

KARAKTERISASI PANASBUMI DI DAERAH SUMATRA DAN SULAWESI UTARA DENGAN MENGGUNAKAN GEOTERMOMETER T¹⁸O_{SO4-H2O}

Zainal Abidin, Wandowo, E. Ristin P.I., Djiono, dan Alip

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi



ID0000125

ABSTRAK

KARAKTERISASI PANASBUMI DI DAERAH SUMATRA DAN SULAWESI UTARA DENGAN MENGGUNAKAN GEOTERMOMETER T¹⁸O_{SO4-H2O}. Penentuan suhu reservoir panasbumi dari manifestasi permukaan di daerah Sumatra dan Kotamobagu - Sulawesi Utara telah dilakukan dengan menggunakan geotermometer isotop T¹⁸O_{SO4-H2O}. Suhu sumur SBY-3 juga ditentukan sebagai pembanding. Metode geotermometer T¹⁸O_{SO4-H2O} dilakukan dengan menganalisis isotop ¹⁸O dari H₂O dan ³⁴S dari ion sulfat (SO₄) yang terlarut dalam fluida panas. Nilai suhu ditentukan dengan formulasi Mizutani Rafter. Hasil penentuan suhu mata air panas mendidih di Sumatra (Tambang Sawah, Waipanas, Rantau Dadap dan Sarula) menunjukkan suhu di atas 200°C dengan karakteristik fluida kesetimbangan dalam. Sedangkan suhu mata air panas tak mendidih menunjukkan suhu lebih rendah (150°C) dengan karakteristik fluida percampuran.

ABSTRACT

GEOHERMAL CHARACTERIZATION IN SUMATRA AND NORTH SULAWESI USING GEOTERMOMETER T¹⁸O_{SO4-H2O}. Determination of geothermal reservoir temperature of surface manifestation in Sumatra and Kotamobagu - North Sulawesi has been done using geotermometer isotope T¹⁸O_{SO4-H2O}. SBY-3 (Sibayak) well temperature has also been determined as reference. Geotermometer T¹⁸O_{SO4-H2O} method is performed by analyzing isotope ¹⁸O of H₂O and ³⁴S of sulfat ion (SO₄) dissolved in the hot fluid. The value of temperature is determined using Mizutani Rafter formulation. The temperature determination result of the boiling spring in Sumatra (Tambang Sawah, Waipanas, Rantau Dadap and Sarula) indicates that the temperature is above 200°C with the deep equilibrium fluid characteristic, whereas the temperature of the non boiling spring indicates lower temperature (150°C) and the fluid characteristic is mixing.

PENDAHULUAN

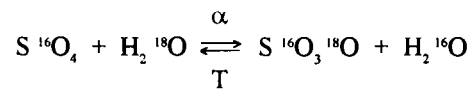
Pengembangan energi panasbumi menjadi energi listrik di Indonesia kini mengalami kemajuan pesat seiring dengan kebutuhan akan energi dan tersedianya sumber daya alam. Penelitian eksplorasi untuk mengetahui potensi sumber panasbumi merupakan tahapan yang sangat menentukan dalam rangka tindak lanjut eksploitasi. Perkiraan suhu reservoir menggunakan geotermometer isotop dan kimia dari manifestasi permukaan seperti mata air panas dan fumarole dapat dipakai untuk mengetahui potensi dan daerah "up flow" sumber panasbumi.

Disamping geotermometer kimia, isotop ¹⁸O dalam kesetimbangan SO₄ - H₂O dalam fluida sangat dapat dipercaya untuk digunakan sebagai geotermometer pada daerah panasbumi yang bersifat "water dominated system". Selain itu hubungan antara ¹⁸O dan ³⁴S dalam senyawa sulfat dapat mengungkapkan berbagai proses geokimia seperti kesetimbangan fluida, percampuran dan asal-usul fluida (1).

Aplikasi geotermometer T¹⁸O_{SO4-H2O} telah dilakukan pada berbagai manifestasi permukaan daerah panasbumi di Sumatera dan Kotamobagu - Sulawesi Utara. Sebagai acuan penentuan suhu dengan geotermometer ini, dilakukan juga pengukuran pada sumur lapangan panasbumi Sibayak karena pada daerah ini telah diketahui suhunya secara pasti dengan menggunakan peralatan custer.

Teori Geotermometer T¹⁸O_{SO4-H2O}

Teknik geotermometer isotop T¹⁸O_{SO4-H2O} didasarkan atas pengukuran isotop ¹⁸O yang terdistribusi (fraksinasi) diantara senyawa H₂O dan SO₄ yang berada pada kesetimbangan kimia dalam fluida panasbumi. Hubungan faktor fraksinasi isotop ¹⁸O (α₁₈) terhadap suhu digambarkan dalam reaksi kesetimbangan dibawah ini.



Dalam reaksi tersebut faktor fraksinasi (α₁₈) merupakan fungsi dari suhu : α = f(T).

Berdasarkan eksperimen yang dilakukan oleh MIZUTANI dan RAFTER 1969 terhadap hubungan α vs T telah di peroleh hubungan matematis antara α terhadap suhu seperti persamaan dibawah ini (2, 3).

$$1000 \ln \alpha = \frac{2,88 \times 10^6}{T^2} - 4,1$$

$$\text{Dimana } \alpha = \frac{1000 - \delta^{18}O_{SO4}}{1000 - \delta^{18}O_{H2O}}$$

$\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ adalah rasio relatif $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dalam senyawa SO_4 yang diukur dengan spektrometer massa.

$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ adalah rasio relatif $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dalam H_2O .

Penentuan suhu dengan geotermometer ini sangat baik untuk suhu antara 100 dan 300°C. Kesetimbangan kimia T $^{18}\text{O}_{\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}}$ pada kondisi reservoir suhu 300°C tercapai dalam waktu 2 tahun, sedangkan pada suhu 200°C dan 100°C kesetimbangan kimia tercapai masing-masing selama 18 tahun dan 500 tahun.

BAHAN DAN METODE

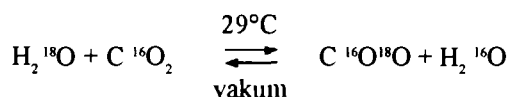
Bahan. Bahan yang digunakan ialah AgNO_3 , 0,1 N, HgCl_2 , nitrogen cair, aseton, CO_2 padat, Cu_2O , grafit serta contoh fluida dari lapangan panasbumi daerah Sulawesi Utara (Kotamobagu – KTB, Lobong – LB, Kapondohan – KM) dan dari Sumatra (Tambang Sawah – TSA, Rantau Dadap – RDD, Sarula – SRL, Sibayak – SBY)

Alat. Alat yang digunakan ialah spektrometer massa “Sira 9 ISOGAS” dan “Delta S Finnigan”, “sulphate preparation line dan sulphide preparation line SCIENTIFIC SOLUTION Ltd”. isoprep-18, spektrometer serapan atom, pH meter, termometer digital dan alat timbang.

Metode Sampling. Pengambilan contoh manifestasi permukaan dilakukan dengan cara memasukkan 20 ml contoh fluida panasbumi kedalam vial kedap udara untuk dianalisis kadar ^{18}O dalam H_2O . Untuk analisis kadar ^{18}O dalam sulfat, contoh fluida panasbumi sebanyak 1-2 liter tergantung kandungan sulfat yang ada dimasukkan kedalam vial plastik, kemudian di tambahkan $\pm 0,1$ gram HgCl_2 untuk pengawetan guna menjaga reduksi bakteri terhadap sulfur (4).

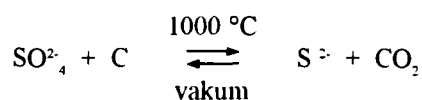
Metode Analisis Contoh

- Analisis ^{18}O dalam H_2O dilakukan dengan metode Epstein Mayeda yaitu 2 ml contoh direaksikan dengan gas CO_2 pada kondisi vakum pada alat isoprep-18 seperti reaksi dibawah ini.



CO_2 hasil reaksi dimasukkan kedalam spektrometer massa untuk pengukuran rasio $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$.

- Analisis ^{18}O dalam ion sulfat dilakukan dengan cara terlebih dahulu mengendapkan ion sulfat dalam fluida menjadi endapan BaSO_4 . Sebanyak 25 mg endapan BaSO_4 direaksikan dengan 50 mg grafit pada lempeng platina dalam kondisi vakum dan suhu 1000 °C pada alat “sulphate preparation line” dengan reaksi sebagai berikut :



Gas CO_2 yang terbentuk diukur ^{18}O -nya dengan spektrometer massa. Nilai ^{18}O dari gas CO_2 ini menunjukkan nilai ^{18}O dari SO_4 .

- Ion S^{2-} yang terbentuk diatas direaksikan dengan AgNO_3 menjadi Ag_2S dan kemudian direaksikan dengan Cu_2O pada kondisi vakum dan suhu 1000 °C pada alat “sulphide preparation line” untuk memperoleh gas SO_2 . Gas SO_2 ini dialirkan ke spektrometer massa “Delta S” untuk analisis isotop ^{34}S .
- Analisis kation
Contoh fluida panasbumi disaring dengan kertas saring milipore kemudian dialirkan ke alat Spektrometer Serapan Atom untuk analisis kadar kationnya.
- Pengukuran suhu contoh fluida dilakukan di lapangan dengan menggunakan digital termometer sedangkan pengukuran tingkat keasaman (pH) dilakukan dengan menggunakan pH-meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil analisis isotop ^{18}O dalam H_2O dan sulfat serta isotop ^{34}S tertera pada Tabel 1. Pada tabel tersebut terlihat kandungan isotop ^{18}O dalam sulfat pada mata air panas mendidih (boiling spring) mempunyai nilai -1 sampai +1,5 ‰ SMOW, sedangkan kandungan ^{34}S sulfatnya mempunyai nilai lebih besar dari 14 ‰ CDT. Nilai tersebut menunjukkan bahwa fluida mata air panas berasal dari reservoir dalam keadaan kesetimbangan (deep equilibrium), kecuali pada mata air panas mendidih KM3 (Kopondohan – Kotamabagu) menunjukkan nilai ^{18}O sulfat sangat tinggi yaitu +8,23 ‰. Nilai tersebut mencerminkan kemungkinan mata air panas tersebut berasal dari reservoir dangkal (shallow equilibrium). Tingginya nilai ^{18}O sulfat kemungkinan disebabkan oleh pengaruh oksidasi permukaan (5).

Kandungan isotop ^{18}O sulfat untuk fumarole relatif besar dan isotop ^{34}S relatif kecil. Hal ini jelas menunjukkan adanya proses oksidasi H_2O menjadi sulfat di permukaan bukan pada reservoir dalam. Adanya O_2 udara luar dan terbentuknya ion SO_4 yang relatif besar mempengaruhi nilai isotop ^{18}O dan ^{34}S dalam sulfat tersebut. Gambar 1 memperlihatkan hubungan antara isotop ^{18}O dan ^{34}S dalam ion sulfat. Gambar tersebut dengan jelas dapat menginformasikan proses asal-usul fluida dan proses “mixing” dalam sistem panasbumi. Terlihat bahwa mata air panas mendidih yaitu Tambang Sawah (TSA), Rantau Dadap (RDD 5 & 6) dan Sarula pada gambar tersebut terletak pada daerah “deep equilibrium”. Sedangkan mata air panas Lobong (LB) Kotamabogu dan Rantau Dadap (RDD 8) terletak pada daerah “mixing” antara “deep equilibrium” dan fumarole (6).

Geotermometer. Tabel 3 dan 4 memperlihatkan hasil perhitungan dan evaluasi suhu reservoir dari berbagai mata air panas di daerah Sumatera dan Sulawesi Utara. Untuk mata air panas mendidih TSA, RDD5 dan 6, SRL dan KM3 terlihat bahwa suhu yang dihitung menggunakan geotermometer isotop T $^{18}\text{O}_{\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}}$ dan geotermometer kimia menunjukkan nilai yang relatif sama. Suhu reservoir di

daerah Tambang Sawah yang diukur dengan geotermometer isotop menunjukkan nilai 255 °C, sedangkan dengan geotermometer kimia (T_{Na-K} , $T_{Na-K-Ca}$ dan T_{K-Mg}) menunjukkan suhu antara 236 dan 262 °C. Demikian pula untuk daerah Rantau Dadap dan Sarula nilai suhu reservoir berdasarkan geotermometer isotop menunjukkan nilai masing-masing 250 °C dan 266 °C. Untuk mata air panas permukaan seperti Lobong (LB), suhu hasil perhitungan berdasarkan isotop $T^{18}O_{SO_4-H_2O}$ menunjukkan nilai relatif lebih rendah daripada hasil perhitungan dengan geotermometer T_{Na-K} .

Untuk gambaran yang lebih jelas, pada Tabel 4 diperlihatkan hasil pengukuran suhu berdasarkan geotermometer isotop $T^{18}O_{SO_4-H_2O}$ dan hasil pengukuran langsung dengan custer (suhu aktual) pada sumur panasbumi Sibayak (SBY-3 dan 4). Suhu hasil pengukuran langsung dengan custer pada sumur panasbumi setelah pemanasan sumur selang 90 hari menunjukkan suhu 260 °C (SBY 3 dan 4), sedangkan hasil pengukuran dengan geotermometer isotop pada sumur SBY-3 menunjukkan nilai 251 °C, atau relatif lebih rendah 9 °C, tetapi pada sumur SBY-4 pengukuran dengan geotermometer isotop menunjukkan nilai lebih besar 15 °C.

KESIMPULAN

1. Mata air panas mendidih Tambang Sawah, Rantau Dadap (5 dan 6) dan Sarula di daerah Sumatra berasal dari daerah "deep equilibrium", sedangkan mata air panas Lobong-Kotamobagu-Sulawesi Utara dan Rantau Dadap 8 berasal dari proses pencampuran antara fumarole dan "shallow equilibrium".
2. Terdapat kesamaan suhu yang dihitung dengan menggunakan geotermometer $T^{18}O_{SO_4-H_2O}$ dan kimia pada mata air panas Tambang Sawah (255°C), Rantau Dadap

5 dan 6 (250 °C), Sarula (266°C) sedangkan $T^{18}O_{SO_4-H_2O}$ Kotamobagu lebih rendah daripada T_{kimia} .

DAFTAR PUSTAKA

1. ABIDIN, Z., WANDOWO, INDROJONO, ALIP, DIJONO, dan E. RISTIN. PI., Kamojang overview and geotermometer study, Compilation of Presentation Materials, "Advisory Group Meeting on Isotope Application in Geothermal Energy Development", Vienna, 29 May – 1 June (1995).
2. MIZUTANI, Y., and RAFTER, TA. Oxygen isotope composition of Sulfates – Part 3, Oxygen isotopic fractionation in bisulphate and water system, N.Z.J. Sci, 12 (1969) 54.
3. MIZUTANI, Y., Isotopic composition and underground temperature of the otake geothermal water Kyushu Japan, Geochem J, 6 (1972) 67.
4. GIGENBACH, W.F., Isotope Geothermometers, IAEA, Vienna (1980).
5. MARINER, R.H., PRESSER, T.S., and EVANS, W.C., Geothermometry and water-rock interaction in selected thermal system in the cascade range and Modoc Plateau Western United States, Geothermics, 22, 1 (1993) 1.
6. D'AMORE, F., GIOVANNI GRANELLI, and EGIZIO CORAZZA, The geothermal area of El Pilar-Casandy State of Sucre Venezuela geochemical exploration and model, Geothermics, 29, 3 (1994) 283.

Tabel 1. Data isotop ^{18}O dan ^{34}S mata air panas, fumarol dan "heated pool" daerah panasbumi di Sumatra dan Sulawesi Utara

No	Kode sampel	T_s ($^{\circ}\text{C}$)	PH (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ (‰)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$
1.	TSA	96,2	7,0	-6,9	-0,72	14,2
2.	RDD-5	95	7,0	-6,9	-0,65	26,3
3.	RDD-6	90	7,0	-6,8	-0,3	21,65
4.	RDD-7	98	<1	-2,3	3,8	-0,15
5.	RDD-8	85	7,0	-8,6	4,0	12,5
6.	SBY-3 (well)	-	-	-9,4	-3,07	18,2
7.	SBY-4 (well)	-	-	-8,9	-3,77	16,8
8.	LB-1	70	6,5	-5,7	6,32	17,2
9.	LB-2	65	6,5	-3,9	5,49	4,5
10.	LB-4	64	6,5	-6,3	7,2	8,7
11.	LB-6	78	7,0	-4,4	3,29	7,4
12.	KM-3	93	6,0	-6,1	8,23	16,3
13.	KTB-3	101	1,0	-2,9	9,92	-0,85
14.	BK-1	88	7,0	-6,7	5,77	14,5
15.	TP-2	86	<4	-4,0	-3,1	2,1
16.	TP-3	97	<4	-3,0	-7,2	4,7
17.	TP-4	70	<4	-2,3	-2,0	4,7
18.	SRL	90	7,0	-4,3	1,5	30,3

Tabel-2. Data kation mata air panas, fumarol dan "heated pool" daerah panasbumi di Sumatra dan Sulawesi Utara

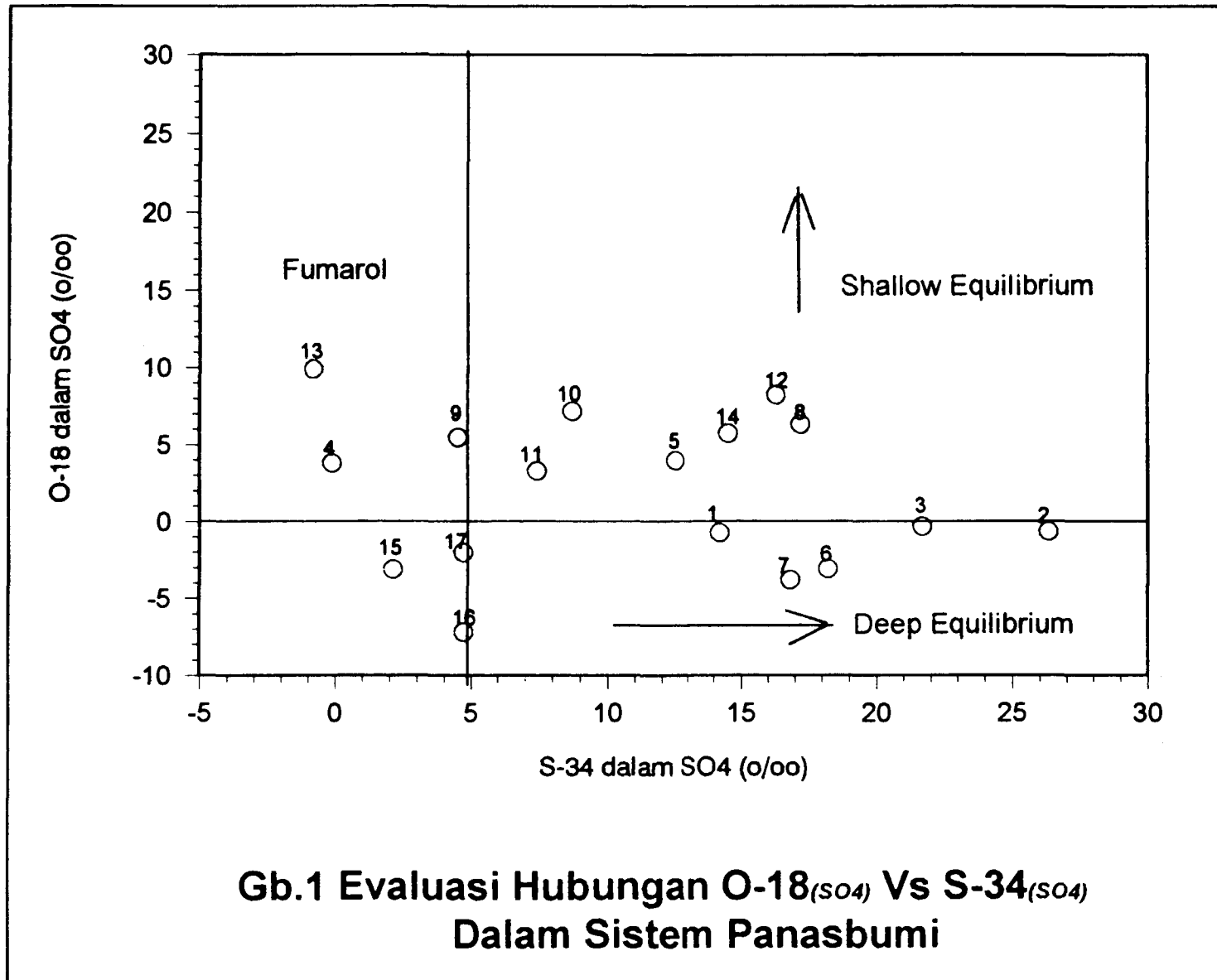
No	Kode sampel	Jenis	Na^+ (ppm)	K^+ (ppm)	Ca^{2+} (ppm)	Mg^{2+} (ppm)	Li^+ (ppm)
1.	TSA	MP	1559	242	97	0,1	5,4
2.	RDD-5	MP	966	121,5	49	0,05	6,1
3.	RDD-6	MP	1096	121,5	50	0,13	6,1
4.	RDD-7	FUM	43	2,1	0,1	0,3	0,01
5.	RDD-8	MP	316,6	34,6	0,6	0,56	1,9
8.	LB-1	MP	371	77	89	5,8	2,3
9.	LB-2	MP	631	114	196	7,7	0,9
10.	LB-4	MP	127	54	31	4,8	1,6
11.	LB-6	MP	417	114	38	5,0	3,5
12.	KM-3	MP	305,4	11,4	89,3	0,14	0,31
13.	KTB-3	FUM	81	3	6	49,6	0,1
14.	BK-1	MP	200	21	107	2,1	1,4
15.	TP-2	HP	291,2	12,3	0,02	0,01	0,91
16.	TP-3	HP	272,2	14,2	0,28	0,02	0,66
17.	TP-4	HP	306,6	12,26	0,06	0,02	0,5
18.	SRL	MP	445	76,1	0,17	0,01	4,6

Tabel-3. Evaluasi hasil perhitungan geotermometer isotop dan kimia pada mata air daerah panasbumi di Sumatra dan Sulawesi Utara

No	Kode sampel	T_{Na-K} ($^{\circ}C$)	$T_{Na-K-Ca}$ ($^{\circ}C$)	T_{K-Mg} ($^{\circ}C$)	$T^{18}O_{SO4-H2O}$ ($^{\circ}C$)
1.	TSA	257	236	262	255
2.	RDD-5	237	-	244	253
3.	RDD-6	226	-	220	247
5.	RDD-8	224	-	140	141
8.	LB-1	288	226	128	180
9.	LB-2	273	220	136	189
10.	LB-4	382	263	120	131
12.	KM-3	145	131	126	123
14.	BK-1	222	172	164	143
18.	SRL	267	-	262	266

Tabel-4. Perbandingan hasil perhitungan suhu secara geotermometer dan pengukuran custer (deep well) pada sumur SBY-3 dan SBY-4.

No	Kode sampel	T_{aktual} ($^{\circ}C$)	$T^{18}O_{SO4-H2O}$ ($^{\circ}C$)
6.	SBY-3	~260	251
7.	SBY-4	~260	275



DISKUSI

NAZAROH

Apakah metode yang Anda gunakan dapat digunakan untuk menentukan kuantitas panas bumi dalam riser voir tersebut ?

ZAINAL ABIDIN

Metode ini secara langsung tidak dapat digunakan untuk menghitung kuantitas panas bumi. Tetapi apabila kita juga menganalisis ^{18}O dalam batuan selain ^{18}O dalam H_2O , maka berdasarkan teori ^{18}O hingga antara H_2O -mineral besaran permeabilitas reservoirs dapat diperkirakan. Dengan mengetahui nilai permeabilitas maka kuantitas sumber panas bumi dapat dilakukan.

WIBAGYO

1. Apakah metode ini bisa berlaku pada semua lapang panas bumi ?
2. Mengapa pembanding untuk pengukuran Caster hanya 2 titik di Sibayah. Bagaimana dibanding di lapang yang lain ?

ZAINAL ABIDIN

1. Metode ini berlaku untuk sistem panas bumi yang di dominasi oleh air (water dominated) berarti untuk lapangan dengan sistem tersebut dapat dilakukan.
2. Kebetulan lapangan yang siap untuk water dominated di Indonesia baru lapangan Sibayah.

SUWIRMA

Kenapa untuk pengukur sulfida tidak langsung dari BaS, dan reaksi pengendapan AgS bagaimana ?

ZAINAL ABIDIN

Karena yang ingin diukur adalah isotop ^{34}S yang ada dalam senyawa sulfat, tetapi bukan yang ada di dalam senyawa H_2S dan Sulfida lainnya. $\text{S} = + \text{Ag} + \text{pH}3-4 \text{ Ag}_2\text{S}$.

MUNSIHAH MAHA

1. Tujuan penelitian ini apakah hanya untuk validasi metode atau untuk melakukan pengukuran sesungguhnya karakteristik panas bumi di suatu tempat (Sulawesi utara).
2. Bagaimana ketelitian metode ini misalnya untuk pengukuran suhu bila dibandingkan dengan metode pengukuran lain (dalam kesimpulan tidak terlihat).

ZAINAL ABIDIN

1. Tujuan penelitian dapat dilakukan sekaligus antara validasi pengukuran dari aplikasi dalam lapangan panas bumi.
2. Untuk fluida yang mendidih (bacling spring) yaitu kondisi full equilibrium ketelitian metode kimia isotop relatif tinggi. Metode isotop lebih realible dari kimia karena mempunyai waktu equilibrium yang lama pada perubahan suhu pada saat fluida naik ke permukaan.