

## KARAKTERISTIK GEOKIMIA MANIFESTASI PANAS BUMI DAERAH SAMPURAGA, KABUPATEN MANDAILING NATAL, SUMATERA UTARA

Oleh:

**\*Dedi Kusnadi, \*\*Nova Novelyarisanti, \*\*Rizka Novianda.**

\*Pusat Sumber Daya Geologi,

Jl. Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254

\*\*Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran,

Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor

### SARI

Penyelidikan dilakukan di daerah Sampuraga, Kabupaten Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara. Di daerah tersebut ditemukan dua sumber mata air panas berdekatan dengan derajat keasaman (pH) yang berbeda. Penyelidikan yang dilakukan meliputi pengukuran pH, suhu, debit, daya hantar listrik, dan luas manifestasi mata air panas. Dilakukan juga analisis geokimia air seperti anion, kation, dan isotop terhadap conto lapangan di laboratorium serta membandingkan reaksi kimia yang terjadi antara air panas ber-pH asam dengan netral.

Dari beberapa mata air panas bertemperatur tinggi yang ada di Sampuraga, suhu tertinggi terdapat di lokasi Sampuraga 2 yaitu 100,8°C. pH air panas di lokasi ini berkisar dari asam sampai netral dengan debit cukup besar (1- 4 l/detik). pH dan temperatur berperan dalam mekanisme reaksi kimia yang terjadi. Berdasarkan pendugaan geotermometer air NaK didapatkan perkiraan temperatur reservoir sebesar 233°C yang termasuk ke dalam temperatur tinggi.

**Kata kunci :** air klorida, derajat keasaman, manifestasi panas bumi, sinter karbonat, temperatur tinggi.

### ABSTRACT

*The object of this research is hot spring located in Sampuraga area, Mandailing Natal Regency, North Sumatera Province. This research is conducted due to the fact that there are two hot spring with different pH in closed distance. Fieldwork consist of measuring pH, temperature, water discharge, electric conductivity, and the wide area of each hot spring. Geochemical analyses such as anion, cation, and isotop were conducted to the samples of water. Comparison of chemical reaction between acid and neutral pH was also conducted in the laboratory.*

*Sampuraga hot spring number 1,2,3 and 4 show high temperature (100.8°C), acid - neutral pH, and quite high water discharge (1, 2 and 4 l/s). pH and temperature control the mechanism of chemical reaction. Based on the NaK water geothermometer, the temperature of reservoir is estimated at 233°C, which is classified as high temperature.*

**Keywords :** acidity, carbonate sinter, chloride water, geothermal manifestations, high temperature.

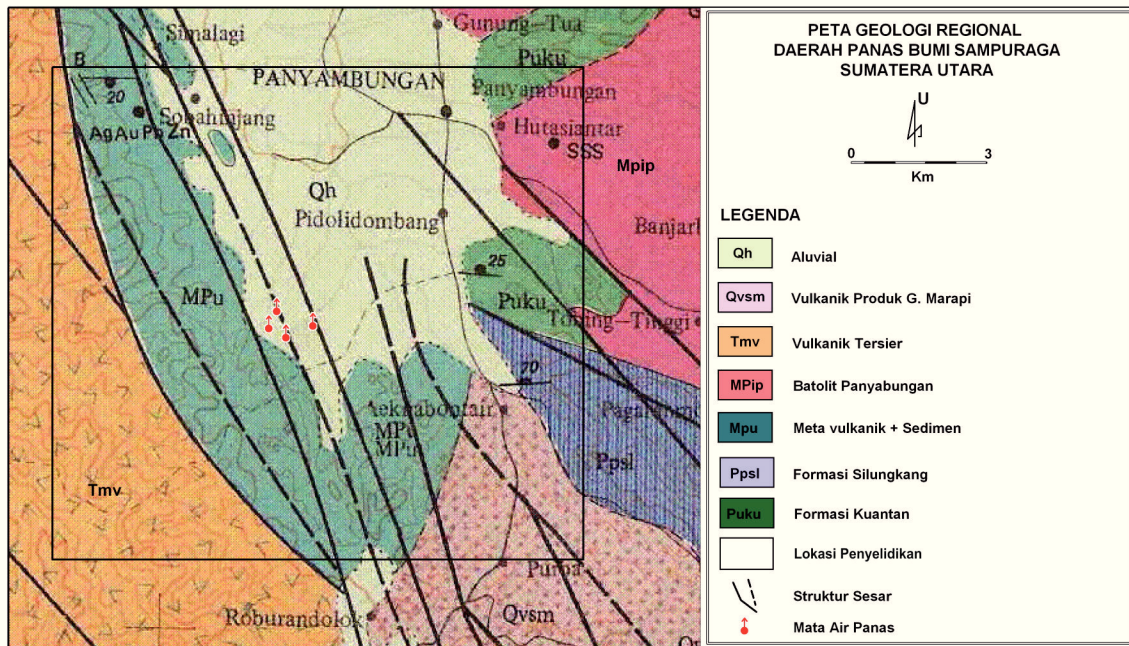
### PENDAHULUAN

Penyelidikan dilakukan di daerah Sampuraga, Kecamatan Longat, Kabupaten Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara. Manifestasi panas bumi di daerah ini memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Hal ini ditunjukkan dengan ditemukannya mata air panas ber-pH asam pada temperatur relatif tinggi (97°C) dan mata air panas yang bertemperatur tinggi (97-100.8°C) dengan pH asam – netral. Air panas disini termasuk dalam tipe air klorida dengan konsentrasi bikarbonat, kandungan SO<sub>4</sub> yang cukup signifikan serta ditemukannya sinter karbonat.

Tujuan penyelidikan ini adalah untuk mengetahui karakteristik geokimia manifestasi panas bumi pada daerah Sampuraga.

#### Geologi Daerah Penyelidikan

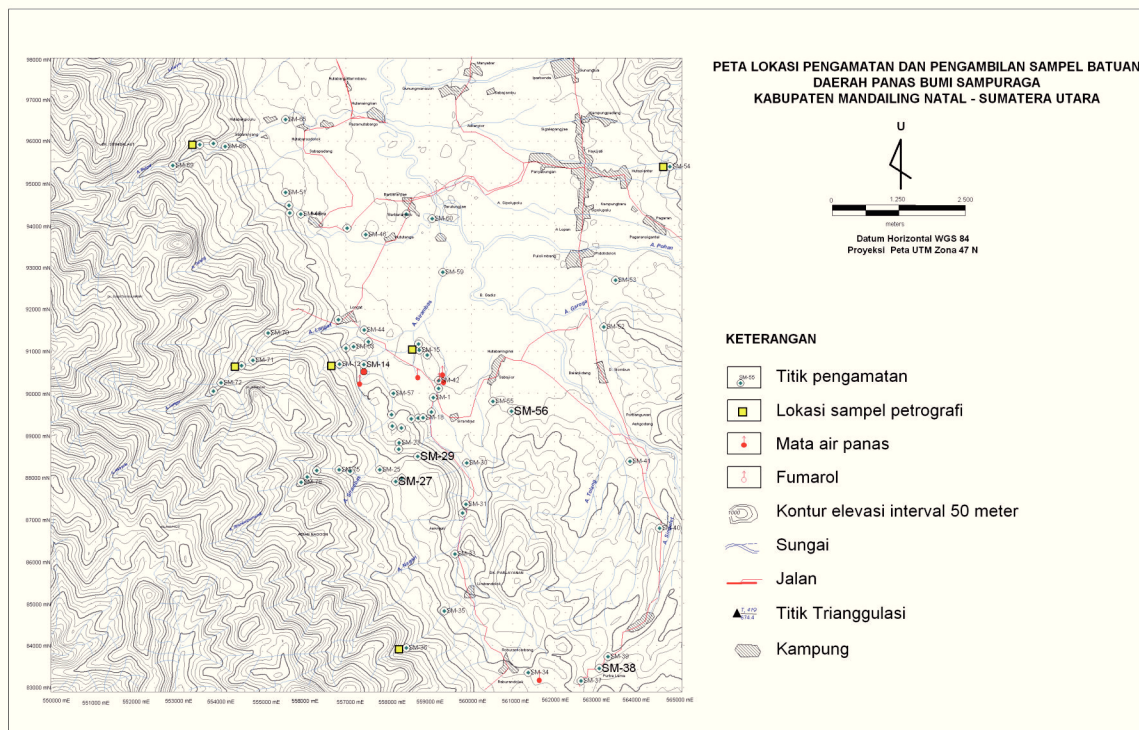
Aldiss, dkk (1983) menyatakan bahwa secara regional daerah penyelidikan tersusun dari Formasi Silungkang dan Formasi Kuantan, batuan gunungapi, batuan terobosan, dan metasedimen yang berumur Paleozoik – Kenozoik (Kuartar). Mata air panas berada pada endapan aluvial dan diperkirakan muncul karena di bawahnya terdapat Batolit Panyambungan (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Geologi Regional Daerah Panas Bumi Sempuraga dan sekitarnya, Sumatera Utara (modifikasi dari Aldis dkk, 1983)

Struktur geologi pada daerah penyelidikan berarah barat laut - tenggara. Analisis pada citra satelit menunjukkan bahwa struktur geologi di daerah penyelidikan didominasi sesar normal yang membentuk

Graben Panyambungan berarah barat laut-tenggara serta sesar geser. Sesar normal ini diperkirakan memicu keluarnya sejumlah mata air panas di lokasi penyelidikan (Gambar 2).



Gambar 2. Peta Lokasi Pengamatan dan Pengambilan Contoh Batuan Daerah Panas Bumi Sempuraga dan sekitarnya, Sumatera Utara

## Metode

Metode yang dipakai dalam penyelidikan berupa pengukuran pH, suhu, debit, daya hantar listrik, dan pengukuran luas manifestasi air panas Sampuraga. Selain itu dilakukan analisis geokimia air seperti anion, kation, dan isotop terhadap conto lapangan di laboratorium.

Dilakukan juga interpretasi data hasil analisis laboratorium, melalui perbandingan reaksi kimia yang melibatkan senyawa alumina-alumina dalam kondisi pH netral dan pH asam (Chen dan Brantley, 1997; Gigenbach, 1998; Grasby, dkk, 2000; Martin, dkk, 2000).

Tabel 1.  
Data Lapangan Geokimia panas bumi

No.	Nama	Kode	Koordinat (UTM)		EI (m)	T. ud (°C)	T.man (°C)	pH	debit (l/dt)	EC (µS/cm)	Keterangan
			X (m)	Y (m)							
1	AP. SAMPURAGA 1	APS1	559250	90247	234	33,4	97,0	3,40	-	2950	air asam
2	AP. SAMPURAGA 2	APS2	559251	90154	232	27,8	100,8	7,70	1	2620	air panas dekat Sungai Sirambas
3	AP. SAMPURAGA 3	APS3	559323	90448	222	33,4	97,0	7,04	2	2420	air panas, sinter karbonat
4	AP. SAMPURAGA 4	APS4	558734	90384	247	32,7	100,2	6,88	4	2370	air panas, sinter karbonat

## HASIL

### Manifestasi Panas Bumi

Pengambilan conto air dilakukan pada empat titik yang berbeda (Tabel 1).

#### Air Panas Sampuraga 1 (APS1),

Lokasi ini berada di satuan batuan aliran piroklastik. Manifestasi dengan luas 3x3 m<sup>2</sup> ini berupa kolam air panas, dengan sedikit hembusan uap dan tercium gas H<sub>2</sub>S (Gambar 3).



Gambar 3. Air Panas Sampuraga 1, pada batuan aliran piroklastik

#### Air Panas Sampuraga 2 (APS2),

Berjarak sekitar 100 meter ke arah timur dari lokasi APS1. Mata air panas ini muncul dari endapan aluvium yang terdapat di Sungai Sirambas. Manifestasi dengan luas 1x1 m<sup>2</sup> ini memiliki uap di permukaannya dan ditemukan pula sinter karbonat yang membungkus material endapan (Gambar 4).



Gambar 4. Air Panas Sampuraga 2, pada pinggir sungai

#### Air Panas Sampuraga 3 (APS3),

Lokasi ini berjarak 300 m di sebelah utara APS1. Pada manifestasi dengan luas 3x3 m<sup>2</sup> ini terdapat bualan dan uap air di permukaannya serta sinter karbonat di pinggirannya (Gambar 5).



Gambar 5. Hembusan uap air, dan kolam air panas yang mengalir disertai sinter karbonat pada Air Panas Sampuraga 3

## Air Panas Sampuraga 4 (APS4)

Lokasi ini berjarak 500 m sebelah barat APS1 dan muncul pada batuan sedimen. Manifestasi dengan luas 2x3 m<sup>2</sup> ini memiliki buahan, uap di permukaan, dan sinter karbonat (Gambar 6).



Gambar 6. Hembusan uap air, kolam air panas mendidih dan mengalir disertai sinter karbonat pada air panas manifestasi Sampuraga 4

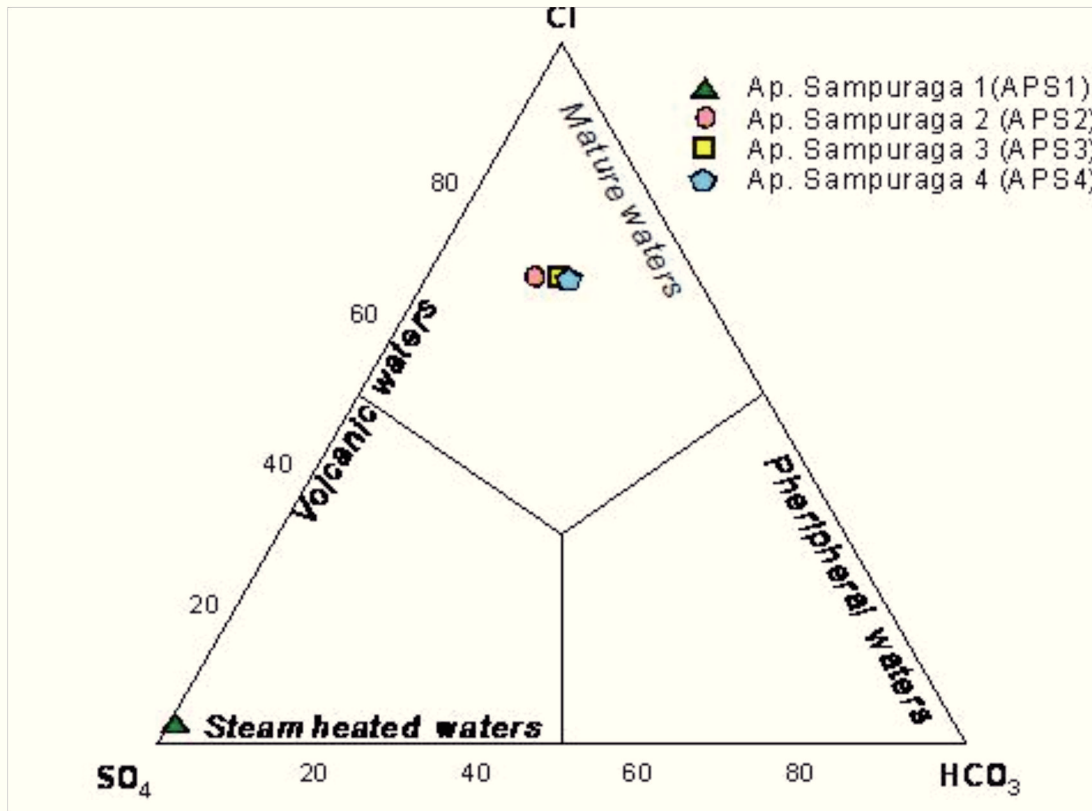
## Hasil Analisis Geokimia Air Sampuraga

Keakuratan proses analisis unsur utama kation dan anion dari mata air panas ditunjukkan dengan harga *Ion Balance* (IB) kurang dari 5% untuk semua conto air panas dan air dingin pH netral, serta lebih dari 5% untuk conto air yang asam. Hal ini mengindikasikan bahwa hasil analisis dapat digunakan dalam interpretasi geokimia selanjutnya. Untuk mengetahui karakteristik dan tipe air panas dari data yang diperoleh pada Tabel 2, dilakukan *plotting* komposisi kimia dari mata air panas pada diagram segitiga Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>, Na-K-Mg, dan Cl-Li-B yang mengacu kepada Giggenbach (1988). Air Panas Sampuraga 1 memiliki pH rendah (asam) dengan tipe air sulfat, sedangkan Air Panas Sampuraga 2, 3, dan 4 memiliki pH netral bertipe air klorida (Gambar 7).

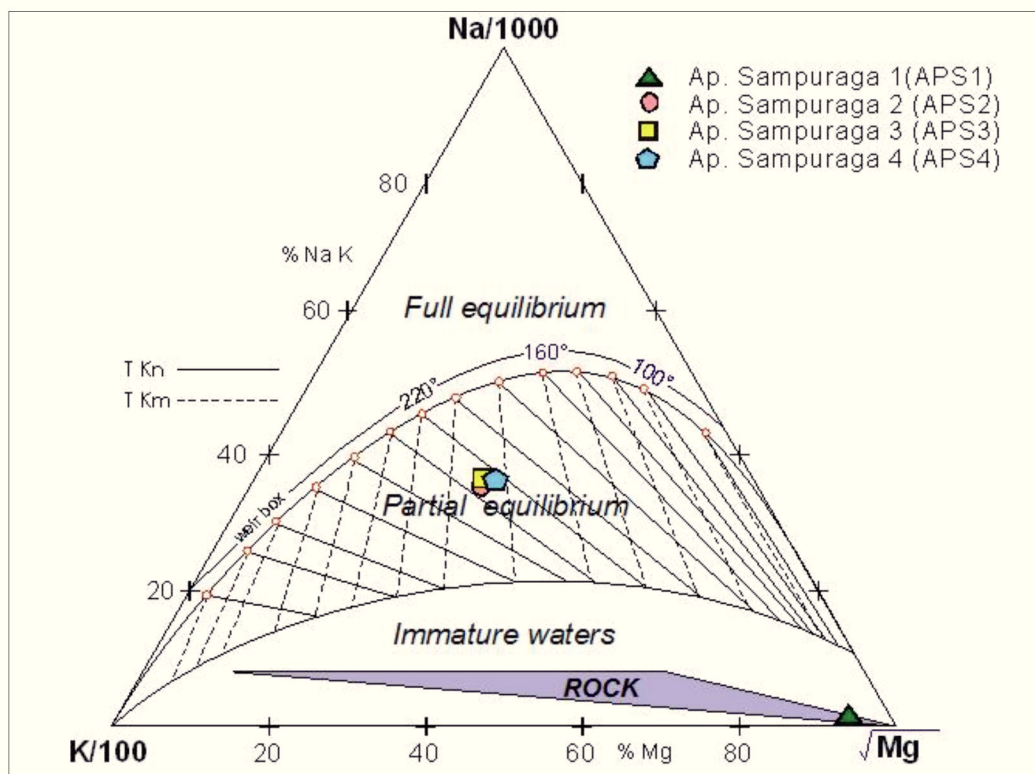
Berdasarkan diagram segitiga Na-K-Mg (Gambar 8), posisi mata air panas Sampuraga 2, 3, dan 4 terletak pada partial *equilibrium* sebagai indikasi bahwa manifestasi yang muncul ke permukaan dipengaruhi oleh interaksi antara fluida dengan batuan dalam keadaan panas sebelum bercampur dengan air permukaan (*meteoric water*).

Tabel 2.  
Data Hasil Analisis Geokimia Air

Kode	1	2	3	4
	APS1	APS2	APS3	APS4
SiO <sub>2</sub> (mg/L)	139,94	228,98	220,42	218,34
Cl	70,36	597,75	580,16	562,57
SO <sub>4</sub>	1475,23	106,58	95,76	85,47
HCO <sub>3</sub>	0	195,26	211,83	216,93
CO <sub>3</sub>	0	0	0	0
Al	53,48	0,18	0,00	0,00
Fe	42,45	0,30,	0,17	0,42
Ca	179,50	24,76	24,90	31,83
Mg	9,44	0,16	0,10	0,11
Na	34,30	424,00	420,00	395,00
K	11,00	42,50	42,80	39,80
Li	0,30	2,67	2,54	2,52
As	0,40	8,00	8,00	7,00
NH <sub>4</sub>	0,00	0,36	0,36	0,30
B	0,98	27,77	28,31	26,24
F	3,00	1,00	2,00	1,00
meq cat	19,79	21,54	21,33	20,48
meq an.	32,86	22,33	21,93	21,26
% IB	-24,82	-1,80	-1,39	-1,86



Gambar 7. Diagram segitiga tipe air panas daerah Panas Bumi Sampuraga, Kabupaten Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara



Gambar 8. Diagram segitiga kandungan Na, K, Mg daerah Panas Bumi Sampuraga, Kabupaten Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara

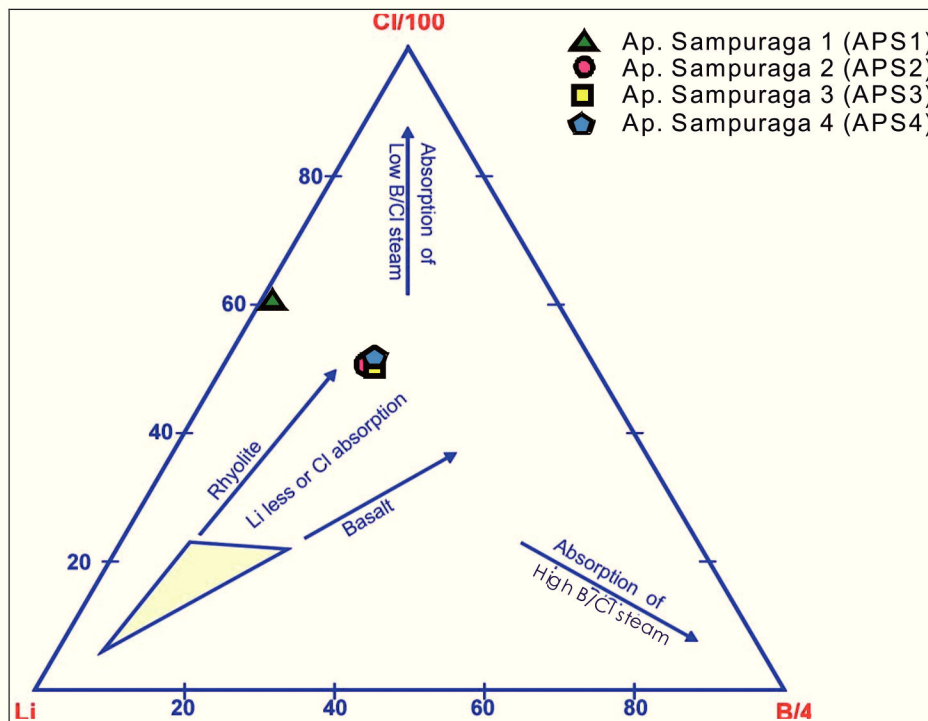
Berdasarkan analisis pada Tabel 3, Nilai  $\delta^{18}\text{O}$  berkisar  $-10,38$  sampai  $-8,12$  o/oo, sedangkan nilai  $\delta\text{D}$  berkisar  $-66,7$  sampai  $-52,5$  o/oo. Nilai rasio dari conto air di plot pada grafik  $\delta\text{D}$  terhadap  $\delta^{18}\text{O}$ , dengan garis air meteorik  $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 14$ . Gambar 10 memperlihatkan posisi conto air panas Sampuraga 3 dan 4 terletak pada posisi sebelah kanan dari *meteoric water line* ( $^{18}\text{O}$  shifted) yang signifikan sebagai indikasi pengayaan oksigen 18 dari air panas akibat reaksi substitusi oksigen 18 dari batuan dengan

oksigen 16 dari fluida panas pada saat terjadi interaksi fluida panas dengan batuan sebelum muncul ke permukaan berupa mata air panas.

Sedangkan APS 1 terletak pada *immature water* sebagai indikasi pengaruh air permukaan lebih dominan pada pembentukan air panas tersebut. Berdasarkan diagram segi tiga Cl-Li-B (Gambar 9) posisi mata air panas tipe klorida terletak mengarah ke posisi tengah diagram.

Tabel 3.  
Data Isotop  $\delta\text{D}$  dan  $\delta^{18}\text{O}$  Air Panas Bumi

No	Kode Conto	$\delta^{18}\text{O}$ (oo/o)	$\delta\text{D}$ (oo/o)
1	AP. Sampuraga 3 (APS3)	-9,43	-65,0
2	AP. Sampuraga 4 (APS4)	-8,39	-62,0

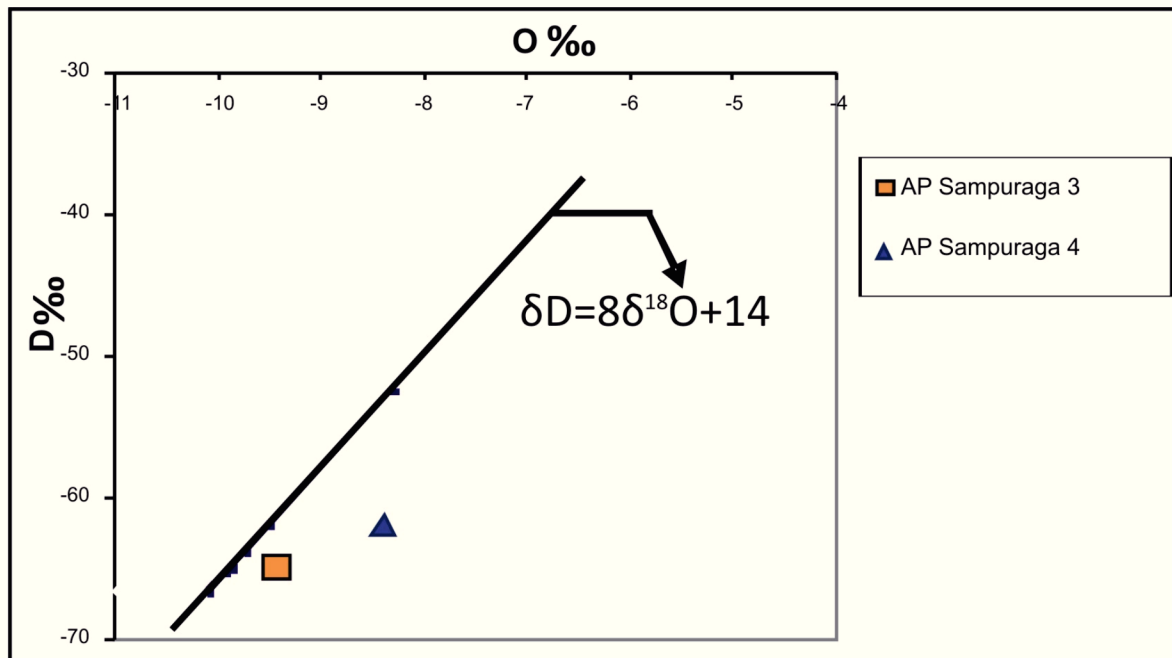


Gambar 9. Diagram segitiga kandungan Cl, Li, B daerah Panas Bumi Sampuraga, Kabupaten Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara

### Pendugaan Suhu Bawah Permukaan

Manifestasi panas bumi di daerah Sampuraga muncul pada elevasi 230 mdpl yang terdiri dari mata air panas asam bertemperatur  $97^{\circ}\text{C}$  dan mata air panas netral bertemperatur  $97-100,8^{\circ}\text{C}$ . *Plotting* pada diagram segitiga Cl- $\text{SO}_4$ - $\text{HCO}_3$  (Gambar 7) menunjukkan bahwa air dari mata air panas bersifat asam termasuk tipe air sulfat asam, dan air bersifat netral bertipe klorida dengan konsentrasi bikarbonat dan  $\text{SO}_4$  cukup signifikan. Air panas bersifat netral terletak pada partial *equilibrium* pada diagram Na-K-Mg

(Gambar 8) dan terletak di tengah-tengah diagram segitiga Cl-Li-Boron. Hal ini mengindikasikan bahwa air panas berhubungan dengan reservoir panas bumi. Perhitungan suhu air memakai geotermometer NaK yang mengacu kepada Giggenbach, (1988), melalui persamaan  $T^{\circ}\text{C} = [1390/((\log \text{Na}/\text{K} + 1,75)] - 273$  dengan hasil akhir  $233^{\circ}\text{C}$  yang termasuk ke dalam tipe temperatur tinggi. Perhitungan ini bertujuan untuk memperkirakan temperatur bawah permukaan yang berhubungan dengan temperatur reservoir.

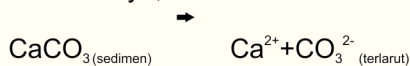


Gambar 10. Ploting Isotop δD terhadap δ<sup>18</sup>O Air Panas Bumi Sampuraga

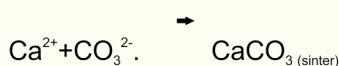
**DISKUSI DAN PEMBAHASAN**

Asumsi konsentrasi senyawa kimia terlarut secara kualitatif dan kuantitatif dalam air panas merupakan produk akhir dari proses yang alami. Pada umumnya aliran fluida panas pada temperatur tinggi berinteraksi dalam keseimbangan dengan jenis mineral tertentu pada batuan panas bumi, sehingga memberikan indikasi konsentrasi tinggi untuk senyawa Si, Na, K yang erat kaitannya dengan temperatur dan pH mata air panas yang terukur di lapangan.

Mekanisme pembentukan sinter karbonat yang muncul di sekitar mata air panas disebabkan oleh faktor batuan yang dilalui oleh fluida panas. Batuan penyusun daerah tersebut yaitu sedimen karbonat atau gamping yang kaya dengan mineral CaCO<sub>3</sub> ini. Reservoir panas bumi mengubah pH air panas menjadi netral, yang kemudian melarutkan sebagian kalsium dan karbonatnya, melalui reaksi berikut:



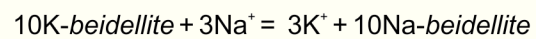
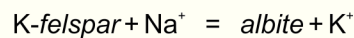
Pada permukaan manifestasi terjadi penurunan temperatur sampai kondisi "flashing atmosphere" yang diikuti pengendapan kembali membentuk sinter karbonat (CaCO<sub>3</sub>), seperti reaksi berikut:



Senyawa kimia pada air panas lainnya mengindikasikan adanya keterkaitan beberapa unsur atau senyawa kimia panas bumi dalam

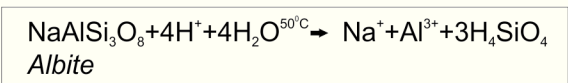
kondisi temperatur dan pH larutan yang dapat dijelaskan seperti berikut:

a). Mengacu kepada Grasby,dkk (2000), yang telah menjelaskan pengaruh interaksi/kontak fluida panas dengan batuan melibatkan unsur Natrium dan Kalium, pada kondisi temperatur tinggi dan pH netral, reaksi kimianya dalam air panas, seperti berikut:



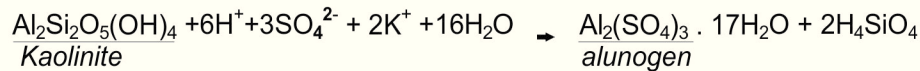
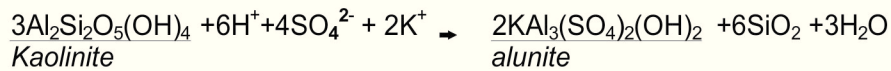
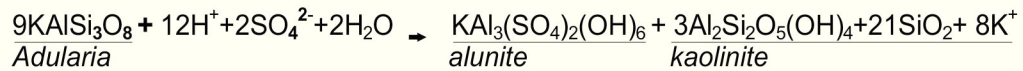
Air panas di daerah Sampuraga menunjukkan konsentrasi Na dan K, yang signifikan sesuai dengan reaksi kimia diatas.

b). Chen,dkk (1997), menjelaskan adanya pengaruh Temperatur pada 50°C atau lebih pada pH asam, terhadap kelarutan mineral albite yang reaksi kimianya seperti berikut:



Reaksi kimia ini sesuai dengan konsentrasi yang tinggi dari Na, Al, dan SiO<sub>2</sub> dalam APS 1.

c). Martin, dkk (2000), menjelaskan terbentuknya kation aluminium, dalam kondisi pH asam dari senyawa alumina yang mengandung aluminium, melalui mekanisme reaksi yang cukup panjang, seperti berikut:



Rangkaian reaksi kimia di atas, juga sesuai dengan kondisi APS 1, yang memiliki pH asam, temperatur tinggi (97°C), mengandung konsentrasi yang tinggi dari Al, SO<sub>4</sub>, dan SiO<sub>2</sub>. Diperkirakan pH dan temperatur mengontrol semua mekanisme reaksi kimia yang berlangsung.

## KESIMPULAN

Konsentrasi senyawa kimia terlarut secara kualitatif dan kuantitatif dalam air panas merupakan produk akhir dari proses yang alami. Pada umumnya aliran fluida panas pada temperatur tinggi berinteraksi dalam keseimbangan dengan jenis mineral tertentu pada batuan panas bumi, sehingga memberikan

indikasi konsentrasi tinggi untuk senyawa Si, Na, K yang erat kaitannya dengan temperatur dan pH mata air panas yang terukur di lapangan.

Pendugaan suhu reservoir dengan geotermometer yang mencapai 233°C menunjukkan bahwa sistem panas bumi di daerah Sampuraga memiliki tipe vulkanik *upflow* entalpi tinggi.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kepala Pusat Sumber Daya Geologi, Pejabat Pembuat Komitmen, dan Koordinator Kelompok Penyelidikan Panas Bumi atas izin yang diberikan untuk penggunaan laporan dalam pembuatan makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aldiss, D.T., Whandoyo, R., Ghazali, S.A. & Kusyono, 1983. Peta Geologi Lembar Sidikalang dan (sebagian) Sinabang, Sumatra (Geological Map of Sidikalang and Sinabang (part) sheets, Sumatra). Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, Skala 1: 250 000.
- Chen, Y., and Brantley, S.L., 1997, Temperature- and pH dependence of albite distribution rate at acid pH. *Chemical Geology*, V. 135, pp. 275-290.
- Giggenbach, W.F., and R.L. Goguel, 1989. Collection and analysis of geothermal and volcanic water and gas discharges [unpublished report]. Petone, New Zealand: Chemistry Division, Department of Scientific and Industrial Research, 81 p.
- Giggenbach, W.F., 1988, Geothermal Solute Equilibria Deviation of Na-K-Mg-Ca Geo- Indicators, *Geochemica Acta* 52. pp. 2749–2765.
- Grasby, S.E., Hutcheon, I., and Krouse, H.R., 2000, The influence of water-rock interaction on the chemistry of thermal springs in western Canada *Applied Geochemistry* V. 15, pp.147-154.
- Hochstein, M.P. (1990), "Classification and assessment of geothermal resources." In: Dickson MH and Fanelli M (eds) *Small geothermal resources*, UNITAEW NDP Centre for Small Energy Resources, Rome, Italy, pp. 31-59.
- Martin, R., Rodgers, K.A., and Browne, P.R.L., 2000, Aspects of the distribution and movement of aluminium in the surface of the Te Kopia geothermal field Taupo Volcanic Zone, New Zealand, *Applied Geochemistry*, V. 15, pp.1121-1136.

Diterima tanggal 11 Februari 2013  
Revisi tanggal 2 April 2013