

Karakterisasi Fluida Panas Bumi di Mata Air Panas Panti, Kabupaten Pasaman

Arif Safitra*, Ardian Putra

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas

Kampus Unand, Limau Manis, Padang, 25163

*arifsafitra@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan pengujian unsur pada fluida panas bumi di 5 (lima) mata air panas Panti, Kabupaten Pasaman. Konsentrasi Li, B, Na, K, dan Mg pada masing-masing sampel diukur menggunakan *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-AES) dan konsentrasi Cl diukur menggunakan metode titrasi. Hasil pengukuran digunakan untuk menganalisis asal usul fluida panas bumi, pengenceran fluida panas bumi dan kesetimbangan fluida panas bumi. Dari pengukuran diperoleh pH air panas 7,8-8,6, temperatur sebesar 84,5 °C-97,5 °C. Dari analisis kimia didapatkan konsentrasi Cl berkisar dari 75,98 ppm - 92,97 ppm, Li dari 0,0056 ppm - 0,0098 ppm, B dari 0,524 ppm - 0,918 ppm, Na dari 1,98 ppm - 6,67 ppm, K dari 1,87 ppm - 4,23 ppm, dan Mg dari 1,02 ppm - 2,23 ppm. Plot diagram segitiga Cl-Li-B menunjukkan seluruh sampel didominasi oleh Cl yang mengindikasikan bahwa mata air panas Panti berasal dari sumber panas bumi dan terjadi sedikit pengenceran batuan sedimen organik. Plot diagram segitiga Na-K-Mg menunjukkan seluruh sampel berada pada daerah *immature water* yang mengindikasikan mata air panas Panti bercampur dengan air permukaan yang banyak.

Kata kunci: asal usul fluida, diagram segitiga, fluida geotermal, karakterisasi, kesetimbangan, mata air panas Panti, pengenceran

ABSTRACT

Geothermal fluid at Panti hot springs, Pasaman Regency that emerges from 5 (five) hot springs in the Panti area has been examined. The concentrations of Li, B, Na, K, and Mg in each sample were measured using Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES) and Cl concentrations were measured using titration to analyze the origin of geothermal fluid, dilution of geothermal fluid and geothermal fluid equilibrium. From measurement of the pH hot springs is 7.8-8.6, the surface temperature of hot springs is 84.5 °C-97.5 °C. From of chemical analysis of hot springs Panti area shows that the Cl concentration ranges from 75.98 ppm to 92.97 ppm, Li from 0.0056 ppm to 0.0098 ppm, B from 0.524 ppm to 0.918 ppm, Na from 1.98 ppm to 6.67 ppm, K from 1.87 ppm to 4.23 ppm, and Mg from 1.02 ppm to 2.23 ppm. The Cl-Li-B trilinear plot shows that the entire samples are located at Cl position indicating that Panti hot springs come from geothermal sources and there is little dilution by ground water. The Na-K-Mg trilinear plot shows that all the samples are in immature water marking that there is large mixing with surface water.

Keywords: origin of fluid, triangle diagram, geothermal fluids, characterization, equilibrium, hot springs Panti, dilution

I. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah industri dan jumlah penduduk meningkatkan konsumsi bahan fosil. Padahal energi listrik dapat diperoleh dari energi minyak bumi. Persediaan energi minyak bumi hanya cukup sampai 30 tahun mendatang dihitung sejak tahun 2002 (Prihandana dan Hendroko, 2008 dalam Fitriana, 2015). Menghadapi krisis energi yang akan terjadi maka diperlukan energi baru dan terbarukan. Salah satu energi terbarukan adalah energi panas bumi. Energi panas bumi merupakan energi baru terbarukan yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan sumber energi fosil.

Energi panas bumi adalah energi yang tersimpan dalam bentuk air atau uap panas pada kondisi geologi tertentu pada kedalaman beberapa kilometer di dalam kerak bumi. Energi panas bumi memiliki komponen yang khas dimana terdapat lapisan dengan patahan yang terhubung dengan lapisan yang berisi fluida panas. Air permukaan dan air tanah masuk menuju sumber panas untuk mengisi ulang sistem panas bumi (Grant dan Bixley, 2011). Energi panas bumi diperoleh dari proses eksplorasi dan eksploitasi.

Proses eksplorasi dan eksploitasi panas bumi tidak membutuhkan lahan permukaan yang terlalu besar. Hasil eksploitasi energi panas bumi tidak bisa diekspor sehingga sangat

cocok untuk memenuhi kebutuhan energi di dalam negeri. Suatu hal yang memprihatinkan mengetahui baru 4,2% dari 28,569 MW potensi yang baru dimanfaatkan (Hadiwijoyo, 2011 dalam Setiawan, 2013).

Panas bumi dapat dicirikan dengan adanya tanda-tanda yang muncul ke permukaan yang disebut dengan manifestasi (Saptadji, 2009). Rekanan kerak bumi dan dorongan temperatur bawah bumi yang tinggi menyebabkan manifestasi panas bumi naik ke permukaan (Suparno, 2009). Manifestasi panas bumi tersebut dapat berupa tanah panas, geysir, fumarol, uap panas, sinter silika dan mata air panas (Saptadji, 2009). Sebagian mata air panas yang muncul dapat mengidentifikasi adanya sistem panas bumi di bawah permukaan bumi tersebut.

Sumatera Barat merupakan salah satu daerah yang banyak memiliki manifestasi permukaan panas bumi, salah satunya adalah Kabupaten Pasaman. Pasaman berada pada sesar Semangko yang membelah Sumatera dari Aceh sampai Lampung. Zona sesar dapat mengganggu akuifer dalam tanah dan adanya gunung vulkanik yang berada sekitar Panti menyebabkan munculnya manifestasi. Kholid dkk. (2007) telah melakukan penelitian terpadu di daerah Bonjol, Pasaman dan menyimpulkan panas bumi Bonjol adalah tipe Klorida dan berada pada *partial equilibrium* yang mengindikasikan fluida panas bumi bercampur dengan air permukaan. Arrahman dan Putra (2015) telah melakukan penelitian dengan metode geotermometer untuk menentukan besar potensi panas bumi di daerah Panti dan didapatkan bahwa perkiraan suhu rata-rata reservoir panas bumi di Panti sebesar 548,9 °C dengan potensi energi diperkirakan lebih dari 100 MW.

Sebelum mengembangkan potensi panas bumi, perlu ditentukan sifat kimia dari fluida panas bumi untuk menentukan karakteristik fluida panas bumi. Karakterisasi fluida panas bumi dapat dilakukan dengan menggunakan diagram segitiga. Jenis fluida panas bumi dapat diketahui dengan menggunakan diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃. Kesetimbangan fluida panas bumi dapat ditentukan menggunakan diagram segitiga Na-K-Mg. Proses pengenceran fluida panas bumi dapat ditentukan menggunakan diagram segitiga Cl-Li-B (Giggenbach, 1991 dalam Nicholson, 1993).

Burhan dan Putra (2017) telah melakukan pemetaan tipe air panas di daerah Sumatera Barat menggunakan diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃. Penelitian menyimpulkan bahwa daerah Panti memiliki tipe air panas sulfat yang mengindikasikan bahwa di daerah penelitian tersebut memiliki potensi panas bumi. Untuk mengetahui karakteristik lain tentang fluida yang keluar pada mata air panas di daerah Panti, maka dilakukan penelitian yang akan mengevaluasi proses pengenceran fluida, asal usul fluida dan kesetimbangan fluida panas bumi dengan menggunakan diagram segitiga Cl-Li-B dan diagram segitiga Na-K-Mg.

II. METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air yang berasal dari sumber mata air panas pada 5 (lima) titik yang berbeda di daerah Panti. Koordinat pengambilan sampel dapat dilihat pada Tabel 1 dan lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1. Pada setiap sampel, dilakukan pengukuran pH dan suhu permukaan. Pengukuran suhu permukaan dilakukan dengan menggunakan termometer digital, sedangkan pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter. Pengukuran suhu dan pH dilakukan langsung pada masing-masing sampel di lokasi objek penelitian. Setelah dilakukan pengukuran suhu dan pH, sampel yang diambil dibawa ke laboratorium dengan menggunakan botol untuk dianalisis menggunakan metode titrasi dan alat *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-AES) dengan nama alat ICPE9000 yang mampu mengukur konsentrasi 30 logam sekaligus.

Tabel 1 Koordinat lokasi pengambilan sampel

Kode sampel	Koordinat
P1	0°20'53.8"N 100°04'05.3"E
P2	0°20'52.9"N 100°04'06.8"E
P3	0°20'52.6"N 100°04'06.9"E
P4	0°20'52.3"N 100°04'06.8"E
P5	0°20'44.2"N 100°04'02.7"E



Gambar 1 Lokasi pengambilan sampel

Dari analisis sampel air panas menggunakan ICP-AES akan didapatkan nilai konsentrasi dari logam Na, K, Mg, Li, B. Dari metode titrasi akan didapatkan konsentrasi Cl. Nilai konsentrasi tersebut kemudian dimasukkan ke dalam Persamaan 1 sampai Persamaan 4 untuk mendapatkan persentase nilai Cl, Li, B. Nilai konsentrasi tersebut juga dimasukan ke Persamaan 5 sampai Persamaan 8 (Simmons, 1998) untuk mendapatkan persentase Na, K, Mg. kemudian persentase tersebut diplot pada diagram segitiga panas bumi. Berdasarkan hasil plot yang didapatkan, akan dilihat arah dominan sampel yang dianalisa asal usul, pengenceran dan kesetimbangan fluida panas bumi.

$$S = [Cl] + 100[Li] + 25[B] \tag{1}$$

$$\%Cl = \frac{[Cl]}{S} \times 100 \tag{2}$$

$$\%Li = \frac{100[Li]}{S} \times 100 \tag{3}$$

$$\%B = \frac{25[B]}{S} \times 100 \tag{4}$$

$$S = [Na] + 10[K] + 1000[Mg]^{\frac{1}{2}} \tag{5}$$

$$\%Na = \frac{[Na]}{S} \times 100 \tag{6}$$

$$\%K = \frac{10[K]}{S} \times 100 \tag{7}$$

$$\%Mg = \frac{1000[Mg]_2^1}{S} \times 100 \quad (8)$$

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Data Sampel Air Panas

Dari data pH dan suhu permukaan, dapat dilihat bahwa suhu rata-rata mata air panas 91,6 °C, suhu tertinggi terdapat pada sampel P1 yaitu 97,5 °C, dan terendah pada sampel P5 yaitu 84,8 °C. PH rata-rata mata air panas adalah 8,2, pH tertinggi terdapat pada sampel P1 dan P2 yaitu 8,6, pH terendah pada sampel P5 yaitu 7,8. Hasil pengukuran pH dan suhu permukaan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Data pH dan temperatur permukaan air panas

Kode Sampel	T (°C)	pH
P1	97,5	8,6
P2	90,2	8,6
P3	90,5	8,1
P4	95,3	8,3
P5	84,8	7,8

3.2 Asal usul dan Pengenceran Fluida

Dari analisis sampel air panas di laboratorium, didapatkan nilai konsentrasi Cl antara 75,98 - 92,97 ppm, konsentrasi Li antara 0,0056 ppm - 0,0098 ppm dan konsentrasi B antara 0,254 ppm - 918 ppm. Persentase Cl, Li, dan B dari 5 (lima) titik sampel mata air panas dapat dilihat pada Tabel 3. Kelima sampel memiliki konsentrasi yang berbeda-beda pada unsur yang sama. Hal tersebut disebabkan karena setiap sistem panas bumi memiliki karakteristik masing-masing. Setiap manifestasi panas bumi yang keluar ke permukaan mengalami reaksi yang berbeda-beda dan jenis batuan yang dilewati yang berbeda-beda juga.

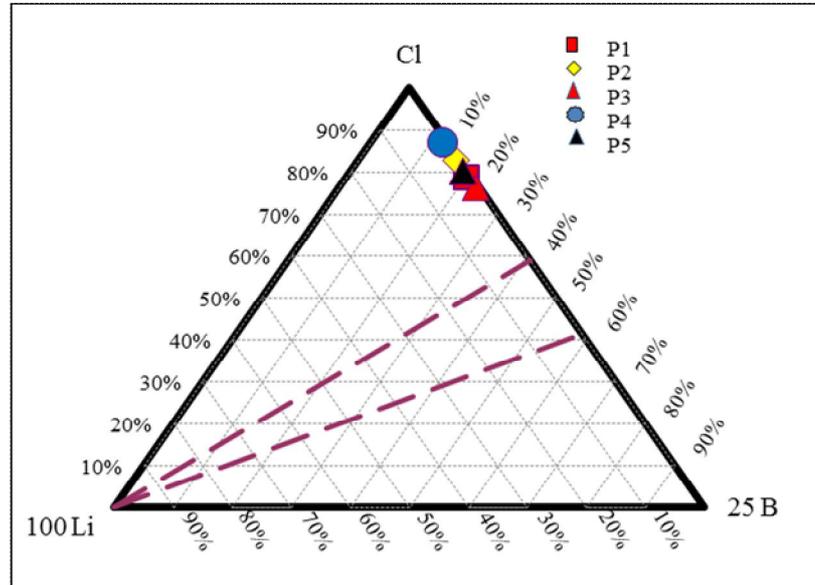
Tabel 3 Persentase Unsur Cl, Li, dan B

kode sampel	Konsentrasi (ppm)			Persentase (%)		
	Cl	Li	B	Cl	Li	B
P1	84,97	0,0098	0,878	78,749	0,908	20,343
P2	90,97	0,0076	0,726	82,790	0,692	16,518
P3	75,98	0,0056	0,918	76,369	0,563	23,068
P4	92,97	0,0088	0,524	86,928	0,823	12,249
P5	68,98	0,0073	0,654	80,153	0,848	18,998

Hasil plot persentase data kimia untuk unsur Cl, Li dan B dapat dilihat pada Gambar 2. Plot menunjukkan kelima sampel air panas berada pada daerah dominan Cl. Konsentrasi Cl yang tinggi mengindikasikan bahwa air panas yang naik ke permukaan merupakan fluida yang berasal dari sumber panas dengan pendinginan yang sangat sedikit oleh batuan sekitar aliran fluida. Hal tersebut disebabkan karena unsur Cl termasuk susah bereaksi, mudah berpindah dan bersifat tetap sehingga dapat dilacak asal-usulnya. Unsur Cl merupakan unsur yang pertama kali terbentuk pada suhu 350 °C dengan kadar konsentrasi yang sangat tinggi (Nicholson, 1993). Unsur Cl naik ke permukaan akibat tekanan yang tinggi di bawah permukaan dan adanya sesar di daerah Panti. Air panas yang mengandung unsur Cl yang tinggi umumnya memiliki pH netral sampai sedikit basa yang dapat dilihat pada Tabel 2. Hal tersebut disebabkan karena pH permukaan air panas bumi ditentukan oleh hilangnya karbon dioksida pada pemanasan fluida yang menyebabkan air menjadi semakin basa (Nicholson, 1993).

Seluruh sampel berada jauh dari unsur B pada diagram segitiga Cl-Li-B yang menandakan bahwa selama perjalanan mata air panas dari sumber panas ke permukaan terjadi sedikit pengenceran oleh batuan yang dilewati oleh aliran air panas. Unsur B dalam larutan merupakan unsur yang sukar bereaksi. Konsentrasi unsur B yang sedikit menandakan bahwa terjadi sedikit asosiasi panas bumi dengan batuan sedimen yang kaya zat organik (Nicholson,

1993). Proses pencucian oleh batuan samping yang berupa batuan beku yang bersifat asam menyebabkan rendahnya kandungan unsur B (Aulia, 2014). Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa unsur B lebih besar dari pada Li yang menandakan bahwa aliran fluida panas bumi bergerak lateral atau ke samping sebelum sampai ke permukaan. Perbandingan B/Li yang besar mengindikasikan aliran fluida secara *outflow* atau lateral (Nicholson, 1993).



Gambar 2 Hasil plot diagram segitiga Cl-Li-B dimana kelima sampel berada di dominan Cl

Kelima sampel air panas berada jauh dari unsur Li pada diagram segitiga Cl-Li-B. Hal tersebut mengindikasikan bahwa mata air panas berada jauh dari sumber panas sistem panas bumi. Unsur Li memiliki konsentrasi yang lebih kecil dari pada unsur Cl dan B di dalam fluida panas bumi. Unsur Li mudah terserap oleh mineral sekunder seperti klorit, kuarsa dan lempung, sehingga semakin jauh jarak migrasi fluida kepermukaan maka konsentrasinya akan semakin berkurang (Nicholson, 1993).

3.3 Keseimbangan Fluida

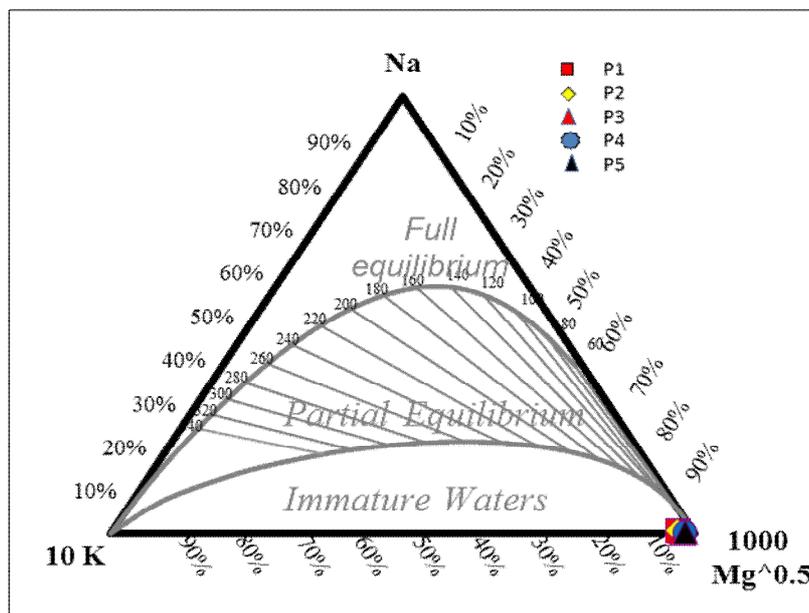
Berdasarkan Tabel 4 terlihat konsentrasi Na berkisar dari 1,98 ppm – 6,67 ppm, konsentrasi K berkisar dari 0,1,87 ppm - 0,4,23 ppm dan konsentrasi Mg berkisar dari 96,888 ppm – 98,238 ppm serta persentase Cl, Li, dan B. Setiap sampel untuk unsur yang sama memiliki konsentrasi yang berbeda-beda. Hal tersebut disebabkan karena setiap sistem panas bumi memiliki sifat fluida yang berbeda dan dipengaruhi oleh mineral yang dilewatinya saat bergerak ke permukaan.

Tabel 4 Persentase unsur Na,K, dan Mg

Kode Sampel	Konsentrasi (ppm)			Persentase (%)		
	Na	K	Mg	Na	K	Mg
P1	5,67	4,23	2,23	0,368	2,744	96,888
P1	6,67	2,87	1,02	0,638	2,746	96,616
P3	3,45	2,16	1,12	0,318	1,994	97,688
P4	2,99	2,33	1,89	0,213	1,663	98,124
P5	1,98	1,87	1,33	0,169	1,593	98,238

Hasil plot persentase unsur Na, K dan Mg dapat dilihat pada Gambar 3 dimana seluruh sampel mata air panas daerah penelitian berada daerah *immature water*. Hal tersebut mengindikasikan bahwa fluida panas bumi di daerah penelitian telah berinteraksi dengan batuan dalam keadaan panas dan terjadi pencampuran dengan air permukaan yang cukup dominan ketika aliran fluida dekat dengan permukaan. Hasil plot kelima sampel juga terlihat bahwa

sampel air panas berada pada dominan Mg. Unsur Mg yang berada di dalam suatu sistem panas bumi berjumlah sangat sedikit sehingga persentase Mg yang sangat besar tersebut terindikasi berasal dari air permukaan (Nicholson, 1993).



Gambar 3 Hasil plot diagram segitiga Na-K-Mg dimana kelima sampel berada di daerah *immature water*

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa temperatur permukaan pada lokasi penelitian berkisar antara $84,8^{\circ}\text{C}$ – $97,5^{\circ}\text{C}$. Temperatur permukaan yang terukur tersebut merupakan temperatur yang tinggi untuk fasa air. Daerah *immature water* pada diagram segitiga Na-K-Mg menandakan fluida panas bumi telah bercampur dengan air permukaan yang lebih dingin sehingga temperatur fluida panas bumi yang sampai ke permukaan menjadi berkurang. Diagram segitiga Na-K-Mg pada Gambar 3 memperlihatkan konsentrasi Na yang kecil. Na merupakan unsur yang dikontrol oleh interaksi fluida dengan batuan panas pada sistem panas bumi. Sistem panas bumi reservoir temperatur tinggi ($>250^{\circ}\text{C}$) memiliki jumlah unsur Na yang besar (Nicholson, 1993). Menurut Arrahman dan Putra (2015), sistem panas bumi daerah Panti diperkirakan memiliki temperatur reservoir yang tinggi yaitu sekitar $548,9^{\circ}\text{C}$. Temperatur permukaan yang didapatkan mengindikasikan bahwa di bawah permukaan memiliki temperatur fluida yang lebih tinggi karena semakin dekat fluida dengan sumber panas maka semakin panas fluida tersebut (Nicholson, 1993).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil plot diagram segitiga Cl-Li-B disimpulkan bahwa mata air panas daerah Panti berasal dari sumber panas bumi namun selama fluida panas bumi bergerak ke permukaan terjadi penyerapan oleh batuan beku. Diagram segitiga Na-K-Mg memperlihatkan fluida panas bumi Panti telah mengalami pencampuran oleh air permukaan yang sangat dominan. Fluida panas bumi daerah Panti telah bergerak ke permukaan dengan jarak tempuh yang jauh dan terjadi secara lambat.

DAFTAR PUSTAKA

Arrahman, R. Dan Putra, A., "Perkiraan Suhu Reservoir Panas Bumi dari Sumber Mata Air Panas di Nagari Panti, Kabupaten Pasaman Menggunakan Persamaan Geotermometer sebagai Dasar Penentuan Potensi Panas Bumi", *Jurnal Fisika Unand*, **4**, 391-396 (2015).

- Aulia, M. Z., “Karakterisasi Panas Bumi TP dengan Analisis Data Geokimia dan Model Magnetotellurik untuk Menentukan Lokasi Titik Bor Eksplorasi”, Skripsi S1, Universitas Lampung, (2014).
- Burhan, D. dan Putra, A., “Pemetaan Tipe Air Panas di Sumatera Barat”, *Prosiding Seminar Nasional Fisika 2017*, (Universitas Andalas, Padang, 2017).
- Fitrida, S.M., “Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Magnetotellurik di Kawasan Panas Bumi Wapsalit Kabupaten Buru Provinsi Maluku”, *Jurnal Unila*, **5**, 11-18 (2015).
- Grant, M.A. dan Bixley, P.F., *Geothermal Reservoir Engineering Edition 2*, (Elsevier, Netherland, 2011). Hal 9-21.
- Kholid, M., Iim, D. dan Widodo, S., “Penyelidikan Terpadu (Geologi, Geokomia Dan Geofisika) Daerah Panas Bumi Bonjol, Kabupaten Pasaman, Sumatera Barat”, *Prosiding Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan Dan Non Lapangan Tahun 2007 Pusat Sumber Daya Geologi*, (Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung, 2007), hal 1-15
- Nicholson, K., *Geothermal Fluids*, (Springer Verlag Inc., Berlin, 1993), 19-48.
- Saptadji, M, N., *Teknik Panas Bumi*. (Penerbit ITB, Bandung, 2009) Hal 12-23.
- Setiawan, S., “Energi Panas Bumi dalam Kerangka MP3EI”, *Jurnal Energi Indonesia*, **1**, 7-8, (2013).
- Simmons, S. F., *Geochemistry Lecture Note*, (University of Auckland, Auckland, 1998).
- Suparno, S., *Energi Panas Bumi: A Present from The Heart of The Earth, Edisi Pertama*, (Penerbit UI, Depok, 2009) Hal 15-19.