# PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP STRUKTUR BATUAN DUNIT DARI JORONG TONGAR, NAGARI AUR KUNING, KECAMATAN PASAMAN, KABUPATEN PASAMAN BARAT SUMATERA BARAT

**SKRIPSI**

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


**Oleh :**

**MELINDA WARDANI**

**NIM. 18430/2010**



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

**2014**

## PERSETUJUAN SKRIPSI

# PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP STRUKTUR BATUAN DUNIT DARI JORONG TONGAR, NAGARI AUR KUNING, KECAMATAN PASAMAN, KABUPATEN PASAMAN BARAT SUMATERA BARAT

| | |
|---|---|
| Nama | : Melinda Wardani |
| NIM | : 18430 |
| Program Studi | : Fisika |
| Jurusan | : Fisika |
| Fakultas | : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam |

Padang, 07 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

**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 terhadap Struktur Batuan Dunit dari Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatera Barat** |
| Nama | : Melinda Wardani |
| NIM | : 18430 |
| Program Studi | : Fisika |
| Jurusan | : Fisika |
| Fakultas | : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam |

Padang, 07 Agustus 2014

Tim Penguji

| Nama | | Tanda Tangan |
|---|---|---|
| 1. Ketua | : Dr.Hj. Ratnawulan, M.Si | 1. |
| 2. Sekretaris | : Drs. Gusnedi, M.Si | 2. |
| 3. Anggota | : Dra.Syakbaniah, M.Si | 3. |
| 4. Anggota | : Dra.Yenni Darvina, M.Si | 4 |
| 5. Anggota | : Dr. Hamdi, M.Si | 5. |

**SURAT PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, 07 Agustus 2014

Yang menyatakan,

Melinda Wardani

# ABSTRAK

**Melinda Wardani : Pengaruh Temperatur Terhadap Struktur Batuan Dunit Dari Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat**.

Indonesia merupakan negara yang kaya akan potensi alam. Potensi alam tersebut meliputi minyak, gas, dan bahan-bahan galian mineral. Salah satu bahan galian mineral tersebut ialah Dunit. Kandungan Dunit di setiap daerah memiliki komposisi yang berbeda, hal ini diakibatkan perbedaan struktur geologi suatu daerah. Selain itu, fasa pada temperatur yang sama akan berbeda jika komposisinya berbeda. Selain itu, Dunit yang ada di Daerah Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat belum diteliti sepenuhnya. Oleh karena itu, penting untuk melakukan penelitian yang mengungkap struktur dari batuan dunit yaitu dengan cara mengetahui karakteristiknya berdasarkan kandungan, struktur, dan ukuran butir dari dunit dengan variasi temperatur kalsinasinya.

Penelitian ini merupakan jenis penelitian yang bersifat eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Material Jurusan Fisika dan Laboratorium Jaminan Kualitas PT Semen Padang. Pada penelitian ini dilakukan variasi terhadap temperatur kalsinasi. *X-Ray Fluorescence* (XRF) digunakan untuk mendapatkan data kadar kandungan dunit sebelum dan sesudah dikalsinasi. *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk mengidentifikasi fasa, struktur, dan ukuran butir kristal.

Pada penelitian ini diperoleh data pengujian XRF berupa kadar kandungan dunit sebelum di kalsinasi dan sesudah dikalsinasi. Sebelum dikalsinasi mengandung unsur Mg sebagai penyusun utamanya dengan kadar 49,96% dan menurun menjadi 41,66% setelah diberi variasi temperatur kalsinasi. Berdasarkan data pengujian XRD diperoleh informasi bahwa akibat peningkatan temperatur kalsinasi terjadi transformasi fasa dari *lizardite* dan *magnetit* kemudian pada suhu 700$^{o}$C membentuk fasa *fayalite* dan *forsterite* hingga pada suhu 1100$^{o}$C terbentuk fasa *olivine* dan *enstatite*. Meningkatnya temperatur kalsinasi menyebabkan terjadinya perubahan struktur batuan dunit dari struktur hexagonal ke struktur orthorombik. Meningkatnya temperatur kalsinasi, berpengaruh terhadap ukuran butir, seperti ukuran butir kristal fasa magnetit sebesar 55.56945 nm dan *lizardite* sebesar 42.98862 nm. Pada suhu 700$^{o}$C ukuran butir untuk fasa *forsterite* dan *fayalite* mengalami penurunan yakni berturut turut 36.62412 nm dan 39,91738 nm. Fasa *forsterite* pada temperatur 800$^{0}$C memiliki ukuran butir 40,18405 nm. Pada sampel 900$^{0}$C memiliki ukuran kristal 41,90441 nm. Pada sampel 1000$^{0}$C memiliki ukuran butir 37,95575 nm, sedangkan pada suhu 1100$^{o}$C memiliki ukuran kristal 36,64616 nm.

**Kata Kunci** : *X-Ray Diffraction* (XRD) , *X-Ray Diffraction* (XRD), Dunit, Fasa, Struktur, Ukuran butir, dan variasi temperatur kalsinasi

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya terutama nikmat waktu dan kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul "Pengaruh Temperatur Terhadap Struktur Batuan Dunit Dari Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat". 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 Diffraksi Sinar-X dengan nomor kontrak 252/UN35.2/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, fikiran, serta memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dalam kegiatan penelitian dan penulisan skripsi ini.

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 ini.
3. Ibu Dra. Syakbaniah, M.Si, Ibu Dra. Yenni Darvina, M.Si, Bapak Dr. Hamdi, M.Si, selaku penguji pada skripsi ini.
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. Seluruh Bapak/Ibu staf pengajar Jurusan Fisika yang telah membekali penulis dengan berbagai ilmu dan pengetahuan serta motivasi selama masa perkuliahan.
7. Bapak Aldinol Laboran Jaminan Kualitas di PT. Semen Padang yang telah membantu penulis dalam pengambilan data penelitian ini
8. Spesial kepada kedua orang tua saya yang selalu memberikan dukungan motivasi serta doa yang diberikan kepada penulis
9. Semua pihak yang telah membantu penulis untuk mewujudkan dan menyelesaikan studi yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

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, Juli 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman

**KATA PENGANTAR** ..... **ii**

**DAFTAR ISI** ..... **iv**

**DAFTAR TABEL** ..... **vii**

**DAFTAR GAMBAR** ..... **ix**

**DAFTAR LAMPIRAN** ..... **xi**

**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. Batuan Dunit ..... 9

B. Struktur Mineral Batuan Dunit ..... 11

1. Sistem Kristal ..... 11

2. Fasa dunit ..... 15

C. Potensi dunit di Sumatra Barat ..... 17

D. Pengaruh Temperatur Kalsinasi ..... 19

1. Pengaruh Temperatur Terhadap Ukuran Butir Kristal ..... 19

2. Pengaruh Temperatur Terhadap Perubahan Fasa ..... 23

E. Kristalografi ..... 26
1. Kristal ..... 26
2. Struktur Kristal ..... 27
3. Sistem Kristal ..... 28
4. Bidang Kristal ..... 30
F. X-Ray Diffraction (XRD) ..... 32
1. Sinar X ..... 32
2. Difraksi Sinar X ..... 36
3. Faktor struktur ..... 41
G. X-Ray Fluorescence (XRF) ..... 45
**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**
A. Rancangan Penelitian ..... 48
B. Waktu dan Tempat Penelitian ..... 48
C. Variabel Penelitian ..... 49
D. Prosedur Penelitian ..... 49
1. Persiapan Penelitian ..... 49
2. Pelaksanaan Penelitian ..... 54
**BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**
A. Hasil Penelitian ..... 62
B. Pembahasan ..... 104

**BAB V PENUTUP**

A. Kesimpulan ..... 110

B. Saran ..... 111

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

Tabel : Halaman


1. Tujuh sistem kristal dan empat belas kisi Bravais ..... 30
2. Data hasil pengukuran XRF sampel Dunit sebelum dilakukan variasi temperatur..... 62
3. Data hasil pengukuran XRF sampel dunit dengan variasi temperatur ..... 62
4. Data hasil pengukuran *x-ray diffraction* sampel dunit sebelum di kalsinasi..... 64
5. Data hasil pengukuran *x-ray diffraction* sampel $700^0$C ..... 65
6. Data hasil pengukuran *x-ray diffraction* sampel $800^0$C ..... 67
7. Data hasil pengukuran *x-ray diffraction* sampel $900^0$C ..... 70
8. Data hasil pengukuran *x-ray diffraction* sampel $1000^0$C ..... 72
9. Data hasil pengukuran *x-ray diffraction* sampel $1100^0$C ..... 74
10. Perbandingan data hasil pengukuran sampel sebelum dikalsinasi dengan *database* mineral..... 76
11. Perbandingan data hasil pengukuran sampel $700^o$C dengan *database* mineral ..... 78
12. Perbandingan data hasil pengukuran sampel $800^o$C dengan *database* mineral ..... 80
13. Perbandingan data hasil pengukuran sampel $900^o$C dengan *database* mineral ..... 82
14. Perbandingan data hasil pengukuran sampel $1000^o$C dengan *database* mineral ..... 85

15. Perbandingan data hasil pengukuran sampel 1100$^{o}$C dengan *database* mineral ..... 87
16. Fasa dunit yang terbentuk pada sampel ..... 91
17. Struktur dari mineral penyusun dunit..... 92
18. Ukuran butir kristal sampel dunit sebelum disinter ..... 94

## DAFTAR GAMBAR

Gambar : Halaman


1. Batuan Dunit ..... 10
2. Struktur Kristal Olivine ..... 12
3. Struktur Kristal *Forsterite* ..... 13
4. Diagram fasa sistem Mg-Si dengan fasa intermediet $Mg_2Si$ ..... 16
5. Diagram fasa olivine ..... 16
6. Perubahan ukuran partikel saat diberi pengaruh temperatur ..... 21
7. Kisi atom satu dimensi dalam keadaan seimbang (atas) dan dirambati energi (bawah) ..... 22
8. Energi dan pemuaian, a. Bahan padat dengan ikatan kuat dan b. Bahan padat dengan ikatan lemah. ..... 24
9. Hambatan energi yang memisahkan keadaan structural ..... 25
10. (a). Susunan atom kristal, (b). Susunan atom amorf ..... 27
11. Titik kisi dalam kristal ..... 28
12. Tujuh sistem kristal dengan empat belas kisi Bravais ..... 29
13. Perpotongan bidang dan sumbu ..... 31
14. Diagram tabung sinar X ..... 33
15. Spektrum sinar-X *molybdenum* ..... 34
16. Transisi elektron ..... 35
17. Perbandingan radiasi Cu dengan filter dan tanpa filter ..... 36
18. Kumpulan bidang-bidang Bragg ..... 37
19. Difraksi Bragg ..... 34
20. Prinsip kerja XRF ..... 46
21. Sampel dunit yang telah dihancurkan ..... 49
22. *X-Ray Fluorescence (XRF*) ..... 51
23. *Bowlmill* ..... 51
24. Spatula ..... 52
25. Desikator ..... 52
26. Penjepit ..... 52

27. Cawan porselen ..... 53
28. Neraca Ohauss..... 53
29. *Furnace* ..... 54
30. Lokasi dunit di Jorong Tongar ..... 54
31. Prinsip Kerja XRD ..... 57
32. Hasil pengukuran XRD berupa difraktogram ..... 58
33. Diagram alir penelitian ..... 55
34. Data hasil penggukuran XRF sampel dunit ..... 56
35. Data hasil pengukuran XRD sampel dunit sebelum dikalsinasi ..... 63

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran: Halaman

1. *Database* untuk mineral penyusun dunit ..... 115

2. Dokumentasi Penelitian ..... 202

# BAB I

# PENDAHULUAN

## A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang kaya akan potensi alam. Potensi alam tersebut meliputi minyak, gas, dan bahan-bahan galian mineral. Bahan galian adalah semua bahan atau subtansi yang terjadi dengan sendirinya di alam dan sangat dibutuhkan oleh manusia untuk berbagai keperluan industrinya. Sumber daya mineral meliputi deposit mineral yang bersifat hipotetis dan spekulatif, deposit yang belum tersingkap, maupun deposit yang tidak ekonomis atau deposit yang belum diketahui ekonomis tidaknya (MP3EI,2013). Diantara bahan-bahan mineral terdapat bahan yang tergolong bahan oksida yang berpotensi untuk pemanfaatan aplikasi teknologi tinggi seperti: $SiO_2$, MgO, $CaCO_3$, CaO, $Fe_2O_3$, $Fe_3O_4$, dan $Al_2O_3$. Bahan oksida tersebut sangat banyak dan mudah diperoleh dalam bahan-bahan mineral salah satunya dunit.

Secara umum (Government of India, 2012) memaparkan bahwa dunit merupakan jenis batuan yang berasal dari batuan ultrabasa. Batuan ultrabasa adalah batuan beku yang secara kimia mengandung kurang dari 45% $SiO_2$. Mineral yang mendominasi batuan ini yaitu Mg dan Fe (mineral ultramafic), batuan ini terbentuk secara plutonik yaitu dari magma yang membeku dari astenosfer.

Dunit merupakan jenis batuan ultamafik. Dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik *olivine* (umumnya magnesia *olivine*),

mineral asesorisnya meliputi kromit, magnetit, ilmenit dan spinel. Penggunaan dunit itu sendiri, sebagai sumber dari magnesium dan sebagai spesimen mineral (Waheed, 2002).

Thornhill (2011) memaparkan bahwa dunit mengandung sumber mineral penting yaitu *olivine*. *Olivine* merupakan sebuah kristal mineral silikat yang berbentuk isomorfis yang memiliki dua jenis yaitu yang pertama kaya magnesium *forsterite* ($Mg_2SiO_4$) dan yang kedua *olivine* yang kaya akan besi *fayalite* ($Fe_2SiO_4$). Mineral *olivine* yang mrupakan mineral utama pada batuan dunit ketika dipanaskan pada suhu 700$^oC$ akan membentuk fasa *forsterite*, dan ketika jumlah Fe nya meningkat hingga 50% maka akan terbentuk *fayalite* (Immo,1971).

Nelson (2012) memaparkan *olivine* yang terkandung dalam batuan dunit termasuk nesosilikat yang strukturnya mengandung $SiO_4$ tetra hedral yang berikatan dengan Fe dan Mg. Fasa fasa yang ada pada mineral *olivine* adalah : *Forsterite* ($Mg_{90-100}$), *Chrisolite* ($Mg_{70-90}$), *Hyalosiderite* ($Mg_{50-70}$), *Hortonolite* ($Fe_{70-50}$), *Ferrohortonolite* ($Fe_{90-70}$), *Fayalite* ($Fe_{100-90}$).

Menurut Didem (2012) dalam penelitiannya dunit yang berasal dari Turki Selatan memiliki komposisi kimia seperti FeO: 7,05 %; $SiO_2$: 38,74 %, MgO: 37,16 %, CaO: 9,24 %, $Al_2O_3$: 1,65 %. Subdinas (2002) memaparkan kandungan batuan ultrabasa (dunit) dari Muaro kiawai kabupaten Pasaman adalah $SiO_2$ : 34,28%, MgO : 37,27 %, CaO: 1,52%, $Al_2O_3$ : 0.23 %, FeO: 12,58 %.

Di Provinsi Sumatra Barat cadangan dunit terdapat di Kabupaten Pasaman, yang selama ini dikenal sebagai salah satu sentra produksi nasional kelapa sawit, ternyata Pasaman juga memiliki potensi bahan galian yang cukup menjanjikan bagi pertumbuhan ekonomi dan peningkatan kesejahteraan masyarakat setempat. Di kabupaten Pasaman sektor industri dan bahan galian, selama ini belum memberikan kontribusi yang besar bagi Pasaman, berbeda dengan Kota Padang yang memiliki PT Semen Padang, atau Sawahlunto yang sejak dulu dikenal sebagai kawasan tambang batubara. Melalui survei tim kerja Pemanfaatan Bahan Galian Subdin Geologi Sumberdaya Mineral Dinas Pertambangan dan Energi Sumbar, diketahui, Pasaman memiliki sumberdaya hasil tambang yang cukup menjanjikan.

Berdasarkan kandungan unsur – unsur kimia yang terdapat dalam mineral ini, batuan dunit memiliki potensi untuk dieksploitasi. Batuan dunit ini didominasi oleh "ferromagnesian minerals" yaitu unsur magnesium (MgO) dan besi ($Fe_2O_3$). Di dalam dunia pertanian/perkebunan magnesium memiliki peranan penting dalam pertumbuhan tanaman (Subdinas, 2002). Dunit sebagai sumber komersial magnesium yang dikombinasikan dengan silica digunakan terutama dalam metalurgi yaiu sebagai tungku tahan api. Selain itu berdasarkan fisiknya dunit ini cocok bahan pengisi kertas (Krameer, 2005).

Mohanty (2009) dalam penelitiannya memvariasikan temperatur sampel batuan dengan magnesium tinggi yaitu seperti dunit dengan menggunakan range suhu 700$^{o}$C -1180$^{o}$C. Penelitian ini menjelaskan pengaruh batuan dunit jika ditambahkan dengan bijih besi dalam pengolahan baja. Kosanovic (2005)

memaparkan bahwa fasa *forsterite* maupun *enstatite* dapat dimanfaatkan sebagai keramik material substrat alat elektronika karena bagus untuk bahan tahan api. Selain itu *forsterite* yang memiliki titik leleh yang tinggi dapat digunakan untuk pembuatan laser.

Berdasarkan tinjauan literatur tersebut, walaupun telah banyak peneliti sebelumnya yang meneliti tentang komposisi kandungan dunit terlihat bahwa setiap daerah memiliki komposisi yang berbeda, hal ini diakibatkan perbedaan struktur geologi suatu daerah. Selain itu, fasa pada temperatur yang sama akan berbeda jika komposisinya berbeda. Oleh karena itu, penting untuk melakukan penelitian yang mengungkap struktur dari batuan dunit. Struktur batuan dunit tersebut meliputi fasa pembentuk, sistem kristal, parameter kisi dan ukuran butirnya. Selain itu, potensi batuan dunit di Pasaman Barat ini belum tereksplorasi.

Maka, pada penelitian ini penulis ingin meneliti struktur dunit yang ada di Daerah Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat dengan variasi temperatur kalsinasinya. Keberadaan dunit ini hanya di eksploitasi dalam keadaan mentah sebagai pupuk pada perkebunan sawit sehingga mempunyai nilai jual yang rendah. Untuk menjadikan dunit tersebut memiliki nilai jual yang tinggi seperti yang dibutuhkan oleh dunia industri maka perlu dilakukan penelitian tentang peningkatan kualitas dunit tersebut dengan cara memberikan perlakuan temperatur.

Dengan mengetahui struktur mineral dunit dalam merespon energi panas akibat perubahan temperatur kalsinasi, maka merupakan dasar untuk peneliti

selanjutnya dalam mendisain dan melakukan inovasi. Untuk mengetahui kandungan yang terdapat pada Dunit digunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan untuk menganalisis struktur Dunit 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 dunit yang terdapat di di Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF)?
2. Bagaimana pengaruh temperatur kalsinasi terhadap struktur kristal dunit di Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat?
3. Bagaimana pengaruh temperatur kalsinasi terhadap perubahan fasa batuan dunit di Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat?
4. Bagaimana pengaruh temperatur kalsinasi terhadap ukuran butir batuan dunit di Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat?

## C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variasi temperatur 700$^{o}$C ,800$^{o}$C, 900$^{o}$C, 1000$^{o}$C, 1100$^{o}$C. Variasi temperatur ini diambil berdasarkan penelitian sebelumnya tentang karakterisasi pada batuan berkadar magnesium tinggi untuk industri baja.
2. Struktur mineral Dunit yang diteliti adalah :
   a. Fasa yang terbentuk
   b. Sistem Kristal
   c. Parameter kisi : a,b,c,$\alpha$,$\beta$,$\gamma$ dan grup ruang
   d. Ukuran butir

## D. Pertanyaan Penelitian

Untuk menentukan arah penelitian ini, saya membuat pertanyaan penelitian. Adapun pertanyaan penelitian itu adalah :

1. Berapa kadar kandungan dunit yang terdapat di di Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF)?
2. Bagaimana pengaruh temperatur kalsinasi terhadap struktur kristal dunit di Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat?

3. Bagaimana pengaruh temperatur kalsinasi terhadap perubahan fasa batuan dunit di Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat?
4. Bagaimana pengaruh temperatur kalsinasi terhadap ukuran butir batuan dunit di Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat?

**5. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyelidiki kadar kandungan kadar kandungan dunit yang terdapat di di Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF)
2. Menyelidiki pengaruh temperatur kalsinasi terhadap struktur kristal dunit di Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat
3. Menyelidiki pengaruh temperatur kalsinasi terhadap perubahan fasa batuan dunit di Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat
4. Menyelidiki pengaruh temperatur kalsinasi terhadap ukuran butir batuan dunit di Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat

## 6. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Bagi penulis

a. Sebagai Syarat untuk menyelesaikan Program S1 di Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang.

b. Mengetahui banyaknya kandungan Dunit terdapat di Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat.

c. Mengetahui pengaruh temperatur terhadap karakteristik Dunit yang terdapat di Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat .

d. Meningkatkan pemahaman ilmu fisika terutama pada bidang alat karakteristik XRF dan XRD.

2. Bagi Pembaca

a. Menambah pengetahuan pembaca tentang kandungan Dunit terdapat di Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat

b. Menjadi tambahan literatur untuk peneliti selanjutnya

# BAB II

# TINJAUAN PUSTAKA

## A. Batuan Dunit

Dunit merupakan bahan utama dari mantel bumi dan jarang ditemukan dalam batuan kontinental, tetapi dunit ditemukan di dasar urutan ofiolit di mana lempengan batu mantel dari zona subduksi telah terangkat ke kerak benua ketika terjadi tumbukan antar benua. Pembentukan dunit berlangsung pada kondisi padat atau hampir padat (pada temperatur yang tinggi) dalam larutan magma dan sebelum mendingin pada temperatur tersebut, batuan tersebut siap bersatu membentuk massa *olivine* anhedral yang saling mengikat (Koukouzasa, 2009).

Menurut Mohanty (2009) Dunit memiliki komposisi mineral hampir seluruhnya adalah monomineralik *olivine* (umumnya magnesia *olivine*), asesoris mineralnya meliputi : kromit, magnetit, ilmenit dan spinel. Batuan Dunit secara alamiah mengandung unsur magnesium (MgO) , dan punya pH yang sangat basa, yaitu sekitar 7,5 hingga 9,5. Batuan tersebut dapat dijadikan bahan pupuk dasar (alam) maupun pupuk majemuk. Dari hasil survei batuan Dunit di Pasaman dapat diolah untuk membuka peluang baru dalam usaha pertambangan (Subdiknas,2002).

a. Karakteristik Dunit (Waheed,2002)

Beberapa karakteristik Dunit:

Warna : Hijau Kehitaman

Genesa batuan : Intrusif

Komposisi batuan : *Olivine*

Ukuran butir : Fanerik

Jenis batuan : Beku Ultrabasa

Nama batuan : Dunit

Gambar 1. Batuan Dunit (Subdinas,2002)

Batuan beku ultramafik adalah batuan beku yang secara kimia mengandung kurang dari 45% SiO2 dari komposisinya. Kandungan mineralnya didominasi oleh mineral-mineral berat dengan kandungan unsur-unsur seperti Fe(besi/iron) dan Mg(magnesium) yang disebut juga mineral ultramafik (Mandeleyev,2008). Kuperman (1974) memaparkan mineral komposisi dan struktur karakteristik dari Dunit terutama mengandung mineral *olivine* dan *serpentine* serta selalu mengandung sedikit *brucite*, *spinel-kromit*, *magnetite* dan *piroksin*.

Mineral *Olivine* adalah suatu silikat besi magnesium dengan rumusan kimianya $(Mg,Fe)_2(SiO_4)$, mempunyai system kristal yang ortorombik, tidak mempunyai belahan, mempunyai kekerasan 6,5 – 7, berat jenis 3,27 – 4,37, memiliki kilap cahaya, dan warna mineral ini hijau kekuning – kunigan dan hijau kesbu –

abuan. Mineral Olivin ini adalah salah satu mineral yang paling umum di atas permukaan bumi, dan telah pula teridentifikasi pada permukaan Bulan, Mars, dan komet. Mineral Olivin pada umumnya sebagai mineral pembentuk batuan dan juga sebagai mineral pengiring, dalam batuan basa seperti gabro, peridotit dll.

Berdasarkan kajian literatur tersebut disimpulkan bahwa batuan dunit merupakan batuan ultrabasa yang terjadi akibat tumbukan antar dua benua yang berlangsung pada suhu tinggi sehingga terbentuk massa *olivine* anhedral yang saling mengikat. Batuan dunit memiliki ciri-ciri berwarna hijau kehitaman,mempunyai kekerasan 6,5 – 7, berat jenis 3,27 – 4,37, memiliki kilap cahaya. Dunit memiliki komposisi mineral monomineralik *olivine* dan pengotor berupa *kromit, magnetit, ilmenit,* dan *spinel.*

## B. Struktur mineral batuan Dunit

### 1. Sistem Kristal

Berdasarkan parameter kisi maka berbagai sel satuan dapat digolongkan dalam tujuh sistem kristal yaitu kubus, tetragonal, rhombohedral, heksagonal, orthorombik, monoklinik, dan triklinik (Vlack, 2004). Mineral utama yang terkandung dalam dunit ialah *olivine*. Berikut merupakan sifat fisis dari mineral *olivine* (Wikipedia, 2014) :

Kategori : Nesosilikat

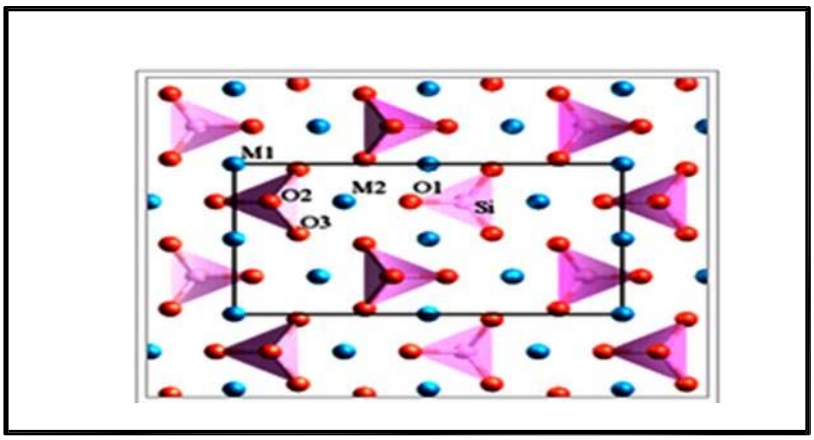
Formula kimia : $(Mg,Fe)_2SiO_4$

Warna : kuning sampai kuning kehijauan

Sifat Kristal : masif sampai granular

Sistem Kristal : Ortorombik

Grup ruang : Pbnm



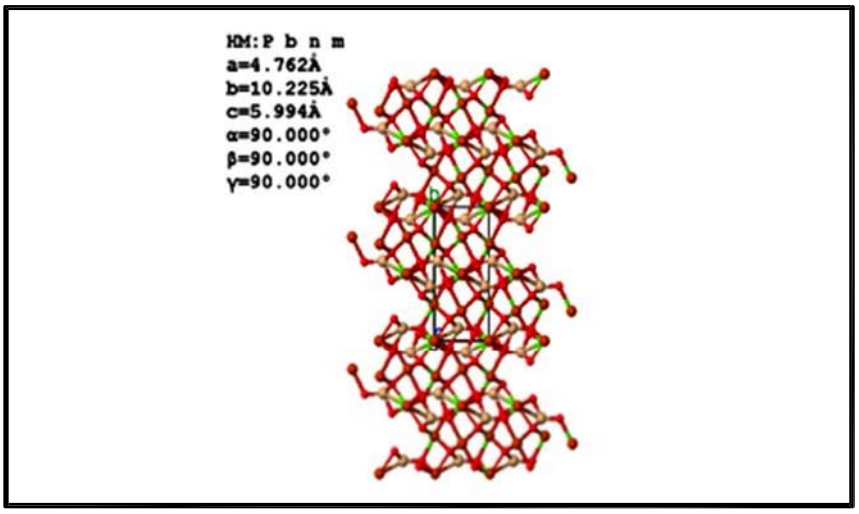

Gambar 2. Struktur Kristal *Olivine*

Mineral dalam kelompok *olivine* mengkristal dalam sistem orthorombik (grup ruang Pbnm) dengan silikat, yang berarti bahwa olivin adalah nesosilikat. Dalam pandangan alternatif, struktur atom dapat digambarkan sebagai heksagonal, dekat ion oksigen dengan setengah dari atom oktahedral berikatan dengan magnesium atau ion besi dan seperdelapan dari tetrahedral ditempati oleh ion silikon. Struktur atom *olivine* diperlihatkan pada Gambar 2, Oksigen ditampilkan dalam warna merah , silikon dalam warna pink , dan magnesium / besi warna biru (Wikipedia,2014)

Mineral *olivine* memiliki grup atau rumus molekul bedasarkan pengotor atau senyawa penyusunnya. Berikut sifat fisis dari anggota *olivine* yang lain :

*a. Forsterite*

*Forsterite* merupakan anggota dari mineral *olivine* yang disusun oleh Mg dan Si. Rumus umunya ialah $Mg_2SiO_4$.




Gambar 3. Struktur Kristal *Forsterite*

Sifat umum dari forsterit (mineralogy magazine,1998)

1) Sistem kristal : orthorombik
2) Dimensi sel ($A^o$) : a= 4.754, b= 10.197, c =5.9806
3) Kepadatan (g $cm^{-3}$) : 3.275
4) Kekerasan : 7
5) Grup ruang : Pbnm

b. *Fayalite*

*Fayalite* merupakan anggota dari mineral *olivine* yang disusun oleh Fe dan Si. Rumus umunya ialah $Fe_2SiO_4$.

Sifat umum dari *fayalite* (mineralogy magazine,1998)

1) Sistem kristal : orthorombik
2) Dimensi sel ($A^o$) : a = 4.79Å, b = 10.39Å, c = 6.06Å
3) Kepadatan (g $cm^{-3}$) : 3.275
4) Kekerasan : 7
5) Grup ruang : Pbnm

*c. Enstatite*

Sifat umum dari *Enstatite* (mineralogy magazine,1998)

1) Sistem kristal : orthorombik
2) Dimensi sel ($A^o$) : a = 18.23Å, b = 8.84Å, c = 5.19Å
3) Kepadatan (g $cm^{-3}$) : 3.189 g/$cm^3$
4) Kekerasan : 5 – 6
5) Grup ruang : Pbca {$P2_1/b\ 2_1/c\ 2_1/a$}

Jadi, struktur kristal pada dunit ialah orthorombik karena mineral utama penyusun dunit ialah *olivine*. *Olivine* ini terbagi dua yaitu *olivine* kaya akan Mg dinamakan *forsterite* dan *olivine* kaya akan Fe dinamakan *fayalite.* Selain itu, terdapat juga *enstatite* yang merupakan fasa yang terbentuk akibat *olivine* yang teroksidasi. Ketiganya memiliki struuktur kristal orthorombik namun meiliki grup ruang yang berbeda.

**2. Fasa dunit**

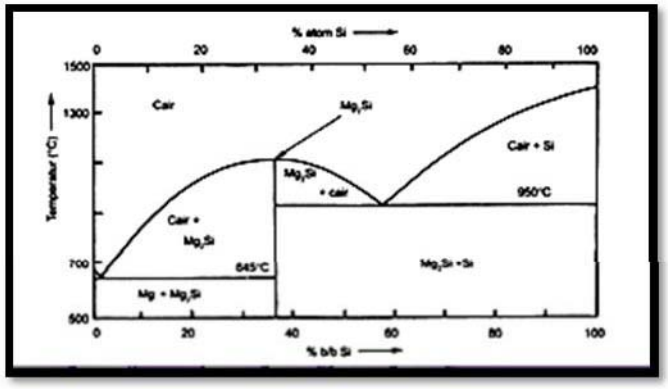
Istilah “fasa” berkaitan dengan materi yang terpisah dan dapat diidentifikasi. Istilah ini dapat diterapkan baik pada matrial kristalin maupun non kristalin, dan merupakan cara yang mudah untuk menyatakan struktur materi (Smallman,1999). Apabila merujuk fasa tertentu dalam struktur material maka itu merupakan suatu daerah yang terdiri dari banyak atom dan ada permukaan pengikat yang memisahkannya dari fasa lain.

Dalam konteks ilmu dan rekayasa material, fasa adalah bagian dalam suatu material yang berbeda dengan bagian-bagian lainnya dalam hal struktur atau komposisi. Seperti halnya air dan es memiliki komposisi yang sama, air adalah cairan yang fluid sedangkan es adalah padatan yang kristalin. Keduanya memiliki batas fasa diakibatkan adanya diskontiniuitas pada strukturnya, sehingga keduanya memiliki fasa yang berbeda. Contoh lain garam biasa dengan garam laut keduanya memiliki struktur NaCl, namun terdapat fasa berbeda-diskontiniutas antara keduanya menandakan adanya perubahan, baik dalam hal komposisi maupun struktur (Vlack, 2004).

Pada mineral dunit yang merupakan mineral silikat maka dapat digunakan diagram fasa intermediet antara Mg dan Si. (Smallman,2000) memaparkan bahwa fasa intermediet memiliki struktur kristal yang berbeda dengan fasa primer dan terletak di antara fasa primer dalam diagram fasa.

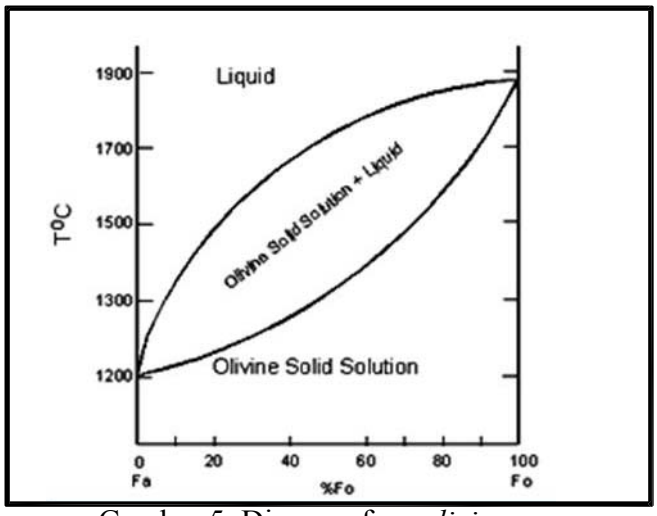
Pada fasa intermediet terdapat mulai dari beberapa temperatur hingga liquidus dan mencair atau membeku tanpa perubahan komposisi. Titik air seperti itu disebut

kongruen. Fasa dengan pencairan kongruen dijadikan sarana untuk membagi diagram fasa yang kompleks (birner atau terner) menjadi bagian yang lebih mudah dimengerti. Berikut merupakan diagram fasa system Mg-Si dengan fasa intermediet $Mg_2Si$.




Gambar 4. Diagram fasa sistem Mg-Si dengan fasa intermediet $Mg_2Si$ (Brandess and brook, 1992)

Pada dunit yang merupakan batuan yan mengandung mineral utama *olivine*, diagram fasa nya menunjukkan bahwa terdiri dari dua fasa yaitu *forsterite* dan *fayalite*. Fasa *forsterite* meleleh pada suhu 1890$^{o}$C dan *fayalite* meleleh pada suhu 1205$^{o}$C (Nelson,2012)




Gambar 5. Diagram fasa *olivine*

Pada Gambar 5 diperlihatkan diagram fasa *olivine*, ketika dibawah suhu 1200 terlihat bahwa fasa *olivine* berbentuk padat, sedangkan pada suhu diatasnya akan terbentuk fasa cair. Selain itu fasa yang terbentuk juga dilihat berdasarkan komposisi unsur penyusunnya.

Dapat disimpulkan bahwa fasa ini merupakan cara yang mudah untuk menyatakan struktur materi, fasa pada suatu material merupaka daerah yang terdiri dari banyak atom yang memisahkannya dengan fasa lain. Fasa intermediet antara Mg dan Si dapat digunakan untuk menjelaskan fasa pada dunit. Pada fasa intermediet mulai dari beberapa temperatur hingga *liquid* dan mencair atau membeku tanpa perubahan komposisi.

**C. Potensi Dunit di Sumatra Barat**

Sumatera Barat memiliki sumber daya bahan galian yang cukup diandalkan yang terdiri atas bahan galian strategi, bahan galian vital dan bahan galian industri. Kabupaten Pasaman merupakan salah satu daearah di Sumatra Barat yang sangat kaya akan potensi tambang. Daerah ini memiliki beragam jenis sumber daya alam tersebut. Salah satu bahan galian industri dari sumber daya alam tersebut yang memiliki aspek kegiatan peluang investasi yaitu dunit sebagai pupuk MgO dan ekstrak Magnesium Alloy. Batuan dunit terdapat dibeberapa daerah yaitu daerah Gunung Tongar, Kec. Pasaman, Gunung Kasik Putih,Kec.Talamau, dan Gunung Sigapuk, Kec. Gunung Tulas. Pada daerah Kabupaten Pasaman secara alamiah

mengandung unsur magnesium (MgO) dengan kadar antara 30 hingga 40 persen, dan punya pH yang sangat basa, yaitu sekitar 7,5 hingga 9,5 (Agusta,2013)

Dari analisa laboratorium dan pengujian di lapangan, batuan dunit dapat dijadikan bahan pupuk dasar (alam) maupun pupuk majemuk. MgO merupakan salah satu unsur terpenting bagi tumbuhan untuk proses fotosintesis, sedangkan kadar pH batuan dapat menetralisir tanah masam seperti pada lahan gambut. Karena kandungan magnesium batuan dunit yang cukup tinggi, maka pupuk dengan bahan batuan tersebut akan sangat bermanfaat bagi kegiatan pertanian dan perkebunan.

Di kabupaten Pasaman sektor industri dan bahan galian, selama ini belum memberikan kontribusi yang besar bagi Pasaman, berbeda dari Kota Padang yang memiliki PT Semen Padang, atau Sawahlunto yang sejak dulu dikenal sebagai kawasan tambang batubara. Lewat suatu survei tim kerja Pemanfaatan Bahan Galian Subdin Geologi Sumberdaya Mineral Dinas Pertambangan dan Energi Sumbar, diketahui, Pasaman memiliki sumberdaya hasil tambang yang cukup menjanjikan.

Survei yang dilaksanakan sejak 14 Oktober hingga 12 November 2002, diperkirakan potensi sumberdaya hipotetik bahan galian batuan Dunit (bahan baku pupuk) sebesar 2,4 miliar metrik ton, yang siap diolah menjadi salah satu sumber ekonomi Pasaman. Sumber daya hipotetik tersebut, berlokasi di kawasan puncak Gunung Tongar (482,1 MDPL) di Kec. Pasaman, Gunung Sigapuk (493 MDPL) dan Gunung Karsik Putih, serta di Muaro Kiawai Kec. Lembah Malintang dengan areal total mencapai 16 juta m2, dan ketebalan 50 meter dari permukaan tanah.

Menginventarisasi keunggulan potensi Sumatra Barat dalam bidang pertambangan perlu dilakukan karakterisasi fisis terhadap potensi Dunit. Dari hasil survei batuan Dunit di Pasaman dapat diolah untuk membuka peluang baru dalam usaha pertambangan khususnya industri pupuk alam, sehingga menjadi salah satu sumber ekonomi masyarakat setempat.

**D. Pengaruh temperatur kalsinasi**

Proses kalsinasi didefinisikan sebagai pengerjaan bijih pada temperatur tinggi tetapi masih dibawah titik leleh tanpa disertai penambahan reagen dengan maksud untuk mengubah bentuk senyawa dalam konsentrat (Febriana, 2011). Temperatur kalsinasi berpengaruh terhadap ukuran butir kristal, perubahan fasa, serta perubahan struktur dari material.

**1. Pengaruh Temperatur Terhadap Ukuran Butir Kristal**

Variasi temperatur berpengaruh terhadap ukuran butir kristal, pengaruh temperatur terhadap ukuran butir dipaparkan oleh Ghufron (2011) Pada penelitiannya ukuran kristal maghemit pada temperatur 300 $^0$C adalah 0,5 nm, pada temperatur 400$^0$C adalah 9,8 nm sedangkan pada temperatur 500 $^0$C adalah 20,9 nm. Temperatur pemanasan yang terus meningkat mengakibatkan semakin besar pula proses oksidasi dari sampel yang mengakibatkan ukuran butir kristal semakin besar. Terjadinya pertambahan besar ukuran butir disebabkan oleh meningkatnya temperatur sehingga proses difusi dan oksidasi semakin besar pula. Sehingga semakin banyak nukleus-nukleus maghemit yang terbentuk. Dengan semakin lama pemanasan nukleus-nukleus ini akan saling menyatu dan membentuk ukuran butir kristal yang besar

(Cornell,2003). Hal ini diperkuat dengan pola difraksi sinar-x dimana ketika temperatur dinaikkan puncak difraksi muncul semakin tinggi dan tajam sehingga lebar setengah puncak semakin kecil karena ukuran kristal berbanding terbalik dengan nilai lebar setengah puncak maka ukuran kristal semakin besar.

Smallman (2000) memaparkan ketika pori sangat kecil, mereka tidak mampu lagi mengunci batas butir terhadap pengaruh gaya pertumbuhan butir. Selama pemanasan struktur mikro akan berubah, baik fasa maupun ukuran butiran. Dengan meningkatnya temperatur maka difusi atom juga semakin meningkat. Sehingga meningkat pula pembentukan nukleus-nukleus fasa baru yang sama. Antara nukleus-nukleus ini terdapat batas butir yang memisahkanya dan dipisahkan dengan pori-pori. Maka akibat temperatur yang dianaikan secara terus menerus, terjadi pengecilan/penghilangan butir tersebut.

Perhitungan ukuran butir kristal menggunkan persamaan Scherrer.

$$t = \frac{0{,}9*\lambda}{B*Cos\theta} \qquad (1)$$

Keterangan:

t : Ukuran butir

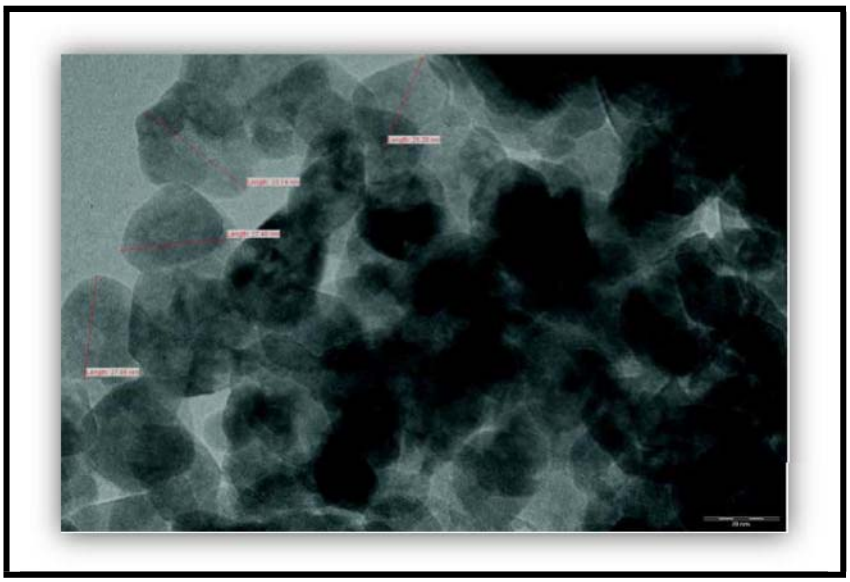
λ: panjang gelombang

θ : sudut difraksi

β : lebar puncak (rad)(Cullity, 1956)

Berdasarkan uraian peneliti sebelumya mengenai pengaruh temperatur terhadap ukuran butir yaitu Ghufron (2011) mengenai bahan galian bijih besi, dunit

yang juga merupakan bahan galian dengan mineral penyusunnya juga akan berpengaruh pada pemberian variasi temperatur. Pemberian temperatur pemanasan pada sampel akan mengakibatkan oksidasi yang mengakibatkan ukuran butir kristal semakin membesar. Perubahan ukuran partikel diperlihatkan pada Gambar 6.

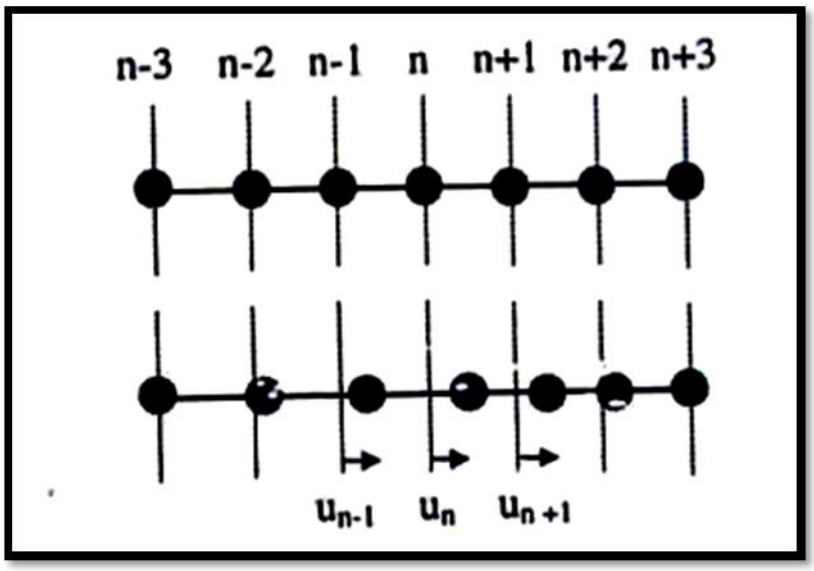


Gambar 6. Perubahan ukuran partikel saat diberi pengaruh temperatur (Xafier, 2013)

Gambar 6 menunjukkan bahwa pemberian temperatur pemanasan pada sampel akan mengakibatkan oksidasi yang mengakibatkan ukuran butir kristal semakin membesar. Perubahan ukuran partikel ini disebabkan energi pada atom, getaran atom-atom pada suhu ruang terjadi akibat energi termal, yaitu energi panas yang dimiliki atom-atom pada suhu tersebut. Getaran atom dapat pula disebabkan oleh gelombang yang merambat pada kristal.

Ditinjau dari panjang gelombang yang digunakan dan dibandingkan dengan jarak antar atom dalam kristal, dapat dibedakan pendekatan gelombang pendek dan

pedekatan gelombang panjang. Disebut pendekatan gelombang pendek apabila gelombang yang digunakan memiliki panjang gelombang yang lebih kecil dari pada jarak antar atom. Hal tersebut dapat diumpamakan pada Gambar 7.




Gambar 7. Kisi atom satu dimensi dalam keadaan seimbang (atas) dan dirambati energi (bawah)

Pada keadaan seimbang atom-atom secara rata-rata menduduki titik kisi. Kemudian, atom-atom akan menyimpang dengan simpangan sebesar $u_{n-1}$, $u_n$, $u_{n+1}$,.....dst. persamaan gerak atom ke-n dapat diungkapkan sebagai berikut :

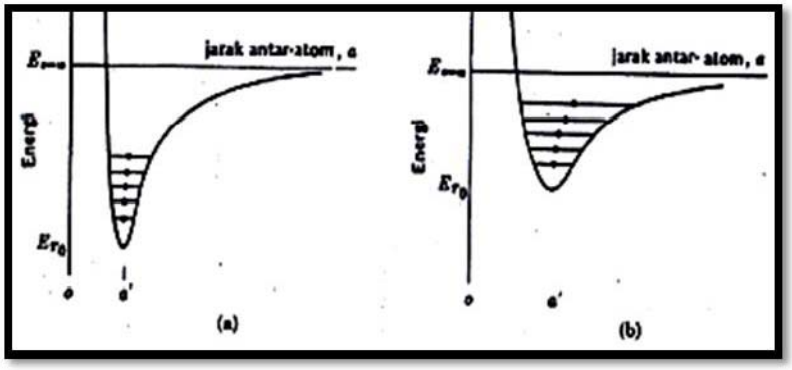
$$m\frac{d^2u_n}{dt^2}=C(u_{n+1}+u_{n-1}+2u_n) \qquad (2)$$

*m* massa atom, C tetapan elastik ikatan antar atom (semacam tetapan pegas), dan *t* menyatakan waktu.

**2. Pengaruh Temperatur Terhadap Fasa Dan Struktur Kristal**

Temperatur kalsinasi berpengaruh terhadap fasa suatu material. Apabila suatu material dipanaskan dengan laju pemanasan tetap maka akan terjadi perubahan fisika seperti perubahan fasa (Smallman, 2000). Hal ini sesuai dengan penelitian Hrsak (2005) telah melakukan penelitian dengan judul "The Decomposition Of Serpentine By Thermal Treatment". Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa sebelum diberi perlakuan termal, pola XRD pada bubuk serpentin mengindikasikan bahwa serpentin biasanya berbentuk *antigorit*. Setelah diberi perlakuan termal yaitu pada suhu yang hampir mendekati 800 ℃, pola XRD pada bubuk serpentin mengindikasikan bahwa temperatur dapat memisahkan kekisi kristal pada serpentin untuk memperoleh magnesium oksida bebas dan silika. Hrsak (2005) memaparkan bahwa mineral serpentin memiliki kandungan jenis mineral *antigorit, lizardit,* dan *krisotil*.

Berubahnya fasa dan struktur dari material akibat temperatur disebabkan karena ketika suatu material dipanaskan maka akan terjadi peningkatan energi memungkinkan atom-atom bergetar pada jarak antar atom yang lebih besar. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 8.



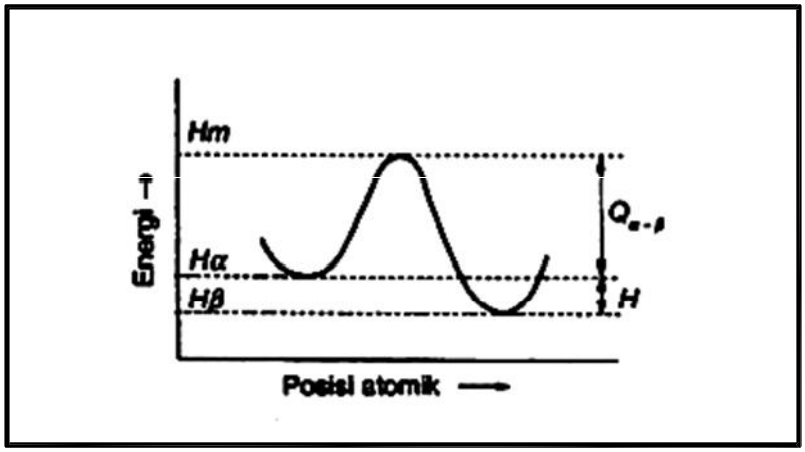

Gambar 8. Energi dan pemuaian, a. Bahan padat dengan ikatan kuat dan b. Bahan padat dengan ikatan lemah. (Van Vlack, 1995)

Pada Gambar 8 memperlihatkan bagaimana pengaruh energi terhadap jarak antar atom, semakin besar energi yang diberikan maka jarak antar atom akan semakin menjauh. Berubahnya jarak antar atom maka akan mempengaruhi struktur dan fasa dari material. Untuk suatu level energi tertent (suhu), atom-atom dapat saling menjauhi dengan lebih mudah dan lebih sulit untuk menekannya. Apabila suatu atom memiliki cukup energi untuk mendobrak ikatanya maka akan terjadi proses difusi, atom-atom melompat keposisi baru (Van Vlack, 1995).

Perubahan fasa dalam keadaan padat mencakup distrubusi ulang atom dalam padatan tersebut dan kinetika perubahan bergantung pada laju migrasi atom. Transportasi atom melalui kristal lebih dikenal dengan istilah difusi. Kekosongan

akan mempermudah terjadinya difusi, karena pada dasarnya difusi merupakan pergerakan atom menuju lokasi atom kosong yang dekat.

Ketika terjadi perubahan fasa, Atom-atom yang berdifusi dapat berpindah dari suatu lokasi kisi-fasa α ke kisi fasa b. Perpindahan atom-atom ini dapat terjadi, apa bila atom tersebut memiliki energi untuk melewati hambatan potensial seperti yang ditampilakan pada Gambar 9




Gambar 9. Hambatan energi yang memisahkan keadaan structural

Hambatan potensial yang harus dilalui atom ini diakibatkan oleh gaya interatomik yang bergerak, kelompok atom yang berada didekatnya, dan atom yang berada dilokasi baru. Berdasarkan Gambar 9, dapat diketahui bahwa untuk melewati hambatan potensial maka atom harus memiliki energi lebih besar dari energi $Q_{\alpha-\beta}=H_m-H_\alpha$ untuk pemanasan. Jika ini terpenuhi maka atom meninggalkan matriks (struktur lama) dan membentuk nukleus fasa baru yang kecil. Fasa baru kecil ini kemudian tumbuh dan terbentuk fasa baru secara keseluruhan. Apabila suatu material

dipanaskan dengan laju pemanasan tetap maka akan terjadi perubahan fisika seperti perubahan fasa (Smallman, 2000).

Berdasarkan kajian teori yang telah dipaparkan pemberian variasi temperatur terhadap sampel akan berpengaruh terhadap fasa yang akan terbentuk. Berdasarkan penelitian (Hrsak, 2005) tentang serpentin yang merupakan batuan sekunder yang terjadi akibat serpentinisasi batuan dunit ketika diberi pengaruh suhu pada 800$^{o}$C memperoleh magnesium oksida bebas dan silika. Hal ini dijelaskan secara teoritik berdasarkan kurva energi dan pemuaian. Pengaruh energi terhadap jarak antar atom, semakin besar energi yang diberikan maka jarak antar atom akan semakin menjauh. Berubahnya jarak antar atom maka akan mempengaruhi struktur dan fasa dari material.

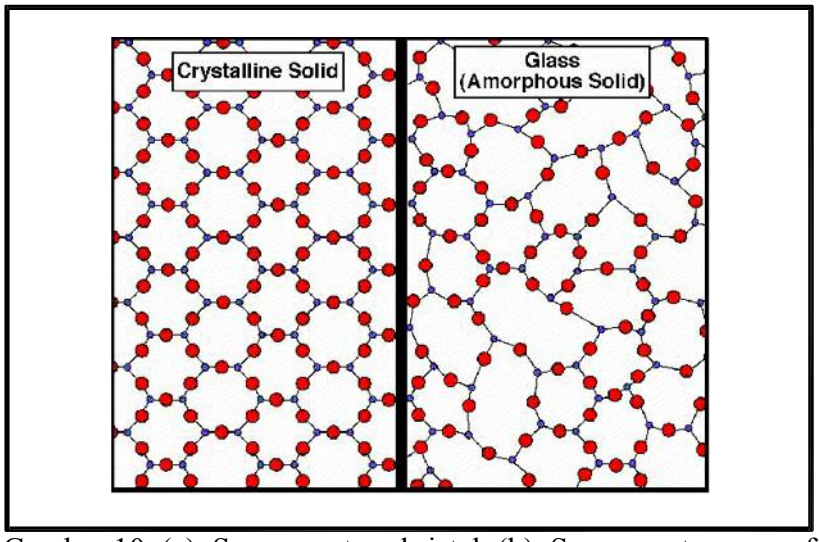
## E. Kristalografi

### 1. Kristal

Kristal terbentuk dari komposisi atom-atom, ion-ion atau molekul molekul zat padat yang memiliki susunan berulang dan jarak yang teratur dalam tiga dimensi. Pada hubungan lokal yang teratur, suatu kristal harus memiliki rentang yang panjang pada koordinasi atom-atom atau ion dalam pola tiga dimensi sehingga menghasilkan rentang yang panjang sebagai karakteristik dari bentuk kristal tersebut.

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 dan pola-pola ini berulang secara periodik dalam rentang yang panjang tak berhingga. Polikristal dapat didefinisikan sebagai 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, akantetapi pola susunan atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul yang dimiliki tidak teratur dengan jangka yang pendek. Amorf terbentuk karena proses pendinginan yang terlalu cepat sehingga atom-atom tidak dapat dengan tepat menempati lokasi kisinya. Bahan seperti gelas, nonkristalin ataupun vitrus yaitu memiliki struktur yang identik dengan *amorf* . Susunan dua-dimensional simetris dari dua jenis atom yang berbeda antara kristal dan *amorf* ditunjukan pada Gambar 10.



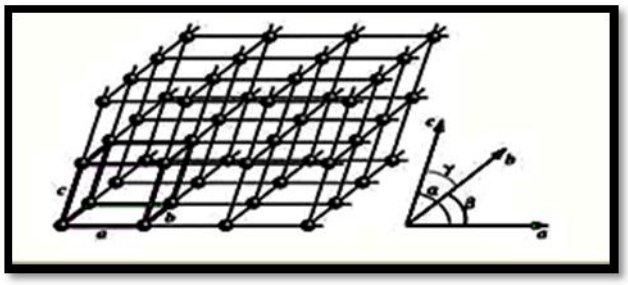

Gambar 10. (a). Susunan atom kristal, (b). Susunan atom amorf (Smallman, 2000).

Jadi, komposisi susunan atom-atom, ion-ion, dan molekul yang teratur dalam tiga dimensi dinamakan kristal, sedangkan yang tidak beraturan (acak) disebut

sebagai *amorf*. Ketika diberi pengaruh dari luar, baik itu berupa suhu, reaksi dengan unsur lain, mengakibatkan akan terbentuk system kristal yang lain.

**2. Struktur Kristal**

Kristal adalah suatu padatan yang atom, molekul, atau ion penyusunnya terkemas secara teratur dan polanya berulang melebar secara tiga dimensi. Zat padat dikatakan berstruktur kristal jika atom-atom penyusunnya tertata secara teratur dan periodik. Susunan khas atom-atom dalam kristal disebut struktur kristal. Struktur kristal dibangun oleh sel satuan (*unit cell*) yang merupakan sekumpulan atom yang tersusun. Secara khusus, secara periodik berulang dalam tiga dimensi dalam suatu kisi kristal (*crystal lattice*). Gambar kisi kristal ditunjukkan pada Gambar 11 (Meilina, 2007).



Gambar 11. Titik kisi dalam kristal (Meilina, 2007)

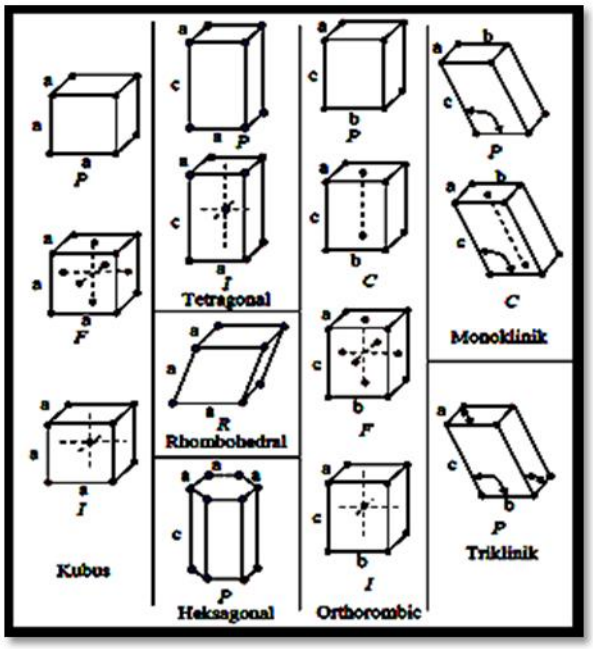
Sumbu-sumbu *a, b,* dan *c* adalah sumbu-sumbu yang dikaitkan dengan parameter kisi kristal. Untuk $\alpha$, $\beta$, dan $\gamma$ merupakan sudut antara sumbu-sumbu referensi kristal. Menurut anggapan Bravais (1848), berdasarkan kisi bidang dan kisi ruang kristal mempunyai 14 kisi dan berdasarkan perbandingan sumbu-sumbu kristal

dan hubungan sudut satu dengan sudut yang lain, kristal dikelompokkan menjadi 7 sistem kristal.

**3. Sistem kristal**

Kisi dapat dikatakan sebagai susunan sejumlah besar sel satuan yang susunannya sama, letaknya berdampingan satu sama lainnya, seperti tumpukan keping batu bata. Ada dua jenis kisi Bravais dan kisi non Bravais. Kisi bravais adalah kisi yang semua titik kisinya sama atau equivalen. Sedangkan dalam kisi non bravais, beberapa titik kisinya tidak sama. Semua konsep dasar mengenai kristal padat dideskripsikan oleh kisi Bravais, yang menentukan susunan periodik dengan unit kristal yang berulang secara teratur .

Berdasarkan parameter kisi maka berbagai sel satuan dapat digolongkan dalam tujuh sistem kristal seperti yang ditampilkan pada Gambar 12 dan 14 sistem bravais yang di perlihatkan pada Tabel 1.




Gambar 12. Tujuh sistem kristal dengan empat belas kisi Bravais. (Van Vlack, 2004)

Tabel 1. Tujuh sistem kristal dan empat belas kisi Bravais (VanVlack, 2004)

| Sistem Kristal | Parameter Kisi | Kisi Bravais | Simbol |
|---|---|---|---|
| Kubik | $a = b = c$<br>$\alpha = \beta = \gamma = 90°$ | Simpel<br>Pusat badan<br>Pusat Muka | P<br>I<br>C |
| Monoklinik | $a \neq b \neq c$<br>$\alpha = \beta = 90° \neq \gamma$ | Simpel<br>Pusat Dasar | P<br>C |
| Triklinik | $a \neq b \neq c$<br>$\alpha = \beta = 90° \neq \gamma$ | Simpel | P |
| Tetragonal | $a = b \neq c$<br>$\alpha = \beta = \gamma = 90°$ | Simpel<br>Pusat Badan | P<br>I |
| Orthorombik | $a \neq b \neq c$<br>$\alpha = \beta = \gamma = 90°$ | Simpel<br>Pusat Dasar<br>Pusat Badan<br>Pusat Muka | P<br>C<br>I<br>F |
| Trigonal/<br>Rhombohedral | $a = b = c$<br>$\alpha = \beta = \gamma \neq 90° < 120°$ | Simpel | P |
| Heksagonal/ Rombus | $a = b \neq c$<br>$\alpha = \beta = 90°, \gamma = 120°$ | Simpel | P |

**4. Bidang kristal**

Suatu kristal tentunya memiliki bidang-bidang atom yang mempengaruhi sifat dan perilaku bahan. Baik bidang, maupun arah bidang dinyatakan dalam 3 angka yang disebut sebagai *indeks miller*.

1) Untuk membedakannya, maka :Untuk arah bidang digunakan simbol atau lambang [h, k, l ]. Contoh : [ 1, 1, 1 ]
2) Untuk bidang kristal digunakan lambang (h, k, l ). Contoh : ( 1, 1, 1)

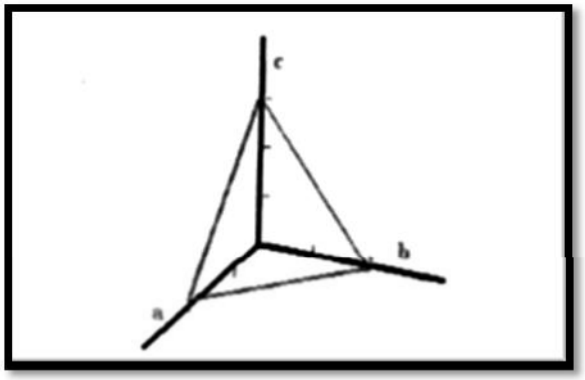
   Bidang kisi yang paling mudah digambarkan adalah bidang-bidang yang membatasi sel satuan di samping bidang lainnya. h, k, l, tersebut adalah bilang-bilangan bulat seperti 0, 1, 2, 3, dan seterusnya (Van Vlack, 1995)

**5. Indek Miller**

Dalam sistem tiga dimensi, kisi kristal akan membentuk pasangan bidang-bidang sejajar dan berjarak sama yang disebut bidang-bidang kisi. Bidang-bidang kisi inilah yang akan menentukan arah permukaan dari suatu kristal. Arah suatu bidang dapat dinyatakan dengan parameter numeriknya.

$$(hkl) = h : k : l = ½ : ½ : 1/3.$$

$$(hkl) = (1/2\ ½\ 1/3\ ) \text{ atau } (3\ 3\ 2).$$




Gambar 13. Perpotongan bidang dan sumbu (Van Vlack, 2004)

Indeks Miller merupakan harga kebalikan dari parameter numerik yang dinyatakan dengan simbol (*h k l*). Pada Gambar 13, secara umum perpotongan bidang dengan sumbu dinyatakan dengan *2a, 2b,* dan *3c* sehingga parameter numeriknya adalah 2, 2, 3 .

## F. X-Ray Diffraction (XRD)

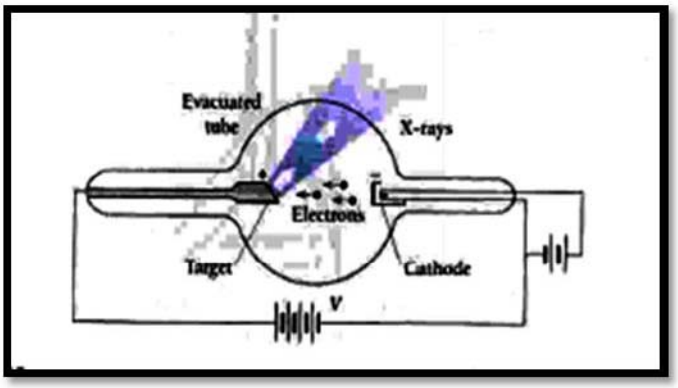
### 1. Sinar X

Rosana, dkk (2003) dalam buku yang berjudul Konsep Dasar Fisika Modern mendefinisikan sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang sangat pendek, sekitar 1 angstrom. Beiser (1987) dalam buku Konsep Fisika Modern menyebutkan bahwa sinar-X adalah gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi yang dapat diukur melalui metode difraksi.

Sinar X ditemukan oleh Roentgen pada Tahun 1895 secara tidak sengaja ketika sedang bekerja menggunakan tabung–tabung geiger. Suatu garam barium yang dekat dengan tabung itu ternyata berfosforisensi. Roentgen berkesimpulan bahwa penyebab fosforisensi itu adalah suatu sinar tak tampak yang dipancarkan oleh anoda tabung

Geiger. Sifat-sifat sinar tak tampak inilah yang kemudian dinamakan sinar-X, atau disebut juga dengan sinar roentgen. Sinar-X memiliki sifat-sifat berikut:

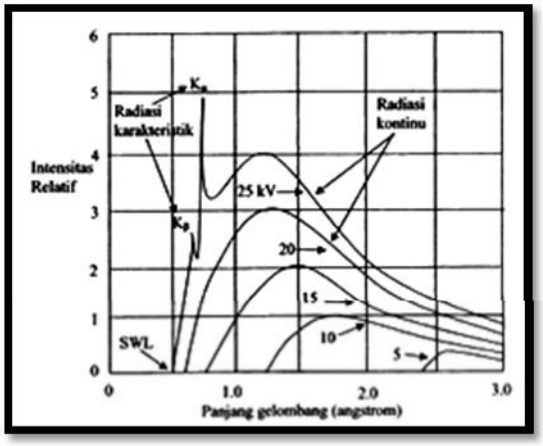
a. Memiliki daya tembus yang sangat besar, dapat menembus logam dan zat yang lain,
b. Menghitamkan plat fotografi. (Rosana. 2003)




Gambar 14. Diagram tabung sinar X (Beiser:1987)

Gambar 14 merupakan diagram tabung sinar x. Sebuah katode yang dipanasi oleh filamen berdekatan yang dilalui arus listrik menyediakan elektron terus-menerus dengan emisi termionik. Perbedaan potensial yang tinggi dipertahankan antara katode dengan target logam mempercepat elektron ke arah target tersebut. Permukaan target membentuk arah relatif terhadap berkas elektron, dan sinar x yang keluar dari target melewati bagian pinggir tabung. Tabung tersebut dihampakan supaya elektron dapat sampai ketarget tampa halangan. Dalam teori elektromagnetik klasik meramalkan timbulnya *bremstrahlung* (radiasi pengereman) ketika elektron dipercepat, sehingga dapat menjelaskan sinar x yang terpancar ketika elektron dipercepat terhenti pada

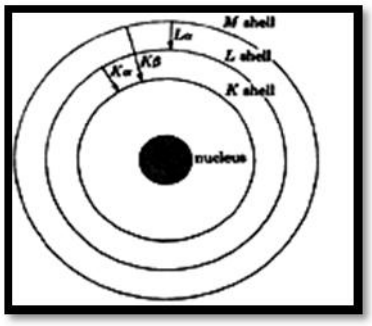
target dalam tabung sinar x. (Beiser,1987). Hal tersebut diperlihatkan pada Gambar 15.




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

Gambar 15 memperlihatkan jenis kurva yang diperoleh dari spektrum sinar x. Intensitas nol sampai panjang gelombang tertentu disebut dengan *short-wavelength limit* ($\lambda$SWL). Meningkat dengan cepat menuju maksimum dan kemudian menurun, dengan tanpa batas yang tajam untuk setiap panjang gelombang (Cullity, 1956). Radiasi yang dipancarkan oleh sinar-X dibagi menjadi dua komponen, yaitu spektrum kontinu dan spektrum garis. Spektrum kontinu mempunyai jarak panjang gelombang yang lebar sedangkan spektrum garis merupakan karakteristik dari logam yang ditembak (Smallman, 2000). Spektrum sinar-X kontinu diakibatkan perlambatan elektron dengan cepat ketika mengenai target atau dikenal dengan peristiwa *bremstrahlung*. Sedangkan spektrum karakteristik terjadi apabila elektron

terakselerasi mempunyai cukup energi untuk mengeluarkan satu elektron dalam dari kulitnya. Transisi elekron tersebut diperlihatkan pada Gambar 16.




Gambar 16. Transisi elektron (Cullity,1956)

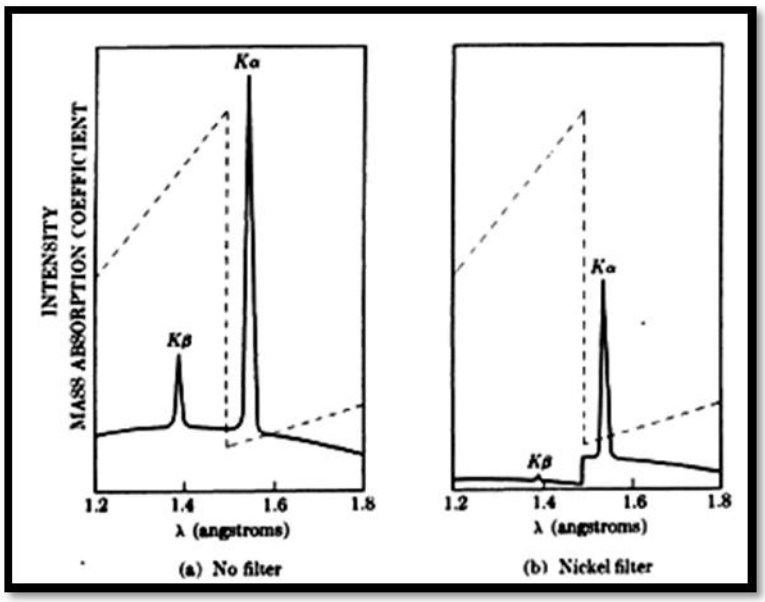
Gambar 16 menampilkan apabila elektron mengalami transisi dari kulit yang berdekatan misalnya dari kulit L ke kulit K maka radiasi emisi ini disebut radiasi Kα sedangkan bila elektron mengalami transisi dari kulit M ke kulit K maka radiasi emisinya disebut radiasi  disebut Kβ.

Dalam penggunaannya diperlukan sinar-x yang monokromatik, namun pada kenyataannya eksitasi Kα dan Kβ muncul bersama-sama. Ketika sinar-X dilewatkan pada bahan  maka sinar-X tersebut akan ditransmisikan dan ada yang diabsorbsi sesuai dengan persamaan:

$$I_x = I_o\, e^{-\mu x} \qquad (1)$$

Dimana $I_o$ adalah intensitas awal sinar-x, $I_x$ adalah intensitas transmisi sinar-X setelah melewati bahan dengan ketebalan x, μ adalah koefisien absorbsi linear yang bergantung pada panjang gelombang sinar-x dan jenis material pengabsorbsi.

Gambar 17 memperlihatkan radiasi yang keluar dari Pembangkit sinar x, tidak hanya radiasi Kα yang kuat tetapi juga ada radiasi Kβ yang lemah dan sepektrum kontinu. Padahal dalam penggunaan sinar x yang diperlukan adalah sinar x yang monokromatik atau hanya memiliki satu panjang gelombang saja. Untuk itu maka diperlukanlah filter. Filter digunakan untuk mengabsorbsi radiasi Kβ yang lemah dan radiasi Kα yang cukup kuat akan diteruskan sehingga hasil yang keluar sinar x menjadi monokromatik (Cullity, 1956). Perbandingan radiasi Cu dengan filter dan tanpa filter diperlihatkan pada Gambar 17.




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

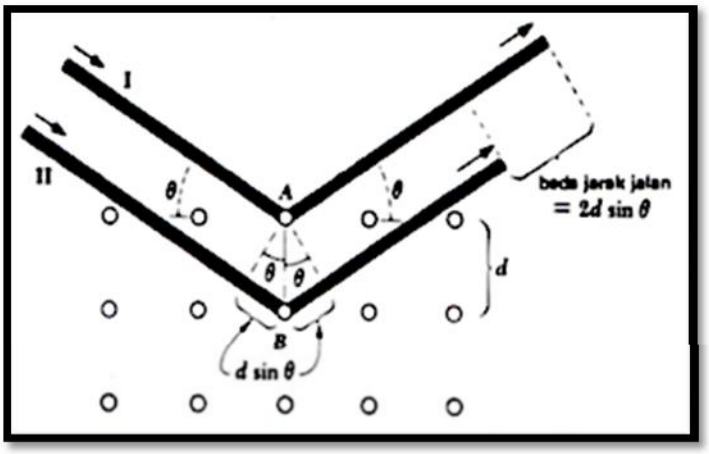
## 2. Difraksi Sinar-X

Difraksi sinar X oleh sebuah material terjadi akibat dua fenomena:

a. Hamburan oleh tiap atom
b. Interferensi gelombang–gelombang oleh tiap atom–atom tersebut. Interferensi ini terjadi karena gelombang-gelombang yang dihamburkan oleh atom memiliki koherensi dengan gelombang datang dan demikian pula dengan mereka sendiri. (Pratapa, 2004)

Apabila suatu bahan dikenai sinar-X maka intensitas sinar-X yang ditransmisikan lebih kecil dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh bahan dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar yang dihantarkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasenya sama.

Berkas sinar-X yang saling menguatkan disebut sebagai berkas difraksi. Persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan merupakan berkas difraksi dikenal sebagai Hukum Bragg. Menurut Bragg berkas yang terdifraksi oleh kristal terjadi jika pemantulan oleh bidang sejajar atom menghasilkan interferensi konstruktif. Pemantulan sinar-X oleh sekelompok bidang paralel dalam kristal pada hakekatnya merupakan gambaran dari difraksi atom-atom kristal. Difraksi atom-atom kristal sebagai pantulan sinar-X oleh sekelompok bidang-bidang paralel dalam kristal seperti terlihat pada Gambar 18. Arah difraksi sangat ditentukan oleh geometri kisi, yang bergantung pada orientasi dan jarak antar bidang kristal.




Gambar 18. Diffraksi Bragg (Beiser, 1992)

Gambar 18 menunjukkan seberkas sinar mengenai atom A pada bidang pertama dan B pada bidang berikutnya. Jarak antara bidang A dengan bidang B adalah *d*. Berkas-berkas tersebut mempunyai panjang gelombang $\lambda$, dan jatuh pada bidang kristal dengan jarak *d* dan sudut $\theta$. Agar mengalami interferensi konstruktif, kedua berkas tersebut harus memiliki beda jarak nλ. Sedangkan beda jarak lintasan kedua berkas adalah $2d \sin \theta$. Interferensi konstruktif terjadi jika beda jalan sinar adalah kelipatan bulat panjang gelombang $\lambda$, sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin\theta \qquad (3)$$

Pernyataan ini adalah hukum Bragg. Pemantulan Bragg dapat terjadi jika $\leq 2d$, karena itu tidak dapat menggunakan cahaya kasat mata, dengan *n* adalah bilangan bulat = 1,2,3, ... (Beiser, 1992). 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 ($a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90°$) 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:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2+l^2}{a^2} \quad (4)$$

Dengan menerapkan hukum Bragg dari Persamaan (3) dan mensubtitusikan ke Persamaan (4), sehingga diperleh persamaan:

$$\frac{4sin^2\theta}{\lambda^2} = \left(\frac{h^2+k^2+l^2}{a^2}\right) \quad (5)$$

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

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

$$sir^2\theta.4a^2 = \lambda^2(h^2+k^2+l^2) \quad (7)$$

$$a = \frac{\lambda^2}{\sin\theta}\left(\sqrt{\frac{h^2+k^2+l^2}{4}}\right) \quad (8)$$

Struktur kristal ditentukan dengan difraksi sinar-X. Jarak interplanar dapat dihitung hingga empat atau lebih angka signifikan dengan mengukur sudut difraksi. Ini merupakan dasar untuk menentukan jarak inter atomik dan menghitung jari-jari (Van Vlack, 2004). 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 ke tujuh kisi Bravais jika teridentisikasi sistem kristal pada bahan maka dapat menggunakan persaman persamaan sebagai berikut (Cullity, 1956):

a. Kubik

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (9)$$

b. Rombohedral

$$\frac{1}{d^2} = \frac{(h^2 + k^2 + l^2)sin^2\alpha + 2(hk + kl + hl)(cos^2\alpha - cos^3\alpha)}{a^2(1 - 3cos^2\alpha + 2cos^3\alpha)} \quad (10)$$

c. Tetragonal

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (11)$$

d. Orthorombik

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (12)$$

e. Monoklinik

$$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{sin^2\beta}\left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2 sin^2\beta}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} - \frac{2hlcos\beta}{ac}\right) \quad (13)$$

f. Heksagonal

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3}\left(\frac{h^2 + hk + l^2}{a^2}\right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (14)$$

g. Trikinik

$$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{v^2}(S_{11}h^2 + S_{22}k^2 + S_{33}l^2 + 2S_{12}hk + 2S_{23}kl + 2S_{13}hl) \quad (15)$$

Dengan V = volume satuan sel

$$S_{11}=b^2c^2\sin^2\alpha \qquad S_{12}=abc^2(\cos\alpha\cos\beta-\cos\gamma)$$
$$S_{22}=a^2c^2\sin^2\beta \qquad S_{23}=a^2bc(\cos\beta\cos\gamma-\cos\alpha) \qquad (16)$$
$$S_{33}=a^2b^2\sin^2\gamma \qquad S_{12}=ab^2c(\cos\gamma\cos\alpha-\cos\beta)$$

**3. Faktor Struktur**

Faktor struktur digunakan untuk menentukan intensitas hamburan oleh struktur atom tertentu. Faktor struktur yang merupakan penjumlahan dari gelombang yang terhambur oleh individu-individu partikel. Dapat dituliskan pada persaamaan 17:

$$F_{hkl} = \sum_1^N fne^{2\pi i\,(hu+kv+lw)} \qquad (17)$$

Keterangan:

$f$ : faktor hamburan

F: faktor struktur

N: Jumlah gelombang terhambur

h,k,l : bidang kristal

u,v,w : koordinat atom

Faktor struktur menentukan intensitas yang muncul pada difraktogram yang berperan penting dalam menentukan karakteristik dari kisi kristal. Dimana intensitas yang muncul sebanding dengan faktor struktu. Hal ini sesuai dengan persamaan 18.

$$I = |f|^2 p\left(\frac{1+\cos^2 2\theta}{\sin^2\theta\cos\theta}\right) \qquad (18)$$

Dimana I adalah intensitas, f adalah faktor struktur, p adalah faktor multiplisitas dan $\theta$ adalah sudut bragg (Cullity, 1956).

Masing-masing kisi kristal memiliki faktor struktur yang berbeda-beda. Seperti halnya :

a. Simpel kubik

Simpel kubik merupakan jenis sel yang memupunyai atom-atom yang berada dibagian pojok-pojoknya saja. Dengan kata lain memiliki fraksi koordinat 0 0 0. Sehingga faktor struktur dari simpel kubik dapat diperlihatkan pada persamaan 19.

$$F = fe^{2\pi i(0)} = f$$
$$F^2 = f^2 \qquad (19)$$

Artinya Intensitas selalu muncul pada sembarang nilai *hkl*

b. Kubik berpusat badan

Sel ini mempunyai dua atom yang sejenis berada pada 0 0 0 dan ½ ½ ½ . Memiliki faktor seperti pada persamaan 20:

$$F = fe^{2\pi i(0)} + fe^{2\pi i(\frac{h}{2}+\frac{k}{2}+\frac{l}{2})} = f[1 + fe^{\pi i(h+k+l)}] \qquad (20)$$

Ketika (h+k+l) genap maka F=2f dan $F^2 = 4f^2$

Ketika (h+k+l) ganjil maka F=0 dan $F^2 = 4f^2$

Artinya Intensitas muncul jika nilai h+k+l bilangan ganjil, dan intensitas tidak muncul ketika nilai h+k+l bilangan genap.

c. Kubik berpusat muka

Sel ini berisi empat atom sejenis berada pada 000 , ½ ½ 0, ½ 0 ½, dan 0 ½ ½ . Sehingga faktor strukturnya:

$$F = fe^{2\pi i(0)} + fe^{2\pi i(\frac{h}{2}+\frac{k}{2})} + fe^{2\pi i(\frac{h}{2}+\frac{l}{2})} + fe^{2\pi i(\frac{k}{2}+\frac{l}{2})} \qquad (21)$$

$$F = 1 + fe^{\pi i(h+k)} + fe^{\pi i(h+l)} + fe^{\pi i(k+l)}$$

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,

$$F=4f \qquad (22)$$

$$F^2=16f^2$$

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,*

Maka

$$F=0 \qquad (23)$$

$$F^2=0$$

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

**4. Ukuran butir kristal**

Lebar *peak* XRD adalah merupakan fungsi dari ukuran partikel, maka ukuran kristal (*D*) dinyatakan dalam Persamaan Scherrer berikut (Abdullah, 2009):

$$D = K\frac{\lambda}{B\cos(\theta_B)} \quad (24)$$

Dengan D adalah ukuran (diameter) kristalin, λ (lamda) adalah panjang gelombang pada 1.54 Å, $\theta_B$ adalah sudut Bragg, B adalah FWHM satu puncak yang dipilih, dan K adalah konstanta material yang nilainya kurang dari satu. Nilai yang umumnya dipakai untuk $K \approx 0{,}9$.

Bentuk lain lebih umum lagi adalah menggunakan parameter *B* bukan sebagai FWHM dari puncak difraksi, tetapi menggunakan *B* dari persamaan Warren, yaitu:

$$B = \sqrt{FWHM_{sp}^2 - FWHM_{st}^2} \quad (25)$$

Dengan $FWHM_{sp}$ adalah lebar puncak difraksi sampel pada setengah maksimum dan $FWHM_{st}$ adalah lebar puncak difraksi Kristal yang sangat besar yang lokasi puncaknya berada di sekitar lokasi puncak sampel yang akan dihitung. Tetapi, umumnya $FWHM_{st}$ sangat kecil sehingga persamaan (25) dapat dianggap sebagai aproksimasi yang cukup baik (Abdullah, 2009)

## 5. X-Ray Fluorescence

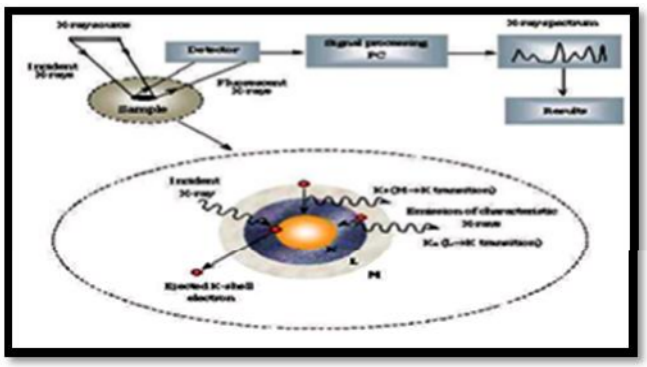
*X-Ray Fluorescence* merupakan suatu teknik analisis untuk identifikasi serta penentuan konsentrasi elemen yang ada pada padatan, bubuk ataupun sample cair. yang dapat menganalisa unsur-unsur yang membangun suatu material. Teknik ini juga dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur berdasarkan pada panjang gelombang dan jumlah sinar X yang dipancarkan kembali setelah suatu material

ditembaki sinar X berenergi tinggi. Secara umum, XRF spektrometer mengukur panjang gelombang komponen material secara individu dari emisi flourosensi yang dihasilkan sampel saat diradiasi dengan sinar-X (PANalytical, 2009).

Metode XRF secara luas digunakan untuk menentukan komposisi unsur suatu material. Karena metode ini cepat dan tidak merusak sampel, metode ini dipilih untuk aplikasi di lapangan dan industri untuk kontrol material. Tergantung pada penggunaannya, XRF dapat dihasilkan tidak hanya oleh sinar-X tetapi juga sumber eksitasi primer yang lain seperti partikel alfa, proton atau sumber elektron dengan energi yang tinggi (Viklund, 2008).

Prinsip percobaan XRF adalah prinsip eksitasi dan emisi sinar X elektron-elektron pada suatu atom/unsur yang dianalisa akibat pemberian sinar X pada sampel. Apabila terjadi eksitasi sinar-X primer yang berasal dari tabung sinar X atau sumber radioaktif mengenai sampel, sinar-X dapat diabsorpsi atau dihamburkan oleh material. Proses dimana sinar-X diabsorpsi oleh atom dengan mentransfer energinya pada elektron yang terdapat pada kulit yang lebih dalam disebut efek fotolistrik.

Selama proses ini, bila sinar-X primer memiliki cukup energi, elektron pindah dari kulit yang di dalam menimbulkan kekosongan. Kekosongan ini menghasilkan keadaan atom yang tidak stabil. Apabila atom kembali pada keadaan stabil, elektron dari kulit luar pindah ke kulit yang lebih dalam dan proses ini menghasilkan energi sinar-X yang tertentu dan berbeda antara dua energi ikatan pada kulit tersebut seperti Gambar 19. Emisi sinar-X dihasilkan dari proses yang disebut X Ray Fluorescence (XRF).



Gambar 19. Prinsip kerja XRF, (Viklund, 2008).

Sebuah spektrometer XRF bekerja karena apabila sampel ditembaki oleh sinar-X, sebagian energi tersebar, tetapi beberapa juga diserap dalam sampel dengan cara yang tergantung pada kimianya. Sumber sinar X biasanya dihasilkan dari target Rh, meskipun W, Mo, Cr dan lain-lain juga dapat digunakan, tergantung pada aplikasi.

Saat sampel menyerap sinar-X energi pengion, elektron meloncat dari tingkat energi rendah (biasanya K dan L). Para elektron yang meloncat ini menimbulkan kekosongan. Kekosongan tersebut diganti oleh elektron dari energi luar orbit yang lebih tinggi. Ketika ini terjadi, energi dilepaskan akibat pada kulit terluar lebih besar dari energi kulit terdalam yang di isi. Energi yang dilepaskan dalam bentuk emisi karakteristik sinar-X yang menunjukkan jenis atom. Jika sampel memiliki unsur-unsur yang hadir, seperti yang khas untuk kebanyakan mineral dan batuan. Pada umumnya kulit K dan L terlibat pada deteksi XRF terlihat pada Gambar 19. Sehingga sering terdapat istilah Kα dan Kβ serta Lα dan Lβ pada XRF. Jenis

spektrum sinar X dari sampel yang diradiasi akan menggambarkan puncak-puncak pada intensitas yang berbeda (Viklund, 2008).

Berbagai jenis detektor (aliran gas proporsional dan kilau) digunakan untuk mengukur intensitas sinar yang dipancarkan. Penghitung aliran yang biasa digunakan untuk mengukur panjang gelombang sinar-X (> 0,15 nm) yang khas dari spektrum K dari unsur yang lebih ringan daripada Zn. Detektor sintilasi umumnya digunakan untuk menganalisis panjang gelombang lebih pendek dalam spektrum sinar-X (K spektrum elemen dari Nb ke I; L spektrum Th dan U). X-ray dari panjang gelombang menengah (K spektrum yang dihasilkan dari Zn untuk Zr dan L spektrum dari Ba dan unsur tanah jarang) umumnya diukur dengan menggunakan kedua detektor bersama-sama. Intensitas energi yang diukur oleh detektor sebanding dengan kelimpahan elemen dalam sampel. Nilai yang tepat dari proporsionalitas ini untuk setiap elemen diperoleh dengan perbandingan standar mineral atau batuan dengan komposisi yang diketahui dari analisis sebelumnya dengan teknik lain

# 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 batuan dunit yang terdapat di di Daerah Jorong Tongar, Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat sebelum di kalsinasi yaitu 49,96%, setelah dikalsinasi kadarnya menurun menjadi 41,66%.
2. Pemberian variasi temperatur kalsinasi pada Dunit yang terdapat di daerah Jorong Tongar mempengaruhi fasa batuan dunit yang terbentuk. Sebelum dikalsinasi Dunit ini mengandung mineral *lizardit* ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ dan *magnetit* ($Fe_3O_4$). Pada variasi suhu 700$^oC$ diperoleh fasa yaitu *forsterite* ($Mg_2SiO_4$) dan *fayalite* ($Fe_2SiO_4$ Pada suhu 800$^oC$ dan 1000$^oC$ fasa yang terbentuk adalah *forsterite*, *olivine* ($H(Mg_2(SiO_4))_8$). Sedangkan untuk variasi suhu 900$^oC$ terdapat dua fasa yang terbentuk yaitu *forsterite* dan magnesium iron silicate($(Mg_{1.822}Fe_{0.178}))(SiO_4)$), Pada suhu 1100$^oC$ puncak yang ditunjukkan pada difraktogram menunjukkan terdapat tiga fasa yaitu *forsterite*, olivine dan yang baru muncul yaitu *enstatite* ($MgSiO_3$).
3. Pemberian variasi temperatur kalsinasi pada Dunit yang terdapat di daerah Jorong Tongar mempengaruhi perubahan struktur yang terbentuk. Struktur *hexagonal* unit sel a=b=5.3100 Å dan struktur *cubic* unit sel a=b=c =

58.3940 Å, berubah menjadi struktur *anorthic* unit sel a=10.1960 Å, b=5.9798 Å, c=9.5068 Å, kemudian struktur *orthorombik* unit sel a=18.2250 Å, b=8.8149 Å, c= 5.1746 Å.

4. Pemberian variasi temperatur kalsinasi pada Dunit yang terdapat di daerah Jorong Tongar mempengaruhi ukuran butir fasa batuan dunit. Pada sampel sebelum kalsinasi, ukuran butir kristal fasa magnetit sebesar 55.56945 nm dan lizardit sebesar 42.98862 nm. Pada suhu 700$^{o}$C ukuran butir untuk fasa *forsterite* dan fayalite mengalami penurunan yakni berturut turut 36.62412 nm dan 39,91738nm. Fasa forsterit pada temperatur 800$^{0}$C, 900$^{0}$C, 1000$^{0}$C memiliki ukuran butir kristal berturut – turut adalah 40,18405 nm, 41,90441 nm, 37,95575 nm. Sedangkan, pada suhu 1100$^{o}$C memiliki ukurun Kristal 36,64616 nm. Pada temperatur 1100$^{0}$C ukuran butir *enstatite* meningkat sebesar 45,43191 nm akibat penggabungan dari fasa nanomaterial tersebut.

**B. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, Berdasarkan penelitian juga didapatkan metode *x-ray diffraction* tidak bisa mendeskripsikan struktur morfologi dengan baik maka dapat disarankan untuk melakukan penelitian mengenai struktur morfologi dari sampel dunit menggunakan metode SEM (*Scanning Electron Microscopy*).