

## UJI DENSITAS DAN POROSITAS SERTA KARAKTERISASI MENGUNAKAN XRD DAERAH MATA AIR PANAS SEMURUP SUNGAI MEDANG KABUPATEN KERINCI PROVINSI JAMBI

Larlen Nixolas<sup>1\*</sup>, Nova Susanti<sup>2</sup>, Samsidar<sup>1</sup>, Linda Handayani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika,

Fakultas Sains dan Teknologi,

<sup>2</sup>Program Studi Pendidikan Fisika,

Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,

Universitas Jambi, Mendalo Darat Jambi 36361

\*E-mail: [larlennixolas1@gmail.com](mailto:larlennixolas1@gmail.com)

### ABSTRACT

*Test Density and Porosity of rock have been done to see the relation to temperature influence 100 °C, 200 °C and 300 °C. Rocks that will be tested first heated temperature with furnace tool then weighed with a digital balance. Density and Porosity measurement data were analyzed using Matlab Software with ASTM C373 equation. The result of Matlab in the form of graph shows average temperature change to Semurup rock density of 0.03 g / cm<sup>3</sup> and the effect of temperature on Semurup rock porosity at 300 °C is 30.29%. The average temperature change to Medang River rock density is 0.003 g / cm<sup>3</sup> and the effect of temperature on Medang River rock porosity at 300 °C is 0,55%. Looking at the rock crystal structure used XRD. Data from Characterization using XRD was analyzed with High Score Plus software. The result of rock characterization using XRD, from semurup showed that component of CaCO<sub>3</sub> is 94%, crystal structure not yet fully formed and still in amorphous form, meanwhile rock from medang river show that component of CaCO<sub>3</sub> is with 98%, crystalline structure have formed crystal.*

**Keywords:** density, porosity, temperature, XRD.

### ABSTRAK

*Uji Densitas dan Porositas batuan telah dilakukan untuk melihat hubungan terhadap pengaruh temperatur 100 °C, 200 °C dan 300 °C. Batuan yang akan di uji terlebih dahulu diberi pemanasan temperatur dengan alat furnace lalu ditimbang dengan Neraca digital. Data pengukuran Densitas dan Porositas dianalisis menggunakan Software Matlab dengan persamaan ASTM C373. Hasil Matlab berupa grafik menunjukkan rata-rata perubahan temperatur terhadap densitas batuan Semurup sebesar 0,03 g/cm<sup>3</sup> dan pengaruh temperatur terhadap Porositas batuan Semurup pada suhu 300 °C adalah 30,29%. Rata-rata perubahan temperatur terhadap densitas batuan Sungai Medang sebesar 0,003 g/cm<sup>3</sup> dan pengaruh temperatur terhadap Porositas batuan Sungai Medang pada suhu 300 °C adalah 0,55%. Melihat struktur kristal batuan digunakan XRD. Data dari Karakterisasi menggunakan XRD dianalisis dengan software High Score Plus. Hasil karakterisasi batuan menggunakan XRD, dari semurup menunjukkan bahwa komponen CaCO<sub>3</sub> adalah 94%, struktur kristal belum terbentuk sempurna dan masih dalam bentuk amorf, sedangkan batuan dari sungai medang menunjukkan bahwa komponen CaCO<sub>3</sub> adalah dengan 98 %, struktur kristal sudah terbentuk kristal.*

**Kata kunci:** densitas, porositas, temperatur, XRD.

### PENDAHULUAN

Mata air panas atau sumber mata air panas adalah tempat dimana keluar nya air tanah dari bawah bumi yang dipanaskan melalui panas bumi (*geothermal*) yang memiliki suhu lebih tinggi dari suhu air tanah disekitarnya. Penelitian tentang mata air panas di daerah

kabupaten kerinci, pernah dilakukan oleh Yuliandini menunjukkan bahwa daerah di sekitar sumber mata air panas tersebut tersusun atas batuan andesit dan batuan gamping [1].

Sifat fisik batuan berpengaruh terhadap adanya potensi panas bumi. Densitas batuan adalah massa partikel yang menempati suatu

unit volume tertentu. Penelitian tentang densitas pernah dilakukan Iosifina (2017) bahwa densitas batuan alam yang didapatkan di atas permukaan relative kecil antara  $0,2 \text{ g/cm}^3$  sampai  $3.50 \text{ g/cm}^3$ . Porositas merupakan sifat fisik batuan yang menunjukkan kemampuan batuan untuk menampung fluida didalam pori-porinya. Berdasarkan porositas oleh BSN (Badan Standar Nasional) bahwa standard porositas batuan *geothermal* pada daerah terdapat mata air panas adalah rata-rata 11,168 % sebagai sumber energi panas (*geothermal*) adalah 10% [2].

Pada penelitian ini batuan diambil di daerah mata air panas semurup dan sungai medang, kabupaten kerinci, provinsi jambi. Batuan yang diambil dari mata air panas dilakukan uji sifat fisis dengan melihat pengaruh temperatur  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  dan  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ . Batuan yang berasal dari batuan alam yang mengalami perubahan tekstur dan komposisi mineral pada fasa padat sebagai akibat perubahan kondisi fisika tekanan atau temperatur [3]. Akibat bertambahnya suhu batuan sebelumnya akan berubah sifat fisis seperti densitas dan porositas. *X-ray Diffraction* (XRD) adalah metode yang mampu menganalisis jenis dan sifat mineral pola difraksi yang dihasilkan. Di daerah mata air panas menunjukkan bahwa batuan disekitar memiliki kandungan terbesar yaitu  $\text{SiO}_2$  (silica) dan Calsilit Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) [4]. Pada penelitian ini batuan dari daerah mata air panas semurup dan sungai medang akan karakterisasi XRD dan analisis digunakan software High Score Plus.

## METODE PENELITIAN

### Bahan penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gps, palu, gerinda, *furnace*, *jaw crusher*, *pulverizer*, *ultasonik cleaner*, *sieving shake*, gelas beker, neraca digital, spatula, *furnace*, dan sebagai alat karakterisasi digunakan *X-ray*

*diffraction*. Sedangkan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah batuan semurup, batuan sungai medang, larutan acetone, air mineral, amplas.

### Pengambilan sample

Penelitian lapangan yang akan dilakukan, yaitu; survei secara langsung di lapangan kondisi fisik geologi daerah penelitian, mengambil sample dan memplot lokasi pengambilan sample pada peta lintasan berdasarkan data koordinat kontrol pada *Global Position System* (GPS). Batuan dari daerah panas bumi diambil dari 2 lokasi yang berbeda. Pengambilan sample batuan yang akan diambil berada di daerah semurup, sungai medang, kabupaten kerinci, Jambi.

### Preparasi sample

Preparasi merupakan suatu rangkaian kegiatan penelitian dalam mempersiapkan batuan untuk di analisis, yang metodenya disesuaikan dengan bentuk batuan dan apa yang akan dianalisis [5]. Berdasarkan bentuk batuan yang akan dianalisis, terdapat 2 jenis preparasi yaitu berbentuk persegi 4 batuan dan dalam bentuk sample serbuk.

### Preparasi sample sifat fisis

Batuan dipotong persegi 4 (empat) sebanyak 4 potong bagian yang kemudian dihaluskan dan diratakan menggunakan amplas. Setelah rata dan halus, batuan di *ultasonik cleaner* dengan larutan acetone 20 % + 80 % air mineral untuk mendapatkan parameter batuan yang akan diukur bersih dari lumut dan tanah yang menempel di batuan. Selanjutnya batuan yang telah bersih dari lumut dan tanah tersebut di *furnace* dengan variasi temperatur  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  dan  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  selama 1 jam tiap temperatur yang diberikan. Kemudian batuan yang telah di *furnace* dilakukan pengukuran sifat fisis (Densitas dan porositas) batuan [6].

## Preparasi sample XRD

Batuan dihancurkan dengan menggunakan alat *jaw crusher*. Setelah hancur, batuan dihaluskan menggunakan alat *Pulverizer*. Selanjutnya, batuan yang telah halus perlu lolos ayakan 200 mesh dengan menggunakan *Sieving shake*. Sample batuan yang telah lolos ayakan tersebut dimasukan kedalam plastik sample yang diberi label untuk di karakterisasi menggunakan XRD.

## Pengambilan data densitas dan porositas

Pengukuran yang dilakukan untuk mendapatkan sifat fisis batuan seperti densitas dan porositas yang di berikan perlakuan temperatur 100 °C, 200 °C dan 300 °C. Sample batuan yang telah di diberikan perlakuan temperatur dimasukan ke dalam plastik sample yang diberikan label. Batuan ditimbang satu persatu menggunakan neraca digital yang dikalibrasi untuk pengukuran sifat fisis batuan (Densitas dan Porositas)[7]. Data yang didapat ada 8 pada sample batuan semurup ada 4 dan pada sample batuan sungai medang ada 4, data yang didapat adalah nilai  $\rho$  air dalam botol, massa batuan didalam air dan massa + air.

## Pengambilan data karakterisasi XRD

Pengukuran yang dilakukan untuk mendapatkan karakterisasi dari alat X-ray

### Hasil Sifat Fisis Semurup:

| Suhu (T) | Massa awal (g) | Massa setelah suhu (g) | Massa + Air (g) | Volume M-S (0,01) | Densitas (g/cm <sup>3</sup> ) | Porositas (%) |
|----------|----------------|------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|---------------|
| 100 °C   | 6,37           | 6,776                  | 7,756           | 7,746             | 0,874                         | 12,65         |
| 200 °C   | 6,12           | 6,60                   | 7,60            | 7,59              | 0,86                          | 13,17         |
| 300 °C   | 3,12           | 4,382                  | 6,268           | 6,272             | 0,69                          | 30,29         |

### Hasil Sifat Fisis Sungai medang :

| Suhu (T) | Massa awal (g) | Massa setelah suhu (g) | Massa + Air (g) | Volume M-S (0,01) | Densitas (g/cm <sup>3</sup> ) | Porositas (%) |
|----------|----------------|------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|---------------|
| 100 °C   | 9,68           | 9,86                   | 9,90            | 9,89              | 0,9969                        | 0,40          |
| 200 °C   | 9,69           | 9,957                  | 10              | 9,99              | 0,9966                        | 0,43          |
| 300 °C   | 9,76           | 10,118                 | 10,174          | 10,164            | 0,9954                        | 0,55          |

Diffractionmeter dengan tipe PANalytical X-Pert3 Powder yang dalam bentuk serbuk sample batu pada batuan daerah semurup dan sungai medang. Data yang didapat akan terbaca pada monitor berupa grafik.

## Analisis data densitas dan porositas

Pada penelitian ini digunakan analisis data sifat fisis batuan (Densitas, porositas) menggunakan Test standar ASTM C373-88 data berupa grafik menggunakan software MATLAB 2009 yang dilihat persamaan terhadap teori fisika yaitu gas ideal terhadap perubahan temperatur.

## Analisis data karakterisasi XRD

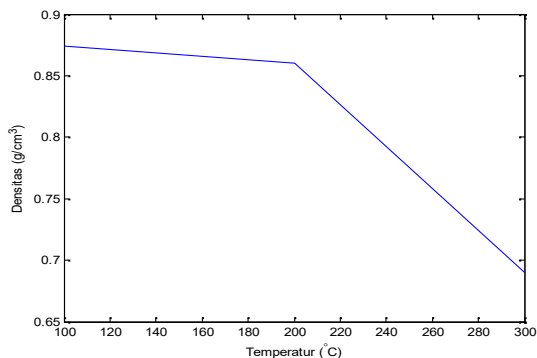
Pada penelitian dengan menganalisis data dari hasil karakterisasi XRD digunakan aplikasi/software HighScore Plus. Data yang dianalisis yaitu fasa mineral batuan, unsur kandungan batuan pada sample serbuk batuan semurup dan sungai medang, kabupaten kerinci, jambi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data sifat fisis (densitas dan porositas) menggunakan neraca digital dengan gelas beker yang berisi air didalamnya.

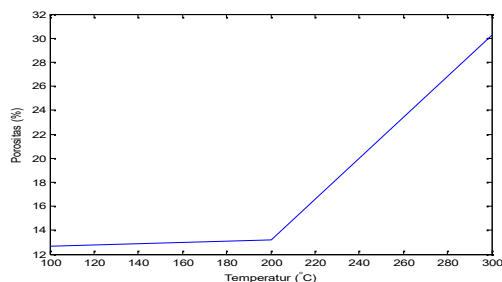
## Analisis sifat fisis (densitas dan porositas) Semurup

Densitas Batuan Semurup Dari program Matlab dengan persamaan ASTM dibuatkan grafik densitas terhadap temperatur. Hasil uji denistas batuan batuan semurup terhadap perubahan temperatur dapat digambarkan pada Gambar 1. Dari Gambar 1 densitas batuan dari Semurup, dapat dilihat hasil nilai densitas (B) akan mengalami perubahan setelah pemberian temperatur adalah densitas semakin menurun yaitu pada temperatur rendah 100°C sebesar 0,874 g/cm<sup>3</sup>, temperatur sedang 200°C sebesar 0,86 g/cm<sup>3</sup> dan temperatur tinggi 300°C sebesar 0,69 g/cm<sup>3</sup>.



**Gambar 1.** Densitas Batuan Semurup Terhadap Temperatur.

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan pada batuan Semurup dapat dianalisis bahwa densitas batuan sangat kecil dan mengalami perubahan setelah diberikan temperatur. Hasil uji porositas batuan semurup terhadap perubahan temperatur dapat digambarkan pada Gambar 2.



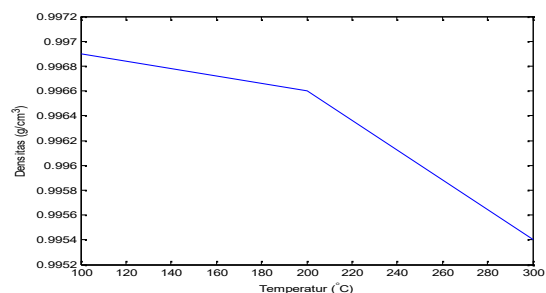
**Gambar 2.** Porositas Batuan Semurup Terhadap Temperatur.

Dari Gambar 2. Porositas batuan dari Semurup, dapat dilihat hasil nilai porositas (P) akan mengalami perubahan setelah pemberian temperatur adalah porositas semakin membesar yaitu pada temperatur rendah 100°C sebesar 12,65 %, temperatur sedang 200°C sebesar 13,17%, dan temperatur tinggi 300°C sebesar 30,29 % [8].

Dari hasil uji densitas dan porositas di daerah semurup yang telah dilakukan menunjukkan bahwa densitas batuan sangat kecil dan setelah dilakukan pemberian temperatur rendah, sedang dan tinggi densitas tidak mengalami perubahan yang besar tetapi uji porositas di daerah semurup yang telah dilakukan menunjukkan bahwa porositas batuan sangat besar dan setelah dilakukan pemberian temperatur rendah, sedang dan tinggi yang sangat besar adalah 30,29 % pada suhu 300°C.

## Analisis sifat fisis (densitas dan porositas) Sungai Medang

Densitas Batuan Sungai medang dari program Matlab dengan persamaan ASTM dibuatkan grafik densitas terhadap temperatur. Hasil uji denistas batuan batuan sungai medang terhadap perubahan temperatur dapat digambarkan pada Gambar 3.

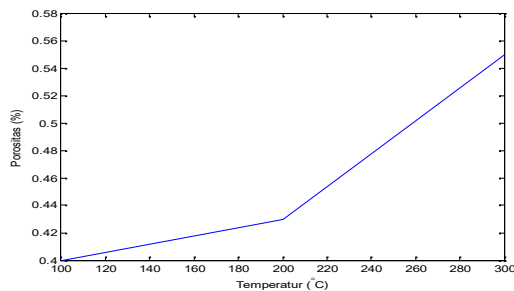


**Gambar 3.** Densitas Batuan Sungai Medang Terhadap Temperatur.

Dari Gambar 3. densitas batuan dari Sungai Medang, dapat dilihat hasil nilai densitas (B) akan mengalami perubahan setelah pemberian temperatur adalah densitas semakin menurun yaitu pada temperatur rendah 100°C sebesar 0,9969 g/cm<sup>3</sup>, temperatur sedang 200°C sebesar 0,9966 g/cm<sup>3</sup> dan temperatur tinggi 300°C sebesar 0,995 g/cm<sup>3</sup>.

Dari hasil uji densitas batuan yang telah diberikan temperatur terlihat bahwa densitas batuan menurun tetapi tidak terlalu besar, yaitu  $0,003 \text{ g/cm}^3$  sebab batuan sungai medang memiliki ciri khas yang keras dan memiliki kerapatan yang besar [9].

Hasil uji porositas batuan sungai medang terhadap perubahan temperatur dapat digambarkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Porositas Batuan Sungai Medang Terhadap Temperatur.

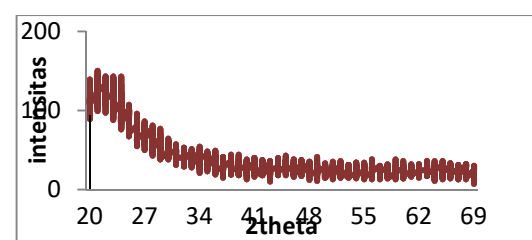
Dari Gambar 4. Porositas batuan dari Sungai medang, dapat dilihat hasil nilai porositas (P) akan mengalami perubahan setelah pemberian temperatur adalah porositas semakin membesar yaitu pada temperatur rendah  $100^\circ\text{C}$  sebesar 0.38 %, temperatur sedang  $200^\circ\text{C}$  sebesar 0.43%, dan temperatur tinggi  $300^\circ\text{C}$  sebesar 0.55 %. Dalam hal ini dijelaskan bahwa temperatur sangat berpengaruh terhadap porositas bahwa pori-pori batuan akan bertambah besar setelah diberikan temperatur tinggi [10].

Dari hasil uji densitas dan porositas di daerah sungai medang yang telah dilakukan menunjukkan bahwa densitas batuan sangat kecil dan setelah dilakukan pemberian temperatur rendah, sedang dan tinggi densitas tidak mengalami perubahan yang besar karena dilihat dari kerapatan batuan densitas yang baik dan juga batuan tersebut sangat keras secara fisik. Sedangkan uji porositas di daerah sungai medang yang telah dilakukan menunjukkan bahwa porositas batuan sangat kecil dan setelah dilakukan pemberian temperatur rendah, sedang dan tinggi hanya mengalami perubahan terbesar 0.55 % pada suhu  $300^\circ\text{C}$ .

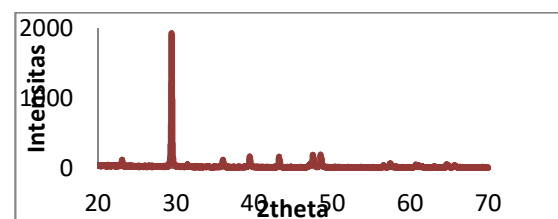
Berdasarkan hasil uji densitas dan porositas di daerah sungai medang dapat dikatakan bahwa potensi di daerah mata air panas sungai medang memiliki potensi panas bumi yang lebih baik dari daerah semurup dapat dilihat dari kecilnya perubahan sifat fisik terhadap temperatur, sebab sifat fisik batuan menunjukkan bahwa batuan sangat keras dan memiliki kerapatan yang baik. Batuan yang memiliki kerapatan yang baik memiliki konduktivitas termal yang baik juga, karena batuan yang baik dapat mengantarkan panas bumi yang konstanta tanpa perubahan yang besar [11].

### Analisis X-ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi dengan menggunakan XRD dilakukan dengan XRD PANalytical dengan rentang nilai  $2\theta$  sebesar  $20-80^\circ$ . Penentuan kesesuaian persentase kandungan mineral batuan yang terbentuk dilakukan dengan mencocokkan setiap puncak yang muncul pada difraktogram pada nilai sudut  $2\theta$  dan ditentukan hasil analisis kandungan mineral batuan yang mendominasi terdapat kesesuaian dan struktur kristal pada batuan. Hasil karakterisasi XRD pada batuan semurup dengan software High Scoreplus dapat dilihat Gambar 5.



**Gambar 5.** Karakterisasi XRD Batuan Semurup.



**Gambar 6.** Hasil Karakterisasi XRD Batuan Sungai Medang.

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa banyaknya puncak yang dihasilkan dalam mineral batuan Semurup adalah sebanyak delapan (2) buah, yaitu pada  $2\theta$  sebesar  $24,138^\circ$ ,  $33,153^\circ$  untuk mineral kandungan batuan. Dari data puncak-puncak difraksi tersebut maka puncak tertinggi dihasilkan pada sudut  $2\theta=24,138^\circ$  dan nilai intensitas titik maksimum adalah 152. Komponen mineral batuan yang mendominasi adalah *Calcium Carbonate* dengan lambang unsur  $\text{CaCO}_3$  sebesar 94 %, dengan nama mineral pada batuan adalah *Calcite*, nilai HKL titik maksimum 0 1 2 dan struktur kristal pada batuan semurup adalah Rhombohedral [12].

Hasil karakterisasi XRD pada batuan sungai medang dengan software High Scoreplus lihat pada Gambar 6. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa banyaknya puncak yang dihasilkan dalam mineral batuan Sungai Medang adalah sebanyak delapan (8) buah, yaitu pada  $2\theta$  sebesar  $23,023^\circ$ ,  $29,481^\circ$ ,  $35,920^\circ$ ,  $39,339^\circ$ ,  $43,155^\circ$ ,  $47,606^\circ$ ,  $48,640^\circ$  dan  $57,385^\circ$  untuk mineral kandungan batuan. Dari data puncak-puncak difraksi tersebut maka puncak tertinggi dihasilkan pada sudut  $2\theta=29,481^\circ$  dan nilai intensitas titik maksimum adalah 1949. Komponen mineral batuan yang mendominasi adalah *Calcium Carbonate* dengan lambang unsur  $\text{CaCO}_3$  sebesar 98 % dengan nama mineral *Calcite* [13]. Nilai HKL titik maksimum 1 0 4 dan struktur kristal pada batuan sungai medang adalah Rhombohedral.

Berdasarkan analisis karakterisasi batuan dari semurup dan sungai medang memiliki perbedaan, pada batuan dari semurup menunjukkan bahwa nilai komponen  $\text{CaCO}_3$  adalah sebesar 94 % dan komponen iron oxide adalah sebesar 6 % dengan struktur kristal belum terbentuk sempurna tetapi masih dalam bentuk amorf, sedangkan batuan dari sungai medang menunjukkan bahwa nilai komponen  $\text{CaCO}_3$  adalah sebesar 98 % dan silikon 2 % dengan struktur kristal sudah terbentuk sempurna seperti halnya kristal [14].

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka sifat fisis densitas batuan semurup relatif kecil sebesar  $0,876 \text{ g/cm}^3$ , setelah diberikan temperatur perubahan tidak signifikan hanya sebesar  $0,03 \text{ g/cm}^3$  setiap kenaikan temperatur, tetapi porositas batuan semurup relatif besar sebesar 12,47 %, yang mengalami perubahan yang signifikan pada temperatur tinggi  $300^\circ\text{C}$  sebesar 30,29 % dan sifat fisis batuan sungai medang relatif kecil, setelah diberikan temperatur tidak ada yang mengalami perubahan signifikan, nilai densitas sebesar  $0,9983 \text{ g/cm}^3$  yang mengalami perubahan sebesar  $0,003 \text{ g/cm}^3$  setiap kenaikan temperatur, Porositas sungai medang pada temperatur sebesar 0,38 %, yang mengalami perubahan temperatur tinggi  $300^\circ\text{C}$  sebesar 0,55 %. Batuan dari semurup menunjukkan bahwa nilai komponen  $\text{CaCO}_3$  adalah sebesar 94 %, dengan struktur kristal belum terbentuk sempurna tetapi masih dalam bentuk amorf, sedangkan batuan dari sungai medang menunjukkan bahwa nilai komponen  $\text{CaCO}_3$  adalah sebesar 98 %, dengan struktur kristal sudah terbentuk sempurna seperti halnya kristal.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Yuliandini, A. (2013). 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*, 2(4).
2. Iosifina, et. al. (2016). Measurement and Analysis of Thermal Properties of rocks for the Compilation of Geothermal Maps of Cyprus. *Renewable Energy*, 418-429.
3. Putu, dkk. (2010). Studi Pengaruh Aktifasi Termal terhadap Struktur Mikro dan Porositas Zeolit Alam. *Jurnal Teknik Mesin*, Universitas Udayana Bali.

4. Ridhovi, A. P. (2016). Analisis Konduktivitas Termal dan Porositas Sinter Silika Sumber Mata Air Panas di Sapan Maluluang Kecamatan Alam Pauh Duo Kabupaten Solok Selatan. Padang. *Jurnal Fisika Unand*, **5**(1).
5. ASTM C. (1999). Standar Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whieware Product. Reapproved, 373-388.
6. Duchkov, A. D. et. al. (2014). Thermal Conductivity of the Sedimentary Cover Rocks of the West Siberian Plate in Relation to their Humidity and Porosity. *Russian Geology and Geophysics*, **55**, 784-792.
7. Edwards, L. M. et. al. (1982). *Handbook of Geothermal Energy*. Gulf Publishing Company. Capter 2.
8. Fathar, Q. (2013). Studi Potensi Panas Bumi Daerah Hululais Kabupaten Lebong Provinsi Bengkulu Sumatra. *Jurnal Teknik*, Universitas Hasanuddin
9. Fridawati, M. (2008). *Analisa Struktur Kristal dari Lapisan Tipis Aluminium (Al) dengan Metode Difraksi Sinar-X (Skripsi)*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
10. Khoiri, Z. (2016). Studi Anomali Bawah Permukaan Daerah Sekitar Manifestasi Air Panas.
11. Marzani, Y. (2013). Kimia Mata Air Panas Bumi untuk Pengembangan Parawisata di daerah Samboja Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Teknik Geologi*, Universitas Negeri Kalimantan.
12. Schmidt, R. et. al. (2017). Reactivity of Geothermal Reservoir Rocks Under Temperature Conditions Found in Upper Rhine Graben (Germany). *Procedia Earth and Planetary Science*, **17**, 881-884.
13. Telford, W. N. G. & Sherrif, R.E. (1990), *Applied Geophysics Second Edittion*. New York: Cambridge University Press
14. Zhang, W., et. al. (2016). Experimental Study on the Variation of Physical and Mechanical Properties of Rock After High Temperature Treatment. *Applied Thermal Engineering*, **98**, 1297-1304.