

PENGARUH KALSINASI TERHADAP STRUKTUR KRISTAL SERPENTIN YANG TERDAPAT DI JORONG SUNGAI PADI NAGARI LUBUAK GADANG KECAMATAN SANGIR KABUPATEN SOLOK SELATAN

Vivi Febrini¹⁾ Ratnawulan²⁾ Gusnedi³⁾

¹⁾Mahasiswa Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

²⁾Staf Pengajar Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

Email : vivifebrini@yahoo.com

ABSTRACT

Serpentine rock alteration of olivine is widespread with content that is rich in magnesium oxide and silica. It has done research on the serpentine from Jorong Sungai Padi by giving heat treatment for investigating the crystal structure of serpentine. The samples of serpentine were crushed and sieved till form powder and calcined at temperature 725 °C to 825 °C for 1 hour. The results calcination were characterized by X-Ray Diffraction (XRD). The results calcination showed that the serpentine occurred alteration of structure, such as from monoclinic structure became orthorhombic structure. That's mean showed, in serpentine had a new mineral.

Keywords : *Crystal Structure, X-Ray Diffraction (XRD)*

PENDAHULUAN

Serpentin berasal dari batuan ultrabasa yang mengalami perubahan akibat *hydrothermal* dan terjadinya pergantian unsur-unsur yang minor seperti nikel, kromium, cobalt, dan scandium^[6]. Mineral yang merupakan kelompok serpentin antara lain *antigorite*, *lizardite*, dan *chrysotile*^[9]. Serpentin memiliki kenampakan sifat fisik yang beranekaragam. Sehubungan dengan itu, Tonggiroh (2011) menyatakan bahwa kenampakan sifat fisik mineral serpentin berwarna hijau sampai hijau tua, memperlihatkan struktur retak (*fractures*) dan umumnya dijumpai bersama mineral silika, kalsit yang mengisi rongga batuan^[17]. Gambar 1 menunjukkan kenampakan fisik serpentin.

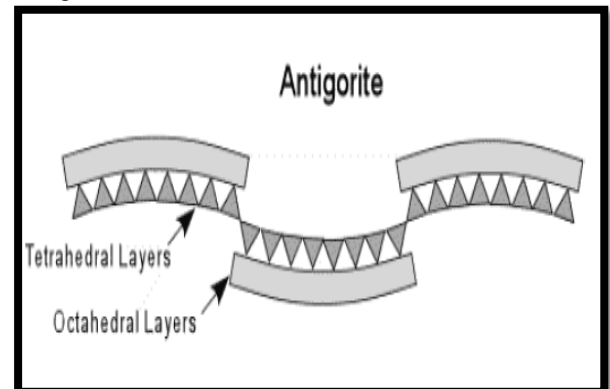


Gambar 1. Batuan Serpentin^[4]

Pada dasarnya, seluruh mineral serpentin memiliki struktur kristal dan struktur kimia yang sama. *Antigorite* dan *clinochrysotile* memiliki struktur kristal berupa monoklinik. *Orthochrysotile* dan *parachrysotile* memiliki struktur kristal

orthorhombic. Sedangkan, *lizardite* memiliki struktur trigonal dan hexagonal^[19].

Pada Gambar 2 terlihat bahwa *antigorite* mempunyai struktur yang terlihat seperti pemanjangan gelombang, yaitu ikatan lembaran oktahedral yang berkelanjutan ke lembaran tetrahedral dengan setengah gelombang namun tidak mengubah lembaran silikat^[5].

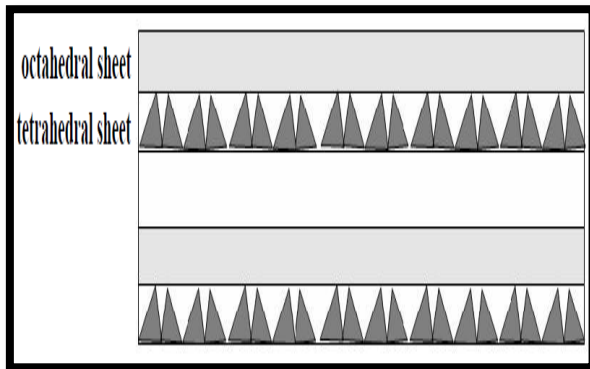


Gambar 2. Struktur *Antigorite*^[10]

Pada *antigorite*, ketidaksempurnaan penyesuaian lapisan oktahedral dan lapisan tetrahedral mengakibatkan struktur kristal melengkung. Pelengkungan lembaran ini tidak berlanjut, akan tetapi muncul dalam bentuk rangkaian/patahan kecil^[10]. Sifat fisis dari *antigorite* meliputi sistem kristal monoclinic dengan unit selnya $a=5.3 \text{ \AA}$, $b=9.25 \text{ \AA}$, dan $c=7.3 \text{ \AA}$ ^[3].

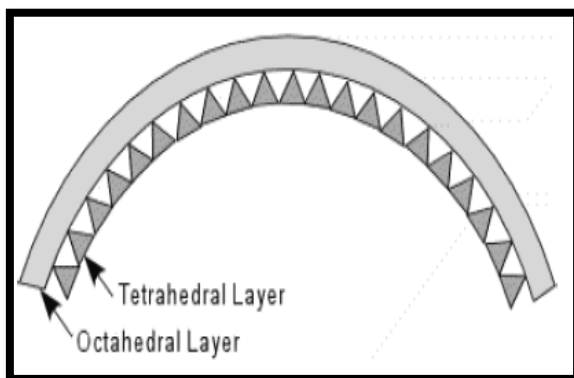
Struktur *antigorite* yang seperti ini menyebabkan *antigorite* menjadi padat dan lunak, sehingga dapat dipahat atau diukir untuk dimanfaatkan sebagai ukiran, meja, patung, dan batu giok^[9].

Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa *lizardite* memiliki struktur planar dengan lembaran tetrahedral yang menyimpang dan disambungkan dengan lembaran oktahedral. Biasanya jenis *lizardite* nya adalah *lizardite* 1T. Penggantian ion Al ke Si, terjadi di lembaran tetrahedral, dan penggantian ion Al ke Mg terjadi di lembaran *octahedral*^[5].



Gambar 3. Struktur *Lizardite*^[5]

Walaupun memiliki persamaan antar jenis mineral, juga terdapat perbedaan. Perbedaannya terletak pada lengkungan kekisi yang mengakibatkan *antigorite* dan *lizardite* menjadi padat atau berbutir halus, sedangkan *chrysotile* menjadi berserat^[8].



Gambar 4. Struktur *Chrysotile*^[10]

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa pelengkungan lembaran pada *chrysotile* lebih berkelanjutan, sehingga menghasilkan rongga yang berkesinambungan yang memperlihatkan mineral perilaku seratnya. *Chrysotile* berbeda dengan *antigorite* karena *chrysotile* memiliki serat halus^[10]. *Chrysotile* dapat dimanfaatkan sebagai bahan tahan api atau pembuatan bahan tahan panas^[15].

Struktur Kristal

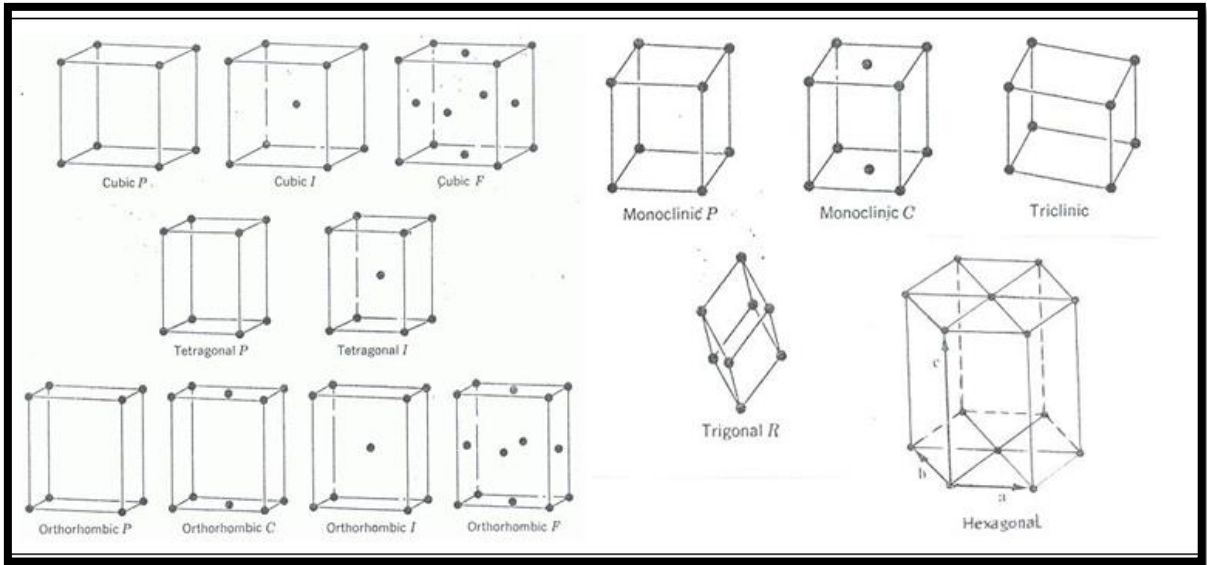
Setiap atom dalam kristal dianggap suatu titik, tepat pada kedudukan setimbang tiap atom di dalam ruang. Pola geometrik yang diperoleh dinamakan kisi kristal. Periodisitas tiga dimensional yang merupakan karakteristik kristal dapat menggunakan beberapa geometri yang berbeda. Ada dua jenis kisi yaitu kisi *Bravais* dan *non Bravais*. Dalam kisi *Bravais*, seluruh titik kisi adalah *ekivalen*, artinya kisi bersifat invariant terhadap operasi simetri translasi. Dengan demikian, semua atom dalam kristal haruslah sejenis. Sedangkan dalam kisi *non Bravais* terdapat beberapa titik kisi yang tidak *ekivalen*^[11].

Berdasarkan parameter kisi, maka variasi sudut aksial dan variasi ukuran relatif dari dimensi a , b , c akan menghasilkan tujuh sistem kristal yang tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Kisi *Bravais*^[18]

No	Sistem Kristal	Parameter Kisi	Kisi Bravais	Simbol
1	Kubik	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simpel Pusat badan Pusat muka	P I C
2	Monoklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	Simpel Pusat Dasar	
3	Triklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	Simpel	P
4	Tetragonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simpel Pusat Badan	P I
5	Orthorombik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simpel Pusat Dasar Pusat Badan Pusat Muka	P C I F
6	Trigonal/Rhombohedral	$a = b = c$ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	Simpel	P
7	Hexagonal/Rhombohedral	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	Simpel	P

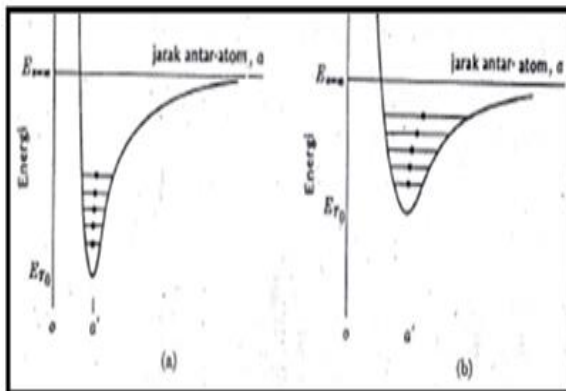
Sesuai dengan ketujuh sistem yang ada pada Tabel 1, terdapat 14 sistem *Bravais* yang diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Empat Belas Kisi Bravais^[11]

Pada Tabel 1 dan Gambar 5 memperlihatkan 7 sistem kristal dan 14 kisi bravais. Tujuh sistem kristal tersebut antara lain kubik, monoklinik, triklinik, tetragonal, orthorombik, rhombohedral dan hexagonal^[11].

Beragam struktur kristal ini dapat mengalami perubahan jika suatu material dipanaskan dengan laju pemanasan^[14]. Berubahnya struktur dari material akibat temperatur disebabkan karena ketika suatu material dipanaskan maka akan terjadi peningkatan energi yang memungkinkan atom-atom bergetar akan menyebabkan jarak antar atom pun lebih besar sehingga dapat merubah struktur kristal. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan Antara Energi dan Ikatan Struktur pada Bahan^[18]

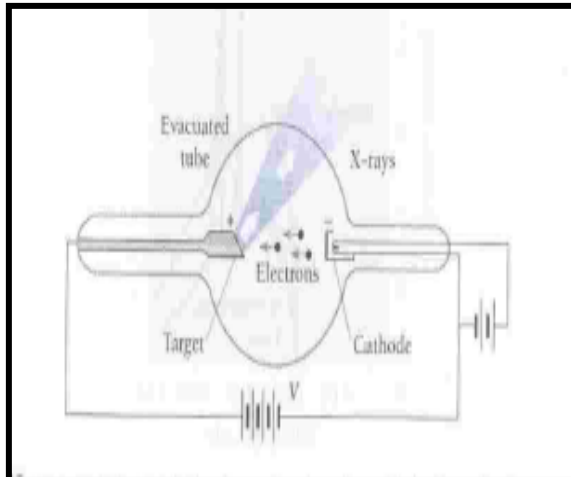
Pada Gambar 6 memperlihatkan hubungan antara pengaruh energi terhadap jarak antar atom, semakin besar energi yang diberikan maka jarak antar atom akan semakin menjauh sehingga mempengaruhi struktur dari material. Energi yang diperlukan sebuah atom untuk berdifusi disebut energi aktivasi. Jika sebuah atom memiliki energi aktivasi yang cukup untuk mendobrak ikatannya

maka akan terjadi proses difusi^[18]. Proses difusi menggambarkan situasi pergerakan atom yang tidak terletak pada kisi kristal, tapi menempati posisi interstisi^[14]. Ketika suhu meningkat dan atom-atom didalam padatan mengalami vibrasi yang lebih energetik, maka sebagian kecil fraksi dari atom-atom tersebut akan mengalami perubahan posisi dalam kisi^[18].

Posisi atom dalam sebuah kristal dapat diketahui dari intensitas relatif pada difraksi dengan menggunakan sinar x. Sinar x merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang sangat pendek, sekitar 1 angstrom^[13]. Pada tanggal 8 November 1895 Wilhem Roentgen menemukan sinar x secara tidak sengaja. Waktu itu Roentgen sedang melakukan percobaan untuk menguji kekasatan mata dalam ruang gelap.

Roentgen membungkus semua kaca pada tabung sinar katoda dengan menggunakan kertas tebal berwarna hitam. Ketika sinar katoda ditembakkan, Roentgen melihat sinar yang memancar dari benda yang terbuat dari barium platinosianida yang merupakan material fluoresen. Sehingga Roentgen berkesimpulan bahwa pasti ada berkas sinar tak terlihat telah menumbuk barium platinosida sehingga memancarkan sinar yang dinamakan sinar x. Sinar x memiliki sifat-sifat sebagai berikut^[16]:

- Sinar x berasal dari sinar katoda yang menumbuk plat anoda
- Sinar x bergerak dalam garis lurus dan dapat menghitamkan plat fotografi
- Sinar x mampu menembus berbagai zat: kertas, kayu, aluminium, platina dan timbal.



Gambar 7. Diagram Tabung Sinar X^[1]

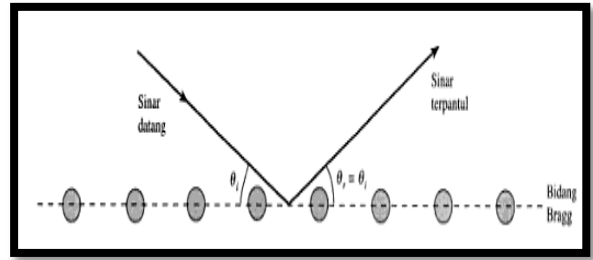
Gambar 7 merupakan diagram tabung sinar x. Beda potensial yang diberikan antara katoda dan anoda menggunakan sumber yang bertegangan tinggi. Perbedaan potensial yang tinggi ini mampu menimbulkan arus elektron sehingga elektron-elektron yang dipancarkan akibat pemanasan filamen akan dipercepat menuju logam target. Elektron yang dipercepat tiba-tiba akan terhenti karena menabrak logam target, sehingga dihasilkan sinar x. Sinar x yang terjadi karena proses pengereman ini disebut dengan *bremsstrahlung* (“radiasi pengereman”).

Sebagian dari elektron yang dipercepat itu juga akan menabrak elektron lainnya pada kulit atom. Hal ini menyebabkan elektron pada kulit atom tereksitasi dan menimbulkan kekosongan. Kekosongan ini akan segera ditempati oleh elektron dari kulit bagian luar yang disertai dengan pemancaran photon yang disebut dengan sinar x karakteristik^[1].

Verifikasi dalam struktur kristal yang sangat baik adalah melalui difraksi sinar x. Difraksi sinar x pada material terjadi akibat dua fenomena^[12]:

- Hamburan oleh tiap atom
- Interferensi gelombang oleh tiap atom-atom tersebut. Interferensi ini terjadi karena gelombang yang dihamburkan oleh atom memiliki koherensi dengan gelombang datang dan demikian pula dengan mereka sendiri.

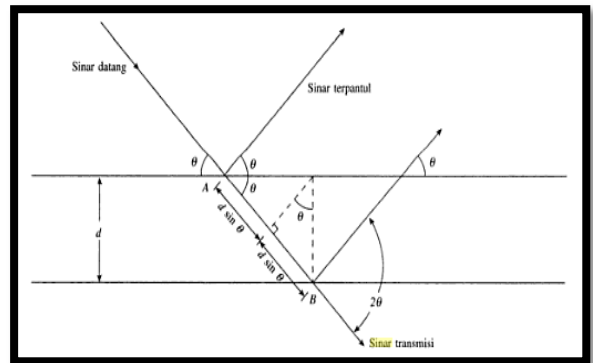
Teori difraksi sinar x dikembangkan oleh Sir William H. Bragg pada tahun 1913. Bragg menunjukkan bahwa bidang yang berisi atom di dalam kristal yang disebut bidang Bragg, akan memantulkan radiasi dengan cara yang sama persis dengan peristiwa pemantulan cahaya di bidang cermin, seperti ditunjukkan pada Gambar 8^[7].



Gambar 8. Bidang Bragg^[7]

Jika ditinjau radiasi yang dipantulkan oleh bidang Bragg yang tersusun secara paralel dan berjarak d satu sama lain, maka terlihat pada Gambar 19 bahwa ada kemungkinan sinar-sinar datang akan dipantulkan oleh setiap bidang dan saling berinterferensi secara konstruktif untuk menghasilkan penguatan secara menyeluruh terhadap sinar pantul. Kondisi untuk interferensi konstruktif tersebut menggambarkan bahwa perbedaan lintasan antara kedua sinar, $AB = 2d \sin \theta$, akan sama dengan paduan sejumlah panjang gelombang^[7]. Oleh karena itu, hukum Bragg menyatakan bahwa :

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (1)$$



Gambar 9. Difraksi Bragg^[7]

Arah berkas yang dipantulkan oleh atom dalam kristal ditentukan oleh geometri dari kisi kristal yang bergantung pada orientasi dan jarak bidang kristal. Suatu kristal yang memiliki simetri kubik ($a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$) dengan ukuran parameter kisi, $a = b = c$, maka sudut-sudut berkas yang didifraksikan dari bidang-bidang kristal (hkl) dapat dihitung dengan rumus jarak antar bidang sebagai berikut:

$$\frac{1}{d^2} = \left(\frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \right) \quad (2)$$

Dengan menerapkan hukum Bragg dari Persamaan (2) dan mensubstitusikan ke Persamaan (1), sehingga diperoleh persamaan:

$$\frac{4 \sin^2 \theta}{\lambda^2} = \left(\frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \right) \quad (3)$$

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{a^2} (h^2 + k^2 + l^2) \quad (4)$$

a , b , dan c merupakan parameter kisi dan h k l merupakan indeks untuk menyatakan arah bidang kristal (indeks miller). Dari Persamaan (7), parameter kisi dan kristal dapat ditentukan^[18]. Untuk menentukan parameter kisi $a=b$ c , akan diperoleh persamaan :

$$\sin^2 \theta \cdot 4 a^2 = \lambda^2 (h^2 + k^2 + l^2) \quad (5)$$

$$a = \frac{\lambda^2}{\sin \theta} \sqrt{\frac{(h^2 + k^2 + l^2)}{4}} \quad (6)$$

Di dalam setiap kristal, beberapa jenis bidang Bragg yang berbeda, masing-masing dengan jarak pisahnya sendiri-sendiri, dapat dibentuk dengan mengiris kristal tersebut melalui berbagai cara. Setiap jenis bidang ini dapat menaikkan difraksi. Dengan begitu, jika sebuah sinar x dilewatkan ke dalam kristal-kristal yang memiliki orientasi acak, seperti dalam sampel bubuk atau dalam timah tipis, pola difraksi yang berbentuk lingkaran-lingkaran konstan akan teramati di layar yang terletak dibelakang sampel. Sebuah lingkaran tertentu akan berhubungan dengan difraksi orde tertentu yang dihasilkan oleh sejenis bidang tertentu pula.

Menurut bidang Bragg, jarak pisah tersebut adalah jarak interatomik^[7]. Penentuan orientasi kristal dilakukan dengan mengamati pola berkas difraksi sinar-X yang dipantulkan oleh kristal. Untuk XRD, pola difraksi diamati sebagai fungsi sudut 2θ . Pola difraksi yang terjadi kemudian dibandingkan dengan JCPDS sebagai data standar .

METODE PENELITIAN

1. Pengambilan serpentinit

Posisi pengambilan sampel serpentinit secara geografis ditentukan dengan GPS (*Global Positioning System*). Sampel diambil dari Jorong Sungai Padi Nagari Lubuk Gadang Kecamatan Sangir, Kabupaten Solok Selatan, Sumatera Barat. (Kordinat : Lintang Selatan $1^{\circ}31'41,6''$ dan Bujur Timur $101^{\circ}14'57,4''$). Lokasi pengambilan serpentinit dapat diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Lokasi Serpentinit di Jorong Sungai Padi

2. Pembersihan serpentinit

Serpentinit yang diambil berasal dari batuan induk di Bukit Jorong Sungai Padi. Serpentinit yang telah diambil dapat dibersihkan atau dicuci dan dikeringkan.

3. Penggerusan serpentinit

Penggerusan serpentinit menggunakan mortar baja seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11 agar dapat dihaluskan dengan *bowlmill*. Serpentinit digerus hingga berukuran kecil dan berdiameter ± 1 cm.



Gambar 11. Mortar Baja untuk Menggerus Serpentinit

4. Penghalusan serpentinit

Serpentinit yang telah digerus dihaluskan dengan bowl mill untuk mendapatkan ukuran butir yang sama hingga 200 mesh sebanyak 30 gram dan memenuhi ukuran standar sampel. Gambar 12 memperlihatkan sampel serpentinit yang telah digerus dengan *bowlmill*.



Gambar 12. Sampel Serpentin dengan *Bowlmill*

5. Pemanasan

Serbuk serpentin yang telah diberi label tersebut disinter dengan suhu yang sesuai pada labelnya. Serbuk serpentin tersebut dimasukkan kedalam cawan porselen. Pemanasan dilakukan di Laboratorium Jaminan Kualitas PT. Semen Padang. Serpentin dipanaskan dengan menggunakan *furnace* dengan temperatur 725 °C, 750 °C, 775 °C, 800 °C, dan 825°C. Pemanasan ini dilakukan dengan lama penahanan selama 1 jam pada tiap temperatur. Setelah dipanaskan dalam *furnace*, cawan porselen dimasukkan kedalam desikator untuk didinginkan terlebih dahulu sebelum dikarakterisasi dengan XRD

6. Pemberian label

Sampel yang akan di karakterisasi diberi label dengan nama : sebelum disinter, 725 °C, 750 °C, 775 °C, 800 °C, dan 825°C seperti Gambar 13.



Gambar 13. Sampel yang Diberi Label

7. Karakterisasi Sampel

Sampel serpentin yang telah dikalsinasi dengan temperatur 725 °C, 750 °C, 775 °C, 800 °C, dan 825°C selanjutnya dapat dikarakterisasi dengan menggunakan XRD untuk mengetahui dan menganalisa karakteristik dari mineral serpentin yang ditinjau dari struktur serpentin.

8. Metode X-Ray Diffractometer

X-Ray Diffractometer digunakan untuk mengkarakterisasi sampel yang ditinjau dari struktur serpentin. Sebelum sampel dikarakterisasi, terlebih dahulu dipreparasi. Tahap preparasi sampel dengan cara mempersiapkan sampel holder, dan dibersihkan dengan tisu yang telah ditetesi alkohol, memasukkan sampel dari tempat sampel dengan berat 1,4 gram ke dalam sampel holder kemudian di *press* agar rata. Kemudian memasukkan sampel holder ke alat XRD untuk dikarakterisasi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Kalsinasi Terhadap Struktur Kristal

Kalsinasi menyebabkan terjadinya perubahan struktur dari sampel serpentin. Hasil karakterisasi XRD akan dicocokkan dengan *database* mineral serpentin untuk menganalisa perubahan struktur yang terjadi pada serpentin. Perubahan struktur pada serpentin dapat diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 2. Struktur dari Mineral Penyusun Serpentin

Suhu	Struktur							
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	α	β	γ	Grup Ruang	Sistem Kristal
Sebelum Disinter	5.42	9.25	7.26	90	91.38	90	P	Monoclinic
	5.34	9.24	14.2	90	90	90	Ccm21	Orthorombik
	8.37	8.37	8.37	90	90	90	Fd-3m	cubic
725	4.75	10.1	5.97	90	90	90	Pbnm	Orthorombik
	5.02	5.02	13.7	90	90	120	R-3c	Rhombohedral
	9.60	8.81	5.16	90	108.3	90	P21/A	Monoclinic
750	4.75	10.1	5.97	90	90	90	Pbnm	Orthorombik
	5.02	5.02	13.7	90	90	120	R-3c	Rhombohedral
	9.60	8.81	5.16	90	108.3	90	P21/A	Monoclinic
775	4.75	10.1	5.97	90	90	90	Pbnm	Orthorombik
	5.02	5.02	13.7	90	90	120	R-3c	Rhombohedral
	9.60	8.81	5.16	90	108.3	90	P21/A	Monoclinic
	4.90	4.90	5.39	90	90	120	P3221e	Hexagonal
800	4.75	10.1	5.97	90	90	90	Pbnm	Orthorombik
	5.01	5.02	13.7	90	90	120	R-3c	Rhombohedral
	9.60	8.81	5.16	90	108.3	90	P21/A	Monoclinic
	4.90	4.90	5.39	90	90	120	P3221e	Hexagonal
825	4.75	10.1	5.97	90	90	90	Pbnm	Orthorombik
	5.02	5.02	13.7	90	90	120	R-3c	Rhombohedral
	4.90	4.90	5.39	90	90	120	P3221e	Hexagonal

Tabel 1 dapat diketahui adanya perubahan struktur pada serpentin. Ketika terjadi perubahan struktur, maka terbentuk juga mineral baru. Pada saat sebelum disinter, ada beberapa mineral yang terkandung dalam serpentin dengan struktur yang berbeda yaitu struktur *monoclinic*, *cubic*, dan *orthorhombic*.

Selain itu, pada saat dikalsinasi dengan temperatur 725°C, struktur *cubic* berubah menjadi struktur *rhombohedral*. Pada temperatur 750°C, tidak terjadi perubahan struktur. Namun pada temperatur 775°C, muncul struktur baru yaitu *hexagonal*.

Perubahan struktur ini disebabkan karena proses oksidasi pada sampel. Proses oksidasi ini mengakibatkan ion Mg dan ion Si dapat bergerak secara bebas, sehingga dapat mempengaruhi koordinasi atom-atom dalam unit selnya. Selain itu, koordinasi atom-atom dari unsur minor juga mempengaruhi perubahan struktur. Unsur minor tersebut antara lain unsur Si, Fe, Al dan Ni. Proses oksidasi juga menyebabkan munculnya ion Fe^{3+} .

Tiap pasangan ion Fe^{3+} disertai kekosongan kation, sehingga mengakibatkan terjadinya koordinasi antar atom unit sel⁽¹⁹⁾. Berdasarkan keadaan atom Fe yang tidak stabil, yang menyebabkan adanya 2 jenis ikatan yaitu 3 ikatan Fe-O panjang dan 3 ikatan Fe-O pendek⁽²⁾ sehingga hal

ini menyebabkan terjadinya perubahan struktur. Perubahan struktur akibat kalsinasi dapat juga menunjukkan bahwa terbentuknya mineral baru.

KESIMPULAN

Pemberian kalsinasi pada serpetin yang terdapat di Jorong Sungai Padi dapat mengubah struktur serpentin. Beberapa mineral yang terkandung dalam serpentin dengan struktur yang berbeda yaitu struktur *monoclinic*, *cubic*, dan *orthorhombic*. pada saat dikalsinasi dengan temperatur 725°C, struktur *cubic* berubah menjadi struktur *rhombohedral*. Pada temperatur 750°C, tidak terjadi perubahan struktur. Namun pada temperatur 775°C, muncul struktur baru yaitu *hexagonal*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DIKTI yang telah mendanai penelitian ini melalui Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi tahun 2013 dengan judul **Karakterisasi Fisika Mineral Ekonomis Sumatera Barat Menggunakan Metode Difraksi Sinar-X**.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Beiser, Arthur. 1986. *Konsep Fisika Modern*. Jakarta: Erlangga.
- [2] Benny, Sreelekha. 2010. *High Temperature Water Gas Shift Catalysts: A Computer Modelling Study*. Tesis. London: University College London
- [3] Brindley, W. 1971. *Antigorite-Its Occurrence As A Clay Mineral*. University Park, Pennsylvania, U.S.A. Vol 19. Pp. 187-191
- [4] California Geological Survey. 2002. *Serpentine California State Rock*. California. California Department Of Conservation
- [5] Can, Semra. 2008. *Characterization Of Serpentine Filled Polypropylene*. Middle East Technical University. Thesis
- [6] Faust, T George and Joseph J. Fahey. 1962. *The Serpentine-Group Minerals*. Washington. United States Government Printing Office : Geological Survey Professional Paper 384-A
- [7] Gautreau, Ronald and Savin William. 2006. *Schaum's Outline Of Modern Physics*: Erlangga
- [8] Hrsak, Damir. 2005. *The Decomposition Of Serpentine By Thermal Treatment*. Croatia. Faculty of Metallurgy, University of Zagreb
- [9] Hurlbut, JR S Cornelius. 1972. *Dana's manual of Mineralogy*. Harvard University. Wiley International Edition
- [10] Nelson A Stephen. 2011. *Phyllosilicates (Micas, Chlorite, Talc, & Serpentine)*. Mineralogy Tulane University
- [11] Parno. 2006. *Fisika Zat Padat*. Malang: Universitas Negeri Malang
- [12] Pratapa, Suminar. 2004. *Prinsip-Prinsip Difraksi Sinar-X*, makalah seminar XRD disampaikan di Padang.
- [13] Rosana, Dadan dkk. 2003. *Konsep Dasar Fisika Modern*. IMSTP.
- [14] Smallman R.E., R.J. Bishop. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga
- [15] Sukandarrumidi. 2009. *Geologi Mineral Logam*. Yogyakarta. Gadjah Mada University Press
- [16] Surya, Yohannes. 2009. *Fisika Modern*. Tangerang. PT Kandel
- [17] Tonggiroh, Adi dan Purwanto. 2011. *Kajian Mineral Serpentin : Korelasi Karbondioksida dan Platinum Group Element (PGE) pada Sequeen Batuan Ultramafik*. Makassar. Jurusan Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Prosiding
- [18] Van Vlack Lawrence H. 2004. *Elemen-elemen ilmu dan rekayasa material*. Edisi keenam. Jakarta : Erlangga
- [19] Withaker, Zussman. 1958. *The Characterization Of Serpentine Minerals*. Vol. 43, September_October. America. The American mineralo