



## Perkiraan temperatur reservoir panas bumi berdasarkan metode Geotermometer Silika ( $\text{SiO}_2$ ) pada Daerah Danau Ranau dan sekitarnya

PRADANA AHMAD ARVIANO ZAINAL, EDY SUTRIYONO, DAN MOCHAMMAD MALIK IBRAHIM\*

Prodi Teknik Geologi, Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Palembang - Prabumulih Km. 32 Indralaya, Ogan Ilir, Sumatera Selatan 30662, Indonesia

<p><b>Kata kunci:</b> potensi panas bumi, Danau Ranau, Geotermometer Silika, temperatur reservoir</p>	<p><b>ABSTRAK:</b> Potensi panas bumi daerah Danau Ranau berasal dari sisa-sisa aktivitas magmatik dari Gunung Ranau dan membentuk kaldera besar dengan bentuk <i>stratovolcano post-caldera</i>. Manifestasi panas bumi di daerah ini berupa mata air panas yang diperkirakan muncul melalui struktur geologi. Lapangan panas bumi Danau Ranau merupakan salah satu prospek panas bumi di Indonesia. Manifestasi panas bumi di Danau Ranau daerah panas bumi terdiri dari enam mata air panas. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan perkiraan temperatur reservoir berdasarkan metode geotermometer silika (<math>\text{SiO}_2</math>). Metode geotermometer ini dapat digunakan untuk memperkiraan temperatur reservoir secara tidak langsung. Pengambilan sampel kimia pada manifestasi fluida panas bumi di Desa Kota Batu sebanyak 3 sampel (LP-I, LP-II dan LP-III) dan Desa Lombok sebanyak 3 sampel (LP-IV, LP-V dan LP-VI). Hasil perhitungan geotermometer silika (<math>\text{SiO}_2</math>) terhadap 6 sampel lokasi manifestasi fluida panas bumi, perkiraan temperatur reservoir daerah penelitian berkisar antara 280,5 – 53,3°C. Geotermometer silika umumnya baik digunakan untuk reservoir bertemperatur &gt; 150°C. Oleh sebab itu, penggunaan geotermometer silika yang sesuai menurut referensi dari Fournier (1977) adalah quartz-no steam loss, quartz-maximum steam loss at 100°C, dan chalcedony sebesar 184,0 – 150,0 °C. Perkiraan temperatur reservoir ini menurut klasifikasi tergolong dalam temperatur menengah pada daerah penelitian.</p>
<p><b>Keywords:</b> geothermal potential, Ranau Lake, Silica Geothermometer, reservoir temperature</p>	<p><b>ABSTRACT:</b> The geothermal potential of the Lake Ranau area comes from the remains of magmatic activity from Mount Ranau and forms a large caldera with the shape of a post-caldera stratovolcano. The geothermal manifestation in this area is in the form of hot springs which are thought to arise through geological structures. The Lake Ranau geothermal field is one of the geothermal prospects in Indonesia. Geothermal manifestations in Lake Ranau geothermal area consist of six hot springs. This research aims to determine reservoir temperature estimates based on the silica geothermometer (<math>\text{SiO}_2</math>) method. This geothermometer method can be used to estimate reservoir temperature indirectly. Chemical sampling of geothermal fluid manifestations in Kota Batu Village was 3 samples (LP-I, LP-II and LP-III) and Lombok Village was 3 samples (LP-IV, LP-V and LP-VI). The results of silica geothermometer (<math>\text{SiO}_2</math>) calculations on 6 samples of geothermal fluid manifestation locations, the estimated reservoir temperature in the research area ranges from 280.5 – 53.3°C. Silica geothermometers are generally good for use in reservoirs with temperatures &gt; 150°C. Therefore, the appropriate use of a silica geothermometer according to references from Fournier (1977) is quartz-no steam loss, quartz-maximum steam loss at 100 °C, and chalcedony of 184.0 – 150.0°C. The estimated temperature of this reservoir is classified as medium temperature in the research area.</p>

### 1 PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada pertemuan antara tiga lempeng besar yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik sehingga menjadikan Indonesia memiliki tatanan tektonik yang kompleks. Pembentukan jalur gunung api Pasifik di sebagian wilayah

Indonesia dan aktivitas tektonik dijadikan sebagai konseptual pembentukan sistem panas bumi Indonesia [1]. Potensi panas bumi di Indonesia mencapai 23,06 GW dan tersebar 361 lokasi pada 30 provinsi [2]. Sebaran Lokasi terdiri dari 55 titik potensi (42%) digolongkan sebagai sumber daya panas bumi temperatur tinggi, 71 titik potensi (54%) sebagai sumber

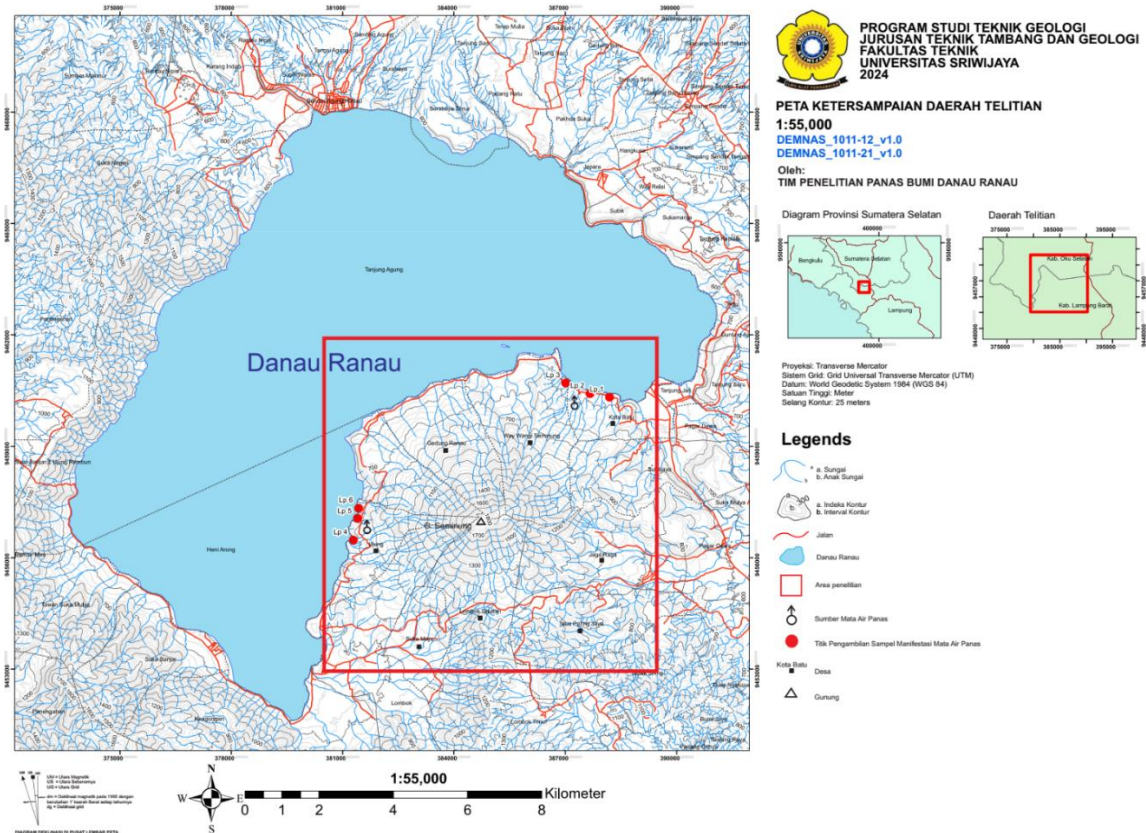
\* Corresponding Author: [malikibrahim100@ft.unsri.ac.id](mailto:malikibrahim100@ft.unsri.ac.id)

daya panas bumi temperatur menengah dan sisanya sebagai sumber daya panas bumi temperatur rendah [3]. Pada daerah penelitian sudah dilakukan penelitian tentang geotermometer isotop oleh Ibrahim dkk (2024). Hasil perhitungan geotermometer isotop berdasarkan faktor fraksinasi isotop memiliki temperatur reservoir berkisar ± 270 °C, tergolong potensi panas bumi dengan temperatur tinggi.

Danau Ranau terbentuk dari sisa aktivitas Gunung Ranau yang letusannya terjadi pada kala Pleistosen. Letusan tersebut membentuk sebuah kaldera besar dengan bentuk *stratovolcano post-caldera* yang berada di sisi tenggara dekat dengan Gunung Seminung [4]. Lapangan panas bumi Danau Ranau

merupakan salah satu prospek panas bumi di Indonesia. Manifestasi panas bumi di Danau Ranau daerah panas bumi terdiri dari delapan mata air panas dan dua batuan teralterasi. Semua mata air panas ini terletak di pinggir danau yaitu Lombok, Talang Kedu, Kota Batu, Kerincing, dan Wai Wangi [5].

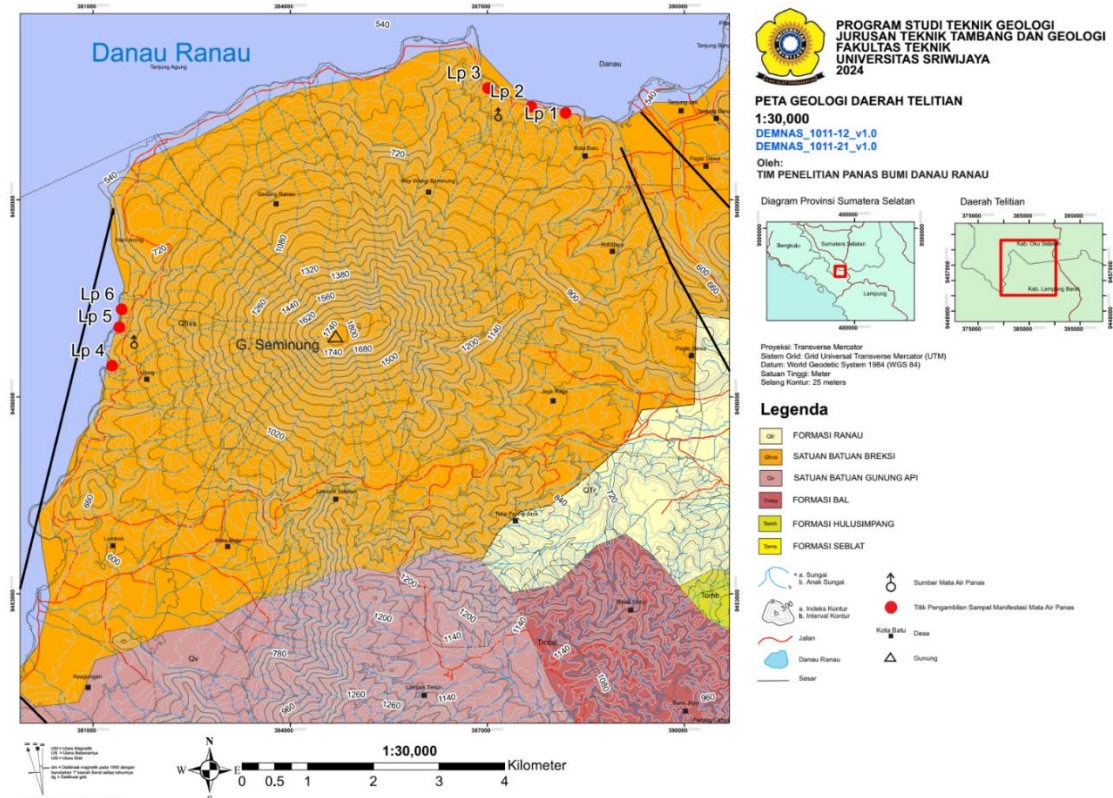
Secara administratif daerah penelitian ini berada pada koordinat UTM 380000 mE – 392000 mE dan 9462000 mN - 9449200 mN, dengan luas area daratan sekitar 127 km<sup>2</sup> [6]. Daerah penelitian panas bumi Danau Ranau memiliki luas sekitar 12 x 13 km<sup>2</sup> berada pada ketinggian 500 – 1800 m dari permukaan laut (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian [6]

Kondisi geologi Daerah Danau Ranau (Gambar 2), terbentuk dari deposit Kuartar dan Formasi batuan Tersier. Deposit Kuartar tersusun oleh aluvium, deposit Gunungapi Kukusan, deposit Gunungapi Seminung dan deposit Gunungapi Pugung. Urutan formasi batuan dari paling muda ke tua yang beru-

mur Tersier tersusun oleh Formasi Ranau, Formasi Bal dan Formasi Hulusimpang [7]. Kemunculan zona debit di permukaan ditandai dengan manifestasi permukaan yang keluar dari kontak litologi dan sesar yang terbentuk di sekitar Gunung Seminung yang terletak di wilayah Lombok dan Kota Batu [8].



Gambar 2. Peta geologi daerah panas bumi Danau Ranau dan sekitarnya [7]

**2 METODOLOGI**

Metode yang digunakan pada penelitian ini meliputi peralatan dan pengambilan sampel, pengukuran nilai kandungan silika (SiO<sub>2</sub>) dan geotermometer silika (SiO<sub>2</sub>).

**Peralatan dan Pengambilan Sampel**

Peralatan yang digunakan untuk pengambilan sampel adalah botol HDPE (*high density polyethylene*), kertas saring gayung dan corong (Gambar 3). Pengambilan sampel air dimasukkan ke dalam botol HDPE sebanyak 20 ml pada 6 titik lokasi manifestasi panas bumi daerah penelitian. Gelembung udara dalam botol harus dihindari untuk mencegah evaporasi dan meminimalisir reaksi kimia.

**Pengukuran Nilai Kandungan Silika (SiO<sub>2</sub>)**

Pengolahan data dilakukan di laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMPB) Bandung bertujuan untuk menganalisis nilai kandungan Silika (SiO<sub>2</sub>) pada sampel air panas bumi. Pada tahap pengumpulan sampel air panas yang telah diambil di lapangan menggunakan metode analisis *Atomic Absorption Spectrophotometer*

(AAS), Turbidimetri/Ion Chromatografi dan Titrimetri.



Gambar 3. Peralatan yang digunakan dalam pengambilan sampel

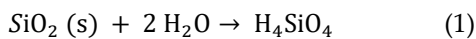
**Geotermometer Silika (SiO<sub>2</sub>)**

Metode geotermometer merupakan salah satu perhitungan yang kerap digunakan untuk menentukan temperatur relatif yang berlaku di dalam reservoir panas bumi dengan mempertimbangkan keberadaan zat terlarut dalam cairan panas bumi [9]. Ge-



otermometer silika digunakan berdasarkan pada kelarutan berbagai jenis silika dalam air sebagai fungsi dari temperatur. Geotermometer silika umumnya mempunyai temperatur > 180 °C yang berada dalam kesetimbangan dengan kuarsa. Kestabilan temperatur silika mencapai 250 °C dan memiliki kelarutan paling rendah dibandingkan dengan silika polimorf. Geotermometer kuarsa umumnya baik digunakan untuk reservoir ber-temperatur > 150 °C dan < 150 °C kandungan silika dikontrol oleh kalsedon [10].

Geotermometer silika menggunakan kelarutan berbagai jenis silika dalam air panas bumi sebagai fungsi dari temperatur yang ditentukan dengan simulasi / eksperimen. Reaksi yang menjadi dasar pelarutan silika dalam air panas bumi (pers. 1), sebagai berikut:



Hasil simulasi beberapa peneliti terdahulu mengenai berbagai jenis persamaan geotermometer silika (Tabel 1) [11], Penerapan geotermometer silika sangat tergantung kepada kondisi fluida dan jenis endapan silika yang dijumpai, dimana variabel C adalah konsentrasi silika (mg/L).

Tabel 1. Beberapa persamaan geotermometer silika (SiO<sub>2</sub>)

Geotermometer	Persamaan	Referensi
Quartz-no steam loss	$T = \frac{1309}{(5,19 - \log C)} - 273,15$	Fournier (1977) [10]
Quartz-maximum steam loss at 100 °C	$T = \frac{1522}{(5,75 - \log C)} - 273,15$	Fournier (1977) [10]
Quartz	$T = 42,198 + 0,28831 C - 3,6686 \times 10^{-4} C^2 + 3,1665 \times 10^{-7} C^3 + 77,034 \log C$	Fournier & Potter (1982) [12]
Quartz	$T = 53,500 + 0,11236 C - 0,5559 \times 10^{-4} C^2 + 0,1772 \times 10^{-7} C^3 + 88,390 \log C$	Amorsson (1985) [13]
Chalcedony	$T = \frac{1032}{(4,69 - \log C)} - 273,15$	Fournier (1977) [10]
Chalcedony	$T = \frac{1112}{(4,91 - \log C)} - 273,15$	Amorsson (1985) [13]
Cristobalite	$T = \frac{1000}{(4,78 - \log C)} - 273,15$	Fournier (1977) [10]
Opal	$T = \frac{781}{(4,51 - \log C)} - 273,15$	Fournier (1977) [10]
Amorphous silica	$T = \frac{731}{(4,52 - \log C)} - 273,15$	Fournier (1977) [10]

### Klasifikasi Sistem Panas Bumi Berdasarkan Temperatur Reservoir

Klasifikasi sistem panas bumi berdasarkan temperatur reservoir [14], terbagi menjadi tiga kategori (Tabel 2) sebagai berikut:

Tabel 2. Klasifikasi berdasarkan pada temperatur reservoir [14]

Klasifikasi Temperatur	Temperatur Reservoir (°C)
Rendah	< 125
Menengah	125 – 225
Tinggi	> 225

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan sampel pada fluida manifestasi panas bumi di Desa Kota Batu sebanyak 3 sampel (LP-I, LP-II dan LP-III) dan pengambilan sampel air pada fluida manifestasi panas bumi di Desa Lombok sebanyak 3 sampel (LP-IV, LP-V dan LP-VI). Hasil pengukuran nilai dan analisis kandungan silika (SiO<sub>2</sub>) di laboratorium menunjukkan rentang nilai sebesar 190,91 – 211,75 mg/L (Tabel 3).

Tabel 3. Nilai kandungan silika (SiO<sub>2</sub>) pada sampel air

Kode Sampel	Kandungan SiO <sub>2</sub> (mg/L)	Lokasi
LP – I	204,68	Kota Batu (1)
LP – II	194,2	Kota Batu (2)
LP – III	190,91	Kota Batu (3)
LP – IV	204,37	Lombok (1)
LP – V	211,42	Lombok (2)
LP – VI	211,75	Lombok (3)

Geotermometer silika telah dikembangkan oleh beberapa ahli. Pemakaian geotermometer silika harus mempertimbangkan karakteristik dari manifestasi panas bumi yang ada pada sampel. Hasil perhitungan berbagai jenis geotermometer silika menunjukkan perkiraan temperatur reservoir sebesar 280,5 – 53,3 °C pada semua sampel yang digunakan (Tabel 4).

Tabel 4. Perkiraan temperatur reservoir berdasarkan hasil perhitungan berbagai jenis geotermometer silika (SiO<sub>2</sub>)

Geotermometer	Perkiraan Temperatur Reservoir (°C)					
	LP – I	LP – II	LP – III	LP – IV	LP – V	LP – VI
Quartz-no steam loss	181,7	178,1	177,0	181,6	183,9	184,0
Quartz-maximum steam loss at 100 °C	169,6	166,7	165,7	169,5	171,4	171,5
Quartz	266,6	262,9	261,8	266,5	268,9	269,0
Quartz	278,6	275,6	274,7	278,5	280,5	280,5
Chalcedony	160,7	156,5	155,2	160,5	163,2	163,4
Chalcedony	154,7	151,0	150,0	154,6	157,0	157,2
Cristobalite	131,9	128,2	127,0	131,8	134,2	134,3
Opal	82,0	78,4	77,2	81,9	84,3	84,4
Amorphous silica	57,8	54,4	53,3	57,7	59,9	60,0

Klasifikasi temperatur tinggi reservoir terjadi pada perhitungan geotermometer quartz sebesar 280,5 –

261,8 °C. Geotermometer ini tidak sesuai pada sistem panas bumi temperatur tinggi (>225 °C), karena kuarsa dapat mengendap akibat pendinginan perlahan, apabila pendinginan berlangsung dengan cepat. Klasifikasi temperatur menengah reservoir terjadi pada perhitungan geotermometer quartz-no steam loss, quartz-maximum steam loss at 100°C chalcedony dan cristobalite sebesar 184,0 – 127,0 °C. Hanya geotermometer cristobalite yang tidak sesuai karena temperaturnya <150°C dan kandungan silika dikontrol oleh kalsedon. Geotermometer quartz-no steam loss, quartz-maximum steam loss at 100°C dan chalcedony yang sesuai karena keterdapatan silika telah mengalami banyak pengenceran dan berada dalam kesetimbangan. Klasifikasi temperatur rendah reservoir terjadi pada perhitungan geotermometer opal dan amorphous silica sebesar 84,4 – 53,3°C. Geotermometer ini tidak sesuai karena hasil temperatur reservoir lebih kecil dari temperatur permukaan.

#### 4 KESIMPULAN

Perkiraan temperatur reservoir dengan menggunakan berbagai geotermometer silika menghasilkan temperatur sebesar 280,5-53,3°C pada semua sampel. Geotermometer silika umumnya baik digunakan untuk reservoir bertemperatur >150°C. Oleh sebab itu, penggunaan geotermometer quartz-no steam loss, quartz-maximum steam loss at 100°C, dan chalcedony sebesar 184,0 – 150,0°C telah sesuai menurut referensi dari Fournier (1977). Perkiraan temperatur reservoir ini menurut klasifikasi tergolong dalam temperatur menengah pada daerah penelitian.

#### REFERENSI

- [1] Kasbani. 2009. Tipe Sistem Panas Bumi Di Indonesia dan Estimasi Potensi Energinya. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 4 (3):23-30, Badan Geologi, Bandung.
- [2] Badan Geologi. 2022. *Neraca Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi Indonesia Tahun 2022*. Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi, Bandung.
- [3] Nugraha, H.S., Wahyuningsih, R. & Rahadinata, T. 2022. Perkiraan Ulang Cadangan Mungkin Panas Bumi Temperatur Menengah di Indonesia. *Buletin Sumber Daya Geologi*, Vol. 17 No. 3.
- [4] Ibrahim, M.M., Harnani, Jati, S., N. & Abiyyu, R., K. 2024. Asal Usul Fluida Manifestasi Panas Bumi Dan Estimasi Temperatur Reservoir Dengan Pendekatan Analisis Isotop Pada Daerah Danau Ranau, Ogan Komering Ulu (OKU) Selatan, Sumatera Selatan. *Buletin Sumber Daya Geologi*, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Vol. 19 No. 3.
- [5] Muraoka, H., Takahashi, M., Sundhoro, H., Dwipa, S., Soeda, Y., Momita, M. & Shimada, K. 2010. Geothermal Systems Constrained by the Sumatran Fault and Its Pull-Apart Basins in Sumatra, Western Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress Bali*, Indonesia, 25-29.
- [6] Wioso, Y.B., Wulandari, Z. & Farhansyah, D. 2022. Analyze Characteristic and Potential of Geothermal Energy in Danau Ranau, South Sumatera, Indonesia. *Proceedings PIT IAGI 51st*, Makassar, South Sulawesi.
- [7] Ibrahim, M.M., Pranata, R., Nababan, B.S., Heriani, N., Maharani, A., Situmorang, A.S.J., Puspita, D., Landia, K. P. & Harfiandri, M.S. 2022. Karakteristik Manifestasi Dan Rekomendasi Pemanfaatan Potensi Panas Bumi Pada Daerah Danau Ranau, Ogan Komering Ulu (OKU) Selatan, Provinsi Sumatera Selatan. *Prosiding Seminar Nasional AVoER XIV*, Hal 87-91.
- [8] Ibrahim, M.M., Puspita, M., Andarini, D., Marbun, A.G. & Arifianto, D.I. 2020. Identifikasi dan Interpretasi Geologi Berdasarkan Citra Penginderaan Jauh Pada Daerah Panas Bumi Danau Ranau, Ogan Komering Ulu (OKU) Selatan, Sumatera Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumihan Ke-II*, Vol 2, No 1.
- [9] PSDG. 2004. Laporan Geologi, Geokimia dan Geofisika Terpadu Kawasan Panas Bumi Danau Ranau, Kabupaten Lampung Barat, Lampung – OKU Selatan, Sumatera Selatan. Perpustakaan Subdirektorat Panas Bumi.
- [10] Alfalah, J.A., Sutriyono, E. & Ibrahim, M.M. 2013. Karakteristik Geokimia Air Panas dan Estimasi Temperatur Permukaan Panas Bumi di Daerah Suoh, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung. *Jurnal Ilmiah Global Education*, JIGE 4 (3) 1657-1668.
- [11] Fournier, R.O. 1977. Chemical Geothermometers and Mixing Models for Geothermal Systems. *Geothermics*, 5, 41-50.
- [12] Güleç, N. 2003. Applications of Geothermometry. *Conference: International Summer School*. Geothermal Paper Database.
- [13] Fournier, R.O. & Potter II, R.W. 1982. A Revised and Expanded Silica (quartz) Geothermometer. *Geothermal Resources Council Bulletin*, 11, 3-12.
- [14] Arnórsson, S. 1985. The Use of Mixing Models and Chemical Geothermometers for Estimating Underground Temperatures in Geothermal Systems. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol 23, 299-335.
- [15] Hochstein, M.P. 1990. Classification and Assessment of Geothermal Resources. In: *Dockson M.H. and Fanelli M. (eds) Small Geothermal Resources*. UNITAR/UNDP Centre for Small Energy Resources, Rome, Italy. \_\_\_\_\_