580	210	2.76
MAP 4	600	221	2.71
MAP 5	576	230	2.50

Pada Tabel 5 menunjukkan bahwa mulai dari MAP 1 sampai MAP 3 terjadi peningkatan rasio HCO<sub>3</sub> /SO<sub>4</sub>, sementara pada pada MAP 4 dan MAP 5 terjadi penurunan rasio HCO<sub>3</sub>/SO<sub>4</sub>. Rasio ini menunjukkan bahwa aliran fluida bergerak dari *upflow* ke *outflow* ke arah bagian Selatan Tenggara.

#### 4.7 Temperatur Reservoir

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk menghitung temperature reservoir dengan menggunakan geotermometer. Dari karakteristik aliran fluida hidrotermal dan tipe air panas bumi Pentadio Resort maka metode geotermometer yang digunakan untuk menentukan temperatur reservoir adalah geotermometer K-Na dan K-Mg. Selanjutnya sebagai pembanding maka perlu menggunakan metode geotermometer NA-K-Cl. Pada Tabel 6 telah dihitung besar suhu reservoir dengan teori

Giggenbach  $(1178/(1.470+\log (Na/K)))-273.15$  yang menunjukkan bahwa suhu reservoir berkisar 188,96 -208,11 °C.

Tabel 7. Data Hasil Analisis Geotermometer Na-K

	Na	K	Na/K	Log Na/K	T <sub>Na-K</sub> (°C)
MAP 1	187	16	11.69	1.07	191.05
MAP 2	190	18	10.56	1.02	199.28
MAP 3	190	20	9.50	0.98	208.11
MAP 4	170	16	10.63	1.03	198.74
MAP 5	168	14	12.00	1.08	188.96

Dari lima titik sampel air panas bumi yang dianalisis sesuai dengan Tabel 7 terlihat bahwa MAP 3 memiliki suhu reservoir lebih tinggi yaitu 208, 11 °C. Besarnya suhu di MAP 3 ini berdekatan dengan MAP 2 dan MAP 1 yang sama-sama memiliki suhu reservoir yang tidak terlalu berbeda secara signifikan. Sedangkan suhu terendah adalah pada MAP 5 yakni sekitar 188°C. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 13-6171-1999) pada Tabel 4.8 temperature air panas pada daerah penelitian Pentadio Reseort termasuk pada temperatur sedang yaitu 125 °C sampai 225 °C.

Menurut Saptadji (2009) bahwa berdasarkan konsentrasi ion yang terkandung di dalam air, maka tipe air panas bumi dikelompokkan dalam tiga tipe yaitu air alkali klorida, air asam sulfat, air asam

sulfat klorida dan air bikarbonat. Untuk menentukan tipe air panas ini maka dihitung kandungan kimia Clorida (Cl), Bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ), dan Sulfat ( $\text{SO}_4$ ) Dari data kimia air menunjukkan bahwa lebih besar kandungan anion  $\text{HCO}_3$ , dan kandungan Cl relative rendah dibandingkan dengan  $\text{SO}_4$ . Ini menunjukkan bahwa tipe air panas di Pentadio Resort merupakan tipe bikarbonat. Sementara nilai pH juga relative mendekati netral.

Sistem air panas ini telah terjadi proses pencucian, pelarutan atau pun transportasi yang menyebabkan terjadinya perubahan konsentrasi CL,  $\text{SO}_4$ , dan  $\text{HCO}_3$ . Proses pencucian yang dilalui bersentuhan dengan batuan sedimen dan bukan merupakan batuan beku atau batuan piroklastik dari aktivitas vulkanik. Analisa ini didukung dengan struktur geologi di titik penelitian yang merupakan jalur sesar perkiraan yaitu sesar Gorontalo yang merupakan sesar geser manganan. Ini artinya bahwa air panas yang terdapat di Pentadio Resort merupakan manifestasi yang dipengaruhi oleh tektonik.

## 5. KESIMPULAN

Hasil pengukuran dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian tahun pertama ini telah menghasilkan beberapa kesimpulan sementara yang dapat dilaporkan pada laporan kemajuan ini yaitu :

1. Suhu reservoir berkisar dari 188 °C hingga 208, 11 °C. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 13-6171-1999) temperature reservoir air panas pada daerah penelitian Pentadio Reseort termasuk pada temperatur sedang yaitu 125 °C sampai 225 °C.
2. Kandungan unsur kimia Boron (B) lebih besar dari kandungan Cl, dan Li yang menunjukkan bahwa asal manifestasi di permukaan di mungkinkan karena adanya interaksi fluida panas dengan batuan sedimen selama di perjalanan menuju permukaan.
3. Kandungan anion  $\text{HCO}_3$  relatif lebih besar, dan kandungan Cl relative rendah dibandingkan dengan  $\text{SO}_4$  yang mengindikasikan bahwa tipe air panas di Pentadio Resort merupakan tipe Bikarbonat dan berasal dari reservoir yang sama.
4. Fluida bersentuhan dengan batuan sedimen dan bukan merupakan batuan beku atau batuan piroklastik dari aktivitas vulkanik. Analisa ini didukung dengan struktur geologi di titik penelitian yang dilalui sesar Gorontalo. Ini artinya bahwa air panas yang terdapat di Pentadio Resort merupakan manifestasi yang dipengaruhi oleh tektonik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Apandi, T., dan Bachri, S. 1997. Peta Geologi Lembar Kotamobagu, skala 1:250.000, Pusat Survey Geologi, Badan Geologi, Bandung.
- Armannsson, H dan Olafsson. 2007. Geothermal sampling and analysis. Geothermal training programme. United Nations University.
- Asosiasi Panas Bumi Indonesia. 2004. Panas Bumi : Energi kini dan masa depan. Buku Panas Bumi Indonesia.
- Andórson, S., D'Amore, F. dan Gerardo J, 2000, Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration (ed. S. Arnórsson). Vienna, International Atomic Energy Agency. 351p.
- Bachri, S., Sukido., dan Ratman, N. 2011. Peta Geologi Lembar Tilamuta, Sulawesi, skala 1:250.000, Pusat Survey Geologi. Badan Geologi. Bandung.
- Citrosiswoyo Wahyudi. 2008. Geothermal dapat mengurangi kebutuhan bahan bakar fosil dalam menyediakan listrik negara. Pusat Studi Kebumihan dan Bencana LPPM : Surabaya.
- DiPippo, Ronald. (2012). Geothermal Power Plants: Principles, Application, Case Studies and Environmental Impact Third Edition. Chancellor Professor Emeritus, University of Massachusetts Dartmouth, North Dartmouth, Massachusetts.
- Fathan. 2013. Studi Potensi Panas Bumi Daerah Hululais Kabupaten Lebong Provinsi Bengkulu, Sumatera. Geosains. Volume 09. No.02. 2013. Hal. 125-134
- Giggenbach, WF. 1988. Chemical techniques in Geothermal Exploration. New Zealand: Chemistry Division, DSIR, Private Bag.
- Hadi.A.I., Refrizon. 2005. Distribusi sumber panas bumi berdasarkan survai gradien suhu dekat permukaan Gunung api Hulu Lais. Jurnal Gradien Vol.1 No.2 Juli 2005 : 64-68. Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Bengkulu: Sumatera.
- Heasler P. Henry, Cheryl Jaworowski. 2009. Geothermal system and monitoring hidrothermal features. The Geological Society of America.
- Ishlah Teuku. Pengawasan eksplorasi panas bumi dalam rangka menuju 9.500 MW pada Tahun 2005. Perekraya Madya Bidang Program dan Kerja Sama Pusat Sumber Daya Geologi.
- Mardiana Undang. 2007. Manifestasi Panas Bumi Berdasarkan Nilai Tahanan Jenis Batuan (Studi Kasus Gunung Papandayan Kabupaten Garut-Provinsi Jawa Barat). Laporan Penelitian. Jurusan Geologi Fakultas MIPA, UNPAD
- Mahon K, and Ellis, AJ. 1977. Chemistry and Geothermal System. Orlando: Academic Press Inc.
- Nicholson, K . 1993. Geothermal fluids, chemistry and exploration technique. Springer-Verlag : Berlin
- Reed, M; dan Mariner, R. 1991. Quality control of chemical and isotopic analysis of geothermal water samples. Proceedings, Sixteenth of Geothermal Reservoir Engineering. Januari 23-25, 1991. Stanford, California.
- Saftadji, N.M. 2009. Karakteristik reservoir panas bumi. ITB

- Standar Nasional Indonesia (SNI) 1998. Klasifikasi potensi energi panas bumi di Indonesia. Badan Standar Nasional – BSN : Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 1999. Metode estimasi potensi energi panas bumi. Badan Standar Nasional – BSN : Jakarta.
- Srigutomo Wahyu, dkk. 2013. Hydrothermal flow modeling at Western Flank of Slamet Volcano, Central Java, Indonesia, Based On Magnetotelluric Data. Proceedings. 2<sup>nd</sup> ITB Geothermal Workshop, Institut Teknologi Bandung.
- Sulistyarini Yulia Ika, Irjan. 2011. Aplikasi metode geolistrik dalam survey potensi hidrotermal (Studi kasus sekitar air panas Kasina Pensangrahan Batu). Journal Neutron Vol.4, No. 1 Oktober 2011.
- Suparno, Supriyanto. 2009. Energi Panas Bumi. A Present From The Heart of The Earth. Departemen Fisika-FMIPA : Universitas Indonesia.
- Wahid Abdullah La Ode, 2004. Analisis Kebutuhan dan Penyediaan Listrik. Publikasih Ilmiah. ISBN 979-95999-3-7. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Konversi dan Konservasi Energi : Jakarta
- Yunginger, Raghel., Ngkoimani La Ode., Tisen. 2010. Studi awal terhadap estimasi potensi energi panas bumi di Pentadio Resort Gorontalo. Prosiding Seminar Energi 2010. ISSN:2087-7471. Jurusan Fisika, FMIPA UNPAD : Bandung