

PAIR/P.321/1988

APLIKASI TEKNIK ISOTOP ALAM  
DALAM SISTEM GEOTERMAL

Zainal Abidin, Indrojono, Wandowo  
M. Sudjana K. Syafalni, Priyanto,  
Amir Fauzi, Nugroho dan Sunaryo.

1402/P321/900/62

# APLIKASI TEKNIK ISOTOP ALAM DALAM SISTEM GEOTERMAL

Zainal Abidin\*, Indrojono\*, Wandowo\*, M. Sudjana K.\*,  
Syafalni\*, Priyanto\*\*, Amir Fauzi\*\*, Nugroho\*\*, dan  
Sunaryo\*\*

## ABSTRAK

APLIKASI TEKNIK ISOTOP DALAM SISTEM GEOTERMAL. Aplikasi teknik isotop alam ( $^{18}\text{O}$ , D,  $^3\text{H}$ , dan  $^{14}\text{C}$ ) untuk eksplorasi geotermal memegang peranan yang amat penting. Hal ini didasarkan atas adanya perubahan isotop dan kimia air tanah karena berinteraksi dengan magma. Analisis isotop alam memberikan informasi tentang sistem geotermal, seperti origin dan dinamika fluida, dan mengevaluasi suhu reservoir. Hasil analisis isotop  $^{18}\text{O}$ , D, dan tritium telah memberikan indikasi tentang potensi geotermal pada kelompok G. Patuha, G. Karaha, dan G. Wilis. Sirkulasi air tanah dalam dan suhu reservoir  $>150^\circ\text{C}$  ditunjukkan oleh kandungan tritium yang kurang dari 1 TU, slope garis linier  $<2$ , serta oksigen-18 shift.

## ABSTRACT

APPLICATION OF NATURAL ISOTOPES TECHNIQUE IN GEOTHERMAL SYSTEM. Application of isotope technique ( $^{18}\text{O}$ , D,  $^3\text{H}$ , and  $^{14}\text{C}$ ) plays the role in geothermal exploration. It is based on the isotopic and chemical exchange due to magma interaction. Natural isotopes analysis described some information on geothermal system, such as origin and fluid dynamic and also estimated reservoir temperature. Result of isotope analysis of  $^{18}\text{O}$ , D, and  $^3\text{H}$  indicated geothermal potential in clusters of Patuha, Karaha, Wilis mountain. Deep groundwater circulation and reservoir temperature more than  $>150^\circ\text{C}$  showed by tritium content of less than 1 TU, linier regression slope  $<2$  and oxygen-18 shift.

## PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai sumber geotermal yang potensial, hal ini didasarkan dari keadaan geologi bahwa Indonesia merupakan daerah pertemuan tiga lempengan bumi, yaitu lempengan Asia, Euroasia, dan Pasifik. Daerah geotermal memanjang menyusuri punggung Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara, Kepulauan Maluku, dan Sulawesi Utara.

Pemanfaatan sumber geotermal untuk energi listrik telah dimulai dan

terus ditingkatkan untuk masa mendatang. Untuk kegiatan eksplorasi, selain penelitian secara geologi, geokimia, dan geofisika, penelitian secara isotop mempunyai peranan penting dalam mengungkapkan sejarah fluida geotermal. Aplikasi isotop alam dalam sistem geotermal meliputi penyelidikan tentang asal dan dinamika fluida serta evaluasi suhu reservoir geotermal (Isotope geothermometer). Isotop alam yang digunakan dalam penelitian ini antara lain  $^{18}\text{O}$ , D,  $^3\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ , dan  $^{14}\text{C}$ . Metode ini didasarkan atas adanya peristiwa interaksi antara air tanah dengan batuan panas (magma) pada suhu  $>150^\circ\text{C}$ . In-

\* Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN  
\*\* Dinas Geotermal Pertamina

teraksi tersebut menimbulkan perubahan yang spesifik terhadap kandungan isotop alam fluida geotermal (1).

Tulisan ini memuat hasil penelitian kerjasama antara Batan dan Dinas Geotermal Pertamina mengenai inventarisasi data isotop daerah geotermal di Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan penafsiran tentang sistem geotermal menggunakan metode isotop alam.

Data isotop secara jelas memberi indikasi adanya potensial geotermal di beberapa lokasi. Proses sirkulasi dalam (deep circulation) air tanah, ketinggian suhu, proses pencampuran dengan air tanah dangkal dan proses bawah permukaan yang terjadi terhadap fluida dapat diketahui.

Pembahasan hasil penelitian pada tulisan ini dibatasi hanya untuk kelompok G. Tangkuban Perahu, G. Patuha, G. karaha, dan G. Wilis.

## TEORI

*Sumber Geotermal.* Sumber geotermal pada umumnya ditandai dengan adanya kegiatan gunung api dan oleh adanya mata air panas, solfatar, geyser. Umumnya gunung api di Indonesia terjadi dari proses penunjaman lempeng samudra ke bawah masa kontinen (subduction zones). Proses tersebut di atas mengakibatkan terjadinya pelelehan massa samudra dan kemudian naik ke bawah

permukaan berupa magma sebagai sumber panas geotermal dengan suhu lebih dari 1000°C (5).

Penetrasi dalam dari air tanah yang melewati daerah magma mendapatkan panas melalui proses konduksi, dan membentuk aliran konveksi, serta mempunyai suhu >150°C. Pada kondisi tertentu melalui zona patahan atau karena struktur geologi fluida geotermal naik ke permukaan menjadi mata air panas, fumarola, solfatar, dan geyser (5). Umumnya eksploitasi geotermal dilakukan pada formasi akiver yang mengandung air panas (reservoir geotermal) yang ditutup oleh lapisan impermeabel.

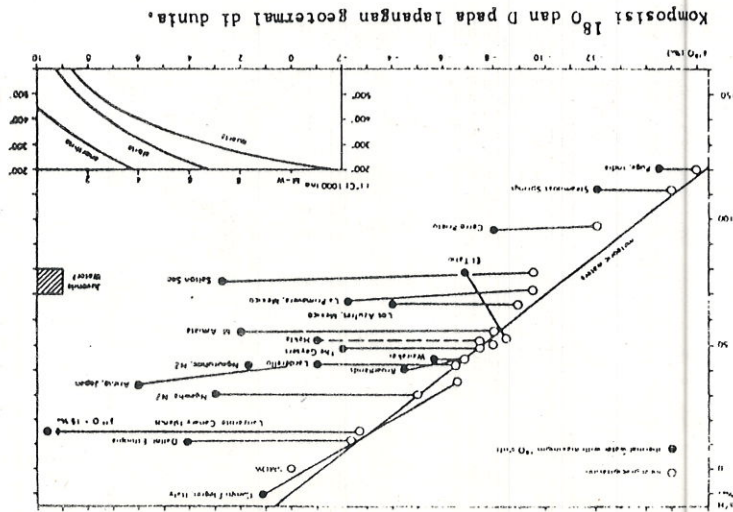
*Isotop Alam Dalam Sistem Geotermal.* Dalam sistem geotermal interaksi air tanah dengan batuan panas (magma) dapat menimbulkan perubahan komposisi isotop alam air tanah. Perubahan itu disebabkan oleh reaksi pertukaran isotop antara air tanah dan batuan, terutama dengan <sup>18</sup>O batuan. Reaksinya adalah sebagai berikut :



Reaksi ini sangat dipengaruhi oleh suhu, lamanya kontak dan jumlah kandungan <sup>18</sup>O dalam batuan. Setelah mengalami reaksi tersebut komposisi <sup>18</sup>O dalam fluida menjadi diperkaya hingga 10% (2). Beberapa contoh pertukaran oksigen pada beberapa lapangan geotermal di dunia terlihat pada gambar di bawah ini (6).

Komposisi Isotop Alam Pada Mata Air Panas. Mata air panas berasal dari reservoir dan keluar dipermukaan melalui lapisan pervious dan zona patahan. Fluida panas pada saat naik ke permukaan mengalami kehilangan suhu melalui peristiwa konduksi, pencampuran dengan air tanah dangkal dan penguapan bawah permukaan (steam loss) (4). Pada peristiwa konduksi kehilangan panas disebabkan oleh transfer ke lapisan batuan impermeabel dalam sistem yang terisolasi. Dengan demikian tidak ada kehilangan uap atau cairan serta perubahan komposisi isotop alam. Pencampuran fluida dengan air tanah dangkal terjadi

14 C. Dengan magma yang tidak mengandung demikian kandungannya dalam sistem ini menjadi sangat kecil (<1 pmc) (3).



Komposisi <sup>18</sup>O dan D pada lapangan geotermal di dunia.

Gambar tersebut memperlihatkan bahwa, hampir pada semua lapangan geotermal <sup>18</sup>O saja yang hanya kandungan <sup>14</sup>C mengalami pengenceran dengan isotop karbon berasal dari atmosfer yang larut dalam air tanah.

lami pengayaan akibat interaksi dengan magma, sedangkan kandungan deuterium fluida tidak mengalami perubahan (pengayaan), ini disebabkan umumnya magma tidak mengandung isotop hidrogen, sehingga komposisi deuterium tetap menunjukkan komposisi recharge (6). Tritium dan karbon-14 adalah isotop alam yang bersifat radioaktif. Dalam sistem geotermal dapat digunakan untuk menentukan dating, sirkulasi fluida, dan proses mixing. Tritium seperti juga deuterium dalam reservoir geotermal tidak mengalami reaksi pertukaran isotop. Kandungannya dalam reservoir sangat kecil (<1 TU), karena sifat peluruhan zat radioaktif. Air tanah menepuh waktu lama untuk mencapai reservoir (3).

Karbon-14 berasal dari CO<sub>2</sub> bebas

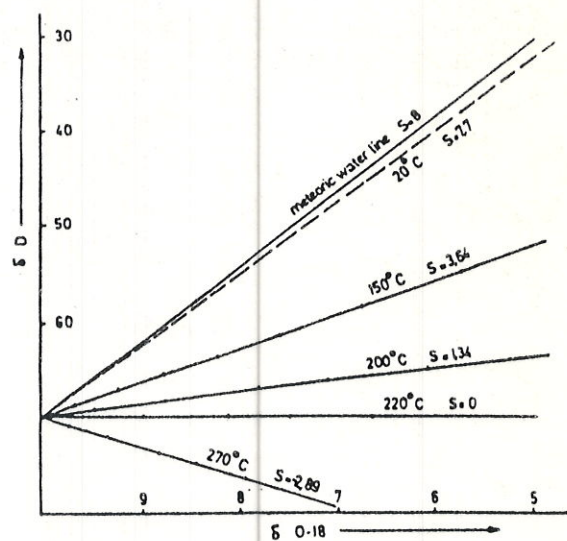
pada bagian atas atau lapisan pervious sistem geotermal. Proses ini terjadi pada berbagai kedalaman dan suhu. Pengenceran fluida oleh air tanah dangkal mempengaruhi komposisi isotop alam, terutama komposisi  $^{18}\text{O}$ ,  $^3\text{H}$ , dan  $^{14}\text{C}$  (4). Kandungan tritium dan  $^{14}\text{C}$  menjadi lebih besar. Seperti diketahui air tanah dangkal merupakan air "modern recharge" mempunyai kandungan tritium dan  $^{14}\text{C}$  masing-masing berkisar antara 3-5 TU dan 50-70 pmc. Pengaruh percampuran mengakibatkan kandungan  $^{18}\text{O}$  menjadi depleted. Perhitungan mengenai percampuran fluida geotermal dengan air tanah dangkal seperti yang dikemukakan di bawah ini, dapat menentukan fraksi air tanah atau kandungan  $^{18}\text{O}$  fluida, apabila salah satu dapat ditentukan (7).

$$X = \frac{{}^{18}\text{O} \text{ mata air panas} - (1-X) {}^{18}\text{O} \text{ air tanah}}{{}^{18}\text{O} \text{ fluida}}$$

di mana, X = fraksi fluida dan (1-X) fraksi air tanah dangkal.

Proses penguapan bawah permukaan (steam loss) terhadap fluida panas menimbulkan perubahan suhu yang disertai perubahan isotop  $^{18}\text{O}$  dan D. Mekanisme perubahannya sangat kompleks, karena pada berbagai perubahan suhu, ada distribusi kesetimbangan isotop diantara fasa cairan dan uap. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan oleh Botinga dan Friedman (1975) pada suhu antara

0-374°C terhadap distribusi isotop dalam kedua fasa itu, diperoleh bahwa kandungan  $^{18}\text{O}$  pada fasa cair mengalami pengkayaan pada berbagai suhu di bawah suhu kritis (suhu kritis  $^{18}\text{O}$ , 375°C). Untuk deuterium (titik kritis 221°C) di bawah suhu kritis fase cair mengalami pengkayaan dan pada suhu antara 221°C-280°C mengalami depleted, baru kemudian mengalami pengkayaan kembali pada suhu di atas 280°C (4). Distribusi komposisi  $^{18}\text{O}$  dan D dalam fasa cairan dalam proses ini diproyeksikan ke dalam bentuk kurva hubungan  $^{18}\text{O}$  terhadap D seperti gambar di bawah ini (4).



Grafik hubungan  $^{18}\text{O}$  dan D fluida geotermal pada berbagai proses penguapan suhu tinggi.

#### BAHAN DAN METODE

Pada penelitian ini pengambilan contoh dilakukan terhadap mata air panas, mata air dingin yang tersebar di daerah penelitian dan air kawah serta

air sungai. Jumlah contoh yang diambil di 4 kelompok masing-masing terdiri 24 contoh mata air panas dengan suhu berkisar antara 30°C hingga 79°C, 16 contoh mata air dingin dan sungai, dan 11 contoh air kawah dengan suhu berkisar antara 60°C hingga 90°C. Daerah penelitian terdiri dari :

- 5 kelompok di Jawa Barat masing-masing G. Patuha, G. Tangkuban Perahu, G. Karaha, G. Wayang Windu, dan G. Ciremai.
- 1 kelompok di Jawa Tengah, G. Telomoyo.
- 1 kelompok di Jawa Timur, G. Wilis.

Penentuan komposisi isotop  $^{18}\text{O}$ , D,  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  dilakukan masing-masing terhadap contoh mata air panas, air kawah (crater water), mata air dingin, dan air sungai.

Pengambilan contoh untuk analisis  $^{18}\text{O}$  dan D dilakukan dengan cara mendekatkan atau memasukan botol gelas berukuran 20 ml ke dalam lubang mata air panas, untuk menghindari pengaruh penguapan. Botol ditutup hingga kedap dan tidak mengandung gelembung udara. Sedangkan untuk analisis  $^{14}\text{C}$  perlu diperhatikan pH contoh dan kontaminasi gas  $\text{CO}_2$  dari atmosfer (3). Parameter lain yang diukur sebagai data penunjang adalah elevasi letak contoh, keadaan geologi setempat, pH, konduktivitas, suhu, dan debit mata air.

Komposisi isotop oksigen ( $^{18}\text{C}$ ) ditentukan menggunakan metode Epstein

dan Mayeda dengan cara reaksi kesetimbangan dengan gas  $\text{CO}_2$  dan pengukuran ratio isotop  $\text{CO}_2$ . Analisis isotop hidrogen (D) dilakukan dengan cara mereaksikan 10 ul contoh dengan Zn (BDH) menjadi gas hidrogen. Ratio isotop diukur menggunakan spektrometer massa dengan sistem masukan ganda, SIRA-9, VG-Isogas (6). Kesalahan relatif pengukuran masing-masing 0,15% untuk  $^{18}\text{C}$  dan 1,6% untuk D.

Analisis tritium dan karbon-14 dilakukan dengan cara pengkayaan tritium dan sintesis benzen. Sinar  $\beta$  yang dipancarkan oleh  $^3\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  diukur menggunakan pencacah sintilasi cair.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis  $^{18}\text{C}$ , D,  $^3\text{H}$  dari 24 contoh mata air panas, 16 contoh mata air dingin dan 11 contoh air kawah serta analisis karbon-14 dari 3 contoh mata air panas, maka diungkapkan secara singkat manifestasi geotermal. Untuk interpretasi dibuat kurva hubungan antara oksigen-18 dan deuterium.

Analisis  $^{18}\text{C}$  dan D dari contoh mata air dingin pada berbagai elevasi dianggap sebagai wakil dari air hujan (air meteorik). Dari data analisis itu diperoleh garis meteorik lokal dengan persamaan :

$$D = 7,91 \text{ } ^{18}\text{C} + 25$$

di mana koefisien korelasi ( $r$ ) adalah 0,9. Garis meteorik lokal ini merupakan tempat kedudukan komposisi recharge  $^{18}\text{C}$  dan D dari fluida geotermal.

Interpretasi secara umum dari ke-4 kelompok melalui kurva hubungan  $^{18}\text{C}$  dan D, data tritium, dan konduktivitas, nampak potensi geotermal terlihat pada kelompok G. Patuha, G. Karaha, dan G. Wilis.

*Gunung Patuha.* Mata air panas no. 1, 7, 8, 9, 14, dan 6 merupakan hubungan satu garis linier dengan slope 1,95 dan  $r = 0,8$ , ini menunjukkan ada proses penguapan yang terjadi pada suhu tinggi  $T > 150^\circ\text{C}$ , dan diperkirakan mempunyai komposisi  $^{18}\text{C}$  dan D recharge  $-10,8\%$  dan  $-59\%$ . Data tritium kelompok ini memperlihatkan adanya sirkulasi air tanah dalam dan proses pencampuran. Hal ini ditunjukkan oleh besarnya kandungan tritium bervariasi dari 0-4,6 TU.

*Gunung Karaha.* Sumber potensi geotermal jelas terlihat pada mata air panas Telaga Bodas (no. 1). Hubungan garis linier untuk mata air panas no. 1, 2, 3, dan 4 menunjukkan slope 2,4 dan  $r = 0,99$ . Hal ini jelas merupakan proses penguapan pada suhu tinggi. Dengan menganggap mata air dingin Telaga Bodas (no. 2) merupakan titik recharge pada komposisi  $^{18}\text{C}$  dan D masing-masing  $-9,2\%$  dan  $-48,3\%$ , maka mata air panas no. 1 mempunyai oksigen shift dari interaksi dengan magma sebesar  $3,2\%$ . Data di atas ditopang dengan data kan-

dungan tritium yang cukup kecil yaitu 0,7 TU dan konduktivitas yang tinggi sebesar 3300 us. Hal ini jelas mata air panas Telaga Bodas mencerminkan adanya sumber geotermal dengan suhu cukup tinggi dan merupakan sirkulasi dalam.

*Gunung Wilis.* Ada 2 mata air panas pada kelompok ini yang merupakan mata air potensial dan menunjukkan mata air yang terisolasi. Mata air padasan No. 1 dan 2 ini mempunyai komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan D yang hampir sama yaitu  $-1,2\%$  dan  $-32,3\%$ . Apabila titik recharge dianggap adalah mata air dingin dengan komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan D adalah  $-7,8\%$  dan  $-41,8\%$ , maka mata air ini mempunyai  $^{18}\text{O}$  shift sebesar  $6,2\%$  diperkirakan mempunyai suhu reservoir  $> 200^\circ\text{C}$ . Demikian pula keterangan ini didukung oleh data tritium sebesar 0,4 TU, data konduktivitas 15300 us.

*Gunung Tangkuban Perahu.* Hubungan diantara mata air panas membentuk garis linier dengan slope 5 dan variasi kandungan tritium antara 2 hingga 3 TU. Hal ini memberi petunjuk adanya proses penguapan pada suhu  $< 60^\circ\text{C}$  dan bercampur dengan air tanah dangkal atau "recent water".

Data analisis  $^{18}\text{C}$ , dan D air kawah dari ke-4 kelompok tersebut di atas jelas menunjukkan proses "heated pool" dengan suhu  $> 100^\circ\text{C}$ . Kandungan tritium bervariasi dari 0 hingga 4,5 TU, ini berarti bahwa air kawah dapat berasal dari air hujan, air tanah dangkal atau

sirkulasi dalam. Dalam hasil analisis  $^{18}\text{O}$ , D,  $^3\text{H}$ , dan  $^{14}\text{C}$  dan kurva hubungan  $^{18}\text{O}$  terhadap deuterium dapat dilihat pada lampiran dibelakang.

#### KESIMPULAN

Penyelidikan sistem geotermal melalui mata air panas yang tersebar pada daerah yang diselidiki dengan menggunakan metoda isotop alam, merupakan studi awal yang sangat bermanfaat dalam rangka menentukan studi yang lebih mendalam terhadap lubang bor untuk eksploitasi geotermal menjadi energi listrik.

Mata air G. Tangkuban Perahu tidak menampakkan adanya potensial, lebih dari 80 % mengalami pencampuran dengan air tanah dangkal.

Pada kelompok G. Patuha, G. Karaha, dan G. Wilis dari uraian di atas terlihat adanya potensial geotermal. Untuk G. patuha tercermin pada mata air no. 6, 7, 9, dan 14. Pada mata air no. 1 Telaga Bodas jelas mencerminkan adanya sumber geotermal sedangkan untuk G. Wilis potensial geotermal terlihat pada mata air no. 1 dan 2 Padosan.

Hasil analisis isotop alam dengan jelas dapat menggambarkan proses yang terjadi dalam sistem geotermal, seperti adanya proses pencampuran dengan air tanah dangkal, proses penguapan suhu

tinggi di bawah permukaan dan memperkirakan suhu reservoir.

Pengaruh air tanah dangkal terhadap sumber geotermal (mata air panas) pada daerah yang mempunyai curah hujan tinggi, umumnya sangat dominan.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. BARBIER, E., FANELLI, M., and GONFIANTINI, R., Isotopes in Geothermal Energi Exploration, IAEA, Bull, 25. (1982) 2
2. BARNES, H.L., Gechemistry of Hydrothermal Ore Deposits, second edition, John Wiley & Sons. Inc. (1979).
3. FRITZ, P., AND FONTES, J.CH., Hand Book of Environmental Isotope Geochemistry, 1, The terrestrial environmental A, Elsevier (1980).
4. TRUESDELL, A.H., NATHENSON, M., AND RYE, R.O., The Effect of Subsurface Boiling and Dilution on the Isotopic Composition of Yellowstone Thermal waters, J. Geophys. Res, 82, 26 (1977), 3694 - 3704.
5. WAHL, E.F., Geothermal Energy Utilization, John Wiley & Sons, (1977).
6. IAEA, Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, (Technical Reports Series no. 91), IAEA, Vienna (1983).
7. MCKENZIE, W.F., AND TRUESDELL, A.H., Geothermal Reservoir Temperatur Estimated from the Oxygen Composition of Sulfat and Water from Hot springs and Shallow Drill Hole, Geothermic, 5 (1977) 1983.



No.	Kode sampel	T/C	t <sup>o</sup> air	Elevasi	pH	Cond	D	D <sup>18</sup>	Tritium Unit	Keterangan
1.	TP 1	T	88,8	1585	1,64	5340 us	-14,9 ± 1,1	- 0,12 ± 0,11	1,01 ± 0,23	Kawah Domas.
2.	TP 2	C	12,9	1645	3,14	210 us	-50,1 ± 0,3	- 9,49 ± 0,02	3,09 ± 0,23	Air sungai.
3.	TP 3	T	31,5	1335	2,40	1655 us	-54,2 ± 1,1	- 9,83 ± 0,02	2,03 ± 0,23	Mata air kancan'
4.	TP 4	T	31,3	750	6,19	530 us	-52,0 ± 0	- 9,47 ± 0,01	1,08 ± 0,21	Mata air Cimanggu
5.	TP 5	C	20,2	780	5,62	153 us	-50,2 ± 0	- 8,71 ± 0,02	0,53 ± 0,22	Mata air Cimanggu
6.	TP 6	T	41,0	1005	1,79	3700 us	-47,8 ± 0,3	- 8,80 ± 0,10	3,51 ± 0,24	Mata air Ciater
7.	TP 7	T	32,4	990	2,10	1914 us	-47,5 ± 0,6	- 8,98 ± 0,01	2,75 ± 0,24	Mata air Ciater
8.	TP 8	C	16,0	1010	6,48	93 us	-46,6 ± 0,1	- 9,12 ± 0,02	2,66 ± 0,24	Sungai/mata air Ciater
9.	TP 9	C	25,9	1115	2,00	1269 us	-52,8 ± 1,3	- 9,93 ± 0	3,78 ± 0,23	Mata air kancan'
10.	TP 10	T	41,5	1100	5,43	1890 us	-51,2 ± 0,6	- 9,98 ± 0,05	-0,06 ± 0,22	Mata air Maribaya
11.	TP 11	T	33,0	1100	5,83	1418 us	-51,8 ± 1,1	- 9,72 ± 0	0,98 ± 0,23	Mata air Maribaya
12.	TP-Ext 1	C	20,1	770	6,45	1177 us	-51,0 ± 0,6	- 9,55 ± 0,11		Sungai Cimanggu

Data hasil pengukuran parameter lapangan dan analisis isotop alam daerah Gunung Tangkuban Perahu

No.	Kode sampel	T/C	t° air	Elevasi	pH	Cond	D	δ18	Iritium Unit	Keterangan
1.	PTH 1	T	78,8	1790	4,30	8690 us	-58,8 ± 0,3	-10,61 ± 0,04	4,62 ± 0,21	Mata air Cimannggu discharge besar Kawah Cibuni
2.	PTH 2	T	85,1	1755	1,13	2750 us	-58,8 ± 0,3	-7,23 ± 0,02	3,07 ± 0,25	Kawah Cibuni
3.	PTH 3	T	89,7	1730	3,93	1585 us	-22,8 ± 1,3	-1,84 ± 0,04	0 ± 0,26	Kawah Cibuni
4.	PTH 4	C	17,7	1590	6,15	32,2 us	-50,1 ± 0,4	-7,48 ± 0,05	2,74 ± 0,27	Telaga paténgan
5.	PTH 5	T	47,5	1740	5,46	1236 us	-56,6 ± 0,2	-10,19 ± 0,02	2,98 ± 0,30	Mata air Ranca - Malini
6.	PTH 6	T	58,0	1750	5,60	2510 us	-56,5 ± 0,3	-9,39 ± 0,19	2,88 ± 0,26	Mata air panas Cimannggu
7.	PTH 7	T	35,7	1750	5,60	963 us	-58,4 ± 0,5	-10,38 ± 0,07	2,12 ± 0,25	Mata air Cimannggu
8.	PTH 8	C	15,0	1750	6,10	58,1 us	-54,8 ± 0,1	-10,34 ± 0,01	2,99 ± 0,29	Mata air Cimannggu
9.	PTH 9	T	51,7	1745	5,16	2080 us	-57,6 ± 0,2	-9,82 ± 0,04	1,71 ± 0,26	Mata air Cimannggu
10.	PTH 10	T	79,7	1720	5,25	270 us	-38,4 ± 0,2	-7,48 ± 0,05	0,86 ± 0,25	Kawah Ciwidey
11.	PTH 11	C	15,5	1720	3,45	28,3 us	-52,8 ± 1,7	-10,16 ± 0,02	2,63 ± 0,25	Mata air Kawah Ciwidey
12.	PTH 12	T	87,0	1720	1,80	8690 us	-39,7 ± 0,1	-4,56 ± 0,07	0,99 ± 0,25	Kawah Ciwidey
13.	PTH 13	T	78,0	2030	0,30	6640 us	-23,3 ± 0,1	-0,13 ± 0,06	1,48 ± 0,26	Kawah putih
14.	PTH 14	T	38,3	1460	5,32	2960 us	-56,0 ± 1,0	-9,64 ± 0,10	1,73 ± 0,25	Mata air baru tunggul
15.	PTH Ext 4	C	14,9	2030	2,65	309 us	-53,2 ± 0,3	-10,06 ± 0,02	4,64 ± 0,25	Mata air Kawah putih

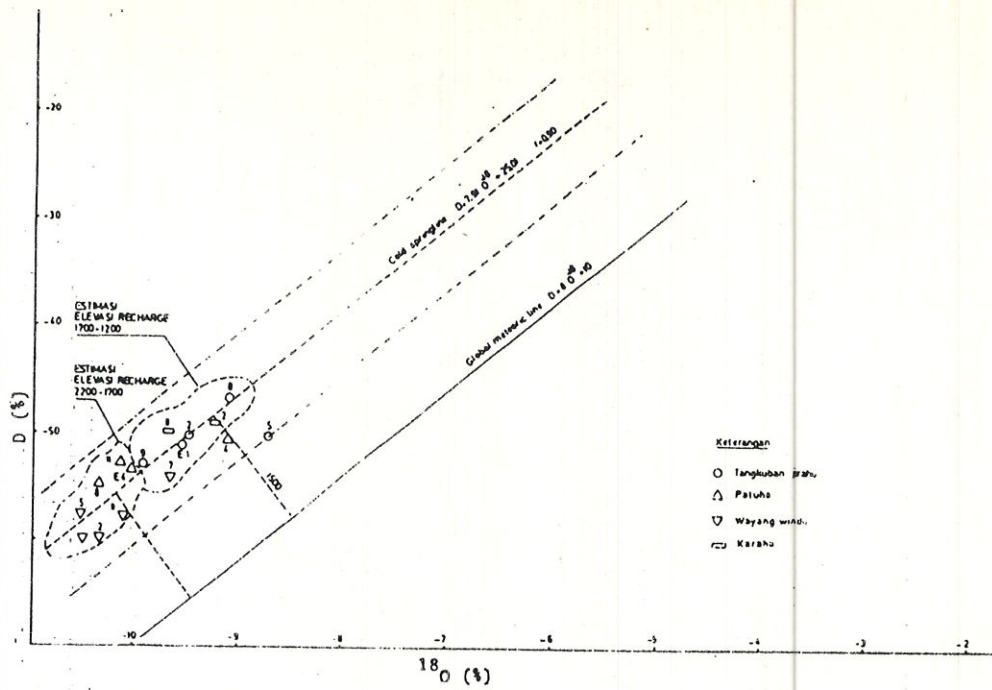
Data hasil pengukuran parameter lapangan dan analisis isotop alam daerah Gunung Patuha

No.	Kode sampel	T/C	t <sup>o</sup> air	Elevasi	pH	Cond	D	018	Tritium Unit	Keterangan
1.	KRH 1	T	51,8	1580	5,69	3300 us	-44,9 ± 0,6	- 6,22 ± 0,07	0,7 ± 0,4	Mata air panas Telaga Bodas discharge kecil
2.	KRH 2	C	19,5	1580	2,99	291,0 us	-48,3 ± 0,7	- 9,24 ± 0,06	3,2 ± 0,4	Mata air Telaga Bodas discharge besar
3.	KRH 3	T	83,2	1580	1,30	7500 us	-29,9 ± 1,2	- 0,55 ± 0,05	4,4 ± 0,5	Kawah Telaga Bodas
4.	KRH 4	T	81,3	1580	-	120100 us	- 9,9 ± 0,6	+ 7,41 ± 0,12	0,4 ± 0,4	Kawah Telaga Bodas
5.	KRH 5	T	42,3	375	5,87	1867 us	-39,4 ± 0	- 8,03 ± 0,03	1,2 ± 0,4	Mata air Pamoyanan
6.	KRH 6	T	37,0	385	5,77	1909 us	-35,8 ± 0,5	- 8,10 ± 0,04	1,7 ± 0,4	Mata air Pamoyanan
7.	KRH 7	T	44,3	365	5,98	2200 us	-36,2 ± 0,3	- 8,14 ± 0,03	0,9 ± 0,4	Mata air Cipacing
8.	KRH 8	T	33,0	360	5,90	2650 us	-34,6 ± 1,3	- 7,35 ± 0,03	1,6 ± 0,4	Sandaan Mata air Tabrik
9.	KRH 9	T	84,6	1100	1,74	3630 us	-28,3 ± 2,3	- 3,48 ± 0,03	1,7 ± 0,5	Putezah Kawah Karaha
10.	KRH 10	T	57,8	1105	1,80	3300 us	-49,6 ± 0,8	- 9,84 ± 0,02	4,5 ± 0,4	Kawah Karaha
11.	KRH 11	C	15,3	1110	5,68	67,4 us	-49,9 ± 1,1	- 9,67 ± 0	4,2 ± 0,4	Mata air Kawah Karaha
12.	KRH 12	T	31,9	1000	5,60	45,7 us	-44,8 ± 0,6	- 7,51 ± 0	1,7 ± 0,4	Mata air Ciselang
13.	KRH 13	T	33,0	485	6,54	325 us	-42,7 ± 0,7	- 7,26 ± 0,08	1,6 ± 0,2	discharge kecil Mata air Panjindangan
14.	KRH 14	T	33,3	380	5,62	1767 us	-39,8 ± 0,3	- 7,14 ± 0,05	0,8 ± 0,2	Mata air Cipedes
15.	KRH 15	C	23,3	380	6,20	125 us	-39,3 ± 1,4	6,08 ± 0,05	5,7 ± 0,0	Sungai Cipedes
16.	KRH 16	T	31,1	575	7,03	501 us	-47,9 ± 0	- 7,78 ± 0,01	2,8 ± 0,5	Mata air Segaranten

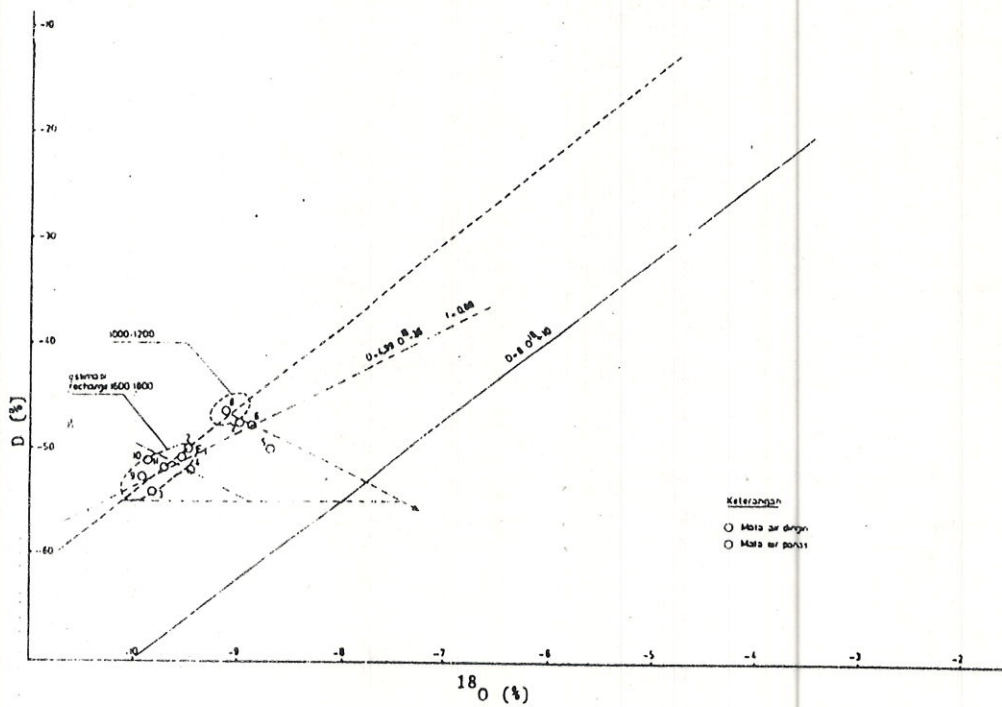
Data hasil pengukuran parameter lapangan dan analisis isotop alam daerah Kawah Karaha

No.	Kode sampel	T/C	t <sup>o</sup> air	Elevasi	pH	Cond	D	δ <sup>18</sup>	Tritium Unit	Keterangan
1.	WLS 1	T	43,0	620	5,60	13900 us	-30,1 ± 0,3	- 1,44 ± 0,01	1,3 ± 0,6	Mata air panas padusan di pinggir sungai, discharge kecil
2.	WLS 2	T	48,8	610	6,07	15300 us	-32,3 ± 0,1	- 1,18 ± 0,01	0,4 ± 0,5	Mata air panas padusan dibawah WLS 1
3.	WLS 3	T	65,1	690	3,37	1375 us	+ 8,0 ± 0	+ 7,90 ± 0,08	0,6 ± 0,5	discharge kecil Kawah Banyu lirang
4.	WLS 4	C	19,8	715	6,10	102 us	-41,8 ± 0,3	- 7,80 ± 0,05	0,4 ± 0,4	Mata air dingin Banyu lirang discharge besar
5.	WLS 5	C	24,5	710	6,04	73,6 us	-39,9 ± 0,4	- 7,15 ± 0,02	0,0	Air sawah yang banyak gas
6.	WLS 6	C	21,2	690	5,41	267 us	-36,5 ± 0,4	- 6,72 ± 0,01	0,1 ± 0,4	Mata air di tengah sawah kecil terasa agak asam
7.	WLS 7	C	27,3	750	6,61	119 us	-35,4 ± 0	- 6,25 ± 0,02	0,1 ± 0,5	Air telaga Ngebel
8.	WLS 8	T	29,8	200	5,75	2910 us	-37,20 ± 0,5	- 6,47 ± 0,01	4,8 ± 0,4	Mata air panas Umbul cukup besar berben-tuk kolam

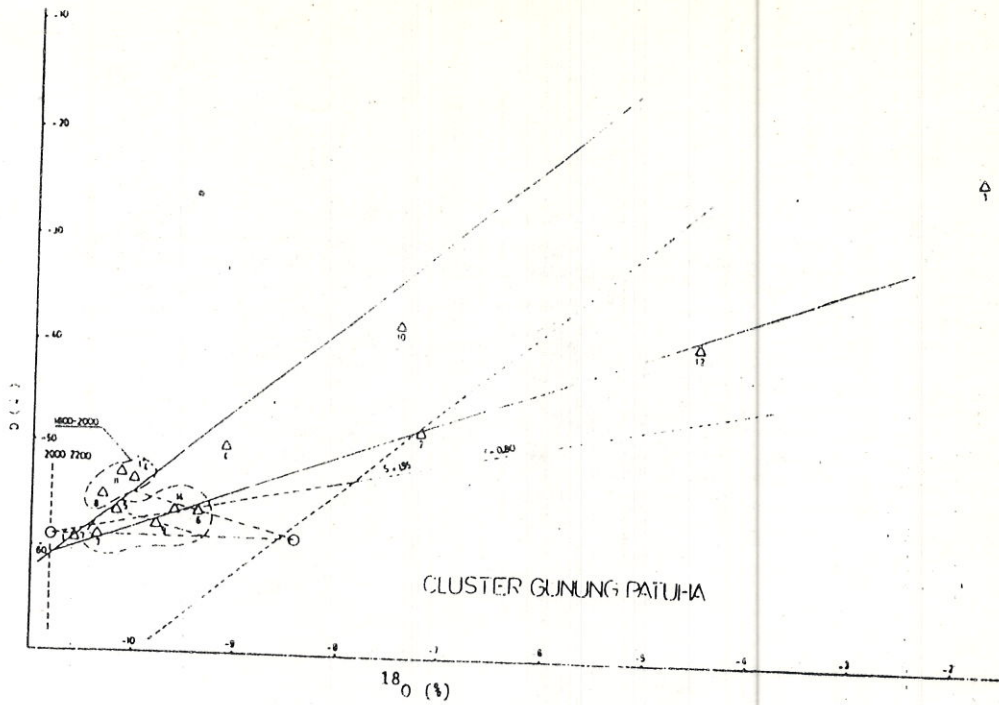
Data hasil pengukuran parameter lapangan dan analisis isotop alam daerah Gunung Willis



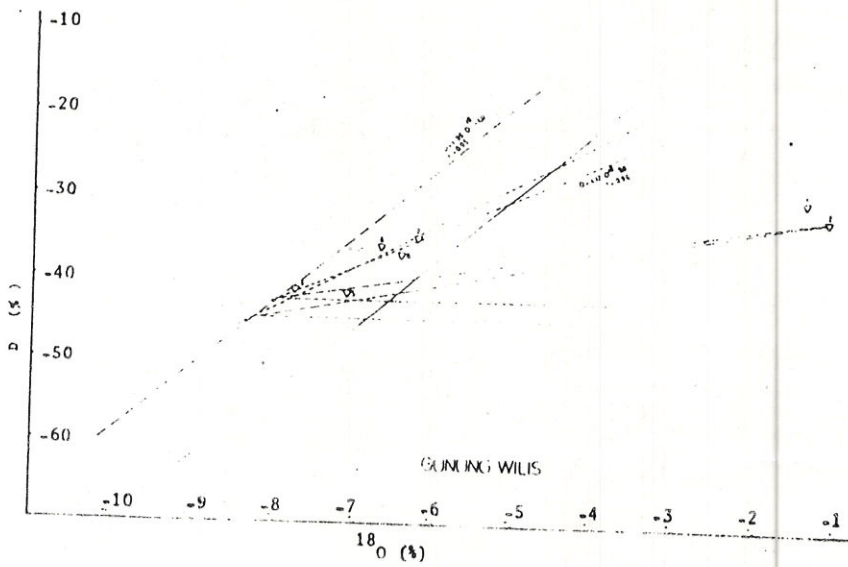
Grafik hubungan  $^{18}\text{O}$  dan D fluida geotermal daerah Jawa Barat.



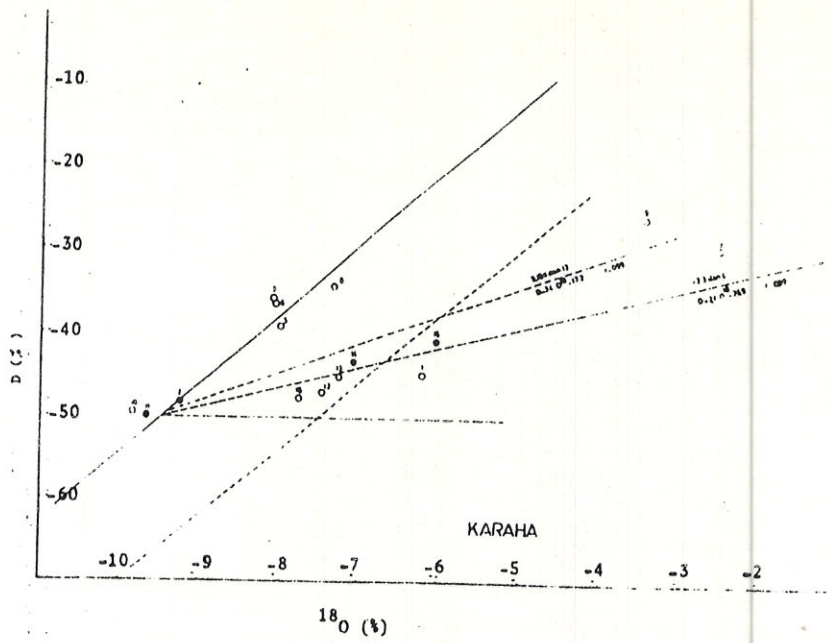
Grafik hubungan  $^{18}\text{O}$  dan D fluida geotermal daerah Gunung Tangkuban Perahu.



Grafik hubungan  $^{18}\text{O}$  dan D fluida geotermal daerah Gunung Patuha.



Grafik hubungan  $^{18}\text{O}$  dan D fluida geotermal daerah Gunung Wilis.



Grafik hubungan  $\delta^{18}\text{O}$  dan D fluida geotermal daerah Kawah Karaha.