



HIDROKIMIA DAN PENDUGAAN TEMPERATUR BAWAH PERMUKAAN PANAS BUMI DAERAH WAEAPO, KABUPATEN BURU, PROVINSI MALUKU

Fathira Pinning, Agus Didit Haryanto, Johannes Hutabarat, Dewi Gentana

Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran.

Korespondensi: fathirapinning@gmail.com / fathira17001@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Karakteristik fluida panas bumi dan pendugaan temperatur bawah permukaan (reservoir) di daerah kecamatan Waeapo ditentukan berdasarkan analisis geokimia kation, anion dari empat mata air panas yaitu WAP-1, WAP-2, WAP-3, dan WAP-4. Hasil analisis memperlihatkan daerah Waeapo memiliki karakteristik fluida dengan tipe air bikarbonat (WAP-1 dan WAP-2) pada kondisi *peripheral waters* dan tipe air sulfat (WAP-3 dan WAP-4) pada kondisi *steam-heated waters*. Keempat mata air panas berasal dari satu reservoir dan cenderung berada dalam satu kelompok ke zona Li dan tingginya kandungan Mg menandakan mata air panas telah berinteraksi dengan batuan samping dan mengalami pencampuran dengan air tanah dangkal saat bergerak ke permukaan. Mata air panas WAP-1 dan WAP-2 terbentuk pada kondisi *partial equilibrium*, sedangkan WAP-3 dan WAP-4 terbentuk pada kondisi *immature waters*. Pendugaan temperatur reservoir berkisar dari 164°-184°C.

Kata kunci: Waeapo, Manifestasi Panas Bumi, Karakteristik Fluida Panas Bumi, Geotermometer Fluida, Temperatur Bawah Permukaan.

ABSTRACT

Geothermal fluid characteristics and the estimation of reservoir temperature in Waeapo district area were determined based on geochemical analysis of cations, anions from four hot springs namely WAP-1, WAP-2, WAP-3, and WAP-4. The analysis results show the Waeapo area has bicarbonate fluid types (WAP-1 and WAP-2) in peripheral waters conditions and sulfate fluid types (WAP-3 and WAP-4) in steam-heated waters conditions. Four hot springs originate from one reservoir and tend to be in a group to the Li zone, and the high Mg content indicates the hot springs have interacted with side rocks and mixing with meteoric waters as they moved to the surface. WAP-1 and WAP-2 were formed in partial equilibrium conditions, WAP-3 and WAP-4 were formed in immature waters. The reservoir temperature estimation ranges 164°-184°C.

Keywords: Waeapo, Geothermal Manifestations, Characteristics of Geothermal Fluid, Fluid Geothermometer, Reservoir Temperature

1. PENDAHULUAN

Energi panas bumi merupakan energi yang dihasilkan dari interaksi panas batuan dengan air yang mengalir disekitarnya. Interaksi tersebut menghasilkan uap yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik. Sektor listrik menjadi salah satu kebutuhan utama untuk mendukung berbagai macam aktivitas manusia. Salah satu alternatif energi yang bisa digunakan sebagai sumber listrik yaitu panas bumi. Panas bumi adalah sumber daya alam berupa energi panas yang terbentuk di bawah permukaan bumi. Sumber energi panas berasal dari interaksi pemanasan batuan dan air dengan unsur lain yang terperangkap di dalam reservoir (Armstead, 1983).

Indonesia memiliki potensi panas bumi yang sangat besar karena Indonesia merupakan salah satu negara yang dilewati oleh cincin api (*ring of fire*). Sekitar 40% atau 29.000 MW total panas bumi berada di Indonesia. Potensi panas bumi yang dimiliki Indonesia tersebar di pulau Sumatra, Jawa, Bali, Sulawesi, Maluku, Nusa Tenggara Timur dan Papua Barat. Potensi sumber daya panas bumi di Indonesia mencapai $\pm 23,9$ GW. Kapasitas terpasang di Indonesia mencapai 2.130,7 MW, hal ini setara dengan $\pm 8,9\%$ dari potensi yang diidentifikasi (EBTKE, 2021). Hingga saat ini potensi panas bumi belum dapat dimanfaatkan secara optimal.

Daerah Waeapo berada di Kabupaten Buru, Provinsi Maluku. Secara geografis berada pada koordinat antara $126^{\circ}49'10,64''$ - $126^{\circ}53'37''$ BT dan $3^{\circ}27'43''$ - $3^{\circ}31'13,17''$ LS (Gambar 1).

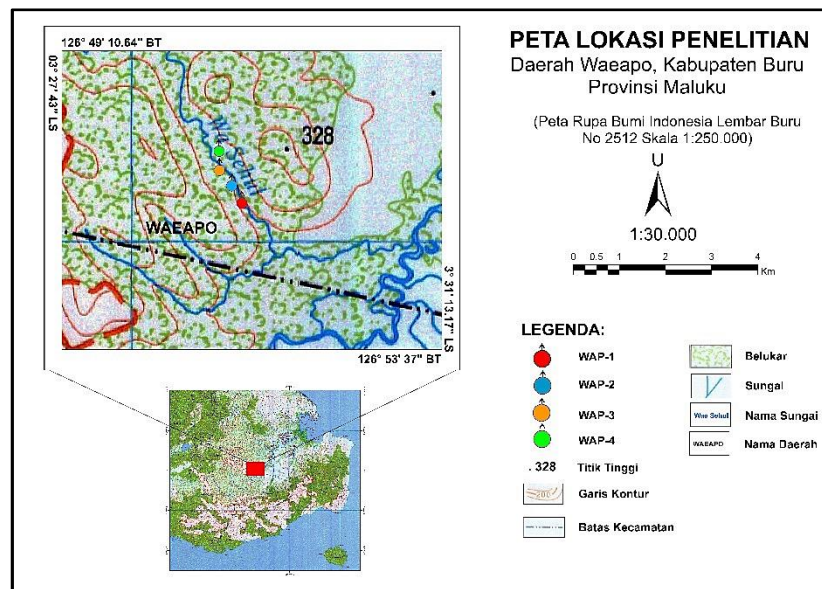
Daerah Waeapo dipilih sebagai daerah penelitian karena memiliki manifestasi panas bumi salah satunya adalah mata air panas yang terdapat di permukaan yang dijadikan objek penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fluida panas bumi (tipe fluida, asal fluida dan kesetimbangan fluida) dan pendugaan temperatur bawah permukaan (reservoir).

2. TINJAUAN PUSTAKA

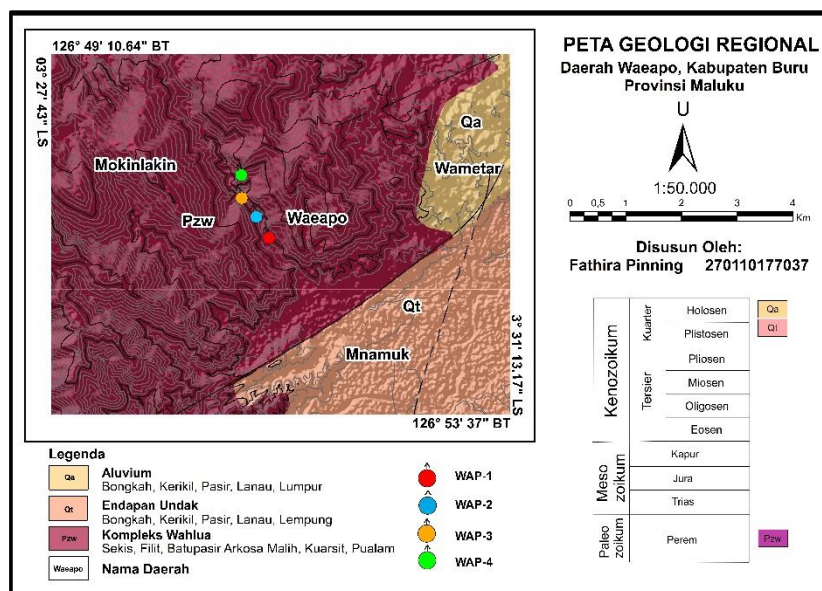
2.1 Stratigrafi Regional

Daerah penelitian terdiri dari 3 (tiga) satuan batuan yaitu; (1) satuan kompleks wahlua (Pzw) yang tersusun oleh sekis, filit, batu sabak, batu tanduk (*hornfels*), kuarsit dan arkosa, (2) satuan endapan undak (Qt) yang terdiri dari bongkah, kerikil, pasir, lanau dan lempung (3) satuan aluvium (Qa) yang terdiri dari bongkah, kerikil, pasir, lanau dan lumpur (S. Tjokrosapoetro, 1993) (Gambar 2).

Berdasarkan penelitian lapangan dijumpai batuan metamorf yaitu sekis. Kondisi batuan di lapangan dijumpai sebagai batuan yang telah mengalami perubahan (*altered*) akibat adanya aktivitas panas bumi. Batuan ubahan teramati di sekitar tempat kemunculan mata air panas. Secara megaskopis dapat diamati batuan berwarna putih hingga merah kecoklatan, menandakan batuan selain mengalami ubahan karena proses hidrotermal juga telah mengalami tingkat pelapukan kuat.



Gambar 1. Peta lokasi daerah Penelitian



Gambar 2. Sebagian kecil peta geologi daerah panas bumi Waeapo Lembar Buru, Maluku terdiri dari 3 formasi batuan yaitu; Qa, Qt dan Pzw (Tjokrosapoetro, 1993)

2.2 Struktur Geologi Regional

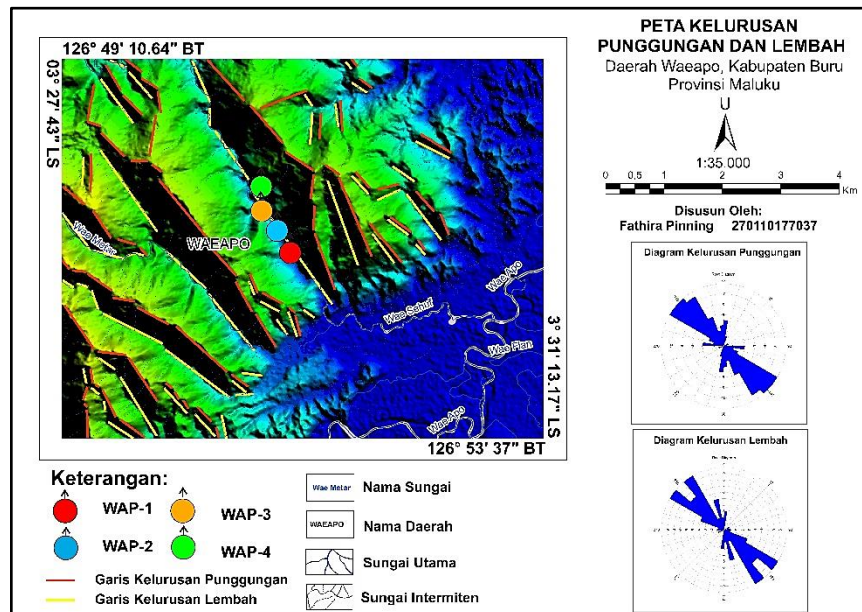
Pola umum tektonik yang terbentuk pada daerah penelitian tersusun oleh sesar – sesar dengan jenis oblik memiliki arah Barat Laut – Tenggara dan Barat Daya Timur Laut. Indikasi struktur geologi di lapangan dapat diamati yaitu cermin sesar, kekar, *offset* litologi, gawir sesar, longoran dan faset segitiga. Sesar –

sesar yang berkembang pada daerah penelitian dikelompokkan menjadi Sesar Wapsalit, Sesar Waekedang, Komplek Sesar Waemetar, Sesar Normal Debu (Zarkasyi, dkk., 2007).

Indikasi struktur geologi di daerah penelitian dapat di amati melalui fenomenan kelurusan punggung dan lembah. Pola utama kelurusan

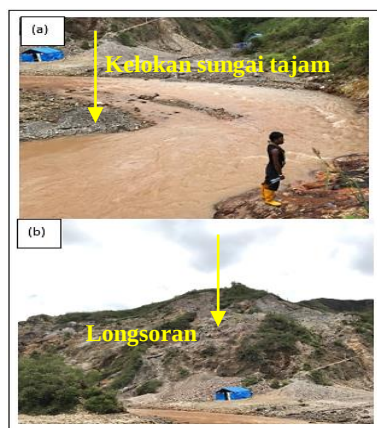
digunakan sebagai indikasi struktur geologi. Interpretasi kelurusanunggungan dan lembah yang diperoleh dari citra *Shuttle Radar Topography Mission – Digital*

Elevation Model (SRTM – DEM) dan diolah ke dalam diagram mawar, memperlihatkan pola utama struktur geologi di daerah penelitian memiliki arah Barat Laut – Tenggara.



Gambar 3. Pola utama kelurusanunggungan dan lembah di daerah Waeapo yang diinterpretasikan sebagai struktur geologi memiliki arah Barat Laut-Tenggara

Indikasi struktur geologi yang dijumpai di lapangan diperlihatkan oleh adanya kelokan sungai yang tajam di sungai Pemali (Gambar 4.a), daerah longsoran terdapat di sepanjang lereng bukit Pemali (Gambar 4.b).



Gambar 4.(a) Kelokan sungai yang tajam di sungai Pemali; (b) Longsoran sepanjang lereng Bukit Pemali

Sistem panas bumi merupakan sistem yang terbentuk sebagai hasil perpindahan panas (*heat transfer*) dari sumber panas yang berada di sekelilingnya. Sistem panas bumi berdasarkan temperatur diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) (Hochstein dan Browne, 2000), yaitu:

1. Sistem panas bumi bertemperatur tinggi, yaitu sistem panas bumi yang memiliki temperatur fluida *reservoir* $>225^{\circ}\text{C}$.
2. Sistem panas bumi bertemperatur sedang, yaitu sistem panas bumi yang memiliki temperatur fluida *reservoir* $125^{\circ}\text{C}-225^{\circ}\text{C}$.
3. Sistem panas bumi bertemperatur rendah, yaitu sistem panas bumi yang memiliki temperatur fluida *reservoir* $<125^{\circ}\text{C}$.

2.4 Geokimia Fluida Panas Bumi

Geokimia merupakan suatu metode yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik fluida panas bumi dan pendugaan temperatur bawah permukaan melalui mata air panas yang muncul di permukaan.

2.4.1 Tipe Air Panas

Berdasarkan jenis anion dominan Cl, SO₄, HCO₃, (Nicholson, 1993) membagi tipe air panas sebagai berikut:

1. Air Sulfat (*Sulphate Water*)

Air sulfat merupakan tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat kondensasi gas panas bumi pada air permukaan. Tipe air panas sulfat disebut sebagai *steam-heated water*. Mata air panas ini biasanya berasal dari *reservoir* dangkal, memiliki pH rendah, kandungan sulfat yang tinggi dan kandungan klorida yang rendah. Air sulfat umumnya berwarna keruh akibat pelarutan batuan sampling oleh fluida yang reaktif.

2. Air Klorida (*Chloride Water*)

Air klorida merupakan tipe fluida panas bumi dalam (*deep geothermal fluid*). Tipe air panas ini umumnya ditemukan pada sistem panas bumi bertemperatur tinggi. Air klorida umumnya memiliki pH 5 – 9 (agak asam sampai alkali) dan memiliki kandungan klorida yang tinggi yang berasal dari *reservoir*.

3. Air Bikarbonat (*Bicarbonate Water*)

Air bikarbonat merupakan tipe fluida panas bumi, terbentuk akibat kondensasi uap dan gas kedalam air permukaan yang minim oksigen. Terdapat dua jenis tipe air bikarbonat yaitu: (1)

yang memiliki kandungan klorida (Cl) dan (2) yang memiliki kandungan bikarbonat (HCO₃) tinggi. Tipe fluida ini biasanya memiliki pH mendekati netral akibat adanya reaksi dengan batuan yang relatif lateral. Air membentuk mata air hangat hingga panas sehingga dapat membentuk *soda spring* dengan suhu dingin, dan dapat dikenali dengan adanya endapan sinter karbonat.

4. Air Sulfat Klorida (*Chloride Sulphate Water*)

Air sulfat klorida merupakan tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat pencampuran air klorida dan air sulfat. Dimana hidrogen sulfida (H₂S) dalam air klorida teroksidasi menjadi ion sulfat (SO₄²⁻).

5. Air Dilut Klorida Bikarbonat (*Bicarbonate Chloride Diluted Water*)

Air dilut klorida bikarbonat merupakan tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat adanya interaksi antara air klorida dengan air bikarbonat (air tanah) yang selama perjalanan menuju ke permukaan relatif lateral.

2.4.2 Asal Air Panas

Penentuan asal air panas dilakukan dengan menggunakan diagram segitiga Cl-Li-B (Giggenbach, 1988). Diagram segitiga ini juga dapat digunakan untuk menentukan zona *upflow* dan zona *outflow* dari sebuah sistem panas bumi.

Fluida panas bumi dapat berasal dari air meteorik (*meteoric water*) yang masuk melalui zona permeabelnya, air formasi (*connate*

water) yang sudah lama berasal dari formasi batuan, air metamorfik (*metamorphic water*) dan magma (Nicholson, 1993).

2.4.3 Kesetimbangan Air Panas

Penentuan kesetimbangan air panas dilakukan dengan menggunakan diagram segitiga Na-K-Mg. Kondisi air panas ditentukan berdasarkan persentase kandungan ion Na, K dan Mg, selanjutnya diplot ke dalam diagram segitiga Na-K-Mg (Giggenbach, 1988).

2.4.4 Geotermometer

Geotermometer digunakan untuk menghitung perkiraan temperatur bawah permukaan (reservoir) panas bumi berdasarkan keberadaan zat – zat terlarut pada fluida panas bumi. Berikut merupakan jenis – jenis geotermometer yang dipakai sebagai parameter dalam memperkirakan temperatur bawah permukaan (reservoir), yaitu:

a. Geotermometer Silika (SiO_2)

Geotermometer silika digunakan berdasarkan pada kelarutan berbagai jenis silika dalam air sebagai fungsi dari temperatur (Fournier, 1977). Pada kebanyakan sistem panas bumi, fluida di kedalaman mengalami kesetimbangan dengan kuarsa. Geotermometer ini tidak sesuai untuk sistem panas bumi temperatur tinggi ($>225^\circ\text{C}$), karena kuarsa dapat mengendap akibat pendinginan perlahan, apabila pendinginan berlangsung dengan cepat.

b. Geotermometer Na-K

Geotermometer Na-K merupakan respon rasio

konsentrasi Na terhadap K yang menurun dengan meningkatnya temperatur fluida dengan adanya reaksi pertukaran kation yang sangat bergantung pada temperatur (Fournier, 1979; Giggenbach, 1988). Geotermometer ini memiliki keunggulan yaitu tidak banyak terpengaruh oleh *dilution* maupun *steam loss*.

3. METODOLOGI

Objek pada penelitian ini adalah air panas yang berasal dari mata air panas di 4 (empat) titik lokasi yang berbeda di daerah Waeapo (WAP-1, WAP-2, WAP-3 dan WAP-4). Dalam penelitian ini menggunakan 2 (dua) metode, yaitu:

1. Pengamatan Lapangan

Pengamatan lapangan dilakukan secara visual di lapangan terhadap bentang alam, litologi, struktur geologi, keberadaan mata air yang menjadi objek. Koordinat, elevasi, lokasi pengambilan sampel mata air panas mencakup sifat fisiknya, yaitu; temperatur air, pH, bau, rasa air panas. Pengambilan sampel mata air panas untuk dilakukan analisis geokimia di laboratorium (Laboratorium Puser Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi/PSDMBP, Bandung).

2. Studio – Laboratorium

Hasil analisis geokimia (laboratorium) dari 4 (empat) sampel mata air panas, memperlihatkan data berupa nilai kandungan unsur-unsur kimia air panas yang akan diolah dan dianalisis sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu untuk mengetahui karakteristik fluida panas bumi

dan pendugaan temperatur bawah permukaan di daerah penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Fisik Fluida Panas Bumi

Karakteristik masing-masing sampel mata air panas dari 4 (empat) lokasi (WAP-1, WAP-2, WAP-3 dan WAP-4), di lapangan sebagai berikut;

1. Mata Air Panas 1 (WAP-1), memiliki temperatur air 87,3°C, pH air 8,6 (basa), tidak berwarna (jernih), sedikit berbau belerang, berasa kesat. Disekitar mata air panas WAP-1 terdapat singkapan batuan metamorf sekis yang telah mengalami ubahan (*altered*) dan endapan sinter silika. Secara megaskopis batuan alterasi memiliki warna putih kecoklatan dan telah mengalami tingkat pelapukan cukup kuat. Endapan sinter silika memiliki warna putih dijumpai pada dinding sungai Pemali.
2. Mata Air Panas 2 (WAP-2), memiliki temperatur air 79,6°C pH air 7 (netral), tidak berwarna (jernih), sedikit berbau belerang, berasa kesat. Keterdapatn mata air panas WAP-2 muncul melalui rekahan batuan metamorf sekis yang telah mengalami ubahan (*altered*), secara megaskopis batuan ubahan memiliki warna coklat kemerahan dan telah mengalami tingkat pelapukan kuat.
3. Mata Air Panas 3 (WAP-3), memiliki temperatur air 77°C dan pH air 4,5 (asam), agak keruh, tidak berbau dan berasa kesat. Keterdapatn mata air panas WAP-3 muncul dari rekahan

batuan metamorf sekis yang telah mengalami ubahan (*altered*) di bawah dinding sungai Pemali. Secara megaskopis batuan tersebut memiliki warna coklat dan telah mengalami pelapukan kuat.

4. Mata Air Panas 4 (WAP-4), memiliki temperatur air 42,9°C dan pH air 5,9 (asam), keruh, bau belerang dan berasa kesat. Mata air panas WAP-4 membentuk kolam.

4.2 Karakteristik Fluida Panas Bumi

4.2.1 Tipe Fluida Panas Bumi

Penentuan tipe fluida panas bumi berdasarkan hasil plot pada diagram segitiga dari unsur Cl, SO₄ dan HCO₃ yang sudah dihitung hasil persentasenya.

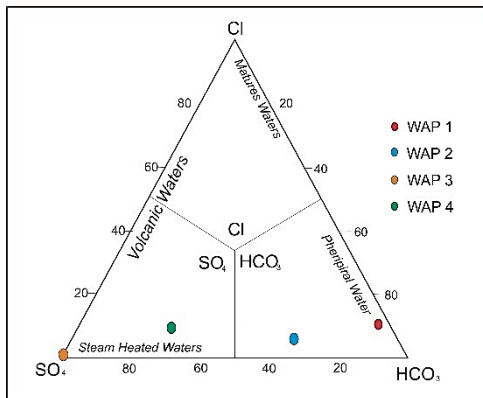
WAP-1 dan WAP-2 memiliki kandungan HCO₃ dominan dibandingkan kandungan Cl dan SO₄. WAP-3 dan WAP-4 memiliki kandungan SO₄ dominan dibandingkan kandungan Cl dan HCO₃ (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai persentasi Cl-SO₄-HCO₃

Mata Air Panas	Persentase (%)		
	Cl	SO ₄	HCO ₃
WAP-1	11,92	3,11	84,98
WAP-2	5,98	29,74	64,28
WAP-3	0,19	99,81	0
WAP-4	9,88	62,26	27,87

Hasil plotting pada diagram Cl-SO₄-HCO₃ menunjukkan WAP-1 dan WAP-2 merupakan tipe air bikarbonat, merupakan tipe fluida yang terbentuk akibat kondensasi uap dan gas ke dalam air permukaan yang minim oksigen. WAP-3 dan WAP-4 merupakan tipe air sulfat, yang menandakan kedua air panas tersebut

berasal dari reservoir dangkal akibat proses kondensasi gas panas bumi dari bawah permukaan menuju ke permukaan (Gambar 5).



Gambar 5. Tipe fluida panas bumi pada daerah penelitian pada segitiga Cl-SO₄-HCO₃ berdasarkan rasio Cl, SO₄ dan HCO₃ (Giggenbach, 1988)

4.2.2 Asal Fluida Panas Bumi

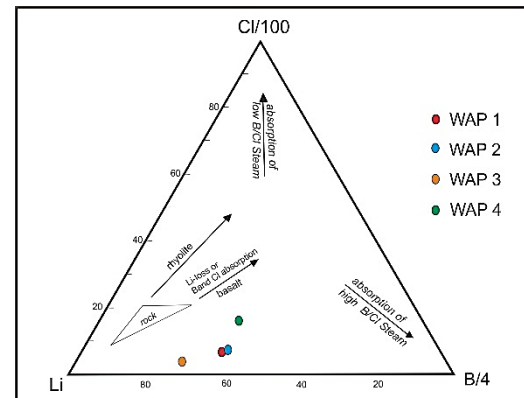
Penentuan tipe fluida panas bumi berdasarkan hasil plot dari unsur Cl, Li dan B yang sudah dihitung hasil persentasenya ke dalam segitiga Cl/100, Li dan B/4. Ke-empat mata air panas memiliki kandungan Li yang dominan dibandingkan kandungan B dan Cl (Tabel 2).

Tabel 2. Nilai persentasi Cl-Li-B

Mata Air Panas	Persentase (%)		
	Cl	Li	B
WAP-1	7,21	56,15	36,64
WAP-2	7,54	54,95	37,52
WAP-3	4,83	67,18	27,99
WAP-4	16,03	47,14	36,83

Hasil plotting kandungan unsur Cl, Li dan B pada diagram Cl-Li-B menunjukkan posisi semua mata air panas (WAP-1, WAP-2, WAP-3 dan WAP-4) cenderung menjadi satu kelompok ke arah zona Li, diinterpretasikan bahwa WAP-1, WAP-2, WAP-3 dan WAP-4 berasal dari satu reservoir yang sama. Tingginya

kandungan Li mengindikasikan bahwa air panas berinteraksi dengan batuan sekitar pada saat menuju permukaan (Gambar 6).



Gambar 6. Karakteristik fluida panas bumi berdasarkan plotting rasio Cl/100-Li-B/4 (Giggenbach, 1998)

4.2.3 Kestimbangan Fluida

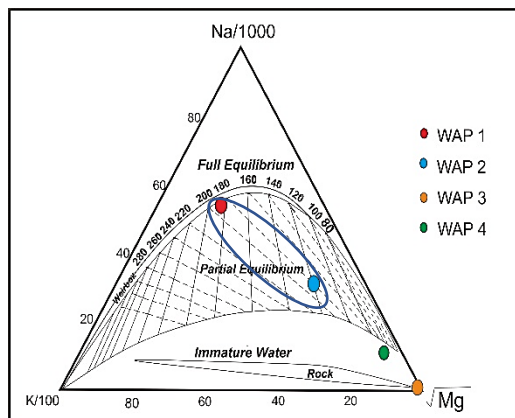
Penentuan kestimbangan fluida panas bumi berdasarkan hasil plot unsur Na, K dan Mg yang sudah dihitung hasil persentasenya. Mata air panas WAP-1 memiliki kandungan Na lebih dominan dibandingkan kandungan K dan Mg. Sedangkan, WAP-2, WAP-3 dan WAP-4 memiliki kandungan Mg dominan dibandingkan kandungan Na dan K (Tabel 3).

Tabel 3. Nilai persentasi Na-K-Mg

Mata Air Panas	Persentase (%)		
	Na	K	Mg
WAP-1	55,90	28,94	15,16
WAP-2	30,79	14,01	55,20
WAP-3	0,43	0,64	98,93
WAP-4	11,26	4,15	84,59

Hasil plotting pada diagram Na-K-Mg menunjukkan WAP-1 dan WAP-2 terbentuk pada kondisi kestimbangan “*partial equilibrium*”, menandakan pada saat air naik ke permukaan terjadi pencampuran dengan air meteorik yang masuk

kebawah permukaan. Mata air panas WAP-3 dan WAP-4 terbentuk pada kondisi kesetimbangan “*immature waters*”, menandakan bahwa air panas tidak mencapai kesetimbangan atau telah mengalami reaksi dengan unsur lain saat menuju ke permukaan. Terdapatnya konsentrasi Mg yang tinggi pada mata air panas mengindikasikan terjadi proses pelarutan (*leaching*) batuan di dekat permukaan atau pengenceran oleh air meteorik yang kaya akan Mg (Nicholson, 1993) (Gambar 7).



Gambar 7. Kesetimbangan fluida panas bumi Berdasarkan plotting Na/1000-K/100- $\sqrt{\text{Mg}}$ (Giggenbach, 1998).

Mata air panas WAP-1 dan WAP-2 merupakan mata air panas yang merepresentasikan temperatur reservoir, hal ini ditunjukkan keberadaan WAP-1 dan WAP-2 mengalami kesetimbangan membentuk “*partial equilibrium*” pada temperatur 180°-190°C. Hal ini terjadi mata air panas WAP-1 dan WAP-2 (fluida) sebagai manifestasi mempunyai waktu yang cukup berinteraksi dengan batuan sampling untuk mencapai kesetimbangan (Nicholson, 1993).

4.3 Pendugaan Temperatur Reservoir

Hasil perhitungan geotermometer air menggunakan persamaan geotermometer silika (SiO_2) / *Silica-Maximum Steam Loss* (Fournier, 1977) memperlihatkan pendugaan temperatur reservoir sebagai berikut: WAP-1:186,04°C, WAP-2:146,91°C, WAP-3:136,45°C dan WAP-4: 111,72°C. Hasil perhitungan menggunakan persamaan geotermometer silika (SiO_2) / *Silica-No Steam Loss* (Fournier, 1977), memperlihatkan pendugaan temperatur reservoir sebagai berikut: WAP-1:202,07°C, WAP-2: 154,16°C, WAP-3:141,63°C dan WAP-4: 112,47°C.

Hasil perhitungan geotermometer menggunakan persamaan Na-K (Giggenbach, dkk, 1988) memperlihatkan pendugaan temperatur reservoir sebagai berikut: WAP-1:184,70°C, WAP-2: 176,39°C, WAP-3: 264,75°C dan WAP-4: 163,53°C. Hasil perhitungan geotermometer menggunakan persamaan Na-K (Fournier, 1979) memperlihatkan pendugaan temperatur reservoir sebagai berikut: WAP-1:173,63°C, WAP-2: 164,61°C, WAP-3:262,47°C dan WAP-4: 150,72°C.

Berdasarkan hasil perhitungan geotermometer fluida panas bumi, daerah penelitian termasuk ke dalam sistem panas bumi bersuhu sedang-tinggi (Hochstein, 2000).

Dari hasil perhitungan geotermometer untuk memperkirakan temperatur reservoir didapatkan nilai yang berbeda-beda hal ini dimungkinkan pada saat fluida panas

bumi menuju permukaan terjadi kontaminasi dengan unsur-unsur kimia lain dari batuan dan mengalami pengenceran (*mixing*) atau peleburan (*diluted*) dengan air tanah dangkal (*meteoric water*) membentuk kesetimbangan baru (Gentana, D., dkk., 2020).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Manifestasi mata air panas/hangat Waeapo di permukaan memiliki temperatur berkisar 42,9°-87,3°C, pH 4,5-8,6, muncul bersama batuan alterasi dan sinter silika pada batuan metamorf yang telah mengalami tingkat pelapukan kuat.

Karakteristik kimia mata air panas WAP-1, WAP-2 termasuk jenis fluida bikarbonat sebagai “*peripheral waters*” dan WAP-3, WAP-4 termasuk jenis sulfat sebagai “*steam heated water*”. Ke-empat mata air cenderung ke arah zona Li, mengindikasikan mata air panas tersebut berasal dari satu reservoir dan air panas berinteraksi dengan batuan sampling saat menuju ke permukaan. Mata air panas WAP-1, WAP-2 berada pada kondisi “*partial equilibrium*”, dan WAP-3, WAP-4 berada pada kondisi “*immature water*”. Pada mata air panas, menunjukkan fluida panas bumi telah mengalami pencampuran dengan air meteorik atau air tanah dangkal yang kaya akan Mg.

Hasil perhitungan menggunakan geotermometer fluida terhadap sampel mata air panas dapat dilakukan pendugaan temperatur reservoir berkisar dari 164°-184°C.

5.2 Saran

Pendugaan temperatur reservoir di daerah Waeapo berasal dari sistem

panas bumi bersuhu sedang, sehingga perlu dilakukan kajian dari sisi keekonomian bila akan dikembangkan sebagai pembangkit listrik maupun pariwisata.

DAFTAR PUSTAKA

- Armstead, H., dan Christopher, H., 1983. *Geothermal Energy: Its Past, Present and Future Contribution to The Energy Needs of Man*, E. & F.N Spon, New York.
- EBTKE., 2021. *Current Geothermal Landscape and Government Objective For Fututre Development*. Kuliah Umum *Geothermal Goes To Campus*. Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Fournier, R. O., 1979. *A Revised Equation for The Na/K Geothermometer*. California: U.S Geological Survey.
- Fournier, R. O., dan Rowe, J. J., 1977. *Estimation of Underground Temperatures from the Silica Content of Water From Hot Springs and Wet-Steam Wells*, American Journal of Science, Vol. 264.
- Fournier, R.O., and Truesdell, A.H., 1973. *An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Water*. *Geochimica Cosmochimica Acta*, vol.37, Pp.1255-1275.
- Gentana, D., Haryanto, D.A., Hutabarat, J., 2020.

Geochemical and Isotope Analysis in Geothermal System of Mt. Rendingan and Its Surrounding, Lampung Province, Southern Part of Sumatra. Proceeding 5th International Conferences of Geological Engineering Faculty (ICGEF 2020).

Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan Pusat Sumber Daya Geologi.

Giggenbach, W.F., 1988. *Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Indicators, Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 52 No.12, pp. 2749-2765.

Hochstein, M.P., and Browne, P.R.L., 2000. *Surface Manifestasi of Systems With Volcanic Heat Sources, Encyclopedia of Volcanoes Academic Press*, pp. 835-855.

Nicholson. K., 1993. *Geothermal Fluids, Chemistry & Exploration Techniques*. Berlin: Springer Verlag, Inc, pp. 1-18.

S. Tjokrosapoetro, T. Budhitrisna, E. Rusmana., 1993. *Peta Geologi Lembar Buru, Maluku Skala 1:250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Lembar 2512.*

Zarkasyi, Ahmad dan Hermawan, Dudi., 2007. *Penyelidikan Terpadu Daerah Panas Bumi Wapsalit Kabupaten Buru Provinsi Maluku, Proceeding*