

STUDI POTENSI PANAS BUMI DI WILAYAH KABUPATEN BOGOR DITINJAU DARI GEOLOGI DAN GEOKIMIA

Oleh :

Iit Adhitia¹⁾, Muhammad Agus Karmadi²⁾

ABSTRAK

Kabupaten Bogor merupakan salah satu kabupaten di Propinsi Jawa Barat. Berdasarkan peta sebaran manifestasi panas bumi Jawa Barat, ada beberapa lokasi yang merupakan potensi sumber daya panas bumi di Kabupaten Bogor, sekaligus merupakan lokasi penelitian, yaitu daerah puncak Awi Bengkok Gunung Salak, daerah Gunung Pancar, dan daerah Ciseeng. Penelitian tersebut dilakukan berkaitan dengan potensi keekonomian ditinjau dari kajian geologi dan geokimia. Berdasarkan peta geologi regional Lembar Bogor, dan Lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu, daerah penelitian tersusun oleh batuan Tersier dengan formasi batuan yang dominan dari Formasi Jatiluhur (Tmj) berumur Miosen Awal, hingga endapan aluvium (Qa) berumur Holosen. Struktur geologi di daerah penelitian didominasi oleh struktur yang diakibatkan proses vukanik-tektonik gaya kompresi lokal dan kompresi regional arah utara-selatan yang berhubungan dengan penunjaman Busur Kepulauan Sunda. Manifestasi mata air panas bumi daerah penelitian berada pada lokasi struktur geologi yang merupakan zona lemah, mengakibatkan mata air panas bumi dari reservoir muncul ke permukaan, dan air meteorik dapat masuk ke dalam reservoir. Berdasarkan analisis potensi keekonomian mengenai keterdapatn manifestasi panas bumi sebagai fungsi suhu di daerah penelitian, dilakukan penyesuaian ke dalam diagram Lindal maka masuk ke kategori pemanfaatan tidak langsung, yaitu pemanfaatan sebagai pembangkit tenaga listrik panas bumi, yaitu dari *Flashed Steam Power Plant*, *Dry Steam Power Plant*, sampai *Binary Steam Power Plant*. Untuk pemanfaatan manifestasi panas bumi daerah Ciseeng secara khusus, dari diagram Lindal juga dimasukkan ke pemanfaatan langsung yaitu digunakan di industri *refrigeration and ice making*, *pulp and paper processing*, *lumber drying*, *cement and aggregate drying*, *ethanol biofuels production*, and *beet sugar evaporation and pulp drying*. Selain itu, jenis air manifestasi panas bumi di 3 lokasi daerah penelitian merupakan campuran air klorida, air sulfat, dan air bikarbonat, serta kesetimbangan fluida bersifat *immature waters* hingga *partial equilibrium*.

Kata Kunci : potensi keekonomian, kajian geologi dan geokimia, diagram Lindal

I. PENDAHULUAN

Energi panas bumi (*geothermal*) merupakan sumber energi terbarukan, berupa energi panas yang tersimpan dalam bentuk air panas atau uap pada kondisi geologi tertentu pada kedalaman beberapa kilometer di dalam kerak bumi (Santoso, 2004). Saat ini energi panas bumi mulai menjadi perhatian dunia, dengan meningkatnya kebutuhan akan energi serta meningkatnya harga minyak, telah memacu negara-negara lain untuk mengurangi ketergantungan mereka pada minyak dengan cara memanfaatkan energi panas bumi baik pemanfaatan langsung maupun tidak langsung.

Potensi panas bumi yang tersimpan sepanjang jalur pegunungan vulkanik yang membentang dari barat Sumatera ke selatan Jawa, yang terus

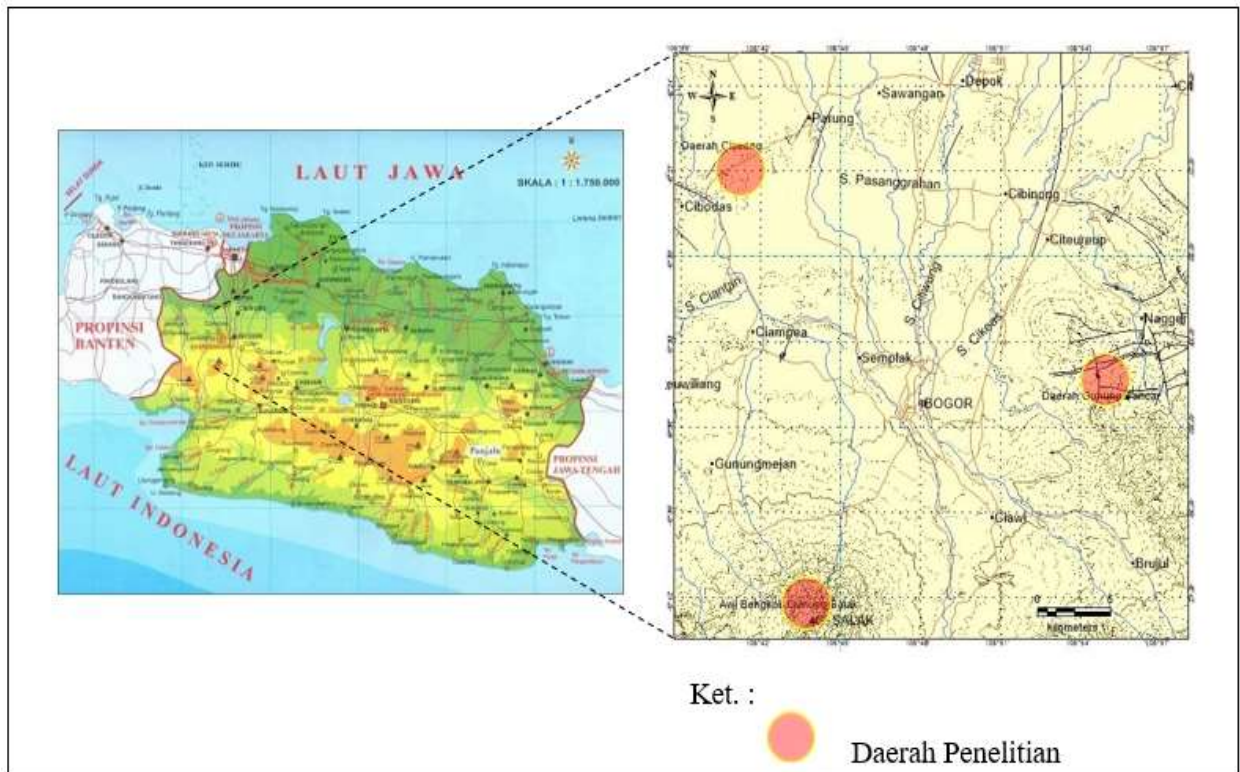
dikembangkan untuk menghasilkan energi terbarukan dan dimanfaatkan untuk meningkatkan kapasitas energi listrik secara berkesinambungan.

Indonesia memiliki sumber daya panas bumi terbesar di dunia (± 27.000 MWe); dimana sekitar 21,7% berada di Jawa Barat, dimana merupakan provinsi yang memiliki potensi panas bumi terbesar, tersebar pada 44 lokasi di 11 kabupaten. Panas bumi merupakan energi andalan bagi Jawa Barat (Dinas Pertambangan dan Energi Jawa Barat, 2006). Berdasarkan peta sebaran manifestasi panas bumi Jawa Barat, ada beberapa lokasi yang merupakan potensi sumber daya panas bumi di Kabupaten Bogor, dan menjadi fokus penelitian, yaitu daerah puncak Awi Bengkok Gunung Salak, daerah Gunung Pancar, dan daerah Ciseeng (Gambar 1).

Manifestasi panas bumi berupa mata air panas memiliki temperatur bervariasi tergantung kedalaman lapisan batuan yang dilewatinya, dan adanya pencampuran dengan air tanah atau air permukaan. Sumber mata air panas di Indonesia umumnya berasal dari aktivitas vulkanik, selain itu berasosiasi dengan struktur maupun cekungan batuan sedimen. Daerah dimana terdapat manifestasi panas bumi di permukaan serta kandungan kimia air, dapat dibuat berbagai perkiraan mengenai sistem panas bumi di bawah

permukaan, misalnya mengenai jenis dan temperatur reservoir.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi keekonomian dari keterdapat manifestasi panas bumi daerah puncak Awi Bengkok Gunung Salak, daerah Gunung Pancar, dan daerah Ciseeng, ditinjau dari geologi dan geokimia.



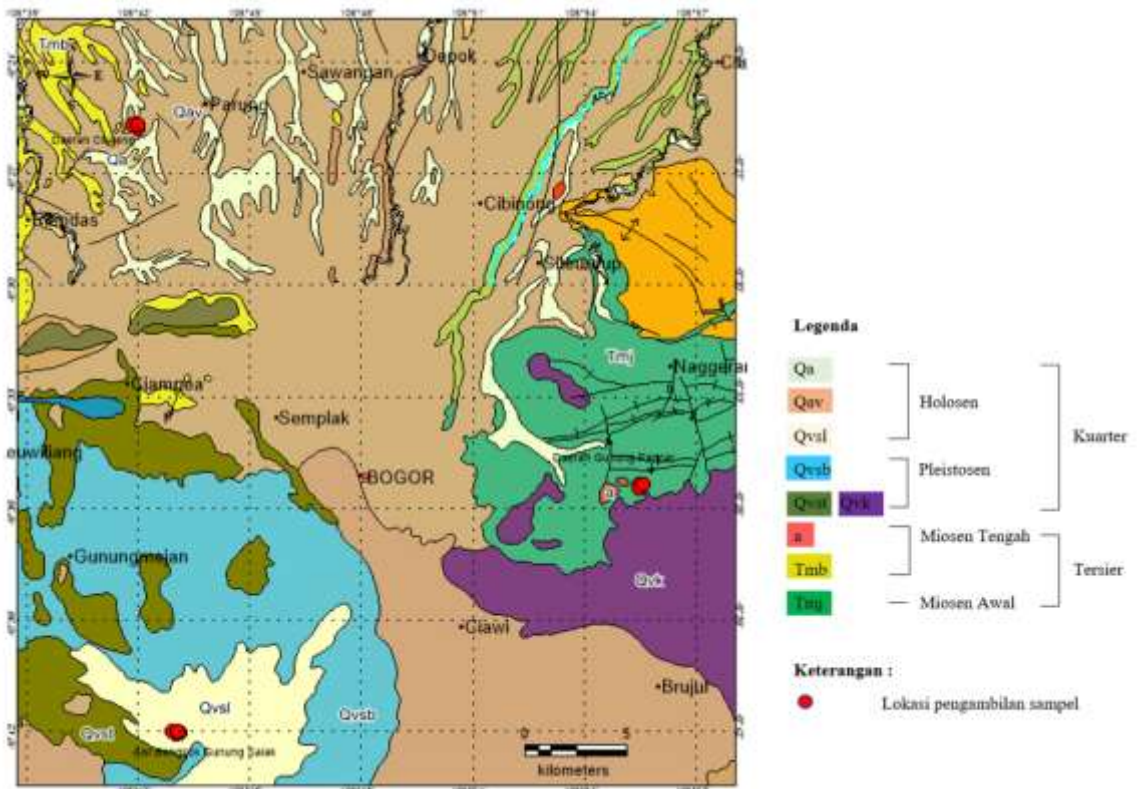
Gambar 1. Peta Lokasi Daerah Penelitian

II. TINJAUAN UMUM GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Daerah penelitian merupakan bagian dari Kabupaten Bogor yang terletak di bagian barat Provinsi Jawa Barat. Tatanan geologi daerah penelitian mengacu pada peta geologi regional Lembar Bogor, Jawa, skala 1 : 100.000, oleh Effendi dkk., 1998, dan peta geologi Lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu, Jawa, skala 1:100.000, oleh Turkandi dkk., 1992. Daerah penelitian merupakan salah satu wilayah yang dilewati jalur gunungapi, sehingga secara

morfologi memberikan bentuk bentang alam berupa perbukitan, gunungapi, lembah hingga dataran gunungapi. Dengan demikian merupakan daerah yang mempunyai banyak prospek panas bumi yang ditunjukkan dengan kehadiran manifestasi panas bumi di permukaan bumi, seperti mata air panas, fumarol, solfatara, *steaming ground*, dan kolam lumpur.

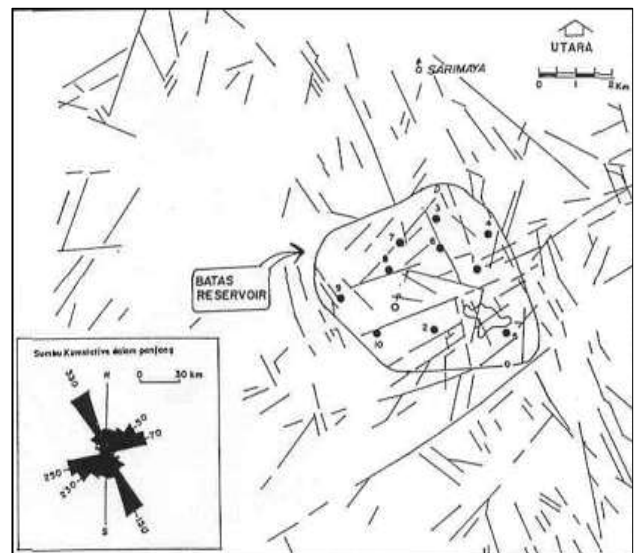
Berdasarkan peta geologi regional, maka urutan batuan penyusun daerah penelitian dari muda ke tua (Gambar 2), yaitu:



Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian (Efendi dkk., 1998; Turkandi dkk., 1992)

Lokasi penelitian berada di daerah puncak Awi Bengkok Gunung Salak, daerah Gunung Pancar, dan daerah Ciseeng, dimana lokasi-lokasi tersebut dipisahkan jarak sekitar 25 km. Lokasi puncak Awibengkok Gunung Salak terletak pada elevasi dari 950 sampai 1500 m di atas permukaan laut, tersusun oleh batuan Kuartar yaitu batuan vulkanik Gunung Salak (Qvsl), berupa aliran lava, andesit basal mengandung piroksen (augit) berumur Holosen, sedangkan di sebelah timur berupa batuan vulkanik Gunung Salak (Qvsb), terdiri dari lahar, breksi tuf dan lapili bersusunan andesit basal, umumnya dalam kondisi lapuk, berumur Pleistosen, dan sebelah barat berupa batuan vulkanik Gunung Salak, terdiri dari tuf batuapung pasir, berumur Pleistosen. Daerah Gunung Pancar dengan ketinggian rata-rata 700 m di atas permukaan laut, tersusun oleh batuan Tersier dengan formasi batuan yang dominan dari Formasi Jatiluhur (Tmj) yang terdiri atas napal, serpih lempungan, dan sisipan batupasir kuarsa, bertambah pasir ke arah timur, berumur Miosen Awal. Di dalam formasi ini terdapat batuan intrusi andesit dengan oligoklas-andesin, augit, hipersten, dan hornblende, membentuk *plug* dan *dike*, berumur Miosen Tengah. Daerah Ciseeng yang berlokasi di daerah Parung Bogor, berada pada batuan dasar berupa batuan Tersier dari Formasi Bojongmanik (Tmb) berupa

perselingan batupasir dan batulempung dengan sisipan batugamping, berumur Miosen Tengah; endapan aluvium (Qa) berupa lempung, lanau, pasir, kerikil, kerakal, berumur Holosen; serta kipas alluvium (Qva) berupa tuf halus, tuf pasir berselingan dengan tuf konglomeratan, berumur Holosen.



Gambar 3. Peta Pola Struktur di sekitar daerah Puncak Awi Bengkok, Gunung Salak (Simanjutak dan Baber, 1996)

Peta pola struktur di sekitar daerah puncak Awi Bengkok (Gambar 3) menunjukkan bahwa terdapat dua pola struktur, yaitu pola struktur yang berarah baratdaya – timurlaut di sekitar daerah puncak Awi Bengkok. Pola ini berhubungan dengan patahan akibat gaya *strike slip*. Pola tersebut memotong areal fumarol Kawah Cipamanutan, Cibereum, dan Perbakti, dan pola struktur yang berarah tenggara - baratlaut. Pola ini terdiri dari seri subparalel patahan normal mengarah ke Kawah Ratu 3 km ke arah utara dan timur. Hampir seluruh patahan mendekati tegak yang diakibatkan proses vukanik-tektonik gaya kompresi lokal dan kompresi regional arah utara-selatan yang berhubungan dengan penunjaman Busur Kepulauan Sunda.

Berdasarkan peta geologi regional, maka struktur geologi yang berkembang di daerah Gunung Pancar terdiri dari kekar pada tubuh batuan intrusi Gunung Pancar dan sesar Gunung Pancar berarah utara-timurlaut – selatan-baratdaya (NNE-SSW). Sedangkan indikasi struktur geologi di daerah Ciseeng sulit diamati dikarenakan pelapukan tanah yang cukup tebal. Beberapa indikasi sistem sesar di daerah Ciseeng tertimbun oleh endapan permukaan, yang berperan dalam kemunculan mata air panas bumi Ciseeng.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang diterapkan dalam penelitian ini meliputi:

3.1. Studi Literatur

Berdasarkan penelitian terdahulu mengenai geologi regional daerah penelitian, dan peta geologi regional lembar Bogor, Jawa, skala 1 : 100.000, oleh Effendi dkk., 1998, dan peta geologi Lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu, Jawa, skala 1:100.000, oleh Turkandi dkk., 1992., diketahui beberapa lokasi di Kabupaten Bogor yang mempunyai prospek panas bumi dengan kehadiran manifestasi panas bumi di permukaan. Dalam penelitian ini menggunakan metoda analisis geologi regional untuk menginterpretasi munculnya mata air panas bumi di permukaan.

3.2. Pengumpulan, Pengolahan, dan Analisis Data

Pengumpulan data dilakukan dalam rangka mendukung kegiatan penelitian potensi secara ekonomis dari keterdapatannya manifestasi mata air panas bumi di daerah puncak Awi Bengkok Gunung Salak, daerah Gunung Pancar, dan daerah Ciseeng baik ditinjau dari geologi dan geokimia. Data yang digunakan berupa data sekunder, yang diperoleh dalam bentuk yang sudah jadi, sudah dikumpulkan dan diolah oleh pihak lain, serta beberapa data diolah oleh penulis.

3.2.1. Perhitungan Jenis Air Manifestasi Panas Bumi

Penentuan jenis air manifestasi panas bumi merupakan salah satu metode yang dilakukan dalam eksplorasi panas bumi karena air dalam sistem panas bumi memiliki keanekaragaman komposisi dan pembentukannya dikendalikan oleh proses kimiawi antara air itu sendiri dan batuan yang dilaluinya. Untuk menentukan jenis air manifestasi panas bumi diperlukan kandungan Cl, SO₄, dan HCO₃.

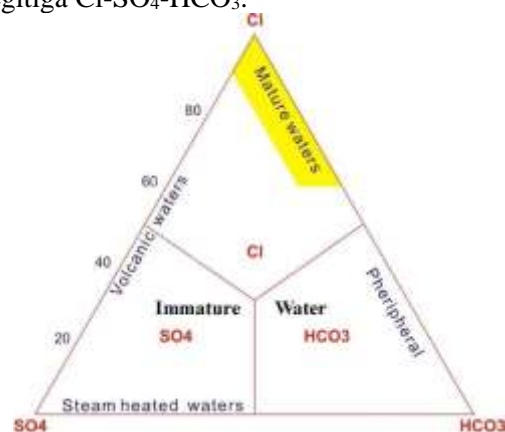
Penentuan jenis air dilakukan dengan memplot data ketiga kandungan kimia tersebut ke dalam diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃, dari data hasil analisa geokimia digunakan untuk menghitung konsentrasi klorida, sulfat, dan bikarbonat dengan cara menjumlahkan kandungan unsur, Σ Konsentrasi = Cl + SO₄ + HCO₃ kemudian menghitung proporsi relatif dari masing-masing komponen jumlah di atas dalam persen sebagai berikut :

$$\% \text{ Cl} = (\text{Cl} / \Sigma \text{ Konsentrasi}) \times 100$$

$$\% \text{ SO}_4 = (\text{SO}_4 / \Sigma \text{ Konsentrasi}) \times 100$$

$$\% \text{ HCO}_3 = (\text{HCO}_3 / \Sigma \text{ Konsentrasi}) \times 100$$

Berdasarkan prosentase kandungan unsur SO₄, Cl, dan HCO₃ kemudian diplot dalam diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃.



Gambar 4. Diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ (Powell dan Cumming, 2010)

3.2.2. Perhitungan Kesetimbangan Fluida Panas Bumi

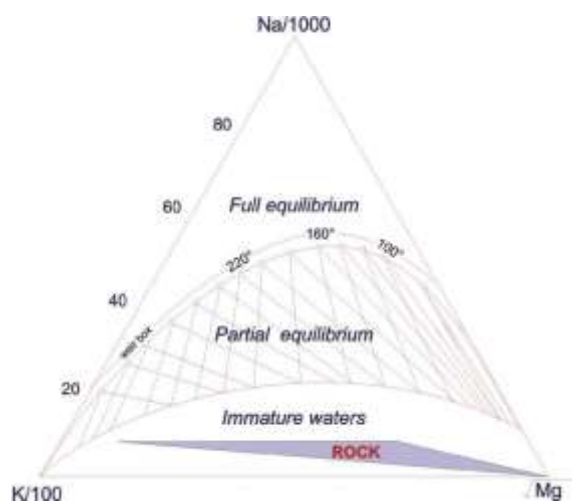
Perhitungan kesetimbangan fluida panas bumi merupakan analisis untuk mengetahui kondisi kesetimbangan fluida bawah permukaan dengan unsur Na-K-Mg dimana hasil air *immature* menunjukkan fluida belum dipanaskan dalam waktu lama dan dipanaskan secara bertahap pada air *mature*.

Powell dan Cumming 2010 mengembangkan diagram indikator Na-K-Mg yang menggabungkan persamaan geotermometer Na-K dengan K-Mg pada diagram. Plotting data pada diagram Na-K-Mg memerlukan faktor skala karena terdapat perbedaan yang sangat besar pada nilai konsentrasi ketiga komponen tersebut.

Penentuan tipe air dilakukan dengan memplot data ketiga kandungan kimia tersebut ke dalam diagram segitiga Na-K-Mg, dari data hasil analisa geokimia tersebut, kita menjumlahkan kandungan unsur, Σ Konsentrasi = $\text{Na}/1000 + \text{K}/100 + \sqrt{\text{Mg}}$ kemudian menghitung proporsi relatif dari masing-masing komponen jumlah diatas dalam persen sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \% \text{ Na}/1000 &= (\text{Na}/1000 / \Sigma \text{ Konsentrasi}) \times 100 \\ \% \text{ K}/100 &= (\text{K}/100 / \Sigma \text{ Konsentrasi}) \times 100 \\ \% \sqrt{\text{Mg}} &= (\sqrt{\text{Mg}} / \Sigma \text{ Konsentrasi}) \times 100 \end{aligned}$$

Berdasarkan prosentase kandungan unsur Na, K, dan Mg kemudian diplot dalam diagram segitiga Na-K-Mg).



Gambar 5. Diagram segitiga Na-K-Mg (Powell dan Cumming, 2010)

3.2.3. Perhitungan Geotermometer Na/K

Penggunaan geotermometer ini didasarkan pada asumsi adanya perbedaan nilai antara natrium feldspar (Na) dan kalium feldspar (K). Solusi reservoir suhu tinggi (180°C) dengan jenis air klorida cocok untuk geotermometer ini. Untuk reservoir suhu rendah di mana fluida memiliki waktu tinggal yang lama, geotermometer Na-K dalam beberapa kasus dapat diterapkan. Keunggulan dari geotermometer ini adalah dengan adanya geotermometer Na/K maka nilai yang dihasilkan tidak terpengaruh oleh pengenceran atau kehilangan uap.

Perhitungan geotermometer Na/K dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa persamaan empiris antara lain berdasarkan:

1. Fournier (1979)

Persamaan empiris perhitungan geotermometer Na/K menurut Fournier, 1979 yaitu

$$T (^{\circ}\text{C}) = \frac{1217}{\text{Log} (\text{Na}/\text{K}) + 1.483} - 273$$

2. Giggenbach (1988)

Persamaan empiris perhitungan geotermometer Na/K menurut Giggenbach, 1988 yaitu

$$T (^{\circ}\text{C}) = \frac{1390}{\text{Log} (\text{Na}/\text{K}) + 1,75} - 273$$

Berdasarkan temperatur reservoirnya, Hochstein dan Browne (2000) mengklasifikasikan sistem panas bumi menjadi:

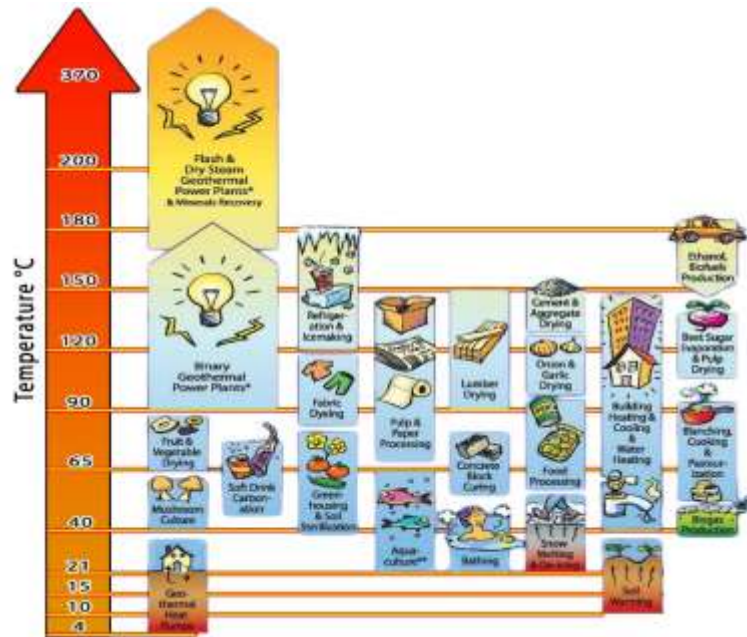
1. Sistem entalpi tinggi (>225°C)
2. Sistem entalpi sedang (125°C - 225°C)
3. Sistem entalpi rendah (<125°C)

3.3. Potensi Daerah Panas Bumi

Setelah dilakukan pengolahan dan analisis data seluruh prospek panas bumi daerah penelitian ditinjau dari geologi dan geokimia, kemudian tahap akhir dilakukan analisis potensi keekonomian mengenai keterdapatn manifestasi panas bumi sebagai fungsi suhu di daerah puncak Awi Bengkok Gunung Salak, daerah Gunung Pancar, dan daerah Ciseeng.

Diagram Lindal digunakan dalam pemanfaatan energi panas bumi (Gambar 6), yang menunjukkan spektrum luas pemanfaatan energi panas bumi sebagai fungsi suhu. Kasus yang

ideal adalah bahwa air panas bumi digunakan untuk pembangkit listrik terlebih dahulu, kemudian untuk keperluan pemanasan langsung (Miklovicz, 2014).



Gambar 6. Diagram Lindal (Miklovicz, 2014)

Sudut kiri atas diagram Lindal digunakan untuk pembangkit tenaga listrik panas bumi, uap bertekanan tinggi menggerakkan turbin yang terhubung ke generator penghasil listrik. Ada tiga jenis utama pembangkit listrik tenaga panas bumi, yaitu *Flashed Steam Plans*, *Dry Steam Plant*, dan *Binary Power Plants* (Miklovicz, 2014).

terletak di bagian barat dari Stratovolkano Gunung Salak.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 13-5012-1998, pemanfaatan panas bumi dapat dimanfaatkan dengan dua cara, yaitu dengan cara pemanfaatan langsung yaitu pemanfaatan fluida panas bumi untuk keperluan nonlistrik, dan pemanfaatan tidak langsung yaitu pemanfaatan energi panas bumi sebagai pembangkit tenaga listrik (BSN, 1998).

Tabel 1. Komposisi mata air panas di area prospek Panas Bumi Ertankian (ppm)

	Ertankian	Beta	Gamma
Vent T/F	bp	120	110
pH	4.6	6.7	6.7
Na	49	292	346
K	3	62	40
Ca	63	140	80
Mg	27	120	73
Cl	92	320	580
SO ₄	7436	3	7
HCO ₃	139	1130	550
F	-	-	-
B	4008	15	25
SiO ₂	188	160	140
NH ₄	2700	-	-
Cl/B	0.02	21.3	23.2

Sumber : Aprilina dkk., 2020

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

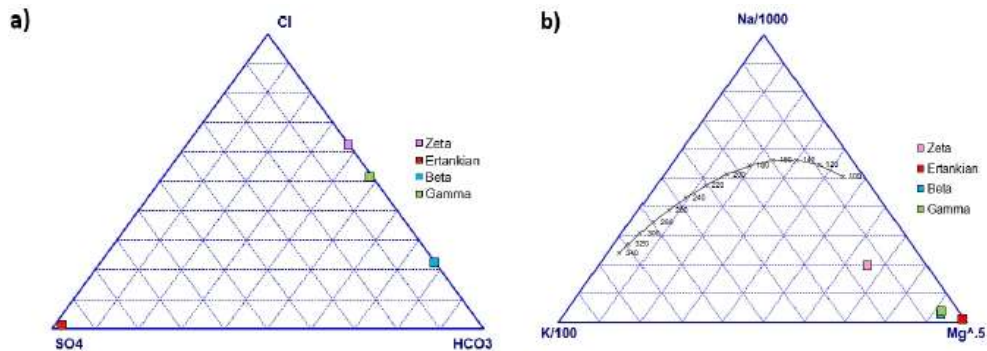
4.1. Daerah Puncak Awi Bengkok Gunung Salak

4.1.1. Analisis Geokimia Air Manifestasi Panas Bumi Daerah Puncak Awi Bengkok Gunung Salak

Analisis kimia dilakukan terhadap contoh air panas yang diambil dari prospek Panas Bumi Ertankian (Zeta, Ertankian, Beta, Gamma)

4.1.2. Jenis Air Manifestasi Panas Bumi dan Kesetimbangan Fluida Panas Bumi Daerah Puncak Awi Bengkok Gunung Salak

Berdasarkan prosentase kandungan unsur Cl, SO₄, dan HCO₃ kemudian diplot dalam diagram segitiga Cl - SO₄ - HCO₃, dan prosentase kandungan unsur Na, K, dan Mg yang diplot dalam diagram segitiga Na-K-Mg.



Gambar 7. Plot data dalam diagram menunjukkan sampel air panas dari manifestasi panas bumi Ertankian (kotak merah), Zeta (kotak merah muda), Beta (kotak biru), dan Gamma (kotak hijau).

- (a) Jenis air manifestasi panas bumi ditunjukkan diagram Cl-SO₄-HCO₃ bahwa mata air Ertankian khas sulfat, Zeta adalah klorida, dan mata air Beta dan Gamma adalah air campuran bikarbonat-klorida.
- (b) Kesetimbangan fluida panas bumi ditunjukkan diagram Na-K-Mg memperlihatkan semua mata air panas berada dalam *immature waters zone*, sedangkan Zeta yang dipercaya sebagai representasi terbaik dari level manifestasi cairan Sistem Panas Bumi di permukaan adalah satu-satunya yang berada dalam keadaan *partial equilibrium zone* (Aprilina dkk., 2020).

4.1.3. Geotermometer Na/K Air Panas Bumi Daerah Puncak Awi Bengkok Gunung Salak

Pendugaan temperatur bawah permukaan panas bumi didapat dari hasil perhitungan geotermometer Na/K menurut metode Fournier (1979) dan Giggenbach (1988), yakni:

Tabel 2. Geotermometer Na/K dari mata air panas daerah prospek Panas Bumi Ertankian

Metoda	Beta (°C)	Gamma (°C)
Fournier (1979)	291,5	229,9
Giggenbach (1988)	300,7	244,3

Hasil analisis geokimia manifestasi Ertankian dalam perhitungan geotermometer tidak digunakan, dikarenakan jenis air bersifat sulfat (7436 ppm) sangat tinggi sehingga bisa menghasilkan perhitungan geotermometer yang tidak akurat.

Perhitungan geotermometer dari hasil analisis geokimia menunjukkan suhu reservoir berkisar 229,9°C – 300,7°C sehingga lapangan panas bumi ini berdasarkan klasifikasi sistem panas bumi menurut Hochstein dan Browne (2000), termasuk dalam klasifikasi sistem panas bumi entalpi tinggi.

4.2. Daerah Gunung Pancar

4.2.1. Analisis Geokimia Air Manifestasi Panas Bumi Daerah Gunung Pancar

Analisis kimia menggunakan data primer berupa data kimia unsur dan senyawa dari sampel air yang diambil dari tiga manifestasi panas bumi di sekitar daerah Gunung Pancar. Sampel yang diambil berasal dari manifestasi mata air panas yaitu Kawah Merah (KM), Kawah Hitam (KH), dan Kawah Putih (KP) (Deandra dan Hendrasto, 2018).

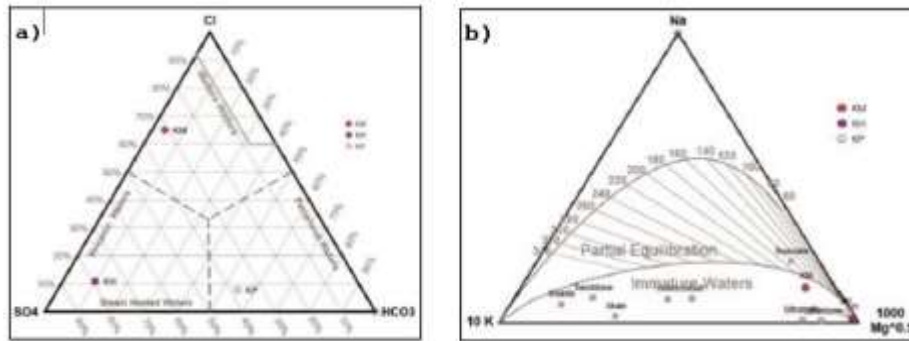
Tabel 3. Manifestasi data dari sampel kimia air (ppm)

	KM	KH	KP
Suhu	65,5	57,4	43,8
pH	7,57	7,7	7,69
Li ⁺	1,1	0,1	0,08
Na ⁺	626	100	69,3
K ⁺	42	6,65	4,5
Ca ²⁺	371	162	48
Mg ⁺	17,2	42,8	4,62
SiO ₂	66,8	55,6	45,6
B	1,87	0,32	0,27
Cl ⁻	1167	74,1	21
F ⁻	0,39	0,13	0,33
SO ₄ ²⁻	560	545	105
HCO ₃ ⁻	70,4	69	151,8
NH ₄ ⁺	0,01	0,01	0,01
As	0,02	0	0

Sumber : Deandra dan Hendrasto, 2018

4.2.2. Jenis Air Manifestasi Panas Bumi dan Kesetimbangan Fluida Panas Bumi Daerah Dekat Kawah Gunung Pancar

Berdasarkan prosentase kandungan unsur Cl, SO₄, dan HCO₃ kemudian diplot dalam diagram segitiga Cl - SO₄ - HCO₃, dan prosentase kandungan unsur Na, K, dan Mg yang diplot dalam diagram segitiga Na-K-Mg.



Gambar 8. (a) Jenis air manifestasi panas bumi berdasarkan diagram segitiga Cl - SO₄ - HCO₃ memperlihatkan air klorida pada sampel air panas KM (Kawah Merah), memiliki konsentrasi Cl yang dominan (1167 ppm). Air Sulfat terlihat dari perwujudan mata air panas KH (Kawah Hitam). Sumber air panas KH memiliki konsentrasi SO₄ yang cenderung tinggi (545 ppm). Air Bikarbonat dengan manifestasi KP (Kawah Putih) memiliki unsur relatif besar (151,8 ppm) (Deandra dan Hendrasto, 2018).
 (b) Kesetimbangan fluida panas bumi berdasarkan diagram segitiga Na-K-Mg, memperlihatkan mata air panas KM, KH, KP tergolong dalam *immature waters zone*, yang merupakan fluida panasbumi yang telah mengalami pengenceran dan pendinginan, karena tercampur dengan air meteorik selama perjalanan dari reservoir ke permukaan. Menurut (Deandra dan Hendrasto, 2018), kondisi ini menunjukkan bahwa semua mata air panas di daerah penelitian merupakan air tanah yang telah dipanaskan dengan uap.

4.2.3. Geotermometer Na/K Air Panas Bumi Daerah Gunung Pancar

Pendugaan temperatur bawah permukaan panas bumi didapat dari hasil perhitungan geotermometer Na/K menurut metode Fournier (1979) dan Giggenbach (1988), yakni:

Tabel 4. Geotermometer Na/K dari mata air panas daerah prospek panas bumi Daerah Gunung Pancar

Metoda	Kawah Merah (°C)	Kawah Hitam (°C)	Kawah Putih (°C)
Fournier (1979)	185,1	184,5	182,7
Giggenbach (1988)	202,5	201,8	200,2

Perhitungan geotermometer dari hasil analisa geokimia menunjukkan suhu reservoir berkisar 182,7°C – 202,5°C sehingga lapangan panas bumi ini berdasarkan klasifikasi sistem panas bumi menurut Hochstein dan Browne (2000), termasuk dalam klasifikasi sistem panas bumi entalpi sedang.

4.3. Daerah Ciseeng

4.3.1. Analisis Geokimia Air Manifestasi Panas Bumi Daerah Ciseeng

Wilayah panas bumi Ciseeng merupakan kumpulan dari beberapa perwujudan panas bumi berupa beberapa mata air hangat yang

mengandung endapan Travertin yang membentuk beberapa bukit, yaitu: Gunung Panjang (GPJ), Gunung Peyek (GPY) dan Gunung Kapur (GK). Analisis kimia menggunakan data primer berupa data kimia unsur dan senyawa dari sampel air yang diambil dari tiga manifestasi panas bumi tersebut (Azzam dkk., 2020).

Tabel 5. Manifestasi Data Dari Sampel Kimia Air (Ppm)

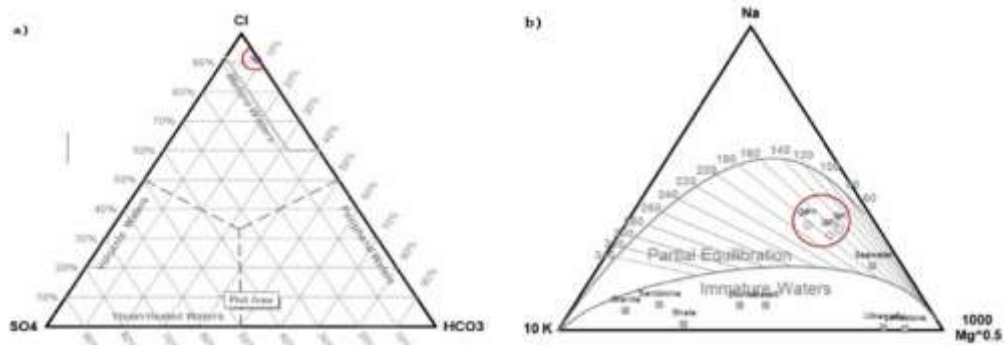
No.	Sampel	Na (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Cl (ppm)	HCO ₃ (ppm)	SO ₄ (ppm)
1	Gunung Pancar (GPJ)	4191,33	281,39	788,43	128,44	10307,07	104,39	80,93
2	Gunung Peyek (GPY)	3638,65	395,66	1050,12	133,14	18968,88	1365,12	28,23
3	Gunung Kapur (GK)	6071,90	265,39	1178,36	127,52	12964,70	1204,82	38,40

No.	Sampel	Li (ppm)	NH ₄ (ppm)	F (ppm)	pH	NO ₂ (ppm)	H (ppm)	Seco Carbon	Seco Anion	Ion Balance
1	Gunung Panjang (GPJ)	11,53	40,57	7,48	7,49	13,7	15,8	338,89	306,10	9%
2	Gunung Peyek (GPY)	18,33	44,55	2,92	7,24	17,7	57,9	407,97	405,65	-4%
3	Gunung Kapur (GK)	16,89	38,24	2,92	7,34	22,3	40,4	370,43	360,39	-2%

Sumber : Azzam dkk., 2020

4.3.2. Jenis Air Manifestasi Panas Bumi dan Kesetimbangan Fluida Panas Bumi Daerah Ciseeng

Berdasarkan prosentase kandungan unsur Cl, SO₄, dan HCO₃ kemudian diplot dalam diagram segitiga Cl - SO₄ - HCO₃, dan prosentase kandungan unsur Na, K, dan Mg yang diplot dalam diagram segitiga Na-K-Mg.



Gambar 9. (a) Jenis air manifestasi panas bumi berdasarkan diagram segitiga Cl - SO₄ - HCO₃ memperlihatkan konsentrasi Cl yang tinggi, dan hasil plot diagram segitiga menggunakan geoindikator Cl-SO₄-HCO₃ maka jenis air panas bumi di daerah penelitian Gunung Panjang (GPJ), Gunung Peyek (GPY) dan Gunung Kapur (GK), terdiri dari air klorida.

(b) Kesetimbangan fluida panas bumi berdasarkan diagram segitiga Na-K-Mg, memperlihatkan kondisi fluida panas bumi di daerah penelitian Gunung Panjang (GPJ), Gunung Peyek (GPY) dan Gunung Kapur (GK), terletak pada *partial equilibrium zone* yang menunjukkan bahwa air telah bercampur dan mengalami pemanasan dalam waktu yang lama di dalam reservoir (Azzam dkk., 2020).

4.3.3. Geotermometer Na/K Air Panas Bumi Daerah Ciseeng

Pendugaan temperatur bawah permukaan panas bumi didapat dari hasil perhitungan geotermometer Na/K menurut metode Fournier (1979) dan Giggenbach (1988), yakni:

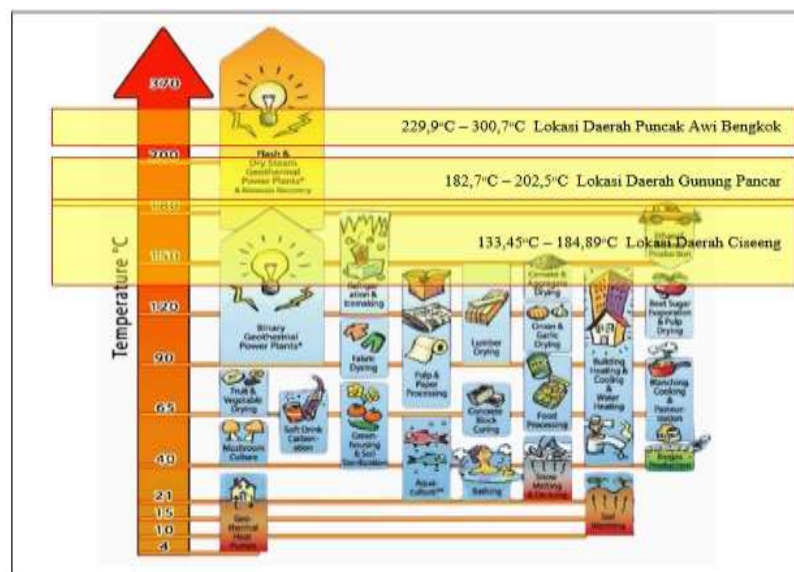
Tabel 6. Geotermometer Na/K Dari Mata Air Panas Daerah Prospek Panas Bumi Daerah Ciseeng

Metoda	GPJ (°C)	GPY (°C)	GK (°C)
Fournier (1979)	155,63	166,58	133,45
Giggenbach (1988)	174,48	184,89	153,22

Perhitungan geotermometer dari hasil analisa geokimia menunjukkan suhu reservoir berkisar 133,45°C – 184,89°C sehingga lapangan panas bumi ini berdasarkan klasifikasi sistem panas bumi menurut Hochstein dan Browne (2000), termasuk dalam klasifikasi sistem panas bumi entalpi sedang.

4.3.4. Potensi Keekonomian Daerah Panas Bumi di Wilayah Kabupaten Bogor

Potensi keekonomian mengenai keterdapatn manifestasi panas bumi sebagai fungsi suhu di daerah puncak Awi Bengkok Gunung Salak, daerah Gunung Pancar, dan daerah Ciseeng dengan menggunakan Diagram Baldur Lindal.



Gambar 10. Potensi Keekonomian Daerah Prospek Panas Bumi

Berdasarkan analisis potensi keekonomian mengenai keterdapatannya manifestasi panas bumi sebagai fungsi suhu di daerah puncak Awi Bengkok Gunung Salak, dilakukan penyesuaian ke dalam diagram Lindal maka masuk ke kategori pemanfaatan tidak langsung yaitu pemanfaatan sebagai pembangkit tenaga listrik panas bumi, jenis *Flashed Steam Power Plant*, dan *Dry Steam Power Plant*. Untuk di daerah Gunung Pancar, masuk ke kategori pemanfaatan tidak langsung yaitu pemanfaatan sebagai pembangkit tenaga listrik panas bumi, jenis *Flashed Steam Power Plant*, dan *Dry Steam Power Plant*. Sedangkan untuk di daerah Ciseeng, masuk ke kategori pemanfaatan tidak langsung dan pemanfaatan langsung yaitu pemanfaatan sebagai pembangkit tenaga listrik panas bumi, jenis *Binary Steam Power Plant*, dan pemanfaatan di industri *refrigeration and ice making, pulp and paper processing, lumber drying, cement and aggregate drying, ethanol biofuels production, and beet sugar evaporation and pulp drying*.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian geologi dan geokimia panas bumi di daerah penelitian, tersusun oleh batuan Tersier dengan formasi batuan yang dominan dari Formasi Jatiluhur (Tmj) berumur Miosen Awal, hingga endapan aluvium (Qa) berumur Holosen. Struktur geologi di daerah penelitian didominasi oleh struktur yang diakibatkan proses vukanik-tektonik gaya kompresi lokal dan kompresi regional arah utara-selatan yang berhubungan dengan penunjaman Busur Kepulauan Sunda. Manifestasi mata air panas bumi daerah penelitian berada pada lokasi struktur geologi membentuk patahan, rekahan dan lipatan, sehingga merupakan zona lemah yang mengakibatkan mata air panas bumi dari reservoir muncul ke permukaan, dan air meteorik dapat masuk ke dalam reservoir.

Berdasarkan analisis potensi keekonomian mengenai keterdapatannya manifestasi panas bumi di daerah puncak Awi Bengkok Gunung Salak, masuk ke kategori pemanfaatan tidak langsung yaitu pemanfaatan sebagai pembangkit tenaga listrik panas bumi, jenis *Flashed Steam Power Plant*, dan *Dry Steam Power Plant*. Untuk jenis air manifestasi panas bumi, merupakan campuran air klorida, air sulfat dan air

bikarbonat, dan kesetimbangan fluida bersifat *immature waters* dan *partial equilibrium*.

Untuk keterdapatannya manifestasi panas bumi di daerah Gunung Pancar, masuk ke kategori pemanfaatan tidak langsung yaitu pemanfaatan sebagai pembangkit tenaga listrik panas bumi, jenis *Flashed Steam Power Plant*, dan *Dry Steam Power Plant*. Untuk jenis air manifestasi panas bumi, merupakan campuran air klorida, air sulfat dan air bikarbonat, dan kesetimbangan fluida bersifat *immature waters*.

Sedangkan untuk keterdapatannya manifestasi panas bumi di daerah Ciseeng, masuk ke kategori pemanfaatan tidak langsung yaitu pemanfaatan sebagai pembangkit tenaga listrik panas bumi, jenis *Binary Steam Power Plant*, dan pemanfaatan langsung yaitu digunakan di industri *refrigeration and ice making, pulp and paper processing, lumber drying, cement and aggregate drying, ethanol biofuels production, and beet sugar evaporation and pulp drying*. Untuk jenis air manifestasi panas bumi, merupakan jenis air klorida yang merupakan jenis air utama di dalam reservoir panas bumi, keberadaan fluida ini mengindikasikan bahwa sumber air panas merupakan zona *upflow* yang dekat dengan reservoir panas bumi, dan kesetimbangan fluida bersifat *partial equilibrium*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Aprilina, N. V., Golla, G. U., Kusumah, Y. I., and Suryantini. (2020). Geothermal Prospect Review in the Western Part of Salak Volcano, West Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 732(1), 1–11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/732/1/012011>
- [2]. Azzam, I., Hendrasto, F., and Sumotarto, U. (2020). *Hydrogeochemical Study Of Ciseeng Thermal Springs , West Java Province , Indonesia. October*, 1–13.
- [3]. Badan Standarisasi Nasional (BSN). (1998). *SNI Klasifikasi Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia*. SNI 13-5012-1998 (ICS 73.020).
- [4]. Deandra, R., and Hendrasto, F. (2018). The estimation of potential heatloss based on thermal geochemical data in the Mount Pancar, Bogor, West Java Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 212(1), 0–8.

- <https://doi.org/10.1088/1755-1315/212/1/012053>
- [5]. Dinas Pertambangan dan Energi Jawa Barat. (2006). *Pengembangan Panas Bumi Di Jawa Barat: Kontribusi Dan Harapan Daerah*.
- [6]. Effendi, A.C., Kusnama, dan Hermanto, B. (1998). *Peta Geologi Lembar Bogor, Jawa*, skala 1:100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- [7]. Hochstein, M.P., and Browne, P.R.L. (2000), *Surface Manifestation of Geothermal Systems With Volcanic Heat Sources*. Editors: Haraldur Sigurdsson, Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press, pp. 835-855
- [8]. Miklovicz, T. (2014). Investigation on the potential of combined heat, power and metal extraction in Hungary [University of Miskolc]. In *Factors for Primary Energy Efficiency and CO 2 Emission of Geothermal Power Production* (Issue June). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34823.19367>
- [9]. Powell, T., and W. Cumming. (2010). *Spreadsheet for Geothermal Water and Gas Geochemistry*. Proceedings 35th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University: California.
- [10]. Santoso, Djoko. (2004). Catatan Kuliah “Eksplorasi Energi Geothermal”. Bandung: Penerbit ITB.
- [11]. Simanjuntak, T. O., and Barber, A. J. (1996). Contrasting Tectonic Styles In The Neogene Orogenic Belts of Indonesia, Tectonic Evolution of Southeast Asia. *Geological Society Special Publication, 106(1)*, 185–201.
- [12]. Turkandi, T., Sidarto, Agustiyanto, D.A., dan Hadiwidjojo, M.M.P. (1992). *Peta Geologi Lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu, Jawa*, skala 1:1.000.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

PENULIS :

1. **Iit Adhitia, ST., MT.** Staf Dosen Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik – Universitas Pakuan, Bogor.
2. **Ir. Muhammad Agus Karmadi, MT.** Staf Dosen Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik – Universitas Pakuan, Bogor.