

**PENGARUH TEMPERATUR KALSINASI TERHADAP SIFAT
FISIS TEMBAGA OKSIDA DARI DAERAH PINTI KAYU
KEC. KOTO PARIK GADANG DIATEH KABUPATEN
SOLOK SELATAN**

SKRIPSI

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



Oleh :

ROBBY ZEFFRY

NIM. 17497/2010

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2015**

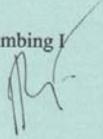
PERSETUJUAN SKRIPSI

PENGARUH TEMPERATUR KALSINASI TERHADAP SIFAT FISIS TEMBAGA
OKSIDA DARI DAERAH PINTI KAYU KEC. KOTO PARIK GADANG DIATEH
KABUPATEN SOLOK SELATAN

Nama : Robby Zeffry
BP/ NIM : 2010/17497
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

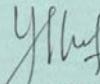
Padang, April 2015
Disetujui oleh:

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Yohandri, M.Si, Ph.D
NIP. 19780725 200604 1 003

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Sifat Fisis Tembaga Oksida Dari Daerah Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang Diatoh Kabupaten Solok Selatan

Nama : Robby Zeffry

BP/ NIM : 2010/17497

Program Studi : Fisika

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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

Padang, April 2015

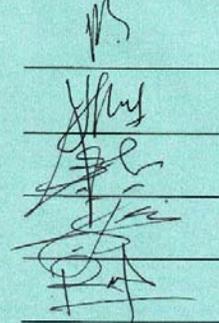
Tim Penguji

Ketua : Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si

Sekretaris : Yohandri, M.Si, Ph.D

Anggota : 1. Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si
2. Dra. Hj. Yenni Darvina, M.Si
3. Dr. Ramli, S.Pd, M.Si

Tanda Tangan



The image shows four horizontal lines, each with a handwritten signature above it, corresponding to the members of the exam committee listed on the left.

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 cara penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, April 2015
Yang menyatakan,

Robby Zeffry



ABSTRAK

Robby Zeffry : Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Sifat Fisis Tembaga Oksida Dari Daerah Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang Diateh Kabupaten Solok Selatan

Indonesia dikenal sebagai salahsatu negara yang mempunyai potensi sumber daya alam yang besar, salah satu sumber daya alam yang mempunyai potensi untuk dimanfaatkan adalah bijih tembaga. Bijih tembaga dapat ditemukan di daerah Pinti Kayu Kecamatan Koto Parik Gadang Diateh Kabupaten Solok Selatan. Keberadaan bijih tembaga ini hanya di eksploitasi dalam keadaan mentah (*raw material*) sehingga mempunyai nilai jual yang rendah. Salah satu cara menjadikan bijih tembaga tersebut memiliki nilai jual yang tinggi yaitu dengan caramemberikan perlakuan seperti dikalsinasi dengan temperatur tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur kalsinasi terhadap sifat fisis tembaga oksida dari daerah Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang Diateh Kabupaten Solok Selatan

Penelitian ini merupakan jenis penelitian yang bersifat eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Material Jurusan Fisika dan Laboratorium Jurusan Kimia dengan sampel penelitian adalah bijih tembaga. Pada penelitian ini dilakukan variasi terhadap temperatur kalsinasi. *X-Ray Fluorescence*(XRF) digunakan untuk mendapatkan data kadar kandungan tembaga pada bijih tembaga sebelum dan setelah pemurnian. *X-Ray Diffraction*(XRD) digunakan untuk mengidentifikasi fasa, struktur, dan ukuran butir kristal.

Hasil penelitian ini diperoleh berdasarkan data XRF kandungan tembaga pada bijih tembaga sebelum dikalsinasi adalah 92,735%. Berdasarkan data pengujian XRD diperoleh informasi bahwa akibat pemberian temperatur kalsinasi terjadi transformasi fasa tembaga oksida dari *malachite* ke *chalcocite* dan *tenorite*. Meningkatnya temperatur kalsinasi menyebabkan terjadinya perubahan struktur tembaga oksida dari struktur *Hexagonal* ke struktur *cubic* dan struktur *Monoclinic*. Meningkatnya temperatur kalsinasi, ukuran butir tembaga oksida ada yang meningkat sampai dengan suhu tertentu dan kemudian menurun, seperti ukuran butir *malachite* sebelum dipanaskan diperoleh sebesar 100,252 nm, pada sampel 145⁰C menjadi 95,256 nm, pada temperatur 300⁰C menjadi 37,297 dan hilang pada temperatur 850⁰C.

Kata Kunci : *X-Ray Diffraction*(XRF) , *X-Ray Diffraction*(XRD), Tembaga oksida, Fasa, Struktur, Ukuran butir, dan temperatur kalsinasi

KATA PENGANTAR

Syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan yang maha kuasa memiliki ilmu dan maha luas ilmu-Nya berkat rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Pengaruh Temperatur Kalsinasi Terhadap Sifat Fisis Tembaga Oksida dari Daerah Pinti Kayu Kecamatan Koto Parik Gadang Diateh Kabupaten Solok Selatan**”. Skripsi ini 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**. 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.

Kelancaran kegiatan penelitian dan penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak baik secara moril maupun secara materil. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Hj.Ratnawulan, M.Si., sebagai pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran, saran dan tenaga serta kesabarannya untuk membimbing penulis dalam kegiatan penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Bapak Yohandri, M.Si, Ph.D, sebagai pembimbing II yang telah banyak memberikan bantuan, bimbingan dan saran serta kesabarannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

3. Bapak Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si., Ibu Dra. Hj. Yenni Darvina M.Si., Bapak Dr. Ramli 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 dan sebagai penasehat akademik yang telah banyak memberikan masukan dan motivasi kepada penulis.
6. Bapak Drs. H. Asrizal, M.Si., sebagai Ketua Program Studi Pendidikan Fisika yang telah banyak memberikan masukan dan motivasi kepada penulis.
7. Seluruh staf pengajar Jurusan Fisika yang telah membekali penulis dengan berbagai ilmu dan pengetahuan selama masa perkuliahan.
8. Bapak Edya yang telah memberikan penjelasan dan bimbingan dalam pengambilan sampel penelitian.
9. Rekan-rekan satu tim, atas kerjasama, bantuan, motivasi dan semangatnya dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Rekan-rekan mahasiswa jurusan Fisika FMIPA UNP yang selalu memotivasi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Kedua orang tua dan semua anggota keluarga atas pengertian yang besar, juga motivasi dan dorongan serta doa yang tulus yang diberikan kepada penulis selama proses penelitian dan penulisan skripsi ini.
12. Semua pihak yang telah membantu penulis untuk mewujudkan dan menyelesaikan studi yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam tulisan skripsi ini masih banyak terdapat kesalahan dan kelemahan. Untuk itu diharapkan kritik dan saran yang bersifat

membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap mudah-mudahan skripsi ini berguna bagi pembaca semua. Semoga semua bantuan, kritik dan saran yang telah diberikan menjadikan masukan positif bagi kita.

Padang, 06 Februari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah.....	6
C. Batasan Masalah	6
D. Pertanyaan Penelitian.....	7
E. Tujuan Penelitian	8
F. Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Mineral Tembaga.....	10
1. Tembaga dan Peradaban Dunia	10
2. Keberadaan di Alam	11
3. Senyawaan Tembaga	12
4. Sifat Fisik dan Kimia Tembaga	19
5. Peran Penting Tembaga Dalam Industri.....	20
6. Potensi Tembaga di Sumatera Barat.....	22

B. Kristalografi.....	24
1. Fasa.....	24
2. Kristal.....	24
3. Struktur atau Sistem Kristal.....	26
4. Bidang Kristal.....	28
C. Pengaruh Temperatur Kalsinasi.....	29
1. Pengaruh Temperatur Terhadap Ukuran Butir Kristal.....	29
2. Pengaruh Temperatur Terhadap Fasa dan Struktur Kristal.....	33
3. Penelitian terdahulu tentang variasi temperatur pada tembaga oksida.....	35
D. X-Ray Diffraction (XRD).....	37
1. Sinar X.....	37
2. Difraksi Sinar X.....	41
3. Faktor Struktur.....	46
4. Ukuran Butir Kristal.....	49
5. Cara Kerja XRD.....	50
E. X-Ray Fluorescence (XRF).....	52
1. Instrumen XRF.....	52
2. Cara Kerja XRF.....	53

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian.....	55
B. Waktu dan Tempat Penelitian.....	55
C. Variabel Penelitian.....	56

D. Prosedur Penelitian	56
1. Persiapan Penelitian	56
2. Pelaksanaan Penelitian	60
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Penelitian	66
B. Pembahasan	97
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	102
B. Saran	103
DAFTAR PUSTAKA	104
LAMPIRAN.....	106

DAFTAR TABEL

Tabel :	Halaman
1. Beberapa senyawa yang dibentuk tembaga.....	13
2. Tujuh sistem kristal	27
3. Data hasil pengukuran <i>x-ray diffraction</i> sampel bijih tembaga sebelum difurnace	68
4. Data hasil pengukuran <i>x-ray diffraction</i> sampel 145 ⁰ C	69
5. Data hasil pengukuran <i>x-ray diffraction</i> sampel 300 ⁰ C	71
6. Data hasil pengukuran <i>x-ray diffraction</i> sampel 850 ⁰ C	72
7. Data hasil pengukuran <i>x-ray diffraction</i> sampel 1000 ⁰ C	74
8. Kandungan bijih tembaga	75
9. Perbandingan data hasil pengukuran sampel sebelum dikalsinasi dengan <i>database</i> mineral	76
10. Perbandingan data hasil pengukuran sampel 145 ⁰ C dengandatabase mineral	78
11. Perbandingan data hasil pengukuran sampel 300 ⁰ C dengandatabase mineral	80
12. Perbandingan data hasil pengukuran sampel 850 ⁰ C dengandatabase mineral	81
13. Perbandingan data hasil pengukuran sampel 1000 ⁰ C dengandatabase mineral	84
14. Fasa tembaga oksida yang terbentuk pada masing-masing sampel	86
15. Struktur tembaga oksida penyusun bijih tembaga	87
16. Ukuran butir kristal sampel bijih tembaga sebelum dipanaskan	89
17. Ukuran butir kristal sampel bijih tembaga setelah dipanaskan pada temperatur 145 ⁰ C	90
18. Ukuran butir kristal sampel bijih tembaga setelah dipanaskan pada temperatur 300 ⁰ C	92
19. Ukuran butir kristal sampel bijih tembaga setelah dipanaskan pada temperatur 850 ⁰ C	93

20. Ukuran butir kristal sampel bijih tembaga setelah dipanaskan pada temperatur 1000°C	94
--	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar :	Halaman
1. Beberapa mineral yang mengandung tembaga	11
2. Struktur kristal <i>malachite</i>	15
3. Struktur kristal <i>tenorite</i>	16
4. Struktur kristal <i>cuprite</i>	17
5. Struktur kristal <i>chalcocite</i>	18
6. Susunan atom dalam (a) Kristal, (b) <i>Amorf</i>	25
7. Empat belas kisi bravais	27
8. Perpotongan bidang dan sumbu	29
9. Perubahan ukuran partikel saat diberi pengaruh temperatur	31
10. Kisi atom satu dimensi dalam keadaan seimbang (atas) dan dirambati energi (bawah)	32
11. Energi dan pemuaian, a. Bahan padat dengan ikatan kuat dan b. Bahan padat dengan ikatan lemah	33
12. Hambatan energi yang memisahkan keadaan struktural	34
13. Diagram tabung sinar X	38
14. Spektrum sinar-X <i>molybdenum</i>	39
15. Transisi elektron	40
16. Perbandingan radiasi Cu dengan filter dan tanpa filter	41
17. Difraksi Bragg	42
18. Vektor gelombang dalam bidang kompleks	46
19. Skema kerja XRD	51
20. Hasil pengukuran berupa difraktogram	52
21. Skema Prinsip XRF	54
22. Sampel tembaga	57
23. <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	57
24. <i>X-Ray Diffractometer (XRD)</i>	57
25. Mortar dan lumpang	58
26. Spatula	58

27. Ayakan otomatis	58
28. Furnace.....	59
29. Desikator	59
30. Penjepit.....	59
31. Cawan porselen.....	60
32. Mineral tembaga	60
33. Penggerusan mineral tembaga	61
34. Pengayakan mineral tembaga setelah digerus.....	61
35. Bijih tembaga sebelum dan sesudah dikalsinasi	62
36. Diagram alir penelitian.....	64
37. Data hasil pengukuran XRF dari bijih tembaga sebelum difurnace	66
38. Data hasil pengukuran <i>XRD</i> dari bijih tembaga sebelum difurnace	67
39. Data hasil pengukuran <i>x-ray diffractions</i> sampel 145 ⁰ C	69
40. Data hasil pengukuran <i>x-ray diffractions</i> sampel 300 ⁰ C	70
41. Data hasil pengukuran <i>x-ray diffractions</i> sampel 850 ⁰ C	72
42. Data hasil pengukuran <i>x-ray diffractions</i> sampel 1000 ⁰ C	73
43. Analisis hasil pengukuran XRD sampel	77
44. Analisis hasil pengukuran XRD sampel 145 ⁰ C	79
45. Analisis hasil pengukuran XRD sampel 300 ⁰ C	81
46. Analisis hasil pengukuran XRD sampel 850 ⁰ C	83
47. Analisis hasil pengukuran XRD sampel 1000 ⁰ C	85
48. Pola XRD bijih tembaga tanpa kalsinasi, kalsinasi 145 ⁰ C, 300 ⁰ C, 850 ⁰ C dan 1000 ⁰ C	86
49. Grafik ukuran butir kristal masing-masing fasa tembaga oksida untuk setiap variasi temperatur	95

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran:	Halaman
1. Data hasil pengukuran XRF	106
2. <i>Database</i> untuk Mineral penyusun bijih tembaga.....	107
3. Dokumentasi Penelitian	128
4. Ukuran Butir	135

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia dikenal sebagai salahsatu negara yang mempunyai potensi sumber daya alam yang besar, salah satusumber daya alam yang mempunyai potensi untuk dimanfaatkan adalah sumber dayamineral logam. Sebagai negara yang sedang membangun disegala bidang, tentusaja potensi sumber daya mineral logam sangat dibutuhkan agar pembangunan tersebut dapat berjalan dengan sempurna. Untuk mencapai keinginan tersebut diperlukan dukungan dengan ketersediaan dan akses terhadap kekayaan atau potensi sumber daya mineral logam di Indonesia. Seiring dengan itu, peningkatan permintaan dan pemanfaatan mineral ditingkat dunia mendorong negara-negara produsen mineral (termasuk Indonesia) untuk mengevaluasi potensi endapan mineral berskala nasional sebagai dasar dari kebijakan nasional dibidang eksplorasi dan eksploitasi mineral.

Sumber daya alam adalah segala sesuatu yang tersedia di alam dan dimanfaatkan untuk kebutuhan manusia tanpa merusak alam itu sendiri. Implementasi kebijakan diluar sektor pertambangan, khususnya dibidang lingkungan hidup, kehutanan dan tata guna lahan menyebabkan masalah dalam kegiatan eksplorasi dan eksploitasi sehingga memperkecil kemungkinan penemuan dan pengembangan endapan mineral baru. Masalah yang perlu

mendapat perhatian dari aktivitas penambangan dan pengolahan mineral logam seperti pencemaran air dan emisi buang gas akibat dari pencemaran sulfur dioksida dan logam berat dalam bentuk partikel halus yang dapat terjadi pada proses peleburan atau refinasi.

Pendayagunaan sumber daya mineral logam dalam rangka menuju kemakmuran rakyat harus dilakukan terencana, rasional, optimal, dan bertanggung jawab. Disamping itu,kelestarian fungsi dan keseimbangan lingkungan hidup bagi pembangunan berkelanjutan harus diperhatikan. Oleh karena itu,diperlukan penilaian atau pengkajian tentang komoditi mineral, tipe endapan, jumlahcadangan, cara pengelolaan yang optimal dan mempertimbangkan aspek sumber daya alam lainnya.

Indonesia juga merupakan salah satu negara di dunia yang memiliki berbagai jenis barang tambang. Salah satu wilayah yang memiliki potensiuunggulan adalah Provinsi Sumatra Barat. Provinsi Sumatera Barat berada di bagian barat tengah pulau Sumatera dengan luas 42.297,30 km². Provinsi ini memiliki dataran rendah di pantai barat, serta dataran tinggi vulkanik yang dibentuk Bukit Barisan yang membentang dari barat laut ke tenggara. Beberapa wilayah di Sumatra Barat yang memiliki potensi tambang mineral seperti Kabupaten Agam, Kabupaten Pasaman, Kabupaten Lima Puluh Kota, dan Kabupaten Solok Selatan.Wilayah kabupaten solok selatan didominasi oleh perbukitan yang bergelombang. Keadaan ini memungkinkan terjadinya proses mineralisasi dan keterdapatn berbagai mineral ekonomis (Efi, 2013).

Menurut ESDM Solok Selatan (2014), Kabupaten Solok Selatan merupakan salah satu wilayah di Sumatra Barat yang kaya akan potensi tambang. Salah satu tambang mineral yang memiliki peluang investasi adalah batuan tembaga. Batuan tembaga merupakan batuan yang memiliki sifat keras bila tidak murni, konduktivitas termal dan elektriknya sangat tinggi. Mineral dengan kandungan magnesium, tembaga, dan logam lain banyak dihasilkan dari aktivitas vulkanik laut dalam. Batuan tembaga cukup banyak di Kabupaten Solok berada di Nagari Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang Diateh, namun dalam pengelolaan dan pemanfaatan batuan tembaga masih belum optimal sehingga memiliki nilai jual yang rendah. Diperlukan adanya suatu upaya peningkatan kapasitas pengelolaan yang akan memberi nilai tambah yang lebih besar bagi perkembangan industri. Sesuai dengan Permen ESDM Nomor 7 Tahun 2012 tanggal 6 Februari 2012 Tentang Peningkatan Nilai Tambang Mineral Melalui Pengolahan dan Pemurnian Mineral, pelaksanaan kegiatan usaha pertambangan diharuskan mengolah dan memurnikan mineral dan batu bara didalam negeri.

Di Indonesia khususnya Sumatera Barat, keadaan industri pertambangan bahan galian alam seperti tembaga belum berkembang pesat, salah satu penyebabnya karena pemakaian bahan galian tersebut belum cukup besar. Tembaga banyak digunakan untuk industri kimia sebagai bahan celup dan rayon, alat – alat rumah tangga, alat-alat otomotif, dekorasi atau perhiasan dan sebagainya. Keunggulan tembaga dalam hal sifat-sifat kimia, fisika dan nilai estetikanya membuat tembaga menjadi salah satu logam pilihan

terpenting untuk berbagai keperluan seperti bahan baku untuk peralatan rumah tangga, industri dan teknologi tinggi. Berdasarkan gambaran di atas, dapatlah diperkirakan bahwa kebutuhan akan tembaga akan terus meningkat sesuai dengan pertumbuhan industri-industri.

Menurut Ohya(2000), tembaga merupakan unsur yang jarang ditemukan di alam (*precious metal*). Tembaga umumnya ditemukan dalam bentuk senyawa yaitu bijih mineral seperti *chalcopyrite* (CuFeS_2), *Chalcosite* (Cu_2S), *cuprite* (Cu_2O), *malachite* ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$) dan *malaconite/tenorite* (CuO) sedangkan dalam unsur bebas ditemukan di Northern Michigan Amerika Serikat. Dalam jumlah kecil, tembaga juga dapat ditemukan pada beberapa jenis tanaman, bulu-bulu burung terutama yang berbulu terang dan dalam darah binatang-binatang laut seperti udang dan kerang. Deposit bijih tembaga yang banyak ditemukan di AS, Chile, Zambia, Zaire, Peru, dan Kanada. Bijih-bijih tembaga yang penting adalah sulfida, oksida-oksida, dan karbonat (Emel, 2010).

Departemen Perindustrian Republik Indonesia (2008) dalam laporannya mengatakan secara garis besar bijih tembaga dibagi menjadi dua kelompok, yaitu : kelompok sulfida dan kelompok oksida. Kelompok sulfida ini dicirikan dengan adanya anion S^{2-} . Kelompok sulfida merupakan kombinasi antara logam atau semilogam dengan belerang (S). Biasanya terbentuk pada urat batuan atau dari larutan hidrotermal. Pada kelompok endapan Sulfida primer beberapa bijih tembaga yang sering ditemukan seperti *chalcopyrite* (CuFeS_2) yang merupakan campuran antara tembaga dan besi sulfida dan juga yang

terbesar, diikuti oleh *Chalcosite* (Cu_2S), *Bornite* (CuFeS_4), *Chovelite* (CuS), dan *Enargite* (Cu_3AsS_4). Sedangkan kelompok oksida merupakan mineral yang terbentuk dari kombinasi unsur tertentu dengan gugus anion oksida (O) dan gugus hidroksil hidroksida (OH atau H). Mineral oksida terbentuk sebagai akibat persenyawaan langsung antara oksigen dan unsur tertentu. Susunannya lebih sederhana dibanding silikat. Mineral oksida umumnya lebih keras dibanding mineral lainnya kecuali silikat. Mereka juga lebih berat kecuali sulfida. mineral bijih utama tembaga oksida adalah *malachite* ($\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$) dan *azurite* ($\text{Cu}_3(\text{OH})_2\text{CO}_3$).

Jenis-jenis mineral tembaga yang terbagi dalam kelompok sulfida dan oksida tersebut dapat terbentuk ketika mineral tembaga diberi temperatur. Dalam penelitian yang dilakukan Danilo (2006) di Brazil mendeteksi pelepasan air dari Tembaga (II) hidroksida atau $\text{Cu}(\text{OH})_2$ dan menemukan senyawa CuO atau tenorite pada temperatur 145°C . Berbeda dengan penelitian yang dilakukan Irawan (2013) pada suhu sekitar 300°C tembaga dapat bereaksi dengan oksigen sehingga terbentuk senyawa CuO yang berwarna hitam atau tenorite. Sedangkan pada suhu yang lebih tinggi, sekitar 1000°C , terbentuk tembaga(I) oksida (Cu_2O) yang berwarna merah atau disebut cuprite. Dalam penelitian yang dilakukan Natanael (2012) menemukan terbentuknya senyawa Cu_2S atau Chalcosite pada temperatur 850°C .

Berdasarkan penelitian diatas, bahwa mineral tembaga memiliki kandungan jenis mineral seperti Chalcosite, Tenorite, Cuprite. Dari penelitian di atas juga dapat dilihat pada temperatur yang berbeda ditemukan senyawa yang

sama namun di tempat atau lokasi sampel yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh tempat atau lokasi sampel berada. Berdasarkan tinjauan literatur tersebut, walaupun telah banyak peneliti sebelumnya yang meneliti tentang tembaga namun belum ada penelitian batuan tembaga di Kabupaten Solok Selatan. Penggunaan tembaga di daerah ini masih dalam bentuk *raw material*, sehingga nilai jualnya masih rendah. Penelitian ini juga ingin mengetahui kandungan dan struktur mineral tembaga yang terdapat di Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang Diatesh Kabupaten Solok Selatan dengan pemberian temperatur kalsinasi. Untuk mengetahui kandungan yang terdapat pada tembaga digunakan *X-Ray Fluorescence (XRF)* dan untuk menganalisa strukturnya digunakan alat karakterisasi *X-Ray Diffraction (XRD)*.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini yaitu: Bagaimana pengaruh temperatur kalsinasi terhadap sifat fisis Tembaga oksida dari daerah Nagari Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang Diatesh Kabupaten Solok Selatan?

C. Batasan masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variasi temperatur 145°C, 300°C, 850°C, 1000°C. Variasi temperatur ini diambil berdasarkan penelitian sebelumnya tentang karakterisasi pada batuan berkadar tembaga tinggi.
2. Sifat fisis tembaga oksida yang diteliti adalah :
 - a. Kadar kandungan tembaga oksida

- b. Fasa yang terbentuk
- c. Sistem Kristal
- d. Ukuran butir

D. Pertanyaan Penelitian

Untuk menentukan arah penelitian ini, dikemukakan pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Berapa kadar kandungan Tembagaoksida di dalam bijih tembaga yang terdapat diNagari Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang DiatehKabupaten Solok Selatan Sumatera Baratdengan menggunakan *X-Ray Fluorescence*(XRF)?
2. Bagaimana pengaruh temperatur kalsinasi terhadap perubahan fasa tembaga oksida di dalam bijih tembaga yang terdapat diNagari Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang DiatehKabupaten Solok Selatan Sumatera Barat?
3. Bagaimana pengaruh temperatur kalsinasi terhadap struktur tembaga oksida di dalam bijih tembaga yang terdapatdiNagari Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang DiatehKabupaten Solok Selatan Sumatera Barat?
4. Bagaimana pengaruh temperatur kalsinasi terhadap ukuran butir tembaga oksida di dalam bijih tembaga yang terdapat di Nagari Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang DiatehKabupaten Solok Selatan Sumatera Barat?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menyelidikikadar kandungan tembagaoksida di dalam bijih tembaga yang terdapat di Nagari Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang DiatehKabupaten Solok Selatan Sumatera Barat dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence*(XRF).
2. Menyelidiki pengaruh temperatur kalsinasi terhadap perubahan fasatembaga oksida di dalam bijih tembaga yang terdapat di Nagari Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang DiatehKabupaten Solok Selatan Sumatera Barat.
3. Menyelidiki pengaruh temperatur kalsinasi terhadap strukturtembaga oksida di dalam bijih tembaga yang terdapat di Nagari Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang DiatehKabupaten Solok Selatan Sumatera Barat.
4. Menyelidiki pengaruh temperatur kalsinasi terhadap ukuran butirtembaga oksida di dalam bijih tembaga yang terdapat di Nagari Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang DiatehKabupaten Solok Selatan Sumatera Barat.

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 banyaknya kandungan tembaga yang terdapat di Nagari Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang Diateh Kabupaten Solok Selatan Sumatera Barat
 - c. Mengetahui pengaruh temperatur kalsinasi terhadap mineral Tembaga yang terdapat di Nagari Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang Diateh Kabupaten Solok Selatan Sumatera Barat
 - d. Meningkatkan pemahaman dan penerapan ilmu fisika terutama pada bidang alat karakterisasi XRF dan XRD
2. Bagi pembaca
- a. Menambah pengetahuan tentang kandungan Tembaga di Nagari Pinti Kayu Kec. Koto Parik Gadang Diateh Kabupaten Solok Selatan Sumatra Barat
 - b. Menjadikan tambahan literatur untuk peneliti selanjutnya.
3. Bagi Dinas terkait, khususnya dinas ESDM
- a. Sebagai bahan pertimbangan salah satu sumber pendapatan asli daerah oleh Pemerintah Daerah yang bersangkutan, investor dan masyarakat lainnya yang membutuhkan.
 - b. Melengkapi data dasar Sumber daya mineral yang sudah ada.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Mineral Tembaga

1. Tembaga dan Peradaban Dunia

Tembaga berasal dari bahasa latin *Cyprium*, yang secara harfiah berarti logam dari Cyprian. Tembaga merupakan salah satu logam yang pertama digunakan manusia yang dibuktikan oleh penemuan-penemuan arkeologis di beberapa tempat di dunia. Sekitar 10.000 tahun yang lalu sudah dikenal koin-koin dan perhiasan-perhiasan yang terbuat dari logam tembaga, yang ditemukan di Asia Barat (DPRI,2008). Pada masa prasejarah jaman *chalcolithic* (berasal dari *chalkos*, bahasa Yunani untuk tembaga), manusia sudah memanfaatkan logam tersebut. Pada akhir Abad 4 SM sampai awal Abad 3 SM, para pekerja telah menambang tembaga dari daerah Huelva Spanyol. Pada masa itu juga telah dikenal logam campuran tembaga dengan seng (Zn) yang membentuk perunggu, sehingga pada tahun 2.500 SM dikenal zaman perunggu.

Hal yang sama juga ditemukan di Amerika Selatan, suku Indian Maya, Aztec, dan Inca, telah dikenal peradabannya yang memanfaatkan tembaga, selain emas dan perak. Selama abad pertengahan, tembaga dan perunggu juga dikenal di negeri China, India, dan Jepang. Penemuan-penemuan dan ciptaan-ciptaan yang berhubungan dengan kelistrikan dan magnet dari akhir abad ke 18 dan awal abad ke 19 oleh para ilmuwan seperti Ampere, Faraday, dan Ohm menempatkan tembaga ke dalam suatu zaman

baru yang mencetuskan revolusi industri. Tembaga yang sudah digunakan sejak 10.000 tahun yang lalu telah merupakan bahan baku untuk teknologi tinggi, seperti yang dijumpai pada rekayasa chip berbahan baku tembaga oleh industri semi-konduktor.

2. Keberadaan di Alam

Tembaga terbentuk secara alami dikerak bumi dalam berbagai bentuk, seperti :

- a) Mineral Sulfida (seperti *chalcopyrite*, *bornite*, *chalcocite*, *covellite*)
- b) Mineral karbonat (seperti *azurite*, *malachite*)
- c) Mineral silikat (seperti *chrysocolla*, *diopside*)
- d) Unsur tembaga murni (DPRI,2008)

Logam tembaga (Cu) mempunyai sistem kristal kubik, secara fisik berwarna kuning dan apabila dilihat dengan menggunakan mikroskop bijih akan terlihat berwarna merah jambu kecoklatan sampai keabu-abuan. Unsur tembaga terdapat pada sekitar 250 mineral, tetapi hanya sedikit saja yang bernilai ekonomis. Beberapa mineral yang mengandung tembaga ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Beberapa mineral mengandung tembaga (sumber DPRI, 2008)

Menurut Ohya (2000), tembaga merupakan unsur yang jarang ditemukan di alam (*precious metal*). Tembaga umumnya ditemukan dalam bentuk senyawa yaitu bijih mineral, *chalcopyrite* (CuFeS_2), *Chalcosite* (Cu_2S), *cuprite* (Cu_2O), *malachite* ($\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$) dan *malaconite/tenorite* (CuO). Departemen Perindustrian Republik Indonesia (2008) mengatakan dalam laporannya mengenai “Studi Peningkatan Nilai Tambah Sumber Daya Alam Tembaga” secara garis besar mineral tembaga dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu: kelompok sulfida dan oksida. Pada kelompok endapan primer, *chalcopyrite* (CuFeS_2), campuran antara tembaga dan besi sulfida, merupakan yang terbesar dan diikuti oleh *Chalcosite* (Cu_2S), *bornite* (Cu_5FeS_4), *chovelite* (CuS), *enargite* (Cu_3AsS_4). Mineral utama bijih tembaga oksida adalah *malachite* dan *azurite*. Kedua mineral yang berwarna hijau kebiruan ini adalah tembaga karbonat hidrat.

3. Senyawaan Tembaga

Tembaga di alam memiliki tingkat oksidasi +1 dan +2. Tembaga dengan bilangan oksidasi +2 merupakan tembaga yang sering ditemukan sedangkan tembaga dengan bilangan oksidasi +1 jarang ditemukan, karena senyawaan tembaga ini hanya stabil jika dalam bentuk senyawa kompleks. Selain dua keadaan oksidasi tersebut, dikenal pula tembaga dengan bilangan oksidasi +3 tetapi jarang digunakan, misalnya K_3CuF_6 . Beberapa senyawa yang dibentuk oleh tembaga seperti tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Beberapa senyawaan yang dibentuk tembaga(Emel, 2010)

Tembaga (II)	Nama	Tembaga (I)	Nama
CuO	Tembaga (II) Oksida	Cu ₂ O	Tembaga (I) Oksida
Cu(OH) ₂	Tembaga (II) Hidroksida	CuCl	Tembaga (I) Klorida
CuCl ₂	Tembaga (II) Klorida	CuI	Tembaga (I) Oksida
CuF ₂	Tembaga (II) Flourida		
CuS	Tembaga (II) Sulfida		
CuSO ₄ .5H ₂ O	Tembaga (II) Sulfat Pentahidrat atau vitrol biru		
Cu(NO ₃) ₂ 3H ₂ O	Tembaga (II) Nitrat Trihidrat		

Departemen Perindustrian Republik Indonesia (2008) dalam laporannya mengatakan secara garis besar bijih tembaga dibagi menjadi dua kelompok, yaitu : kelompok sulfida dan kelompok oksida. Pada kelompok endapan Sulfida primer beberapa bijih tembaga yang sering ditemukan seperti *chalcopyrite* (CuFeS₂) yang merupakan campuran antara tembaga dan besi sulfida dan juga yang terbesar, diikuti oleh *Chalcosite* (Cu₂S), *Bornite* (Cu₅FeS₄), *Chovelite* (CuS), dan *Enargite* (Cu₃AsS₄). Mineral bijih utama tembaga oksida adalah *malachite* (Cu₂(CO₃)OH)₂ dan *azurite* (Cu₃(OH)₂ CO₃)₂.

a. Tembaga Oksida

Mineral oksida dan hidroksida ini merupakan mineral yang terbentuk dari kombinasi unsur tertentu dengan gugus anion oksida (O)

dan gugus hidroksil hidroksida (OH atau H). Mineral oksida terbentuk sebagai akibat persenyawaan langsung antara oksigen dan unsur tertentu. Susunannya lebih sederhana dibanding silikat. Mineral oksida umumnya lebih keras dibanding mineral lainnya kecuali silikat. Mineral oksida juga lebih berat kecuali sulfida. Unsur yang paling utama dalam oksida adalah besi, chrome, mangan, timah dan aluminium. Beberapa mineral oksida yang paling umum adalah “es” (H₂O), korondum (Al₂O₃), hematit (Fe₂O₃) dan kassiterit (SnO₂).

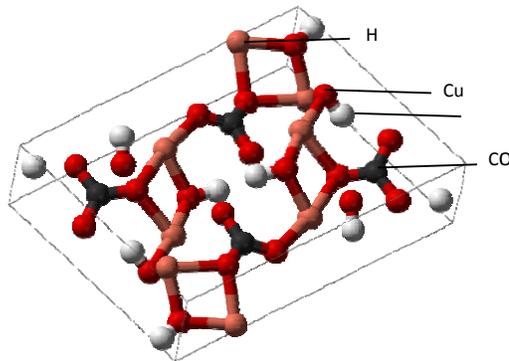
Seperti mineral oksida, mineral hidroksida terbentuk akibat pencampuran atau persenyawaan unsur-unsur tertentu dengan hidroksida (OH). Reaksi pembentukannya dapat juga terkait dengan pengikatan dengan air. Sama seperti oksida, pada mineral hidroksida, unsur utamanya pada umumnya adalah unsur-unsur logam. Beberapa contoh mineral hidroksida adalah goethit (FeOOH) dan limonite (Fe₂O₃.H₂O).

Adapun jenis tembaga oksida penyusun bijih tembaga adalah sebagai berikut:

1) *Malachite*(Cu₂(CO₃)OH)₂)

Malachite sangat mudah dikenali karena hanya berwarna hijau dengan ciri bergaris-garis, hijau tua sampai hijau hitam, ada juga kadang yang mirip hijau. Warna hijau dalam batu *Malachite* atau batu biduri pandan ini disebabkan oleh unsur tembaga (60% bahkan lebih). Kadang *Malachite* juga ditemukan dalam bentuk gabungan bersama mineral tembaga lainnya berwarna biru azurite, dan terbentuklah *azurmalachite*. Karena memiliki tingkat kekerasan yang rendah (3,5-4 dalam daftar keras

Mohs) maka *malachite* mudah pecah dan tergores, peka terhadap panas, air keras dan ammonia. Berikut adalah gambar struktur kristal *Malachite*, dapat dilihat pada gambar 2.

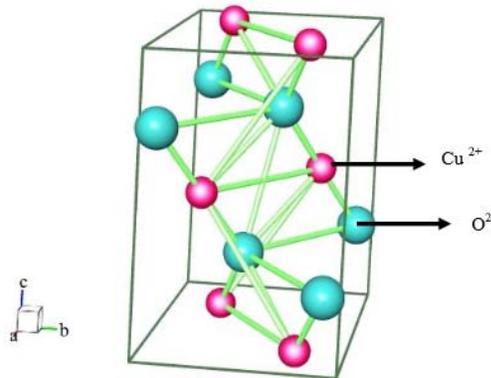


Gambar 2. Struktur kristal *Malachite*

Menurut (mineralogy magazine, 1998) *malachite* memiliki sistem kristal monoklin dengan dimensi selnya $a = 9.502$, $b = 11.974$, dan $c = 3.24$. kepadatan *malachite* $3.6 - 4 \text{ g cm}^{-3}$, rata-rata $= 3.8 \text{ g cm}^{-3}$ dan grup ruangnya $P 2_1/a$.

2) *Tenorite* (CuO)

CuO (*tenorite*) merupakan salah satu dari senyawa oksida tembaga di samping Cu₂O, juga merupakan senyawa keramik yang paling sederhana yang terdiri dari atom logam dan non logam dalam jumlah yang sama. *Tenorite* merupakan anggota dari tembaga oksida yang disusun oleh Cu dan O. Tembaga dioksida ini termasuk tembaga yang bereaksi dengan oksigen membentuk oksidanya, berwarna kristal hitam yang diperoleh melalui pirolisis dari garam oksida yang lain, dan memiliki struktur kristal monoklinik. Berikut adalah gambar struktur kristal CuO, dapat dilihat pada Gambar 3.

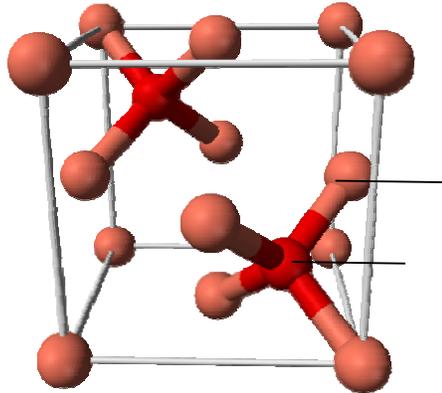


Gambar 3. Struktur kristal *Tenorite*

Menurut (mineralogy magazine,1998)*tenorite* memiliki sistem kristal monoklinik dengan dimensi selnya $a = 4.653$, $b = 3.425$ dan $c = 5.129$. kepadatan 6.5 g cm^{-3} dan grup ruangnya $C 2/c$. Dalam penelitian yang dilakukan Irawan (2013) tembaga dapat bereaksi dengan oksigen pada temperatur 300°C sehingga terbentuk senyawa CuO yang berwarna hitam atau *tenorite*.

3) *Cuprite*(Cu_2O)

Cuprite adalah mineral oksida terdiri dari oksida tembaga (I) Cu_2O dan merupakan bijih tembaga kecil. *Cuprite* merupakan anggota dari tembaga oksida yang juga disusun oleh Cu dan O dengan komposisi Cu 88.82% dan O 11.18%. *Cuprite* dapat ditemukan di alam dengan beberapa warna seperti cokelat merah, ungu merah, merah dan hitam. *Cuprite* juga memiliki nama lain yaitu *Chalcotrichite* dari bahasa Yunani, yang berarti "tembaga berbulu." Berikut adalah gambar struktur kristal *Cuprite*, dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur kristal *Cuprite*

Menurut (mineralogy magazine,1998)*Cuprite* memiliki sistem kristal *Cubic* dengan dimensi selnya $a = 4.2696$. kepadatan 6.11 g cm^{-3} dan grup ruangnya $P \ n3m$. Menurut Irawan (2013) pada suhu yang lebih tinggi, sekitar 1000 terbentuk tembaga (I) Oksida (Cu_2O) yang berwarna merah atau disebut *cuprite*.

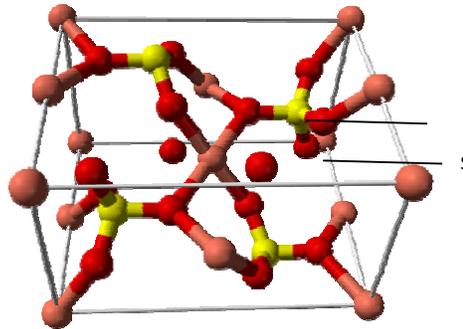
b. Tembaga Sulfida

Kelompok ini dicirikan dengan adanya anion S^{2-} . Kelompok sulfida merupakan kombinasi antara logam atau semilogam dengan belerang (S). Biasanya terbentuk pada urat batuan atau dari larutan hidrotermal. Adapun jenis tembaga oksida penyusun bijih tembaga adalah sebagai berikut:

1) *Chalcosite* (Cu_2S)

Chalcosite merupakan mineral sulfida tembaga, salah satu dari beberapa bijih tembaga terpenting. *Chalcosite* dengan rumus kimia Cu_2S ini biasanya ditemukan dalam bentuk butir-butir lepas atau padat dalam endapan-endapan sulfida. Kristal *Chalcosite* berbentuk prisma, tidak tembus cahaya, berwarna kelabu gelap dengan noda-noda coklat hitam

yang akan kelihatan bila diterangi cahaya, serta memiliki kilauan logam. Berikut adalah gambar struktur kristal *Chalcosite*, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur kristal *Chalcosite*

Menurut (mineralogy magazine,1998)*Chalcosite* memiliki sistem kristal *monoclinic* dengan dimensi selnya $a = 11.881$, $b = 27.323$ dan $c = 13.491$. Kepadatan $5.5 - 5.8 \text{ g cm}^{-3}$, rata-rata = 5.65 g cm^{-3} dan grup ruangnya $P 2_1/c$. Dalam penelitian yang dilakukan Natanael (2012) menemukan terbentuknya senyawa C atau *Chalcosite* pada temperatur 850 .

2) *Chalcopyrite* (CuFe)

Chalcopyrite adalah suatu mineral tembaga sulfida yang mengkristal sistem bersudut empat. *Chalcopyrite* mempunyai komposisi kimia yaitu (CuFe). *Chalcopyrite* seperti kuningan yang mempunyai warna kuning keemasan, dan mempunyai skala kekerasan $3,5 - 4$, Lapisannya adalah diagnostik seperti sedikit warna hijau hitam. Pada saat *chalcopyrite* berada di udara terbuka maka *chalcopyrite* akan beroksidasi dengan berbagai

oksida, hidroksid dan sulfates. Warna *chalcopyrite* kuning gelap dengan sedikit warna kehijau-hijauan dan kilap berminyak diagnostic.

3) *Bornite* (Cu_5FeS_4)

Bornite (Cu_5FeS_4) merupakan mineral tembaga sulfida dengan komposisi tembaga 50-70% dan besi 6,5-15% (Ford, 2005). *Bornite* memiliki sistem kristal tetragonal dan *bornite* berwarna merah tembaga dengan gores keabu-abuan yang terang. *Bornite* berasal dari mineral-mineral bijih primer dan percampuran urat-urat sulfida. Jarang dari hasil alterasi supergen. Kadang-kadang dapat terjadi dalam lingkungan temperatur tinggi dari pegmatit.

4. Sifat Fisik dan Kimia Tembaga

Tembaga memiliki sifat spesifik yaitu kemudahannya dipadukan dengan logam-logam lain. Logam tembaga mempunyai karakteristik yang jarang dijumpai pada logam-logam lain, seperti (DPRI,2008):

- a) Logam Tembaga relatif lebih lunak dibandingkan logam lain
- b) Bersifat anti mikrobial dan biostatik
- c) Mudah diolah dan dibentuk
- d) Memiliki daya hantar panas yang sangat baik
- e) Sangat tahan lama dan dapat didaur ulang
- f) Tahan terhadap korosi
- g) Sebagai bahan baku logam yang sangat baik
- h) Sebagai konduktor listrik terbaik dan non magnetik.

Produksi tembaga sebagian besar dipergunakan dalam industri kelistrikan, karena tembaga mempunyai daya hantar listrik yang tinggi.

Kotoran yang terdapat dalam tembaga akan memperkecil/mengurangi daya hantar listriknya. Selain mempunyai daya hantar listrik yang tinggi, daya hantar panasnya juga tinggi dan tahan karat. Oleh karena itu tembaga juga dipakai untuk kelengkapan bahan radiator, ketel, dan alat kelengkapan pemanasan. Tembaga mempunyai sifat dapat dirol, ditarik, ditekan, ditekan tarik dan dapat ditempa.

Secara spesifik, logam tembaga mempunyai karakteristik memiliki simbol kimia Cu dengan nomor atom 29. Massa atom yang dimiliki Cu yaitu 63,54 dengan massa jenis nya : 8960 kg m^{-3} . Disamping itu, tembaga juga memiliki titik lebur 1356 K, panas jenis sebesar $0,383 \text{ KJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$, daya hantar panas $394 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$, elastisitas (modulus young) $110 \times 10^9 \text{ NM}^{-2}$, daya hantar listrik (% IACS) 100%, tahanan listrik $1,673 \times 10^{-8} \text{ ohm/ meter}$, dan Cu memiliki Struktur kristal *Face Centered Cubic*(DPRI, 2008).

5. Peran Penting Tembaga dalam Industri

Tembaga berperan pada hampir semua sisi kehidupan manusia. Tembaga mempunyai pengaruh yang cukup penting dimasyarakat, dari mulai bidang kesehatan sampai industri canggih. Peran penting tembaga dalam bidang industri, antara lain (DPRI, 2008) :

a) Industri Kelistrikan

Dibandingkan dengan logam-logam lainnya, tembaga merupakan logam yang memiliki daya hantar listrik terbaik. Sifat lentur, lunak, non korosif dan sebagai logam konduktor yang terbaik, membuat tembaga menjadi salah satu bahan baku kabel listrik bertegangan tinggi, menengah maupun rendah. Disamping itu, tembaga merupakan salah

satu komponen penting dari pembangkit-pembangkit tenaga listrik, motor penggerak dan transformator, dan sistem pembangkit energi terbarukan lainnya.

b) Industri Elektronika dan Komunikasi

Tembaga memegang peranan kunci dalam industri telekomunikasi dan informatika dunia. Mengikuti pesatnya perkembangan teknologi ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), peranan logam tembaga semakin penting dalam menunjang pemangunan jaringan transmisi data kecepatan tinggi, jasa internet, infrastruktur telepon dan lainnya.

c) Konstruksi

Tembaga dan kuningan merupakan logam yang banyak digunakan untuk sistem perpipaan, kran, katup, peralatan rumah tangga, dan sebagainya. Tembaga dan logam campuran tembaga lainnya sangat banyak berperan dalam perkembangan desain arsitektur, terutama dalam penggunaannya untuk kanopi, pintu, bingkai jendela, dan sebagainya. Tidak seperti plastik, tembaga tidak mudah terbakar, tidak mudah meleleh atau tidak mengeluarkan gas-gas berbahaya ketika terbakar.

d) Transportasi

Untuk menjalankan fungsi-fungsi penting pada mesin, semua modal transportasi tergantung pada tembaga. Campuran tembaga-nikel yang digunakan pada badan kapal dan perahu dapat mengurangi *biofouling* dari air laut, dengan demikian dapat mengurangi hambatan sehingga menghemat pemakaian bahan bakar. Tembaga pada mobil

dan truk dijumpai pada bagian radiator, elektromotor, kabel-kabel, konektor, rem dan bearing. Pada mobil-mobil mewah dan mobil *hybrid*, kandungan tembaga berkisar antara 20 kg sampai 45 kg. Kereta api berkecepatan tinggi yang terbaru memerlukan sekitar 2 ton sampai 4 ton logam tembaga, lebih banyak 1-2 ton dibandingkan dengan kereta listrik konvensional.

e) Industri Peralatan Rumah Tangga dan Produk Umum

Pada awal peradaban, tembaga sudah digunakan oleh berbagai masyarakat untuk mata uang logam. Akhir-akhir ini beberapa negara telah mengganti mata uang kertas bernominal kecil dengan mata uang logam, karena umur mata uang logam jauh lebih panjang jika dibandingkan dengan mata uang kertas. Logam paduan berbasis tembaga juga banyak digunakan pada kantor-kantor, peralatan rumah tangga, komputer, peralatan listrik, lampu-lampu dekorasi, kunci-kunci dan sebagainya

6. Potensi Tembaga di Sumatera Barat

Sumatera Barat merupakan salah satu wilayah di Kepulauan Indonesia yang mempunyai tatanan geologi cukup kompleks. Keadaan ini disebabkan letaknya di pertemuan tiga lempeng yaitu lempeng Eurasia di sebelah utara, lempeng Hindia Australia di sebelah selatan dan lempeng Pasifik di sebelah timur. Posisi Sumatera Barat yang berada di dekat tumbukan dua lempeng besar yaitu lempeng Hindia Australia dan Lempeng Eurasia disamping menerima akibat negatif yaitu daerah rawan bencana alam juga mendapat manfaat yaitu munculnya mineral-mineral

ekonomis ke permukaan, salah satunya adalah mineral tembaga. Sumatera Barat memiliki sumber daya bahan galian yang cukup dapat diandalkan yang terdiri atas bahan galian strategi, bahan galian vital dan bahan galian industri. Kabupaten Solok merupakan satu dari sedikit daerah di Sumatera 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 tembaga sebagai bahan industri. (BKPM,2014).

Potensi tembaga di Sumatera barat terdapat di beberapa daerah seperti (BKPM,2014) :

a) Kota Solok

Lokasi: Timbulun, X Koto Diatas, Luhak Selasih, Gunung Talang, Bulangsi, Surian, Pantai Cermin, Panningahan, X Koto Singkarak.

b) Kabupaten Solok Selatan

Lokasi: Batu Manjukur, Sungai Pagu, Sangir, Jorong Bulantik, Nagari Alam Paluh Dua, Kecamatan SungaiPagu, Pinti Kayu Prakiraan
Potensi: Hipotetik 40.000 ton.

Keterangan: Kandungan Cu bervariasi pada lokasi Batumanjukur 0,20-0,30% pada lokasi Sungai Pagu dan lokasi yang lain 12,0-14,0 %.

Batuan tembaga yang mengandung mineral tembaga banyak terdapat di Nagari Pinti Kayu Kecamatan Koto Parik Gadang Diarah Kabupaten Solok Selatan. Secara geografis, daerah ini terletak pada

101°11'45,9" *BT* – 1°26'17,1" *LS*. Namun Nagari Pinti Kayuini belum dapat mengoptimalkan dalam pemanfaatan batuan tembaga. Pemanfaatan batuan tembaga ini digunakan sebagai barang tambang dan menjadi salah satu lapangan pekerjaan bagi masyarakat sekitar. Namun batuan tembaga yang ada belum dapat dikelola dan dimanfaatkan dengan baik sehinggamemiliki nilai jual yang rendah(ESDM Solok Selatan, 2014).Padahal tembaga memiki banyak manfaat baik dalam industri kelistrikan,industri elektronika dan komunikasi, maupun transportasi.

B. Kristalografi

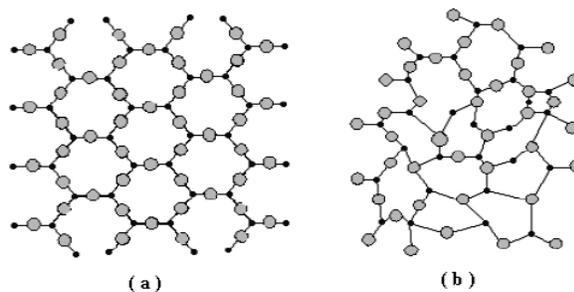
Kristalografi adalah suatu ilmu pengetahuan kristal yang dikembangkan untuk mempelajari perkembangan dan pertumbuhan kristal, termasuk bentuk, struktur dalam dan sifat-sifat fisiknya. Dahulu kristalografi merupakan bagian dari mineralogi, tetapi karena bentuk-bentuk kristal cukup rumit dan bentuk tersebut merefleksikan susunan unsur-unsur penyusunnya dan bersifat tetap untuk tiap mineral maka pada akhir abad XIX kristalografi dikembangkan menjadi ilmu tersendiri.

1. Fasa

Dalam konteks ilmu dan rekayasa material, fasa adalah bagian dalam suatu material yang berbeda dengan bagian-bagian lainnya dalam hal struktur atau komposisi. Contoh lain garam biasa dengan garam laut keduanya memiliki struktur NaCl. NaCl garam biasa dan garam laut berbeda fasa diakibatkan keduanya memiliki komposisi maupun struktur yang berbeda serta terjadi diskontinuitas antara keduanya (Van Vlack, 2004).

2. 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. 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. Sedangkan 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, akan tetapi pola susunan atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul yang dimiliki tidak teratur. Susunan atom yang berbeda antara kristal dan *amorf* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Susunan atom : (a). Susunan atom Kristaldan (b). Susunan atom amorf. (Smallman.1999)

Pada Gambar 6 dapat dilihat posisi suatu atom kecil berada diantara tiga atom besar yang mengelilingi disebut dengan tatanan rentangan dekat.

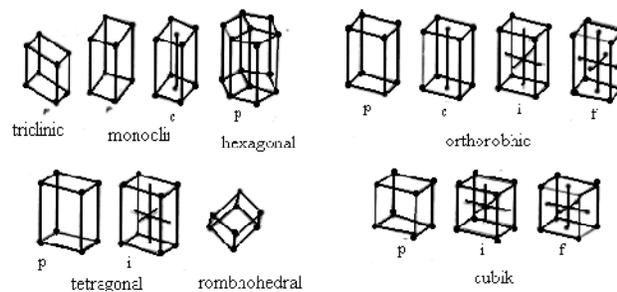
Perbedaan suatu kristal dan amorf dapat dilihat dari tatanan susunan kelompok segitiga atomnya. Gambar 6a. Memperlihatkan molekulnya tersusun secara berulang dan teratur dalam rantai yang panjang. Susunan lainnya pada Gambar 6b. molekulnya tersusun dengan keteraturan pendek, sehingga perbedaan antara amorf dengan kristal terlihat dari pola susunan atom-atomnya.

3. Struktur atau Sistem Kristal

Karakteristik bahan kristal ditentukan oleh ikatan atomik dalam kristal, orientasi bidang kristal, jarak antar bidang kristal dan sistem kristal (Abdullah,2009). Susunan khas atom-atom dalam kristal disebut sistem kristal atau 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*). Suatu kristal yang terdiri dari jutaan atom dapat dinyatakan dengan ukuran, bentuk, dan susunan sel satuan yang berulang dengan pola pengulangan yang menjadi ciri khas dari suatu kristal (Istiyono, 2000).

Menurut Abdullah (2009), pola dasar atau pola geometri dari kristal dapat diilustrasikan dalam bentuk yang sederhana yang disebut kisi. Kisi merupakan posisi dimana atom-atom penyusun kristal berada. Susunan kisi yang periodik akan membentuk sistem kristal (struktur kristal) dalam bentuk tiga dimensi. Kisi dapat dikatakan sebagai susunan sejumlah besar sel satuan yang susunannya sama, letaknya berdampingan satu sama lainnya, seperti tumpukan keping bijih 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 7 sistem kristal dan 14 sistem bravais yang seperti yang ditampilkan pada Gambar 7 dan Tabel 2.



Gambar 7. Empat belas kisi Bravais. (Abdullah, 2009)

Tabel 2. Tujuh sistem kristal (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	Rhombohedral	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	Simpel	P

Kisi-kisi pada Gambar 7 mendefinisikan suatu pengulangan titik yang periodik. Kita dapat menggantung atom-atom, molekul-molekul, atau kombinasi atom lain di titik-titik kisi. Struktur kristal terbentuk dari ikatan atom-atom penyusun kristal dan orientasi bidang kristal (Abdullah, 2009).

4. Bidang Kristal

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

Untuk membedakannya, maka :

- a) Untuk arah bidang digunakan simbol atau lambang $[h, k, l]$

Contoh : $[1, 1, 1]$

- b) Untuk bidang kristal digunakan lambang (h, k, l)

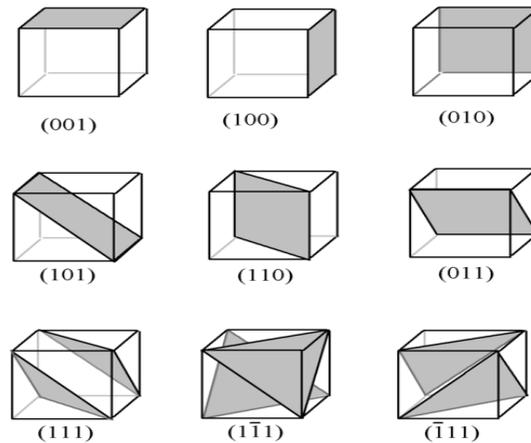
Contoh : $(1, 1, 1)$

Bidang kisi yang paling mudah digambarkan adalah bidang-bidang yang membatasi sel satuan disamping bidang lainnya. h, k, l , tersebut merupakan bilang-bilangan bulat seperti 0, 1, 2, 3, dan seterusnya

5. Indeks Miller

Dalam sistem tiga dimensi, kisi kristal akan membentuk pasangan bidang sejajar dan berjarak sama yang disebut bidang kisi. Bidang kisi ini akan menentukan arah permukaan dari suatu kristal. Arah suatu bidang dapat dinyatakan dengan parameter numeriknya. Indeks Miller merupakan harga kebalikan dari parameter numerik yang dinyatakan dengan simbol $(h k l)$.

Pada Gambar 8 menunjukkan beberapa contoh indeks miller pada beberapa bidang.



Gambar 8. Perpotongan bidang dan sumbu

C. 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 300⁰C adalah 0,5 nm, pada temperatur 400⁰C adalah 9,8 nm sedangkan pada temperatur 500⁰C 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 memisahkannya dan dipisahkan dengan pori-pori. Maka akibat temperatur yang dinaikkan secara terus menerus, terjadi pengecilan/penghilangan butir tersebut.

Perhitungan ukuran butir kristal menggunakan persamaan Scherrer.

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

Keterangan:

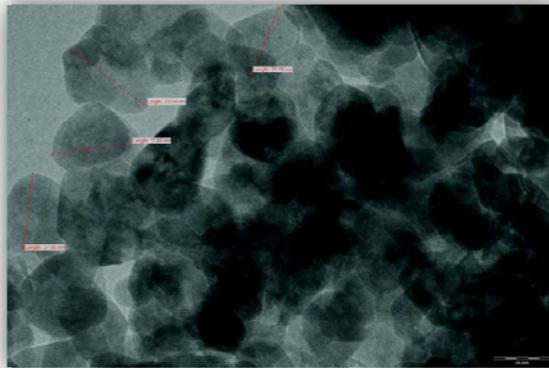
t : Ukuran butir

λ : panjang gelombang

θ : sudut difraksi

β : lebar puncak (rad)(Cullity, 1956)

Berdasarkan uraian peneliti sebelumnya mengenai pengaruh temperatur terhadap ukuran butir yaitu Ghufron (2011) mengenai bahan galian bijih tembaga, 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 9.



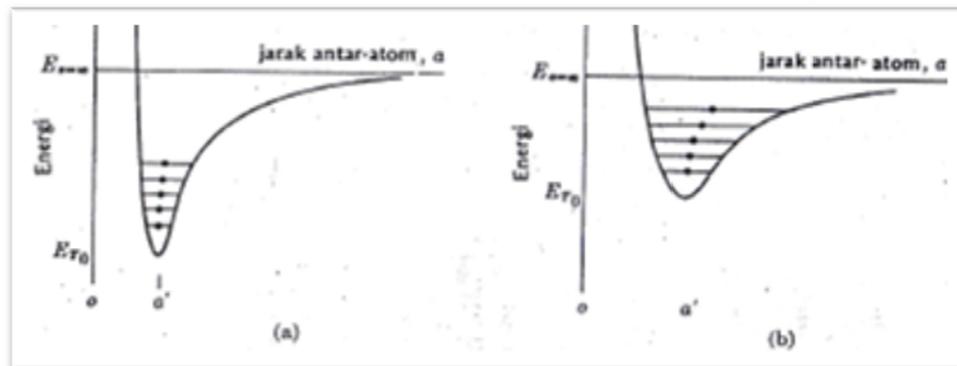
Gambar 9. Perubahan ukuran partikel saat diberi pengaruh temperatur (Xafier,2013)

Gambar 9 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.

2. Pengaruh Temperatur Terhadap Fasa dan Struktur Kristal

Temperatur kalsinasi berpengaruh terhadap fasa suatu zat. Apabila suatu material dipanaskan dengan laju pemanasan tetap maka akan terjadi perubahan fisika seperti perubahan fasa (Smallman, 2000). Hal ini sesuai dengan penelitian Natanael (2012) yang menganalisis hasil pemanggangan bijih tembaga. Natanael memberikan perlakuan dengan temperatur tinggi untuk mengkarakterisasi serbuk CuFe. Pemanasan sampel fasa *chalcopyrite* pada temperatur 850 °C didapatkan fasa Chalcosite.

Berubahnya fasa dan struktur dari material akibat temperatur disebabkan karena ketika suatu material dipanaskan maka akan terjadi peningkatan energi yang memungkinkan atom-atom bergetar pada jarak antar atom yang lebih besar seperti terlihat dalam Gambar 11.



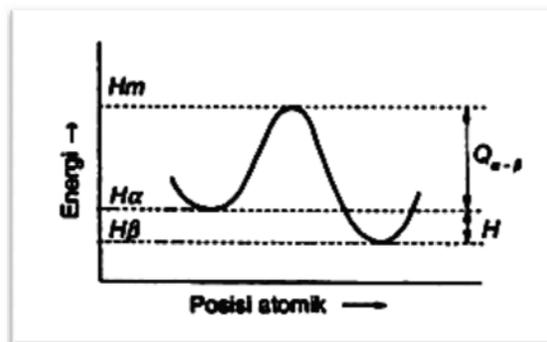
Gambar 11. Energi dan pemuaian : (a) Bahan padat dengan ikatan kuat dan (b) Bahan padat dengan ikatan lemah. (Van Vlack, 1995)

Gambar 11 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 tertentu (suhu), atom-

atom dapat saling menjauhi dengan lebih mudah dan lebih sulit untuk menekannya. Apabila suatu atom memiliki cukup energi untuk mendobrak ikatannya maka akan terjadi proses difusi, atom-atom melompat keposisi baru (Van Vlack, 1995).

Perubahan fasa dalam keadaan padat mencakup distribusi 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, apabila atom tersebut memiliki energi untuk melewati hambatan potensial seperti yang ditampilkan pada Gambar 12



Gambar 12. Hambatan energi yang memisahkan keadaan struktural

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 12, 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 (Natanael, 2012) menemukan terbentuknya senyawa Cu_2S atau *chalcosite* pada temperatur $850^\circ C$. 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.

3. Penelitian Terdahulu Tentang Variasi Temperatur Pada Tembaga Oksida

Dalam laporannya Departemen Perindustrian Republik Indonesia (2008) mengatakan secara garis besar bijih tembaga dibagi menjadi dua kelompok, yaitu : kelompok sulfida dan kelompok oksida. Pada kelompok endapan Sulfida primer, *chalcopyrite* ($CuFeS_2$) yang merupakan campuran antara tembaga dan besi sulfida dan juga yang terbesar, diikuti oleh *Chalcosite* (Cu_2S), *Bornite* (Cu_5FeS_4), *Chovelite* (CuS), dan *Enargite* (Cu_3AsS_4). Sedangkan mineral bijih utama tembaga oksida adalah *malachite* ($Cu_2(CO_3)(OH)_2$) dan *azurite* ($Cu_3(OH)_2CO_3$).

Banyak penelitian tentang mineral tembaga khususnya tembaga oksida yang sudah dilakukan, beberapa diantaranya melakukan penelitian tembaga dengan paduan logam lain, melihat kadar kandungan tembaga di beberapa tempat, dan memberikan perlakuan pada mineral tembaga seperti variasi suhu. Danilo (2006) dalam penelitiannya di Brazil mendeteksi pelepasan air dari Tembaga (II) hidroksida atau $Cu(OH)_2$ dan menemukan senyawa CuO atau tenorite pada temperatur $145^\circ C$. Irawan (2013) dengan penelitian yang dilakukan pada tembaga suhu sekitar $300^\circ C$ menemukan tembaga dapat bereaksi dengan oksigen sehingga terbentuk senyawa CuO yang berwarna hitam atau tenorite. Sedangkan pada suhu yang lebih tinggi, sekitar $1000^\circ C$, terbentuk tembaga(I) oksida (Cu_2O) yang berwarna merah atau disebut cuprite. Dalam penelitian yang dilakukan Natanael (2012) menemukan terbentuknya senyawa Cu_2S atau Chalcosite pada temperatur $850^\circ C$. Kiseleva (1992) dengan penelitiannya “*Thermodynamic properties of copper carbonates-malachite and azurite*”. Penelitian yang dilakukan Kiseleva melihat sifat termodinamika dari tembaga karbonat *malachite* dan *azurite* menggunakan *Differential Thermal Analysis* (DTA) dan dengan *Thermo Gravimetric Analyzer* (TGA). Dalam penelitian Kiseleva DTA digunakan untuk mengukur perbedaan suhu antara material sampel dengan material referensi dan TGA digunakan untuk merekam perubahan berat sampel.

D. X- Ray Diffraction

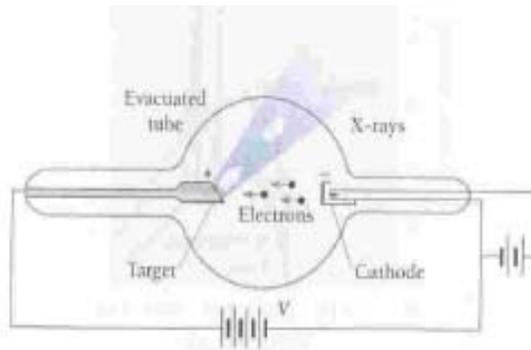
1. Sinar X

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 (Rosana. 2003) :

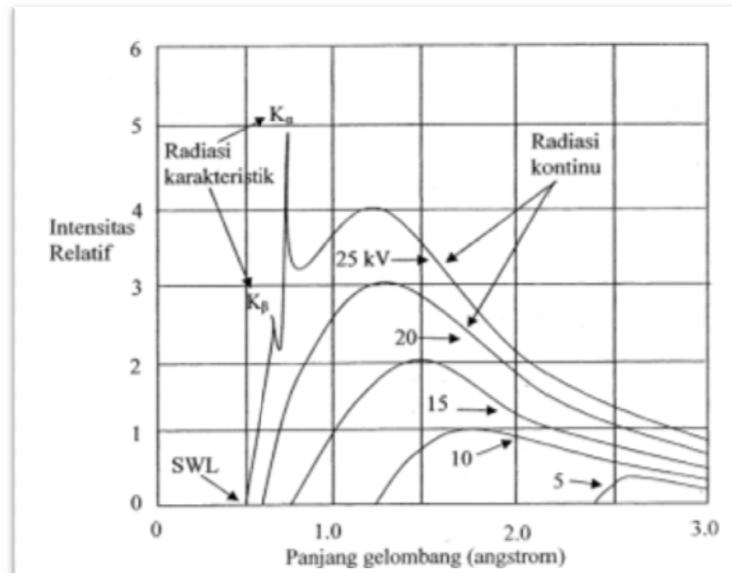
- a) Memiliki daya tembus yang sangat besar, dapat menembus logam dan zat yang lain.
- b) Menghitamkan plat fotografi.

Dari penjelasan di atas dapat dilihat diagram tabung sinar X pada Gambar 13.



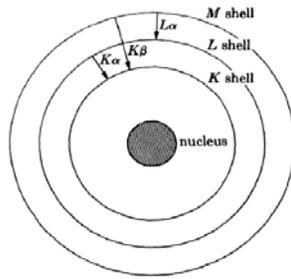
Gambar 13. Diagram tabung sinar X (Beiser:1987)

Gambar 13 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 kearah 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 tanpa 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). Spektrum sinar-X molybdenum ditampilkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Spektrum sinar-X molybdenum (Cullity, 1956)

Gambar 14 memperlihatkan jenis kurva yang diperoleh dari spektrum sinar x. Intensitas nol sampai panjang gelombang tertentu disebut dengan *short-wavelength limit* (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 *bremsstrahlung*. Sedangkan spektrum karakteristik terjadi apabila elektron terakselerasi mempunyai cukup energi untuk mengeluarkan satu elektron dalam dari kulitnya.



Gambar 15. Transisi elektron (Cullity,1956)

Gambar 15 menampilkan apabila elektron mengalami transisi dari kulit yang berdekatan misalnya dari kulit L ke kulit K maka radiasi emisi ini disebut radiasi $K\alpha$ sedangkan bila elektron mengalami transisi dari kulit M ke kulit K maka radiasi emisinya disebut radiasi $K\beta$.

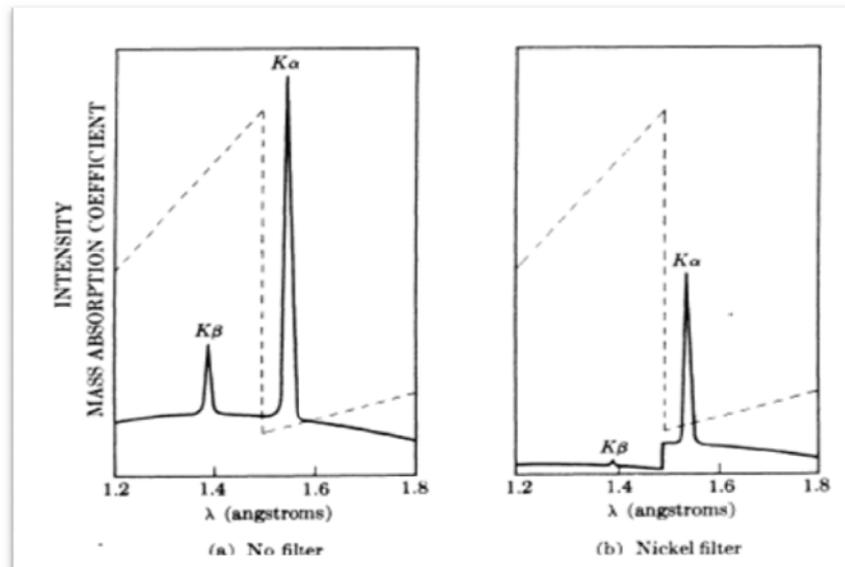
Dalam penggunaannya diperlukan sinar-x yang monokromatik, namun pada kenyataannya eksitasi $K\alpha$ dan $K\beta$ muncul bersama-sama. Ketika sinar-X dilewatkan pada bahan maka sinar-X tersebut akan ditransmisikan dan ada yang diabsorpsi sesuai dengan persamaan:

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

Dimana I_0 adalah intensitas awal sinar-x, I_x adalah intensitas transmisi sinar-X setelah melewati bahan dengan ketebalan x , μ adalah koefisien absorpsi linear yang bergantung pada panjang gelombang sinar-x dan jenis material pengabsorpsi.

Gambar 16 memperlihatkan radiasi yang keluar dari pembangkit sinar x, tidak hanya radiasi $K\alpha$ yang kuat tetapi juga ada radiasi $K\beta$ 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

mengabsorpsi radiasi $K\beta$ yang lemah dan radiasi $K\alpha$ yang cukup kuat akan diteruskan sehingga hasil yang keluar sinar x menjadi monokromatik (Cullity, 1956). Perbandingan radiasi Cu dengan filter dan tanpa filter ditampilkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Perbandingan radiasi Cu dengan filter dan tanpa filter (Cullity, 1956)

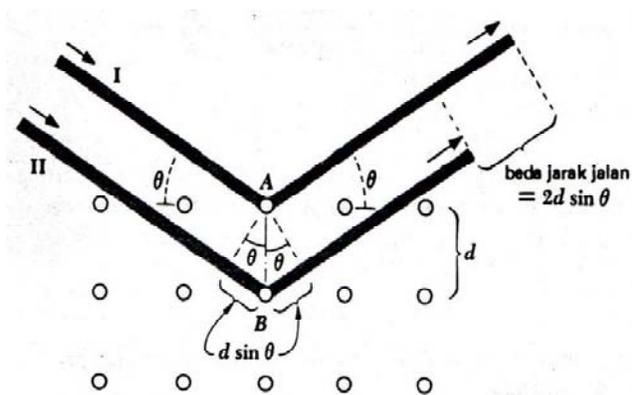
2. Difraksi sinar x

Difraksi sinar X oleh sebuah material terjadi akibat dua fenomena yaitu hamburan oleh tiap atom 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 17. Arah difraksi sangat ditentukan oleh geometri kisi, yang bergantung pada orientasi dan jarak antar bidang kristal.



Gambar 17. Difraksi Bragg (Beiser, 1987)

Gambar 17 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 λ , dan jatuh pada bidang kristal dengan jarak d dan sudut θ . Agar mengalami interferensi konstruktif, kedua berkas tersebut harus memiliki beda jarak $n\lambda$. Sedangkan beda jarak lintasan kedua berkas adalah $2d \sin \theta$. Interferensi konstruktif terjadi jika beda jalan sinar adalah kelipatan bulat panjang gelombang λ , sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan:

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

Pernyataan ini adalah hukum Bragg. Pemantulan Bragg dapat terjadi jika $\lambda \leq 2d$, karena itu tidak dapat menggunakan cahaya kasat mata, dengan n adalah bilangan bulat = 1,2,3, ... (Beiser, 1987). 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:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2+l^2}{a^2} \quad (3)$$

Dengan menerapkan hukum Bragg dari Persamaan (2) dan mensubstitusikan ke Persamaan (3), sehingga diperoleh persamaan:

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

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

Disinia, b , dan c adalah parameter kisi dan $h k l$ adalah indeks untuk menyatakan arah bidang kristal (indeks miller). Dari Persamaan (6), parameter kisi dan kristal dapat ditentukan. Untuk menentukan parameter kisi $a = b = c$, dapat digunakan persamaan :

$$\sin^2\theta \cdot 4a^2 = \lambda^2(h^2 + k^2 + l^2) \quad (6)$$

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

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 teridentifikasi sistem kristal pada bahan maka dapat menggunakan persamaan persamaan sebagai berikut (Cullity, 1956):

a) Kubik

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (8)$$

b) Rombohedral

$$\frac{1}{d^2} = \frac{(h^2 + k^2 + l^2)\sin^2\alpha + 2(hk + kl + hl)(\cos^2\alpha)}{a^2(1 - 3\cos^2\alpha + 2\cos^3\alpha)} \quad (9)$$

c) Tetragonal

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (10)$$

d) Orthorombik

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

e) Monoklinik

$$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{\sin^2\beta} \left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2 \sin^2\beta}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} - \frac{2hl \cos\beta}{ac} \right) \quad (12)$$

Heksagonal

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + l^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (13)$$

f) Trikinik

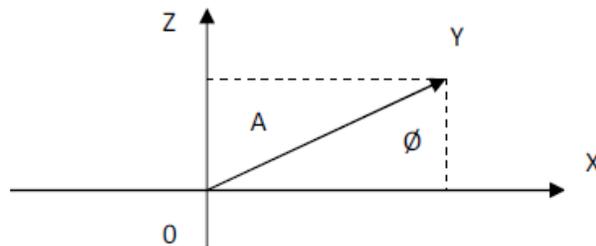
$$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{v^2} (S_{11}h^2 + S_{22}k^2 + S_{33}l^2 + 2S_{12}hk + 2S_{23}kl + 2S_{13}hl) \quad (14)$$

Dengan V = volume satuan sel

$$\begin{aligned} S_{11} &= b^2 c^2 \sin^2 \alpha & S_{12} &= abc^2 (\cos \alpha \cos \beta - \cos \gamma) \\ S_{22} &= a^2 c^2 \sin^2 \beta & S_{23} &= a^2 bc (\cos \beta \cos \gamma - \cos \alpha) \\ S_{33} &= a^2 b^2 \sin^2 \gamma & S_{13} &= ab^2 c (\cos \gamma \cos \alpha - \cos \beta) \end{aligned} \quad (15)$$

3. Faktor Struktur

Faktor struktur digunakan untuk menentukan intensitas hamburan oleh struktur atom tertentu. Menentukan faktor struktur harus ditentukan intensitas yang dihamburkan oleh satu atom kemudian menentukan kontribusi vektor gelombang dari atom-atom lainnya. Gambar 18 berikut adalah vektor gelombang dalam bidang kompleks.



Gambar 18. Vektor gelombang dalam bidang kompleks (Cullity, 1956)

Dengan menganalisa vektor gelombang dalam bidang kompleks yang dinyatakan dalam Gambar 18 dengan A adalah amplitudo gelombang dan fase gelombang dan θ adalah sudut antara vektor A dengan sumbu x , maka diperoleh persamaan 16:

$$Ae^{i\theta} = A \cos \theta + A \sin \theta \quad (16)$$

Fase gelombang dari unit atom adalah $\theta = 2\pi (hu+kv+lw)$ dengan u , v , w adalah koordinat dari atom dan f adalah faktor hamburan maka gelombang hamburan dalam bentuk eksponensial kompleks dapat dinyatakan dalam persamaan 17:

$$Ae^{i\theta} = f^{2\pi i (hu+kv+lw)}$$

Jadi, faktor struktur yang merupakan penjumlahan dari gelombang yang terhambur oleh individu-individu partikel. Dapat disimpulkan :

$$F_{hkl} = \sum_1^N f n e^{2\pi i (hu + kv + lw)} \quad (18)$$

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 struktur. Hal ini sesuai dengan persamaan 19.

$$I = |f|^2 p \left(\frac{1 + \cos^2 2\theta}{\sin^2 \theta \cos \theta} \right) \quad (19)$$

Dimana I adalah intensitas, f adalah faktor struktur, p adalah faktor multiplisitas dan θ 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 mempunyai atom-atom yang berada dibagian pojok-pojoknya saja. Dengan kata lain memiliki fraksi koordinat 0 0 0. Sehingga faktor struktur simpel kubik dapat diperlihatkan pada persamaan 20.

$$F = f e^{2\pi i(0)} = f \quad (20)$$

$$F^2 = f^2$$

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 $\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$. Memiliki faktor seperti pada persamaan 21:

$$F = fe^{2\pi i(0)} + fe^{2\pi i(\frac{h}{2} + \frac{k}{2} + \frac{l}{2})} = f[1 + fe^{\pi i(h+k+l)}] \quad (21)$$

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 , $\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ 0$, $\frac{1}{2}\ 0\ \frac{1}{2}$, dan $0\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$. Sehingga faktor strukturnya:

$$F = fe^{2\pi i(0)} + fe^{2\pi i(\frac{h}{2} + \frac{k}{2})} + fe^{2\pi i(\frac{h}{2} + \frac{l}{2})} + fe^{2\pi i(\frac{k}{2} + \frac{l}{2})} \quad (22)$$

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

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

$$F=4f \quad (23)$$

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

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

$$F=0 \quad (24)$$

$$F^2=0$$

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):

$$D = K \frac{\lambda}{B \cos(\theta_B)} \quad (25)$$

Dengan D adalah ukuran (diameter) kristalin, λ (lamda) adalah panjang gelombang pada 1.54 \AA , θ_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:

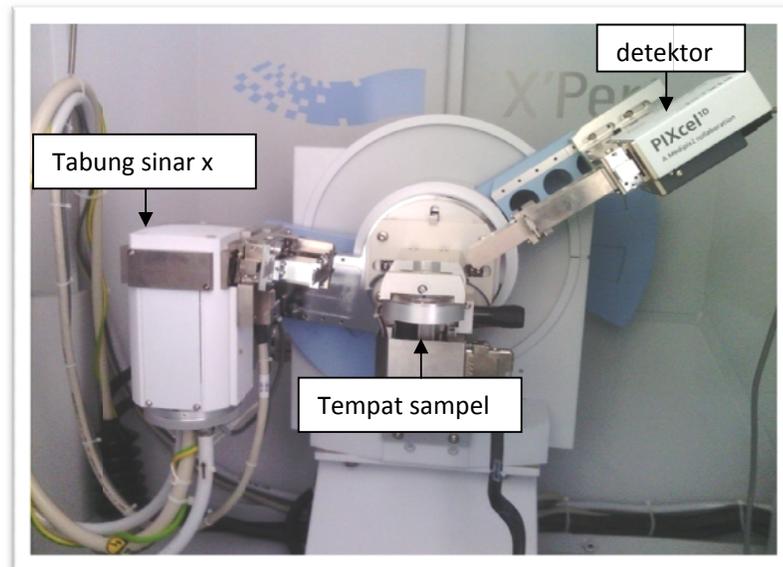
$$B = \sqrt{FWHM_{sp}^2 - FWHM_{st}^2} \quad (26)$$

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. Cara kerja XRD

X-Ray Diffractometer digunakan untuk menentukan karakteristik ditinjau dari fasa, struktur dan ukuran butir tembaga oksida yang terkandung pada bijih tembaga. Sebelum sampel dikarakterisasi dengan XRD, sampel terlebih dahulu dipreparasi. Tahapan preparasinya meliputi persiapan sampel holder, mengusapnya dengan tisu yang telah ditetesi alkohol, mengambil sampel dari tempat sampel seberat 1,4 gram dan memasukkannya ke sampel holder, sampel pada sampel holder diratakan dengan alat pres kecil, sampel holder siap dimasukkan ke alat XRD.

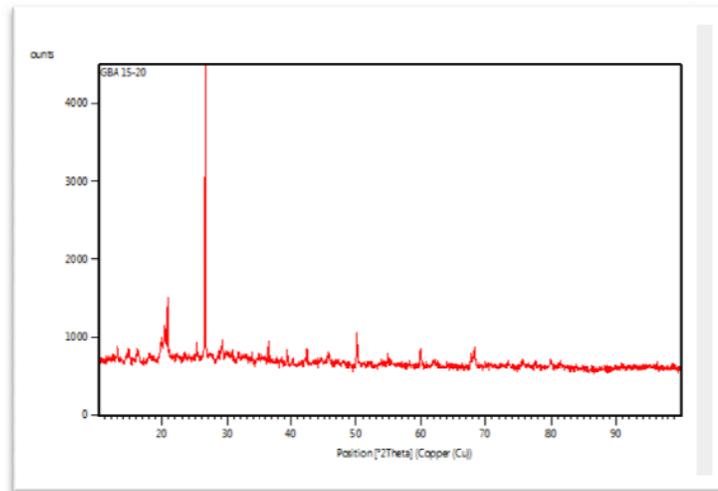
Tiga komponen dasar pada *x-ray diffractometer* yaitu sinar-x, tempat sampel dan detektor yang terletak pada suatu lingkaran yang sejajar dengan lingkaran fokus. Secara umum *x-ray diffraction* memiliki prinsip kerja sebagai berikut : XRD terdiri dari tiga bagian utama yaitu tabung sinar-x, tempat objek, dan detektor sinar-x. Prinsip kerja ini ditampilkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Skema kerja XRD

Pada Gambar 19 menampilkan prinsip kerja XRD. Sinar-x yang dihasilkan dari tabung sinar-x yang berisi katoda memanaskan filament, sehingga menghasilkan elektron. Perbedaan tegangan menyebabkan percepatan elektronakan menembaki objek. Elektron mempunyai tingkat energi yang tinggi menabrak elektron dalam objek sehingga dihasilkan pancaran sinar-x. Objek dan detektor berputar untuk menangkap dan merekam intensitas refleksi sinar-x.

Detektor merekam dan memproses sinyal sinar-x dan mengolahnya dalam bentuk grafik yang dinamakan difraktogram. Difraktogram menyatakan hubungan antara intensitas dengan sudut difraksi (2θ) yang diperlihatkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Hasil pengukuran berupa difraktogram.

Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif bervariasi sepanjang nilai 2θ tertentu. Besarnya intensitas relatif dari deretan puncak-puncak tersebut bergantung pada jumlah atom atau ion yang ada, dan distribusinya di dalam sel satuan material tersebut.

Pola difraksi setiap padatan kristalin sangat khas, yang bergantung pada kisi kristal, unit parameter dan panjang gelombang sinar-X yang digunakan. Dengan demikian, sangat kecil kemungkinan dihasilkan pola difraksi yang sama untuk suatu padatan kristalin yang berbeda (Warren, 1969 dalam Jamaludin, 2010).

E. *X-Ray Fluorescence*

1. Instrumen XRF

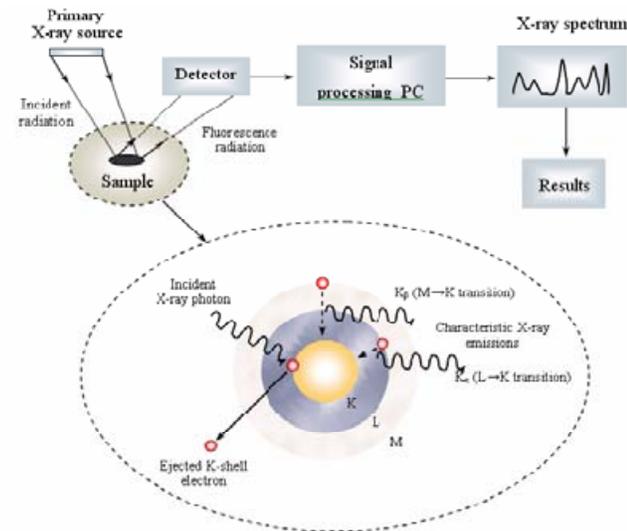
XRF adalah alat yang digunakan untuk menganalisis kandungan unsur dalam suatu bahan. Pada XRF terjadi pemancaran sinar X dari atom

tereksitasi yang dihasilkan oleh tumbukan elektron berenergi tinggi, partikel-partikel lain, atau suatu berkas utama dari sinar X lain. Secara umum, XRF spektrometer mengukur panjang gelombang komponen material secara individu dari emisi fluoresensi 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).

2. Cara kerja XRF

Prinsip kerja XRF didasari oleh peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik adalah gejala terlepasnya elektron pada logam akibat disinari cahaya atau gelombang elektromagnetik. Skema prinsip XRF ditunjukkan pada Gambar 21.



Gambar 21. Skema prinsip XRF

Ketika sinar X ditembakkan ke sampel, maka sebagian energi diserap oleh sampel dan sebagian lagi dipantulkan kembali. Energi yang diserap sampel adalah energi yang kurang dari batas ambang energi ikat atom dalam sampel tersebut, dan energi yang lebih tinggi dari energi ikat atom dalam sampel (melebihi energi ambang) akan dipantulkan. Energi yang dipantulkan ini merupakan energi elektron yang keluar dari permukaan sampel akibat disinari sinar x. Energi ini akan ditangkap oleh detektor. Dari detektor akan dihubungkan ke komputer sehingga data dari struktur sampel ini akan dapat dianalisis melalui komputer.

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 tembaga oksida di dalam bijih tembaga Nagari Pinti Kayu Kecamatan Koto Parik Gadang Diatesh Kabupaten Solok Selatan Sumatera Barat yaitu 89,65%.
2. Pemberian variasi temperatur kalsinasi pada bijih tembaga dari Nagari Pinti Kayu Kab.Solok Selatan mempengaruhi fasa tembaga oksida yang terbentuk. Pada temperatur kalsinasi 145⁰C fasa tembaga oksida yang muncul ialah *Malachite*, *Chalcosite*, *Tenorite* Pada temperatur kalsinasi 300⁰C fasa tembaga oksida yang muncul ialah *Malachite*, *Chalcosite*, *Tenorite* dan *Cuprite*. Pada temperatur kalsinasi 850⁰C fasa tembaga oksida yang muncul ialah *Chalcosite* dan *Tenorite*. Pada temperatur kalsinasi 1000⁰C fasa tembaga oksida yang muncul hanya *tenorite*.
3. Pemberian variasi temperatur kalsinasi pada bijih tembaga dari Nagari Pinti Kayu Kabupaten Solok Selatan mempengaruhi perubahan struktur tembaga oksida yang terbentuk. Perubahan struktur yang terjadi dari monoclinic dengan unit sel $a=4.6835 \text{ \AA}$ $b=3.4257 \text{ \AA}$ $c=5.1303 \text{ \AA}$ ke struktur struktur *cubic* unit sel $a=b=c=4.2670 \text{ \AA}$ kemudian *hexagonal* unit sel $a=b=3.8900 \text{ \AA}$ $c=6.6700 \text{ \AA}$.
4. Pemberian variasi temperatur kalsinasi pada bijih tembaga dari Nagari Pinti Kayu Kabupaten Solok Selatan mempengaruhi ukuran butir tembaga oksida

yang terbentuk. Meningkatnya temperatur kalsinasi ukuran butir tembaga oksida ada yang meningkat sampai dengan suhu tertentu dan kemudian menurun, seperti Ukuran butir *malachite* sebelum dipanaskan diperoleh sebesar 100,252862 nm, pada temperatur kalsinasi 145⁰C ukuran butir untuk fasa *malachite* memiliki ukuran butir sebesar 95,25603 nm, kemudian Pada temperatur 300⁰C fasa *Malachite* memiliki ukuran butir sebesar 37,29788507nm dan hilang pada temperatur 850⁰C. Ukuran butir *Chalcosite* pada temperatur kalsinasi 145⁰C diperoleh ukuran butir sebesar 92,02730262nm, menurun menjadi 25,98943 nmpada temperatur kalsinasi 300⁰C, kemudian kembali meningkat pada temperatur 850⁰C sebesar 50,51631 nm dan hilang pada temperatur 1000⁰C. *Cuprite* terlihat pada temperatur 300⁰C dengan ukuran butir sebesar 22,25738088nm dan hilang pada temperatur 850⁰C. Fasa *Tenorite* terlihat pada temperatur 145⁰C dengan ukuran butir sebesar 98,61319948nm , pada temperatur 300⁰C ukuran butir *tenorite* menurun sebesar 36,96341 nm, kemudian kembali meningkat pada temperatur 850⁰C dan 1000⁰C yaitu sebesar 56,66058 nm dan 76,49115604 nm.

B. Saran

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