



KARAKTERISTIK HIDROKIMIA UNTUK MENGETAHUI SISTEM DAN PEMANFAATAN FLUIDA PANAS BUMI DAERAH KUTAI KARTANEGARA, KALIMANTAN TIMUR

Luciana Maorine Wita^{1*}, Ildrem Syafri¹, Boy Yoseph CSSA¹,
Andri Eko Ari Wibowo²

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran,

²Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Bandung

*luciana15002@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Indonesia memiliki banyak wilayah panas bumi yang berasosiasi dengan lingkungan non-vulkanik. Salah satunya adalah daerah panas bumi Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Objek penelitian dalam kajian ini adalah karakteristik geokimia fluida dari manifestasi permukaan dengan metode perhitungan kesetimbangan ion dan geotermometer. Manifestasi yang muncul di lapangan yaitu mata air panas. Uji laboratorium dilakukan terhadap 5 sampel mata air panas. Suhu manifestasi berkisar antara 38°C-47 °C dan pH cairan berkisar dari 6,2 - 8,4. Sumber panas diperkirakan timbul dari aktivitas tektonik dan magmatik termuda (intrusi granit) yang terjadi pada Oligosen. Struktur geologi yang mengontrol area panas bumi Kutai Kartanegara didominasi oleh struktur berarah barat laut-tenggara yang terkait dengan sesar Bengalon yang berada di utara. Sistem panas bumi Kutai Kartanegara memiliki tipe air bikarbonat berdasarkan diagram Cl-SO₄-HCO₃. Perkiraan temperatur reservoir berdasarkan metode geotermometer air berkisar antara 130°C-160 °C. Menurut Diagram Lindal, fluida panas bumi daerah Kutai Kartanegara dapat dimanfaatkan untuk pengeringan ikan, pengeringan kayu, ekstraksi alumina dengan Proses Bayer, dan pemandian air panas atau terapi air panas (Balneologi). Kehadiran bikarbonat (HCO₃) di sumber air panas dapat menyembuhkan beberapa penyakit seperti hipertensi, penyakit jantung, aterosklerosis ringan, dan gangguan saraf, sedangkan kandungan natrium (Na) yang tinggi dapat menghaluskan dan mengembalikan elastisitas kulit.

Kata kunci: Panas Bumi, Geokimia, Manifestasi Permukaan, Geotermometer, Diagram Lindal

ABSTRACT

Indonesia has many geothermal areas which are associated with non-volcanic environment. One of them is Kutai Kartanegara geothermal area, East Kalimantan. There is only one type of manifestation that arise in the field, it is hot springs. Laboratory test were performed on 5 hot springs sample. The temperatures of manifestations range from 38°C-47°C. The pH of the fluid ranges from 6,2 - 8,4. The thermal features are associated with the youngest magmatic activity (granite intrusion) that occurred in the Oligocene. The geological structure controlling the Kutai Kartanegara geothermal area is dominated by northwest-southeast trending structures associated with strike-slip faulting of Bengalon which is in the north. Kutai Kartanegara geothermal system has bicarbonate type of waters based on Cl-SO₄-HCO₃. The temperature of reservoir is from 130°C-160°C based on water geothermometry. According to Lindal Diagram, geothermal fluids of Kutai Kartanegara area can be used for drying fish, drying timber, extraction of alumina with Bayer Process, and recreational or therapeutic bathing (Balneology). The presence of bicarbonate (HCO₃) in hot springs is believed to cure several diseases such as hypertension, heart disease, mild atherosclerosis, and nervous disorders. While the high content of sodium (Na) can soften rough skin and restore skin elasticity.

Keywords: Geothermal, Geochemistry, Geotermometer, Surface Manifestation, Geothermometry, Lindal Diagram

1. PENDAHULUAN

Sebagian besar sistem geotermal di Indonesia berasosiasi dengan aktivitas vulkanik kuartar. Namun daerah panas bumi Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur berbeda karena berada pada lingkungan non-vulkanik. Di Indonesia daerah panas bumi yang terdapat pada lingkungan non-vulkanik masih belum dikembangkan dengan optimal. Salah satu kendalanya adalah masih kurangnya pemahaman tentang karakteristik dan pembentukan sistem panas buminya.

Survei geokimia dilakukan untuk mengetahui karakteristik kimia dari manifestasi panas bumi yang muncul ke permukaan. Munculnya sejumlah manifestasi panas bumi di daerah Kalimantan menjadi perhatian tersendiri, karena tidak ditemukan adanya aktivitas vulkanik kuartar. Diketahui bahwa potensi sumber daya panas bumi di Kalimantan relatif lebih kecil dibandingkan daerah prospek lainnya di Indonesia, sehingga lebih memungkinkan untuk dimanfaatkan secara langsung (*direct-use*) daripada digunakan sebagai pembangkit listrik. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk memahami karakteristik sistem panas bumi non-vulkanik Kabupaten Kutai Kartanegara dan pemanfaatannya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Geologi

Secara fisiografis, Cekungan Kutai bagian utara dibatasi oleh tinggian batuan dasar yang terjadi pada Oligosen (Chambers dan Moss, 2000), yaitu Tinggian Mangkalihat dan Sesar Sangkulirang yang memisahkannya dengan Cekungan Tarakan. Di bagian timur daerah cekungan terdapat Delta Mahakam yang terbuka ke Selat Makassar. Di bagian barat, cekungan dibatasi oleh daerah Tinggian Kuching (*Central Kalimantan Ranges*) yang berumur Kapur (Chambers dan Moss, 2000). Di bagian selatan cekungan ini, dijumpai Cekungan Barito yang dipisahkan

oleh Sesar Sadang. Dan di bagian tenggara cekungan ini, terdapat Paparan Paternoster yang dipisahkan oleh gugusan Pegunungan Meratus.

Pada daerah penelitian tersusun atas 3 (tiga) formasi batuan, yaitu dari satuan paling tua adalah Formasi Pulau Balang, Formasi Balikpapan, dan Formasi Kampungbaru. Supriatna (1995) menyatakan bahwa Formasi Pulau Balang tersusun atas perselingan antara greswake dan batupasir kuarsa dengan sisipan batugamping, batulempung, batubara, dan tuf dasit. Litologi penyusun Formasi Balikpapan adalah perselingan batupasir dan batulempung dengan sisipan lanau, serpih, batugamping, dan batubara. Sedangkan Formasi Kampungbaru tersusun atas batupasir kuarsa dengan sisipan lempung, serpih, lanau dan lignit.

Struktur daerah penelitian berupa lipatan dan sesar, lipatan umumnya berarah timurlaut – baratdaya, dengan sayap lebih curam di bagian tenggara. Formasi Balikpapan sebagian terlipat kuat dengan 40 - 75°C. Batuan yang lebih muda seperti Kampungbaru pada umumnya terlipat lemah. Di daerah ini terdapat 3 jenis sesar, yaitu sesar naik, sesar normal, dan sesar mendatar. Sesar naik diduga terjadi pada Miosen Akhir yang kemudian terpotong oleh sesar mendatar yang terjadi kemudian. Sesar normal terjadi pada kala Pliosen (S. Supriatna, Sukardi, dan Rustandi, 1995). Aktivitas tektonik termuda membentuk sesar-sesar normal yang mengontrol pemunculan manifestasi panas bumi ke permukaan (Pusat Sumber Daya Geologi, 2015).

Geokimia

Dalam eksplorasi panas bumi, data kimia fluida berguna untuk memberikan gambaran mengenai sistem panas bumi di bawah permukaan yang meliputi temperatur, jenis *reservoir*, dan sumber air. Data kimia panas bumi diperoleh dari komposisi unsur dan senyawa fluida yang muncul di permukaan sebagai manifestasi, baik air maupun gas serta data isotop. Untuk menentukan pemanfaatan fluida

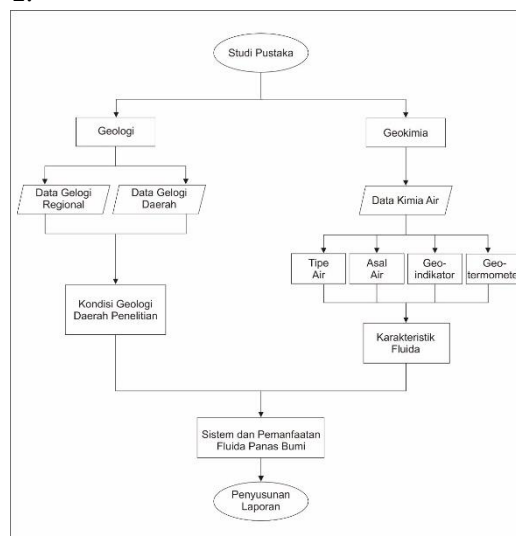
panas bumi, temperatur reservoir menjadi bahan pertimbangan utama. Fluida panas bumi bertemperatur sedang (150-225°C) sampai tinggi (>225°C) digunakan untuk pembangkit listrik, sedangkan fluida dengan temperatur rendah (<150°C) dapat digunakan untuk pemanfaatan langsung (*direct-use*) seperti memasak, pengobatan, pemandian, dan sebagainya.

3. METODE

Objek yang diamati pada penelitian ini adalah manifestasi panas bumi berupa manifestasi mata air panas yang muncul di Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Penelitian dikhususkan kepada aspek-aspek geokimia, yaitu analisis unsur kimia yang terkandung di setiap manifestasi dan pemanfaatannya sesuai karakteristik fisik dan kimia dari manifestasi tersebut. Data yang digunakan adalah data sekunder berupa data geologi regional dan data geologi daerah serta data primer berupa data kimia air panas. Analisis kimia dilakukan terhadap 5 sampel air yang berasal dari manifestasi mata air panas. Analisis dilakukan untuk mengetahui pH air pada suhu 25°C, daya hantar listrik, konsentrasi unsur netral SiO_2 dan B, kation Al^{3+} , Fe^{3+} , As^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Li^+ , NH_4^+ serta anion F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Hasil analisis laboratorium dievaluasi dengan perhitungan kesetimbangan ion (*ion balance*). Hasil perhitungan *ion balance* menunjukkan kelima sampel tersebut dapat dianalisis lebih lanjut. Kemudian kelima sampel air panas tersebut dianalisis dengan *Mass Spectrometer* (MS) untuk mengetahui kandungan isotop stabil.

Selanjutnya analisis data hasil uji laboratorium dilakukan menggunakan diagram *ternary plot* $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$ untuk mengetahui tipe air panas, diagram Cl-100Li-25B untuk mengetahui asal air, diagram Na-K-Mg untuk mengetahui tingkat kematangan fluida, serta dilakukan perhitungan geotermometer untuk

memperkirakan temperatur reservoir. Tahapan penelitian dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Geokimia Air

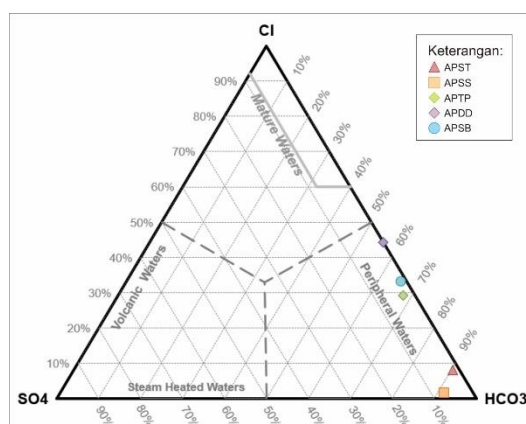
Data kimia manifestasi air di daerah penelitian diambil pada 5 titik berbeda dengan kode sampel APST (Air Panas Santan Tengah), APSB (Air Panas Samboja), APTP (Air Panas Tamapole), APSS (Air Panas Sanga-Sanga), dan APDD (Air Panas Dondang). Sampel kemudian dianalisis di laboratorium untuk mengetahui tingkat keasaman (pH) dan konsentrasi unsur netral SiO_2 dan B, kation Al^{3+} , Fe^{3+} , As^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Li^+ , NH_4^+ serta anion F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} (Tabel 1). Unsur-unsur ini dihitung dengan menggunakan satuan mg/L. Manifestasi air pada daerah penelitian memiliki pH 6,2 - 8,4. Secara keseluruhan manifestasi mata air panas daerah penelitian memiliki tingkat keasaman mendekati netral. Suhu terendah dijumpai pada APDD, yaitu 38°C sedangkan suhu tertinggi adalah 47°C pada lokasi APSB. Konsentrasi bikarbonat merupakan kandungan unsur yang paling tinggi dibandingkan unsur kimia lainnya, yaitu berkisar antara 132 - 839 mg/L.

Tabel 1. Data kimia manifestasi air permukaan (Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, 2015)

Parameter	Kode Sampel				
	APST	APSB	APTP	APSS	APDD
pH	6,2	6,38	7,14	7,59	8,42
T(°C)	45	47	45	43	38
DHL (µs/cm)	1036	1656	541	212	3520
SiO ₂	96	28	29	23	33
B	1,13	8,08	1,41	1,62	3,81
Al ³⁺	0,04	0,04	0,05	0,03	0,03
Fe ³⁺	0,16	1,44	0,27	0,45	0,1
Ca ²⁺	13,21	11,86	2,41	4,1	34,1
Mg ²⁺	7,57	5,74	1,2	2,89	24,61
Na ⁺	237	366	130	32	635
K ⁺	7,18	15,17	7,72	20,34	34,18
Li ⁺	0,14	0,21	0,01	0,03	0,1
As ³⁺	0	0,1	0,1	0	0,17
NH ⁴⁺	1,51	4,06	1,13	1,51	15,28
F ⁻	0,27	0,19	0,31	0,46	0,26
Cl ⁻	51	274	100	2	667
SO ₄ ²⁻	10	10	10	10	0,01
HCO ₃ ⁻	570	547	233	132	839
CO ₃ ²⁻	0	0	0	0	0

Tipe Air

Hasil plot diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ (Gambar 2) menunjukkan bahwa semua sampel manifestasi air panas yang terdapat di daerah penelitian merupakan tipe air bikarbonat.



Gambar 2. Diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ (Giggenbach, 1991) untuk penentuan tipe air panas bumi

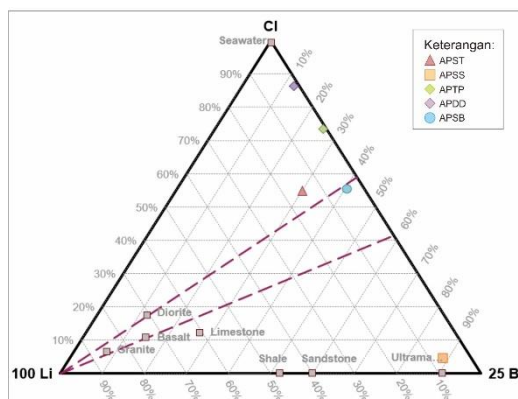
Perbandingan konsentrasi HCO₃ terhadap Cl dan SO₄ lebih dari 60%. HCO₃ yang hadir adalah hasil dari proses pencucian (*leaching*) unsur CaCO₃ dari batuan karbonatan yang dilaluinya. Air tipe bikarbonat umumnya bersifat asam lemah, namun dengan hilangnya CO₂ terlarut ketika terjadi penguapan di permukaan menyebabkan tingkat keasaman air menjadi netral atau sedikit basa. Oleh karena itu semua air panas di daerah penelitian tingkat keasamannya menunjukkan pH 6,2 - 8,42.

Semua sampel air panas daerah penelitian memiliki kandungan silika dan sulfat yang rendah menunjukkan fluida panas berasal dari lingkungan non-vulkanik, karena komposisi kimia dari mata air panas sistem vulkanik umumnya ditandai oleh konsentrasi SO₄ yang tinggi (Yoshike, 2003; Homma and Tsukahara, 2008), awalnya sulfat merupakan bagian dari gas magmatik dalam bentuk H₂S. Anion utama yang paling dominan adalah HCO₃,

menggambarkan bahwa dalam perjalanannya menuju permukaan air berinteraksi dengan air permukaan dan batuan yang mengandung karbonat. Diperkirakan bahwa fluida panas berasal dari lingkungan sedimen, hal ini diperkuat dengan litologi di daerah penelitian yang didominasi oleh batuan sedimen dan letak manifestasi air panas yang berada jauh dari aktivitas vulkanik.

Asal Air

Hasil diagram ternary Cl-100Li-25B (Gambar 3) menunjukkan bahwa APST, APSB, APTP, dan APDD didominasi oleh konsentrasi klorida yang tinggi. Perbandingan diantara kelima sampel memperlihatkan bahwa klorida memiliki presentasi lebih dari 50%, kecuali APSS yaitu hanya 4,4%. Posisi manifestasi APST, APSB, APTP, APSS dan APDD pada diagram ternary Cl-100Li-25B berada pada bagian kanan segitiga yang cenderung ke arah Cl-B. Hal ini menunjukkan lingkungan pemunculan mata air panas pada umumnya berada pada batuan sedimen.

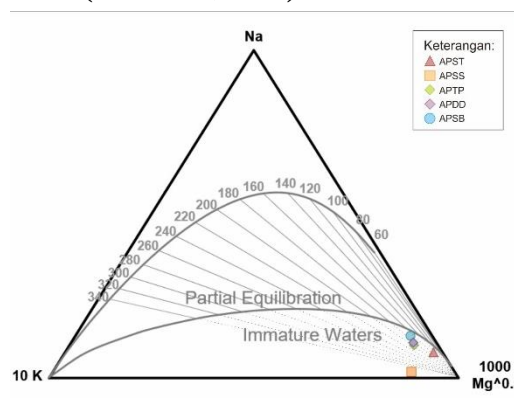


Gambar 3. Diagram segitiga Cl-100Li-25B (Giggenbach, 1991) untuk penentuan asal air panas bumi

Tingkat Kematangan Air

Berdasarkan hasil plotting pada diagram segitiga Na-K-Mg, seluruh air pada manifestasi daerah penelitian masuk ke dalam zona *immature waters* (Gambar 4). Zona ini menggambarkan bahwa fluida

panas bumi telah mengalami interaksi dengan air permukaan (Nicholson, 1993). Hal ini sesuai dengan konsentrasi ion Mg di APST, APSB, APTP, APSS, dan APDD yang berkisar antara 1,2 mg/L - 24,61 mg/L. Tingginya konsentrasi Mg menunjukkan kelima sampel air panas telah mengalami pencampuran dengan air tanah yang umumnya relatif kaya Mg. Magnesium dalam fluida panas bumi yang langsung berasal dari reservoir umumnya sangat rendah sekitar 0,01 - 0,1 mg/L karena mudah menyatu dengan mineral sekunder seperti ilit, monmorilonit, dan klorit (Nicholson, 1993).



Gambar 4. Diagram segitiga Na-K-Mg (Giggenbach, 1991) untuk penentuan kematangan air panas bumi

Temperatur Bawah Permukaan

Jenis air yang dapat digunakan dalam perhitungan geotermometer adalah air yang masuk ke dalam zona *equilibrium* (kesetimbangan), karena jenis air ini sudah mencapai titik kesetimbangan dan stabil untuk perhitungan temperatur, sedangkan air yang belum memasuki zona ini masih akan melewati titik kesetimbangan sehingga keadaannya saat ini belum stabil. Namun kelima sampel mata air panas daerah penelitian berada di zona *immature water* yang menunjukkan bahwa air telah mengalami pengenceran dan pendinginan karena tercampur dengan air meteorik selama perjalanan dari reservoir menuju permukaan. Hal ini akan berpengaruh pada keakuratan hasil penghitungan temperatur bawah permukaan.

Pada penelitian ini beberapa jenis geotermometer air yang digunakan adalah geotermometer silika, geotermometer Na-

K, dan geotermometer Na-K-Ca dengan hasil perhitungan sebagai berikut (Tabel 2):

Tabel 2. Hasil perkiraan temperatur reservoir berdasarkan geotermometer air

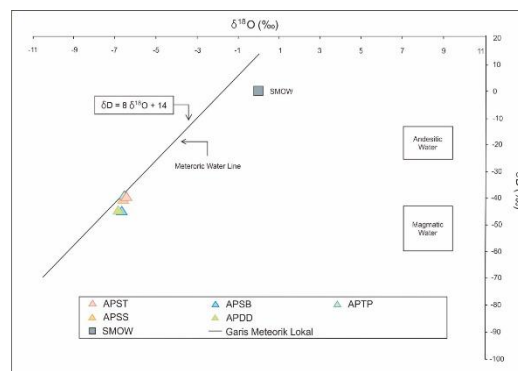
Metode	APST (°C)	APSB (°C)	APTP (°C)	APDD (°C)	APSS (°C)
Geotermometer Silika (Fournier, 1977)	135	80	82	87	74
Geotermometer Na-K (Fournier, 1979)	132	152	176	169	452
Geotermometer Na-K (Giggenbach, 1988)	152	171	194	187	441
Geotermometer Na-K-Ca (Fournier and Truesdell (1973))	132	153	167	166	285
Range Akhir	132	152-153	166-169		-

Dari semua perhitungan geotermometer yang digunakan dapat diinterpretasikan bahwa manifestasi APST memiliki suhu sebesar 132°C, APSB sebesar 152 - 153°C, serta APTP dan APDD yang diperkirakan berasal dari sumber yang sama memiliki suhu antara 166 - 169°C (Tabel 2). Dari besar temperatur keempat air tersebut disimpulkan bahwa daerah panas bumi Kabupaten Kutai Kartanegara merupakan daerah panas bumi yang memiliki sistem panas bumi entalpi sedang (Hochstein, 1990).

4.2 Proses Bawah Permukaan

Berdasarkan data kandungan isotop stabil $\delta^{18}\text{O}$ dan δD yang diperoleh dari sampel mata air di bagian selatan, yaitu APSB dan APDD setelah diplot ke dalam diagram hubungan antara $\delta^{18}\text{O}$ dan δD cenderung menjauhi garis air meteorik (*Meteoric Water Line*) (Gambar 5) yang mengindikasikan telah terjadinya pengkayaan ^{18}O akibat adanya interaksi fluida panas dengan batuan di kedalaman. Hal ini mencerminkan bahwa mata air panas Samboja (APSB) dan Dondang (APDD) kemungkinan berasal langsung dari kedalaman dan kemungkinan pengenceran oleh air meteorik lebih sedikit. Untuk sampel mata air APST, APTP, dan

APSS, hasil plotting terletak mendekati garis air meteorik. Hal ini mengindikasikan bahwa mata air APST, APSS, dan APTP dominan dipengaruhi pencampuran air permukaan.



Gambar 5. Grafik isotop $\delta^{18}\text{O}$ terhadap δD

4.3 Pemanfaatan Fluida

Berdasarkan temperatur bawah permukaan, uap kering APTP dan APDD dapat dimanfaatkan untuk pengeringan ikan dan kayu, APSB untuk proses ekstraksi alumina pada bauksit, dan APST untuk pembuatan gula aren, sedangkan APSS belum dapat dipastikan pemanfaatannya sebab temperaturnya tidak diketahui. Selain itu, berdasarkan temperatur permukaannya mata air panas daerah Kutai Kartanegara dapat dimanfaatkan untuk pemandian dan

terapi air panas karena temperatur permukaannya sesuai kebutuhan tubuh, kandungan kimianya memenuhi standar baku mutu, serta mengandung bikarbonat dan natrium yang tinggi yang bermanfaat untuk kesehatan dan kecantikan kulit.

5. KESIMPULAN

Pada daerah panas bumi Kutai Kartanegara hanya ditemukan satu jenis manifestasi permukaan, yaitu mata air panas. Semua mata air panas pada daerah penelitian memiliki tipe bikarbonat, hal ini menggambarkan bahwa dalam perjalanannya menuju permukaan air berinteraksi dengan air permukaan dan batuan yang mengandung karbonat. Mata air panas dominan dipengaruhi pencampuran air permukaan berdasarkan kandungan isotop stabil $\delta^{18}\text{O}$ dan δD . Air permukaan tersebut mengalami pemanasan, tanpa proses pencampuran dengan fluida magmatik atau air laut.

Perkiraan temperatur bawah permukaan dapat diketahui dengan metode geotermometer air, geotermometer air yang digunakan adalah geotermometer Na-K-Ca, lalu dilakukan perhitungan geotermometer Silika dan geotermometer Na-K sebagai perbandingan. Berdasarkan hasil perhitungan, disimpulkan bahwa daerah panas bumi Kabupaten Kutai Kartanegara merupakan daerah panas bumi yang memiliki sistem panas bumi entalpi sedang, yaitu 125 - 225°C (Hochstein, 1990).

Sistem panasbumi daerah penelitian tergolong pada sistem panas bumi non-vulkanik yang sumber panasnya diduga akibat aktivitas tektonik atau sirkulasi air tanah dalam yang mengalami pemanasan akibat adanya perlipatan atau patahan.

Lapangan panas bumi berentalpi sedang dan rendah sesuai untuk keperluan non-listrik dan dapat dimanfaatkan secara langsung (*direct-use*). Fluida panas bumi daerah penelitian dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas untuk pengeringan ikan dan kayu,

proses ekstraksi alumina pada bauksit, pembuatan gula aren, dan pemandian air panas.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, G.P., Chambers, John L.C. 1998. *Sedimentation of The Modern and Miocene Mahakam Delta*. Jakarta: Indonesian Petroleum Assosiation.
- Alam, Boy Yosep C. S. S., Ryuichi Itoi, Sachihito Taguchi, Hakim Saibi, Rie Yamashiro. 2019. *Hydrogeochemical and Isotope Characterization of Geothermal Waters from the Cidanau Geothermal Field, West Java, Indonesia*. *Geothermics* 78, 62-69.
- Fournier, R.O. and Truesdell, A.H. 1973. *An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Waters*. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, 1255-1275.
- Fournier, R.O., 1977. *Chemical Geothermometers and Mixing Models for Geothermal Systems*. *Geothermics* 5, 41-50.
- Fournier, R.O. 1979. *A Revised Equation for the Na/K Geothermometer*. *Geothermal Resources Council Transactions*. Volume 3, 221-224.
- Giggenbach, W.F., Minissale, A.A, Scandiffio, G. 1988. *Geochemical Assesment of Geothermal Potential of the Colli Albani Area*. Latium region, Italy, *Journal Applied Geochemistry*, vol. 3, pp 475-486.
- Giggenbach, W.F. 1991. *Chemical Techniques in Geothermal Exploration, In Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development*. Ed Franco D'Amore. Unitar/UNDP.

- Hochstein, Manfred P and Patrick R.L. Browne. 2000. *Surface Manifestations of Systems with Volcanic Heat Sources in Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press.
- Nicholson, Keith. 1993. *Geothermal Fluids: Chemistry & Exploration Techniques*. Berlin: Springer Verlag, Inc.
- Powell, T., and W. Cumming. 2010. *Spreadsheet for Geothermal Water and Gas Geochemistry*. Proceedings 35th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. California: Stanford University.
- Supriatna, S., Sukardi, E. Rustandi. 1995. *Buku Lampiran Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Saptadji, Nenny Miryani. 2000. *Panduan Teknik Panas Bumi*. Bandung: Jurusan Teknik Geologi ITB.
- Yoshike, Y., 2003. *Variation in the chemical composition of Obuki Spring, Tamagawa Hot Springs (1951–2000)*. *Geochem. J.* 37, 649–662.