

Pengaruh Suhu Pemanasan Terhadap Tortuositas dan Faktor Sementasi Sinter Silika Mata Air Panas

Ardian Putra*, Tania Dian Putri, Afdal Fajri Salim, Zeflianto Rhomar

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Andalas

Kampus Unand Limau Manis, 25163, Padang

*email: ardhee@fmipa.unand.ac.id

Abstrak Sinter silika merupakan salah satu deposit yang sering muncul di daerah geotermal dan ditemukan di mata air panas yang bersifat klorida. Pada penelitian ini, sinter silika yang diambil dari Mata Air Panas Sapan Maluluang, Kecamatan Pauah Duo, Kabupaten Solok Selatan, Sumatera Barat yang diberi perlakuan pemanasan pada suhu 175, 200, 225, 250, 275 dan 300 °C. Pada masing-masing sampel dilakukan pengukuran dan perhitungan porositas dan resistivitas listrik. Sampel dengan pemanasan yang lebih tinggi menyebabkan terjadinya peningkatan porositas. Pada masing-masing suhu pemanasan, dibuat hubungan antara faktor resistivitas (F_R) terhadap porositas (ϕ) menggunakan hubungan empiris $F_R = a \phi^{-m}$, dengan a merupakan faktor tortuositas dan m merupakan sementasi. Pada sampel dengan pemanasan pada suhu 175, 200 dan 225 °C menghasilkan hubungan yang lebih baik dibandingkan suhu yang lebih tinggi. Tortuositas mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan suhu pemanasan sinter silika dari 0,4689 pada 31 °C menjadi 15,425 pada 225 °C, sedangkan terjadi penurunan sementasi dari 1,925 pada 31 °C menjadi 1,513 pada 225 °C. Pada suhu pemanasan yang lebih tinggi, persamaan ini tidak menghasilkan hubungan yang lebih baik.

Kata kunci: sinter silika, mata air panas, porositas, tortuositas, sementasi

PENDAHULUAN

Mata air panas merupakan salah satu manifestasi panas bumi dalam bentuk fluida yang muncul ke permukaan bumi. Salah satu sumber mata air panas berasal dari reservoir panas bumi yang mengandung mineral seperti silika, kalsium, natrium, dll. Mineral yang terbawa oleh aliran mata air panas akan mengendap di permukaan bumi. Endapan ini dapat berupa sinter, salah satunya sinter silika. Sinter silika dapat terbentuk jika fluida tersebut memiliki kandungan silika yang cukup dan mendapat jika terjadi penurunan suhu hingga 50 °C (Wohltz dan Heiken, 1992). Sinter yang mengandung silika terdapat di area geotermal yang dekat dengan mata air alkali klorida netral dan biasanya berasal dari reservoir dalam dengan suhu 175 °C (Fournier and Rowe, 1966).

Sifat fisis dan hidrolis sinter silika sangat dipengaruhi oleh struktur porositas dan pori. Penelitian porositas sinter silika di wilayah El Tatio, Atacama menunjukkan porositas sinter silika berada antara 15 hingga 50% (Saez, 2016). Bentuk dan ukuran pori-pori yang terdapat di lapisan sinter memberikan informasi tentang sistem aliran air dalam reservoir (Lynne, 2012). Rimstidt (1982) mengukur sifat fisis berupa nilai densitas dari sinter silika yang terdapat Boewawe, Nevada dengan nilai berkisar 1,33 g/cm³, mengindikasikan bahwa ruang kosong pada sinter silika mencapai 50%. Perubahan suhu akan mengakibatkan perubahan rongga pada batuan.

Resistivitas sinter silika memiliki hubungan dengan nilai porositas. Archie (1942) menemukan hubungan empiris antara sifat fisik sifat listrik batuan atau formasi resistivitas dengan porositas (Persamaan 1), dengan F_R merupakan faktor porositas, ϕ merupakan porositif, a merupakan tortuositas dan m merupakan faktor sementasi.

$$F_R = a \phi^{-m} \quad (1)$$

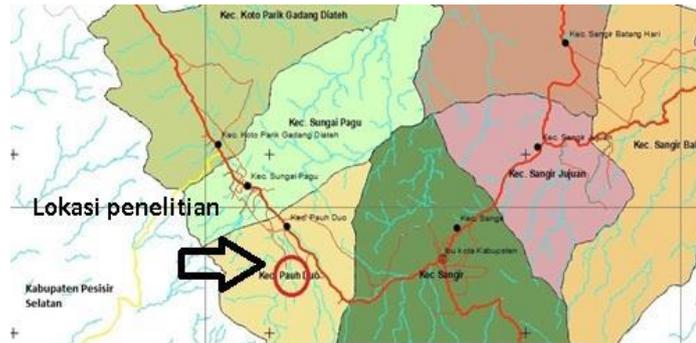
Salah satu wilayah yang memiliki mata air panas yang teridentifikasi memiliki sinter silika berada di Kecamatan Pauah Duo, Kabupaten Solok Selatan, Sumatera Barat. Endhovani dan Putra (2016) telah melakukan uji X-Ray Fluorescence (XRF) pada endapan putih keperakan di sekitar mata air panas ini. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa endapan tersebut mengandung 87,4 – 89,3 % silika.

Pada penelitian ini akan dilakukan penentuan tortuositas dan faktor sementasi sinter silika di mata air panas Sapan Maluluang, Kecamatan Pauah Duo, Kabupaten Solok Selatan, Sumatera Barat, berdasarkan nilai faktor resistivitas dan porositas. Dengan menganggap terjadi perubahan suhu sinter silika ketika masih berada di bawah permukaan, maka akan dilihat karakteristik resistivitas dan porositas sinter silika yang

telah mengalami pemanasan. Perlakuan yang diberikan terhadap sinter silika adalah pemanasan sampel pada suhu 175 °C, 200 °C, 225 °C, 250 °C, 275 °C, dan 300 °C.

METODE

Sampel penelitian diambil dalam bentuk bongkahan sinter silika dan fluida air permukaan di sekitar mata air panas Sapan Maluluang, Kecamatan Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan. Peta lokasi penelitian terlihat pada Gambar 1. Sampel sinter silika (Gambar 2) diambil pada 5 (lima) buah titik secara acak, dan dilakukan pengujian porositas dan resistivitas listrik. Pada sampel air dilakukan pengujian resistivitas listrik saja. Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Fisika Bumi dan Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, Universitas Andalas.



Gambar 1 Peta lokasi penelitian



Gambar 2 Sampel penelitian

2.1 Pengujian Porositas

Pengukuran densitas sinter silika dilakukan mengacu pada ASTM D7263-09. Sinter silika dipanaskan dalam oven dengan suhu T selama 3 jam. Setelah mengalami pendinginan ke suhu ruang, dilakukan pengukuran massa kering sampel (m_k) menggunakan timbangan. Sampel dimasukkan ke dalam air, dan diukur sebagai massa dalam air (m_a). Sampel kemudian dijatuhkan dalam air dan diukur massa basah (m_b). Porositas sampel dihitung menggunakan Persamaan 2. Masing-masing sampel memiliki variasi suhu T 175 °C, 200 °C, 225 °C, 250 °C, 275 °C, dan 300 °C.

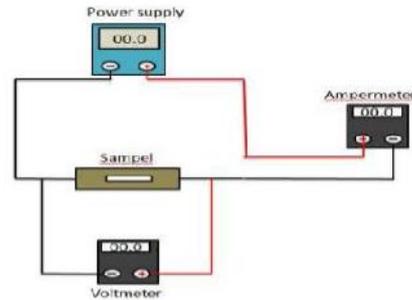
$$\phi = \frac{m_b - m_k}{m_b - m_a} \times 100\% \quad (2)$$

2.2 Pengujian Resistivitas Sinter Silika

Sinter silika yang berbentuk bongkahan digerus menggunakan lumpang, sehingga sampel menempati media pipa PVC berdiameter 5 cm. Sinter silika dipanaskan dalam oven dengan suhu T selama 3 jam. Setelah mengalami pendinginan ke suhu ruang, sinter silika dimasukkan ke dalam pipa PVC dan direndam dalam air sampai kondisi jenuh. Sampel dalam pipa PVC disusun seperti rangkaian pada Gambar 3, dan diberikan elektroda pada kedua permukaan sampel. Sumber tegangan dibesarkan dalam rentang 1 – 10 V, sehingga dihasilkan arus listrik. Dengan menggunakan metode

regresi hubungan antara beda potensial (V) dan kuat arus (I), dihasilkan nilai resistansi (R). Diameter sampel diukur menggunakan jangka sorong, dan dihitung luas permukaan sampel (A). Panjang sampel (l) diukur, dan dihitung resistivitas ampel menggunakan Persamaan 3. Masing-masing sampel memiliki variasi suhu T 175 °C, 200 °C, 225 °C, 250 °C, 275 °C, dan 300 °C

$$\rho = R \frac{A}{l} \quad (3)$$



Gambar 3 Rangkaian Pengukuran Resistivitas Listrik

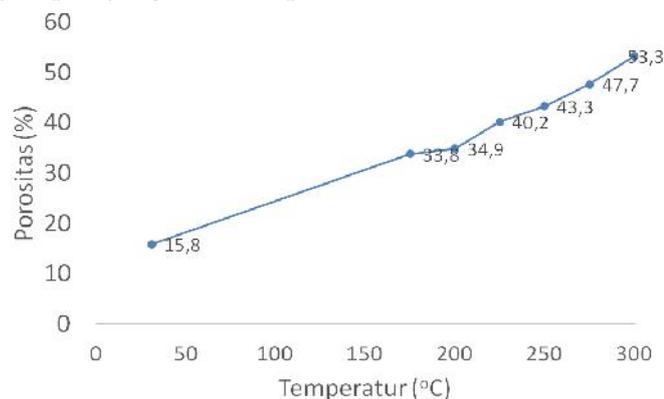
2.3 Pengujian Resistivitas Air

Resistivitas air langsung diukur menggunakan alat conductivity meter. Faktor resistivitas (F_R) merupakan perbandingan nilai resistivitas listrik material (ρ) yang mengandung jenuh air dengan resistivitas air (ρ_w). Faktor resistivitas dihitung menggunakan Persamaan 4.

$$F_R = \frac{\rho}{\rho_w} \quad (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 memperlihatkan hubungan antara porositas sinter silika dan suhu pemanasan yang diberikan. Penambahan suhu pemanasan mengakibatkan terjadinya peningkatan porositas. Porositas sinter silika sampel tanpa mengalami pemanasan dihasilkan sebesar 15,8 %. Sampel yang telah dipanaskan pada suhu 175 °C menghasilkan porositas 33,8 %, sedangkan sampel dengan pemanasan tertinggi 300 °C menghasilkan peningkatan porositas menjadi 53,3 %. Peningkatan ini dapat disebabkan oleh pemuaihan material sehingga terjadi penambahan volume. Keadaan ini mengakibatkan pori-pori yang terbentuk pada sinter silika semakin besar.

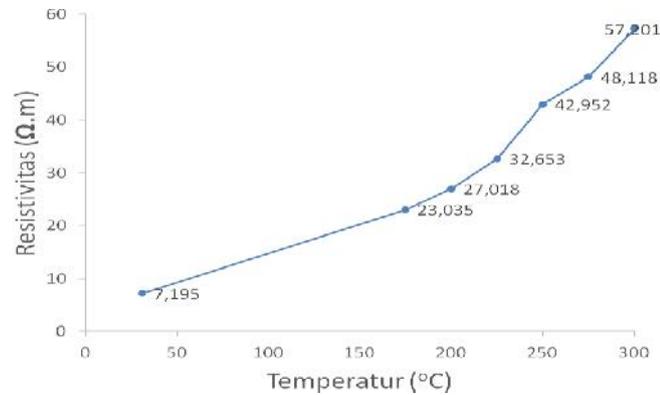


Gambar 4 Hubungan porositas terhadap suhu pemanasan sinter silika

Silika yang terkandung dalam batuan akan semakin cepat untuk meleleh, dan hasil lelehan mineral (silika) tersebut akan menyisakan ruang kosong, sehingga pori-pori batuan menjadi lebih besar yang dapat diisi oleh air ataupun mineral yang lebih lambat melebur (Suparno, 2009). Menurut Koesoemadinata (1978) ukuran porositas dapat

dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu ukuran butir atau *grain size*, bentuk butir, susunan butir, pemilahan, komposisi mineral, sementasi, kompaksi dan pemampatan.

Hubungan resistivitas listrik terhadap suhu pemanasan sinter silika dapat dilihat pada Gambar 5. Peningkatan suhu pemanasan menyebabkan kenaikan resistivitas sinter silika. Hal ini disebabkan oleh arus yang mengalir pada sinter silika semakin kecil seiring bertambahnya suhu sehingga hambatan pada sinter silika menjadi besar.

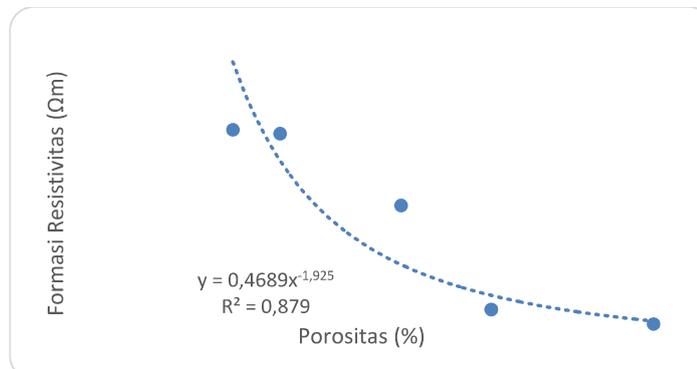


Gambar 5 Hubungan resistivitas terhadap suhu pemanasan sinter silika

Resistivitas sinter silika tanpa pemanasan menghasilkan nilai resistivitas sebesar 7,19 Ω.m. Resistivitas sinter silika pada suhu pemanasan 175 °C sebesar 23,04 Ω.m dan mengalami peningkatan hingga 57,20 Ω.m pada suhu pemanasan 300 °C. Peningkatan resistivitas sinter silika seiring bertambahnya suhu ini dapat disebabkan mineral yang terkandung di dalam silika mengalami penguapan sehingga terbentuk mineral baru yang lebih resistif sehingga mineral induk telah tergantikan oleh mineral baru akibat peningkatan suhu. Sifat listrik dari batuan tergantung pada geometri pori dan distribusi cairan (Saez, 2016).

Untuk menentukan faktor resistivitas sinter silika, ditentukan perbandingan resistivitas pada Gambar 5 dengan hasil pengukuran resistivitas mata air panas, sebesar 57,8 Ω.m . Rata-rata faktor resistivitas yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 1.

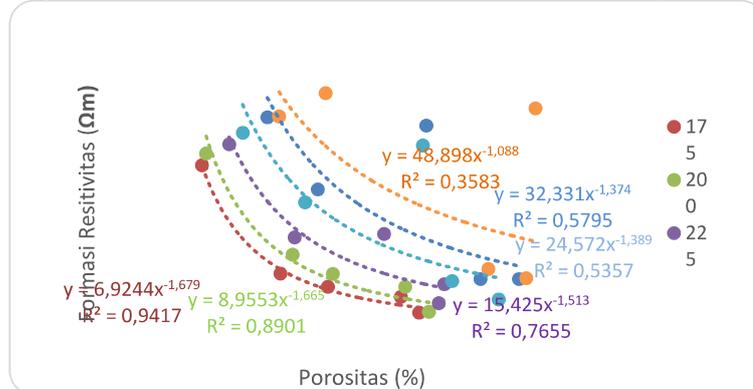
Faktor resistivitas sinter silika memiliki hubungan dengan porositasnya sinter silika. Gambar 6 memperlihatkan pengurangan faktor resistivitas seiring bertambahnya porositas pada sampel tanpa pemanasan. Dengan menggunakan hubungan empiris pada Persamaan 1, menghasilkan tortuositas 0,4689 dan faktor sementasi 1,925 pada sinter silika tanpa pemanasan. Nilai sementasi dan tortuositas yang didapatkan di mata air panas Sapan Maluluang hampir sama dengan wilayah el Tatio Atacama. Pada wilayah Atacama nilai tortuositas dan faktor sementasi sinter silika bernilai 0,75 dan 2,16 (Saez, 2016).



Gambar 6 Hubungan faktor resistivitas dan porositas sinter silika tanpa pemanasan

Jika sinter silika diberi pengaruh suhu nilai sementasi dan tortuositas sinter silika menjadi berubah. Gambar 7 memperlihatkan pengaruh nilai suhu terhadap nilai

sementasi dan tortuositas sinter silika pada sampel dengan suhu pemanasan yang berbeda. Faktor sementasi berkurang seiring bertambahnya suhu sedangkan nilai tortuositas bertambah seiring meningkatnya suhu. Hal ini terlihat ketika faktor sementasi sinter silika pada temperatur 175 °C sebesar 1,679 kemudian pada suhu 300° nilai sementasi sinter silika turun menjadi 1,088. Berbanding terbalik dengan faktor sementasi, nilai tortuositas sinter silika pada suhu 175°C didapatkan sebesar 6,2944 ketika suhu dinaikkan menjadi 300 °C, nilai tortuositas semakin bertambah menjadi 48,89.



Gambar 7 Hubungan faktor resistivitas dengan porositas sinter silika pada suhu pemanasan yang berbeda

Berdasarkan Gambar 7, hubungan formasi resistivitas dengan porositas pada sinter silika yang dipanaskan pada suhu 175, 200 dan 225 °C memiliki koefisien korelasi yang jauh lebih baik dibandingkan dengan sampel dengan suhu pemanasan yang lebih tinggi. Hal ini menjelaskan bahwa di bawah suhu 225 °C, Hukum Archie pada Persamaan 1 dapat berlaku. Namun, pada suhu di atas 225 °C, nilai koefisien korelasi jauh dari 1, sehingga dapat disimpulkan Persamaan 1 kurang tepat diterapkan pada sinter silika dengan suhu pemanasan lebih dari 225 °C.

Nilai sementasi semakin kecil seiring meningkatnya suhu ini disebabkan oleh mineral air atau mineral lainnya mengalami penguapan ketika dipanaskan, sehingga beberapa mineral yang terkandung dalam sinter silika menjadi berkurang dan terbentuk ruang-ruang kosong pada sinter silika yang mengakibatkan nilai sementasi menjadi kecil karena permeabilitas batuan meningkat. Tortuositas merupakan rekahan kecil yang tidak terhubung dengan rekahan utama. Nilai tortuositas meningkat seiring bertambahnya suhu disebabkan oleh pori-pori sinter silika atau rekahan kecil yang bertambah besar ketika dipanaskan. Pori-pori sinter silika yang membesar inilah menyebabkan nilai tortuositas menjadi besar. Nilai tortuositas bergantung pada struktur pori, tekstur batuan, kompaksi dan ukuran butir (Bassouuni, 1994).

KESIMPULAN

Pemanasan sinter silika pada suhu 175 hingga 300 °C mengakibatkan terjadinya peningkatan porositas dan resistivitas sinter silika. Suhu pemanasan ini juga akan menyebabkan perubahan tortuositas dan faktor sementasi sinter silika. Dengan menggunakan persamaan empiris hubungan faktor resistivitas dan porositas $F_R = a \phi^{-m}$, hubungan ini dapat berlaku untuk suhu pemanasan di bawah 225 °C, sedangkan untuk suhu pemanasan yang lebih tinggi menghasilkan koefisien korelasi yang kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Archie, G.E., 1942, *The Electrical Resistivity Log As An Aid In Determining Some Reservoir Characteristics: Petroleum Transactions Of AIME*, Am. Inst. Min. Metall. Eng., hal 54-62.
- Bassiouni, Z., 1994. *Theory, Measurement, And Interpretation Of Well Logs*. SPE Textbook Ser. 4.

- Endhovani, R dan Putra, A., 2016, Analisis Konduktivitas Termal dan Porositas Sinter Silika Sumber Mata Air Panas di Sapan Maluluang, Kecamatan Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan, *Jurnal Fisika Unand* Vol. 5, No. 1, Januari 2016.
- Koesoemadinata, R. P., 1978, *Geologi Minyak Bumi*, ITB, Bandung.
- Lynne, B.Y., 2012, *Mapping Vent To Distal-Apron Hot Spring Paleo-Flow Pathways Using Siliceous Sinter Architecture*. *Geothermics* 43, 3–24.
- Rimstidt, J, D dan David R. Cole., 1982, *Geothermal Mineralization I*, Departement of Geological Science, Virginia.
- Saez, C., Munoz,, 2016, Physical and hydraulic properties of modern sinter deposits: El Tatio Atacama, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 256, University of California, Berkeley, California, USA, hal 156-158
- Suparno, S., 2009, *Energi Panas Bumi : A Present from The Heart of The Earth*, Edisi Pertama, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Wohletz, K. Dan Heiken, G., 1992, *Volcanology and Geothermal Energy University of California Press*, Brekeley, United States of America.