

Struktur dan Karakteristik Termal Sinter Silika Mata Air Panas Panti, Pasaman

Vira Friska, Ardian Putra*, Almuhsinin

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika,

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas

Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 22 Juli 2020

Direvisi: 29 Juli 2020

Diterima: 31 Juli 2020

Kata kunci:

sinter silika
karakteristik termal
opal-CT
mata air panas Panti

Keywords:

silica sinter
thermal characteristics
opal-CT
Panti hot spring

Penulis Korespondensi:

Ardian Putra

Email: ardianputra@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang struktur dan karakteristik termal sinter silika pada mata air panas Panti, Kabupaten Pasaman. Karakterisasi termal menggunakan metode *Differential Thermal Analysis (DTA)* dengan suhu pemanasan maksimal 1100°C untuk melihat perubahan fasa kristalin dari sinter silika. Berdasarkan hasil uji DTA, suhu terjadinya proses endoterm hampir sama pada kedua sampel yaitu titik A pada suhu 91,9°C dan titik B 91,8°C. Silika pada titik A mengalami transisi $\alpha \rightarrow \beta$ -quartz pada suhu 710,8°C selanjutnya perubahan β -quartz $\rightarrow \beta$ -tridymite pada suhu 848,8°C. Sampel silika pada titik B mengalami transisi fasa pada suhu yang lebih rendah dibanding titik A yaitu perubahan $\alpha \rightarrow \beta$ -quartz pada suhu 523,7°C dan β -quartz $\rightarrow \beta$ -tridymite pada suhu 711,2°C. Titik A membutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk berubah dari β -quartz $\rightarrow \beta$ -tridymite dibandingkan pada titik B. Ini mengindikasikan bahwa sampel pada titik B memiliki kandungan silika yang lebih tinggi dibandingkan titik A. Struktur sinter silika diuji menggunakan *X-Ray Diffractometer (XRD)*. Hasil uji XRD menunjukkan bahwa sinter silika pada kedua titik memiliki fase opal-CT. Hal ini mengindikasikan bahwa sinter silika pada mata air panas panti, Pasaman memiliki usia >10.000 tahun dan aktifitas termal panas bumi daerah penelitian ini sudah ada puluhan ribu tahun.

Structure and thermal characteristics of silica sinter on hot spring in Panti, Pasaman District has been investigated. The thermal characteristics used the *Differential Thermal Analysis (DTA)* method with a maximum heat temperature of 1100°C to see the crystalline phase changes from silica sinter. Based on DTA test, the temperature of the endothermic process is almost the same in both samples, are 91,9°C at point A and 91,8°C at point B. The change $\alpha \rightarrow \beta$ -quartz at point A occurs at 710,8°C and β -quartz $\rightarrow \beta$ -tridymite occurs at 848,8°C. Silica sinter at point B have transitioned at temperatures lower than point A, the change $\alpha \rightarrow \beta$ -quartz occurs at 523,7°C and β -quartz $\rightarrow \beta$ -tridymite at 711,2°C. Siica at point A requires a higher temperature to change from β -quartz $\rightarrow \beta$ -tridymite than that at point B, this indicates that the sample at point B has a higher silica content than point A. The silica sinter structure was tested using an *X-Ray Diffractometer (XRD)*. The XRD results showed that the phase of silica sinters at both points is opal-CT. It indicates that silica sinters at the hot spring in Panti, Pasaman has an age >10,000 years and the geothermal thermal activity of this research area has existed for tens of thousands of years.

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi panas bumi yang cukup besar dengan perkiraan potensi sebesar 28 GW (Badan Geologi, 2009). Berdasarkan data statistik Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi tahun 2016, Provinsi Sumatera Barat memiliki potensi panas bumi sebesar 1035 MW, termasuk lima provinsi dengan potensi panas bumi terbesar di Indonesia. Beberapa kabupaten di Sumatera Barat yang memiliki potensi panas bumi diantaranya, Kabupaten Solok, Kabupaten Solok Selatan, Kabupaten Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat, Kabupaten Tanah Datar, dan Kabupaten Agam (Kementrian ESDM, 2017). Keberadaan sumber panas bumi biasanya ditandai dengan adanya manifestasi permukaan, seperti sumber mata air panas, tanah hangat, fumarol, geyser, dan sinter silika (Saptadji, 2009). Salah satu manifestasi permukaan yaitu sinter silika dapat memberikan informasi tentang sifat fisis seperti geokimia cairan, laju aliran fluida, dan kondisi lingkungan di sekitar sistem panas bumi.

Adanya sinter silika merupakan salah satu manifestasi penting bagi keberadaan reservoir panas bumi (Walter, 1976). Karakterisasi sinter silika dapat berupa analisis termal dan struktur yang terdapat dalam endapan sinter silika. Analisis termal dapat dilakukan dengan menggunakan *Differential Thermal Analysis* (DTA) dan analisis struktur endapan sinter silika menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD). Herdianita dkk. (2000) telah melakukan penelitian tentang perubahan mineral dan tekstur sinter silika di Islandia Utara dan New Zealand. Karakterisasi ini dilakukan dengan menggunakan teknik analisis termal, yaitu DTA serta uji XRD. Berdasarkan penelitian yang dilakukan diperoleh hasil bahwa sampel sinter silika pada Wairakei menunjukkan peristiwa *endoterm* terjadi pada suhu $<200^{\circ}\text{C}$ dan *eksoterm* terjadi pada suhu 1200°C sampai 1300°C . Peristiwa *eksoterm* menunjukkan terjadinya kristalisasi kristobalit. Transformasi $\beta \rightarrow \alpha$ *crystalite* terjadi pada pendinginan 200°C . Suhu perubahan $\beta \rightarrow \alpha$ *crystalite* meningkat seiring meningkatnya susunan struktur silika. Secara umum, sinter silika dikaitkan dengan fasa mineral lainnya dengan suhu perubahan $\beta \rightarrow \alpha$ *crystalite* sekitar 150°C . Berdasarkan uji XRD, beberapa sampel memiliki fasa parakristalin opal-CT dan opal-C yang menjelaskan bahwa sinter silika memiliki usia 50 sampai 40.000 tahun.

Valles dkk. (2008) juga melakukan penelitian tentang karakterisasi sinter di lapangan panas bumi EL Tatio Chili. Berdasarkan hasil dari pengujian DTA, saat pemanasan menunjukkan proses kristobalit pada suhu 1000°C , dan pada suhu 200°C menunjukkan perubahan $\beta \rightarrow \alpha$ *crystalite* yaitu pada saat pendinginan. Hasil dari uji XRD diperoleh bahwa sinter silika memiliki fasa opal-A yang mengindikasikan sinter memiliki usia yang masih muda.

Berdasarkan penelitian Burhan dan Putra (2017) Sumatera Barat umumnya memiliki tipe mata air panas bikarbonat disusul tipe sulfat dan klorida. Salah satu mata air panas di Sumatera Barat yaitu Panti, Kabupaten Pasaman memiliki tipe mata air panas klorida. Hal ini dikarenakan struktur berarah barat laut-tenggara dan batuan ubahan di bagian tengah daerah yang diindikasikan berada pada zona *upflow* dari sistem panas Panti ini yang menyebabkan munculnya mata air tersebut (Kementrian ESDM, 2017).

Arrahman dan Putra (2015) melakukan penelitian tentang perkiraan suhu reservoir panas bumi dari sumber mata air panas di Nagari Panti, Kabupaten Pasaman. Berdasarkan persamaan geotermometer, diperoleh perkiraan suhu reservoir rata-rata $548,9^{\circ}\text{C}$ yang menunjukkan bahwa di Nagari Panti terdapat suatu reservoir panas bumi yang bersuhu tinggi dengan potensi energi lebih dari 100 MW. Perkiraan suhu reservoir pada mata air panas Panti diindikasikan dengan munculnya sinter silika dan menunjukkan adanya sistem panas bumi di wilayah tersebut. Oleh karena itu, akan dilakukan penelitian tentang karakteristik sinter silika di daerah Panti, Kabupaten Pasaman yang dapat memberikan informasi tentang karakteristik termal sinter silika yang dihasilkan usia endapan sinter silika. Karakterisasi sinter silika berupa analisis termal menggunakan metode DTA dan analisis struktur sinter silika menggunakan XRD.

II. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk preparasi sampel pada penelitian ini yaitu lumpang, alu, dan ayakan 100 mesh. Pengujian struktur sinter silika menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD)

Shimadzu 7000 dan analisis termal menggunakan *Differential Thermal Analysis* (DTA) dengan Linseis tipe PT1600. Bahan pada penelitian ini berupa sinter silika yang diambil pada mata air panas Panti, Pasaman. Sampel diambil pada dua titik yang diberi nama titik A dan titik B dengan koordinat berturut-turut 0°20'51.6"N 100°4'6.38"E dan 0°20'51.92"N 100°4'6.66"E.

2.2 Preparasi Sampel

Sampel diambil berupa sinter silika yang menempel pada batuan di sekitar mata air panas dalam bentuk bongkahan, yang selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dikeringkan. Sampel yang sudah kering dipecahkan menjadi lebih kecil dan dihaluskan menggunakan lumpang dan alu sampai melewati ayakan 100 mesh.

2.3 Karakterisasi Sampel

Karakterisasi DTA dilakukan untuk menganalisis fenomena perubahan fasa kristalin sampel sinter silika. Pemanasan dilakukan sampai temperatur 1100 °C dengan laju pemanasan 10°C/menit. Sampel inert yang digunakan sebagai pembanding adalah alumina (Al₂O₃) karena alumina memiliki titik lebur yang sangat tinggi yaitu 2050 °C. Data yang terbaca pada uji DTA berupa grafik temperatur terhadap laju pemanasan yang merupakan data eksoterm dan endoterm di setiap temperatur.

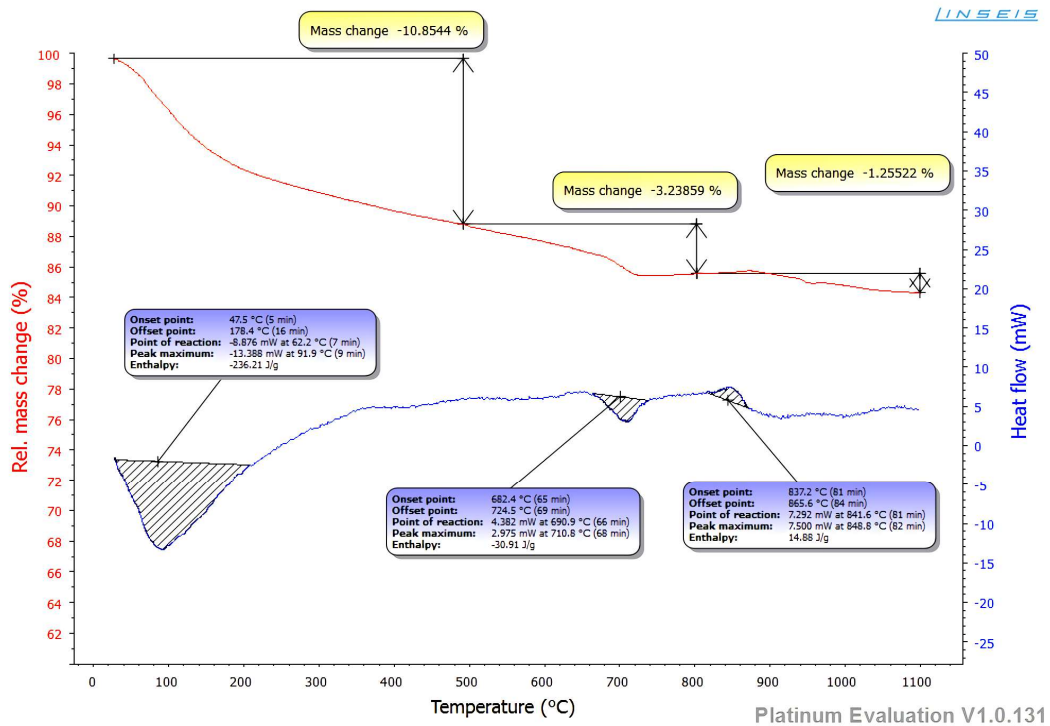
Karakterisasi XRD dilakukan untuk analisis struktur dari endapan sinter silika sehingga dapat ditentukan fasa dari silika. Sampel yang digunakan sebanyak 0,5 g dengan kondisi operasi menggunakan radiasi Cu pada 40 kV 30 mA dan di-*scan* dari sudut 10,131°-99,9731°. Analisa grafik uji XRD dibantu dengan menggunakan *Software Match* dan dibandingkan dengan standar difraksi sinar-X yaitu menggunakan data ICDD (*International Centre for Diffraction Database*).

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakterisasi Analisis Termal Sinter Silika

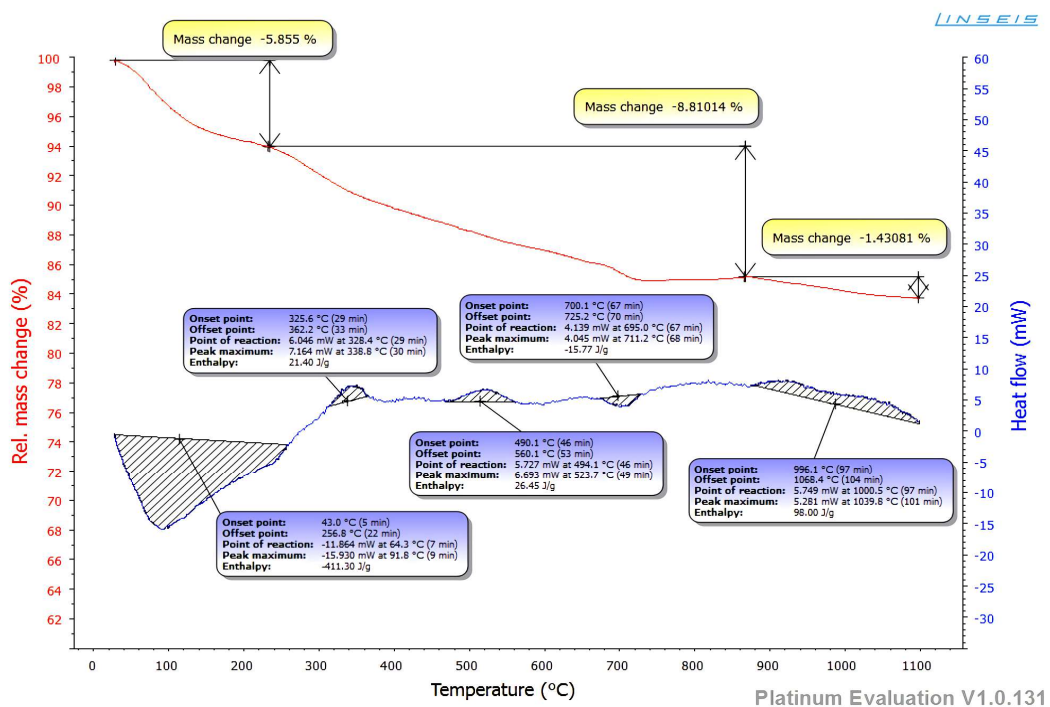
Grafik hasil uji DTA sinter silika pada sampel titik A dapat dilihat pada Gambar 1. Grafik DTA ditunjukkan pada kurva berwarna biru yang merupakan grafik hubungan Temperatur (°C) terhadap Laju Aliran Panas (mW). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada rentang suhu 47,5-178,4°C terjadi proses *endoterm* yang puncaknya yaitu pada suhu 91,9°C.

Proses ini ditandai dengan menurunnya kurva yang mengindikasikan bahwa terjadinya penyerapan panas, penguapan, dan hilangnya air dari struktur silika (Jones dan Segnit, 1971). Transisi silika pertama kali yang terbaca adalah $\alpha \rightarrow \beta$ -*quartz* yang terjadi pada suhu 682,4°C dengan puncaknya pada suhu 710,8°C, silika seutuhnya telah berada pada fasa β -*quartz* dengan struktur *hexagonal* yaitu pada suhu 724,5°C (*offset point*). Transisi selanjutnya adalah β -*quartz* \rightarrow β -*tridymite* yang dimulai pada suhu 837,2°C dengan puncak yaitu 848,8°C. Transisi ini berakhir pada suhu 865,6°C menandakan bahwa fasa silika telah seutuhnya berubah menjadi β -*tridymite* dengan bentuk kristal *hexagonal*. Transisi pada silika diakibatkan oleh pemanasan yang dilakukan secara terus-menerus pada suhu diatas 650°C. Perubahan yang terjadi dari bentuk *quartz* ke *tridymite* mengindikasikan terjadinya pergeseran kisi kristal karena adanya pengaruh perubahan suhu. α -*quartz* merupakan silika polimorf stabil pada suhu rendah yang berlawanan dengan β -*quartz* yang sangat mirip dengan α -*quartz* akan tetapi stabil hanya di atas 573°C (Heaney, 1994).



Gambar 1 Grafik DTA sinter silika pada titik A

Gambar 2 merupakan grafik hasil uji DTA pada titik B. Berdasarkan grafik tersebut diperoleh rentang suhu terjadinya proses *endoterm* yaitu 43,0-256,8°C dengan puncak pada suhu 91,8°C. Proses selanjutnya yaitu transisi gelas yang terjadi pada suhu 338,8°C. Suhu ini menunjukkan suatu gelas mengalami transformasi dari padatan yang rigid menjadi cairan *supercooled* dan sangat *viscous* (Setiabudi dkk, 2012). Titik ini tidak muncul sebagai puncak yang jelas namun sebagai perluasan anomali dari baseline. Fenomena yang terjadi setelah transisi gelas yaitu perubahan fasa silika. Tabel 1 merupakan tabel temperatur transisi fasa silika yang terjadi pada sampel di titik B.



Gambar 2 Grafik DTA sinter silika pada titik B

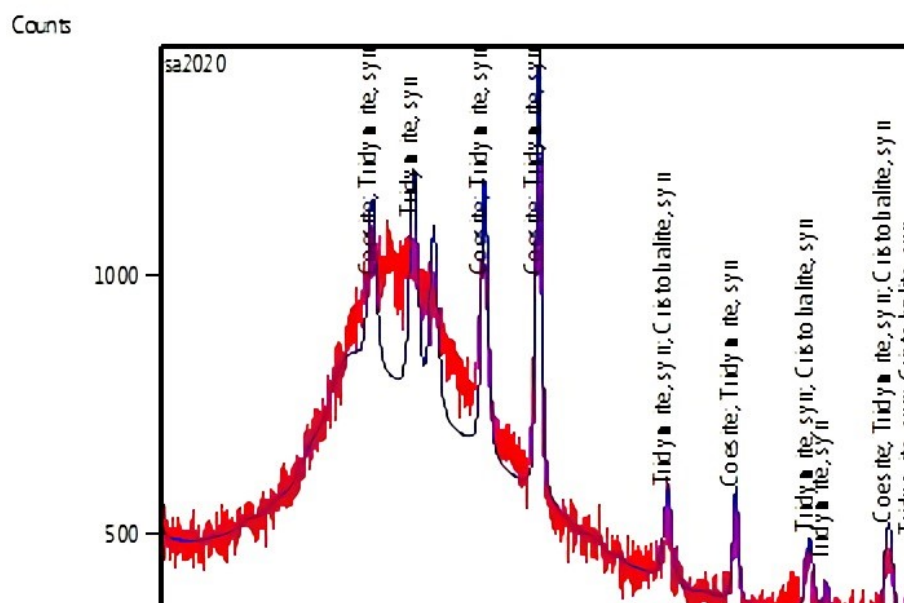
Tabel 1 Temperatur transisi fasa silika di titik B

Sampel	Transisi Gelas	$\alpha \rightarrow \beta$ -quartz	β -quartz $\rightarrow \beta$ -tridymite
B	338,8°C	523,7°C	711,2°C

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ramadhan dan Putra (2019) tentang karakteristik termal sinter silika di Kabupaten Solok dan Solok Selatan, diperoleh bahwa dibutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk transisi β -quartz $\rightarrow \beta$ -tridymite pada sampel Garara yaitu 811,48°C dibandingkan sampel pada Sapan Malulung yang suhu transisi β -quartz $\rightarrow \beta$ -tridymite sebesar 700,45°C. Sampel Garara memiliki kandungan silika yang lebih rendah yaitu 79,304% dibandingkan di daerah Sapan malulung yang memiliki kandungan silika sebesar 95,216%. Jika dibandingkan dengan daerah Panti sampel pada titik A membutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk berubah dari β -quartz $\rightarrow \beta$ -tridymite yaitu 848,8°C dibandingkan pada titik B dengan suhu 711,2°C, sehingga ini mengindikasikan bahwa sampel pada titik B memiliki kandungan silika yang lebih tinggi dibandingkan titik A. Hal ini sesuai dengan hasil uji XRF sinter silika dimana sampel pada titik A memiliki kandungan silika sebesar 83,367% dan pada titik B kandungan silika sebesar 85,429%. Perubahan dari β -quartz $\rightarrow \beta$ -tridymite membutuhkan suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan perubahan $\alpha \rightarrow \beta$ -quartz karena pada *tridymite* akan mengalami beberapa perubahan struktural pada pemanasan, disertai dengan perubahan dalam kelas simetri dan kristal sedangkan pada perubahan $\alpha \rightarrow \beta$ -quartz tidak terjadi perubahan struktural hanya pergeseran kisi kristal (Heaney, 1994).

3.2 Karakterisasi XRD Sinter Silika

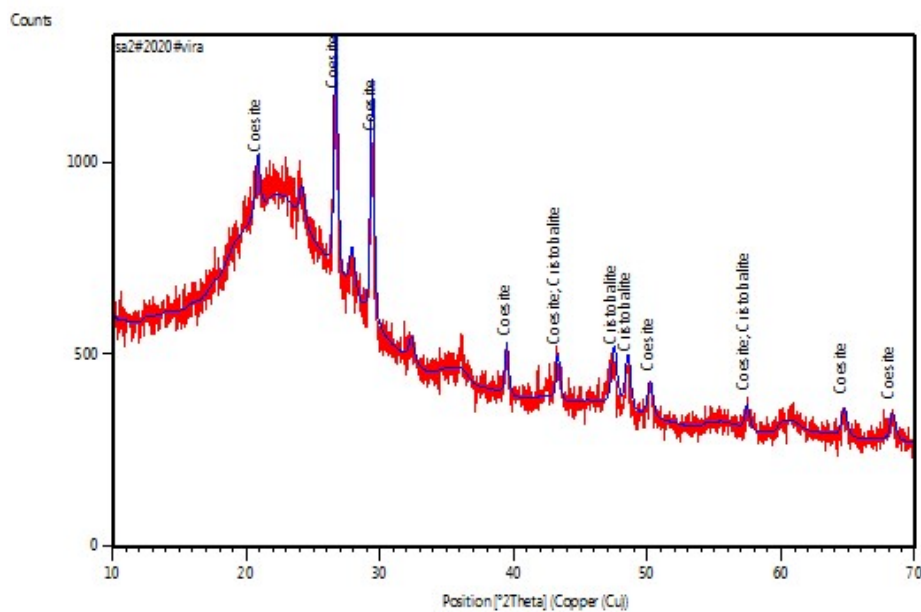
Gambar 3 merupakan difaktogram sampel sinter silika pada titik A mata air panas Panti, Kabupaten Pasaman. Berdasarkan analisis grafik yang dilakukan diperoleh puncak difraksi *coesite*, *tridymite*, dan *cristobalite*. Struktur kristal ini merupakan fasa dari mineral silika (SiO₂) yang diperoleh dari data ICDD. Munculnya stuktur kristal tersebut pada puncak difraksi menandakan bahwa sinter silika pada titik A memiliki fasa opal-CT. Struktur *cristobalite* muncul pada *d-spacing* 2,49 Å dan *tridymite* yang muncul di 4,26 Å, hal ini sama dengan sinter silika dengan fasa opal-CT di Umukuri pada data petrologi Departemen Geologi Universitas Auckland (Campbell dkk., 2001).

**Gambar 3** Pola XRD sampel titik A

Difaktogram sinar-X sampel sinter silika pada titik B dapat dilihat pada Gambar 4. Struktur kristal yang muncul pada sinter silika pada titik B yaitu *coesite* dan *cristobalite* yang merupakan fasa dari mineral silika (SiO₂). Sama halnya dengan titik A bahwa fasa dari sinter silika titik B merupakan

opal-CT. *Cristobalite* pada titik ini muncul pada d -spacing 2,08 Å dengan posisi 2θ 43,29°. Akan tetapi, pada titik B tidak terdapat struktur *tridymite* seperti titik A. Tidak munculnya struktur *tridymite* ini menandakan bahwa usia sinter silika lebih tua dibandingkan opal-CT pada titik A atau sering disebut dengan hidrotermal β -*cristobalite* seperti yang ada pada Steamboat Springs (Nevada), Yellowstone (Wyoming), dan Orakeikorako (Selandia Baru) (Herdianita dkk., 2000).

Diagenesis yang merupakan proses transformasi silika dari fasa opal-A menjadi opal-CT /opal-C dan selanjutnya menjadi kuarsa membutuhkan waktu beberapa ratus tahun (Herdianita dkk., 2000). Proses ini juga dipengaruhi oleh suhu dan tekanan yang tinggi (Ansori, 2010). Munculnya struktur *coesite* pada sampel ini menandakan adanya tekanan tinggi, karena *coesite* merupakan struktur kristal yang terbentuk pada tekanan tinggi (Smith, 1997).



Gambar 4 Pola XRD sampel titik B

Sinter silika yang memiliki fasa opal-CT mengindikasikan bahwa sumber mata air panas tersebut memiliki usia >10.000 tahun, seperti yang ada di Atiamuri dengan usia >20.000 tahun, Ohakuri >40.000 tahun, dan Umukuri dengan kisaran usia 40.000-120.000 tahun (Herdianita dkk., 2000). Valles dkk. (2008) juga menemukan beberapa silika dengan fasa opal-CT di lapangan panas bumi EL Tatio Chili. Di Sumatera Barat, salah satu sinter silika yang memiliki fasa opal-CT terdapat pada mata air panas Garara, Kabupaten Solok Selatan yang diperoleh berdasarkan karakterisasi XRD (Putra dkk., 2018). Fasa opal-CT pada sinter silika mengindikasikan bahwa aktifitas termal reservoir sistem panas bumi sudah cukup lama dibandingkan opal-A. Diperkirakan sistem panas bumi tersebut sudah ada puluhan ribu tahun, berbeda dengan opal-A yang usianya <10.000 tahun dan mengindikasikan aktivitas termalnya yang masih aktif (Herdianita dkk., 2000). Perubahan dari opal-A menjadi opal-CT juga dipercepat oleh aktivitas fumarolik dan pelapukan, menandakan bahwa sistem panas bumi Panti memiliki aktivitas fumarolik yang tinggi (Valles dkk., 2008).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan karakterisasi struktur endapan sinter silika dapat disimpulkan bahwa sinter silika pada mata air panas Panti, Kabupaten Pasaman memiliki fasa opal-CT yang mengindikasikan bahwa umur sinter silika yang sudah tua yaitu >10.000 tahun dan aktifitas termal sistem panas bumi terbentuk sudah lama orde puluhan ribu tahun. Hasil karakterisasi DTA menunjukkan sinter silika pada titik A membutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk berubah dari β -*quartz* \rightarrow β -*tridymite* dibandingkan pada titik B, mengindikasikan bahwa sampel pada titik B memiliki kandungan silika yang lebih tinggi dibandingkan titik A.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Andalas atas pembiayaan penelitian oleh Dana PNPB Fakultas MIPA Universitas Andalas, sesuai dengan Kontrak Penelitian No. 11/UN.16.03.D/PP/FMIPA/2019

DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, C., 2010, Model Mineralisasi Pembentukan Opal Banten, *Jurnal Geologi Indonesia* **5**, 151-170 (2010).
- Arrahman, R. dan Putra, A., 2015, Perkiraan Suhu Reservoir Panas Bumi dari Sumber Mata Air Panas di Nagari Panti, Kabupaten Pasaman Menggunakan Persamaan Geotermometer sebagai Dasar Penentuan Potensi Panas Bumi, *Jurnal Fisika Unand* **4**, 391-396 (2015).
- Badan Geologi, 2009, Sumber Daya Panas Bumi Indonesia: Status Penyelidikan, Potensi, dan Tipe Sistem Panas Bumi, <http://psdg.geologi.esdm.go.id>, diakses 17 Januari 2020.
- Burhan, D. dan Putra, A., 2017, *Pemetaan Tipe Air Panas di Sumatera Barat*, Prosiding Seminar Nasional Fisika 2017.
- Campbell, K.A., Sannazzaro, K., Rodges, K.A., Herdianita, N.R. dan Browne, P.R.L., Sedimentary Facies and mineralogy of the late pleistocene Umukuri Silica Sinter Taupo Volcanic Zone New Zealand, *Journal of Sedimentary Research* **71**, 727-746 (2001).
- Heaney, P.J., Structural and Chemistry of the Low Pressure Polymorphs, *Mineralogical Society of America* **29**, 1-40 (1994).
- Herdianita, N.R., Brown, P.R., Rodges, K.A. dan Cambell, K.A., Mineralogical and Textural Changes Accompanying Ageing of Silika Sinter, *Mineralium Dopusita* **35**, 48-62 (2000).
- Jones, B. dan Segnit, E.R., The Nature Of Opal, Nomenclature and Constituent Phases, *Geological Society Of Australia* **18**, 57-68 (1971).
- Kementrian ESDM, *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid I* (Direktorat Panas Bumi Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 2017), hal. 127–211.
- Putra, A., Inanda, D.Y., Buspa, F. dan Salim, A.F., 2018, Microsrtucture of Sinter Deposit Formed at Hot Springs in West Sumatera, *Journal of Physics: Conference Series* 997, hal. 2-5.
- Ramadhan, R. dan Putra, A., Karakterisasi Sinter Silika Mata Air Panas Garara Kab. Solok dan Mata Air Panas Sapan Maluluang Kab. Solok Selatan Menggunakan Metode Analisis Termal, *Jurnal Ilmu Fisika* **11**, 47-55 (2019).
- Saptadji, N.M., *Teknik Panas Bumi* (Departemen Teknik Perminyakan Fakultas Ilmu Kebumian dan Teknologi Material ITB, Bandung, 2009), hal.1–13.
- Setiabudi, A., Hardian, R. dan Muzakir, A., *Karakterisasi Material Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia* (UPI Press, Bandung, 2012), hal. 18.
- Smith, D.K., Opal, cristobalite, and tridymite: Noncrystallinity versus crystallinity, nomenclature of the silica minerals and bibliography, *Emeritus Professor of Mineralogy* **13**, 2–19 (1997).
- Valles, M.G., Turiel J.L., Torrente, D.G., Alonso, J.S. dan Manent, S.M., Mineralogical Characterization of Silica Sinter from The El Tatio Geothermal Field Chile, *American Mineralogist* **93**, 1373-1383 (2008).
- Walter, T.R., Possible coupling of Campi Flegrei and Vesuvius as revealed by InSAR time series correlation analysis and time dependent modeling, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **280**, 104-110 (1976).