



# Sertifikat

diberikan kepada :

**T. Listyani R.A.**

sebagai :

**PEMBICARA**

## Seminar

Pemanfaatan Peta Geokimia  
untuk Sumber Daya Mineral dan Lingkungan

Yogyakarta, 13 - 14 November 2012



Kepala Badan Geologi

Dr. R. Sukhyar

## **GEOKIMIA AIR, BATUAN DAN TANAH DI DAERAH PROSPEK PANAS BUMI GEDONGSONGO, KABUPATEN SEMARANG, JAWA TENGAH**

**T. Listyani R.A. & Ev. Budiadi  
STTNAS Yogyakarta**

### **Abstrak**

Daerah prospek panas bumi Gedongsongo terletak di daerah Ungaran, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. Berbagai manifestasi panas bumi muncul di daerah tersebut, di antaranya adalah air panas, batuan alterasi dan fumarol. Fenomena panas bumi menarik untuk diteliti, di antaranya tentang geokimia air, batuan maupun tanah di tempat tersebut, untuk melihat hubungannya dengan aktivitas panas bumi.

Adanya pemunculan mata air panas / hangat di sekitar G. Ungaran dapat dianalisis untuk mengetahui komposisi kimia, kualitas, tipe kimia, proses-proses hidrokimia serta hubungannya dengan sistem panas bumi di daerah tersebut. Contoh air yang dianalisis berasal dari mata air panas/hangat yang muncul di beberapa tempat di sekitar G. Ungaran, antara lain di Nglimut, Diwak, Kaliulo dan Kendalisodo dan Gedongsongo. Air panas dari Gedongsongo merupakan air asam sulfat hasil dari pemanasan oleh uap (*steam heated water*) dengan proses hidrokimia yang mempengaruhinya seperti *mixing dan simple dissolution*. Air panas dari Nglimut, Kendalisodo dan Diwak adalah merupakan air netral bikarbonat hasil percampuran (*mixing*) antara air geotermal dengan airtanah dangkal, dengan beberapa proses hidrokimia yang mempengaruhinya, antara lain proses pertukaran ion. Air panas di Kaliulo merupakan *end point water*, dengan tipe kimia natrium klorida, yang merupakan hasil dari *simple dissolution dan mixing* antara air meteorik dengan air konat.

Kandungan kimia airtanah yang berasal dari mataair normal dan panas terhadap batuan menunjukkan adanya korelasi yang cukup baik. Airtanah ini umumnya merupakan air sulfat dengan kandungan kimia dominan natrium, sulfat dan silika, dengan pH relatif asam dan kandungan magnesium, bikarbonat dan besi dalam jumlah sedikit. Senyawa / oksida kimia yang terkandung dalam batuan di daerah penelitian didominasi oleh silika, oksida aluminium dan oksida besi. Konsentrasi unsur / senyawa kimiawi dalam tanah / batuan di daerah penelitian didominasi oleh mineral-mineral penyusun batuan vulkanik menengah. Indikasi adanya prospek panas bumi ditunjukkan oleh beberapa mineral alterasi misalnya klorit, mineral lempung, karbonat dan endapan belerang. Geokimia batuan dan mataair di Gedongsongo saling terkait, menandai bahwa batuan di daerah penelitian sangat berpengaruh dalam memasok unsur / senyawa kimia dalam airtanah / mataair setempat, dengan berbagai proses hidrokimia seperti percampuran, pertukaran kation dan pengenceran.

Pengujian geokimia tanah dilakukan dengan melihat kadar CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan Hg (merkuri). Anomali kadar ketiga senyawa terjadi di beberapa tempat, menunjukkan *closure* di sekitar daerah Gedongsongo. Indikasi ini diinterpretasikan berhubungan erat dengan *rim structure* yang berupa sesar yang melingkari daerah Gedongsongo.

Kata kunci: geokimia, airpanas, proses hidrokimia, merkuri, Gedongsongo.

### **PENDAHULUAN**

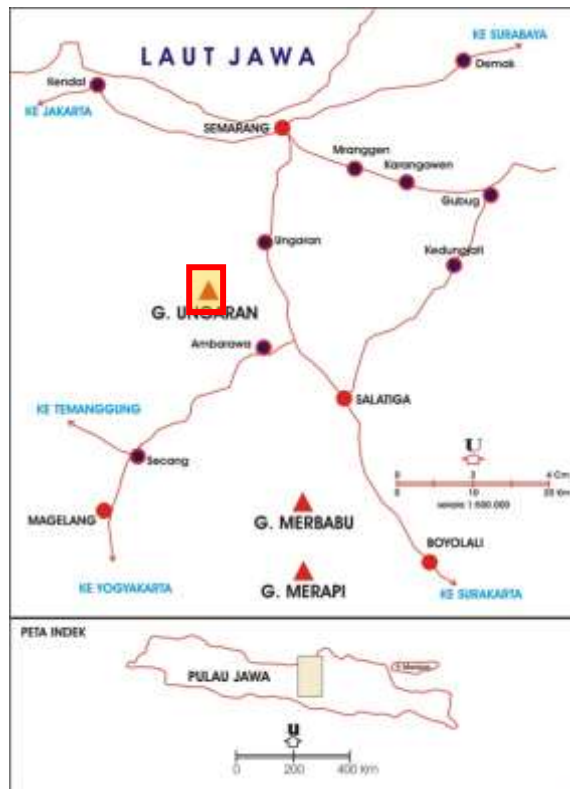
Daerah Provinsi Jawa Tengah termasuk salah satu daerah yang sangat prospek terhadap keberadaan panas bumi, hal ini ditunjukkan oleh banyaknya gunungapi Kuartar yang tersebar di wilayah Provinsi Jawa Tengah, misalnya G. Ungaran, di Kabupaten Semarang. Manifestasi panas bumi dari gunung ini dapat dijumpai terutama di daerah Gedongsongo. Manifestasi ini ditunjukkan antara lain dengan adanya mataair panas, fumarol, batuan alterasi dan sebagainya.

Daerah prospek panas bumi Gedongsongo terletak di Ungaran, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah (Gambar 1). Secara administratif daerah ini termasuk dalam wilayah Kecamatan Bawen, Bandungan dan Ambarawa. Secara geografis daerah penelitian termasuk dalam Peta Rupa Bumi Digital Indonesia, Lembar 1408-541 (Sumowono) dan Lembar 1408-542 (Ungaran) skala 1 : 25.000 yang dipublikasikan oleh Direktorat Geologi Bandung. Daerah yang termasuk dalam penelitian ini antara lain meliputi Desa Gondang, Kemawi, Bumen, Jubelan, Kenteng, Sidomukti, Munding, Jimbaran dan sekitarnya. Secara regional daerah penelitian termasuk

dalam Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, skala 1 : 100.000 yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung (1996).

Daerah Gedongsongo menempati wilayah pada ketinggian lebih kurang 1300 m di atas permukaan laut, dan terletak pada lereng bagian selatan dari Gunung Ungaran, salah satu gunungapi Kuartar yang berada di Provinsi Jawa Tengah. Daerah penelitian memiliki morfologi bergelombang lemah hingga perbukitan, dan beberapa tempat merupakan daerah wisata maupun perhutani.

Salah satu hal yang menarik di daerah Gedongsongo untuk diteliti adalah karakteristik geokimia air, batuan dan tanah yang tentunya dipengaruhi oleh aktivitas panas bumi di daerah tersebut. Geokimia air panas berguna untuk mengungkapkan proses / genesa terdapatnya kandungan kimiawi dalam batuan maupun airtanah di daerah tersebut.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian.

 Lokasi daerah penelitian.

## **METODE PENELITIAN**

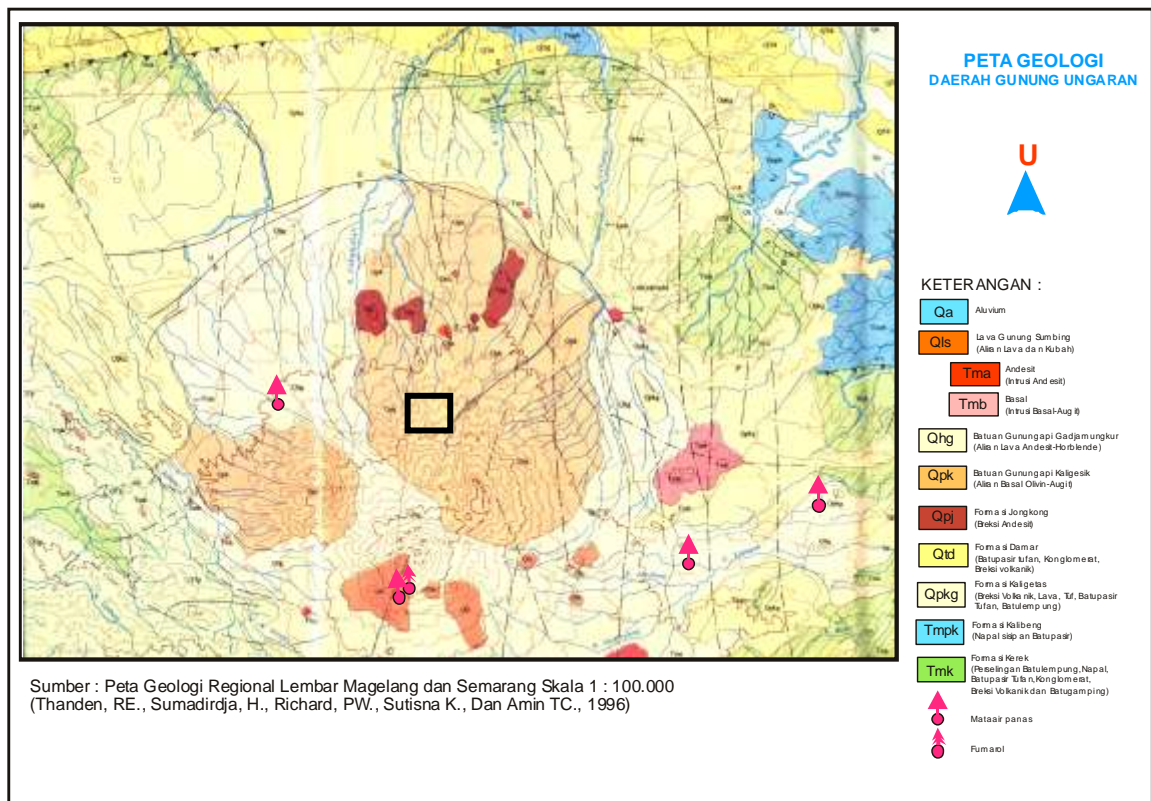
Geokimia air di daerah prospek panas bumi Gedongsongo diteliti berdasarkan data kimia air panas/hangat yang diperoleh data data sekunder maupun hasil survei geologi lapangan. Analisis kimiawi batuan didukung dengan analisis petrografi berguna untuk mengetahui komposisi mineral pembentuk batuan, genesa kandungan kimiawi batuan serta mengetahui adanya keterkaitan antara geokimia batuan dan airtanah di daerah penelitian.

## **GEOLOGI REGIONAL DAERAH UNGARAN**

Daerah penelitian terletak di daerah Ungaran dan sekitarnya, Jawa Tengah. Daerah ini termasuk dalam fisiografi regional Zone Kendeng (Van Bemmelen, 1949). Zone ini tergabung dalam fisiografi Antiklinorium Bogor – Serayu Utara – Kendeng. Bentang alam daerah G. Ungaran merupakan morfologi kerucut gunungapi, daerah perbukitan vulkanik dan hamparan

daerah dataran. Kerucut gunungapi menempati sebagian besar daerah kajian, terutama di bagian tengah. Morfologi kerucut ini tersusun oleh seri batuan vulkanik berkomposisi andesitik terdiri dari lava, breksi andesit dan batupasir vulkanik.

Stratigrafi di Komplek Gunung Ungaran berdasarkan peta geologi regional lembar Magelang dan Semarang (Sutisna & Amin, 1996) (Gambar 2), dapat dikelompokkan menjadi 5 kelompok yaitu (1) Kelompok Batuan Tersier yang terdiri dari Formasi Kerek terdiri dari perselingan batulempung, napal, batupasir tufan, konglomerat, breksi vulkanik dan batugamping, Formasi Kalibeng terdiri dari napal sisipan batupasir, (2) Kelompok Batuan Kuartar Sedimen meliputi Formasi Kaligetas terdiri dari breksi vulkanik, lava, tuf, batupasir, tufan dan batulempung, Formasi Damar tersusun oleh batupasir tufan, konglomerat dan breksi vulkanik, Formasi Jongkong tersusun oleh breksi andesit, (3) Kelompok Batuan Kuartar Aliran tersusun oleh Batuan Gunungapi Kaligesik tersusun oleh aliran lava basal olivin-augit, Batuan Gunungapi Gajahmungkur tersusun oleh aliran lava andesit-hornblende, lava Gunung Sumbing tersusun oleh aliran lava dan kubah, (4) Batuan intrusi terdiri dari basal tersusun oleh intrusi basal-augit, andesit tersusun oleh intrusi andesit dan (5) Aluvial tersusun oleh batuan lepas dari lempung sampai bongkah.



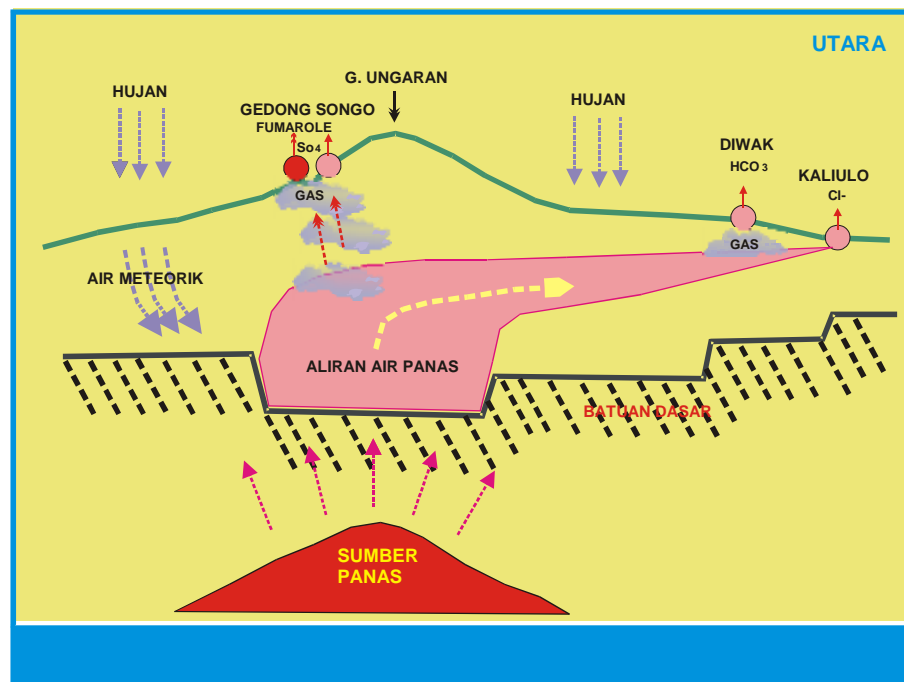
Gambar 2. Peta Geologi Regional Lembar Magelang dan Semarang (Sutisna & Amin, 1996).  
 □ Daerah penelitian.

Menurut Thanden dkk. (1975) struktur geologi Gunung Ungaran didominasi oleh adanya struktur *ring fracture* yang dapat ditemukan di bagian utara gunung itu. Kenampakan struktur *collapse structure* jelas terlihat di daerah sekitar Bandungan dan Sumowono (selatan dan barat daya G. Ungaran). Struktur-struktur ini nampak saling berpotongan membentuk sistem *rift fault* yang membuka ke arah utara dan timur laut. Aktivitas vulkanik G. Ungaran muda dikontrol oleh adanya *collapse structure* tersebut (Trend Team Jawa – IBT, 1997).

### Tinjauan Panas Bumi Gedongsongo

Manifestasi panas bumi Gedongsongo menunjukkan adanya prospek untuk dikembangkan ke arah eksplorasi. Hal ini didukung adanya manifestasi panas bumi seperti: fumarol (suhu  $89,7^{\circ}\text{C}$ ), mataair panas (suhu berkisar  $61,4^{\circ}\text{C} - 71,6^{\circ}\text{C}$ ), mataair hangat (suhu berkisar  $45^{\circ}\text{C} - 46^{\circ}\text{C}$ ), bualan gas (*bubble gas*) terukur berkisar  $33^{\circ}\text{C} - 37^{\circ}\text{C}$  dan batuan alterasi berupa argilit. Model daerah panas bumi daerah ini secara sederhana telah dibuat oleh STTNAS dan Dinas P & E Jateng, 2004 (Gambar 3).

Sudradjat dan Sulaksana (2003), menyatakan bahwa manifestasi panas bumi di daerah Gedongsongo ini terdiri dari fumarol, mataair panas, mataair hangat, bualan gas (*bubble gas*) dan batuan teralterasi. Gedongsongo termasuk di dalam wilayah Kecamatan Bandungan, Kabupaten Semarang. Daerah ini menempati ketinggian lebih kurang 1300 m di atas permukaan laut dan terletak di lereng bagian selatan dari Gunung Ungaran. Daerah ini telah dimanfaatkan sebagai obyek geowisata. Suhu udara di daerah ini  $24,9^{\circ}\text{C}$ . Manifestasi panas bumi di daerah ini terletak di sepanjang sungai yang relatif lurus dengan arah  $\text{N } 5^{\circ} \text{ E}$ . Kekar yang dijumpai mempunyai arah  $\text{N}100^{\circ}\text{E}/70^{\circ}$ . Fumarol muncul di bagian lembah dan bagian barat dari tebing sungai dan mempunyai hembusan gas relatif konstan dengan suhu  $89,7^{\circ}\text{C}$ . Mataair panas mempunyai air keruh dan berlumpur dengan warna lumpur abu-abu keputihan, menempati pada bagian lembah sungai bagian barat dan timur. Suhu mataair ini berkisar  $61,4^{\circ}\text{C} - 71,6^{\circ}\text{C}$ . Mataair hangat mempunyai air keruh dan sedikit berlumpur dengan warna lumpur abu-abu keputihan, menempati pada lembah bagian timur. Suhu berkisar  $45^{\circ}\text{C} - 46^{\circ}\text{C}$ . Bualan gas ditunjukkan oleh keluarnya gas-gas pada permukaan air dan tebing bagian bawah yang terletak di bagian selatan melewati rekahan-rekahan kecil. Suhu bualan gas ini berkisar antara  $33^{\circ}\text{C} - 37^{\circ}\text{C}$ . Pada pemunculan fumarol, mataair panas dan mataair hangat terdapat adanya endapan sulfur yang berwarna kuning. Batuan alterasi menempati di bagian lembah sampai bagian atas dari tebing sungai dengan pelamparan lebih kurang 30 m, warna abu-abu kehitaman. Tipe alterasi batuan di daerah ini umumnya berupa argilitisasi. Alterasi ini mengenai pada batuan gunungapi yang berupa breksi dan lava.



Gambar 3. Skematik model daerah panas bumi Ungaran pada arah barat laut – tenggara (STTNAS dan Dinas P & E Jateng, 2004).

## GEOKIMIA AIRPANAS GEDONGSONGO DAN SEKITARNYA

Air panas di daerah Gedongsongo merupakan air asam sulfat yang berada di atas *brine reservoir* sistem panas bumi. Tingginya sulfat pada air panas tersebut sebagai akibat pemanasan oleh uap air panas bumi terhadap air meteorik atau adanya kondensasi uap asam di bawah permukaan. Sementara itu, air panas di bagian lain dari G. Ungaran umumnya menunjukkan tipe netral bikarbonat yang merupakan *mixed meteoric condensate water* dan terletak lebih jauh dari reservoir panas bumi G. Ungaran.

Kondisi geologi dan tipe manifestasi panasbumi permukaan mengindikasikan bahwa sistem panas bumi di daerah prospek Ungaran merupakan sistem panas bumi yang didominasi oleh air panas/*hot water dominated system* dan berasosiasi dengan sistem gunungapi Kuarter.

### a. Komposisi kimia Air panas

Data komposisi kimia air (Tabel 1 dan 2) menunjukkan bahwa secara garis besar terdapat dua kelompok mataair panas, yaitu kelompok asam dan kelompok netral. Kelompok asam hanya dijumpai di sekitar fumarol Gedongsongo sedangkan kelompok mataair panas netral terdapat di Diwak, Nglimut dan Kendalisodo.

Tabel 1. Data kimia air panas beberapa mataair di Ungaran (Trend Team Jawa, 1997).

No.	Item	Gedongsongo	Kendalisodo	Diwak	Kaliulo	Nglimut
1.	Elevasi (m)	1300	-	475	475	975
2.	Debit (l/dtk)	2,5	-	2	1,5	3,5
3.	Temperatur (°C)	68	-	48	48	46
4.	pH	2,42	7,3	8,69	7,08	6,70
5.	EC (µmhos/cm)	2290	2250	1680	24000	2100
6.	Na (ppm)	140	171	132	5300	113
7.	K (ppm)	37	44	33	213,3	29
8.	Ca (ppm)	27	2	28	60	152
9.	Mg (ppm)	4	184	104	42	95
10.	NH <sub>4</sub> (ppm)	0,86	-	0,6	0,05	2,20
11.	Fe (ppm)	75	2	0,03	0,02	0,03
12.	Li (ppm)	0,08	1,25	0,31	3,9	0,28
13.	As (ppm)	0,01	-	0,01	0,01	0,01
14.	Br (ppm)	0,1	n.a.	0,5	n.a.	0,1
15.	I (ppm)	0,01	n.a.	0,01	n.a.	0,01
16.	F (ppm)	n.a.	1,2	n.a.	1	n.a.
17.	Cl (ppm)	92	114	128	5900	94
18.	SO <sub>4</sub> (ppm)	955	8	10	9	7
19.	HCO <sub>3</sub> (ppm)	-	1309	804	4500	1171
20.	B (ppm)	0,05	1,1	7,4	250	7
21.	SiO <sub>2</sub> (ppm)	230	150	110	40	105
22.	Tipe kimia air	Na-Sulfat	Na-bikarbonat	Na-bikarbonat	Na-klorida bikarbonat	Na-Ca-bikarbonat

Tabel 2. Komposisi kimia mataair panas di Gedongsongo, Diwak dan Kaliulo (Dinas Pertambangan & Energi Jawa Tengah – STTNAS, 2004).

SENYAWA / UNSUR	GEDONGSONGO	DIWAK	KALIULO
Na <sup>+</sup>	135,48	161,04	5.483,87
K <sup>+</sup>	17,93	31,74	231,25
Li <sup>+</sup>	1,79	3,00	17,97
Ca <sup>++</sup>	0,00	175,01	65,84
Mg <sup>++</sup>	86,00	118,51	34,00
Fe <sup>+++</sup>	38,31	0,00	0,00
As <sup>---</sup>	0,41	1,54	0,90
SiO <sub>2</sub>	129,66	73,50	52,08
B	4,50	8,00	93,65
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,00	1.408,90	3.256,81
Cl <sup>-</sup>	15,85	130,51	5.799,48
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	4.316,55	5,86	29,37
F <sup>-</sup>	2,00	1,00	1,50
NH <sub>3</sub>	1,60	1,40	7,80
pH	2,48	6,60	7,22
DHL Umhos/cm	6.680,00	2.150,00	19.640,00

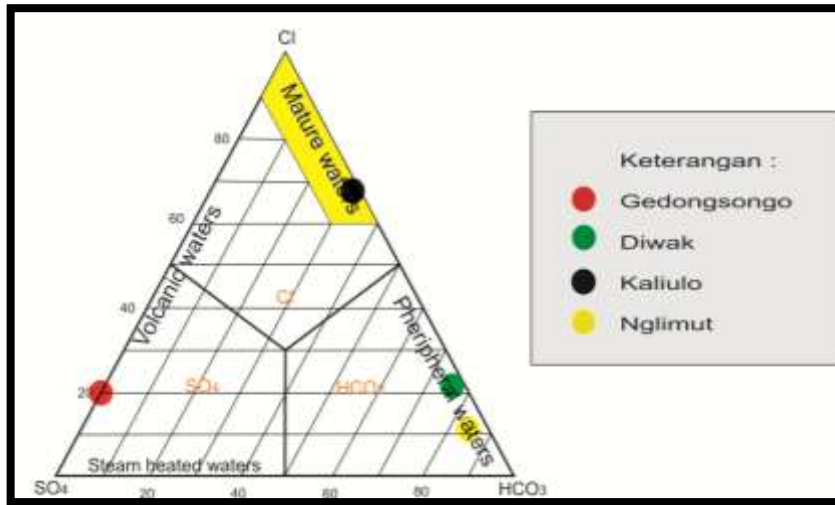
Dari Tabel 1 dan 2 di atas terlihat bahwa senyawa sulfat sangat mendominasi komposisi air panas di daerah Gedongsongo dengan nilai daya hantar listrik yang sangat besar. Selain senyawa sulfat maka air panas di sini juga mengandung besi sangat tinggi dibandingkan dengan mataair panas dari daerah lain yang mempunyai pH netral. Hal ini disebabkan oleh proses pelarutan batuan oleh fluida asam dan tidak terjadi kesetimbangan membentuk mineral sekunder.

Airpanas dari Kaliulo mempunyai kandungan boron (B) sangat tinggi dibanding air panas dari tempat lain. Nilai boron yang tinggi ini pada umumnya disebabkan karena adanya kontribusi dari sedimen laut. Selain boron, kandungan sodium (Na) dan klorida (Cl) airpanas Kaliulo juga lebih tinggi dibandingkan airpanas dari daerah lain.

Kandungan bikarbonat (HCO<sub>3</sub>) di Diwak dan Kaliulo sangat tinggi dibandingkan dengan air panas di Gedongsongo, hal ini disebabkan karena lokasinya yang berada di bagian tepi sistem panasbumi dan sudah mengalami pencampuran dengan air tanah dangkal.

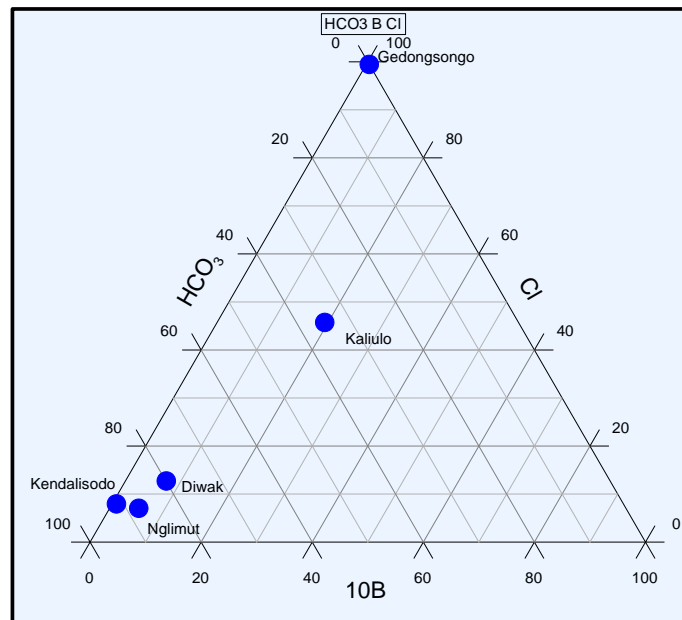
### Interpretasi Geokimia Air panas G. Ungaran

Gedongsongo merupakan daerah manifestasi paling aktif dibanding daerah lain disekitar G.Ungaran seperti Diwak, Kendalisodo, Kaliulo dan Nglimit. Gedongsongo terletak di lereng selatan G. Ungaran dengan elevasi sekitar 1200 mdpl. Manifestasi panas bumi di Gedongsongo terdiri dari fumarol dan mataair panas asam, sedangkan di area lain terletak di daerah dengan elevasi yang jauh lebih rendah. Tipe air panas diklasifikasikan berdasarkan kandungan anion utama SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> dan Cl. Dari plot diagram segitiga SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>-Cl (Gambar 4) menunjukkan bahwa air panas dari Gedongsongo merupakan air asam sulfat hasil dari pemanasan oleh uap (*steam heated water*), sedangkan air panas dari Nglimit, Kendalisodo dan Diwak adalah tipe bikarbonat hasil percampuran (*mixing*) antara air geotermal dengan airtanah dangkal. Air panas dari Kaliulo jatuh di daerah air klorida. Namun dengan mempertimbangkan bahwa mata air panas di Kaliulo berasosiasi dengan endapan travertin, kandungan Na, Cl dan B tinggi maka kemungkinan air dari Kaliulo ini bukanlah air klorida yang berasal dari reservoir. Kemungkinan kandungan karena adanya kontaminasi dengan air formasi dari sedimen Tersier yang berada di sekitar daerah tersebut. Dengan kondisi tersebut maka komposisi kimia air panas tersebut tidak bisa digunakan untuk menghitung geotermometer.



Gambar 4. Diagram segitiga Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> daerah Ungaran.

Karena jenis air yang ada adalah air yang telah bercampur maka untuk menginterpretasi sistem panas bumi di G. Ungaran harus menggunakan rasio antar unsur untuk meminimalkan pengaruh pengenceran karena pencampuran. Untuk itu digunakan plot segitiga HCO<sub>3</sub>-10B-Cl (Gambar 5). Hasil plot diagram HCO<sub>3</sub>-10B-Cl menunjukkan bahwa air yang mengalir ke mataair panas merupakan tipe air yang sama berasal dari sistem geotermal G. Ungaran. Perbedaan kandungan boron (B) disebabkan karena interaksi dengan batuan yang berbeda.

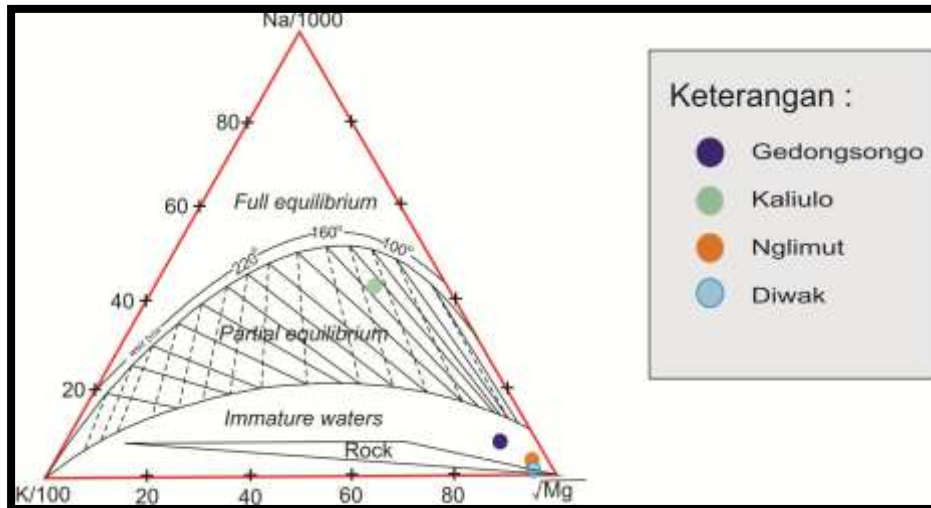


Gambar 5. Plot HCO<sub>3</sub>-10B-Cl air panas dari Ungaran untuk mengetahui homogenitas air di manifestasi yang ada (data dari Tabel 1).

Plot diagram Na-K-Mg (Gambar 6) menunjukkan bahwa air di Diwak, Nglimut dan Gedongsongo merupakan air *immature*. Air dari Kaliulo dalam plot diagram ini jatuh di daerah partial equilibrium, namun jumlah unsur Na di air ini kemungkinan berasal dari hasil interaksi



dengan batuan sedimen. Maka komposisi kimia air ini tidak bagus untuk menghitung geotermometer, jika digunakan maka akan memberikan suhu yang sangat rendah sekitar 160°C.



Gambar 6. Plot diagram segitiga Na-K-Mg daerah Ungaran.

Budiardjo dkk. (1997) menginterpretasi komposisi air panas di daerah Ungaran dapat dibagi menjadi dua macam berdasarkan asal-usulnya, yaitu *steam heated meteoric water* dan air panas netral sodium bikarbonat-klorida yang merupakan *outflow* dari reservoir panas bumi G. Ungaran. Anomali konsentrasi sodium, klorida dan boron yang tinggi di Kaliulo menandai adanya pengaruh *connate water* yang terperangkap dalam batuan vulkanik laut Tersier. Hampir semua mataair panas menunjukkan kandungan bikarbonat yang tinggi, yang kemungkinan disebabkan oleh air laut (Tabel 1 & Gambar 4).

### Geotermometer Kimia

Prospek panasbumi dapat dilihat berdasarkan suhu reservoir yang bisa dihitung berdasarkan kandungan kimia air panas menggunakan metode Fournier dan Giggenbach. Rumus Geotermometer yang dapat dipakai untuk menghitung suhu reservoir antara lain:

1. Geotermometer Na/K (Giggenbach)

$$t^{\circ} = \frac{1390}{(\log(\text{Na/K}) + 1.750)} - 273$$

2. Geotermometer SiO<sub>2</sub> /silika (Fournier)

$$t^{\circ} = \frac{1390}{5.19 - \log \text{SiO}_2} - 273$$

Dari perhitungan suhu reservoir beberapa lokasi manifestasi panasbumi (Tabel 3) menunjukkan bahwa prospek panasbumi yang mempunyai suhu tinggi (>225°C) meliputi daerah Gedongsongo, Diwak dan Nglimit (Dinas Pertambangan & Energi Jateng & STTNAS, 2003). Reservoir yang mempunyai suhu sedang (125 – 225°C) adalah di daerah Kaliulo.

Tabel 3 : Perhitungan temperatur reservoir menggunakan metode Giggenbach dan Fournier.

PERHITUNGAN SUHU RESERVOIR MENGGUNAKAN GEOTERMOMETER Na/K DAN SiO <sub>2</sub>							
Na/K (Metode Giggenbach), SiO <sub>2</sub> (Metode Fournier)							
NO	DAERAH	Na	K	SiO <sub>2</sub>	FOURNIER	GIGGENBACH	TEMPERATUR RESERVOIR
1	Gedongsongo	135.48	17.93	129.66	178.710229	255.8599848	Tinggi
2	Diwak	161.04	31.74	73.5	145.20703	293.1160778	Tinggi
3	Kaliulo	5483.87	231.25	52.08	127.192435	171.79923	Sedang
4	Nglimut	145.00	26.77	93.55	158.816996	286.6444875	Tinggi

Sementara itu, Widarto dkk. (2208) memperoleh harga suhu reservoir daerah Gedongsongo berkisar dari 120° hingga 238,79°C berdasarkan pada persamaan empiris geotermometer kimia dari unsur silika, Na/K dan hubungan Na-K-Ca.

### KORELASI GEOKIMIA AIR DAN BATUAN DAERAH GEDONGSONGO

Satu contoh batuan teralterasi yang diambil di dekat fumarol di Gedongsongo telah diuji kandungan kimiawinya, khususnya oksida utamanya di Dinas Volkanologi, Yogyakarta (Tabel 4).

Tabel 4. Data kandungan kimiawi batuan yang diteliti setelah dikonversi menjadi 100% tanpa volatil.

No.	Senyawa Kimia	Jumlah (ppm)	Jumlah (ppm)
1.	SiO <sub>2</sub>	66,34	58,01
2.	K <sub>2</sub> O	2,88	2,90
3.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,42	20,20
4.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,31	7,07
5.	MnO	0,10	0,22
6.	MgO	1,64	2,00
7.	CaO	4,02	4,29
8.	Na <sub>2</sub> O	3,21	3,21
9.	TiO <sub>2</sub>	0,66	0,59
10.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,26



Gambar 4. Manifestasi panas bumi Gedongsongo berupa batuan vulkanik teralterasi dan fumarol.

Data sekunder tentang komposisi kimia air dari mataair panas di Gedongsongo diperoleh disajikan pada Tabel 5 berikut ini. Data kimia air dan batuan digunakan untuk melihat korelasi geokimia air – batuan di daerah penelitian. Hubungan antara kandungan kimia dalam air dan batuan disajikan dalam grafik pada Gambar 5 dan 6 berikut ini.

Tabel 5. Kandungan kimiawi airtanah di daerah penelitian.

No.	Komposisi kimia	Konsentrasi (ppm)				
		1	2	3	4	5
1.	Na <sup>+</sup>	140	14	135,48	19,53	10,73
2.	K <sup>+</sup>	37	6	17,93	11,64	4,43
3.	Ca <sup>2+</sup>	27	32	0	-	-
4.	Mg <sup>2+</sup>	4	5	86	4,47	2,32
5.	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	79	0	63,14	42,38
6.	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	955	79	4316,55	77,72	44,44
7.	Cl <sup>-</sup>	92	1	15,85	38,38	16,11
8.	Al	-	-	-	0	0
9.	Fe	75	0,03	38,31	0	0
10.	Mn	-	-	-	0,51	0
11.	SiO <sub>2</sub>	230	120	129,66	130,88	68,91
12.	pH	2,42	5,54	2,48	5,8	4,8

Keterangan : contoh 1 – 4 : mataair panas; 5: mataair normal

Sumber : 1. Trend Team Jawa – IBT (1997).

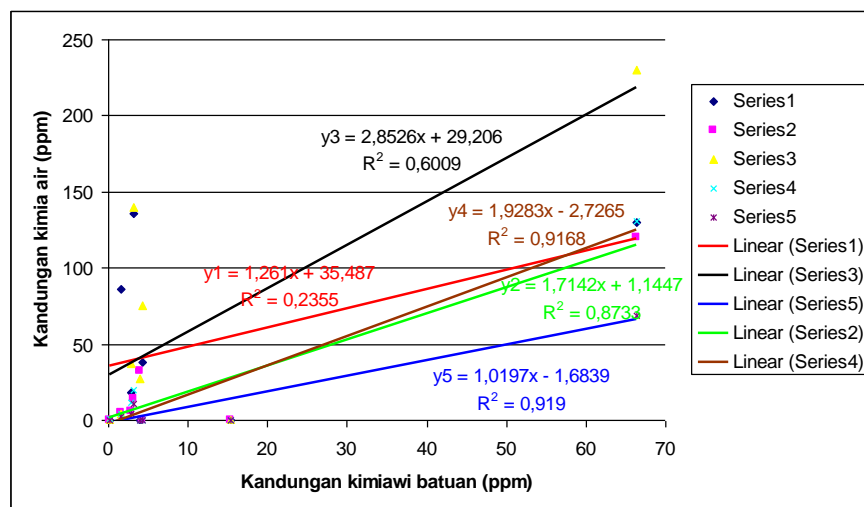
2. Budiardjo dkk. (1991).

3. Dinas Pertambangan & Energi Provinsi Jawa Tengah – STTNAS (2003).

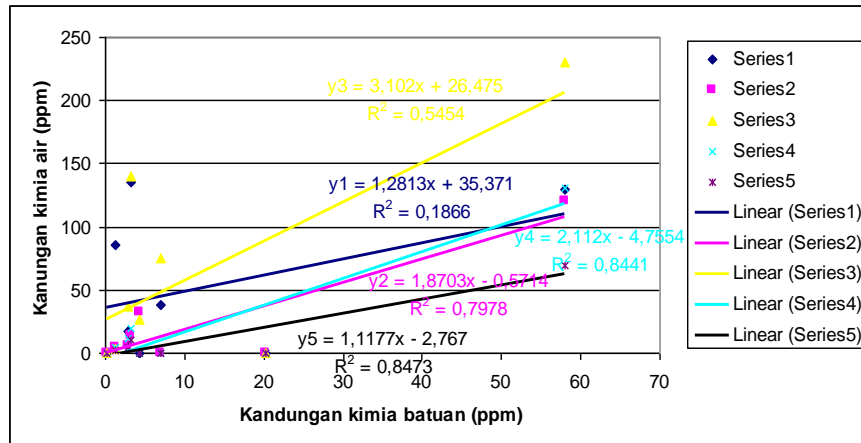
4, 5. Penulis (2007).

Air dari mataair panas maupun normal umumnya merupakan air sulfat dengan kandungan kimia dalam air yang didominasi natrium dan sulfat. Magnesium dan ion bikarbonat juga hadir walaupun dalam jumlah yang lebih kecil. pH air relatif asam dengan beberapa ion besi pada beberapa contoh air. Silika juga hadir dalam jumlah yang cukup.

Batuan vulkanik yang menyusun daerah Gedongsongo tersingkap sebagai lava andesit, basalt serta breksi vulkanik. Batuan ini disusun oleh plagioklas, piroksen, hornblende, mineral opak dan gelas vulkanik yang umumnya telah mengalami alterasi. Beberapa mineral sekunder hasil alterasi seperti klorit, mineral lempung dan sedikit karbonat turut berperan dalam proses terlarutnya unsur / senyawa dalam airtanah yang muncul sebagai mataair panas maupun normal di daerah penelitian.



Gambar 5. Hubungan kandungan kimiawi dalam batuan (contoh 1) dan air.



Gambar 6. Hubungan kandungan kimiawi dalam batuan (contoh 2) dan air.

Senyawa / oksida kimia yang terkandung dalam batuan di daerah penelitian didominasi oleh silika, oksida aluminium dan oksida besi. Sulfat tidak tampak dari contoh batuan yang diteliti karena unsur ini hilang dibakar.

Konsentrasi unsur / senyawa kimiawi dalam tanah / batuan di daerah penelitian didominasi oleh mineral-mineral penyusun batuan vulkanik *intermediate*. Indikasi adanya prospek panas bumi di Gedongsongo ini ditunjukkan oleh beberapa mineral sekunder hasil alterasi mineral utama menjadi klorit, mineral lempung dan sedikit karbonat. Endapan belerang tampak menyusun batuan yang tersingkap sebagai selimut / *coating* di permukaan.

Korelasi yang cukup baik antara kandungan kimiawi airtanah dari mataair yang diteliti dengan batuan menunjukkan hubungan yang cukup baik antara kedua material itu. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan kimiawi air yang diteliti sangat didukung oleh keberadaan mineral pada batuan yang menyusun daerah penelitian. Dalam suatu lapangan panasbumi, tentunya komposisi batuan induk maupun batuan reservoir juga perlu diperhitungan sebagai pemasok unsur / senyawa kimia pada airtanah. Melalui rekahan, kekar maupun sesar maka airtanah dapat muncul di permukaan sebagai mataair dengan berbagai sifat kimia yang ada, yang mengalami berbagai pengaruh dari reservoir panas bumi, pencucian / *leaching* batuan formasi maupun pengenceran / *dilution* oleh air meteorik. Kandungan logam berat juga mungkin berasal dari *leaching* batuan sedimen selama airtanah melintasinya sebelum muncul sebagai mataair di daerah penelitian.

Geokimia batuan dan mataair di Gedongsongo saling terkait , ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi yang cukup bagus. Hal ini menandai bahwa batuan di daerah penelitian sangat berpengaruh dalam memasok unsur / senyawa kimia dalam airtanah / mataair setempat.

## GEOKIMIA TANAH

Geokimia tanah daerah Gedongsongo diteliti dengan melakukan analisis kandungan H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> dan merkuri (Hg) tanah. Penentuan jumlah CO<sub>2</sub> dilakukan langsung di lapangan sedangkan harga kandungan H<sub>2</sub>O, dan Hg dianalisis di laboratorium BPPTK Yogyakarta dari 70 sampel tanah (Dinas Pertambangan & Energi Jateng & STTNAS, 2004). Pekerjaan lapangan tersebut diperlihatkan pada Gambar 7).

Anomali Hg yang relatif tinggi merupakan ciri khas suatu struktur yang berhubungan dengan sumber air panas bumi (Capoana dan Rampord, 1976, dalam Pertamina, 1988). Hal itu menyatakan bahwa aktivitas panas bumi di bawah permukaan yang dicerminkan oleh anomali Hg mempunyai kaitan erat dengan sesar.



Gambar 7. Foto pengambilan sampel dan pengujian geokimia tanah.

Pemunculan Hg dan CO<sub>2</sub> lebih banyak dikontrol oleh sesar karena Hg ditransfer ke permukaan oleh perbedaan suhu dari dalam bui melalui zona-zona yang lemah. Anomali kedua unsur tersebut memberikan indikasi adanya potensi hidrotermal.

Konsentrasi Hg pada tanah yang diteliti memiliki harga rata-rata 122,74 ppb. Anomali terjadi di sebelah barat laut Gedongsongo. Anomali ini diduga terjadi akibat sesar yang mendorong keluarnya larutan hidrotermal sehingga mengakibatkan akumulasi endapan Hg yang cukup besar di tanah. Anomali CO<sub>2</sub> terdapat di beberapa stasiun pengamatan dengan konsentrasi maksimum mencapai >250%. Anomali H<sub>2</sub>O dijumpai pada beberapa stasiun sebesar 12,62%, 12,56% dan 12,02%.

Peta penyebaran konsentrasi Hg, CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O menunjukkan *closure* di beberapa tempat di sekitar daerah Gedongsongo. Indikasi ini diinterpretasikan berhubungan erat dengan adanya *rim structure* yang berupa sesar yang melingkari daerah Gedongsongo.

## KESIMPULAN

Geokimia air, tanah dan batuan di daerah prospek panas bumi Gedongsongo dipengaruhi oleh aktivitas panas bumi tersebut. Air panas dari Gedongsongo merupakan air asam sulfat hasil dari pemanasan oleh uap (*steam heated water*), sedangkan air panas dari Nglimut, Kendalisodo dan Diwak adalah tipe bikarbonat hasil pencampuran (*mixing*) antara air geotermal dengan airtanah dangkal. Air panas di Gedongsongo terbentuk sebagai *steam heated meteoric water* dengan proses hidrokimia yang mempengaruhinya seperti *mixing dan simple dissolution*. Air panas di Nglimut, Diwak, Kaliulo dan Kendalisodo merupakan air netral bikarbonat yang terjadi akibat pengenceran dari air meteorik dengan beberapa proses hidrokimia yang mempengaruhinya, antara lain proses pertukaran ion. Air panas di Kaliulo merupakan *end point water*, dengan tipe kimia natrium klorida, yang merupakan hasil dari *simple dissolution* dan *mixing* antara air meteorik dengan air konat.

Kandungan kimia airtanah yang berasal dari mataair normal dan panas terhadap batuan menunjukkan adanya korelasi yang cukup baik. Airtanah ini umumnya merupakan air sulfat dengan kandungan kimia dominan natrium, sulfat dan silika, dengan pH relatif asam dan kandungan magnesium, bikarbonat dan besi dalam jumlah sedikit. Senyawa / oksida kimia yang terkandung dalam batuan di daerah penelitian didominasi oleh silika, oksida aluminium dan oksida besi. Konsentrasi unsur / senyawa kimiawi dalam tanah / batuan di daerah penelitian didominasi oleh mineral-mineral penyusun batuan vulkanik menengah. Indikasi adanya prospek panas bumi ditunjukkan oleh beberapa mineral alterasi mineral utama menjadi klorit, mineral lempung, karbonat dan endapan belerang. Geokimia batuan dan mataair di Gedongsongo saling terkait, menandai bahwa batuan di daerah penelitian sangat berpengaruh dalam memasok unsur

/ senyawa kimia dalam airtanah / mataair setempat, dengan berbagai proses hidrokimia seperti pencampuran, pertukaran kation dan pengenceran.

Pengujian geokimia tanah dilakukan dengan melihat kadar CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan Hg (merkuri). Konsentrasi Hg pada tanah di Gedongsongo memiliki harga rata-rata 122,74 ppb, dengan anomali terjadi di sebelah barat laut Gedongsongo. Anomali CO<sub>2</sub> terdapat di beberapa stasiun pengamatan dengan konsentrasi maksimum mencapai >250% di barat Gedongsongo. Peta penyebaran konsentrasi Hg, CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O menunjukkan *closure* di beberapa tempat di sekitar daerah Gedongsongo. Indikasi ini diinterpretasikan berhubungan erat dengan *rim structure* yang berupa sesar yang melingkari daerah Gedongsongo.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Budiardjo, B., Nugroho dan Budihardi, M., 1997, Resources Characteristics of the Ungaran Field, Central Java, Indonesia, *Proceeding of National Seminar of Human Resources Indonesian Geologist*, Yogyakarta.
- Dinas Pertambangan dan Energi Jawa Tengah – Geomap, 2005, *Survai Landaian Suhu di Kompleks Panas bumi Gedongsongo, Kabupaten Semarang*, Laporan Akhir, tidak dipublikasikan.
- Dinas Pertambangan dan Energi Jawa Tengah – Geomap, 2006, *Survai dan Penyusunan Profil Energi Panas bumi Jawa Tengah*, Laporan Akhir, tidak dipublikasikan.
- Dinas Pertambangan dan Energi Jawa Tengah – STTNAS, 2003, Penelitian dan Pengembangan Panas Bumi pada Gunungapi Kuarter di Kabupaten Karanganyar, Semarang, Banyumas, Wonosobo, Banjarnegara Dan Tegal Propinsi Jawa Tengah, Laporan Akhir,
- Dinas Pertambangan dan Energi Jawa Tengah – STTNAS, 2004, *Pengembangan Pemanfaatan Energi Panas bumi (Survei Geofisika) di Kompleks Panas bumi Gedongsongo, Kabupaten Semarang*, Laporan Akhir, tidak dipublikasikan.
- Dinas Pertambangan dan Energi Jawa Tengah – STTNAS, 2004, *Pengembangan Pemanfaatan Energi Panas bumi (Survei Geokimia) di Kompleks Panas bumi Gedongsongo, Kabupaten Semarang*, Laporan Akhir, tidak dipublikasikan.
- Dinas Pertambangan dan Energi Jawa Tengah, 2009, *Dokumen Teknis WKP Panas bumi G. Ungaran, Kabupaten Semarang dan Kabupaten Kendal, Provinsi Jawa Tengah*, Pan. Lelang WKP Panas bumi G. Ungaran, Jateng.
- Giggenbach, W.F. and Goguel, R.L., 1989, *Collection and Analysis of Geothermal and Volcanic Water and Gas Discharge*, Chemistry Division D.S.I.R. New Zealand, Report, CD 2401, 80 p.
- Pertamina - Sarana Multi Karsa, 1993, *Scientific Model of Geothermal System of Ungaran Area – Central Java Province*, Final Report, Jakarta.
- Thanden RE., Sumadirdja H., Richard PW., Sutisna K. dan Amin TC., 1996, *Peta Geologi Regional Lembar Magelang dan Semarang*, skala 1 : 100.000, Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Trend Team Jawa – IBT, 1997, *Prospek Panas Bumi Daerah Ungaran Jawa Tengah*, Dinas Eksplorasi Panas bumi – Pertamina, Jakarta.

Van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, Vol. 1A, Martinus Nijhoff, The Hague, Netherland.

Widarto, D.S., Indarto, S. Dan Gaffar, E.Z., 2008, Hasil Awal Geotermometri Kimia Airpanas Lapangan Panasbumi Gedngsong di Lereng Selatan Gunung Ungaran, Jawa Tengah, LIPI, Bandung.