STUDI KASUS TEROBOSAN REINJEKSI SUMUR HSB BERDASARKAN DATA GEOKIMIA DAN PEMANTAUAN PRODUKSI PT GEO DIPA ENERGI (PERSERO) UNIT DIENG

Henk Subekti[1*], Arista Rahma FA[1], Kristofol Waas[2], Djoko Anityo Satya Wibowo[3]
[1]Teknik Produksi Migas, PEM Akamigas Cepu, Blora,58315
[2]Teknik Produksi Migas, Politeknik Negeri Ambon, 97234
[3]PT. Geo Dipa Energi (Persero), Jakarta,12740
**E-mail*: *henksubekti@gmail.com*

ABSTRAK

Pengelolaan reservoir sangat krusial untuk mempertahankan mutu hasil produksi fluida geothermal. Seiring dengan kemajuan dalam pengembangan energi panas bumi, parameter-reservoir mengalami perubahan, yang sering kali menyebabkan penurunan kualitas reservoir. Perubahan dalam sifat kimia dan fisika fluida yang dihasilkan dari sumber panas bumi dapat menunjukkan bahwa telah terjadi proses pencampuran, pendidihan, atau pendinginan di dalam reservoir selama tahap pengembangan. Dalam keadaan tersebut, kadar unsur kimia dalam cairan dapat bertambah atau berkurang. Kinerja sumur HSB-01 dan HSB-02 di Lapangan D telah diamati selama bertahun-tahun untuk memahami aliran fluida, nilai entalpi, suhu reservoir, dan kandungan unsur kimia. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat proses geokimia dan geofisika yang sedang aktif di dalam reservoir. Proses ini mencakup aliran masuk dan pencampuran fluida permukaan ke dalam sumur, yang dapat terjadi disebabkan oleh kerusakan casing dan kebocoran selama reinjeksi reservoir. Selain itu, kemungkinan remediasi dapat dievaluasi, yang memberikan tanda kepada para insinyur reservoir untuk siap menghadapi masalah yang mungkin muncul dan merencanakan pengembangan lapangan selanjutnya. Proses yang terlihat pada sumur HSB-01 dapat digambarkan sebagai reinjeksi terobosan dan penggabungan fluida sumur dengan air permukaan yang lebih dingin, yang disebabkan oleh kerusakan semen dan kebocoran pada lubang sumur, sebagaimana dibuktikan oleh penurunan nilai entalpi. Produksi air garam dari sumur 30 terutama disuntikkan ke area utara (well pad 14 dan 15). Walaupun HSB-02 mendapatkan produksi air garam dari well pad 7, 29, dan 33, tampaknya tidak terdapat hubungan langsung yang jelas berdasarkan data produksi dari HSB-01 dan HSB-02.

Kata kunci: Geokimia Fluida, Monitoring Produksi, Reservoir Panas Bumi

1. PENDAHULUAN

Karakterisasi reservoir dan potensi reservoir panas bumi harus dinilai pada setiap tahapan kegiatan, mulai dari investigasi awal, eksplorasi, penilaian kelayakan, hingga pengembangan dan eksploitasi. Ketersediaan data bergantung pada kegiatan yang dilakukan. Semakin banyak kegiatan yang dilakukan, semakin banyak data yang diperoleh, semakin tinggi keamanannya dan semakin rendah risikonya. Data lapangan yang diperoleh biasanya mencakup data geologi, geokimia, dan geofisika, serta data pengeboran. Untuk pengeboran sumur, ini mencakup data pengeboran, serta data pengukuran dan pengujian.

Sebuah studi kasus reinjeksi yang inovatif dilakukan untuk memperoleh informasi tentang sistem bawah tanah, termasuk kedalaman reservoir, jenis reservoir, tekanan dan suhu, ketebalan dan luasnya, serta sifat batuan dan fluida. Studi kasus ini juga memberikan gambaran umum sistem bawah tanah, atau sebuah model konseptual. Studi kasus ini juga memperkirakan ukuran sumber daya, cadangan, potensi daya, dan kapasitas reservoir untuk menghasilkan dan memasok uap untuk pembangkit listrik tenaga panas bumi selama 25 – 30 tahun.

Selama proses pengembangan lapangan panas bumi, karakteristik fluida mungkin mengalami perubahan seiring berjalannya waktu. Oleh sebab itu, pengawasan perubahan keadaan reservoir selama proses pengembangan sangatlah krusial. Dengan mengamati perbedaan sifat kimia dan fisika fluida reservoir yang menyebabkan penurunan produksi, potensi masalah reinjeksi serta proses yang berlangsung selama pengembangan lapangan dapat diketahui.

Sumur HSB-01 dan HSB-02 berada di area panas bumi di Pulau Jawa, dengan total kapasitas energi panas bumi sekitar 200 MW. Karakteristik kimia dan fisika dari fluida yang dihasilkan di area panas bumi Dieng berbeda dari area panas bumi lainnya di Indonesia. Cairan yang dihasilkan dari area geothermal Dieng tidak hanya terdiri dari air, tetapi juga memiliki kandungan silika yang tinggi, sekitar 900 mg/l [1]. Hal serupa juga dilakukan dalam penelitian oleh Onnie Ridaliani, menyangkut analisis kondisi reservoir panas bumi menggunakan data geokimia pada Lapangan Elsa di Sumatera Selatan pada tahun 2019 [2].

2. METODE

Tahapan penelitian yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan diawali dengan studi kepustakaan dengan mencari referensi-referensi yang ada baik berupa artikel, buku, jurnal dan lain-lain yang berkaitan dengan pokok bahasan penelitian. Disini penulis bermaksud membandingkan kondisi langsung di lapangan dengan teori dari jurnal dan *text books*. Setelah tahap persiapan yang meliputi pengumpulan literatur relevan, tahap berikutnya adalah pengumpulan data yang akan digunakan dalam penyusunan penelitian akhir. Pada tahap ini, dilakukan observasi dan pengumpulan data yang mencakup data sekunder yang tersedia di PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Dieng serta data primer yang dikumpulkan langsung di lapangan. Data yang dikumpulkan meliputi analisis geokimia air dan gas, uji *Pressure Temperature Spinner*, data reservoir, data geologi, data produksi, data kimia uap dan air panas bumi, analisis operasional produksi dan termodinamika, serta pengambilan sampel *brine water* dari sumur produksi HSB-01 dan sumur injeksi HSB-02 untuk dianalisis di Laboratorium Kimia dan Lindungan Lingkungan PPSDM Migas dan laboratorium PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Dieng. Selain itu, dilakukan wawancara langsung dengan pengelola lapangan untuk memperoleh data tambahan.

A. Sumber Data

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang dikumpulkan melalui observasi lapangan langsung, seperti data uji produksi, data uji laboratorium sampel air garam, dan data pemantauan produksi. Selain itu, data primer juga diperoleh melalui wawancara dan diskusi dengan manajer lapangan serta pakar yang memberikan informasi relevan untuk penelitian ini.

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang di ambil dari beberapa laporan-laporan atau referensi-referensi serta informasi asli terkait dengan judul penelitian dilapangan yang akan dilakukan penelitian yang dikumpullkan oleh penulis merupakan data asli milik perusahaan PT. Geo Dipa Energi (Persero) Unit Dieng.

B. Metode Pengumpulan Data

a. Wawancara

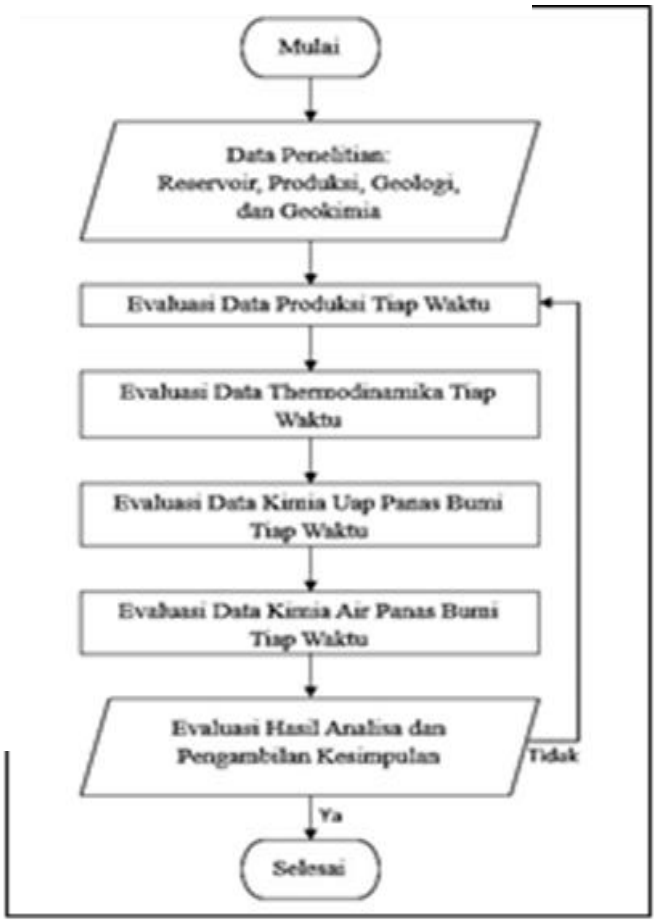
Wawancara dilaksanakan dengan mengajukan pertanyaan secara langsung kepada manajer lapangan dan para ahli teknis, baik yang berada di lokasi maupun di laboratorium PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Dieng, yang memiliki keahlian dan pengalaman dalam bidangnya. Dengan cara ini, permasalahan yang muncul dapat diselesaikan melalui berbagai metode yang

berbeda. Pada analisis kasus, masalah dapat diselesaikan: Kebocoran reinjeksi sumur HSB berdasarkan informasi geokimia dan pemantauan produksi dari PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Dieng. Pengumpulan data melalui informasi tentang hal-hal atau variabel yang berupa gambar, catatan, buku, dan sejenisnya, yang berasal dari PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Dieng.

Proses pengumpulan data dilakukan dengan merujuk pada teori-teori yang relevan terkait perumusan masalah. Referensi terdiri dari buku, jurnal [3],[4],[5] makalah, artikel [6],[7],[8] dan laporan penelitian, serta sumber lainnya [9],[10], [11]. Data yang digunakan berasal dari sumber lapangan, tabel korelasi, grafik, serta asumsi. Data yang dikumpulkan mencakup:

- Analisis Data Operasional Produksi dan Termodinamika
- Analisis Data Geokimia Air
- Analisis Data Geokimia Gas
- Data Pengujian Spinner Suhu dan Tekanan
- Reservoir data, geologi, produksi, dan geokimia
- Informasi kimia mengenai uap panas bumi
- Informasi kimia mengenai air panas dari dalam bumi
- Contoh *brine water*

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir

3. PEMBAHASAN

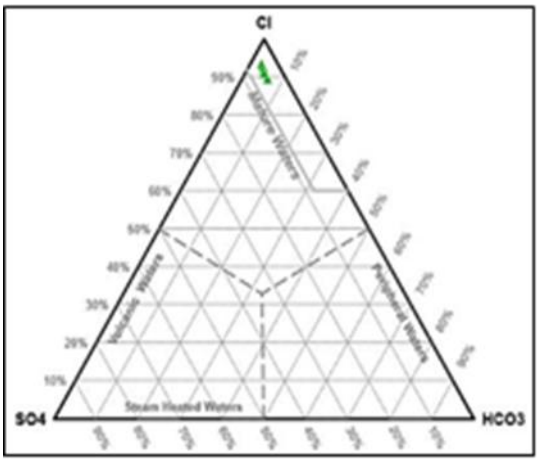
A. Lokasi Penelitian

PT. Geo Dipa Energi (Persero) Unit Dieng berada di Jawa Tengah, lebih tepatnya di Kabupaten Banjarnegara, Kecamatan Batur, di wilayah Dieng, yang terletak di area pegunungan. Ketinggian daerah ini berkisar antara 2000 hingga 2200 meter di atas permukaan laut, dengan suhu rata-rata di Dieng berkisar antara 9° hingga 19° Celsius pada musim kemarau, serta dapat mencapai nilai di bawah 0° Celsius, yang menunjukkan bahwa suhu dapat turun hingga mencapai titik beku. Karena wilayah operasi yang sangat luas yaitu 107. Sebanyak 351,995 hektar, terdapat beberapa lokasi yang tersebar, bahkan ada lokasi yang jaraknya cukup jauh terpisah, dan berada di dua wilayah Kabupaten yang berbeda, yaitu Kecamatan Batur di Kabupaten Banjarnegara serta Kecamatan Kejajar di Kabupaten Wonosobo seperti tampak pada Gambar 2 [1].

Gambar 2. Letak Posisi PT. Geo Dipa Energi (Persero) Unit Dieng

B. Jenis Fluida

Jenis fluida geotermal pada reservoir dapat diidentifikasi melalui diagram trinitas Cl-HCO_3-SO_4. Gambar 3 menampilkan sebaran air dari sumur HSB-01 di lokasi D, yang terkumpul di daerah klorida. Dengan demikian, air yang ada di daerah ini dikelompokkan sebagai air klorida atau air yang telah matang.

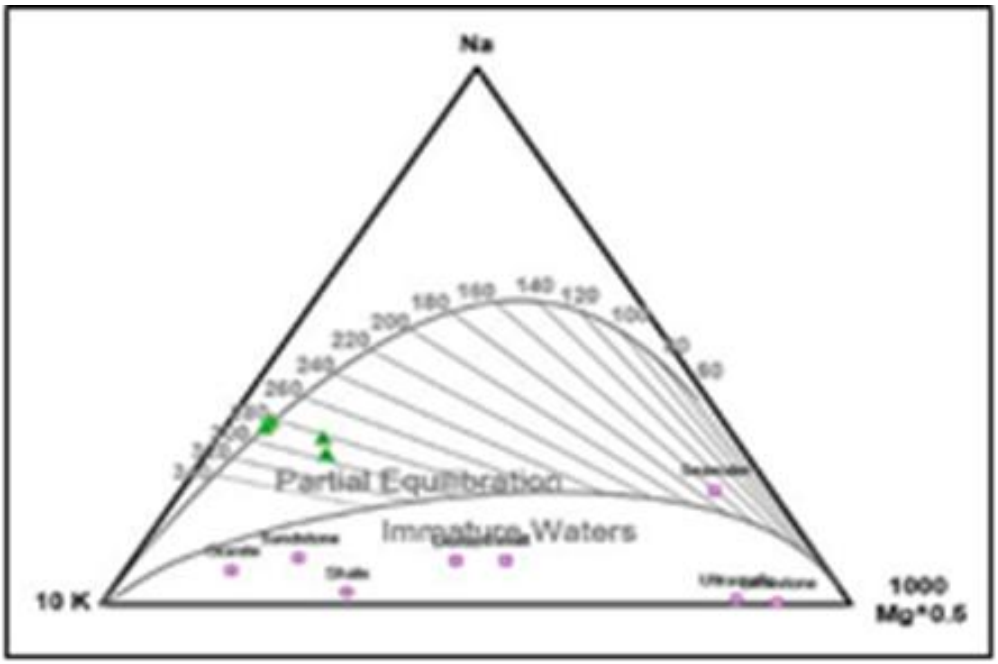


Gambar 3. Diagram Trinitas Cl-HCO_3-SO_4

C. Keseimbangan Fluida

Fluida yang mempertahankan keseimbangan ideal menunjukkan bahwa fluida tersebut dapat menggambarkan fluida yang terdapat dalam reservoirnya. Kesetimbangan fluida dapat dikenali melalui hasil dari diagram Na-K-Mg. Gambar 4 menunjukkan hasil dari diagram aliran produksi HSB-01 yang berlaku dari 31 Agustus 2023 hingga 31 Juli 2024. Data yang didapatkan antara 1 Agustus 2023 hingga 2 Agustus 2023 (2012–2014) menunjukkan bahwa fluida mengalir dari setiap sumur. Namun, keadaan ini tidak teramati pada data yang diperoleh antara 2 Agustus 2023 dan 4 April 2024. Secara umum, terdapat perbedaan yang jelas antara keseimbangan fluida untuk tahun 2023 hingga 2024.

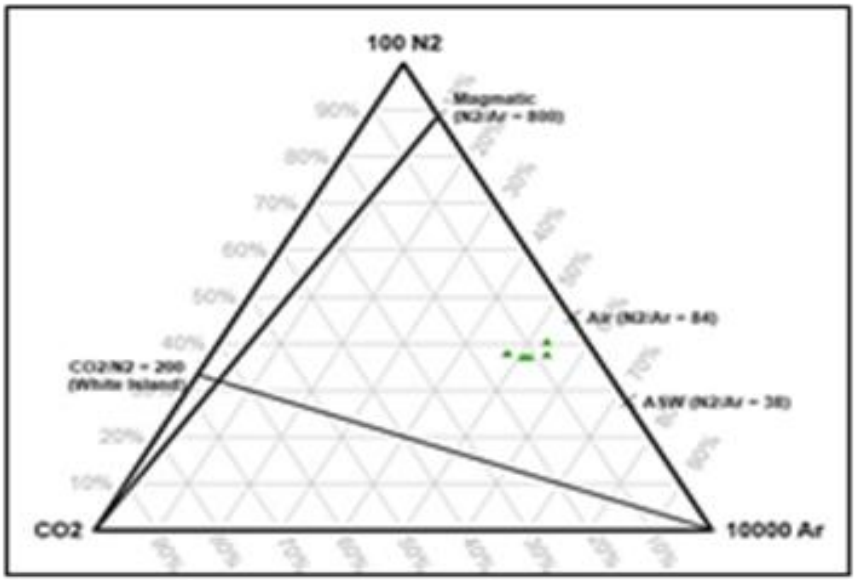
Namun, secara sejarah, terdapat variasi dalam mutu detektor magnesium antara kedua periode tersebut. Pada 22 Mei 2024, kemampuan mendeteksi magnesium pada alat ukur hanya mencapai 0,36 ppm. Namun, dari tanggal 27 hingga 30 Agustus 2024, kemampuan deteksinya meningkat menjadi lebih tepat, yaitu 9,72 mg/L. Oleh sebab itu, terdapat variasi dalam hasil grafik antara kedua periode tersebut, meskipun sebenarnya tidak ada perbedaan.



Gambar 4. Diagram Trinitas Na-K-Mg

D. Sumber Fluida

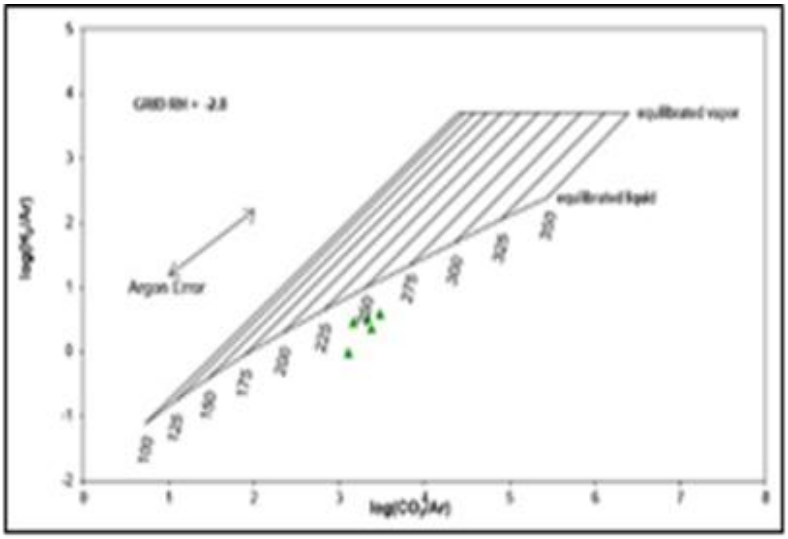
Ciri-ciri sumber air dari reservoir sumur HSB-01 dapat diketahui melalui diagram N_2-Ar-CO_2. Gambar 5 menunjukkan penyebaran data air sumur HSB-01 di area dekat udara dengan rasio N_2/Ar sekitar 84, yang menunjukkan bahwa air dalam reservoir ini berasal dari air meteorik yang panas dan telah mengalami kondensasi.



Gambar 5. Diagram Trinitas N_2-Ar-CO_2

E. Geotermometer

Saat dilakukan analisis menggunakan geotermometer air (Na-K-Ca dan silika) serta gas (CO_2/Ar – H_2/Ar), suhu yang diperoleh berkisar antara 245 hingga 262 °C. Saat menggunakan geotermometer gas HSB-01, suhu reservoir berada dalam rentang 225–250 °C (lihat Gambar 6). Berdasarkan sejumlah metode geotermometer yang telah digunakan, dapat disimpulkan nilai suhu reservoir yang tercantum dalam Tabel 1.



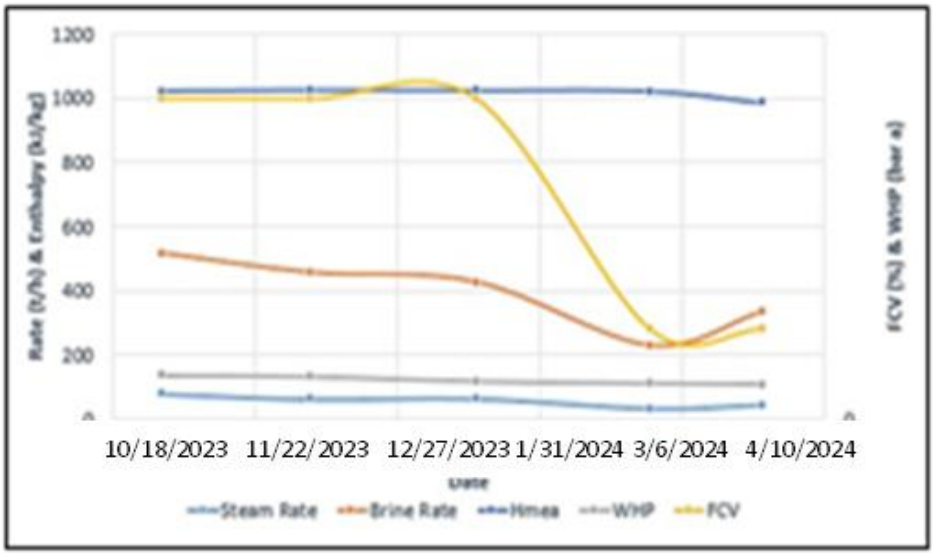
Gambar 6. Geotermometer CO_2/Ar - H_2/Ar

Tabel 1. Hasil Suhu Reservoir HSB

Gas	CARHAR	175-225 ºC	
		200 -250 ºC	
	HSH	260-280 ºC	250 – 260ºC
Liquid	Na-K-Ca	245 -262 ºC	
	SiO_2	240-254 ºC	

F. Pemantauan Nilai Entalpi dan NCG

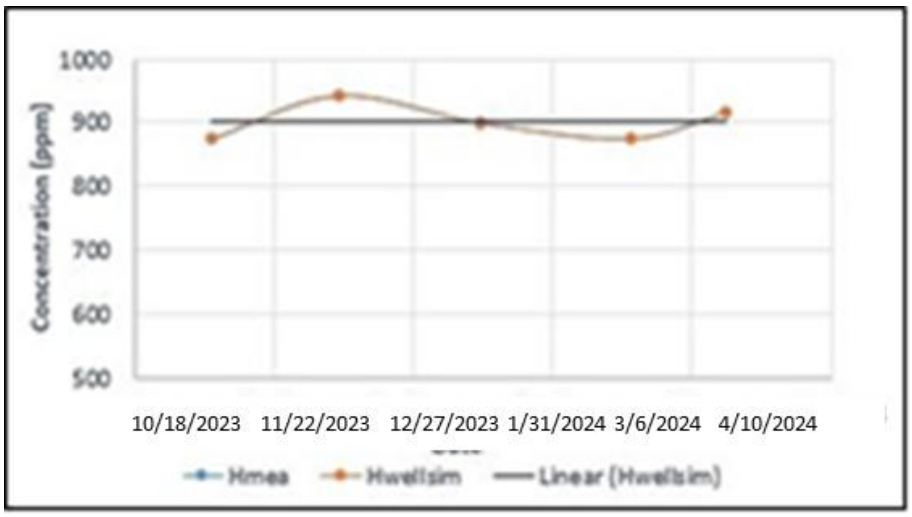
Berdasarkan data pemantauan produksi sumur HSB-01 untuk periode 2023 hingga 2024, rata-rata nilai entalpi yang tercatat adalah 1000 kJ/kg dan menunjukkan kecenderungan penurunan dari kondisi awal, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 7. Produksi rata-rata uap dari sumur HSB-01 mencapai 70 ton per jam, sementara produksi rata-rata airnya adalah 150 ton per jam. NCG sumur cenderung mempertahankan kestabilannya, mencapai puncaknya pada bulan Maret 2024, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Parameter Produksi

G. Pengawasan Terhadap Tingkat Unsur Kimia

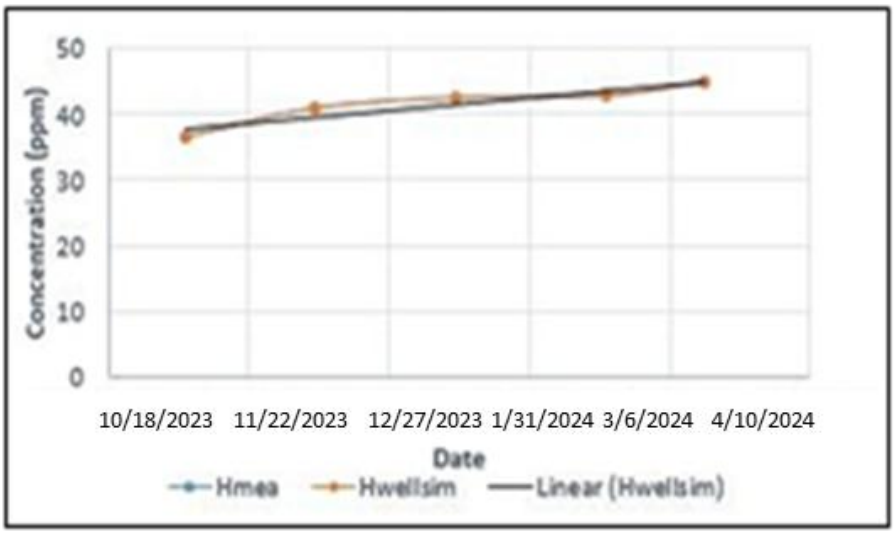
Unsur kimia yang pertama kali menjadi fokus perhatian adalah klorida. Hasilnya mengalami peningkatan sampai awal tahun 2023, lalu mengalami penurunan hingga awal tahun 2024, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 8, dan kembali meningkat pada akhir tahun 2024. Perubahan yang terjadi pada grafik ini dapat mengindikasikan bahwa sejumlah proses sedang berlangsung di dalam reservoir. Proses ini dapat diteliti lebih lanjut dengan memeriksa konsentrasi mineral lainnya pada setiap saat, seperti Ca, SO_4^{2-}, dan HCO_3^-.



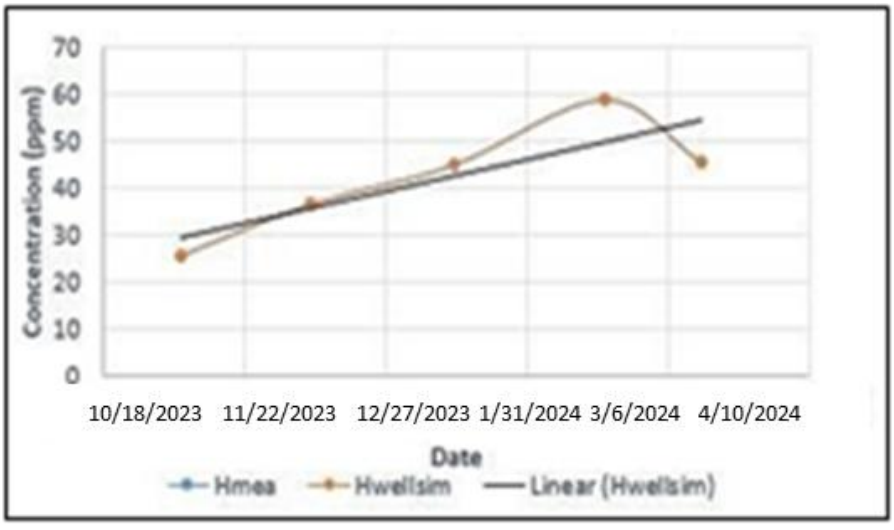
Gambar 8. Grafik konsentrasi klorida vs waktu

Gambar 9 mengindikasikan adanya peningkatan kadar kalsium. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat fluida lain yang memiliki kadar kalsium tinggi yang masuk ke dalam reservoir lapangan HSB. Analisis awal mengindikasikan bahwa fluida yang mengandung semen telah masuk dan tercampur dengan air hasil produksi, karena semen biasanya memiliki tingkat kalsium yang tinggi.

Agar dapat lebih memperkuat dugaan mengenai pencampuran fluida luar dengan semen yang masuk ke dalam lubang sumur, konsentrasi SO_4^{2-} dan HCO_3^- dapat dianalisis secara berkala. Ion SO_4^{2-} dan HCO_3^- adalah ion khas yang terdapat dalam fluida permukaan. Apabila terdapat peningkatan konsentrasi ion-ion tersebut, dapat disimpulkan bahwa fluida pengeboran telah tercampur dengan fluida permukaan akibat adanya kebocoran pada pipa selubung atau semen. Grafik pada Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan peningkatan konsentrasi SO_4^{2-} dan HCO_3^-.



Gambar 9. Grafik konsentrasi SO_4^{2-} vs Waktu



Gambar 10. Grafik konsentrasi HCO_3^- vs Waktu

Namun, tingkat klorida juga mulai meningkat pada akhir tahun 2023, sebagaimana yang telah terlihat pada awal tahun 2024 pada Gambar 10. Selain itu, konsentrasi NCG dan entalpi

juga mulai menunjukkan penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat proses lain yang sedang terjadi di dalam reservoir. Ciri-ciri ini menunjukkan adanya suatu proses yang umum dikenal sebagai terobosan reinjeksi, yaitu masuknya air dari sumur injeksi yang bercampur dengan sumur produksi sebelum mengalami pemanasan secara menyeluruh. Secara umum, masalah reinjeksi dapat muncul ketika jarak antara sumur produksi dan sumur injeksi terlalu berdekatan atau ketika kecepatan injeksi di dalam sumur injeksi terlalu tinggi.

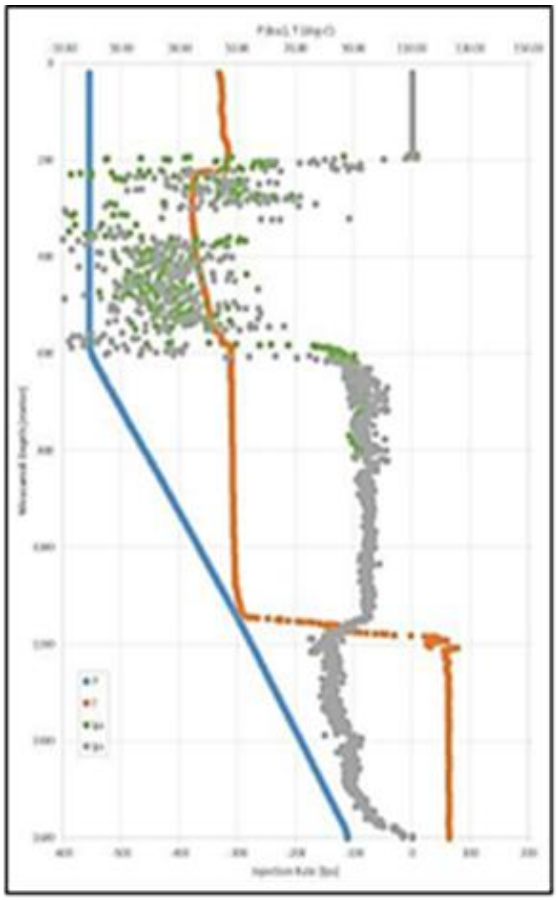
H. Perbandingan Nilai Energi Dalam

Secara umum, terdapat penurunan nilai entalpi yang tampak pada HSB-01, baik dari nilai entalpi yang diukur maupun dari nilai entalpi geotermometer Na-K-Ca dan nilai entalpi geotermometer silika. Pada tahap awal, entalpi yang dihasilkan oleh geotermometer Na-K-Ca lebih besar dibandingkan dengan entalpi yang diperoleh dari geotermometer silika, sedangkan entalpi dari geotermometer silika lebih tinggi daripada entalpi yang didapatkan dari hasil pengukuran. Bahkan pada keadaan terkini, yaitu pada tahun 2023, urutan nilai entalpi dari berbagai metode tetap tidak mengalami perubahan; hanya nilai setiap metode yang cenderung berkurang jika dibandingkan dengan nilai pada tahun 2024.

Berdasarkan penjelasan Truessdell (1973), nilai entalpi yang tinggi seperti yang telah diungkapkan sebelumnya menunjukkan bahwa terdapat pencampuran fluida yang lebih dingin di dalam sumur bor. Hal ini disebabkan oleh geotermometer silika yang memiliki tingkat sensitivitas yang lebih besar terhadap perubahan suhu dibandingkan dengan geotermometer Na-K-Ca. Umumnya, nilai indeks silika akan menurun ketika dicampurkan dengan air yang telah diencerkan, yang mengakibatkan penurunan nilai entalpi yang dapat terlihat dalam hasil pengukuran. Ini memperkuat keyakinan tentang adanya proses yang terkait dengan reservoir [12].

I. Uji *Pressure Temperature Spinner* (PTS) Pendukung

Data yang diperoleh dari pengujian tekanan-suhu menggunakan spinner mendukung anggapan mengenai proses tersebut. Diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 11 menunjukkan bahwa arus berlangsung pada kedalaman sekitar 190 meter. Data pipa selubung menunjukkan bahwa terdapat kebocoran di wilayah *tieback*, yaitu bagian dari pipa selubung yang memungkinkan proses penyemenan dua tahap pada pipa selubung produksi (*tieback*). Dalam sistem *tieback*, pipa selubung berukuran 13-3/8 inci saling tumpang tindih dengan pipa selubung berukuran 18-1/2 inci sepanjang sekitar 2 meter, dan keduanya dikunci dengan semen. Kegagalan ini mungkin menyebabkan terjadinya komunikasi antara sumur dan air permukaan yang masuk melalui *casing shoe* berukuran 20 inci.



Gambar 11. Hasil pengukuran PTS sumur HSB-01

J. Pembahasan Hasil Penelitian

Berdasarkan penilaian dan analisis pernyataan sebelumnya, kebocoran pada selubung pipa yang mengakibatkan air permukaan mengalir masuk ke dalam sumur injeksi dan produksi dalam konteks studi kasus pada sumur reinjeksi panas bumi dapat dipahami sebagai sumber fluida, jalur aliran, serta efeknya pada reservoir panas bumi. Kebocoran pada pipa selubung dan infiltrasi air permukaan merupakan masalah yang terkait dengan integritas struktural sumur, yang disebabkan oleh kerusakan seperti retakan atau lubang pada pipa reinjeksi, terutama di area mendekati permukaan. Sumber dari fluidanya adalah air meteorit (air tanah dangkal atau air permukaan) yang memiliki temperatur dan kandungan kimia yang lebih rendah dibandingkan dengan fluida di reservoir yang lebih dalam. Air ini masuk ke dalam sumur (sumur produksi) melalui kebocoran yang terjadi di lapisan selubung yang dekat permukaan (ruang *annular*) atau dari formasi permukaan yang dilapisi semen berkualitas rendah. Dampaknya adalah terjadinya penurunan entalpi atau temperatur pada produksi, karena campuran antara fluida panas dengan air permukaan yang dingin.

Hal ini mengakibatkan berkurangnya suhu dan total energi (entalpi) dari fluida yang mengalir menuju pembangkit listrik panas bumi. Selanjutnya, perubahan geokimia yang terjadi menyebabkan perubahan yang signifikan pada komposisi fluida produksi (misalnya, peningkatan konsentrasi Cl^- atau HCO_3^- karena pencemaran dari air permukaan, atau peningkatan kadar oksigen terlarut). Ada kemungkinan terjadinya kerusakan pada *casing* sumur, yang bisa semakin parah akibat air permukaan yang bersifat korosif. Studi geokimia menunjukkan adanya

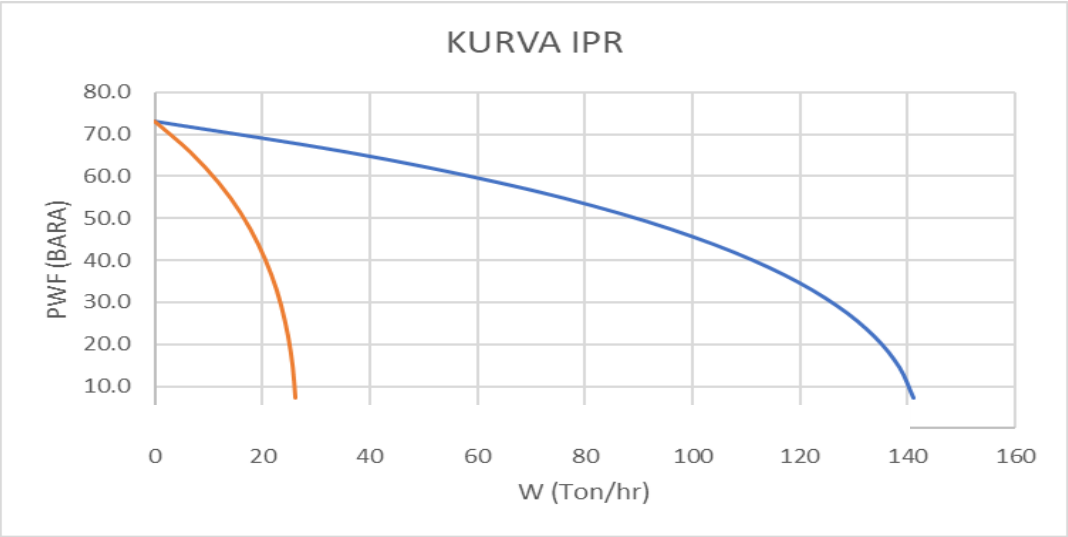
peningkatan yang signifikan pada komponen air permukaan yang lebih dingin, yang tidak sesuai dengan karakteristik air reinjeksi atau reservoir.

Interaksi antara sumur injeksi dan sumur produksi adalah sebuah fenomena aliran fluida secara alami atau yang direncanakan di dalam reservoir. Hal ini terjadi akibat adanya jalur permeabel alami (retakan atau patahan) atau jalur yang dibuat oleh manusia (stimulasi atau *fracking*) yang menghubungkan zona injeksi ke zona produksi sumur produksi. Ini tergantung pada geometri reservoir itu sendiri. Sumber fluida adalah sisa air garam dari pembangkit listrik panas bumi yang telah didinginkan dan disuntikkan kembali ke dalam reservoir (resirkulasi). Fluida ini memiliki komposisi kimia yang khas (kaya akan silikon dioksida) dan temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan fluida reservoir alami. Air reinjeksi mengalir dari sumur injeksi melalui batuan reservoir (melalui retakan dan matriks) menuju sumur produksi. Efek yang diteliti selama proses terobosan ini adalah penurunan temperatur produksi (terobosan termal). Ini terjadi ketika waktu transit terlalu singkat. Air re-injeksi yang dingin tiba di sumur produksi, sehingga menyebabkan pendinginan (penurunan temperatur) dan berkurangnya entalpi produksi.

Di sisi lain, perubahan geokimia (terobosan kimia) terdeteksi melalui keberadaan pelacak yang disuntikkan secara sengaja atau oleh perubahan kimia yang menjadi karakteristik air reinjeksi (penurunan kadar SiO_2 akibat pengendapan di permukaan dan perubahan isotop) dalam fluida sumur produksi. Bukti geokimia yang ditemukan dalam studi kasus ini, yaitu deteksi pelacak atau sinyal kimia dari air injeksi yang kembali di sumur produksi, menunjukkan bahwa tidak ada koneksi hidraulik yang jelas atau langsung. Tabel 2 menunjukkan perbandingan antara kebocoran pada *casing* sumur dan masuknya air dengan konektivitas antara sumur injeksi dan sumur produksi. Gambar 12 merupakan hasil plot *flow rate* (Q) terhadap variasi TKS pada sumur A yang menunjukkan terdapat suatu kecenderungan laju penurunan produksi sebesar 26.3778 ton/h dan sebelumnya terdapat laju produksi sebesar 141.915 ton/h.

Tabel 2 Perbandingan: Kebocoran *Casing* vs. Konektivitas Sumur

Fitur	Kebocoran *Casing* & Influx Air Permukaan	Konektivitas Sumur Injeksi & Produksi
Sifat Fenomena	Kegagalan mekanik/struktural sumur.	Aliran fluida dalam reservoir.
Lokasi Kejadian	Di dinding sumur (casing) di zona dangkal.	Di batuan reservoir antar-sumur (dalam).
Sumber Fluida Dingin	Air Permukaan/Air Tanah Dangkal	Air Reinjeksi (sisa PLTP yang didinginkan).
Mekanisme Pencampuran	Air dangkal masuk ke lubang sumur melalui kebocoran.	Air injeksi mengalir melalui rekahan/batuan ke sumur produksi.
Solusi Teknis	Perbaikan integritas sumur (cement squeezing, liner).	Pengaturan laju injeksi, relokasi sumur injeksi, atau pattern sumur.



Gambar 12. Plot *Mass Flow Rate* VS WHP

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada penelitian hasil uji Laboratorium PT. Geo Dipa Energi (Persero) Unit Dieng, maka hasil yang didapatkan berupa kondisi lubang sumur HSB-01dan HSB- 02 di Lapangan D seperti terlihat pada Tabel 3-5. Kadar klorida (Cl^-) lebih tinggi dibandingkan sumur produksi HSB-01. Berbeda dengan hasil uji Laboratorium PPSDM Migas pada Tabel 6-7 dimana kadar *Hydrogen Carbonate* (HCO_3^-) memiliki lebih tinggi pada sumur produksi HSB-01. Sehingga jenis fluida panas bumi pada hasil uji Laboratorium PT. Geo Dipa Energi (Persero) Unit Dieng menunjukan jenis air klorida, sedangkan pada hasil uji Laboratorium PPSDM Migas menunjukan jenis fluida panas bumi adalah air karbonat.

Tabel 3. Monitoring Geokimia Fluida *Brine Water*

Sample	Geokimia Fluida Brine Water				
	Cl (ppm)	HCO3 (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)
HSB-01 (Production Well)	19525.86	9.381	11220	2306	1.366
HSB-02 (Injection Well)	22418.58	18.7636	8226	3188	0.277

Tabel 4. Monitoring Geokimia Gas *Brine Water*

Sample	Geokimia Gas Brine Water				
	N2 (ppm)	CO2 (ppm)	Ar (ppm)	CH4 (ppm)	H2S (ppm)
HSB-01 (Production Well)	143.05358	11.514	0.00908	20.161084	846

Sample	NCG(%mol)	NCG(%mol)	mol NCG
HSB-01 (Production Well)	1.24	0.52	0.0287

Tabel 5. Monitoring Perhitungan SiO_2

RUMUS PERHITUNGAN SIO2		
Wf - Wo / Wf - W1	X Hasil analisa SiO2	=

HSB-01 (PRODUCTION WELL)		
No	Keterangan	Hasil
1	Botol kosong (Wo)	16
2	Botol isi HCl 0,1 N 90 ml (W1) :	105
3	Botol isi HCl 0,1 N 90 ml sampel 10 ml (Wf)	116
4	Hasil analisa lab (mg/L)	88
5	Hasil kalkulasi SiO2 & Timbangan.	802

HSB-02 (INJECTION WELL)		
No	Keterangan	Hasil
1	Botol kosong (Wo)	17
2	Botol isi HCl 0,1 N 90 ml (W1) :	105
3	Botol isi HCl 0,1 N 90 ml sampel 10 ml (Wf)	120
4	Hasil analisa lab (mg/L)	41
5	Hasil kalkulasi SiO2 & Timbangan.	282

Tabel 6. Hasil Uji *Brine Water* HSB-01 di Laboratorium PPSDM Migas

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisis	Metode Pengujian
1	Calsium (Ca^{2+})	Mg/L		604	AAS
2	Magnesium (Mg^{2+})	Mg/L		9,72	AAS
3	Hydrogen Carbonate (HCO^{3-})	Mg/L		105	Trimetri
4	Klorida (Cl^-)	Mg/L		37,91	APHA 4500-Cl-, 23rd Ed 2017
5	Sulfat (SO_4^{2-})	Mg/L		13,7	APHA 4500-SO42-, 23rd Ed 2017

Tabel 7. Hasil Uji *Brine Water* HSB-02 di Laboratorium PPSDM Migas

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisis	Metode Pengujian
1	Calsium (Ca^{2+})	Mg/L		576	AAS
2	Magnesium (Mg^{2+})	Mg/L		15,79	AAS
3	Hydrogen Carbonate (HCO^{3-})	Mg/L		88	Trimetri
4	Klorida (Cl^-)	Mg/L		14,56	APHA 4500-Cl-, 23rd Ed 2017
5	Sulfat (SO_4^{2-})	Mg/L		46,4	APHA 4500-SO42-, 23rd Ed 2017

4. SIMPULAN

Fluida panas bumi yang terdapat di reservoir geotermal di area HSB adalah air klorida yang terdapat dalam kondisi seimbang berdasarkan analisis laboratorium PT Geo Dipa Energi, Tbk Unit Dieng, sementara analisis laboratorium di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM Migas) mengindikasikan adanya air karbonat. Proses yang berlangsung di sumur HSB-01 dapat dianggap sebagai terobosan dalam prosedur injeksi ulang serta integrasi fluida produksi di dalam sumur dengan air permukaan yang lebih dingin. Hal ini terjadi karena kerusakan pada semen dan adanya bocor pada sumur, yang dapat dilihat dari penurunan entalpi. Produksi air garam dari HSB-01 disuntikkan terutama ke kawasan utara (*well pad* 14 dan 15).

HSB-02 memiliki tanggung jawab dalam menghasilkan air garam dari *well pad* 7, 29, dan 33. Oleh karena itu, tidak terdapat hubungan yang langsung antara data produksi dari HSB-01 dan HSB-02. Namun, disebabkan oleh kebocoran pada sumur HSB-01, cairan yang ada di bawah permukaan dapat bercampur dengan cairan yang berada di atas permukaan. Indikasi studi kasus (geokimia) adalah peningkatan signifikan dalam komponen air permukaan yang lebih dingin, tidak sesuai dengan karakteristik air reinjeksi atau reservoir dan dari hasil deteksi zat *tracer* atau sinyal kimia air reinjeksi pada sumur produksi, menunjukkan tidak adanya hubungan hidraulik yang cepat atau tidak ada konektivitas antara sumur produksi HSB-01 dengan sumur injeksi HSB-02. Tindakan lebih lanjut yang mungkin diperlukan adalah evaluasi *casing integrity*, *modeling reservoir*, ulangi tes *tracer* dengan interval waktu dan analisis yang lebih lama untuk mencari tahu apakah ada jalur koneksi yang lebih lambat.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Pohan, M. P. dan Hutamadi, R. , “Studi Mineral di dalam Area Panas Bumi di Dieng, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah” .Grup Riset Konservasi, Pusat Sumber Daya Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Bandung, 2012.

[2] Putri, N.E., Ridaliani, O., Yanti, W. (2019). Analisis Kondisi Reservoir Panas Bumi Menggunakan Data Geokimia dan Monitoring Produksi Sumur ELS-02. Trisakti Open Journal Systems 194–199, 2019. https://core.ac.uk/download/pdf/287175431.pdf.

[3] Barragan, R. M., et.al.,“Analysis of Geochemical and Production Well Monitoring Data”, Intech Open,2016, 2, 64.

[4] Easly, E., “Geochemistry Method for Geothermal Exploration”, Indonesia International Geothermal Convention and Exhibition Pre-Conference Workshop 2018, Thermochem, Jakarta.

[5] Ellis, A. J. dan W. A. J. M., “Chemistry and Geothermal System”, Academic Press, New York, 1997.

[6] Fridriksson, T., and Ármannsson, H., “Application of geochemistry in geothermal resource assessments”, Short Course on Geothermal Development in Central America Resource Assessment and Environmental Management, El-Salvador, 2007

[7] Florentina, A. , “Analisis Geokimia Fluida dan Perubahan Karakteristik Fluida Reservoir di Lapangan Panasbumi Patuha, Jawa Barat”. Skripsi. Institut Teknologi Bandung, 2020. Tidak untuk dipublikasikan..

[8] Grant, M. A., and Bixley, P. F., “Geothermal Reservoir Engineering” (Second Edition), Elsevier Inc., Burlington, 2011.

[9] Shah, M., et.al. ,“Geochemical Analysis for Understanding Prospectivity of Low Enthalpy Geothermal Reservoirs of Dholera”, 2017.

[10] Villaseñor, L. B., & Calibugan, A.A. , “Silica Scaling in Tiwi – Current Solutions”, In Proceedings International Workshop Mineral Scaling Filipina,2011. https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WPRB/2011/03_Villasenor.pdf.

[11] Wanjie, C., "Geochemical monitoring of reservoir response to production", Short Course on Exploration for Geothermal Resources,2012.
[12] Truesdell, A.,et.al., "Chemical and physical indicators of reservoir processes in exploited high-temperature, liquid-dominated geothermal fields", Proceedings of the World Geothermal Congress,1995, 3, 1933–1938
[13] Nenny Miryani Saptadji, "Teknik Panas Bumi", Penerbit ITB,2001.
[14] Sanyal, S.K., et.al., "A Systematic Approach to Decline Curve Analysis for the Geysers Steam Field, California". Geothermal Resources Council, The Geysers Geothermal Field, 1991,Special Report No 17.
[15] Satiyawira, B. , "Penilaian Pembersihan Lubang Sumur Panas Bumi Terhadap Hasil Uap Pada Sumur Z Di Lokasi S",2018 Volume VII No. 3.
[16] Suryatini (n. d.), "Pengantar Sistem dan Teknologi Geothermal: Manifestasi dan Fluida Geothermal", Institut Teknologi Bandung, Bandung.