

Analisis Konduktivitas Termal dan Porositas Sinter Silika Sumber Mata Air Panas di Sapan Maluluang, Kecamatan Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan

Ridhovi Endovani, Ardian Putra*

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Andalas

Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163.

*e-mail : eridhov_314@yahoo.co.id, *ardhee@fmipa.unand.ac.id*

ABSTRAK

Telah dilakukan pengujian terhadap sinter silika yang berasal dari daerah sumber mata air panas di Sapan Maluluang, Kecamatan Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui informasi reservoir panas bumi yang akan dimanfaatkan sebagai energi geotermal. Pengujian yang dilakukan yaitu uji kandungan, uji konduktivitas termal dan uji porositas pada 6 sampel sinter silika di sekitar sumber mata air panas. Pengujian kandungan pada dua sampel di titik 2 dan titik 4 yang dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dengan hasil kandungan SiO_2 sebesar 87,42% dan 89,33 %. Hal ini mengindikasikan bahwa daerah sumber mata air panas Sapan Maluluang didominasi oleh silika dan memiliki suhu reservoir panas bumi sekitar 175°C. Konduktivitas termal sinter silika diuji dengan mengalirkan panas pada sinter silika yang diapit oleh dua plat besi, kemudian dicatat perubahan suhunya tiap menit selama 30 menit. Hasil pengujian menunjukkan nilai sinter silika yang tinggi dengan rata-rata konduktivitas termalnya 1170,37 W/m°C. Berdasarkan uji porositas dihasilkan bahwa sinter silika memiliki porositas rata-rata 11,68 %. Berdasarkan Badan Standarisasi Nasional kondisi ini memenuhi syarat porositas batuan reservoir yang dapat digunakan sebagai sumber energi geotermal.

Kata kunci: sinter silika, energi geotermal, konduktivitas termal, porositas

ABSTRACT

The research on the characteristics of silica sinter Sapan Maluluang hot spring, Solok Seltan had been carried out. This study aims to determine the geothermal reservoir information that will be used as geothermal energy. The test consists of silica content, thermal conductivity and porosity on 6 silica sinter points around hot spring. Silica content of sample at point 2 and point 4 which is characterized by using X-Ray Fluorescence (XRF) method results silica content of 87.42 % and 89.33 %. It indicates that hot springs area Sapan Maluluang is dominated by silica and has a geothermal reservoir temperatures around 175 °C. Thermal conductivity of silica sinter was tested by transferring heat to silica sinter that is flanked by two iron plate, then the temperature change is recorded every minute for 30 minutes. The result showed a high silica sinter value with an average thermal conductivity 1170.37 W/m°C. The average porosity of silica sinters is 11.68%. Based on Badan Standar Nasional, it meets the condition of the reservoir rock porosity that can be used as a source of geothermal energy.

Keywords: silica sinter, geothermal energy, thermal conductivity, porosity

I. PENDAHULUAN

Kabupaten Solok Selatan memiliki beberapa manifestasi panas bumi yang berupa mata air panas. Salah satu sumber mata air panas yang dapat ditemui di Kabupaten Solok Selatan, yaitu di Kecamatan Alam Pauh Duo, mungkin saja berada di atas suatu reservoir panas bumi yang dapat dimanfaatkan sebagai energi geotermal. Penelitian tentang sumber mata air panas di Kec. Alam Pauh duo, Kab. Solok selatan yang pernah dilakukan oleh Yuliandini (2013) menunjukkan bahwa daerah di sekitar sumber mata air panas tersebut tersusun atas batuan andesit dan batuan gamping, yang merupakan bagian dari batuan gunung berapi di perbatasan Solok Selatan, yaitu Gunung Kerinci. Penyusun batuan andesit tersebut adalah silika yang didominasi oleh unsur Si, Al, dan O, yang menyebabkan munculnya endapan sinter silika di sekitar sumber air panas tersebut. Endapan silika atau sinter silika yang muncul di sekitar sumber mata air panas dapat dianalisis untuk menentukan karakteristik batuan reservoir.

Sinter silika berasal dari endapan silika, dimana silika (SiO_2) tersusun atas atom silikon dan oksigen yang berasal dari fluida hidrotermal yang diendapkan ketika fluida mencapai titik jenuh. Endapan ini dapat digunakan sebagai indikator yang baik bagi keberadaan reservoir bersuhu lebih dari 175°C (Sismanto dan Andayany, 2012). Kelarutan berbagai jenis silika merupakan fungsi terhadap temperatur. Kelarutan silika terutama kuarsa dan amorf, tidak

dipengaruhi oleh tekanan dan garam terlarut, sehingga kondisi ini memungkinkan untuk menggunakan parameter fisis silika untuk mengetahui kondisi fluida panas bumi.

Secara umum reservoir panas bumi yang produktif harus memiliki porositas rendah, konduktivitas termal dan permeabilitas yang tinggi, ukuran volume cukup besar, suhu tinggi, kandungan fluida yang cukup, dan kandungan silika pada batuan reservoirnya (Suparno, 2009). Berdasarkan hal tersebut, tujuan penelitian ini yaitu, untuk mengetahui karakteristik reservoir panas bumi berdasarkan sinter silika di daerah sumber mata air panas ditinjau dari kandungan silika, konduktivitas termal dan porositas sinter silika.

Konduktivitas termal batuan mengindikasikan seberapa cepat panas dalam reservoir mengalir sampai ke permukaan bumi. Tinggi rendahnya nilai konduktivitas termal batuan reservoir menentukan potensi reservoir dari panas bumi sebagai energi geotermal. Menurut Raina (1993), nilai konduktivitas batuan sekitar $0,05 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ sampai $3,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Konduktivitas termal batuan dapat diketahui dengan menggunakan suatu metode TDB (*Transient Divided Bar*), dengan cara batuan sampel diletakkan diantara dua blok tembaga berbentuk silinder, dimana kapasitas termal batuan diketahui dan disimpan pada suhu kamar. Blok bawah tembaga didinginkan kemudian perubahan suhu kedua blok tembaga terus diamati saat sistem berada dalam kondisi tunak. Kondisi tunak terjadi saat suhu masing-masing bahan tidak mengalami perubahan pada suhu tertentu, sehingga tidak terjadinya kesetimbangan termal.

Porositas batuan menentukan kapasitas penyimpanan fluida dalam batuan yang berpengaruh dalam menghasilkan uap panas. Reservoir panas bumi sebagai sumber energi geotermal harus menghasilkan suhu yang sangat tinggi agar uap yang dihasilkan memiliki tekanan yang kuat untuk memutar turbin pembangkit listrik. Batuan dengan porositas tinggi lebih cenderung memiliki kandungan air yang banyak sehingga uap yang dihasilkan lebih basah dan tekanan uap yang dihasilkan juga lebih berat karena mengandung banyak air, sehingga batuan reservoir dengan porositas tinggi tidak cocok sebagai sumber energi geotermal (Suparno, 2009).

Energi panas bumi adalah energi panas alami dari dalam bumi yang ditransfer ke permukaan bumi secara konduksi dan konveksi. Secara umum perubahan kenaikan temperatur terhadap kedalaman di kerak bumi adalah sekitar $30^\circ\text{C}/\text{km}$ (Suparno, 2009). Jika diasumsikan temperatur rata-rata permukaan bumi adalah 15°C , maka di kedalaman 3 km, temperaturnya akan mencapai 105°C . Dari sudut pandang geologi, sumber energi panas bumi berasal dari magma yang berada di dalam bumi. Magma tersebut menghantarkan panas secara konduktif pada batuan disekitarnya. Panas tersebut juga mengakibatkan aliran konveksi fluida hidrotermal di dalam pori-pori batuan. Kemudian fluida hidrotermal ini akan bergerak ke atas namun tidak sampai ke permukaan karena tertahan oleh lapisan batuan yang bersifat impermeabel. Lokasi tempat terakumulasinya fluida hidrotermal disebut reservoir atau reservoir panas bumi.

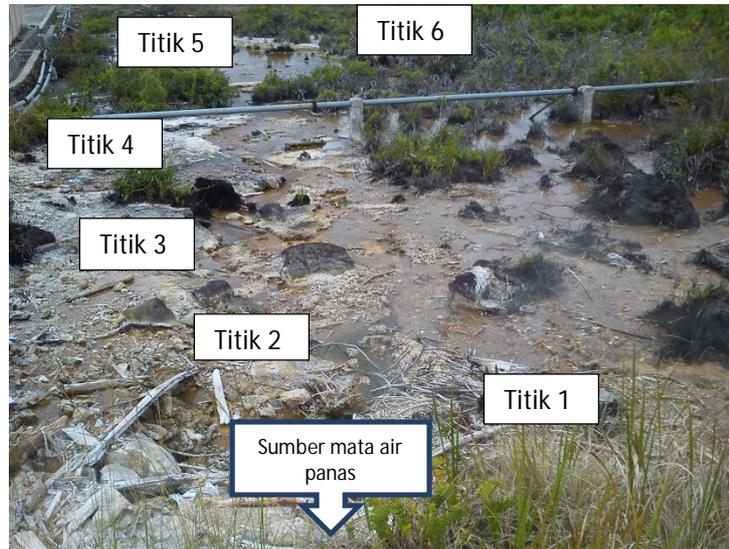
Reservoir panas bumi yang produktif memiliki permeabilitas tinggi, geometri reservoir yang besar, dan kandungan fluida air yang tinggi (Suparno, 2009). Temperatur fluida yang tinggi pada reservoir berpotensi sebagai sumber energi geotermal. Menurut DiPippo (2007), berdasarkan besar kecilnya temperatur fluida, reservoir panas bumi dapat dikategorikan menjadi 4, yaitu :

1. Temperatur tinggi, bila temperatur fluida lebih dari 250°C .
2. Temperatur medium, bila temperatur fluida berkisar antara $(150 - 250)^\circ\text{C}$.
3. Temperatur rendah, bila temperatur fluida berkisar antara $(100 - 150)^\circ\text{C}$.
4. Temperatur rendah, bila temperatur fluida berkisar antara $(50-100)^\circ\text{C}$.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian dimulai dari bulan Januari sampai bulan Juli tahun 2015. Tempat pengujian sampel dilakukan di 3 laboratorium, yaitu Laboratorium Kimia UNP untuk pengujian kandungan menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*), Laboratorium Fisika Material Unand untuk pemanasan sampel menggunakan oven dan Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika, Universitas Andalas, untuk pengujian konduktivitas termal dan porositas. Lokasi yang menjadi objek penelitian adalah 6 titik di sumber mata air panas daerah Sapan Maluluang, Kecamatan Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan. Titik pengambilan sampel diambil secara acak mulai dari sinter silika yang paling dekat dengan sumber mata air panas hingga posisi terjauh yang

secara visual bisa teridentifikasi sebagai sinter silika. Pada setiap titik diambil tiga sampel tiap pengujian. Untuk titik pengambilan sampel di lokasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Titik pengambilan sampel

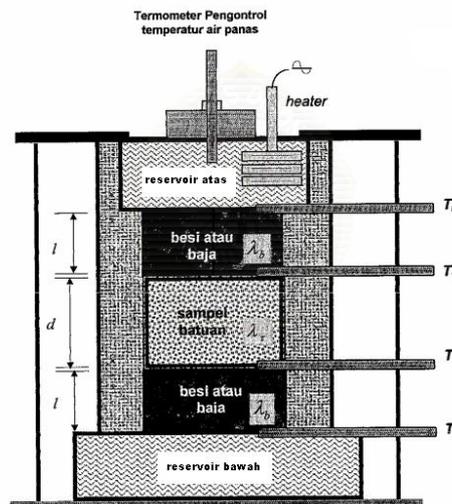
2.1 Uji kandungan sinter silika

Uji kandungan sinter silika menggunakan XRF, sinter silika dalam bentuk pasir dimasukan dalam tabung alat XRF yang telah terhubung dengan komputer, selanjutnya jalankan alat XRF dan menunggu hasil proses dari komputer selama 30 menit.

2.2 Uji Konduktivitas Termal

Untuk mengukur konduktivitas termal sampel, dilakukan langkah-langkah berikut:

1. Persiapan sampel yang akan di uji. Sampel sinter silika berbentuk pasir dipadatkan dalam cetakan berbentuk balok dengan ukuran $15 \times 10 \times 5 \text{ cm}^3$.
2. Alat dirangkai seperti Gambar 2, dimana nilai konduktivitas panas besi atau plat besi penghubung (λ_b) adalah $45,3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.



Gambar 2. Skema rangkaian alat uji konduktivitas termal

3. Reservoir bawah diisi dengan air dingin dan reservoir atas diisi dengan air panas.
4. Pada reservoir atas, dipasang heater (pemanas) untuk memanaskan air hingga mencapai titik didih.
5. Menunggu keadaan tunak (*steady state*), yaitu saat temperatur reservoir menunjukkan angka $98-99 \text{ }^\circ\text{C}$ konstan selama 10 menit.

6. Pada menit ke sebelas, temperatur pada masing-masing termometer dicatat, dengan urutan T_H, T_1, T_2, T_c selama 30 menit berikutnya dan dicatat setiap 1 menit sekali.
7. Dihitung nilai rata-rata dari $T_H, T_1, T_2,$ dan T_c . Selanjutnya nilai konduktivitas panas dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$\lambda_r = \left[\frac{d\lambda_b \left(\frac{T_H - T_1}{T_1 - T_2} \right) - \frac{d\lambda_c}{2\delta} \right] \quad (1)$$

dengan λ_r adalah konduktivitas panas batuan ($\text{W/m}^\circ\text{C}$), λ_c adalah konduktivitas panas udara (celah antara logam dan sampel batuan yang besarnya $0,24 \text{ W/m}^\circ\text{C}$), λ_b adalah konduktivitas panas logam ($\text{W/m}^\circ\text{C}$), d merupakan tebal sampel batuan (m), l adalah tebal sampel masing-masing logam (m), δ merupakan celah bidang kontak antara logam dan sampel batuan (m), T_H adalah temperatur antara reservoir panas dan logam atas ($^\circ\text{C}$), T_1 adalah temperatur antara logam atas dan sampel batuan ($^\circ\text{C}$), T_2 temperatur antara sampel batuan dan logam bawah ($^\circ\text{C}$), dan T_c adalah temperatur antara logam bawah dan reservoir bawah ($^\circ\text{C}$).

2.3 Uji Porositas

Langkah-langkah pengujian porositas adalah sebagai berikut :

1. Sampel yang akan diuji dikeringkan dalam oven bersuhu $100-110^\circ\text{C}$ selama 14 jam. Kemudian sampel didiamkan hingga mencapai suhu kamar dan ditimbang massa A .
2. Sampel direbus selama 5 jam, dan dilakukan pengukuran massa C .
3. Sampel yang masih basah dilap terlebih dahulu menggunakan kain yang memiliki daya serap kecil, dan ditimbang massa D .
4. Porositas sampel dihitung mengikuti aturan ASTM D7263-09, *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Density (Unit Weight) of Soil Specimens*. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai Persamaan 2:

$$\phi = \frac{C - A}{C - D} \times 100\% \quad (2)$$

dengan ϕ adalah porositas (%), A adalah massa kering batuan (g), C adalah massa basah batuan (g), dan D adalah massa batuan dalam air setelah dilap (g).

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Uji Kandungan Menggunakan XRF

Hasil dari pengujian XRF sinter silika di titik 2 dan 4, dapat dilihat pada Tabel 1. Jumlah kandungan silika (SiO_2) yang dominan di daerah Sapan Maluluang disebabkan adanya aktivitas dari Gunung Kerinci. Sesuai dengan keadaan stratigrafi Solok Selatan, yang berbatasan dengan Gunung Kerinci yang masih aktif. Berdasarkan Yuliandini (2013), adanya kandungan Fe dan Al sebagai penyusun batuan andesit merupakan pendominasi terbentuknya silika di sumber air panas Sapan Maluluang.

Menurut Fournier (1998), silika sebagai penyusun dominan magma yang merupakan sumber panas dari mata air panas, melebur dan terbawa oleh air panas yang terus naik dan muncul ke permukaan dikarenakan tekanan dan suhu yang terus meningkat. Di permukaan, silika tersebut akhirnya mengendap dan menyebar di permukaan di sekitar sumber air panas. Endapan silika tersebut memberikan informasi keadaan suhu sumber mata air panas dengan asumsi, silika sebagai fungsi suhu tidak terpengaruh oleh tekanan maupun suhu di luar.

Menurut Sismanto dan Andayany (2012), sinter silika dapat digunakan sebagai indikator keberadaan reservoir dengan suhu lebih dari 175°C . Dengan jumlah kandungan silika yang mencapai 89%, dapat diperkirakan lokasi air panas di Sapan Maluluang memiliki reservoir dengan suhu sekitar 175°C . Dengan suhu tersebut, reservoir air panas di Sapan Maluluang masuk kategori reservoir temperatur medium ($150 - 250^\circ\text{C}$) (Dipippo, 2007).

Tabel 1 Hasil pengujian XRF sinter silika di titik 2 dan 4

Kandungan	Titik 2	Titik 4
SiO ₂	87,42%	89,33%
Al ₂ O ₃	6,10%	1,70%
P ₂ O ₅	3,68%	3,65%
Cl	1,11%	0,41%
K ₂ O	0,35%	0,22%
CaO	1,09%	0,74%
Ti	0,02%	0,03%
Mn	0,01%	0,01%
Fe ₂ O ₃	0,22%	0,62%
Ag	0,29%	0,37%
MgO	0,00%	2,47%

3.2 Uji konduktivitas termal

Nilai rata-rata konduktivitas termal sinter silika dapat dilihat pada Tabel 2. Perbedaan nilai konduktivitas termal sampel di daerah Sapan Maluluang ini, dapat terjadi karena perbedaan dari karakteristik dan kandungan sampel yang diambil pada masing-masing titik. Rachmawati (2013), menyatakan bahwa nilai konduktivitas panas dari bubuk silika memiliki nilai 0,002 W m⁻¹.K⁻¹ di bawah vakum dan mencapai nilai 0,027 W m⁻¹.K⁻¹ pada suhu kamar. Nilai konduktivitas termal bahan dipengaruhi oleh temperatur bahan saat pengukuran. Pada batuan reservoir, semakin tinggi panas dalam bumi maka akan menghasilkan nilai konduktivitas panas batuan yang semakin tinggi. Tingginya konduktivitas termal dari hasil uji diasumsikan karena sinter silika berada dalam aliran panas dalam waktu yang sangat lama.

Tabel 2 Nilai rata-rata konduktivitas termal sinter silika

Sampel	λ (W/m.°C)	Rata-rata (W/m.°C)
1A	1061,83	860,65
1B	812,93	
1C	707,18	
2A	1658,60	1915,01
2B	2064,11	
2C	2022,32	
3A	859,13	860,46
3B	895,51	
3C	826,74	
4A	1409,79	1052,62
4B	1022,54	
4C	725,53	
5A	1209,90	1078,64
5B	897,39	
5C	1128,64	
6A	1195,31	1254,83
6B	1505,36	
6C	1063,80	
Rata-rata		1170,37

3.3 Uji Porositas

Dari hasil pengujian, nilai porositas (\emptyset) terbesar terdapat pada titik 4, dimana nilai porositasnya mencapai nilai 33,15 % pada sampel 4A. Sedangkan sampel dengan nilai porositas terkecil, sebesar 0,64 % terdapat pada sampel 2C di titik 2. Nilai porositas antara sampel di tiap titik tidak mengalami perbedaan yang besar, akan tetapi nilai sampel di titik 4 mengalami perbedaan yang besar dengan sampel di titik yang lain. Hal ini dapat disebabkan karena bentuk bulir sampel 4 yang mungkin lebih tersusun rapi dan teratur, sehingga air yang meresap saat di rebus tersimpan dengan lebih baik di bandingkan dengan sampel lain.

Badan Standarisasi Nasional (BSN) menetapkan nilai standar untuk porositas batuan dalam pengembangan energi geotermal adalah 10 %. Dari hasil penelitian sampel sinter silika, nilai porositas yang paling mendekati standar dari BSN terdapat pada titik 1 dan titik 5, dengan nilai rata-rata 9,12 % dan 11,72 %. Sedangkan secara keseluruhan, berdasarkan nilai rata-rata porositas sinter silika daerah sumber air panas Sapan Maluluang dapat dikatakan telah memenuhi standart dari BSN dengan nilai rata-rata 11,168 %. Nilai rata-rata porositas sinter silika tiap titik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Nilai rata-rata porositas sinter silika

Sampel	ϕ (%)	Rata-rata (%)
1A	8,35	
1B	10,65	9,12
1C	8,34	
2A	1,42	
2B	2,07	1,37
2C	0,63	
3A	7,82	
3B	9,12	8,77
3C	9,37	
4A	33,00	
4B	23,96	29,26
4C	30,83	
5A	16,21	
5B	11,27	11,72
5C	7,67	
6A	10,92	
6B	4,64	6,77
6C	4,75	
Rata-rata		11,168

Berdasarkan Koesoemadinata (1978), porositas sampel di titik 4 merupakan porositas yang terbaik dalam hal menyimpan fluida, yaitu dengan nilai >25 %. Sampel di titik 5 bernilai cukup baik dengan nilai porositas di antara 10-15 % dan 15-20 %. Sedangkan porositas sampel di titik 1, 2, 3, dan 6 memiliki nilai porositas yang buruk dan dapat diabaikan.

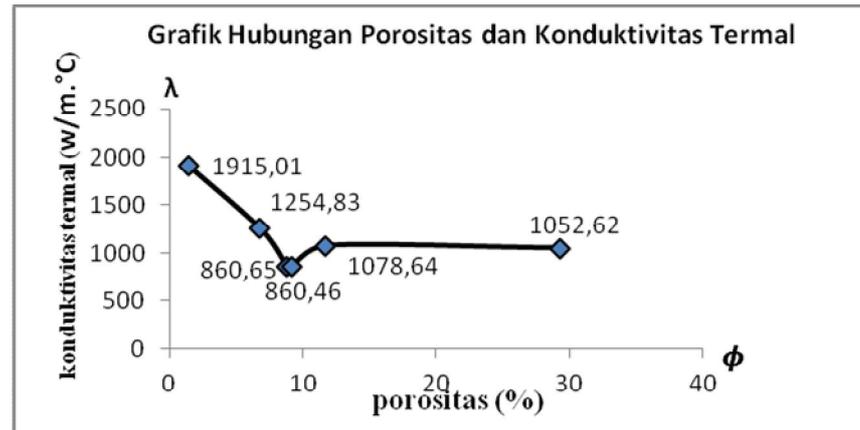
3.4 Hubungan antara Konduktivitas Termal dengan Porositas

Berdasarkan nilai rata-rata dari konduktivitas termal dan porositas sinter silika, dapat diketahui bahwa nilai porositas mempengaruhi besar kecilnya nilai konduktivitas termal, semakin besar porositas maka akan semakin rendah nilai konduktivitas termal dan begitu juga sebaliknya. Nilai rata-rata konduktivitas termal dan porositas dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai rata-rata konduktivitas termal dan porositas sinter silika tiap titik

Titik	λ (W/m.°C)	ϕ (%)
1	860,65	9,12
2	1915,01	1,37
3	860,46	8,77
4	1052,62	29,26
5	1078,64	11,72
6	1254,83	6,77

Berdasarkan Dewanto (2002), nilai porositas batuan menurun secara eksponensial setiap bertambahnya kedalaman disebabkan adanya tekanan, yang mempengaruhi setiap batuan di dalam bumi, sehingga ruang batuan tersebut memiliki bentuk dan sifat yang berbeda-beda berdasarkan kedalaman. Hubungan antara konduktivitas termal dan porositas dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan porositas dengan konduktivitas termal

IV. KESIMPULAN

Daerah sumber mata air panas di Sapan Maluluang, Kecamatan Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan berdasarkan hasil uji sinter silika menggunakan XRF mengindikasikan bahwa SiO_2 merupakan mineral paling dominan yang terdapat di sumber air panas Sapan Maluluang dengan jumlah kandungan yang mencapai 89%. Berdasarkan DiPippo (2007) suhu reservoir panas bumi daerah Sapan Maluluang diperkirakan sekitar 175°C dan masuk kategori reservoir temperatur medium.

Nilai rata-rata konduktivitas termal sinter silika di Sapan Maluluang memiliki harga yang tinggi yaitu $1170,37 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, yang diasumsikan sinter silika tersebut berada dalam aliran air panas dalam waktu yang lama.

Porositas batuan terbesar terdapat pada titik 4 dengan nilai rata-rata 29,26 %, dan rata-rata porositas terkecil pada titik 2 sebesar 1,37 %. Dimana sampel sinter silika di titik 4 memiliki kemampuan menyimpan fluida yang paling baik. Sesuai Badan Standarisasi Nasional (BSN) nilai porositas sampel sinter silika tersebut telah memenuhi standar porositas reservoir panas bumi sebagai sumber energi geotermal nilai rata-rata 11,168% dimana nilai standar porositas adalah 10 %.

Berdasarkan nilai rata-rata porositas dan konduktivitas termal sinter silika, nilai porositas mempengaruhi besar kecilnya nilai konduktivitas termal. Semakin besar nilai porositas maka semakin rendah nilai konduktivitas termal, begitu juga sebaliknya.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D7263-09, *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Density (Unit Weight) of Soil Specimens*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009.
- Badan Standardisasi Nasional, *Angka Parameter dalam Estimasi Potensi Energi Panas Bumi*, No. SNI 13-6482-2000, Jakarta, 2000.
- Dewanto, O., Analisis Hubungan Porositas Terhadap Konduktivitas Panas Batuan Hasil Pengukuran dan Perhitungan Pada Sumur Minyak, *Jurnal Sains dan Teknologi*, Vol. 8 no. 2, Universitas Lampung, 2002.
- DiPippo, R., *Geothermal Power Plans, 2nd Edition*, McGraw-Hill internasional Book Company, New Delhi, 2007.
- Fournier, R. O., *Water Geothermometers Applied To Geothermal Energy*, US Geological Survey, USA, 1989.
- Koesoemadinata, R. P., *Geologi Minyak Bumi*, ITB, Bandung, 1978.
- Rachmawati, D.A., Sintesa Isolator Panas Nano Porous Silika dari Water Glass dengan Metode Deposisi Elektroforesis, Skripsi, Jurusan teknik kimia, ITS, Surabaya, 2013.
- Raina, V. K., *Concrete for Construction, Facts and Practic*, Tata McGraw-Hill Publishing Company, Ltd., New Delhi, 1993.
- Sismanto dan Andayany, H., Pengembangan Persamaan Geotermometer Empiris untuk Estimasi Suhu Reservoir Sumber Mata Air Panas, *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng dan DIY*, Purworejo, 2012.

Suparno, S., *Energi Panas Bumi : A present from the heart of the earth*. Edisi Pertama, Universitas Indonesia, Jakarta, 2009.

Yuliandini, A. dan Putra, A., Pengaruh Formasi Batuan terhadap Karakteristik Hidrokimia Lima Sumber Mata Air Panas di Daerah Sapan, Pinang Awan, Kecamatan Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan, Jurnal Fisika Unand No.2, Vol 4, FMIPA, Unand, Padang, 2013.