

## STUDI KANDUNGAN DAN TEMPERATUR GAS PANAS BUMI KAMOJANG DENGAN DIAGRAM GRID

Neneng Laksminingpuri dan Agus Martinus  
Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi - BATAN  
E-mail : laksmi@batan.go.id

### ABSTRAK

**STUDI KANDUNGAN DAN TEMPERATUR GAS PANAS BUMI KAMOJANG DENGAN DIAGRAM GRID.** Telah dilakukan studi kandungan dan temperatur gas panas bumi Kamojang menggunakan diagram grid. Gas dalam panas bumi ada yang dapat larut (*condensable gas*) dan tidak dapat larut (*non condensable gas*) dalam NaOH. Gas-gas yang dapat larut seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S dianalisis dengan metode titrasi, sedangkan gas-gas yang tidak dapat larut seperti He, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar dan CH<sub>4</sub> dianalisis dengan metode kromatografi gas. Hasil analisis gas menunjukkan bahwa gas yang dominan pada lapangan panas bumi Kamojang adalah gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S. Selanjutnya hasil analisis gas tersebut dapat diaplikasikan untuk penentuan temperatur *reservoir* panas bumi (geothermometer gas) dengan menggunakan diagram grid, hasil perhitungan temperatur menunjukkan bahwa temperatur reservoir panasbumi Kamojang mendekati temperatur pada sistem dominasi uap yaitu sekitar 177- 253,4 °C dan secara statistik tidak ada beda signifikan antara temperatur perhitungan dan temperatur faktual.

**Kata kunci :** panas bumi, temperatur, *reservoir*, kromatografi gas

### ABSTRACT

**STUDY OF GAS CONTENT AND TEMPERATURE KAMOJANG GEOTHERMAL USING GRID DIAGRAM.** Study of gas content and temperature Kamojang geothermal using grid diagram was carried out. Gas in geothermal which is condensable and non condensable in NaOH. Condensable gases like CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S analyzed by titration method, meanwhile non condensable gases like He, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar and CH<sub>4</sub> analyzed by gas chromatography method. The result shows that the dominant gases in Kamojang geothermal fields are CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S. Furthermore the result of gas analysis can be applied for temperature reservoir geothermal measuring (gas geothermometer) by using grid diagram, the result shows that reservoir temperature Kamojang geothermal close to the temperature at vapour and liquid system that is around 177- 253,4 °C and statistically there is no significant different between calculation temperature and factual temperature.

**Key words :** geothermal, temperature, reservoir, gas chromatography

### PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumberdaya panas bumi terbesar di dunia, dengan hampir 40 persen sumberdaya global yang sudah diketahui. Diperkirakan Indonesia memiliki potensi listrik sebesar 27.000 Megawatt, hampir setara dengan total pasokan listrik nasional saat ini. Cepatnya pertumbuhan ekonomi membuat kebutuhan listrik naik pesat, sehingga meningkatkan penggunaan panas bumi menjadi hal yang penting.

Karena itu, pemerintah Indonesia menjadikan pengembangan energi panas bumi sebagai prioritas.

Sektor energi Indonesia masih mengalami kesulitan memenuhi kebutuhan listrik akibat pertumbuhan ekonomi yang pesat. Sebagai akibatnya, pemadaman sering terjadi yang berdampak buruk bagi ekonomi dan konsumen.

Melihat kebutuhan listrik harus cepat dipenuhi, pada tahun 2006 pemerintah Indonesia mulai menjalankan Proyek Listrik 10.000 Megawatt. Sejumlah pembangkit listrik baru dibangun di berbagai wilayah menggunakan batu bara yang murah dan banyak tersedia. Pembangkit ini menggantikan pembangkit listrik bertenaga minyak bumi atau solar sehingga meningkatkan jumlah listrik dengan harga yang lebih terjangkau.

Namun, proyek listrik 10.000 MW membawa masalah baru. Pembangkit batu bara memperparah kondisi lingkungan hidup lokal dan global, juga semakin membuat Indonesia tergantung pada bahan bakar fosil. Saat ini lebih dari 80 persen listrik bersumber dari bahan bakar fosil.

Agar lebih ramah lingkungan, pemerintah meluncurkan proyek listrik 10.000 MW kedua pada tahun 2008 yang didominasi energi terbarukan 4.000 MW yang berasal dari panas bumi. Diharapkan proyek ini akan meningkatkan penggunaan energi terbarukan Indonesia secara signifikan. Proyek ini juga akan meningkatkan penggunaan panas bumi global, yang saat ini berjumlah 10.000 MW, naik sebanyak 40 persen.

Saat ini panas bumi merupakan satu-satunya teknologi yang mampu menggantikan batu bara untuk menghasilkan listrik. Manfaat energi panas bumi adalah: selalu tersedia sehingga cocok sebagai pengganti batu bara, meningkatkan ketahanan energi karena panas bumi merupakan energi yang tersedia secara lokal dan tidak bisa diekspor dan tidak terpengaruh oleh fluktuasi harga bahan bakar fosil (minyak bumi atau batubara).

Penelitian eksplorasi untuk mengetahui potensi sumber panas bumi merupakan tahapan yang sangat menentukan dalam rangka tindak lanjut eksplorasi. Untuk mengetahui sistem panas bumi dan kelayakan tindak lanjut eksplorasi dilakukan dengan berbagai disiplin ilmu seperti geologi, geofisika, dan geokimia menjadi satu kesatuan dan saling mendukung dalam penelitian tersebut.

Penelitian geokimia adalah penelitian awal yang sangat penting untuk mengetahui asal-usul fluida dan perkiraan temperatur *reservoir* untuk menentukan potensi sumber panas bumi dari manifestasi permukaan seperti mata air panas dan fumarola yang tersebar di daerah penelitian. Penentuan perkiraan temperatur *reservoir* panas bumi bermanfaat untuk mengetahui sistem panas bumi dan kelaikan untuk tindak lanjut eksplorasi.

Dewasa ini, berbagai metode geokimia untuk memperkirakan suhu dengan mempertimbangkan reaksi kimia antara mineral, gas dan isotop telah digunakan di berbagai negara pengelola energi panasbumi seperti Amerika Serikat, Kostarika, El Savador, Filipina dan Selandia Baru. Ketiga metode tersebut secara komprehensif digunakan dalam penentuan temperatur *reservoir* [1,2].

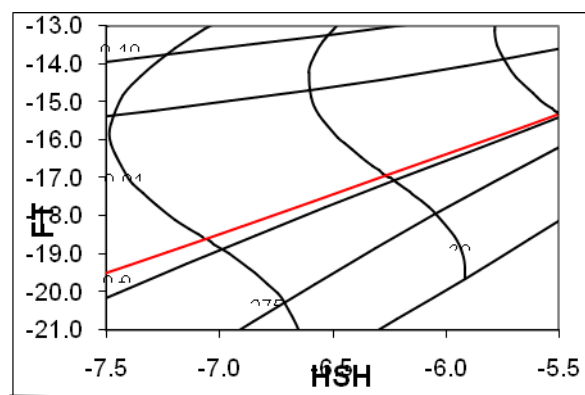
Geokimia gas merupakan fenomena menarik dari komponen gas fluida panas bumi. Gas dalam fluida panas bumi tersebut berada dalam kesetimbangan kimia dan kesetimbangan gas dengan larutan, batuan dan gas yang dikontrol oleh parameter fisik seperti temperatur, fraksi uap, tekanan parsial CO<sub>2</sub> dan kondisi redoks [3]. Dalam *reservoir* panas bumi, fluida yang naik ke permukaan mengalami proses pendidihan seiring dengan berkurangnya tekanan, sehingga gas akan terdistribusi dalam fasa uap dan fasa cair [4]. Fluida yang disampling pada permukaan (*total discharge*) diasumsikan merepresentasikan fluida dalam reservoir [5,6].

Berdasarkan sifatnya gas-gas panas bumi dibagi dalam dua katagori yaitu gas yang dapat larut (*condensable gas*) dan yang tidak dapat larut (*non condensable gas*). Gas yang dapat larut seperti CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S dianalisis dengan cara volumetri titrasi, sedangkan gas yang tidak dapat larut seperti He, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar dan CH<sub>4</sub> dianalisis dengan menggunakan kromatografi gas. Selanjutnya data-data yang diperoleh dapat diaplikasikan dalam penelitian panas bumi seperti penentuan temperatur *reservoir* panas bumi (*geothermometer gas*), perkiraan sistem dan potensi lapangan panas bumi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh nilai temperatur menggunakan metode grid, sehingga dapat berguna untuk memperkirakan potensi lapangan panas bumi.

Penentuan temperatur reservoir panas bumi pada contoh yang berasal dari lapangan panas bumi Kamojang dilakukan dengan menggunakan diagram grid.

Diagram grid semula dikembangkan oleh D'Amore dan Celati (1983) kemudian lebih diperluas oleh D'Amore dan Truessdell (1985). Penggunaan diagram grid telah dibuktikan dapat menjadi alat yang valid dalam menganalisis proses yang terjadi pada reservoir panas bumi yang mempunyai fluida dalam bentuk dua fasa. Diagram ini mengasumsikan bahwa komponen gas keluaran sumur total merepresentasikan fluida akuifer dalam reservoir. Formula untuk menghitung temperatur reservoir disebut dengan reaksi FT (Fisher-Tropsch) dan HSH (Pyrite-Magnetite) seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram Grid (FT-HSH)

Model ini mengasumsikan bahwa komposisi gas di sumur produksi (*discharge*) merupakan representasi fluida reservoir. Selain itu, model ini juga mengasumsikan terjadinya kesetimbangan reaksi Fischer-Tropsch (1), serta reaksi kesetimbangan pyrite magnetite/HSH (2) dan pyrite-hematite/HSH2 (3).



$$\text{Log } K_{\text{FT}} = \text{log } P_{\text{H}_2} + \text{log } P_{\text{CO}_2} - \text{log } P_{\text{CH}_4} - 2\text{log } P_{\text{H}_2\text{O}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

**BAHAN DAN METODE**

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah contoh panas bumi yang berasal dari lapangan panas bumi Kamojang yang didominasi oleh uap (*vapour dominated*), alat titrasi, larutan NaOH, HCl, buffer 4 dan 9, Iod, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

gas campuran, termometer, timbangan dan alat kromatografi gas Perkin Elmer AutoSystem GC-Arnel.

## Metode

### Pengambilan Sampel Gas

Pengambilan sampel gas dilakukan dengan botol sampel yang sudah berisi larutan NaOH yang telah divakumkan kembali setelah pengisian larutan NaOH, gas dari kepala sumur dialirkan secara hati-hati ke dalam botol sampai terhentinya gelembung atau jika botol sudah terisi 75% dari volumenya.

### Analisis Gas

Gas yang diambil dari lapangan selanjutnya di timbang di laboratorium, kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui komposisi gas-gas dalam sampel. Untuk gas-gas yang tidak dapat larut (NCG) seperti helium, hidrogen, nitrogen, oksigen, argon dan metana dianalisis dengan menggunakan kromatografi gas, sedangkan gas yang dapat larut seperti karbon dioksida dianalisis dengan titrasi asam basa dan gas hidrogen disulfida dianalisis dengan titrasi iodometri. Data hasil analisis *non condensable gas* selanjutnya dihitung dengan menggunakan formula sebagai berikut :

#### a. Jumlah mol total *non condensable gas* :

$$R = \frac{RGVx(RGP - Pw)x273}{22,40x1013,25xRGT}$$

Keterangan :

R = jumlah mol total *non condensable gas* (mmol)

RGV = volume *non condensable gas* (mL)

RGP = tekanan total *non condensable gas* (mbar)

Pw = tekanan uap sesuai suhu ruangan (mbar)

RGT = suhu ruangan analisis *non condensable gas* (K)

22,40 = volume gas (mL) pada keadaan STP (tekanan 1 atm dan suhu 0°C)

1013,25 = konversi satuan tekanan dari atm menjadi mbar

mmol gas i = R x % area

**b. Jumlah mol *condensable gas* :**

1. Gas hidrogen disulfida :

$$\text{mmol H}_2\text{S} = \frac{(B - C) \times N_{\text{tio}} \times TV}{2A}$$

Keterangan :

- B = volume natrium tiosulfat untuk blanko
- C = volume natrium tiosulfat untuk sampel
- A = volume sample yang dipipet

2. Gas karbon dioksida

$$\text{mmol CO}_2 = \frac{(F - G) \times N_{\text{HCl}} \times TV}{E}$$

Keterangan :

- F = volume HCl untuk sample
- G = volume HCl untuk blanko
- E = volume sample yang dipipet
- N = konsentrasi HCl

**Penentuan Temperatur Reservoir Panas bumi**

Di dalam diagram grid nilai mmol gas H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S dan mol air dimasukkan kedalam persamaan FT dan HSH sebagai berikut :

$$FT = 4 \log \left( \frac{H_2}{H_2O} \right) - \log \left( \frac{CH_4}{CO_2} \right) \dots\dots\dots (4)$$

$$HSH = 3 \log \left( \frac{H_2S}{H_2O} \right) - \log \left( \frac{H_2}{H_2O} \right) \dots\dots\dots (5)$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil analisis gas menggunakan metode titrasi untuk *condensable gas* tertera pada Tabel 1 dalam perhitungan fraksi mol.

Dari Tabel 1 dapat dilihat jumlah fraksi mol gas CO<sub>2</sub> pada reservoir panas bumi Kamojang berkisar antara 2,08 x10<sup>-4</sup> hingga 1,42 x10<sup>-3</sup> dan fraksi mol gas H<sub>2</sub>S antara 1,98 x 10<sup>-5</sup> hingga 5,61 x 10<sup>-5</sup>.

**Tabel 1.** Fraksi Mol Gas *Condensable* Kamojang

Kode Sampel	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> S/H <sub>2</sub> O
KMJ-11	5,22 x 10 <sup>-4</sup>	2,56 x 10 <sup>-5</sup>
KMJ-14	1,14 x 10 <sup>-3</sup>	2,39 x 10 <sup>-5</sup>
KMJ-18	4,14 x 10 <sup>-4</sup>	1,98 x 10 <sup>-5</sup>
KMJ-27	7,57 x 10 <sup>-4</sup>	3,58 x 10 <sup>-5</sup>
KMJ-28	7,89 x 10 <sup>-4</sup>	3,12 x 10 <sup>-5</sup>
KMJ-31	1,09 x 10 <sup>-3</sup>	2,67 x 10 <sup>-5</sup>
KMJ-37	5,56 x 10 <sup>-4</sup>	3,26 x 10 <sup>-5</sup>
KMJ-51	1,42 x 10 <sup>-3</sup>	5,61 x 10 <sup>-5</sup>
KMJ-62	2,08 x 10 <sup>-4</sup>	7,24 x 10 <sup>-6</sup>
KMJ-72	7,66 x 10 <sup>-4</sup>	4,16 x 10 <sup>-5</sup>

Gas *noncondensable* yang tidak larut dalam NaOH seperti gas H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar dan CH<sub>4</sub> dianalisis dengan metode kromatografi gas dan hasilnya ditampilkan dalam persentase luas area. Penentuan waktu retensi gas standar dilakukan agar dapat mengidentifikasi kromatogram gas *noncondensable* masing-masing dalam sampel. Untuk melihat kromatogram pemisahan gas dilakukan analisis terhadap gas standar campuran yang terdiri dari gas He, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Ar dan CH<sub>4</sub> untuk melihat pemisahan dari puncak-puncak kromatogram secara sempurna setelah terlebih dahulu dilakukan penentuan waktu retensi gas standar masing-masing, dari hasil pemisahan gas standar campuran. Perhitungan total mol NCG dan mol uap air dilakukan secara komputerisasi dengan menggunakan program Microsoft Excel berdasarkan rumus gas ideal. Hasil perhitungan fraksi mol *non condensable* gas sampel lapangan panas bumi Kamojang tercantum pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Fraksi Mol NCG (*non condensable gas*) Kamojang

Kode Sampel	H <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	Ar/H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> O
KMJ 11	2,07 x 10 <sup>-5</sup>	0,0000	3,62 x 10 <sup>-6</sup>	1,11 x 10 <sup>-7</sup>	3,00 x 10 <sup>-7</sup>
KMJ 14	4,22 x 10 <sup>-5</sup>	2,27 x 10 <sup>-5</sup>	8,44 x 10 <sup>-5</sup>	1,60 x 10 <sup>-6</sup>	2,15 x 10 <sup>-7</sup>
KMJ 18	1,16 x 10 <sup>-5</sup>	0,0000	5,79 x 10 <sup>-7</sup>	5,65 x 10 <sup>-8</sup>	5,65 x 10 <sup>-8</sup>
KMJ 27	3,24 x 10 <sup>-5</sup>	0,0000	1,64 x 10 <sup>-6</sup>	1,33 x 10 <sup>-7</sup>	1,94 x 10 <sup>-7</sup>
KMJ 28	2,07 x 10 <sup>-5</sup>	1,84 x 10 <sup>-5</sup>	3,18 x 10 <sup>-6</sup>	1,11 x 10 <sup>-6</sup>	3,28 x 10 <sup>-8</sup>
KMJ 31	2,14 x 10 <sup>-5</sup>	0,0000	1,19 x 10 <sup>-7</sup>	2,97 x 10 <sup>-7</sup>	4,45 x 10 <sup>-8</sup>
KMJ 37	2,89 x 10 <sup>-5</sup>	0,0000	4,09 x 10 <sup>-6</sup>	2,72 x 10 <sup>-7</sup>	1,36 x 10 <sup>-7</sup>
KMJ 51	7,04 x 10 <sup>-5</sup>	0,0000	1,14 x 10 <sup>-4</sup>	0,0000	3,57 x 10 <sup>-6</sup>
KMJ 62	2,45 x 10 <sup>-6</sup>	0,0000	6,54 x 10 <sup>-6</sup>	0,0000	6,04 x 10 <sup>-8</sup>
KMJ 72	2,66 x 10 <sup>-5</sup>	0,0000	1,11 x 10 <sup>-5</sup>	2,43 x 10 <sup>-7</sup>	8,62 x 10 <sup>-7</sup>

Dari Tabel 2 terlihat bahwa fraksi mol *non condensable gas* pada sampel yang berasal dari reservoir Kamojang yaitu gas H<sub>2</sub> berkisar antara  $2,45 \times 10^{-6}$  –  $4,22 \times 10^{-5}$ , gas N<sub>2</sub> antara  $5,79 \times 10^{-7}$  –  $1,14 \times 10^{-4}$ , gas Ar  $5,65 \times 10^{-8}$  –  $1,60 \times 10^{-6}$  dan gas CH<sub>4</sub>  $3,28 \times 10^{-8}$  –  $3,57 \times 10^{-6}$ . Secara umum pada sampel yang berasal dari Kamojang tidak ditemui adanya gas oksigen, tetapi pada sampel KMJ-14 dan KMJ-28 ditemui adanya gas oksigen. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh terjadinya kontaminasi oksigen dari atmosfer ketika dilakukan penyamplangan.

Hasil perhitungan secara komputerisasi yang ditunjukkan Tabel 3 juga dilakukan untuk menghitung komposisi gas kering dalam sampel. Untuk sample gas panas bumi Kamojang, % berat CO<sub>2</sub> berkisar antara 92,2218-95,4473%, gas H<sub>2</sub>S antara 1,4946-4,3064%, gas H<sub>2</sub> antara 0,0511-0,2243%, gas N<sub>2</sub> antara 0,0065-4,6812%, gas Ar antara 0,0000-0,1233% dan gas CH<sub>4</sub> antara 0,0013-0,0841%. Dari hasil perhitungan komposisi gas kering ini, dapat dilihat bahwa gas yang paling dominan adalah gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S.

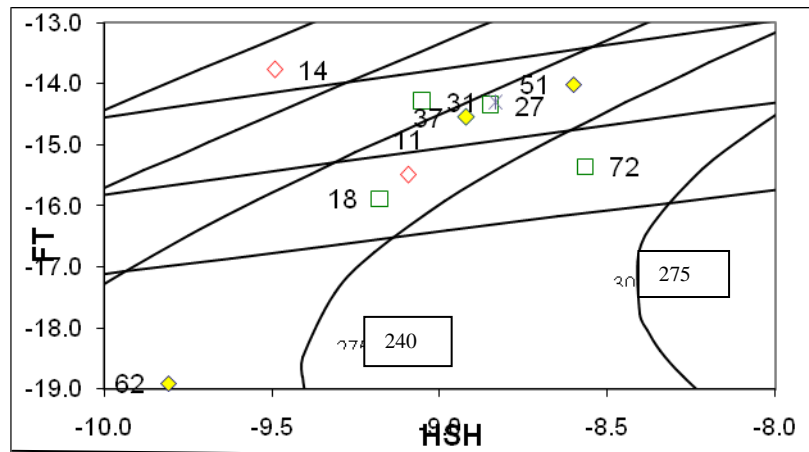
**Tabel 3.** Komposisi gas kering dalam sampel panas bumi Kamojang dalam % berat

Kode Sampel	CO2	H2S	H2	N2	Ar	CH4
KMJ-11	95,7454	3,6205	0,1729	0,4223	0,0187	0,0202
KMJ-14	92,5316	1,4946	0,1556	4,3563	0,1182	0,0062
KMJ-18	96,2217	3,5527	0,1228	0,0852	0,0128	0,0049
KMJ-27	96,1444	3,5124	0,1873	0,1325	0,0148	0,0088
KMJ-28	96,4071	2,9427	0,1149	0,2471	0,1233	0,0013
KMJ-31	98,0285	1,8526	0,0873	0,0065	0,0236	0,0015
KMJ-37	94,9712	4,3064	0,2243	0,4445	0,0431	0,0085
KMJ-51	92,2218	2,8056	0,2073	4,6812	0	0,0841
KMJ-62	95,4524	2,5730	0,0511	1,9134	0	0,0101
KMJ-72	94,9527	3,9833	0,1497	0,8752	0,0274	0,0388

### Penentuan Nilai Temperatur

Untuk mendapatkan nilai FT dan HSH fraksi mol gas H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub>O yang diperoleh dari analisis gas *condensable* dan *noncondensable* dimasukkan ke dalam formula FT dan HSH seperti rumus (4) dan (5). Nilai-nilai FT dan HSH yang didapatkan diplotkan dalam diagram grid seperti yang tercantum pada Gambar 2.





**Gambar 2.** Plot temperatur reservoir panas bumi Kamojang

Gambar tersebut melaporkan plot temperatur dalam diagram untuk sampel gas yang telah di sampling dari reservoir. Dari gambar tersebut dapat diketahui temperatur dari masing-masing reservoir panas bumi. Nilai temperatur yang diperoleh tertera pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Nilai temperatur Sampel Reservoir Panasbumi

Kode Sampel	FT	HSH	T hit (°C)	T fak (°C)
KMJ 11	-15,47	-9,10	238,5	234,6
KMJ 14	-13,75	-9,50	177,1	214,4
KMJ 18	-15,87	-9,18	240,4	230,3
KMJ 27	-14,37	-8,85	235,4	232,1
KMJ 28	-14,36	-8,84	235,4	210,8
KMJ 31	-14,29	-9,05	225,0	234,9
KMJ 37	-14,54	-8,92	231,3	230,1
KMJ 51	-14,01	-8,60	237,5	230,9
KMJ 62	-18,81	-9,84	235,7	230,9
KMJ 72	-15,32	-8,57	253,4	231,6

Keterangan : T hit = temperatur reservoir hasil perhitungan

T fak = temperatur hasil pengukuran pada bulan September 2011

Secara statistik nilai rata-rata temperatur hitung adalah  $230,97 \pm 39,69$  dengan tingkat kepercayaan 95%. Hasil temperatur hitung kemudian dibandingkan dengan temperatur faktual yang diukur bulan September 2011 untuk melihat apakah ada beda yang signifikan secara statistik. Dari uji beda mean dengan T-test disimpulkan tidak ada beda yang signifikan secara statistik antara temperatur hitung

dan temperatur faktual dan dapat dikatakan metode percobaan yang dilakukan sudah sesuai. Uji statistik terdapat pada Lampiran 1.

Dari hasil perhitungan temperatur, dapat dilihat bahwa pada reservoir panas bumi Kamojang, temperatur berkisar antara 177,1-253,4 °C. Temperatur yang didapat dari perhitungan ini mendekati tipikal temperatur pada sistem dominasi uap yaitu sekitar 230-240 °C.

## **KESIMPULAN**

1. Gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S merupakan gas yang dominan dalam reservoir panas bumi Kamojang.
2. Temperatur pada lapangan panas bumi Kamojang berkisar antara 177-253,4 °C, hasil ini sesuai dengan tipikal temperatur pada sistem dominasi uap.
3. Secara statistik tidak ada beda signifikan antara temperatur hitung dan temperatur factual

## **DAFTAR PUSTAKA**

1. ABIDIN, Z., dkk., Risalah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi, Vol. 2, No. IV (1996).
2. ABIDIN, Z., dkk., Risalah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi Vol. 3, No. V (1998).
3. D'AMORE, F., Gas Geochemistry as A Link Between Geothermal Exploration and Exploitation, Short Training Course on Geothermal Gas Geochemistry, Jakarta (2000).
4. HENLY, R.W., TRUESDELL, A.H., and BORTON, P.B., Jr., Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal System; Reviews in Economic Geology, Vol. 1 (1984).
5. GIGGENBACH, W.F., Redox Processes Governing The Chemistry of Fumarolic Gas Discharge from White Island (1987).
6. D'AMORE, F., and TRUESDELL, A.H., Correlation Between Liquid Saturation and Physical Phenomena in Vapour dominated System, Geothermics (2001).

Lampiran 1. Uji Statistik Temperatur dari Metode Grid

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig
Pair 1 T_HIT & T_FACT	10	.532	.114

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std Dev.	Std Error Mean
Pair T_HIT	230.9700	10	20.2504	6.4037
1 T_FACT	228.5570	10	8.6801	2.7449

Paired Samples Test

	Paired Differences				t	df	Sig (2-tailed)	
	Mean	Stdev	Std Error Mean	95% Confidence interval of the difference				
				Lower				Upper
Pair 1 T_HIT & T_FACT	2.4130	17.2750	5.4628	-9.9448	14.7708	.442	9	.669