

**PENGARUH TEMPERATUR SINTERING TERHADAP
SIFAT FISIS MINERAL SERPENTIN YANG TERDAPAT DI
JORONG SUNGAI PADI NAGARI LUBUAK GADANG
KECAMATAN SANGIR KABUPATEN SOLOK SELATAN**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada Tim Penguji Jurusan Fisika Sebagai Salah Satu
Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains**



Oleh :

VIVI FEBRINI

NIM. 16041/2010

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2014**

PERSETUJUAN SKRIPSI

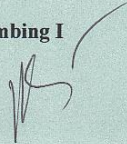
**PENGARUH TEMPERATUR SINTERING TERHADAP
SIFAT FISIS MINERAL SERPENTIN YANG TERDAPAT
DI JORONG SUNGAI PADI NAGARI LUBUAK GADANG
KECAMATAN SOLOK SELATAN**

Nama : Vivi Febrini
NIM : 16041
Program studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 7 Agustus 2014

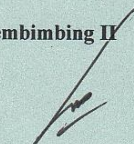
Disetujui Oleh

Pembimbing I



Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si
NIP. 19690120 199303 2 002

Pembimbing II



Drs. Gusnedi, M.Si
NIP. 19620810 198703 1 024

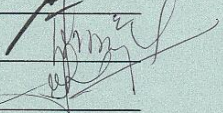
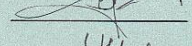
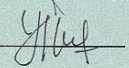
PENGESAHAN SKRIPSI

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Fisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu
Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang

Judul : Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Sifat Fisis
Mineral Serpentin yang Terdapat di Jorong Sungai Padi
Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten
Solok Selatan
Nama : Vivi Febrini
Nim : 16041
Jurusan : Fisika
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 7 Agustus 2014

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
Ketua	: Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si	
Sekretaris	: Drs. Gusnedi, M.Si	
Anggota	: Dr. Hj. Djusmaini Djamal, M.Si	
	Dra. Syakbaniyah, M.Si	
	Yohandri, P.hd	

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

Skripsi yang berjudul Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Sifat Fisik Mineral Serpentin yang Terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan, adalah hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan oleh orang lain untuk mendapatkan gelar akademik di Universitas Negeri Padang.

Dalam karya tulis ini tidak terdapat hasil karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali dikutip secara tertulis dengan jelas dan dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah tersebut dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan pada daftar pustaka.

Padang, 7 Agustus 2014



Vivi Febrini

2010/16041

ABSTRAK

Vivi Febrini : Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Sifat Fisis Mineral Serpentin yang Terdapat Di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan

Indonesia merupakan negara yang berpotensi akan sumber daya mineral, salah satunya adalah mineral serpentin. Keberadaan serpentin masih diolah dalam keadaan *raw material* sehingga memiliki nilai jual yang rendah. Serpentin dapat ditemukan di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, serpentin terdapat di berbagai wilayah dengan kadar kandungan Mg yang berbeda-beda. Selain itu, terdapat juga fasa yang sama dengan kadar kandungan Mg yang berbeda. Perbedaan kadar kandungan ini dapat terjadi karena adanya perbedaan tatanan geologi tiap wilayah dan unsur-unsur pengotor dalam pembentukan proses mineralisasi. Untuk dapat meningkatkan nilai jualnya, maka perlu dilakukan karakterisasi yaitu dengan cara memberikan perlakuan pemanasan terhadap serpentin untuk menyelidiki sifat fisis mineral serpentin.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental. Pada penelitian ini dilakukan pemanasan dengan variasi temperatur pada serpentin. *X-Ray Fluorescence* digunakan untuk menganalisa kandungan dari mineral serpentin. *X-Ray Diffraction* digunakan untuk menganalisa fasa, struktur dan ukuran butir kristal.

Pada penelitian ini diperoleh data pengujian XRF pada mineral serpentin berupa kandungan MgO, SiO₂, Fe₂O₃, dan Al₂O₃ berturut-turut adalah 50.529%, 42.917%, 4.319 % dan 1.173%. Berdasarkan data pengujian XRD diperoleh informasi bahwa pemberian temperatur sintering yang bervariasi menyebabkan munculnya fasa baru dari serpentin. Pada temperatur 725°C dan 750°C muncul 3 jenis fasa yaitu *forsterite*, *hematite*, dan *clinoenstatite*. Pada temperatur 775°C dan 800°C ditemukan 4 jenis fasa baru yaitu *forsterite*, *hematite*, *clinoenstatite* dan *quartz*. Sedangkan pada temperatur 825°C, fasa *clinoenstatite* hilang, dan fasa yang muncul adalah *forsterite*, *hematite* dan *quartz*. Pemberian temperatur menyebabkan terjadinya perubahan struktur pada fasa, seperti fasa *antigorite* dari struktur *monoclinic* berubah fasa menjadi *forsterite* dengan struktur *orthorombic*. Meningkatnya temperatur sintering, ukuran butir pada fasa serpentin cenderung mengalami kenaikan, seperti fasa *forsterite*. Pada temperatur 725°C hingga temperatur 775°C mengalami kenaikan ukuran butir, namun pada temperatur 800°C ukuran butir menurun dan kembali meningkat pada temperatur 825°C.

ta Kunci : *Fasa, Struktur Kristal, Temperatur Sintering, Ukuran Butir, X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Fluorescence (XRF)*

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya terutama nikmat waktu dan kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul “Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Sifat Fisis Mineral Serpentin yang Terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan”. Skripsi ini juga merupakan bagian dari **Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi** tahun 2013 atas nama Dr. Ratnawulan, M.Si., Drs. Gusnedi M.Si., dan Yohandri, Ph.D dengan judul Karakterisasi Fisika Mineral Ekonomis Sumatera Barat Menggunakan Metode Difraksi Sinar-X dengan nomor kontrak 252/UN35.4 PG/2014 tanggal 17 April 2014. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains pada Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

Dalam kegiatan penelitian dan penulisan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, arahan, bimbingan dan petunjuk dari berbagai pihak, baik secara moril ataupun secara materil. Oleh sebab itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si., selaku pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran, serta memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dalam kegiatan penelitian dan penulisan skripsi

2. Bapak Drs. Gusnedi, M.Si., selaku pembimbing II dan Penasehat Akademik yang telah banyak memberikan arahan, bimbingan dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi
3. Ibu Dr. Hj. Djusmaini Djamas, M.Si., Ibu Dra. Syakbaniah, M.Si., Bapak Yohandri, P.hd, selaku penguji pada skripsi
4. Bapak Drs. Akmam, M.Si., sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNP
5. Ibu Hidayati, M.Si., sebagai ketua Program Studi Fisika FMIPA UNP
6. Staf pengajar Jurusan Fisika yang telah membekali penulis dengan berbagai ilmu dan pengetahuan serta motivasi selama masa perkuliahan
7. Bapak Rafmatias sebagai kepala urusan Laboran Jaminan Kualitas di PT. Semen Padang yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian di PT. Semen Padang
8. Bapak Aldinol Laboran Jaminan Kualitas di PT. Semen Padang yang telah membantu penulis dalam pengambilan data penelitian ini
9. Bapak Edya di Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Solok Selatan yang telah meluangkan waktu dan bimbingan serta diskusi dengan penulis selama penelitian ini berlangsung
10. Rekan-rekan satu tim, atas kerjasama, atas waktu untuk diskusi, serta motivasi dan semangatnya dalam menyelesaikan skripsi
11. Rekan-rekan mahasiswa jurusan Fisika FMIPA UNP yang selalu memotivasi penulis dalam menyelesaikan skripsi
12. Spesial kepada kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan motivasi serta doa yang diberikan kepada penulis

13. Semua pihak yang telah membantu penulis untuk mewujudkan dan menyelesaikan studi ini

Skripsi ini telah ditulis sesuai dengan panduan penulisan skripsi. Namun, untuk kesempurnaan diharapkan kritik dan saran dari semua pihak. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca untuk perkembangan ilmu pengetahuan.

Padang, 7 Agustus 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Batasan Masalah	6
D. Pertanyaan Penelitian.....	6
E. Tujuan Penelitian	7
F. Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Potensi Serpentin Di Kabupaten Solok Selatan	9
B. Mineral Serpentin	11
1. Jenis mineral penyusun serpentin.....	12
2. Sifat fisis serpentin.....	15
C. Kristalografi	17
1. Kristal	17
2. Struktur Kristal	18
3. Sistem Kristal	19
4. Bidang Kristal	21
D. Pengaruh Temperatur Sintering	22

1. Pengaruh Temperatur Terhadap Struktur Kristal.....	22
2. Pengaruh Temperatur Terhadap Perubahan Fasa.....	23
3. Pengaruh Temperatur Terhadap Ukuran Butir	25
E. X-Ray Diffraction (XRD)	28
1. Sinar X	28
2. Difraksi Sinar X	32
3. Faktor struktur	36
F. X-Ray Fluorescence (XRF)	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Rancangan Penelitian	42
B. Waktu dan Tempat Penelitian	42
C. Variabel Penelitian	42
D. Prosedur Penelitian	43
1. Persiapan Penelitian	43
2. Pelaksanaan Penelitian	47
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Penelitian	55
B. Pembahasan	91
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	98
B. Saran	99
DAFTAR PUSTAKA	100
LAMPIRAN	104

DAFTAR TABEL

Tabel :	Halaman
1. Skala kekerasan relatif mineral (Mohs).....	16
2. Sifat fisis serpentin	17
3. Tujuh sistem kristal dan empat belas kisi Bravais	20
4. Sistem kristal dan persamaan jarak antar bidang.....	36
5. Data hasil pengukuran XRD sampel serpentin sebelum disinter	57
6. Data hasil pengukuran XRD sampel serpentin pada temperatur 725°C	58
7. Data hasil pengukuran XRD sampel serpentin pada temperatur 750°C	60
8. Data hasil pengukuran XRD sampel serpentin pada temperatur 775°C	62
9. Data hasil pengukuran XRD sampel serpentin pada temperatur 800°C	64
10. Data hasil pengukuran XRD sampel serpentin pada temperatur 825°C	66
11. Kadar kandungan pada mineral serpentin.....	68
12. Struktur dari mineral penyusun serpentin.....	69
13. Perbandingan data hasil pengukuran sampel serpentin sebelum disinter dengan <i>database</i> mineral.....	70
14. Perbandingan data hasil pengukuran sampel serpentin dintering pada temperatur 725°C dengan <i>database</i> mineral	72
15. Perbandingan data hasil pengukuran sampel serpentin dintering pada temperatur 750°C dengan <i>database</i> mineral	74
16. Perbandingan data hasil pengukuran sampel serpentin dintering pada temperatur 775°C dengan <i>database</i> mineral	76
17. Perbandingan data hasil pengukuran sampel serpentin dintering pada temperatur 800°C dengan <i>database</i> mineral	78
18. Perbandingan data hasil pengukuran sampel serpentin dintering pada temperatur 825°C dengan <i>database</i> mineral	80
19. Fasa serpentin yang terbentuk pada sampel.....	83
20. Ukuran butir kristal sampel serpentin sebelum disinter	84
21. Ukuran butir kristal disintering pada temperatur 725°C	84
22. Ukuran butir kristal disintering pada temperatur 750°C	86
23. Ukuran butir kristal disintering pada temperatur 775°C	87

24. Ukuran butir kristal disintering pada temperatur 800°C	88
25. Ukuran butir kristal disintering pada temperatur 825°C	89
26. Kadar kandungan serpentin pada beberapa penelitian	91
27. Perubahan fasa terhadap variasi temperatur pada beberapa penelitian	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar :	Halaman
1. Keadaan geologi Kabupaten Solok Selatan	10
2. Batuan serpentin	12
3. Struktur <i>antigorite</i>	13
4. Stuktur <i>lizardite</i>	14
5. Struktur <i>chrysotile</i>	15
6. (a). Susunan atom kristal. (b). Susunan atom amorf	18
7. Sumbu dan sudut antar sumbu kristal.....	19
8. Empat belas kisi Bravais	20
9. Bidang kristal dengan indeks miller	21
10. Energi dan pemuaiian, a. Bahan padat dengan ikatan kuat dan b. Bahan padat dengan ikatan lemah	23
11. Hambatan energi yang memisahkan keadaan struktural	24
12. Pergerakan batas butir	26
13. Pertumbuhan butir	26
14. Diagram tabung sinar X	29
15. Spektrum sinar-X <i>molybdenum</i>	30
16. Transisi elektron	31
17. Perbandingan radiasi Cu dengan filter dan tanpa filter	32
18. Bidang Bragg	33
19. Difraksi Bragg	33
20. Prinsip kerja XRF	40
21. Sampel serpentin	43
22. <i>X-Ray Diffractometer (XRD)</i> tipe CubiX ³ Cement.....	44
23. <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	44
24. <i>Bowlmill</i>	45
25. Spatula	45
26. Desikator	45
27. Penjepit	46
28. Cawan porselen	46
29. Neraca <i>Ohaus</i>	46

30. <i>Furnace</i>	47
31. Lokasi serpentin di Jorong Sungai Padi	48
32. Mortar baja untuk menggerus serpentin	48
33. Sampel serpentin dengan <i>bowlmill</i>	49
34. Prinsip Kerja XRD	51
35. Hasil pengukuran XRD berupa difraktogram	52
36. Diagram alir penelitian	54
37. Data hasil pengukuran XRF sampel serpentin	55
38. Data hasil pengukuran XRD sampel serpentin sebelum disintering	56
39. Data hasil pengukuran XRD sampel serpentin pada temperatur 725°C	58
40. Data hasil pengukuran XRD sampel serpentin pada temperatur 750°C	60
41. Data hasil pengukuran XRD sampel serpentin pada temperatur 775°C	62
42. Data hasil pengukuran XRD sampel serpentin pada temperatur 800°C	64
43. Data hasil pengukuran XRD sampel serpentin pada temperatur 825°C	66
44. Analisis hasil pengukuran XRD pada sampel serpentin	71
45. Analisis hasil pengukuran XRD sampel 725°C.....	73
46. Analisis hasil pengukuran XRD sampel 750°C.....	75
47. Analisis hasil pengukuran XRD sampel 775°C.....	77
48. Analisis hasil pengukuran XRD sampel 800°C.....	79
49. Analisis hasil pengukuran XRD sampel 725°C.....	81
50. Pola XRD serpentin tanpa sintering, 725°C, 750°C, 775°C, 800°C, 825°C	82
51. Grafik ukuran butir kristal masing-masing fasa serpentin untuk setiap variasi temperatur.....	90
52. Pengarahan dari mentor Dinas ESDM Solok Selatan, Bapak Edya	133
53. Lokasi serpentin di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan	133
54. Pengambilan posisi lokasi serpentin menggunakan GPS.....	133
55. Batuan serpentin yang berwarna kehijauan	133
56. Foto bersama mentor Dinas ESDM Solok Selatan dan rekan-rekan	133
57. Foto bersama mentor dan rekan-rekan di depan kantor Dinas ESDM Solok Selatan	133
58. Labor Jaminan kualitas PT. Semen Padang	134
59. Ruangan tempat <i>furnace</i> sampel penelitian	134
60. Sampel serpentin sebelum disintering	134

61. Sampel serpentin yang akan disintering	134
62. Menimbang berat sampel yang akan di <i>furnace</i>	134
63. Penimbangan berat sampel dengan neraca <i>Ohaus</i> sebanyak 5 gram	134
64. Memasukkan sampel ke dalam <i>furnace</i>	135
65. Sampel serpentin yang baru dikeluarkan dari <i>furnace</i>	135
66. Desikator sebagai tempat pendinginan sampel sebelum di XRD	135
67. Hasil <i>furnace</i> pada sampel dengan temperatur 725°C	135
68. Hasil <i>furnace</i> pada sampel dengan temperatur 750°C	135
69. Hasil <i>furnace</i> pada sampel dengan temperatur 775°C	135
70. Hasil <i>furnace</i> pada sampel dengan temperatur 800°C	136
71. Hasil <i>furnace</i> pada sampel dengan temperatur 825°C	136
72. Sampel serpentin yang akan di XRD sebelum preparasi sampel	136
73. Alat XRD tipe CubiX ³ Cement untuk karakterisasi sampel	136
74. Preparasi beberapa sampel yang dibantu oleh mentor, Bapak Aldinol	136
75. Preparasi sampel untuk dikarakterisasi dengan XRD	136
76. Preparasi sampel yang siap digunakan untuk karakterisasi XRD	137
77. Sampel serpentin yang sedang dikarakterisasi dengan XRD	137
78. Hasil <i>output</i> karakterisasi sampel serpentin yang tampil pada PC berupa puncak-puncak	137

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran:	Halaman
1. Data hasil pengukuran XRF	104
2. <i>Database</i> untuk mineral penyusun serpentin.....	105
3. Dokumentasi Penelitian	133

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kaya yang berpotensi akan sumber daya alam dan dapat dijadikan sebagai peluang investasi terutama sumber daya mineral. Menurut Saleh (2011) beberapa sumber daya mineral yang cukup besar dapat menjadi peluang investasi ESDM di Indonesia seperti mineral non logam dan batuan. Mineral non logam dan batuan dapat menjadi salah satu potensi yang sangat besar dalam menggerakkan perekonomian nasional. Berdasarkan data sumber batuan, komoditas *peridotite* mencapai 8.336,90 juta ton.

Peridotite merupakan kelompok batuan ultrabasa dan mineral pembentuk batumannya adalah mineral mafis (*olivine*, *piroksen*, *hornblenda*) 85-95%, mineral bijih (*magnetite*, *ilmenite*, *kromit* dll) 10-3%, dan plagioklas kalsium 5% (Nandi, 2010). *Peridotite* yang mengalami proses ubahan (*metamorf*) dan terdapat pada sepanjang rekahan batuan asalnya yang terlihat seperti pelapisan disebut serpentin (Sudrajat, 1982).

Serpentin memiliki kandungan senyawa MgO, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃ dan H₂O. Sehubungan dengan itu, Hrsak Damir (2005) menegaskan bahwa penyusun utama dari serpentin adalah Si₂ lebih dari 45% dan MgO lebih dari 30%. Campuran dominan adalah oksida-Fe lebih dari 10% dan sebagai tambahan adalah Al₂O₃, CaO, Cr₂O₃ dan NiO yang terdapat dalam jumlah lebih dari 0,4%. Menurut buku *Dana's Manual Of Mineralogy* yang diterbitkan tahun 1972, diperoleh informasi bahwa kandungan serpentin meliputi kadar MgO 43%, SiO₂

44.1%, H₂O 12.%, unsur Fe dan Ni dapat menggantikan unsur Mg. Serpentin yang berada di sebaran bagian timur dan bagian tenggara pulau Sulawesi memiliki kandungan magnesium 35% dan besi lebih kecil dari 10% (Tonggiroh dan Purwanto, 2011). Kandungan yang hampir sama juga diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh Zhu (2012) bahwa serpentin memiliki kandungan SiO₂ 34.3%, MgO 37.5%, Fe₂O₃ 6%, Al₂O₃ 0.2% dan CaO 0.45%.

Berdasarkan hasil penelitian para ahli, serpentin memiliki kandungan Mg yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan mentah untuk mendapatkan magnesium oksida dan silika (Hrsak Damir, 2005). Magnesium oksida dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pada pupuk *kiserit* (Litbang Medan, 2009). Sedangkan silika dapat dimanfaatkan sebagai material keramik (Doremus, 1973 dalam Sulhadi, 2010).

Pada serpentin terdapat kandungan mineral-mineral seperti *antigorite*, *lizardite*, *chrysotile*, *liebenbergite*, *forsterite*, *enstatite* dan *fayalite* yang memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai benda hias ataupun bahan refraktori. Saat ini, *chrysotile* merupakan bahan utama asbes-serpentin yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan tahan api atau pembuatan bahan tahan panas (Sukandarrumidi, 2009). *Antigorite* dan *lizardite* memiliki struktur yang padat dan lunak, sehingga dapat dipahat untuk digunakan sebagai ukiran, meja, patung, dan batu giok (Hurlbut, 1972). *Liebenbergite* merupakan mineral yang kaya akan Ni dan dapat diaplikasikan pada industri, atau pembuatan *Nikel Pig Iron* (Shofi, dkk. 2013). *Forsterite* dan *fayalite* juga dapat dijadikan sebagai bahan utama pada refraktori (Smallman, 2000). Selain itu, *forsterite* dan *enstatite* dapat dimanfaatkan sebagai

keramik dan material alat elektronika karena memiliki sifat isolator yang baik. *Forsterite* memiliki titik leleh yang tinggi sehingga juga dapat digunakan sebagai pembuatan laser (Kosanovic dkk, 2006)

Untuk mengoptimalkan pemanfaatan serpentin berupa mineral-mineral yang terkandung, maka para peneliti berupaya untuk mendapatkan mineralnya. Salah satu caranya adalah dengan memberikan perlakuan seperti pemanasan. Apabila suatu material dipanaskan dengan laju pemanasan tetap maka akan terjadi perubahan fisika seperti perubahan fasa (Smallman, 2000). Menurut Giacobbe (2012), jenis mineral pada serpentin dapat terdekomposisi dengan temperatur yang berbeda-beda. Struktur *chrysotile* dapat terbentuk saat temperatur mencapai 750 °C, struktur *lizardite* pada temperatur 775 °C, dan struktur *antigorite* dapat terbentuk pada saat temperatur mencapai 800 °C. Pada temperatur yang sama, Brindley dan Hayami (1965) menyatakan bahwa pada temperatur 800°C *forsterite* dapat terbentuk dari serpentin, dimana ion Mg dan ion Si dapat secara bebas bereaksi sehingga *forsterite* terbentuk. Sehubungan dengan itu, Kosanovic dkk (2006) menyatakan bahwa pada temperatur 800°C-1000°C terjadi perubahan fasa serpentin menjadi fasa *forsterite* dan fasa *enstatite*. Berbeda halnya dengan de Wall (1978) dalam Bish (1981) yang memaparkan bahwa fasa *liebenbergite* mulai terlihat dan terbentuk pada temperatur 730°C yang kaya dengan kandungan nikel. Adanya perbedaan perubahan fasa dalam pemberian variasi temperatur sintering pada serpentin disebabkan oleh kemungkinan substitusi terhadap unsur-unsur pengotor dari serpentin seperti Mg, Fe, Co, Ni, Mn, Cr, Al, dan Ti (Page, 1968).

Temperatur sintering dapat mengakibatkan terjadinya perubahan fasa, namun juga menyebabkan terjadinya perubahan dalam struktur mineral. Pada dasarnya, seluruh mineral serpentin ini memiliki struktur kristal dan struktur kimia yang sama. *Antigorite* dan *clinochrysotile* memiliki struktur kristal berupa monoklinik. *Orthochrysotile* dan *parachrysotile* memiliki struktur kristal orthorombik. Sedangkan, *lizardite* memiliki struktur trigonal dan hexagonal (Whitaker, 1958). 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 (Hrsak Damir, 2005). Perbedaan ini dapat disebabkan karena serpentin memiliki kadar kandungan yang berbeda. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dapat dilihat bahwa setiap wilayah memiliki kadar kandungan serpentin yang berbeda-beda akibat tatanan geologi dan proses mineralisasi.

Beberapa wilayah yang terdapat di provinsi Sumatra Barat memiliki sumber daya mineral serpentin yang cukup besar. Berdasarkan data yang terdapat pada buku Pemberdayaan Potensi Daerah Solok Selatan yang diterbitkan Bagian Tata Pemerintahan, Sekretariat Daerah, Kabupaten Solok Selatan tahun 2006 diperoleh informasi bahwa mineral serpentin merupakan bahan galian industri (golongan C) yang terdapat di Kabupaten Solok Selatan terutama di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang. Keberadaan serpentin sebagai bahan galian industri masih digunakan dalam bentuk *raw material* sehingga memiliki nilai jual yang rendah. Untuk mengoptimalkan pengolahan pada serpentin, maka sangat

penting dilakukan penelitian tentang karakterisasi dari serpentin agar dapat meningkatkan nilai jual dan kualitasnya. Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitasnya adalah dengan cara memberikan perlakuan seperti pemanasan pada serpentin yang berasal dari Jorong Sungai Padi. Pada penelitian ini juga ingin menyelidiki sifat fisis mineral serpentin yang terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan.

Dengan mengetahui sifat fisis dari serpentin akibat pemberian temperatur sintering, maka akan menjadi dasar untuk peneliti selanjutnya dalam melakukan inovasi terhadap serpentin. Untuk mengetahui kandungan yang terdapat pada serpentin digunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan untuk menganalisis struktur serpentin digunakan alat karakterisasi yaitu *X-Ray Diffraction* (XRD).

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu :

1. Berapa kadar kandungan serpentin yang terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan?
2. Bagaimana pengaruh temperatur sintering terhadap struktur kristal mineral serpentin yang terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan?
3. Bagaimana pengaruh temperatur sintering terhadap perubahan fasa mineral serpentin yang terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan?

4. Bagaimana pengaruh temperatur sintering terhadap ukuran butir mineral serpentinit yang terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan?

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sifat fisis mineral serpentinit yaitu struktur kristal, perubahan fasa, dan ukuran butir mineral
2. Penahanan waktu pemanasan pada *furnace* selama 1 jam
3. Variasi temperatur pada pemanasan sampel yaitu temperatur 725 °C, 750 °C, 775 °C, 800 °C, 825 °C

D. Pertanyaan Penelitian

Adapun pertanyaan penelitian ini adalah :

1. Berapa kadar kandungan serpentinit yang terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan ?
2. Bagaimana pengaruh temperatur sintering terhadap struktur kristal mineral serpentinit yang terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan?
3. Bagaimana pengaruh temperatur sintering terhadap perubahan fasa mineral serpentinit yang terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan?
4. Bagaimana pengaruh temperatur sintering terhadap ukuran butir mineral serpentinit yang terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyelidiki kadar kandungan serpentinit yang terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF)
2. Menyelidiki pengaruh temperatur sintering terhadap struktur kristal mineral serpentinit yang terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan
3. Menyelidiki pengaruh temperatur sintering terhadap perubahan fasa mineral serpentinit yang terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan
4. Menyelidiki pengaruh temperatur sintering terhadap ukuran butir mineral serpentinit yang terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Bagi penulis
 - a. Sebagai syarat untuk menyelesaikan Program S1 di Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang.
 - b. Mengetahui kandungan mineral serpentinit yang terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan

- c. Mengetahui pengaruh temperatur sintering terhadap sifat fisis mineral serpentinit yang terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan
 - d. Meningkatkan pemahaman dan penerapan ilmu fisika terutama pada alat karakterisasi XRF dan XRD
2. Bagi pembaca
- a. Menjadi sumber informasi mengenai potensi potensi sumber daya mineral yang dapat digunakan untuk peningkatan potensi daerah oleh Pemerintah Daerah yang bersangkutan, Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral, investor dan masyarakat lainnya yang membutuhkan
 - b. Menjadikan tambahan *literature* untuk peneliti selanjutnya

BAB II

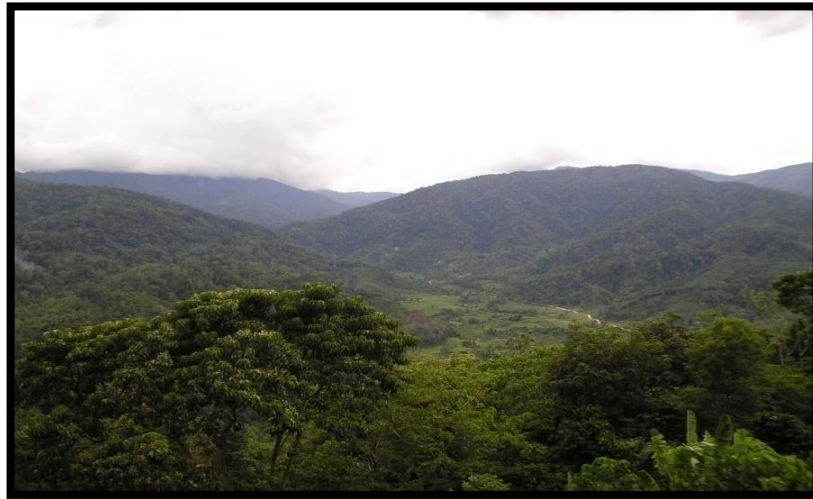
TINJAUAN PUSTAKA

A. Potensi Serpentin Di Kabupaten Solok Selatan

Kabupaten Solok Selatan merupakan salah satu kabupaten di provinsi Sumatra Barat yang memiliki potensi energi alternatif dan sumber daya mineral yang cukup memadai untuk dikelola.

Secara geografis, Kabupaten Solok Selatan berada pada posisi 10° 17' 13"-10° 46' 45" Lintang Selatan dan 100° 53' 24"- 101° 06' 27" Bujur Timur. Kabupaten Solok Selatan merupakan satu dari 19 kabupaten/kota yang ada di Provinsi Sumatra Barat dengan luas wilayah 3.346,20 km² atau 7,92% dari luas wilayah Sumatra Barat. Wilayah Kabupaten Solok Selatan terletak di bagian selatan Provinsi Sumatra Barat dan merupakan kabupaten yang berbatasan langsung dengan Provinsi Jambi.

Kondisi geologi Kabupaten Solok Selatan yang sangat kompleks, berpengaruh terhadap kondisi geomorfologi dan struktur geologi yang berkembang. Hal ini dapat dilihat bahwa sebagian besar wilayah kabupaten solok selatan merupakan daerah perbukitan bergelombang dengan litologi yang beranekaragam (Efi, 2013). Keadaan geologi Kabupaten Solok Selatan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Keadaan geologi Kabupaten Solok Selatan
(Dinas Geologi Sumber Daya Mineral, 2005)

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa wilayah kabupaten solok selatan didominasi oleh perbukitan yang bergelombang. Keadaan ini memungkinkan terjadinya proses mineralisasi dan keterdapatan berbagai mineral ekonomis (Efi, 2005). Menurut Laporan Pemetaan Geologi Kabupaten Solok Selatan (2005), salah satu mineral ekonomis adalah serpentinit yang merupakan bahan galian industri. Hal ini diperkuat oleh data yang terdapat pada buku Pemberdayaan Potensi Daerah Solok Selatan (2006) diperoleh informasi bahwa mineral serpentinit merupakan bahan galian industri (golongan C) yang terdapat di Kabupaten Solok Selatan terutama di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang.

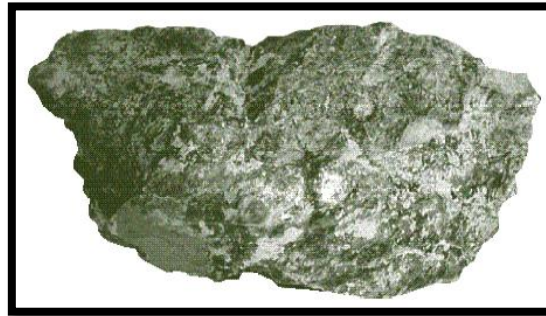
Keberadaan serpentinit sebagai bahan galian industri masih diolah dalam keadaan mentah (*raw material*) sehingga memiliki nilai jual yang rendah. Menurut Dinas ESDM Solok Selatan (2013) dalam laporan hasil survey, pengolahan dan pemanfaatan serpentinit saat ini belum tereksplorasi secara optimal. Pengolahan serpentinit masih dalam bentuk *raw material*. Hal ini dapat dilakukan dengan meninjau dan meningkatkan kualitas serpentinit. Untuk

meningkatkan kualitas serpentin, dapat dilakukan dengan cara mengkarakterisasi sifat fisis serpentin serta memberikan pemanasan. Dengan demikian, nilai jual dan kualitas dari serpentin akan meningkat dan dapat menjadi peluang investasi bagi masyarakat di wilayah Kabupaten Solok Selatan.

B. Mineral Serpentin

Serpentin berasal dari batuan ultrabasa yang mengalami perubahan akibat *hydrothermal* dan terjadinya pergantian unsur-unsur yang minor seperti nikel, kromium, cobalt, dan scandium (Faust, 1962). Serpentin merupakan mineral yang tersebar luas, dan biasanya merupakan perubahan dari magnesium silikat, terutama *olivine*, *piroksen* dan *ampibhole*. Serpentin biasanya juga bergabung dengan *magnesite*, *kromite*, dan *magnetite*, sehingga serpentin termasuk pada batuan *metamorf* (Hurlbut.1972).

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. Gambar 2 menunjukkan kenampakan fisik serpentin.



Gambar 2. Batuan Serpentin (Sumber : California Geological Survey. 2002)

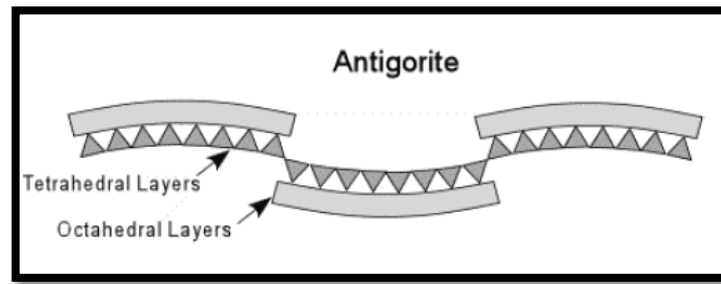
Serpentin memiliki rumus kimia $\text{Mg}_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ dengan kandungan senyawa MgO 43%, Si_2 44.1%, H_2O 12.9%, serta unsur Fe dan Ni yang dapat menggantikan ion Mg (Hurlbut, 1972). Serpentin memiliki tiga jenis mineral yang berkaitan erat yaitu *antigorite*, *lizardite*, dan *chrysotile* (Boev, 2000; California Geological Survey, 2002; Bromiley, 2003; Damir Hrsak, 2005).

1. Jenis Mineral Penyusun Serpentin

Adapun jenis mineral penyusun serpentin tersebut adalah :

a. *Antigorite*

Antigorite merupakan jenis mineral yang sangat dominan dalam serpentin dan memiliki warna hijau terang. Biasanya, jenis mineral ini sangat mudah rapuh dibandingkan mineral serpentin lainnya (Can Semra, 2008). *Antigorite* dapat diperoleh dari perubahan fasa serpentin akibat pengaruh temperatur. Menurut Giacobbe (2008), *antigorite* terbentuk pada temperatur 800°C . Berdasarkan Brindley (1971), sifat fisis dari *antigorite* meliputi sistem kristal monoclinic dengan unit selnya $a=5.3 \text{ \AA}$, $b=9.25 \text{ \AA}$, dan $c=7.3 \text{ \AA}$. Adapun struktur dari *antigorite* ditampilkan pada Gambar 3.

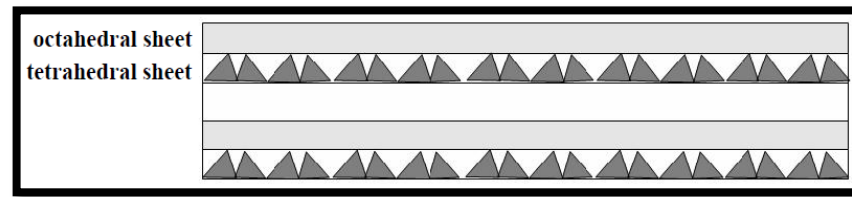


Gambar 3. Struktur *Antigorite* (Nelson, 2011)

Pada Gambar 3 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 (Can Semra, 2008). 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 (Nelson, 2011). 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 (Hurlbut, 1972). Banyaknya manfaat dari *antigorite* menjadikan *antigorite* memiliki nilai tambah dalam ornament hiasan sehingga dapat dijadikan peluang investasi.

b. *Lizardite*

Lizardite dan *chrysotile* biasanya terbentuk dan dapat ditemukan di alam dengan tekanan 1 atm dan diatas permukaan laut hingga 400°C. *Lizardite* umumnya ditemukan dengan butiran yang sangat halus, dan memiliki lembaran orientasi yang berbeda. Gambar 4 menunjukkan bentuk struktur dari *lizardite* (Can Semra, 2008).

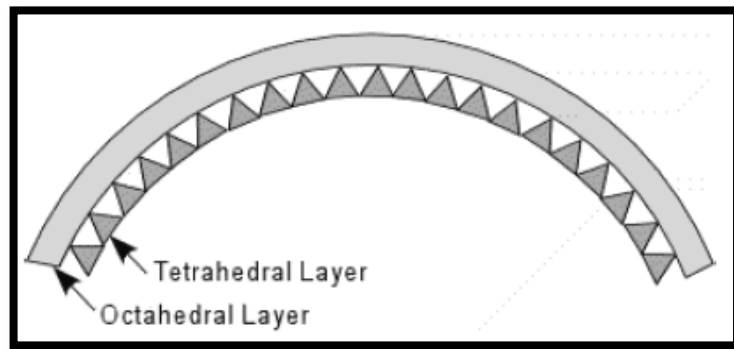


Gambar 4. Struktur *lizardite* (Can Semra, 2008)

Pada Gambar 4 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 oktahedral (Can Semra, 2008). *Lizardite* memiliki warna hijau yang bervariasi, karena *lizardite* juga berasosiasi dengan mineral lain seperti *hematite* atau *kromatit*. Sama halnya dengan *antigorite*, *lizardite* memiliki yang halus dan lunak, sehingga dapat dipahat atau diukir untuk dimanfaatkan sebagai ukiran, meja, patung, dan batu giok (Hurlbut, 1972).

c. *Chrysotile*

Chrysotile merupakan sumber utama dari asbes. *Chrysotile* memiliki bentuk yang berserat, sifat yang lentur, konduktivitas yang lemah terhadap panas (tahan panas). Ada beberapa tipe *chrysotile* antara lain: *clinochrysotile*, *orthochrysotile*, dan *parachrysotile* (Can Semra, 2008). Bentuk struktur *chrysotile* dapat ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur *chrysotile* (Nelson, 2011)

Pada Gambar 5 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 (Nelson, 2011). *Chrysotile* dapat dimanfaatkan sebagai bahan tahan api atau pembuatan bahan tahan panas (Sukandarrumidi, 2009).

2. Sifat Fisis Serpentin

Salah satu cara dalam mengenal suatu mineral adalah dengan mengenal sifat fisisnya. Beberapa sifat fisis dari mineral antara lain :

a. Struktur kristal

Setiap mineral akan mempunyai sifat bentuk kristal yang khas, yang merupakan wujud dari kenampakan luar dan terjadi sebagai akibat dari susunan kristal didalamnya.

b. Berat jenis

Setiap mineral mempunyai berat jenis tertentu. Besarnya ditentukan oleh unsur-unsur pembentuknya, serta kepadatan dari ikatan unsur-unsur tersebut

dalam susunan kristalnya. Umumnya “mineral-mineral pembentuk batuan” mempunyai berat jenis sekitar 2.7

c. Bidang belah

Mineral mempunyai kecendrungan untuk pecah melalui suatu bidang yang mempunyai arah tertentu. Arah tersebut ditentukan oleh susunan dalam dari atom-atomnya.

d. Warna

Warna mineral memang bukan merupakan cirri utama untuk dapat membedakan antara mineral yang satu dengan lainnya. Namun, paling tidak ada warna khas yang dapat digunakan untuk mengenali adanya unsur tertentu didalamnya.

e. Kekerasan

Kekerasan suatu mineral bersifat relatif, artinya apabila dua mineral saling digoreskan satu dengan lainnya, maka mineral yang tergores adalah mineral yang relatif lebih lunak dibandingkan mineral lawannya. Skala kekerasan mineral mulai dari yang terlunak (skala 1) hingga yang terkeras (skala 10) diajukan oleh Mohs dan dikenal sebagai skala kekerasan Mohs yang ditampilkan pada Tabel.

Tabel 1 . Skala kekerasan relatif mineral (Mohs)

Skala Kekerasan (Hardness)	Mineral
1	<i>Talc</i>
2	<i>Gypsum</i>
3	<i>Calcite</i>
4	<i>Fluorite</i>
5	<i>Apatite</i>
6	<i>Orthoclase</i>
7	<i>Quartz</i>
8	<i>Topaz</i>
9	<i>Corundum</i>
10	<i>Diamond</i>

f. Goresan

Beberapa jenis mineral mempunyai goresan pada bidangnya, seperti pada mineral kuarsa, dan *pyrite* yang sangat jelas dan khas

g. Kilap

Kilap merupakan kenampakan atau kualitas pantulan cahaya dari permukaan suatu mineral. Kilap ada dua jenis, yaitu kilap logam dan kilap non logam. Kilap non logam antara lain : kilap mutiara, kilap gelas, kilap sutera, kilap resin dan kilap tanah.

(Noor, 2009)

Beberapa sifat fisis dari serpentin ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. sifat fisis serpentin (California Geological Survey. 2002)

Struktur kristal	Monoclinic (<i>Antigorite</i> memiliki struktur hexagonal, dan <i>chrysotile</i> memiliki struktur orthorombik)
Berat jenis (<i>specific gravity</i>)	2.5-2.6
Bidang belah (<i>fracture</i>)	Tak tampak
Warna (<i>colour</i>)	Bervariasi : biasanya hijau, kuning, hijau keabu-abuan
Kekerasan (<i>hardness</i>)	4-6
Goresan pada bidang (<i>streak</i>)	Putih
Kilap (<i>luster</i>)	Kilap minyak, kilap lilin, kilap sutra

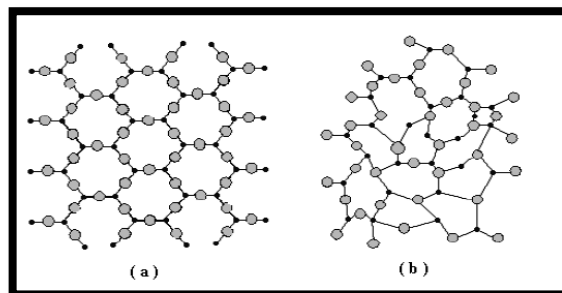
C. Kristalografi

1. Kristal

Pada dasarnya semua logam, keramik, dan beberapa polimer tertentu berkristalisasi ketika memadat. Kristal mempunyai perioditas sehingga menghasilkan tatanan rentang-panjang yaitu memiliki susunan atomik lokal

berulang dengan interval yang teratur jutaan kali dalam ketiga dimensi ruang (Van Vlack, 2004)

Ditinjau dari struktur atom penyusunnya, bahan padat dibedakan menjadi tiga yaitu kristal tunggal (*monocrystal*), polikristal (*polycrystal*), dan *amorf* (Smallman, 2000). Pada kristal tunggal, atom atau penyusunnya mempunyai struktur tetap karena atom-atom atau molekul-molekul penyusunnya tersusun secara teratur dalam pola tiga dimensi yang berulang secara periodik dalam rentang yang panjang tak berhingga. Sedangkan polikristal merupakan kumpulan dari kristal-kristal tunggal yang memiliki ukuran sangat kecil dan saling menumpuk yang membentuk benda padat. Struktur *amorf* menyerupai pola hampir sama dengan kristal, akan tetapi pola susunan atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul yang dimiliki tidak teratur (Smallman, 2000) Susunan atom yang berbeda antara kristal dan *amorf* ditunjukkan pada Gambar 6.

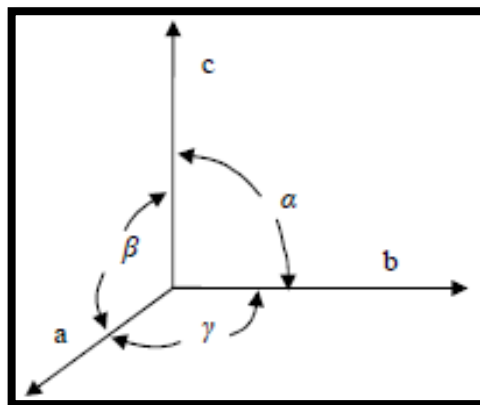


Gambar 6. (a). Susunan atom kristal. (b). Susunan atom amorf (Smallman.2000)

2. Struktur Kristal

Suatu zat padat dikatakan memiliki struktur kristal apabila atom, ion, atau molekul teratur dan periodik dalam rentang yang panjang dalam kristal (Parno, 2006). Perpanjangan dari koordinasi-koordinasi atomik (ionik) dalam dimensi ketiga ini menghasilkan peridositas rentang panjang yang khas.

Struktur kristal dapat dinyatakan sebagai posisi tertentu sebuah atom dalam unit sel. Unit sel merupakan atom atau ion dari suatu volume berukuran kecil. Semua sel satuan di dalam kristal identik. Suatu kristal terdiri dari jutaan atom yang dapat dinyatakan dengan ukuran, bentuk, dan susunan sel satuan dengan pola pengulangan yang menjadi ciri khas dari suatu kristal. Sumbu-sumbu a , b , dan c adalah sumbu-sumbu yang dikaitkan dengan parameter kisi kristal. Sudut α , β , dan γ merupakan sudut antara sumbu-sumbu referensi kristal (Van Vlack, 2004). Gambar 7 memperlihatkan sumbu dan sudut antara sumbu kristal.



Gambar 7. Sumbu dan sudut antar sumbu kristal (Van Vlack, 2004)

3. Sistem Kristal

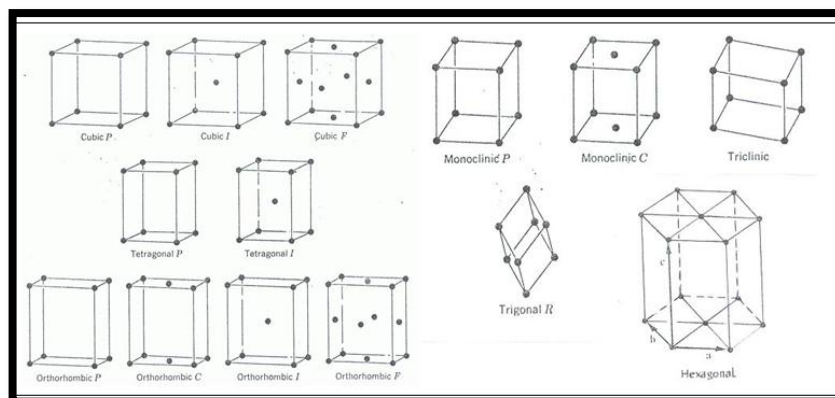
Setiap atom dalam kristal dianggap suatu titik, tepat pada kedudukan setimbang tiap atom di dalam ruang. Pola geometrik yang diperoleh dinamakan kisi kristal. Periodisitas tiga dimensional yang merupakan karakteristik kristal dapat menggunakan beberapa geometri yang berbeda. Ada dua jenis kisi yaitu 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* (Parno, 2006)

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 3.

Tabel 3. Tujuh sistem kristal dan empat belas kisi Bravais (Van Vlack, 2004)

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 3, terdapat 14 sistem Bravais yang diperlihatkan pada Gambar 8.

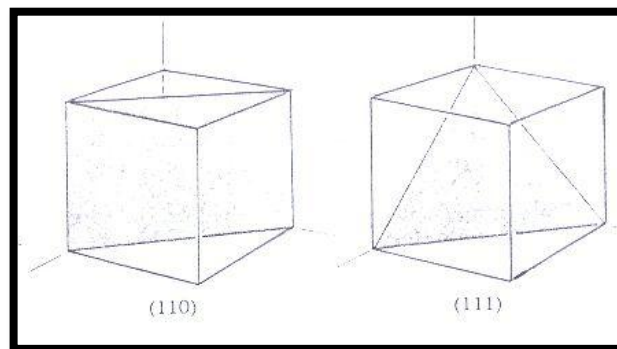


Gambar 8. Empat belas kisi Bravais (Parno, 2006)

Pada Tabel 3 dan Gambar 8 memperlihatkan 7 sistem kristal dan 14 kisi bravais. Tujuh sistem kristal tersebut antara lain kubik, monoklinik, triklinik, tetragonal, orthorombik, rhombohedral dan hexagonal.

4. Bidang Kristal

Suatu kristal memiliki beberapa bidang atom yang akan mempengaruhi sifat dan perilaku material, sehingga bermanfaat untuk mengidentifikasi berbagai bidang dalam kristal. Gambar 9 memperlihatkan sebuah bidang kristal.



Gambar 9. Bidang kristal dengan indeks miller (Parno, 2006)

Pada Gambar 9 merupakan bidang kristal dengan diberi tanda (110) dan (111) . Baik bidang, maupun arah bidang dapat dinyatakan dalam 3 angka yang disebut dengan *indeks miller*.

Untuk membedakannya, maka :

- 1) Untuk arah bidang digunakan simbol atau lambang $[h\ k\ l]$.
- 2) Untuk bidang kristal digunakan lambang $(h\ k\ l)$

Bidang kisi yang paling mudah digambarkan adalah bidang-bidang yang membatasi sel satuan di samping bidang lainnya.

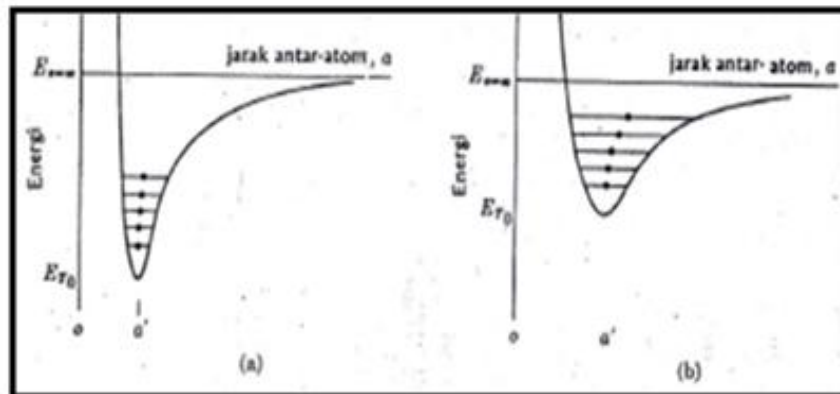
Indeks miller merupakan kebalikan dari ketiga perpotongan antara bidang dengan sumbu, tanpa pecahan dan tanpa kelipatan yang sama (Van Vlack, 2004).

D. Pengaruh Temperatur Sintering

Istilah kata sintering berasal dari bahasa jerman, “*sinter*” yang berarti bara. Sintering merupakan metode pembuatan material dari serbuk dengan pemanasan sehingga terbentuk ikatan partikel. Sintering merupakan pengikatan bersama antar partikel pada suhu tinggi. Dalam terminologi teknik, istilah sintering digunakan untuk menyatakan fenomena yang terjadi pada produk bahan, padat dibuat dari bubuk, baik logam/non logam (Setiyanto, 2009 dalam Putri, 2011). Sintering merupakan perlakuan termal yang diterapkan pada sampel bubuk menjadi padatan yang kompak. Temperatur yang digunakan untuk sintering adalah temperatur dibawah titik leleh sampel (Olevsky, 2011). Melalui proses sintering ini, terjadi berbagai perubahan fisis pada bahan yang disinter.

1. Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Struktur Kristal

Apabila suatu material dipanaskan dengan laju pemanasan tetap maka akan terjadi perubahan fisika seperti perubahan fasa (Smallman, 2000). Berubahnya fasa dan 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 10.



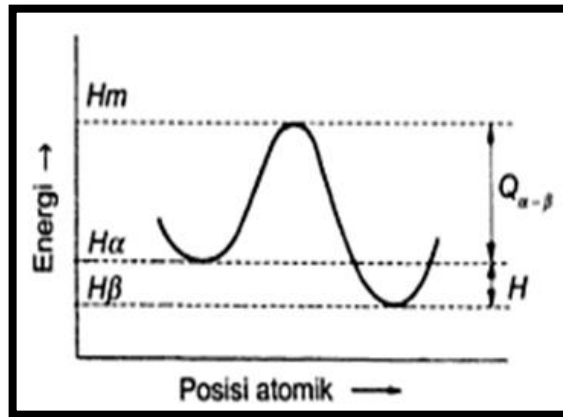
Gambar 10. Energi dan pemuaian, a. Bahan padat dengan ikatan kuat dan b. Bahan padat dengan ikatan lemah (Van Vlack, 1995)

Pada Gambar 10 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 (Van Valck, 1995). Proses difusi menggambarkan situasi pergerakan atom yang tidak terletak pada kisi kristal, tapi menempati posisi interstisi (Smallman, 2000). 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. (Van Valck, 2004).

2. Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Perubahan Fasa

Perubahan fasa dalam keadaan padat mencakup distribusi ulang atom dalam padatan tersebut dan kinetika perubahan bergantung pada laju migrasi atom. Transportasi atom melalui kristal disebut juga dengan difusi atom. Atom-atom yang berdifusi dapat berpindah dari lokasi kisi fasa α ke kisi β . Perpindahan

atom-atom ini dapat terjadi apabila atom tersebut memiliki energi untuk melewati hambatan potensial seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11.

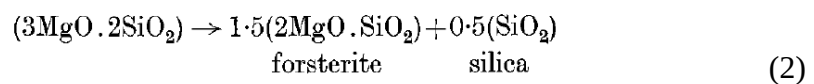
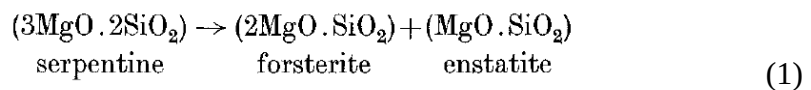


Gambar 11. Hambatan energi yang memisahkan keadaan struktural (Smallman, 2000)

Sebuah atom harus melewati hambatan potensial yang diakibatkan oleh gaya interatomik yang bergerak, kelompok atom di dekatnya dan atom di lokasi baru. Pada Gambar 11 dapat diketahui bahwa sebuah atom harus memiliki energi yang lebih besar dari energi $Q_{\alpha-\beta} = H_m - H_\alpha$ untuk melewati hambatan potensial pada pemanasan. Jika energi ini dimiliki oleh atom, maka atom akan meninggalkan matriks (struktur lama) dan membentuk nukleus fasa baru yang kemudian tumbuh sehingga terjadi pembentukan serta transformasi struktur secara keseluruhan (Smallman, 2000).

Menurut Giacobbe (2012), jenis mineral pada serpentin dapat terdekomposisi dengan temperatur yang berbeda-beda. Struktur chrysotil dapat terbentuk saat temperatur mencapai 750 °C, struktur *lizardite* pada temperatur 775 °C, sementara struktur *antigorite* dapat terbentuk pada saat temperatur mencapai 800 °C. Menurut de Wall (1978) dalam Bish (1981) memaparkan fasa *liebenbergite* mulai terlihat dan terbentuk pada temperatur 730°C yang kaya

dengan kandungan nikel. Kosanovic, dkk (2006) menyatakan bahwa pada temperatur 800°C-1000°C terjadi perubahan fasa serpentin ke *forsterite* dan fasa *enstatite*. Perubahan fasa ini disebabkan adanya proses pemanasan, dimana proses reaksi terbentuknya *forsterite*, *enstatite* dan *silica* dapat diperlihatkan pada reaksi persamaan 1 dan 2 (Brindley dan Hayami, 1965).



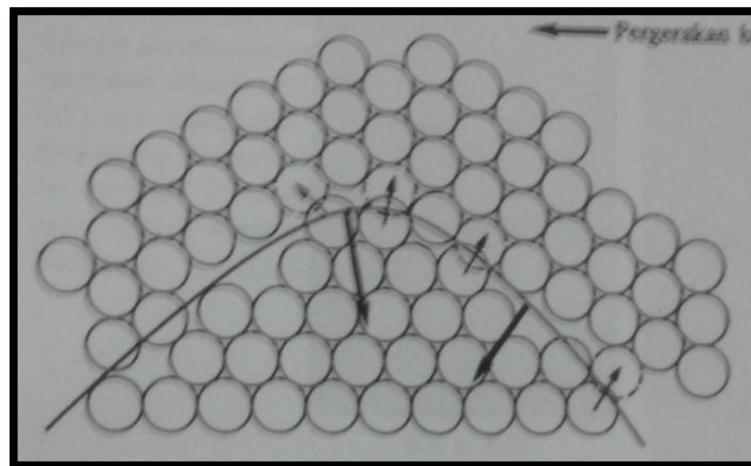
Sehubungan dengan itu, Brindley dan Hayami (1965) memaparkan bahwa pada temperatur 800°C *forsterite* dapat terbentuk dari serpentin, dimana ion Mg dan ion Si dapat secara bebas bereaksi sehingga terbentuk *forsterite*. Selain berubah fasa menjadi *forsterite* dan *enstatite*, juga muncul fasa *silica* (Brindley dan Hayami, 1965; Brindley 1971).

Adanya perbedaan temperatur sintering dalam perubahan fasa yang terjadi pada serpentin disebabkan oleh kandungan lain yang terdapat pada serpentin, dengan kemungkinan substitusi terhadap ion-ion pengotor dalam jumlah kecil seperti Mg, Fe, Co, Ni, Mn, Cr, Al, dan Ti (Page, 1968). Perbedaan kadar kadungan dan unsur pengotor pada serpentin juga akan mempengaruhi pembentukan fasa untuk temperatur yang sama.

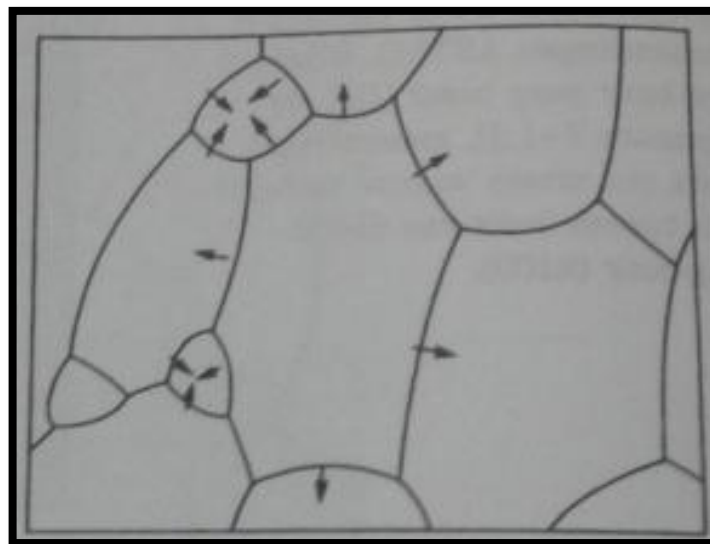
3. Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Ukuran Butir

Selain temperatur berpengaruh terhadap perubahan struktur dan fasa, temperatur juga berpengaruh terhadap ukuran butir. Besar butir rata-rata dari material fasa-tunggal bertambah besar dengan bertambahnya waktu apabila suhu

menimbulkan pergerakan atom yang cukup signifikan (Van Vlack, 2004). Untuk lebih jelas, pergerakan dan pertumbuhan butir dapat diperlihatkan pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12. Pergerakan batas butir (Van Vlack, 2004)



Gambar 13. Pertumbuhan butir (Van Vlack, 2004)

Pada Gambar 12, terlihat bahwa atom-atom bergerak dan berkoordinasi dengan sejumlah besar atom-atom tetangga pada jarak interatomik keseimbangan. Akibatnya, batas bergerak mendekati pusat kelengkungan. Butir-butir kecil cenderung memiliki permukaan dengan kecembungan yang lebih tajam

dibandingkan dengan butir-butir besar, sehingga butir-butir kecil bergerak menuju pusat kelengkungan seperti tanda panah pada Gambar 13. Akibatnya, butiran kecil lenyap dan terjadi pertumbuhan butir (Van Vlack, 2004).

Menurut Hadi (2009), temperatur pemanasan yang terus meningkat mengakibatkan meningkatnya proses oksidasi dan ukuran butir semakin besar. Akibat bertambah besarnya ukuran butir akan berdampak pada densitas dari kristal sehingga kristal menjadi padat. Bertambah besarnya ukuran butir ini mengakibatkan adanya vakansi/kekosongan sehingga proses difusi atom pun dapat terjadi. Sehubungan dengan hal ini juga dinyatakan oleh Abdullah (2008) bahwa ukuran partikel menjadi besar akibat penyatuan sejumlah nanopartikel selama proses pemanasan.

Untuk melihat ukuran butir kristal, juga dapat menggunakan pola difraksi sinar x. Perhitungan ukuran butir kristal menggunakan persamaan 3.

$$D = \frac{k \lambda}{B \cos \theta_B} \quad (3)$$

Keterangan :

D = Ukuran Partikel

λ = Panjang gelombang sinar x yang digunakan

θ_B = Sudut Bragg, B adalah FWHM (*Full Width at Half Maximum*)

k = konstanta material yang nilainya kurang dari satu. Nilai yang umumnya digunakan untuk k adalah 0.9

Rumus ini telah digunakan oleh beberapa peneliti dalam perhitungan ukuran butir kristal. Meningkatnya temperatur sintering juga akan meningkatkan ukuran butir apabila tidak terjadi transformasi fasa.

E. *X-Ray Diffraction*

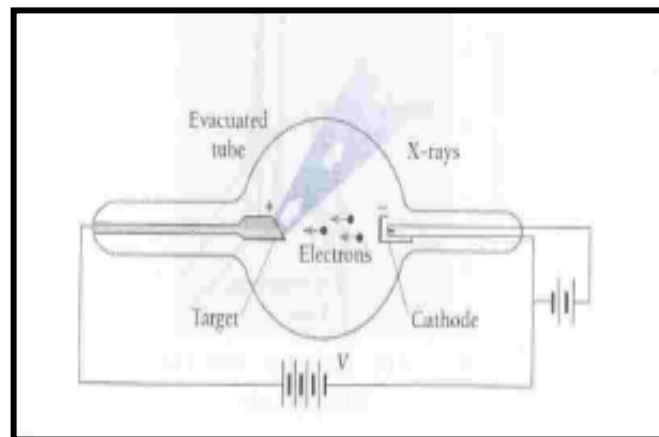
1. Sinar X

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 (Rosana, dkk. 2003).

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 (Surya, 2009)

Sinar x memiliki sifat-sifat sebagai berikut (Surya, 2009):

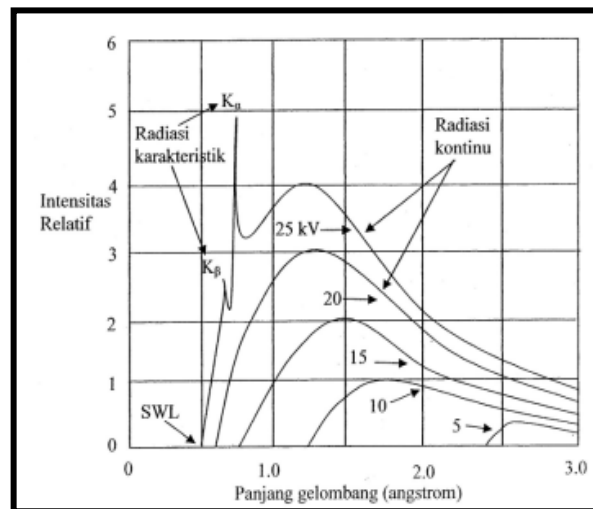
- a. Sinar x berasal dari sinar katoda yang menumbuk plat anoda
- b. Sinar x bergerak dalam garis lurus dan dapat menghitamkan plat fotografi
- c. Sinar x mampu menembus berbagai zat: kertas, kayu, aluminium, platina dan timbal.



Gambar 14. Diagram tabung sinar X (Beiser:1986)

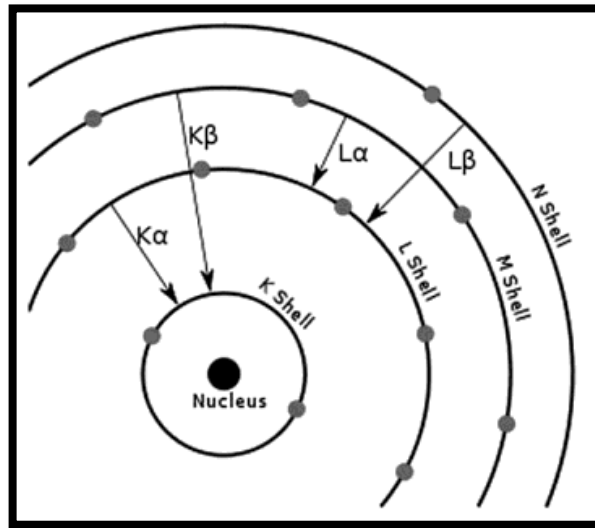
Gambar 14 merupakan diagram tabung sinar x. Beda potensial yang diberikan antara katoda dan anoda menggunakan sumber yang bertegangan tinggi. Perbedaan potensial yang tinggi ini mampu menimbulkan arus elektron sehingga elektron-elektron yang dipancarkan akibat pemanasan filamen akan dipercepat menuju 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.



Gambar 15. Spektrum sinar-x *molybdenum* (Cullity, 1956)

Gambar 15 memperlihatkan jenis kurva yang dihasilkan oleh spektrum sinar x. Dari intensitas nol hingga panjang gelombang tertentu disebut dengan *short-wavelength limit* (λ_{SWL}). Intensitas meningkat dengan cepat hingga menuju maksimum dan kemudian menurun hingga tanpa batas untuk setiap panjang gelombang (Cullity, 1956). Radiasi yang dipancarkan oleh sinar x ada dua komponen, yaitu spektrum kontinu dan spektrum karakteristik. Spektrum kontinu mempunyai jarak panjang gelombang yang lebar dan dihasilkan dari peristiwa *bremstrahlung*. Spektrum karakteristik merupakan karakteristik dari logam yang ditembak dan dapat terjadi jika elektron mempunyai energi yang cukup untuk mengeksitasi elektron dalam dari kulitnya. (Smallman, 2000).



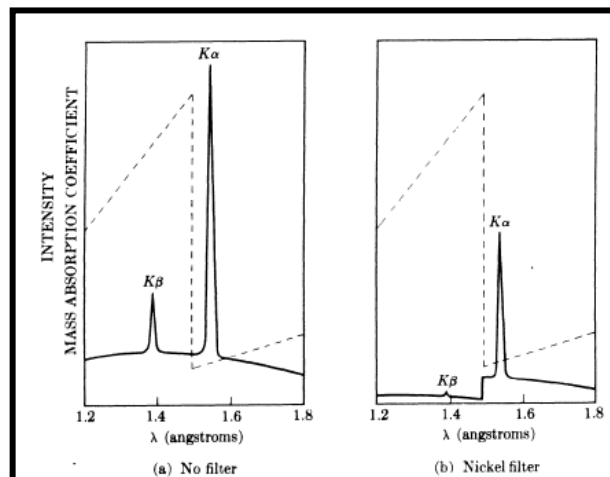
Gambar 16. Transisi elektron (Shackley, 2010)

Gambar 16 memperlihatkan bahwa apabila elektron mengalami transisi elektron dari kulit atom. Kekosongan kulit K akan diisi oleh elektron dari kulit luarnya dan dapat disimbolkan dengan radiasi $K\alpha$ dan $K\beta$. Jika terjadi transisi elektron dari kulit L ke kulit K, maka radiasi emisi ini disebut radiasi $K\alpha$. Elektron yang mengalami transisi dari kulit M ke kulit K disebut radiasi $K\beta$.

Transisi elektron yang dapat terjadi tidak hanya diperoleh dari interaksi elektron dan atom tapi juga interaksi sinar x dan atom. Ketika sinar x ditembakkan pada sampel maka sinar x sebagian akan ditransmisikan dan sebagian diabsorpsi sesuai dengan Persamaan 4:

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \quad (4)$$

I_0 adalah intensitas awal sinar x, I_x adalah intensitas transmisi sinar x setelah melewati sampel dengan ketebalan x , μ adalah koefisien absorpsi linear. Radiasi yang keluar dari pembangkit sinar x diperlihatkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Perbandingan radiasi Cu dengan filter dan tanpa filter (Cullity, 1956)

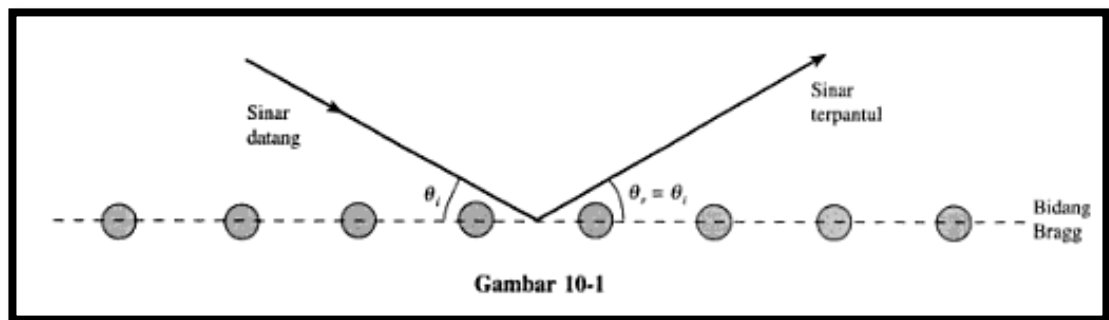
Gambar 17 memperlihatkan perbandingan radiasi Cu yang difilter dengan radiasi Cu tanpa filter. Pada eksperimen, penggunaan sinar x adalah radiasi sinar x monokromatik. Namun, berkas sinar x yang keluar dari tabung sinar x tidak hanya radiasi $K\alpha$, tapi juga radiasi $K\beta$ dan spektrum kontinu. Intensitas radiasi yang tidak diinginkan ini dapat dikurangi dengan cara melewati sinar melalui filter. Filter berguna untuk mengabsorpsi radiasi $K\beta$ yang lemah dan radiasi $K\alpha$ yang cukup kuat akan diteruskan sehingga dihasilkan sinar x monokromatik.

2. Difraksi Sinar X

Verifikasi dalam struktur kristal yang sangat baik adalah melalui difraksi sinar x. Difraksi sinar x pada material terjadi akibat dua fenomena (Pratapa, 2004):

- 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.

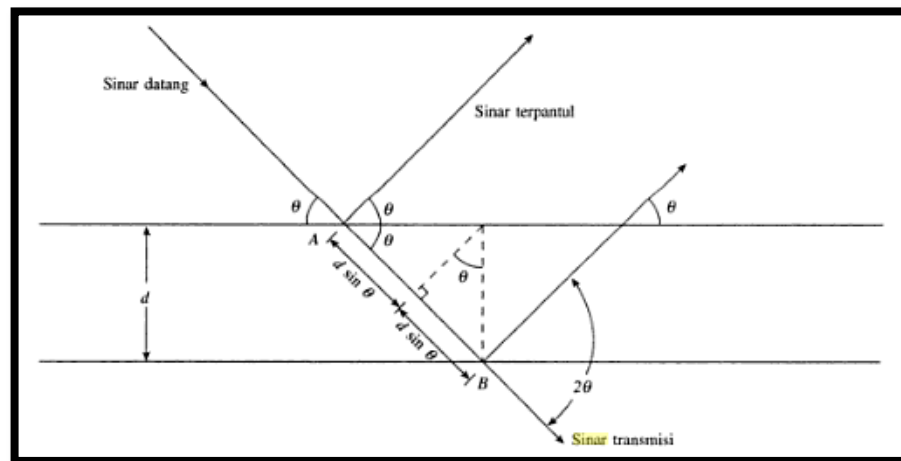
Teori difraksi sinar x dikembangkan oleh Sir William H. Bragg pada tahun 1913. Bragg menunjukkan bahwa bidang yang berisi atom di dalam kristal yang disebut bidang Bragg, akan memantulkan radiasi dengan cara yang sama persis dengan peristiwa pemantulan cahaya di bidang cermin, seperti ditunjukkan pada Gambar 18 (Gautreau dan Savin, 2006).



Gambar 18. Bidang Bragg (Gautreau dan Savin, 2006)

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 (Gautreau dan Savin, 2006). Oleh karena itu, hukum Bragg menyatakan bahwa :

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (5)$$



Gambar 19. Difraksi Bragg (Gautreau dan Savin, 2006)

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:

$$\frac{1}{d^2} = \left(\frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \right) \quad (6)$$

Dengan menerapkan hukum Bragg dari Persamaan (6) dan mensubstitusikan ke Persamaan (5), sehingga diperoleh persamaan:

$$\frac{4 \sin^2 \theta}{\lambda^2} = \left(\frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \right) \quad (7)$$

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{a^2} (h^2 + k^2 + l^2) \quad (8)$$

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 (Van Vlack, 2004).. Untuk menentukan parameter kisi $a=b=c$, akan diperoleh persamaan :

$$\sin^2 \theta \cdot 4 a^2 = \lambda^2 (h^2 + k^2 + l^2) \quad (9)$$

$$a = \frac{\lambda^2}{\sin \theta} \sqrt{\frac{(h^2 + k^2 + l^2)}{4}} \quad (10)$$

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 konsetris 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 utama, jarak pisah tersebut adalah jarak interatomik (Gautreau dan Savin, 2006). 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 .

Untuk menentukan jarak antar bidang-bidang kristal (hkl) pada ketujuh kisi Bravais jika teridentifikasi sistem kristal pada material maka dapat menggunakan persamaan seperti pada Tabel 4 (Cullity, 1956).

Tabel 4. Sistem kristal dan persamaan jarak antar bidang

No	Sistem Kristal	Persamaan Jarak Antar Bidang
1	Kubik	$\frac{1}{d^2} = \left(\frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \right)$
2	Rombohedral	$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2 \sin^2 \alpha + (hk + kl + hl)(\cos^2 \alpha)}{a^2 (1 - 3 \cos^2 \alpha + 2 \cos^3 \alpha)}$
3	Tetragonal	$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$
4	Orthorombik	$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}$
5	Monoklinik	$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{\sin^2 \beta} \left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2 \sin^2 \beta}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} - \frac{2 hl \cos \beta}{ac} \right)$
6	Heksagonal	$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$
7	Triklinik	$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{V^2} (S_{11}h^2 + S_{22}k^2 + S_{33}l^2 + 2S_{12}hk + 2S_{23}kl + 2S_{13}hl)$ $S_{11} = b^2 c^2 \sin^2 \alpha; \quad S_{12} = abc^2 (\cos \alpha \cos \beta - \cos \gamma)$ $S_{22} = a^2 c^2 \sin^2 \beta; \quad S_{23} = a^2 bc (\cos \beta \cos \gamma - \cos \alpha)$ $S_{33} = a^2 b^2 \sin^2 \gamma; \quad S_{31} = ab^2 c (\cos \gamma \cos \alpha - \cos \beta)$

3. Faktor Struktur

Untuk menentukan intensitas hamburan oleh struktur atom, maka dapat digunakan faktor struktur. Dalam menentukan faktor struktur maka harus ditentukan terlebih dahulu intensitas yang dihamburkan oleh satu atom

Faktor struktur merupakan penjumlahan dari gelombang yang terhambur oleh tiap partikel. Sehingga dapat disimpulkan :

$$F_{hkl} = \sum_1^N f_n e^{2\pi i (hu + kv + lw)} \quad (11)$$

Keterangan:

f : faktor hamburan

F: faktor struktur

N: Jumlah gelombang terhambur

h, k, l : bidang kristal

u, v, w : koordinat atom

Faktor struktur (F) merupakan pengaruh struktur kristal pada intensitas berkas yang didifraksikan (Cullity, 1956). Faktor struktur akan menentukan intensitas yang muncul pada difraktogram yang berperan penting dalam menentukan karakteristik dari kisi kristal. Dimana intensitas yang muncul sebanding dengan faktor struktur. Hal ini sesuai dengan Persamaan 19.

$$I = |f|^2 p \left(\frac{1 + \cos^2 2\theta}{\sin^2 \theta \cos \theta} \right) \quad (12)$$

I adalah intensitas, f adalah faktor struktur, p adalah faktor multiplisitas dan θ adalah sudut bragg (Cullity, 1956). Nilai faktor struktur bergantung pada arah difraksi. Kisi kristal memiliki faktor struktur yang berbeda seperti :

a. Faktor struktur pada simple kubik (*simple cubic*)

Simplest cubic adalah sebuah bagian sel yang hanya memiliki satu atom asli, yang mempunyai fraksi koordinat 0 0 0. Sehingga faktor strukturnya :

$$F = f e^{2\pi i (0)} = f \text{ sehingga } F^2 = f^2 \quad (13)$$

Artinya intensitas selalu muncul pada sembarang nilai hkl

b. Faktor struktur pada sel kubik pusat badan (*simple cubic*)

Sel ini mempunyai dua atom yang sejenis berada pada 0 0 0 dan $\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$, sehingga faktor strukturnya :

$$F = f e^{2\pi i(0)} + f e^{2\pi i(\frac{h}{2} + \frac{k}{2} + \frac{l}{2})} = f[1 + f e^{\pi i(h+k+l)}] \quad (14)$$

Ketika $(h+k+l)$ genap maka $F=2f$ dan $F^2=4f^2$, tapi saat $(h+k+l)$ ganjil maka $F=0$ dan $F^2=0$. Artinya, intensitas muncul jika nilai $h+k+l$ bilangan ganjil, dan intensitas tidak muncul pada $h+k+l$ bilangan genap.

c. Faktor struktur pada sel kubik pusat muka (*simple cubic*)

Sel ini berisi empat atom sejenis berada pada 000, $\frac{1}{2} \frac{1}{2} 0$, $\frac{1}{2} \frac{1}{2} 0$, dan $0 \frac{1}{2} \frac{1}{2}$, sehingga memiliki faktor struktur :

$$F = f e^{2\pi i(0)} + f e^{2\pi i(\frac{h}{2} + \frac{k}{2})} + f e^{2\pi i(\frac{h}{2} + \frac{l}{2})} + f e^{2\pi i(\frac{k}{2} + \frac{l}{2})}$$

$$F = 1 + f e^{\pi i(h+k)} + f e^{\pi i(h+l)} + f e^{\pi i(k+l)} \quad (15)$$

Jika h , k , dan l sama, maka ada tiga kesimpulan $(h+k)$, $(h+l)$, dan $(k+l)$ merupakan bilangan bulat genap dan setiap syarat pada persamaan di atas bernilai 1. Maka :

$$F=4f$$

$$F^2=16f^2 \quad (16)$$

Jika h , k , dan l tidak sama, maka jumlah dari tiga eksponensial adalah -1, baik dua dari indeks gasal dan satu genap atau dua genap dan satu gasal. Sebagai contoh h dan l genap dan k gasal, misalnya 012. Sebagai contoh h dan l genap, dan k gasal. Maka :

$$F=0$$

$$F^2=0 \quad (17)$$

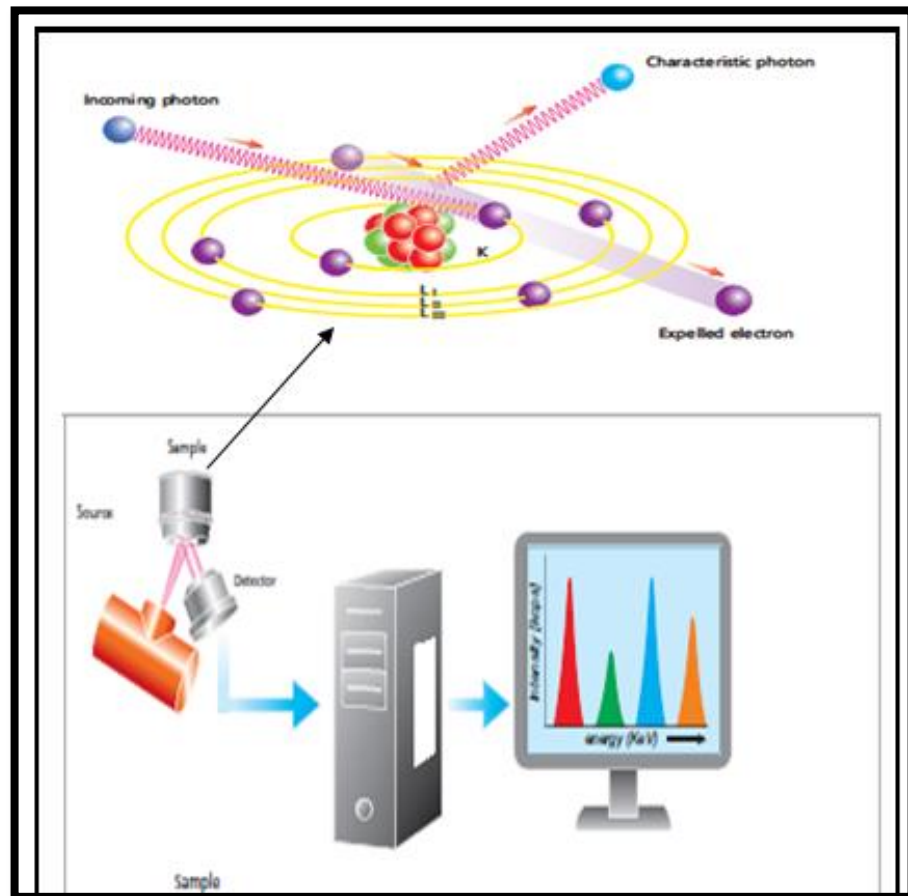
Artinya, intensitas muncul jika $h+k+l$ semua gasal atau genap, dan intensitas tidak muncul ketika $h+k+l$ campuran gasal dan genap

F. *X-Ray Fluorescence*

X-Ray Fluorescence merupakan suatu metode analisis untuk mengidentifikasi komposisi kimia/ unsur-unsur yang membangun suatu material. Material tersebut dapat berupa padat, cair, dan bubuk. Umumnya, metode XRF digunakan untuk menentukan komposisi unsur dari material, karena metode ini cepat, akurat, tidak merusak sampel dan biasanya hanya dibutuhkan sedikit sampel dalam preparasi. Metode ini dapat diaplikasikan di industri untuk mengontrol komposisi material, tergantung pada kebutuhan industri tersebut (Brouwer, 2010)

XRF menggunakan prinsip eksitasi dan emisi sinar x elektron atom/unsur pada sampel. Apabila terjadi eksitasi elektron mengenai sampel, maka sinar x dapat diabsorpsi atau dihamburkan oleh sampel dengan mentransfer energinya pada elektron. Hal ini disebut dengan efek fotolistrik (Brouwer, 2010). Efek fotolistrik merupakan bukti yang meyakinkan bahwa foton cahaya dapat mentransfer energi pada elektron (Beiser, 1987).

Jika sinar x memiliki cukup energi, maka elektron akan tereksitasi sehingga terjadi kekosongan pada kulit dalam. Kekosongan ini menghasilkan keadaan atom yang tidak stabil dan elektron akan mengisi kekosongan pada kulit dalam jika atom kembali stabil. Proses ini menghasilkan energi sinar x tertentu dan berbeda antara dua energi ikatan pada kulit tersebut seperti Gambar 20. Emisi sinar x dihasilkan dari proses yang disebut *X-Ray Fluorescence* (XRF).



Gambar 20. Prinsip kerja XRF (Brouwer, 2010).

Pada Gambar 20 dapat dijelaskan bahwa XRF dapat bekerja apabila sinar x ditembakkan ke sampel, maka sebagian energi akan terpantulkan dan sebagian akan diserap oleh sampel. Saat sampel menyerap energi, maka elektron akan tereksitasi dan menimbulkan kekosongan. Kekosongan tersebut diganti oleh elektron dari kulit luar dengan energi yang tinggi. Energi dilepaskan dalam bentuk emisi karakteristik sinar x.

Pada prinsip kerja XRF, biasanya kulit K dan L terlibat seperti yang terlihat pada Gambar 16. Sehingga sering terdapat istilah $K\alpha$ dan $K\beta$ serta $L\alpha$ dan $L\beta$ pada XRF. Sumber sinar x biasanya dihasilkan dari target Rh, meskipun W, Mo, Cr dan lain-lain juga dapat digunakan.

Jenis spektrum sinar x dari sampel yang diradiasi akan menggambarkan puncak-puncak pada intensitas yang berbeda. Intensitas dapat memberikan informasi kadar kandungan unsur suatu sampel (Jusoh, 2010)

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada hasil pengukuran menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dapat diketahui kadar kandungan Mg pada serpentinit yang terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan Sumatera Barat yaitu 47.194%.
2. Pemberian variasi temperatur sintering pada serpentinit yang terdapat di Jorong Sungai Padi. Fasa *antigorite* memiliki struktur monoclinic dan fasa *lizardite* memiliki struktur orthorombik dengan unit sel berturut-turut $a = 5,42 \text{ \AA}$; $b = 9,25 \text{ \AA}$; $c = 7,26 \text{ \AA}$ dan $a = 5,34 \text{ \AA}$; $b = 9,24 \text{ \AA}$ dan $c = 14,2 \text{ \AA}$ berubah fasa menjadi fasa *forsterite* yang berstruktur orthorombik dengan unit sel $a = 4,75 \text{ \AA}$; $b = 10,1 \text{ \AA}$; $c = 5,97 \text{ \AA}$. Selain itu, juga terbentuk fasa *clinoenstatite* dengan struktur monoclinic dan fasa *quartz* yang berstruktur hexagonal. Sedangkan fasa *magnetite* memiliki struktur kristal *cubic* dengan unit sel $a = b = c = 8,37$ berubah fasa menjadi fasa *hematite* dengan unit sel $a = b = 5,02$; $c = 13,7$ dengan struktur *rhombohedral*.
3. Pemberian variasi temperatur sintering pada serpentinit yang terdapat di Jorong Sungai Padi mempengaruhi fasa yang terbentuk. Pada temperatur 725°C hingga 750°C muncul 3 jenis fasa yaitu *forsterite*, *hematite*, dan *clinoenstatite*. Pada temperatur 775°C hingga 800°C ditemukan 4 jenis fasa

baru yaitu *forsterite*, *hematite*, *clinoenstatite* dan *quartz*. Sedangkan pada temperatur 825°C, fasa *clinoenstatite* hilang, dan fasa yang muncul adalah *forsterite*, *hematite* dan *quartz*.

4. Pemberian variasi temperatur sintering pada serpentinit yang terdapat di Jorong Sungai Padi mempengaruhi ukuran butir yang terbentuk. Meningkatnya temperatur sintering, ukuran butir serpentinit ada yang meningkat hingga temperatur tertentu dan kemudian menurun, seperti ukuran butir fasa *clinoenstatite* pada temperatur 775°C diperoleh sebesar 101,0 nm, pada sampel 800°C menjadi 95,39 nm dan kemudian hilang pada sampel 825°C

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penggunaan XRD hanya dapat mengkarakterisasi struktur kristal, perubahan fasa dan ukuran butir secara perhitungan. Agar dapat memahami lebih jelas, maka lebih baik kita juga menggunakan AFM (*Atomic Force Microscopy*) yang dapat memperlihatkan gambaran struktur atom dalam 3 dimensi.

Pada penelitian ini, umumnya perubahan fasa serpentinit yang banyak terjadi adalah fasa *forsterite*. *Forsterite* dapat digunakan sebagai bahan utama refraktori dan pembuatan laser karena memiliki titik leleh yang tinggi. Oleh karena itu, dalam pengolahan serpentinit dapat dioptimalkan oleh Dinas Energi dan Sumber daya Mineral, Pemerintah Daerah, investor, dan masyarakat terutama pada fasa *forsterite* sebagai peluang investasi.