

42081/H/11



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember



RSFi  
537.623  
PaD  
d.1  
20 10

TUGAS AKHIR - SF 091321

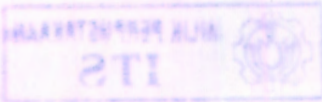
**DIFRAKSI KRISTAL SUPERKONDUKTOR**  
**GdBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>, YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>, DAN**  
**(Eu<sub>0,5</sub>Gd<sub>0,5</sub>)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>**

ERI SRI PALUPI  
NRP 1106 100 013

Dosen Pembimbing  
Dr. Darminto, M.Sc.

<b>PERPUSTAKAAN ITS</b>	
Tgl Terima	21-1-2011
Terima Dari	H
No Agenda Prp.	-

JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2010



2010  
01  
02  
537.023  
K271

TUGAS AKHIR - 2010

DIRAKSI KRISTAL SUPERKONDUKTOR  
Gd<sub>2</sub>BaCuO<sub>7-x</sub> YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> DAN  
(E<sub>g</sub> < E<sub>d</sub>) Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>

ERI SRI PALUPI  
NRP 1106 100 013

PERPUSTAKAAN	
ITS	
Tgl. Pinjam	21-1-2011
Torek Duit	H
No. Agenes PTP	-

Dr. Darmawan, M.Sc

JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS KEMATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SURABAYA  
SURABAYA 2010



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - SF 091321**

**CRYSTAL DIFFRACTION OF  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  
 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , AND  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$   
SUPERCONDUCTORS**

**ERI SRI PALUPI  
NRP 1106 100 013**

**Advisor Lecturer  
Dr. Darminto, M.Sc.**

**PHYSICS DEPARTMENT  
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL  
SCIENCES  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2010**



FINAL PROJECT - SF 091321

CRYSTAL DIFFRACTION OF  $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ ,  
 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ , AND  $(Eu_{1-x}Gd_x)Ba_2Cu_3O_{7-x}$   
SUPERCONDUCTORS

ERI SRI PATUPE  
NRP 1708 100 013

Advisor Lecturer  
Dr. Darminto, M.Sc.

PHYSICS DEPARTMENT  
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL  
SCIENCES  
SEPLUH NOREMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 1010



# LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

## DIFRAKSI KRISTAL SUPERKONDUKTOR

$\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  DAN  
( $\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5}$ ) $\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

## TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
Pada  
Bidang Studi Bahan  
Program Studi S-1 Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

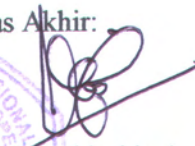
Oleh:

**Eri Sri Palupi**  
Nrp. 1106 100 013

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dr. Darminto, M.Sc.



  
(Pembimbing)

2010

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

DIPERAKSI KEMBALA SUPERKONDUKTOR

GdBB<sub>2</sub>CuO<sub>2</sub>-YBaCuO<sub>2</sub>-DAN

FaO<sub>2</sub>Gd<sub>2</sub>Ba<sub>2</sub>CuO<sub>2</sub>

TUGAS AKHIR

Digunakan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Menyelesaikan Gelar Sarjana Sains

Pada

Bidang Studi Fisika

Program Studi S-1 Jurusan Fisika

Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Arif Seti Palupi

NIP. 1906 100 013

Dibaca dan Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Dr. Darwanto M. S. (Pembimbing)



2010

## DIFRAKSI KRISTAL SUPERKONDUKTOR $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ DAN $(Eu_{0,5}Gd_{0,5})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$

Nama Mahasiswa : Eri Sri Palupi  
NRP : 1106 100 013  
Dosen Pembimbing : Dr. Darminto, M.Sc.

### Abstrak

Telah dilakukan penelitian mengenai superkonduktor  $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ,  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  dan  $(Eu_{0,5}Gd_{0,5})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  secara pencampuran basah untuk mengetahui pola difraksi kristal dengan menggunakan XRD. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan bahwa ketiga superkonduktor memiliki struktur ortorombik, grup ruang  $Pmmm$  (No. 47). Fraksi volume yang dihasilkan untuk superkonduktor  $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  adalah 99,80%, untuk superkonduktor  $(Eu_{0,5}Gd_{0,5})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  adalah 99,72% dan superkonduktor  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  adalah 99,50%. Penggantian Yttrium (Y) dengan Gadolynium (Gd) dan Europium (Eu) mengakibatkan panjang ikatan antar atom logam dengan oksigen menjadi lebih memanjang dan sudut ikatannya semakin mengecil.

*Kata kunci:*  $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$   $(Eu_{0,5}Gd_{0,5})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$   
 $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$

**DIKEMAS KRISTAL SUPERKONDUKTOR**  
 GbBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> (YBaCuO<sub>7-x</sub>) dan Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> secara

Nama Mahasiswa :  
 NRT :  
 Dosen Pembimbing :  
 Dr. Darminto M.Sc.  
 1106100013  
 111 Sri Pajadi

**Kata Kunci**

Teliti dilakukan penelitian mengenai superkonduktor GbBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>, YBaCuO<sub>7-x</sub> dan Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> secara perbandingan hasil untuk mengetahui pola difraksi kristal dengan menggunakan XRD. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa ketiga superkonduktor memiliki struktur ortorombik grup ruang Y<sub>232</sub> (No. 47). Fraksi volume yang dihasilkan untuk superkonduktor GbBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> adalah 80,3% untuk superkonduktor Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> adalah 80,50% dan superkonduktor YBaCuO<sub>7-x</sub> adalah 80,50%. Pengamatan Y<sub>232</sub> dengan Endogonium (Gb) dan Europium (Eu) menunjukkan panjang ikatan antar atom logam dalam oksida menjadi lebih memanjang dan sudut ikatannya semakin berkurang.

Kata Kunci :  
 YBaCuO<sub>7-x</sub>  
 Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>  
 GbBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>

**CRYSTAL DIFFRACTION OF  
GdBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>, YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>, AND  
(Eu<sub>0,5</sub>Gd<sub>0,5</sub>)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> SUPERCONDUCTORS**

Name : Eri Sri Palupi  
NRP : 1106 100 013  
Advisor Lecturer : Dr. Darminto, M.Sc.

**Abstract**

GdBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>, YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> and (Eu<sub>0,5</sub>Gd<sub>0,5</sub>)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> superconductors by wet mixing method have been investigated to study crystal diffraction pattern by using XRD. It can be concluded that all superconducting samples have orthorhombic structure with space group *Pmmm* (No.47). Volume fraction of GdBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>, (Eu<sub>0,5</sub>Gd<sub>0,5</sub>)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> and YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> superconductors are 99,8%; 99,72% and 99,50% respectively. Substitution of Yttrium(Y) by Gadolynium(Gd) and Europium (Eu) leads to increasing bonding length with oxygen atom and lowering their bonding angel.

*Keywords* : GdBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> (Eu<sub>0,5</sub>Gd<sub>0,5</sub>)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>  
YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>







## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini dengan judul **“Difraksi Kristal Superkonduktor  $GdBa_2Cu_3O_{7-6}$ ,  $YBa_2Cu_3O_{7-8}$  dan  $(Eu_{0,5}Gd_{0,5})Ba_2Cu_3O_{7-8}$ ”**. Sholawat serta salam tetap tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak dan Ibuku yang senantiasa mendo'akan dan memberikan kasih sayang yang melimpah.
2. Bapak Dr. Darminto, M.Sc selaku Dosen Pembimbing atas semua arahan dan bimbingan yang telah diberikan serta ilmu yang bermanfaat selama penyelesaian Tugas Akhir.
3. Dr. Andika Fajar, M.Eng selaku pembimbing coop penelitian di Batan atas semua diskusi, saran, dan bimbingan yang telah diberikan serta ilmu yang bermanfaat selama penyelesaian Tugas Akhir.
4. Drs. Heny Faisal, M.Si selaku Ketua Jurusan Program S1 Jurusan Fisika FMIPA ITS dan sebagai dosen penguji.
5. Bapak Drs. Suminar Pratapa selaku dosen penguji, terima kasih atas diskusi dan motivasinya.
6. Bapak Lila Yuwana, M.Si selaku Koordinator Tugas Akhir Program S1 Jurusan Fisika FMIPA ITS.
7. Ibu Lea Prasetio, M.Si selaku dosen wali.
8. Seluruh dosen dan karyawan Fisika FMIPA ITS.
9. Mbak Rika dan Mbak Irma serta Keluarga besar atas segala doa, kepercayaan, dan dukungannya.
10. Risco yang selalu mendoakan dan menyemangati.
11. Pak Wayan dan Hardi atas bantuan dan diskusinya.

12. Febie dan Dian yang selalu menyemangati disaat sudah jenuh.
13. Untuk teman-teman seperjuangan di Lab. Asam dan Karakteristik Hamid, Fera, Devi, Reni, Ayu, Ghufron, Lia, Mbak Henyk, Ahong, Iwan dan Sulthon terimakasih atas segala doa dan bantuannya.
14. Sahabat dan teman-teman khususnya Fisika 2006.
15. Serta pihak-pihak lain yang telah membantu dalam penulisan tugas akhir ini, mohon maaf kalau tidak disebutkan satu persatu.

Setiap ada kelebihan pasti ada kekurangan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun terhadap Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bisa memberikan manfaat dan inspirasi terutama bagi pihak-pihak yang menekuni bidang terkait dengan yang penulis kerjakan.

Surabaya, Juli 2010

**Eri Sri Palupi**

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>HALAMAN JUDUL</b>	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	iii
<b>ABSTRAK</b>	v
<b>ABSTRACT</b>	vii
<b>KATA PENGANTAR</b>	ix
<b>DAFTAR ISI</b>	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b>	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	xvii
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Sistematika Laporan	3
1.6 Manfaat Penelitian	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Fenomena Superkonduktivitas	5
2.1.1 Efek Meissner	7
2.1.2 Tipe Superkonduktor	8
2.2 Superkonduktor Sistem RE-123	10
2.3 Difraksi Sinar-X	15
2.4 Metode Analisa Rietveld	17
2.4.1 Prinsip Analisis Rietveld	18
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Bahan	21
3.2 Peralatan	21
3.3 Prosedur Kerja	22
3.4 Analisis Data	25

3.4.1. Karakterisasi dengan XRD ( <i>X-ray Diffraction</i> )	25
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Pola Difraksi Hasil Pengukuran XRD	27
4.2. Identifikasi Fasa menggunakan search-match	29
4.2.1. Superkonduktor $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	30
4.2.2. Superkonduktor $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	31
4.2.3. Superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	32
4.3. <i>Refinement</i> Pola Difraksi Sinar-X	33
4.3.1. <i>Refinement</i> Pola Difraksi Sinar-X Superkonduktor $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	33
4.3.2. <i>Refinement</i> Pola Difraksi Sinar-X Superkonduktor $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	35
4.3.3. <i>Refinement</i> Pola Difraksi Sinar-X Superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	37
4.4. Struktur Kristal	36
4.4.1. Struktur Kristal Superkonduktor $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	39
4.4.2. Struktur Kristal Superkonduktor $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	44
4.4.3. Struktur Kristal Superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	49
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	57
<b>LAMPIRAN</b>	59



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bahan superkonduktor di atas sebuah magnet.	7
Gambar 2.2	Hubungan antara kuat medan magnet terpasang H terhadap T untuk Tipe I	9
Gambar 2.3	Struktur kristal superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ , a) Orthorombik, b) Tetragonal	10
Gambar 2.4	Blok aktif dan blok reservoir muatan pada superkonduktor YBCO-123 atau (NEG)-123	13
Gambar 2.5	a). Pengukuran $\rho_{ab}$ pada bahan superkonduktor b). Pengukuran $\rho_c$ pada bahan superkonduktor	14
Gambar 2.6	Proses difraksi sinar-X pada sebuah kristal	16
Gambar 2.7	Pola difraksi serbuk sinar-X	16
Gambar 3.1	Skema Kerja Pembuatan Superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$	22
Gambar 3.2	Skema Kerja Pembuatan Superkonduktor $(Eu_{0,5}Gd_{0,5})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$	23
Gambar 3.3	Skema Kerja Pembuatan Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ .	24
Gambar 3.4	<i>X-Ray Diffraktometer (XRD)</i>	25
Gambar 4.1	Pola Difraksi Sinar-X Superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , $(Eu_{0,5}Gd_{0,5})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ dan $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ .	28
Gambar 4.2	Perbandingan pola difraksi serbuk sinar-X pada puncak dengan intensitas tertinggi untuk superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ dan $(Eu_{0,5}Gd_{0,5})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$	29
Gambar 4.3	Hasil <i>search-match</i> Superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ .	30
Gambar 4.4	Hasil <i>search-match</i> Superkonduktor $(Eu_{0,5}Gd_{0,5})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ .	31
Gambar 4.5	Hasil <i>search-match</i> Superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ .	32
Gambar 4.6	<i>Refinement</i> Pola Difraksi Serbuk Sinar-X Superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ .	33

Gambar 4.7	<i>Refinement</i> Pola Difraksi Serbuk Sinar-X Superkonduktor $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .	35
Gambar 4.8	<i>Refinement</i> Pola Difraksi Serbuk Sinar-X Superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .	37
Gambar 4.9	Struktur Kristal Superkonduktor $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	39
Gambar 4.10	Koordinasi atom-atom logam dengan oksigen dalam sel satuan fasa $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ : (a) Nd-O, (b) Ba-O, (c) Cu(1)-O dan Cu(2)-O.	40
Gambar 4.11	Struktur Kristal Superkonduktor $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .	44
Gambar 4.12	Koordinasi atom-atom logam dengan oksigen dalam sel satuan fasa $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ : (a) Eu-O, (b) Ba-O, (c) Cu(1)-O dan Cu(2)-O.	46
Gambar 4.13	Struktur Kristal Superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .	49
Gambar 4.14	Koordinasi atom-atom logam dengan oksigen dalam sel satuan fasa $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ : (a) Y-O, (b) Ba-O, (c) Cu(1)-O dan Cu(2)-O.	51



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perkembangan bahan superkonduktor dari saat pertama kali ditemukan sampai pada tahun 80-an	6
Tabel 2.2	Beberapa logam murni (superkonduktor Tipe I)	8
Tabel 2.3	Suhu dekomposisi peritektik dari superkonduktor (RE)BCO	11
Tabel 4.1	Hasil penghalusan multifasa pola difraksi sinar-X superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ . Struktur Ortorombik, Grup ruang $Pmmm$ , No. 47. $a = 3,8415 (4) \text{ \AA}$ ; $b = 3,9010 (8) \text{ \AA}$ ; $c = 11,7234 (8) \text{ \AA}$ ; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ; $R_p = 51,5$ ; $R_{wp} = 38,8$ ; $R_e = 24,3$ ; $\chi^2 = 2,559$	34
Tabel 4.2	Hasil penghalusan multifasa pola difraksi sinar-X superkonduktor $(Eu_{0,5}Gd_{0,5})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ . Struktur Ortorombik, Grup ruang $Pmmm$ , No. 47. $a = 3,8467 (5) \text{ \AA}$ ; $b = 3,9053 \text{ \AA}$ ; $c = 11,7382 (2) \text{ \AA}$ ; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ; $R_p = 62,3$ ; $R_{wp} = 54,3$ ; $R_e = 22,1$ ; $\chi^2 = 6,057$	36
Tabel 4.3	Hasil penghalusan multifasa pola difraksi sinar-X superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ . Struktur Ortorombik, Grup ruang $Pmmm$ , No. 47. $a = 3,8262 (7) \text{ \AA}$ ; $b = 3,8886 (3) \text{ \AA}$ ; $c = 11,6921 (8) \text{ \AA}$ ; $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ; $R_p = 52,1$ ; $R_{wp} = 39,7$ ; $R_e = 22,8$ ; $\chi^2 = 3,021$	38
Tabel 4.4	Jarak antar dua atom (X-O) pada superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$	42
Tabel 4.5	Sudut antara tiga atom (O-X-O) pada superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ .	43
Tabel 4.6	Jarak antar dua atom (X-O) pada superkonduktor $(Eu_{0,5}Gd_{0,5})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$	46
Tabel 4.7	Sudut antara tiga atom (O-X-O) pada superkonduktor $(Eu_{0,5}Gd_{0,5})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$	47
Tabel 4.8	Jarak antar dua atom (X-O) pada	51

31	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	52
32	Sudut antara tiga atom (O-X-O)	
33	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	
34	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	
35	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	
36	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	
37	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	
38	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	
39	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	
40	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	
41	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	
42	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	
43	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	
44	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	
45	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	
46	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	
47	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	
48	superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$	

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Penentuan Komposisi Massa Sampel dan Jumlah $\text{HNO}_3$	59
Lampiran B	Inorganic Crystal Structure Database (ICSD) $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.5}$	68
Lampiran C	Crystallography Open Database $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.5}$	69
Lampiran D	Informasi untuk Grup Ruang (No.47)	71

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

Lampiran A	Pembuatan Klusteran Matriks Somet dan	59
Lampiran B	Programme (Grafic Structure Database (GSD)	68
Lampiran C	Cytosilography Open Database (B.C.A.O.)	69
Lampiran D	Informasi untuk Grup Ruang (No 45)	71

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Superkonduktor merupakan material yang dapat mengalirkan arus listrik tanpa adanya hambatan atau resistansi ( $\rho = 0$ ), sehingga dapat menghantarkan arus listrik tanpa kehilangan daya sedikitpun. Fenomena ini pertama kali ditemukan oleh H.K Onnes pada tahun 1911 dengan mendinginkan Merkuri (Hg) menggunakan helium cair. H.K Onnes menemukan pada temperatur 4,2 K hambatan listrik Merkuri menurun dari 0,03  $\Omega$  menjadi  $3 \times 10^{-6}$   $\Omega$ . Kendala yang dihadapi pada aplikasi bahan superkonduktor adalah sifat superkonduktivitas bahan akan muncul pada suhu yang amat rendah jauh dibawah 0°C. Hal ini mulai dapat teratasi setelah ditemukan superkonduktor temperatur tinggi atau lebih dikenal sebagai superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST) (Darminto, 1999).

Superkonduktor dari unsur tanah jarang *rare earth* dengan komposisi kimianya adalah  $(RE)_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  (RE = Gd, Eu) merupakan bahan superkonduktor pengembangan dari superkonduktor sistem Yttrium yaitu  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ . Tujuan penggantian unsur Y dengan unsur tanah jarang *rare earth* adalah untuk meningkatkan medan magnetik kritis ( $H_c$ ) bahan, karena diketahui bahwa unsur-unsur tanah jarang Gd dan Eu merupakan bahan magnetik. Penelitian  $(RE)_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  (RE = Gd, Eu) sudah banyak dilakukan, hanya saja konsentrasi penelitian masih berkisar pada pengamatan struktur mikro (*microstructure*), seperti perlakuan suatu parameter untuk memperbesar butiran, *magnetic trapped*, analisis fluks *pinning*, dan pengamatan impuritas. Sedangkan penelitian mengenai struktur kristal superkonduktor  $(RE)_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  (RE = Gd, Eu) belum banyak dilakukan.



Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi bahan superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dengan *X-Ray Diffraction* (XRD). Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan kedua bahan superkonduktor tersebut dengan superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Pengolahan data difraksi akan dilakukan dengan metode *Rietveld* menggunakan program *Rietica* dan *FullProf*. Selain itu dilakukan analisis struktur kristal superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

### 1.2. Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dihadapi dalam penelitian Difraksi Kristal Superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  sebagai berikut:

1. Bagaimana melakukan analisis secara kuantitatif-kualitatif terhadap fasa superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dari pola difraksi sinar-x dengan menggunakan analisis *Rietveld*.
2. Bagaimana menganalisis struktur kristal superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

### 1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang dibahas dalam penelitian Difraksi Kristal Superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $(\text{Gd}_{0,5}\text{Eu}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  adalah ditekankan pada penentuan analisa secara kuantitatif dan kualitatif terhadap fasa superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $(\text{Gd}_{0,5}\text{Eu}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dari pola difraksi sinar-x dengan menggunakan analisis *Rietveld* dan penentuan struktur kristal superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $(\text{Gd}_{0,5}\text{Eu}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .



#### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian Difraksi Kristal Superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $(\text{Gd}_{0,5}\text{Eu}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  adalah:

1. Dapat menganalisis secara kuantitatif-kualitatif terhadap fasa superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $(\text{Gd}_{0,5}\text{Eu}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dari pola difraksi sinar-x dengan menggunakan analisis *Rietveld*.
2. Dapat menganalisis struktur kristal superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $(\text{Gd}_{0,5}\text{Eu}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

#### 1.5. Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini disusun dengan sistematika laporan sebagai berikut: Bab I Pendahuluan yang berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian serta sistematika laporan; Bab II Tinjauan Pustaka yang berisi teori-teori dasar sebagai landasan pelaksanaan penelitian yang diambil dari berbagai sumber pustaka; Bab III Metodologi Penelitian yang menjelaskan tentang langkah-langkah penelitian hingga didapatkan data-data yang diperlukan dalam penelitian; Bab IV Analisa Data dan Pembahasan yang berisi tentang analisa data dan interpretasi data-data penelitian; Bab V Kesimpulan dan Saran yang berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian dan saran-saran yang ditujukan untuk penelitian lebih lanjut, Daftar Pustaka, Lampiran, serta Biodata Penulis.

#### 1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk ikut serta dalam mengembangkan penelitian dalam bidang superkonduktor yang selama ini telah dilakukan oleh para peneliti. Dan kontribusi penelitian ini pada pengembangan ilmu pengetahuan adalah dapat memberikan informasi yang lebih terbaru tentang superkonduktor yang memiliki rapat arus tinggi, suhu kritis tinggi, dan medan magnetik tinggi yang

nantinya akan memberi peluang lebih besar kepada aplikasi teknologi dan segi ilmiah. Dengan berakhirnya penelitian ini, peneliti berharap penelitian akan terus berlanjut untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas yang ada.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Fenomena Superkonduktivitas

Superkonduktivitas suatu bahan bukanlah hal yang baru. Sifat ini diamati untuk yang pertama kalinya pada tahun 1911 oleh fisikawan Belanda *H.K. Onnes*, yaitu ketika ia menemukan bahwa air raksa murni yang didinginkan dengan helium cair suhu 4,2 K kehilangan seluruh resistansi listriknya ( $\rho = 0$ ). Sejak itu harapan untuk menciptakan alat-alat listrik yang ekonomis terbuka lebar, dengan resistansinya yang nol superkonduktor dapat menghantarkan arus listrik tanpa kehilangan daya sedikitpun, kawat superkonduktor tidak akan menjadi panas dengan lewatnya arus listrik. Kendala terbesar yang masih menghadang terapan superkonduktor dalam peralatan praktis sehari-hari adalah bahwa superkonduktivitas bahan barulah muncul pada suhu yang sangat rendah, jauh di bawah 0 °C. Dengan demikian niat penghematan pemakaian daya listrik masih harus bersaing dengan biaya pendinginan yang harus dilakukan. Oleh sebab itulah para ahli sampai sekarang terus berlomba-lomba menemukan bahan superkonduktor yang dapat beroperasi pada suhu tinggi mencapai pada suhu kamar. Perkembangan bahan superkonduktor dari saat pertama kali ditemukan sampai pada tahun 80-an dapat diikuti pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Keluarga superkonduktor yang terdiri dari unsur-unsur tunggal disebut superkonduktor tipe I atau superkonduktor konvensional, ada kira-kira 27 jenis dari tipe ini. Suatu hal yang menarik, bahwa unsur-unsur yang pada suhu kamar merupakan konduktor banyak diantara mereka yang tidak memiliki sifat superkonduktor pada suhu rendah, contohnya tembaga, perak dan golongan alkali. Pada tahun 1960-an lahirlah keluarga superkonduktor tipe II, yang biasanya berupa kombinasi unsur molybdenum (Mo), niobium (Nb), timah



(Sn), vanadium (V), germanium (Ge), indium (In) atau galium (Ga). Sebagian merupakan senyawa, sebagian lagi merupakan larutan padatan. Sifatnya agak berbeda dengan tipe I karena suhu kritiknya relatif lebih tinggi. Semua alat yang telah menerapkan superkonduktor dewasa ini menggunakan bahan tipe II (Sugata, 1989).

**Tabel 2.1** Perkembangan bahan superkonduktor dari saat pertama kali ditemukan sampai pada tahun 80-an.

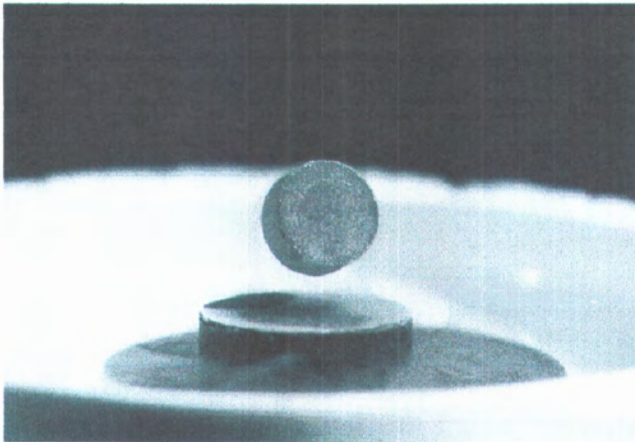
Bahan	$T_c$ (K)	Ditemukan tahun
Raksa Hg ( $\alpha$ )	4,2	1911
Timbal Pb	7,2	1913
Niobium nitrida	16,0	1960-an
Niobium-3-timah	18,1	1960-an
$Al_{0,8}Ge_{0,2}Nb_3$	20,7	1960-an
Niobium germanium	23,2	1973
Lanthanum barium tembaga oksida	28	1985
Yttrium barium tembaga oksida (1-2-3 atau YBCO)	93	1987
Thalium barium kalsium tembaga oksida	125	1987

Perubahan tiba-tiba dari konduksi normal ke superkonduksi tidak hanya bergantung pada suhu, tetapi juga pada kuat medan magnet terpasang  $H$  dan rapat arus  $J$ . Ada kuat medan magnet kritis  $H_c$  yang bila dilampaui akan merusak superkonduktivitas. Rapat arus kritis  $J_c$  bila dialirkan pada bahan superkonduktor juga akan menghilangkan superkonduktivitas. Jadi ada tiga parameter yang mempengaruhi superkonduktivitas sebuah superkonduktor, yakni suhu, medan magnet, dan rapat arus. Fakta yang mendasar tentang superkonduktor adalah bahwa dalam keadaan superkonduksi :

- Fluks magnetik terdorong keluar dari bahan
- Medan listrik internal,  $E = 0$  (Engkir, 1991).

### 2.1.1 Efek Meissner

Sifat kemagnetan superkonduktor diamati oleh *W. Meissner* dan *Ochsenfeld* pada tahun 1933, ternyata superkonduktor berkelakuan seperti bahan diamagnetik sempurna, ia menolak medan magnet sehingga ia pun dapat mengambang di atas sebuah magnet tetap, seperti terlihat pada Gambar 2.1. Jadi kerentanan magnetnya (susceptibility)  $\chi = -1$ , dibandingkan dengan konduktor biasa yang  $\chi = -10^{-5}$ . Fenomena ini disebut efek Meissner, jadi satu keunggulan lagi bagi superkonduktor terhadap konduktor biasa (Sugata, 1989).



**Gambar 2.1** Bahan superkonduktor di atas sebuah magnet.



### 2.1.2 Tipe Superkonduktor

Superkonduktor pada umumnya terbagi ke dalam dua tipe, yang biasa disebut Tipe I dan Tipe II.

- a) Material yang tergolong superkonduktor Tipe I adalah bahan dari unsur-unsur logam murni seperti Hg, Pb, Sn, In dan sebagainya. Superkonduktor ini hanya mampu mempertahankan superkonduktivitasnya dalam medan magnet yang lebih kecil dari 1000 gauss. Agar tetap superkonduktif bahan tipe I harus menolak seluruh medan magnet internal. Untuk menghalau fluks magnetik tersebut diperlukan energi dan energi yang digunakan adalah energi bebas superkonduktor (the superconductor's free energy). Jika "budget" energi bebas habis terpakai /tidak mencukupi, bahan tidak lagi ada dalam keadaan superkonduksi (Darminto, 2009).

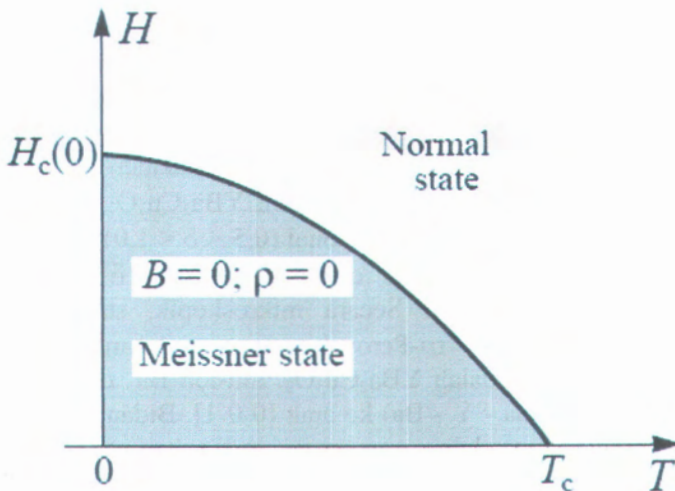
**Tabel 2.2** Beberapa logam murni (superkonduktor Tipe I)

<i>Element</i>	$T_c$ (K)	$\lambda(0)$ ( $\text{\AA}$ )	$\xi_0$ ( $\text{\AA}$ )	$H_c$ (T)
Al	1.1	500	16000	0.01
Pb	7.2	390	830	0.08
Sn	3.7	510	2300	0.03
In	3.4	640	4400	0.03
Tl	2.4	920	-	0.02
Cd	0.56	1300	7600	0.003

Gambar 2.1 Bahan superkonduktor di atas adalah magnet





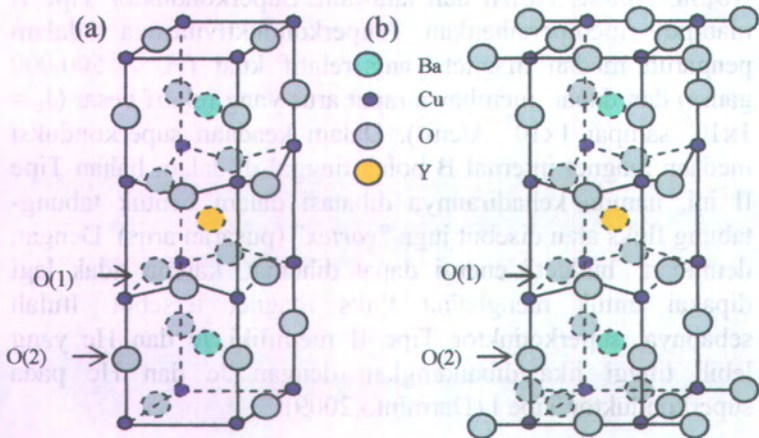


**Gambar 2.2** Hubungan antara kuat medan magnet terpasang  $H$  terhadap  $T$  untuk Tipe I (Mourachkine, 2004)

- b) Bahan superkonduktor Tipe II biasanya adalah *alloy*, seperti  $Nb_3Sn$ ,  $Nb_3Ge$ ,  $Nb_3Al$  dan lain-lain. Superkonduktor Tipe II mampu mempertahankan superkonduktivitasnya dalam pengaruh medan magnet yang relatif kuat ( $H_c > 500.000$  gauss) dan dapat membawa rapat arus yang relatif besar ( $J_c = 1 \times 10^6$  sampai  $1 \times 10^7$  A/cm<sup>2</sup>). Dalam keadaan superkonduksi medan magnet internal  $B$  boleh tinggal di dalam bahan Tipe II ini, namun kehadirannya dibatasi dalam bentuk tabung-tabung fluks atau disebut juga "vortex" (pusaran arus). Dengan demikian "budget" energi dapat dihemat, karena tidak lagi dipakai untuk menghalau fluks magnet tersebut. Itulah sebabnya, superkonduktor Tipe II memiliki  $J_c$  dan  $H_c$  yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan  $J_c$  dan  $H_c$  pada superkonduktor Tipe I (Darminto, 2009).

## 2.2 Superkonduktor Sistem RE-123

Menurut B.R. Lehndorff sifat-sifat superkonduktor keramik sistem RE-123 (RE = Y, Nd, Eu, Gd) sangat dipengaruhi oleh kandungan oksigen yang terdapat dalam senyawa tersebut. Kandungan oksigen ditentukan oleh perlakuan pada proses pembuatannya. Superkonduktor sistem  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  mempunyai dua struktur yaitu struktur tetragonal ( $0,5 < \delta < 1,0$ ) yang bersifat semikonduktor dan struktur orthorombik ( $0 < \delta < 0,5$ ) yang bersifat superkonduktor. Secara mikroskopik, struktur kristal  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  adalah tri-Perovskite non-stoikiometrik dengan struktur idealnya adalah  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ . Ion-ion  $\text{Ba}^+$  dan  $\text{Y}^+$  teratur dalam deretan (Ba - Y - Ba) ke arah  $[0\ 0\ 1]$ . Bidang  $z = \frac{1}{2}$  sama sekali tidak dihuni oleh atom oksigen, sedangkan pada bidang  $z = 0$ , posisi b ( $1/2\ 0\ 0$ ) seluruhnya dihuni oleh oksigen. Posisi 1 e ( $0\ \frac{1}{2}\ 0$ ) sama sekali kosong dan posisi 2 r ( $0\ \frac{1}{2}\ z$ ) sebagian terisi oleh atom. Adanya kekosongan pada posisi 1 e menyebabkan konstanta kisi  $b < a$  sehingga sel satuannya berbentuk orthorombik. Struktur kristal orthorombik dan tetragonal superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  diperlihatkan pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Struktur kristal superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$   
(a) Orthorombik, (b) Tetragonal.

Superkonduktor sistem  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (Y-123) kemudian dikembangkan menjadi superkonduktor sistem  $(\text{RE})_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , dengan mengganti blok Y dengan blok (RE) yang tersusun oleh ion-ion tanah jarang (*rare earth*) Nd, Eu dan Gd. Ion-ion Nd, Eu dan Gd merupakan bahan-bahan magnetik. Tujuan dari penggantian ion Y dengan ion-ion Nd, Eu dan Gd adalah untuk menghasilkan bahan superkonduktor yang mempunyai medan magnetik kritis yang tinggi. Superkonduktor sistem  $(\text{RE})_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (RE-123) lebih baik dibandingkan superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , dan bahkan diprediksi sebagai bahan yang paling berpeluang untuk dapat diaplikasikan dewasa ini. Keunggulan superkonduktor RE-123 dibandingkan superkonduktor suhu tinggi yang lain adalah karena mempunyai suhu kritis tinggi, medan magnetik kritis tinggi dan rapat arus kritis yang lebih besar, serta ketahanan terhadap lingkungan lebih baik. Pengukuran rapat arus kritis  $J_c$  pada medan rendah pada superkonduktor RE-123 tidak memberikan pengaruh yang berarti pada *flux pinning*, akan tetapi pada medan yang tinggi, pengaruhnya terhadap *flux pinning* sangat kuat (Hasan dkk, 2005).

Suhu pembentukan superkonduktor YBC-123 tentu saja tidak sama dengan superkonduktor NEG-123. Suhu dekomposisi peritektik dari senyawa yang berbeda RE-123. Fase RE-123 dibentuk dari pendinginan *liquid* sampel (RE)BCO secara peritektik, dengan penambahan 40 % fase RE-211 untuk mengatasi permasalahan yang berhubungan dengan pengurangan *liquid* selama terjadi pelelehan. Suhu dekomposisi peritektik dari beberapa ion RE diperlihatkan pada tabel 2.3.

**Tabel 2.3.** Suhu dekomposisi peritektik dari superkonduktor (RE)BCO

RE dalam (RE) $\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$	La	Nd	Sm	Eu	Gd
Melting point	1068	1068	1054	1046	1030



( $\pm 5^{\circ}\text{C}$ )					
Jc (77 K); 1T x KA/cm <sup>2</sup>	-	95 $\rho\text{O}_2$	93,5 $\rho\text{O}_2$	93 $\rho\text{O}_2$	92,5 $\rho\text{O}_2$
Bc (T) 77 K	-	8-10	6-8	-	6-7

RE dalam (RE)Ba <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	Dy	Ho	Y	Er	Yb
Melting point ( $\pm 5^{\circ}\text{C}$ )	1010	1005	1005	990	960
Jc (77 K); 1T x KA/cm <sup>2</sup>	92 <i>air</i>	92 <i>air</i>	92 <i>air</i>	92 <i>air</i>	92 <i>air</i>
Bc (T) 77 K	-	-	5-6	-	-

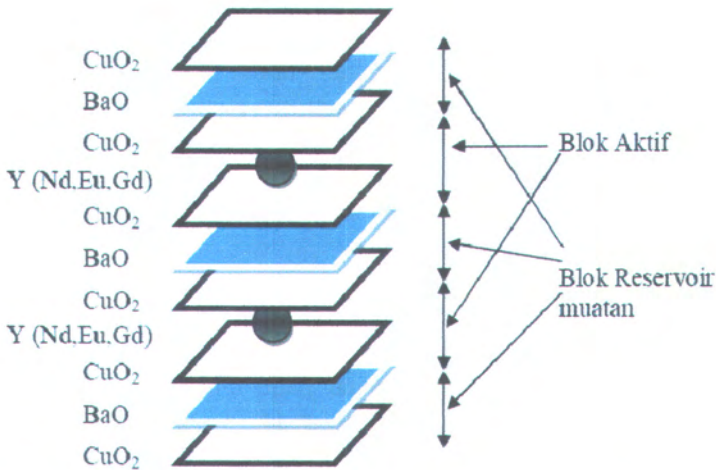
Struktur berlapis dalam superkonduktor suhu tinggi menyebabkan adanya gaya *pinning* intrinsik. Ketidakhomogenan bahan yang diakibatkan oleh cacat kristal atau impuritas juga mengakibatkan munculnya gaya *pinning* yang akan menghalangi pergerakan vorteks. Dalam superkonduktor sistem YBCO-123 maupun NEG-123, terdapat lapisan-lapisan yaitu blok reservoir muatan dan blok aktif (lapisan superkonduksi). Dari aspek mekanika fluksoid blok reservoir-muatan yang memisahkan dua blok aktif terdekat berperan sebagai faktor yang menentukan besar kecilnya efek *pinning* dalam bahan superkonduktor. Lemahnya mekanisme *pinning* akan berdampak buruk pada sifat-sifat transport dan magnetik bahan superkonduktor.

Besaran yang digunakan untuk menyatakan kemampuan bahan dalam mencegah pergerakan vorteks disebut gaya *pinning* ( $F_p$ ), yaitu gaya Lorentz maksimum yang dapat ditahan oleh bahan tanpa menimbulkan disipasi atau gaya minimum yang diperlukan untuk menghalangi pergerakan garis fluks vorteks. Disipasi maksimum arus bebas atau yang dikenal dengan rapat arus kritis ( $J_c$ ) didefinisikan sebagai :

$$J_c = \frac{F_p}{B} \quad (2.1)$$



dimana B menyatakan besar induksi magnetik yang diberikan. Untuk menghindari terjadinya disipasi arus tersebut adalah dengan menghalangi pergerakan garis fluks vorteks yaitu dengan memperbanyak pusat-pusat *pinning* dalam bahan.



**Gambar 2.4** Blok aktif dan blok reservoir muatan pada superkonduktor YBCO-123 atau (NEG)-123

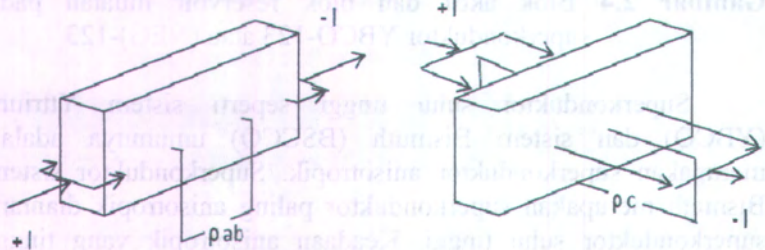
Superkonduktor suhu tinggi seperti sistem Yttrium (YBCO) dan sistem Bismuth (BSCCO) umumnya adalah merupakan superkonduktor anisotropik. Superkonduktor sistem Bismuth merupakan superkonduktor paling anisotropik diantara superkonduktor suhu tinggi. Keadaan anisotropik yang tinggi dalam superkonduktor sistem Bismuth kelihatannya disebabkan oleh kopling yang sangat lemah antara lapisan ganda  $\text{BiO-BiO}$ . Begitu juga untuk superkonduktor suhu tinggi lainnya yang memiliki struktur berlapis menjadikan bahan mempunyai sifat anisotropik. Keberadaan anisotropik yang tinggi dalam bahan superkonduktor mengakibatkan akan menimbulkan efek-efek baru terhadap perilaku vorteks dan mengakibatkan rentannya

keadaan bahan superkonduktor terhadap pengaruh lingkungan. Tingkat anisotropik menimbulkan peralihan dimensi bahan yaitu perubahan dari situasi dimana sistem fluks yang seharusnya dapat diperlakukan sebagai garis-garis fluks dalam tiga dimensi berubah menjadi struktur berlapis dua dimensi. Peralihan dimensi ini terjadi ketika panjang koherensi superkonduktor seorde dengan jarak antar lapisan.

Parameter yang digunakan untuk mengukur besarnya anisotropi suatu bahan adalah anisotropi resistivitas ( $\gamma$ ). Parameter anisotropi resistivitas tersebut merupakan akar dari perbandingan resistivitas bahan pada arah sumbu c ( $\rho_c$ ) dengan resistivitas bahan pada bidang ab ( $\rho_{ab}$ ) atau dapat dirumuskan sebagai :

$$\gamma = \sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_{ab}}} \quad (2.2)$$

Pada suhu ruang resistivitas bahan pada arah sumbu c lebih besar dibandingkan resistivitas bahan pada bidang ab. Pengukuran resistivitas bahan pada arah sumbu c dan resistivitas bahan pada bidang ab diperlihatkan pada gambar 2.6.



**Gambar 2.5** a) Pengukuran  $\rho_{ab}$  pada bahan superkonduktor, b) Pengukuran  $\rho_c$  pada bahan superkonduktor.

(Krabbes, 2006).

### 2.3 Difraksi Sinar-X

Sinar-x merupakan gelombang elektromagnetik. Teori elektromagnetik klasik meramalkan bahwa ketika muatan listrik dipercepat, maka gelombang elektromagnetik akan teradiasi. Demikian pula dengan elektron yang bergerak cepat dan tiba-tiba dihentikan. Proses ini menghasilkan radiasi pengereman dan biasa disebut *bremstrahlung*. Radiasi elektromagnetik dengan selang panjang gelombang sekitar 0,01 hingga 10 nm digolongkan sebagai sinar-x. Batasan sinar tersebut tidak tajam, pada batas gelombang kecil bertumpang tindih dengan sinar gamma dan batas panjang gelombang besar bertumpang tindih dengan cahaya ultraungu (Beiser, 1990).

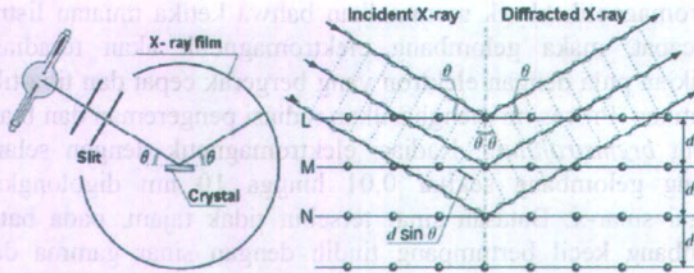
Pada saat sinar-x diradiasikan pada sebuah struktur kristal yang tersusun dari atom-atom yang teratur dan berjangkauan panjang, maka fenomena yang terjadi adalah hamburan oleh atom-atom pada kristal tersebut dan interferensi dari gelombang-gelombang yang dihamburkan oleh atom tersebut. Peristiwa hamburan sinar-x oleh atom-atom pada kristal disebut difraksi sinar-x. Sudut difraksi yang dihasilkan dapat menentukan struktur kristal dan jarak antar bidang kristal difraksi berdasarkan hukum Bragg. Hukum Bragg menyatakan apabila seberkas sinar-x mengenai suatu bahan kristal, maka berkas ini akan didifraksi oleh bidang atom dalam kristal tersebut. Syarat terjadinya difraksi ini bergantung pada panjang gelombang,  $\lambda$ ; jarak antar bidang atom-atom,  $d$ ; dan sudut berkas datang,  $\theta$  (Pratapa, 2004).

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.3)$$

Pantulan Bragg dapat terjadi hanya pada panjang gelombang  $\lambda \leq 2d$ . Itulah sebabnya mengapa kita tidak dapat menggunakan cahaya tampak untuk mengamati jarak bidang kristal yang berskala. Hukum Bragg merupakan konsekuensi dari periodisitas pada kisi. Perhatikan bahwa hukum ini tidak menjelaskan komposisi atom yang berkaitan dengan titik kisi. Komposisi tersebut ditentukan oleh intensitas relatif untuk



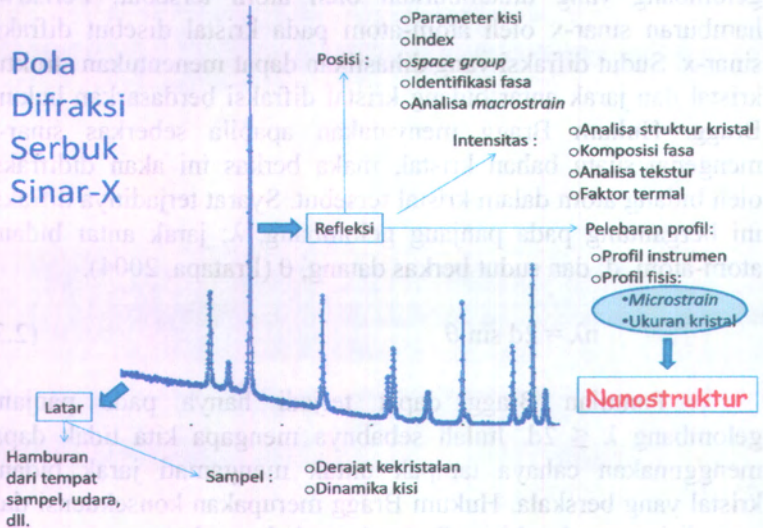
berbagai order difraksi (dinyatakan dengan  $n$ ) dari bidang paralel tertentu (Purwanto, 2009).



**Gambar 2.6** Proses difraksi sinar-x pada sebuah Kristal

Difraksi adalah efek interferensi yang menyebabkan terjadinya hamburan dari berkas kuat radiasi pada arah tertentu dan mengikuti hukum Bragg.

## Pola Difraksi Serbuk Sinar-X



**Gambar 2.7** Pola difraksi serbuk sinar-X



Pola difraksi mengandung informasi mengenai beberapa hal yang dinataranya adalah:

- Jumlah fasa kristalin yang ada pada sampel
- Simetri posisi atom-atom dari setiap fasa dalam sel satuan (*space group*).
- Pembeda antara bahan kristalin dan amorf.
- Penentuan struktur kristal bahan (sumbu simetri, ukuran dan bentuk sel satuan, posisi atom-atom dalam sel satuan).
- Penentuan distribusi elektron dari seluruh atom dalam sel satuan.
- Penentuan orientasi sel tunggal.
- Penentuan tekstur bahan berbutir majemuk (*polycrystal*)
- Penentuan diagram fasa
- Detail atom yang menempati tempat tertentu dalam sel satuan dan deviasi dari kesempurnaan seperti regangan kisi, ukuran partikel, vibrasi termal, *order-disorder*, keteraturan statik dan cacat kristal (Hespariyanti, 2004).

## 2.4 Metode Analisis *Rietveld*

Analisis *Rietveld* adalah seduah metode pencocokan tak-linier kurva pola difraksi terhitung (model) dengan pola difraksi terukur yang didasarkan pada data struktur kristal dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least squares*). Pada mulanya, metode ini digunakan untuk memecahkan struktur kristal dengan data difraksi serbuk neutron (*neutron powder diffraction data*). Dalam perkembangannya, metode *Rietveld* dapat diaplikasikan pada data difraksi sinar-x. Perkembangan selanjutnya menunjukkan metode bahwa ini dapat digunakan sebagai alat bantu karakterisasi material kristalin guna mengekstrasi berbagai informasi kimiawi maupun struktur mikro. Berbagai pendekatan untuk analisis kematerialan pun turut berkembang seiring dengan kemajuantentang pemahaman mengenai metode ini. Sebagai contoh, analisis komposisi fasa

menggunakan metode standar dalam dan metode standar luar. Sedangkan informasi struktur mikro ukuran kristal dengan ukuran kristal dan regangan tak-seragam diperoleh dari pelebaran puncak difraksi yang diindikasikan oleh parameter-parameter dalam fungsi profil yang digunakan dalam analisis *Rietveld*. Analisis *Rietveld* juga dapat digunakan secara khusus untuk menentukan parameter kisi secara akurat (Pratapa, 2009).

#### 2.4.1 Prinsip Analisis *Rietveld*

Di dalam analisis *Rietveld* pola difraksi terhitung (model) dicocokkan dengan pola difraksi terukur. Parameter-parameter yang digunakan dalam penyusunan pola terhitung disimpan dalam sebuah *file*. Pola difraksi terukur disimpan dalam sebuah *file* yang lain. Pencocokkan dilakukan dengan mengubah parameter-parameter dalam model pola difraksi terhitung yang dinyatakan dalam ekspresi intensitas difraksi.

$$y_{cl} = s \sum_k L_k |F_k|^2 \Phi(2\theta_i - 2\theta_k) P_K A + y_{bl} \quad (2.4)$$

Dengan  $i$  adalah indeks untuk sebuah titik yang sedang terhitung,  $s$  adalah faktor skala,  $K$  menyatakan indeks Miller  $h, k, l$  untuk sebuah puncak Bragg,  $L_K$  berisi faktor polarisasi Lorentz dan pelipatan,  $|F_k|$  adalah faktor struktur untuk refleksi Bragg ke  $K$ ,  $P_K$  adalah *preferred orientation*,  $A$  adalah faktor serapan dan  $y_{bl}$  adalah kontribusi latar.

Pengubahan (*adjustment*) parameter-parameter tersebut dilakukan untuk meminimalkan,

$$S = \sum w_i (y_i - y_{cl})^2 \quad (2.5)$$

Dengan  $y_i$  adalah intensitas terukur pada titik data ke- $i$ ,  $y_{cl}$  adalah nilai terhitung, dan  $w_i$  adalah faktor bobot untuk titik  $i$  yang biasa ditetapkan sebagai nilai resiprok (kebalikan) variasi intensitas terhitung pada titik data ke- $i$  atau  $w_i = \frac{1}{\sigma^2}$ .

Faktor struktur  $|F_k|$  sebuah kristal ditentukan oleh struktur kristal yang bersangkutan. Faktor struktur merupakan bagian pokok yang menyebabkan berbeda dengan metode pencocokan kurva difraksi pola utuh (*whole-pattern fitting*) yang lain, karena di situlah terkandung informasi-informasi kristalografi utama yang dipakai dalam penyusunan model. Berbagai macam fungsi bentuk puncak  $\Phi_{ijk}$  dipakai pada berbagai perangkat lunak *Rietveld*. Salah satunya adalah gaussian dan Lorentzian (Pratapa, 2009).

**"Halaman ini sengaja dikosongkan"**



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- $\text{Eu}_2\text{O}_3$
- $\text{Gd}_2\text{O}_3$
- $\text{Y}_2\text{O}_3$
- $\text{BaCO}_3$
- $\text{CuO}$
- $\text{HNO}_3$
- Alkohol
- Aquades

### 3.2. Peralatan

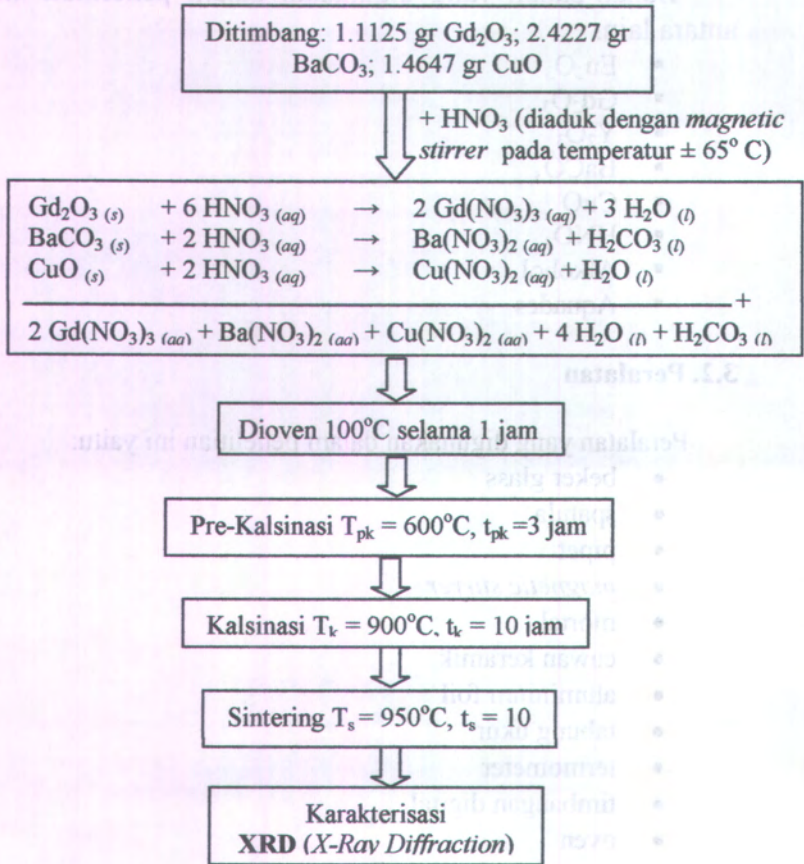
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- beker glass
- spatula
- pipet
- *magnetic stirrer*
- mortal
- cawan keramik
- aluminium foil
- tabung ukur
- termometer
- timbangan digital
- oven
- *furnace*

### 3.3. Prosedur Kerja

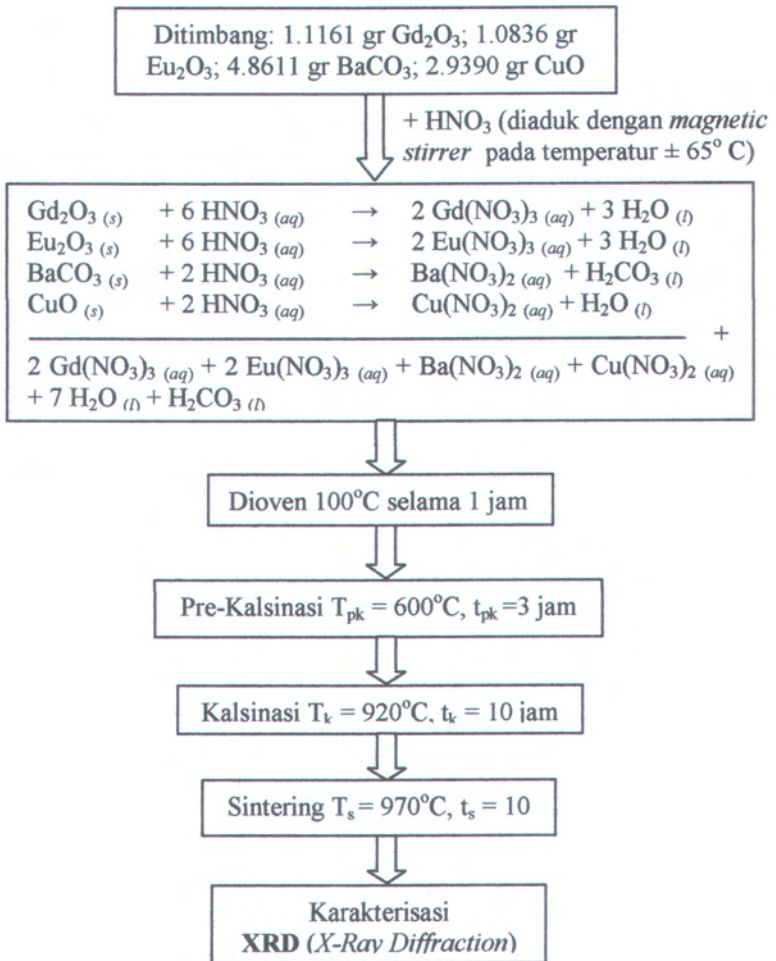
Prosedur kerja, penelitian dengan metode pencampuran basah ini ditampilkan dalam bentuk diagram sebagai berikut:

#### a. Proses Sintesis Superkonduktor $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .



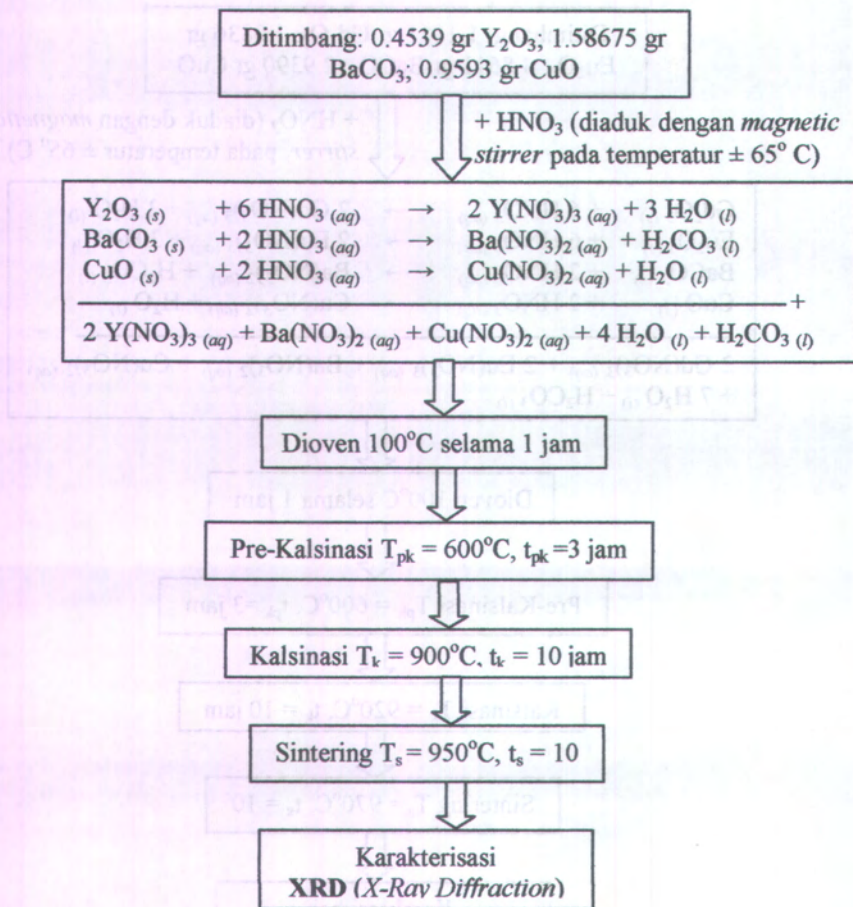
**Gambar 3.1.** Skema Kerja Pembuatan Superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

b. Proses Sintesis Superkonduktor  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .



**Gambar 3.2.** Skema Kerja Pembuatan Superkonduktor  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

c. **Proses Sintesis Superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$**



**Gambar 3.3.** Skema Kerja Pembuatan Superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .



### 3.4. Analisis Data

#### 3.4.1. Karakterisasi dengan XRD (*X-ray Diffraction*)

XRD (*X-ray diffraction*) merupakan salah satu metoda karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg:  $n\lambda = 2.d.\sin \theta$  ;  $n = 1,2,\dots$



**Gambar 3.4.** *X-Ray Diffractometer (XRD)*

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan

membiasakan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material. Standar ini disebut JCPDS (Orybun,2009).



Gambar 3.4. Rangkaian difraksi sinar-X (XRD)

Berdasarkan persamaan tersebut, jika diketahui panjang gelombang sinar-X dan jarak antar bidang kristal, maka bidang kristal ini akan

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

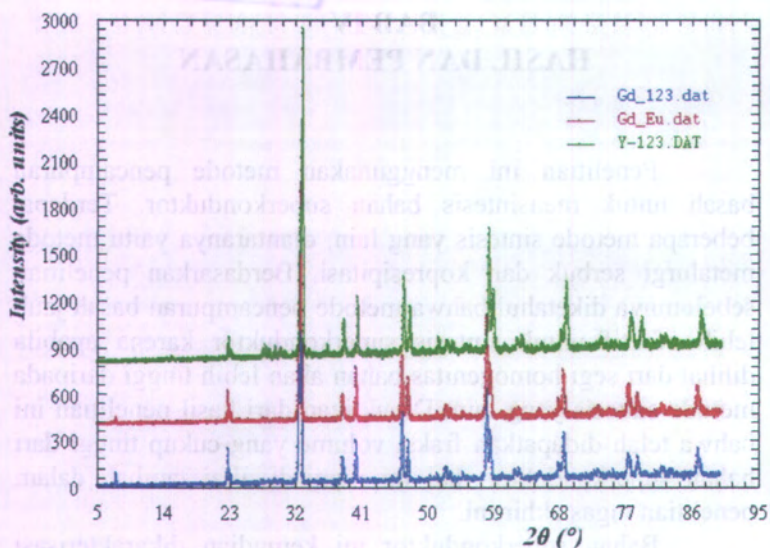
Penelitian ini menggunakan metode pencampuran basah untuk mensintesis bahan superkonduktor. Terdapat beberapa metode sintesis yang lain, diantaranya yaitu metode metalurgi serbuk dan kopresipitasi. Berdasarkan penelitian sebelumnya diketahui bahwa metode pencampuran basah jauh lebih efektif untuk sintesis superkonduktor karena apabila dilihat dari segi homogenitas bahan akan lebih tinggi daripada metode sintesis yang lain. Dibuktikan dari hasil penelitian ini bahwa telah didapatkan fraksi volume yang cukup tinggi dari bahan superkonduktor, hal ini menjadi nilai tambah dalam penelitian tugas akhir ini.

Bahan superkonduktor ini kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan XRD dan menghasilkan data berupa *.dat* yang kemudian data tersebut diidentifikasi menggunakan *SearchMatch* untuk mengetahui kandungan fasa dalam sampel. Analisis selanjutnya yaitu dengan metode *Rietveld* menggunakan *FullProf*.

### 4.1. Pola Difraksi Hasil Pengukuran XRD.

Pola difraksi superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dengan menggunakan metode pencampuran basah terlihat pada Gambar 4.1. Grafik yang berwarna biru adalah pola difraksi superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , yang berwarna merah adalah pola difraksi superkonduktor  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , dan yang berwarna hijau adalah pola difraksi superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Terlihat puncak-puncak yang tajam, hal ini menunjukkan bahwa sampel tersebut telah terbentuk dengan baik.



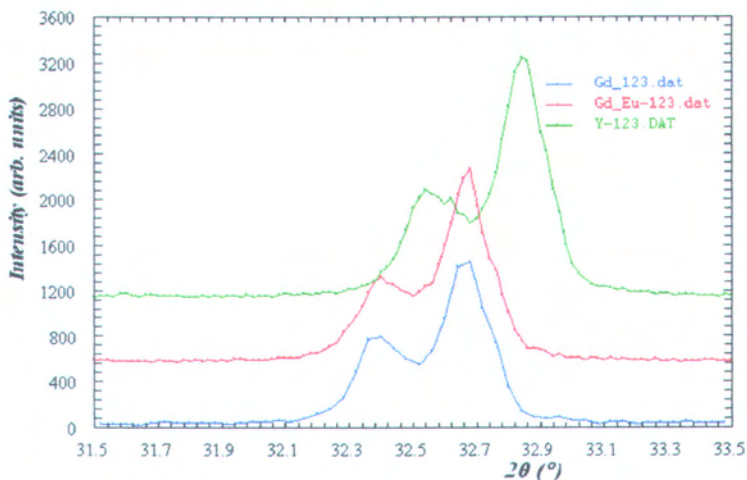


**Gambar 4.1.** Pola Difraksi Sinar-X Superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

Gambar 4.2 adalah gambar dari perbesaran puncak dengan intensitas tertinggi yang memperlihatkan bahwa ketiga sampel superkonduktor terdapat pergeseran dari puncaknya, hal ini disebabkan oleh perubahan dari parameter kisi yang dapat dilihat dari hasil *refinement* menggunakan perangkat lunak *FullProf* yang akan dijelaskan pada subbab selanjutnya. Dan perbedaan lain yaitu pada gambar pola difraksi  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  terlihat secara kasat mata pada  $2\theta$  sekitar 23 sampai 32 terdapat puncak-puncak kecil yang pada pola difraksi  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan pada pola difraksi  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  hampir tidak terlihat adanya puncak-puncak tersebut, dan sebabnya adalah karena



puncak-puncak tersebut merupakan puncak dari impuritas yang ada pada sampel superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , akan tetapi bukan berarti pada sampel yang lain tidak terdapat impuritas. Untuk keakuratan identifikasi fasa yang ada pada sampel superkonduktor menggunakan *search-match*.



**Gambar 4.2.** Perbandingan pola difraksi serbuk sinar-X pada puncak dengan intensitas tertinggi untuk superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

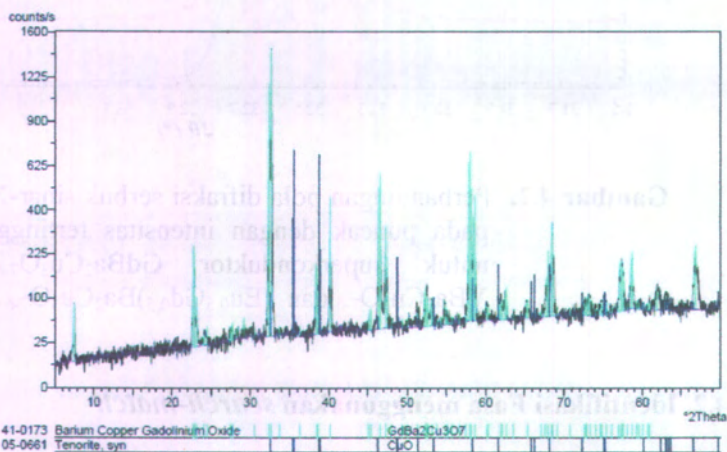
#### 4.2. Identifikasi Fasa menggunakan *search-match*

Pengolahan data pola difraksi sinar-X Superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dengan menggunakan *search match* bertujuan untuk mengidentifikasi fasa apa saja yang terdapat pada ketiga sampel superkonduktor dan

membuktikan apakah fasa yang diinginkan sudah terbentuk, serta mengetahui pada sudut  $2\theta$  berapa saja terdapat puncak-puncak pola difraksi.

#### 4.2.1. Superkonduktor $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$

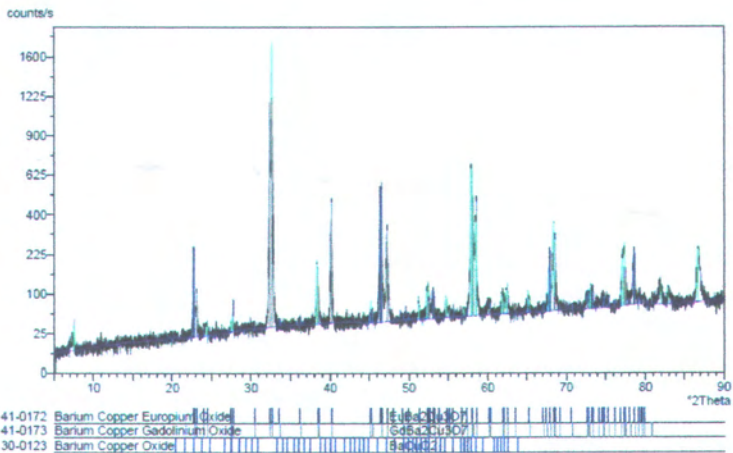
Hasil dari pengolahan data menggunakan *search match* terlihat pada Gambar 4.3. Dari olahan data yang dilakukan terdapat 34 puncak tajam yang terbentuk dengan baik. Nilai intensitas yang terbesar terdapat pada posisi  $2\theta$  sama dengan  $32,70212^\circ$  yang bernilai 1414,17 counts/s. Posisi ini terindikasi sebagai fasa  $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  yang dicari. Dari olahan data yang dilakukan terdapat 2 buah fasa yang terbentuk diantaranya adalah  $GdBa_2Cu_3O_7$  dan CuO. Fasa CuO diduga adalah fasa impuritas.



**Gambar 4.3.** Hasil *search match* Superkonduktor  $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ .

#### 4.2.2. Superkonduktor $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

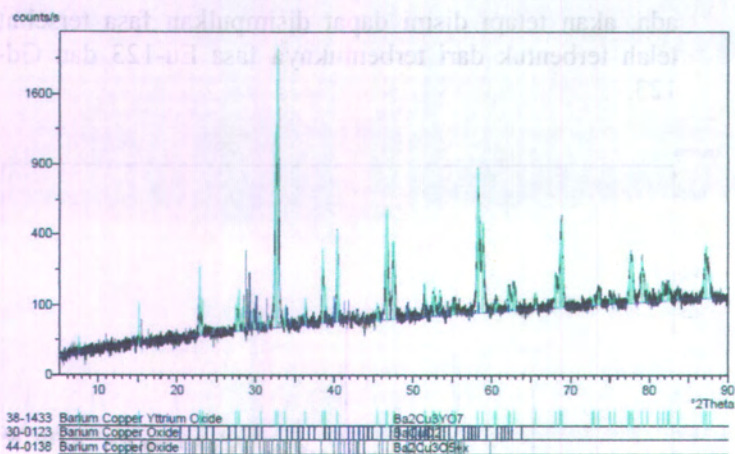
Hasil dari pengolahan data menggunakan *search match* terlihat pada Gambar 4.4. Dari olahan data yang dilakukan terdapat 37 puncak tajam yang terbentuk dengan baik. Nilai intensitas yang terbesar terdapat pada posisi  $2\theta = 32,67018^\circ$  yang bernilai 1699,77 counts/s. Posisi ini terindikasi sebagai fasa yang dicari yaitu fasa  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Dan terdapat 3 buah fasa yang terbentuk diantaranya adalah  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ,  $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  dan  $\text{BaCuO}_2$ . Fasa  $\text{BaCuO}_2$  adalah fasa impuritas. Pada pengolahan data ini tidak muncul fasa  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  hal ini bukannya fasa tersebut tidak terbentuk melainkan PDF untuk fasa tersebut belum ada, akan tetapi disini dapat disimpulkan fasa tersebut telah terbentuk dari terbentuknya fasa Eu-123 dan Gd-123.



**Gambar 4.4.** Hasil *search match* Superkonduktor  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

### 4.2.3. Superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

Hasil dari pengolahan data menggunakan *search match* terlihat pada Gambar 4.5. Dari olahan data yang dilakukan terdapat 34 puncak tajam yang terbentuk dengan baik. Nilai intensitas yang terbesar terdapat pada posisi  $2\theta = 32,83972^\circ$  yang bernilai 2104,88 counts/s. Posisi ini terindikasi sebagai fasa  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  yang dicari. Dari olahan data yang dilakukan terdapat 3 buah fasa terbentuk yang diantaranya adalah  $\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{YO}_7$ ,  $\text{BaCuO}_2$ , dan  $\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{5+x}$ , disini dua fasa terakhir adalah fasa impuritas.



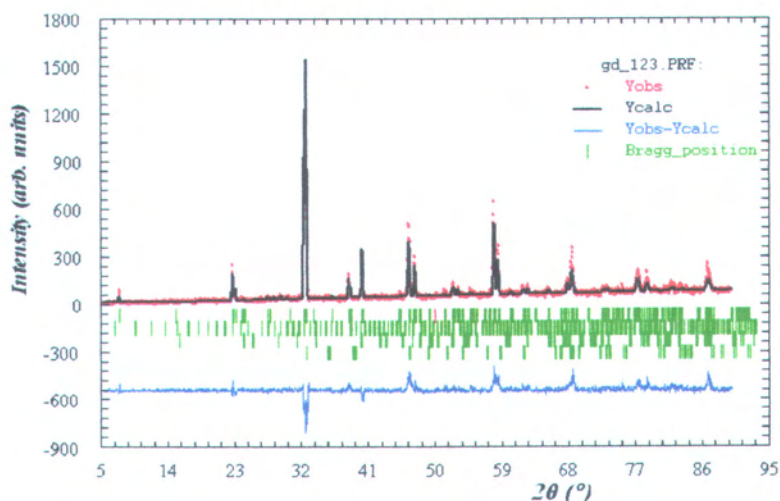
**Gambar 4.5.** Hasil *search match* Superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .



### 4.3. Refinement Pola Difraksi Sinar-X.

#### 4.3.1. Refinement Pola Difraksi Sinar-X Superkonduktor $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

Pada Gambar 4.6. menyatakan telah dilakukan *refinement* pola difraksi sinar-X untuk superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dengan menggunakan program *FullProf* dan ICSD 78456. Refinement ini menggunakan refinement multifasa, didapat  $\chi^2$  dengan nilai yaitu 2,559. Gambar 4.6 menampilkan beberapa parameter seperti data asli pola difraksi terukur (merah), pola difraksi terhitung (hitam), keseimbangan penghalusan antara pola difraksi terukur dan pola difraksi terhitung (biru), dan posisi puncak Bragg (hijau).



**Gambar 4.6.** *Refinement* Pola Difraksi Serbuk Sinar-X Superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

Fraaksi volume yang di dapat dari refinement ini adalah  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  sebesar 99,8%, dan CuO sebesar

0,2%. Hasil ini membuktikan bahwa fasa yang dominan pada bahan superkonduktor yang sudah dibuat adalah fasa  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  yang berarti bahwa penelitian ini telah berhasil membuat bahan superkonduktor dengan homogenitas yang cukup tinggi.

**Tabel 4.1.** Hasil penghalusan mutifasa pola difraksi sinar-X superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Struktur Ortorombik, Grup ruang  $Pmmm$ , No. 47.  $a = 3,8415$  (4) Å;  $b = 3,9010$  (8) Å;  $c = 11,7234$  (8) Å;  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ;  $R_p = 51,5$ ;  $R_{wp} = 38,8$ ;  $R_e = 24,3$ ;  $\chi^2 = 2,559$ .

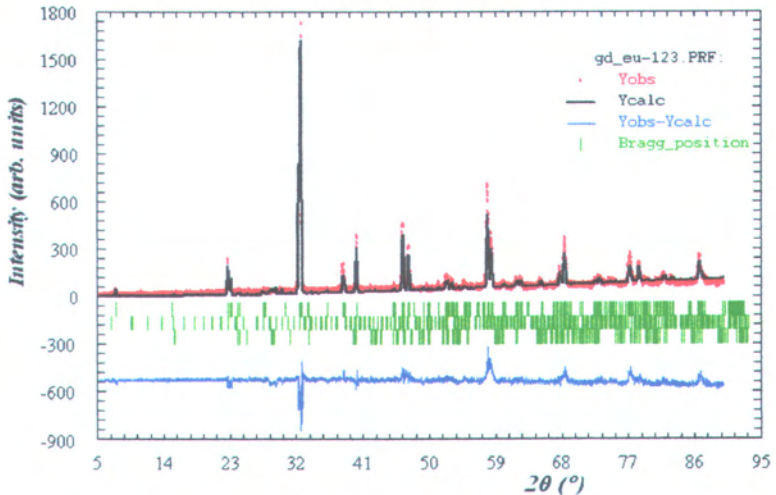
Atom	x	y	z	Posisi Wyckoff	Faktor hunian (g)	Parameter Suhu Isotropis (Å <sup>2</sup> )
Gd	0,5	0,5	0,5	1h	0,125	0,01
Ba	0,5	0,5	0,1830 (3)	2t	0,25	0,01
Cu (1)	0	0	0	1a	0,125	0,01
Cu (2)	0	0	0,3499 (5)	2q	0,25	0,01
O (1)	0	0	0,1636 (4)	2q	0,25	0,01
O (2)	0	0,5	0,3803 (9)	2r	0,25	0,01
O (3)	0,5	0	0,3736 (2)	2s	0,25	0,01
O (4)	0,5	0	0	1e	0,125	0,01
O (5)	0	0,5	0	1e	0,125	0,01

Tabel 4.1 adalah hasil penghalusan multifasa pola difraksi sinar-X superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Pada kasus ini faktor hunian tidak dapat dihaluskan, karena apabila dilakukan penghalusan akan didapatkan nilai yang melebihi 100% dan itu tidaklah mungkin terjadi, hal ini dimungkinkan karena faktor hamburan sinar-X dari atom-atom ringan seperti oksigen lebih kecil dibandingkan dengan hamburan dari atom-atom logam, sehingga hamburan sinar-X dari atom-atom oksigen

tersebut seakan-akan tertutupi oleh hamburan dari atom-atom logam tetangganya.

#### 4.3.2. Refinement Pola Difraksi Sinar-X Superkonduktor $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

Gambar 4.7. memperlihatkan bahwa telah dilakukan *refinement* pola difraksi sinar-X untuk superkonduktor  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dengan menggunakan program *FullProf* dan ICSD 78456. Penghalusan ini menggunakan multifasa yang terdiri atas 2 fasa yaitu fasa  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan fasa impuritas yaitu fasa  $\text{BaCuO}_2$ . Gambar hasil refinement tersebut terlihat bahwa sudah terjadi penghalusan yang cukup baik yang dibuktikan dengan kecocokan pola difraksi terukur dan pola difraksi terhitung.



**Gambar 4.7.** Refinement Pola Difraksi Serbuk Sinar-X Superkonduktor  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .



Refinement ini juga menghasilkan besar dari fraksi volume dari fasa superkonduktor  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan fasa impuritas  $\text{BaCuO}_2$  yaitu 99,72% dan 0,28%. Terbukti bahwa fasa yang paling dominan adalah fasa  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

Tabel 4.2 adalah hasil penghalusan multifasa pola difraksi sinar-X superkonduktor  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Seperti pada refinement sebelumnya bahwa faktor hunian tidak dapat dihaluskan, hal ini dimungkinkan karena faktor hamburan sinar-X dari atom-atom ringan seperti oksigen lebih kecil dibandingkan dengan hamburan dari atom-atom logam, sehingga hamburan sinar-X dari atom-atom oksigen tersebut seakan-akan tertutup oleh hamburan dari atom-atom logam tetangganya.

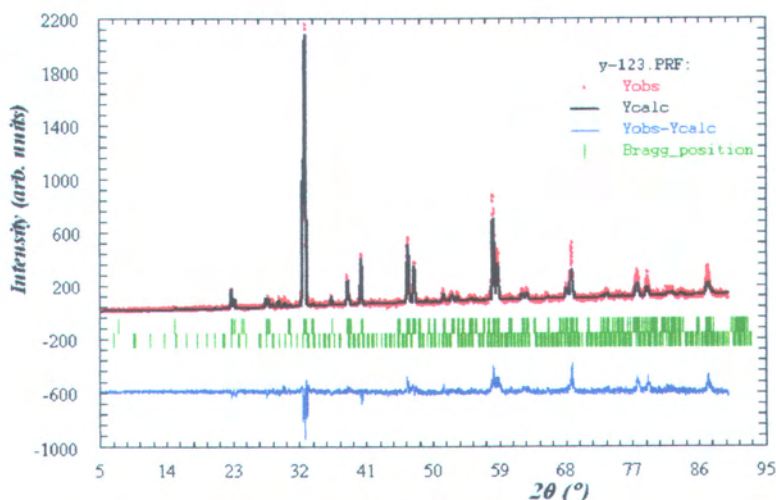
**Tabel 4.2.** Hasil penghalusan multifasa pola difraksi sinar-X superkonduktor  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Struktur Ortorombik, Grup ruang  $Pmmm$ , No. 47.  $a = 3,8467$  (5) Å;  $b = 3,9053$  Å;  $c = 11,7382$  (2) Å;  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ;  $R_p = 63,2$ ;  $R_{wp} = 54,3$ ;  $R_e = 22,1$ ;  $\chi^2 = 6,057$ .

Atom	x	y	z	Posisi Wyckoff	Faktor hunian (g)	Parameter Suhu Isotropis (Å <sup>2</sup> )
Gd	0,5	0,5	0,5	1h	0,0625	0,01
Eu	0,5	0,5	0,5	1h	0,0625	0,01
Ba	0,5	0,5	0,1843 (8)	2t	0,25	0,01
Cu (1)	0	0	0	1a	0,125	0,01
Cu (2)	0	0	0,3503 (1)	2q	0,25	0,01
O (1)	0	0	0,1425 (1)	2q	0,25	0,01
O (2)	0	0,5	0,3907 (1)	2r	0,25	0,01
O (3)	0,5	0	0,3694 (1)	2s	0,25	0,01
O (4)	0,5	0	0	1e	0,125	0,01
O (5)	0	0,5	0	1e	0,125	0,01



### 4.3.3. Refinement Pola Difraksi Sinar-X Superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

Hasil dari *refinement* pola difraksi sinar-X untuk superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dengan menggunakan program *FullProf* ditunjukkan pada Gambar 4.8. Didapat hasil penghalusan dengan  $\chi^2$  bernilai 3,021. Awal *refinement* dilakukan dengan memasukkan data dari *CIF 1001435*. Data hasil penghalusan ini nantinya akan digunakan sebagai pembandingan dengan dua superkonduktor yaitu  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . *Refinement* yang digunakan adalah multifasa karena terdapat impuritas dalam bahan ini. Berdasarkan data *output* dari *refinement* menggunakan *FullProf* ini didapatkan fraksi volume sebesar  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  99,50% dan  $\text{BaCuO}_2$  0,11% serta  $\text{BaCuO}_{5+x}$  sebesar 0,13%



**Gambar 4.8.** Refinement Pola Difraksi Serbuk Sinar-X Superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

Data hasil penghalusan multifasa pola difraksi sinar-X superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dimasukkan ke dalam Tabel 4.3. Sedangkan untuk faktor hunian tidak direfinement karena bila dilakukan *refinement* akan melebihi posisi 100%, hal tidak diperbolehkan maka ditetapkan semua atom dalam kondisi menempati kedudukannya secara maksimum. Akan tetapi, pada faktor hunian O(5) dapat di *refinement* yang pada awalnya O(5) adalah sebesar 0,125 menjadi 0,0818 yang berarti pada O(5) terjadi kekosongan sebesar 34,56%.

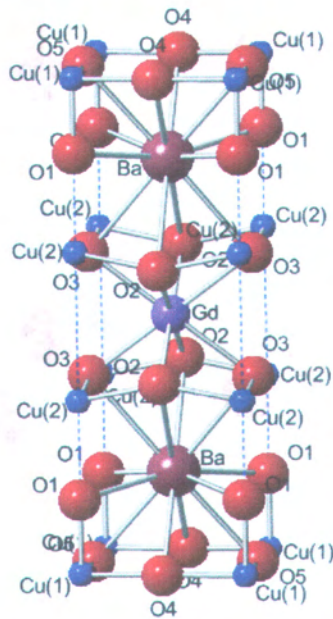
**Tabel 4.3.** Hasil penghalusan multifasa pola difraksi sinar-X superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Struktur Ortorombik, Grup ruang  $Pmmm$ , No. 47.  $a = 3,8262$  (7) Å;  $b = 3,8886$  (3) Å;  $c = 11,6921$  (8) Å;  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ;  $R_p = 52,1$ ;  $R_{wp} = 39,7$ ;  $R_e = 22,8$ ;  $\chi^2 = 3,021$ .

Atom	x	y	z	Posisi Wyckoff	Faktor hunian (g)	Parameter Suhu Isotropi $s$ (Å <sup>2</sup> )
Y	0,5	0,5	0,5	1h	0,125	0,01
Ba	0,5	0,5	0,1815 (4)	2t	0,25	0,01
Cu (1)	0	0	0	1a	0,125	0,01
Cu (2)	0	0	0,3533 (8)	2q	0,25	0,01
O (1)	0	0	0,1595 (5)	2q	0,25	0,01
O (2)	0	0,5	0,3678 (3)	2r	0,25	0,01
O (3)	0,5	0	0,3876 (5)	2s	0,25	0,01
O (4)	0,5	0	0	1e	0,125	0,01
O (5)	0	0,5	0	1e	0,0818 (1)	0,01

#### 4.4. Struktur Kristal

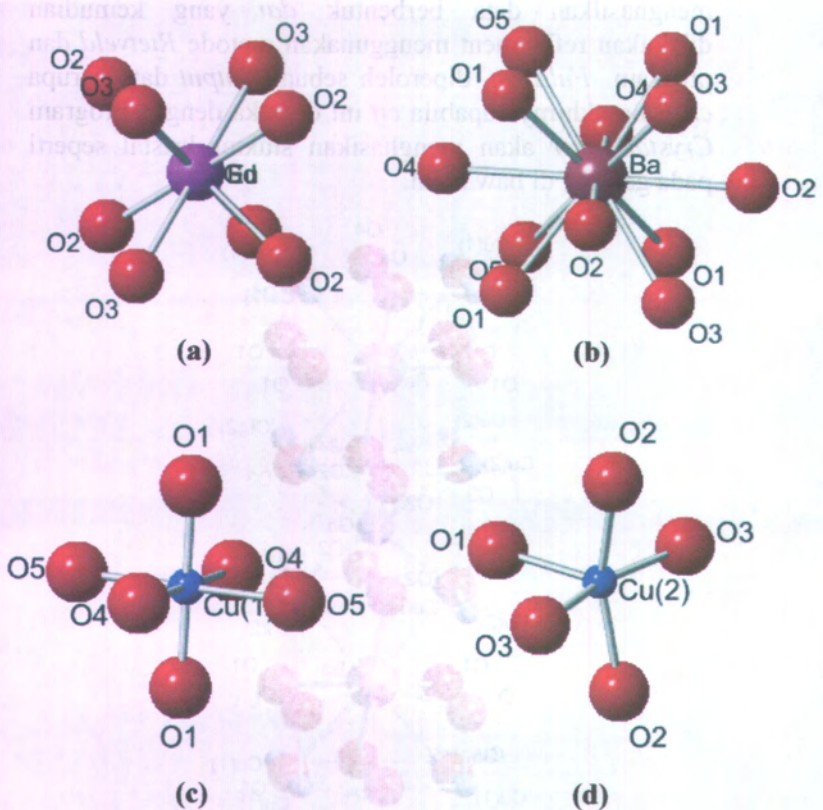
##### 4.4.1. Struktur Kristal Superkonduktor $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

Berdasarkan hasil pola difraksi XRD yang menghasilkan data berbentuk *dat* yang kemudian dilakukan refinement menggunakan metode *Rietveld* dan program *FullProf*, diperoleh sebuah *output* data berupa *cif* yang akhirnya apabila *cif* ini di buka dengan program *CrystalMaker* akan menghasilkan stuktur kristal seperti pada gambar di bawah ini.



**Gambar 4.9.** Struktur Kristal Superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  untuk Sinar-X.

Gambar 4.9 memperlihatkan bentuk struktur kristal superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Sistem kristal ini berbentuk ortorombik dengan grup ruang  $Pmmm$  No.47.



**Gambar 4.10.** Koordinasi atom-atom logam dengan oksigen dalam sel satuan fasa  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  : (a) Gd-O, (b) Ba-O, (c) Cu(1)-O dan Cu(2)-O.



Gambar struktur kristal tersebut menggambarkan walaupun terjadi penggantian atom Y (Gambar 4.13) dengan atom *rare earth* Gd (Gambar 4.9) menghasilkan hasil yang hampir sama, akan tetapi terdapat perbedaan panjang ikatan antar atom berat dengan oksigen dan begitu pula dengan sudut ikatannya yang akan mengakibatkan perbedaan dari volume struktur kristalnya.

Tabel 4.4 menunjukkan data panjang ikatan antar dua atom (X-O) pada superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Terlihat bahwa ikatan antar atom berat dengan oksigen menghasilkan jarak ikatan yang berbeda-beda yang dapat ditunjukkan pada Gambar 4.10. Gambar 4.10 (a) adalah gambar atom Gd yang memiliki koordinasi *eightfold* yang dikelilingi dengan empat O(2) dan empat O(3). Harga parameter suhu untuk semua atom dibuat sama dan kecil karena bila dilakukan refinement bernilai negatif maka nilainya  $0,01 \text{ \AA}^2$ . Ini berarti pada ketiga arah orientasi atom terjadi vibrasi yang sama kuat karena ada rongga yang memadai untuk pergeseran atom. Untuk faktor hunian ditetapkan 100% karena bila dilakukan refinement bernilai melebihi kedudukannya. Gambar 4.10 (b) terlihat bahwa Ba memiliki koordinasi *twelvefold* yaitu dikelilingi dengan empat O(1), dua O(2), dua O(3) dan dua O(4) serta dua O(5). Gambar 4.10 (c) adalah atom Cu(1) yang memiliki koordinasi *sixfold* yaitu dikelilingi dengan dua O(1), dua O(4) dan dua O(5). Gambar 4.10 (d) bahwa Cu(2) memiliki koordinasi *fivefold* yakni dikelilingi dengan satu O(1), dua O(2) dan dua O(3). Selain perbedaan jarak antar atom terdapat juga perbedaan sudut antar tiga atom yang diperlihatkan pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.4.** Jarak antar dua atom (X-O) pada superkonduktor  $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ .

Atom	Ikatan Antar Atom	Jarak (Å)
Gd	Gd -O(2)	2,40(3)
	Gd -O(3)	2,42(4)
Ba	Ba-O(1)	2,747(6)
	Ba-O(2)	3,02(5)
	Ba-O(3)	2,95(5)
	Ba-O(4)	2,90(6)
	Ba-O(5)	2,88(6)
Cu	Cu(1)-O(1)	1,92(7)
	Cu(1)-O(4)	1,9207(3)
	Cu(1)-O(5)	1,9505(3)
	Cu(2)-O(1)	2,18(7)
	Cu(2)-O(2)	1,953(11)
O	Cu(2)-O(3)	1,971(10)
	O(1)-O(2)	3,18(7)
	O(1)-O(5)	2,74(5)
	O(1)-O(4)	2,72(5)
	O(2)-O(3)	2,738(2)
	O(3)-O(3)	2,95(10)
	O(4)-O(5)	2,7375(3)

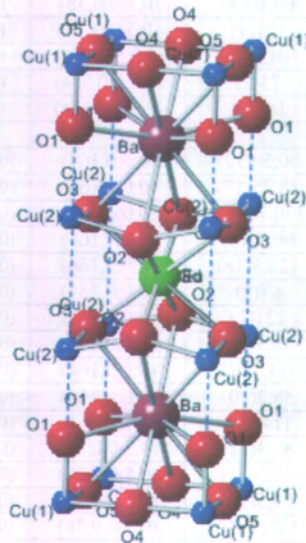
**Tabel 4.5.** Sudut antara tiga atom (O-X-O) pada superkonduktor  $GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ .

Atom 1	Atom 2	Atom 3	Sudut (°)	Posisi		
				Atom 1	Atom 2	Atom 3
O(2)	Gd	O(2)	108,4(12)	(0,5;0;0,38)	(0,5;0,5;0,5)	(0,5;1;0,38)
O(2)	Gd	O(2)	72(3)	(0,5;0;0,38)	(0,5;0,5;0,5)	(0,5;0;0,62)
O(2)	Gd	O(2)	180(3)	(0,5;0;0,38)	(0,5;0,5;0,5)	(0,5;1;0,62)
O(2)	Gd	O(3)	69,1(13)	(0,5;0;0,38)	(0,5;0,5;0,5)	(0;0,5;0,374)
O(2)	Gd	O(3)	111(3)	(0,5;0;0,38)	(0,5;0,5;0,5)	(0;0,5;0,626)
O(3)	Gd	O(3)	104,9(14)	(0;0,5;0,374)	(0,5;0,5;0,5)	(1;0,5;0,374)
O(3)	Gd	O(3)	75(3)	(0;0,5;0,374)	(0,5;0,5;0,5)	(0;0,5;0,626)
O(3)	Gd	O(3)	180(3)	(0;0,5;0,374)	(0,5;0,5;0,5)	(1;0,5;0,626)
O(1)	Ba	O(1)	90,50(17)	(0;0;0,164)	(0,5;0,5;0,183)	(0;1;0,164)
O(1)	Ba	O(1)	88,75(17)	(0;0;0,164)	(0,5;0,5;0,183)	(1;0;0,164)
O(1)	Ba	O(1)	170,70(17)	(0;0;0,164)	(0,5;0,5;0,183)	(1;1;0,164)
O(1)	Ba	O(2)	66,7(18)	(0;0;0,164)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;0;0,38)
O(1)	Ba	O(2)	121,3(18)	(0;0;0,164)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;1;0,38)
O(1)	Ba	O(3)	67(2)	(0;0;0,164)	(0,5;0,5;0,183)	(0;0,5;0,374)
O(1)	Ba	O(3)	121(2)	(0;0;0,164)	(0,5;0,5;0,183)	(1;0,5;0,374)
O(1)	Ba	O(4)	57,5(10)	(0;0;0,164)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;0;0)
O(1)	Ba	O(4)	114,7(10)	(0;0;0,164)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;1;0)
O(1)	Ba	O(5)	58,2(10)	(0;0;0,164)	(0,5;0,5;0,183)	(0;0,5;0)
O(1)	Ba	O(5)	114 (10)	(0;0;0,164)	(0,5;0,5;0,183)	(1;0,5;0)
O(2)	Ba	O(2)	80,4(12)	(0,5;0;0,38)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;1;0,38)
O(2)	Ba	O(3)	54,6(14)	(0,5;0;0,38)	(0,5;0,5;0,183)	(0;0,5;0,374)
O(2)	Ba	O(4)	97,5(19)	(0,5;0;0,38)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;0;0)
O(2)	Ba	O(4)	177,9(19)	(0,5;0;0,38)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;1;0)
O(2)	Ba	O(5)	124,7(19)	(0,5;0;0,38)	(0,5;0,5;0,183)	(0;0,5;0)
O(3)	Ba	O(3)	81,2(15)	(0;0,5;0,374)	(0,5;0,5;0,183)	(1;0,5;0,374)
O(3)	Ba	O(4)	124(2)	(0;0,5;0,374)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;0;0)
O(3)	Ba	O(5)	98(2)	(0;0,5;0,374)	(0,5;0,5;0,183)	(0;0,5;0)
O(3)	Ba	O(5)	179(2)	(0;0,5;0,374)	(0,5;0,5;0,183)	(1;0,5;0)
O(4)	Ba	O(4)	84,55(17)	(0,5;0;0)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;1;0)
O(4)	Ba	O(5)	56,55(17)	(0,5;0;0)	(0,5;0,5;0,183)	(0;0,5;0)
O(5)	Ba	O(5)	83,68(17)	(0;0,5;0)	(0,5;0,5;0,183)	(1;0,5;0)
O(1)	Cu(1)	O(1)	180(7)	(0;0;0,164)	(0;0;0)	(0;0;-0,164)
O(1)	Cu(1)	O(4)	90(3)	(0;0;0,164)	(0;0;0)	(-0,5;0;0)
O(1)	Cu(1)	O(5)	90(2)	(0;0;0,164)	(0;0;0)	(0;-0,5;0)
O(4)	Cu(1)	O(4)	180(3)	(-0,5;0;0)	(0;0;0)	(0,5;0;0)
O(4)	Cu(1)	O(5)	90(16)	(-0,5;0;0)	(0;0;0)	(0;-0,5;0)
O(5)	Cu(1)	O(5)	180(4)	(0;-0,5;0)	(0;0;0)	(0;0,5;0)
O(1)	Cu(2)	O(2)	100(4)	(0;0;0,164)	(0;0;0,35)	(-0,5;0;0,38)



O(1)	Cu(2)	O(3)	98,4	(0;0;0,164)	(0;0;0,35)	(0;-0,5;0,374)
O(2)	Cu(2)	O(2)	159,2(5)	(-0,5;0;0,38)	(0;0;0,35)	(0,5;0;0,38)
O(2)	Cu(2)	O(3)	88,5(5)	(-0,5;0;0,38)	(0;0;0,35)	(0;-0,5;0,374)
O(3)	Cu(2)	O(3)	163,6(4)	(0;-0,5;0,374)	(0;0;0,35)	(0;0,5;0,374)

#### 4.6.2. Struktur Kristal Superkonduktor (Eu<sub>0,5</sub>Gd<sub>0,5</sub>)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>



**Gambar 4.11** Struktur Kristal Superkonduktor  
(Eu<sub>0,5</sub>Gd<sub>0,5</sub>)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>.

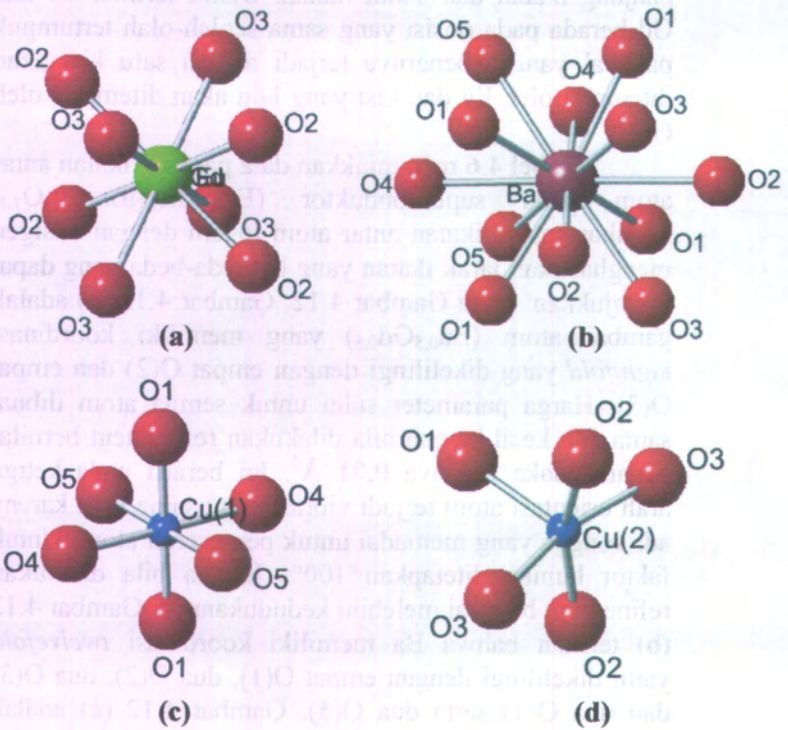
Gambar 4.11 menggambarkan telah terbentuknya struktur kristal superkonduktor (Eu<sub>0,5</sub>Gd<sub>0,5</sub>)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> dengan menggunakan program *CrystalMaker*. Data ini diperoleh dari keluaran *refinement* yang telah dilakukan. Sistem kristal ortorombik dengan grup ruang *Pmmm* No.47, perbedaan yang terjadi adalah Y digantikan dengan (Eu<sub>0,5</sub>Gd<sub>0,5</sub>) ternyata tidak banyak mengubah bentuk struktur kristalnya hanya terdapat perbedaan pada



panjang ikatan dan sudut ikatan. Disini terlihat Eu dan Gd berada pada posisi yang sama seolah-olah tertumpuk padahal yang sebenarnya terjadi adalah satu kisi akan ditempati oleh Eu dan kisi yang lain akan ditempati oleh Gd.

Tabel 4.6 menunjukkan data panjang ikatan antar atom pada superkonduktor  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Terlihat bahwa ikatan antar atom logam dengan oksigen menghasilkan jarak ikatan yang berbeda-beda yang dapat ditunjukkan pada Gambar 4.12. Gambar 4.12 (a) adalah gambar atom  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})$  yang memiliki koordinasi *eightfold* yang dikelilingi dengan empat O(2) dan empat O(3). Harga parameter suhu untuk semua atom dibuat sama dan kecil karena bila dilakukan refinement bernilai negatif maka nilainya  $0,01 \text{ \AA}^2$ . Ini berarti pada ketiga arah orientasi atom terjadi vibrasi yang sama kuat karena ada rongga yang memadai untuk pergeseran atom. Untuk faktor hunian ditetapkan 100% karena bila dilakukan refinement bernilai melebihi kedudukannya. Gambar 4.12 (b) terlihat bahwa Ba memiliki koordinasi *twelvefold* yaitu dikelilingi dengan empat O(1), dua O(2), dua O(3) dan dua O(4) serta dua O(5). Gambar 4.12 (c) adalah atom Cu(1) yang memiliki koordinasi *sixfold* yaitu dikelilingi dengan dua O(1), dua O(4) dan dua O(5). Gambar 4.12 (d) bahwa Cu(2) memiliki koordinasi *fivefold* yakni dikelilingi dengan satu O(1), dua O(2) dan dua O(3).

Tabel 4.7 menyatakan data besar sudut ikatan antar atom pada superkonduktor  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Ikatan antara atom berat bersama oksigen menghasilkan nilai yang berbeda-beda. Sudut ikat inilah yang digunakan untuk mengetahui dampak penggantian atom Y dengan  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})$ .



**Gambar 4.12.** Koordinasi atom-atom logam dengan oksigen dalam sel satuan fasa  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  : (a) Eu-O, (b) Ba-O, (c) Cu(1)-O dan Cu(2)-O.

**Tabel 4.6.** Jarak antar dua atom (X-O) pada superkonduktor  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

Atom	Ikatan Antar Atom	Jarak (Å)
Eu	Eu -O(2)	2,33(4)
	Eu -O(3)	2,46(5)

Gd	Gd -O(2)	2,33(4)
	Gd -O(3)	2,46(5)
Ba	Ba-O(1)	2,786(13)
	Ba-O(2)	3,13(6)
	Ba-O(3)	2,91(6)
	Ba-O(4)	2,91(7)
	Ba-O(5)	2,89(7)
Cu	Cu(1)-O(1)	1,66(7)
	Cu(1)-O(4)	1,9232(3)
	Cu(1)-O(5)	1,9526(3)
	Cu(2)-O(1)	2,47(7)
	Cu(2)-O(2)	1,982(18)
	Cu(2)-O(3)	1,965(10)
O	O(1)-O(2)	3,11(9)
	O(1)-O(5)	2,56(5)
	O(1)-O(4)	2,54(5)
	O(2)-O(3)	2,753(10)
	O(3)-O(3)	3,05(12)
	O(4)-O(5)	2,7407(3)

**Tabel 4.7.** Sudut antara tiga atom (O-X-O) pada superkonduktor  $(Eu_{0,5}Gd_{0,5})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ .

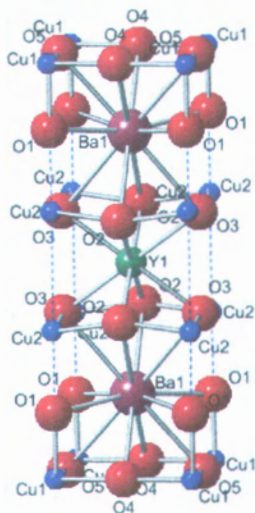
Atom 1	Atom 2	Atom 3	Sudut (°)	Posisi		
				Atom 1	Atom 2	Atom 3
O(2)	Gd	O(2)	114(13)	(0,5;0;0,392)	(0,5;0,5;0,5)	(0,5;1;0,392)
O(2)	Gd	O(2)	66(3)	(0,5;0;0,392)	(0,5;0,5;0,5)	(0,5;0;0,608)
O(2)	Gd	O(2)	180(3)	(0,5;0;0,392)	(0,5;0,5;0,5)	(0,5;1;0,62)
O(2)	Gd	O(3)	70,2(15)	(0,5;0;0,392)	(0,5;0,5;0,5)	(0;0,5;0,37)
O(2)	Gd	O(3)	110(3)	(0,5;0;0,392)	(0,5;0,5;0,5)	(0;0,5;0,63)
O(3)	Gd	O(3)	103,1(17)	(0;0,5;0,37)	(0,5;0,5;0,5)	(1;0,5;0,37)
O(3)	Gd	O(3)	77(4)	(0;0,5;0,37)	(0,5;0,5;0,5)	(0;0,5;0,63)
O(3)	Gd	O(3)	180(4)	(0;0,5;0,37)	(0,5;0,5;0,5)	(1;0,5;0,63)



O(2)	Eu	O(2)	114(13)	(0,5;0;0,392)	(0,5;0,5;0,5)	(0,5;1;0,392)
O(2)	Eu	O(2)	66(3)	(0,5;0;0,392)	(0,5;0,5;0,5)	(0,5;0;0,608)
O(2)	Eu	O(2)	180(3)	(0,5;0;0,392)	(0,5;0,5;0,5)	(0,5;1;0,62)
O(2)	Eu	O(3)	70,2(15)	(0,5;0;0,392)	(0,5;0,5;0,5)	(0;0,5;0,37)
O(2)	Eu	O(3)	110(3)	(0,5;0;0,392)	(0,5;0,5;0,5)	(0;0,5;0,63)
O(3)	Eu	O(3)	103,1(17)	(0;0,5;0,37)	(0,5;0,5;0,5)	(1;0,5;0,37)
O(3)	Eu	O(3)	77(4)	(0;0,5;0,37)	(0,5;0,5;0,5)	(0;0,5;0,63)
O(3)	Eu	O(3)	180(4)	(0;0,5;0,37)	(0,5;0,5;0,5)	(1;0,5;0,63)
O(1)	Ba	O(1)	89,0(4)	(0;0;0,141)	(0,5;0,5;0,1838)	(0;1;0,141)
O(1)	Ba	O(1)	87,3(4)	(0;0;0,141)	(0,5;0,5;0,1838)	(1;0;0,141)
O(1)	Ba	O(1)	159,2(4)	(0;0;0,141)	(0,5;0,5;0,1838)	(1;1;0,141)
O(1)	Ba	O(2)	73(2)	(0;0;0,141)	(0,5;0,5;0,1838)	(0,5;0;0,392)
O(1)	Ba	O(2)	125(2)	(0;0;0,141)	(0,5;0,5;0,1838)	(0,5;1;0,392)
O(1)	Ba	O(3)	71(2)	(0;0;0,141)	(0,5;0,5;0,1838)	(0;0,5;0,37)
O(1)	Ba	O(3)	126(2)	(0;0;0,141)	(0,5;0,5;0,1838)	(1;0,5;0,37)
O(1)	Ba	O(4)	52,8(9)	(0;0;0,141)	(0,5;0,5;0,1838)	(0,5;0;0)
O(1)	Ba	O(4)	109,7(9)	(0;0;0,141)	(0,5;0,5;0,1838)	(0,5;1;0)
O(1)	Ba	O(5)	53,6(9)	(0;0;0,141)	(0,5;0,5;0,1838)	(0;0,5;0)
O(1)	Ba	O(5)	108,9(9)	(0;0;0,141)	(0,5;0,5;0,1838)	(1;0,5;0)
O(2)	Ba	O(2)	77,2(14)	(0,5;0;0,392)	(0,5;0,5;0,1838)	(0,5;1;0,392)
O(2)	Ba	O(3)	54,1(16)	(0,5;0;0,392)	(0,5;0,5;0,1838)	(0;0,5;0,37)
O(2)	Ba	O(4)	99(2)	(0,5;0;0,392)	(0,5;0,5;0,1838)	(0,5;0;0)
O(2)	Ba	O(4)	176(2)	(0,5;0;0,392)	(0,5;0,5;0,1838)	(0,5;1;0)
O(2)	Ba	O(5)	126(2)	(0,5;0;0,392)	(0,5;0,5;0,1838)	(0;0,5;0)
O(3)	Ba	O(3)	82,7(17)	(0;0,5;0,37)	(0,5;0,5;0,1838)	(1;0,5;0,37)
O(3)	Ba	O(4)	124(3)	(0;0,5;0,37)	(0,5;0,5;0,1838)	(0,5;0;0)
O(3)	Ba	O(5)	97(3)	(0;0,5;0,37)	(0,5;0,5;0,1838)	(0;0,5;0)
O(3)	Ba	O(5)	180(3)	(0;0,5;0,37)	(0,5;0,5;0,1838)	(1;0,5;0)
O(4)	Ba	O(4)	84,29(19)	(0,5;0;0)	(0,5;0,5;0,1838)	(0,5;1;0)
O(4)	Ba	O(5)	56,40(20)	(0,5;0;0)	(0,5;0,5;0,1838)	(0;0,5;0)
O(5)	Ba	O(5)	83,43(20)	(0;0,5;0)	(0,5;0,5;0,1838)	(1;0,5;0)
O(1)	Cu(1)	O(1)	180(8)	(0;0;0,141)	(0;0;0)	(0;0;-0,141)
O(1)	Cu(1)	O(4)	90(3)	(0;0;0,141)	(0;0;0)	(-0,5;0;0)
O(1)	Cu(1)	O(5)	90(2)	(0;0;0,141)	(0;0;0)	(0;-0,5;0)
O(4)	Cu(1)	O(4)	180(4)	(-0,5;0;0)	(0;0;0)	(0,5;0;0)
O(4)	Cu(1)	O(5)	90(18)	(-0,5;0;0)	(0;0;0)	(0;-0,5;0)
O(5)	Cu(1)	O(5)	180(4)	(0;-0,5;0)	(0;0;0)	(0;0,5;0)
O(1)	Cu(2)	O(2)	104(4)	(0;0;0,141)	(0;0;0,3512)	(-0,5;0;0,392)
O(1)	Cu(2)	O(3)	96(4)	(0;0;0,141)	(0;0;0,3512)	(0;-0,5;0,37)
O(2)	Cu(2)	O(2)	152(7)	(-0,5;0;0,392)	(0;0;0,3512)	(0,5;0;0,392)
O(2)	Cu(2)	O(3)	88,4(7)	(-0,5;0;0,392)	(0;0;0,3512)	(0;-0,5;0,37)
O(3)	Cu(2)	O(3)	167,1(4)	(0;-0,5;0,37)	(0;0;0,3512)	(0;0,5;0,37)



#### 4.6.2. Struktur Kristal Superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .



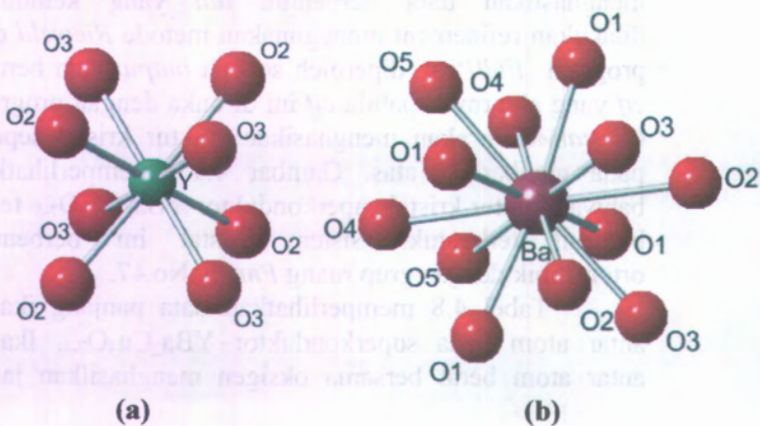
**Gambar 4.13** Struktur Kristal Superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

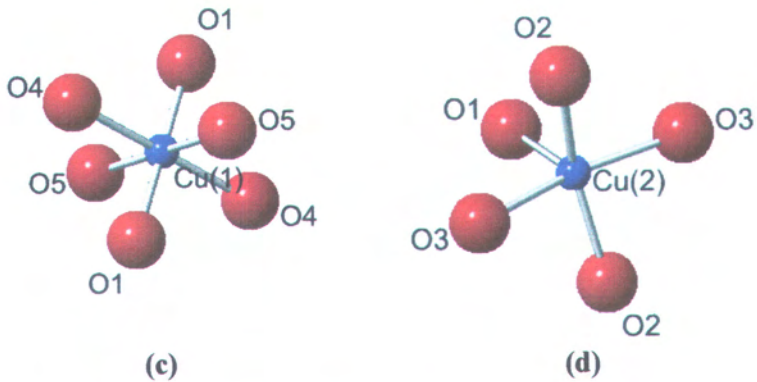
Berdasarkan hasil pola difraksi XRD yang menghasilkan data berbentuk *dat* yang kemudian dilakukan refinement menggunakan metode *Rietveld* dan program *FullProf*, diperoleh sebuah *output* data berupa *cif* yang akhirnya apabila *cif* ini di buka dengan program *CrystalMaker* akan menghasilkan stuktur kristal seperti pada gambar di atas. Gambar 4.13 memperlihatkan bahwa struktur kristal superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  telah berhasil terbentuk. Sistem kristal ini berbentuk ortorombik dengan grup ruang  $Pmmm$  No.47.

Tabel 4.8 memperlihatkan data panjang ikatan antar atom pada superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Ikatan antar atom berat bersama oksigen menghasilkan jarak

ikatan yang berbeda-beda. Gambar 4.14 menyatakan koordinasi atom-atom logam dengan oksigen.

Gambar 4.14 (a) adalah gambar atom Y yang memiliki koordinasi *eightfold* yang dikelilingi dengan empat O(2) dan empat O(3). Harga parameter suhu untuk semua atom dibuat sama dan kecil karena bila dilakukan refinement bernilai negatif maka nilainya  $0,01 \text{ \AA}^2$ . Ini berarti pada ketiga arah orientasi atom terjadi vibrasi yang sama kuat karena ada rongga yang memadai untuk geseran atom. Untuk faktor hunian ditetapkan 100% karena bila dilakukan refinement bernilai melebihi kedudukannya. Gambar 4.14 (b) terlihat bahwa Ba memiliki koordinasi *twelvefold* yaitu dikelilingi dengan empat O(1), dua O(2), dua O(3) dan dua O(4) serta dua O(5). Gambar 4.13 (c) adalah atom Cu(1) yang memiliki koordinasi *sixfold* yaitu dikelilingi dengan dua O(1), dua O(4) dan dua O(5). Gambar 4.14 (d) bahwa Cu(2) memiliki koordinasi *fivefold* yakni dikelilingi dengan satu O(1), dua O(2) dan dua O(3). Selain perbedaan jarak antar atom terdapat juga perbedaan sudut antara tiga atom yang diperlihatkan pada Tabel 4.9.





**Gambar 4.14.** Koordinasi atom-atom logam dengan oksigen dalam sel satuan fasa  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  : (a) Y-O, (b) Ba-O, (c) Cu(1)-O dan Cu(2)-O.

**Tabel 4.8.** Jarak antar dua atom (X-O) pada superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

Atom	Ikatan Antar Atom	Jarak (Å)
Y	Y-O(2)	2,45(2)
	Y-O(3)	2,351(20)
Ba	Ba-O(1)	2,74(5)
	Ba-O(2)	2,91(3)
	Ba-O(3)	3,09(3)
	Ba-O(4)	2,857(3)
	Ba-O(5)	2,878(3)
Cu	Cu(1)-O(1)	1,86(5)
	Cu(1)-O(4)	1,9442(203)
	Cu(1)-O(5)	1,913(20)
	Cu(2)-O(1)	2,27(5)



	Cu(2)-O(2)	1,953(3)
	Cu(2)-O(3)	1,953(7)
O	O(1)-O(2)	3,13(5)
	O(1)-O(4)	2,69(3)
	O(1)-O(5)	2,67(3)
	O(2)-O(3)	2,736(4)
	O(3)-O(3)	2,64(5)
	O(4)-O(5)	2,7275(20)

**Tabel 4.9.** Sudut antara tiga atom (O-X-O) pada superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

Atom 1	Atom 2	Atom 3	Sudut ( $^\circ$ )	Posisi		
				Atom 1	Atom 2	Atom 3
O(2)	Y	O(2)	102,6(7)	(0,5;0;0,369)	(0,5;0,5;0,5)	(0,5;1;0,369)
O(2)	Y	O(2)	77,4(16)	(0,5;0;0,369)	(0,5;0,5;0,5)	(0,5;0;0,631)
O(2)	Y	O(2)	180(16)	(0,5;0;0,369)	(0,5;0,5;0,5)	(0,5;1;0,631)
O(2)	Y	O(3)	69,4(7)	(0,5;0;0,369)	(0,5;0,5;0,5)	(0;0,5;0,387)
O(2)	Y	O(3)	110,6(16)	(0,5;0;0,369)	(0,5;0,5;0,5)	(0;0,5;0,613)
O(3)	Y	O(3)	111,6(7)	(0;0,5;0,387)	(0,5;0,5;0,5)	(1;0,5;0,387)
O(3)	Y	O(3)	68,4(153)	(0;0,5;0,387)	(0,5;0,5;0,5)	(0;0,5;0,613)
O(3)	Y	O(3)	180(15)	(0;0,5;0,387)	(0,5;0,5;0,5)	(1;0,5;0,613)
O(1)	Ba	O(1)	90,50(17)	(0;0;0,159)	(0,5;0,5;0,183)	(0;1;0,159)
O(1)	Ba	O(1)	88,55(13)	(0;0;0,159)	(0,5;0,5;0,183)	(1;0;0,159)
O(1)	Ba	O(1)	168,98(13)	(0;0;0,159)	(0,5;0,5;0,183)	(1;1;0,159)
O(1)	Ba	O(2)	67,3(12)	(0;0;0,159)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;0;0,369)
O(1)	Ba	O(2)	122,1(12)	(0;0;0,159)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;1;0,369)
O(1)	Ba	O(3)	68,2(12)	(0;0;0,159)	(0,5;0,5;0,183)	(0;0,5;0,387)
O(1)	Ba	O(3)	121,4(12)	(0;0;0,159)	(0,5;0,5;0,183)	(1;0,5;0,387)
O(1)	Ba	O(4)	57,4(6)	(0;0;0,159)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;0;0)
O(1)	Ba	O(4)	113,3(6)	(0;0;0,159)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;1;0)
O(1)	Ba	O(5)	56,6(6)	(0;0;0,159)	(0,5;0,5;0,183)	(0;0,5;0)
O(1)	Ba	O(5)	114,1(16)	(0;0;0,159)	(0,5;0,5;0,183)	(1;0,5;0)
O(2)	Ba	O(2)	82,2(7)	(0,5;0;0,369)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;1;0,369)
O(2)	Ba	O(3)	54,1(7)	(0,5;0;0,369)	(0,5;0,5;0,183)	(0;0,5;0,387)
O(2)	Ba	O(4)	96,9(12)	(0,5;0;0,369)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;0;0)
O(2)	Ba	O(4)	179,1(129)	(0,5;0;0,369)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;1;0)
O(2)	Ba	O(5)	123,7(12)	(0,5;0;0,369)	(0,5;0,5;0,183)	(0;0,5;0)



O(3)	Ba	O(3)	78(7)	(0;0,5;0,387)	(0,5;0,5;0,183)	(1;0,5;0,387)
O(3)	Ba	O(4)	125,3(12)	(0;0,5;0,387)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;0;0)
O(3)	Ba	O(5)	98,5(11)	(0;0,5;0,387)	(0,5;0,5;0,183)	(0;0,5;0)
O(3)	Ba	O(5)	176,5(11)	(0;0,5;0,387)	(0,5;0,5;0,183)	(1;0,5;0)
O(4)	Ba	O(4)	84,07(10)	(0,5;0;0)	(0,5;0,5;0,183)	(0,5;1;0)
O(4)	Ba	O(5)	56,79(10)	(0,5;0;0)	(0,5;0,5;0,183)	(0;0,5;0)
O(5)	Ba	O(5)	84,99(10)	(0;0,5;0)	(0,5;0,5;0,183)	(1;0,5;0)
O(1)	Cu(1)	O(1)	180(5)	(0;0;0,159)	(0;0;0)	(0;0;-0,159)
O(1)	Cu(1)	O(4)	90(20)	(0;0;0,159)	(0;0;0)	(-0,5;0;0)
O(1)	Cu(1)	O(5)	90(2)	(0;0;0,159)	(0;0;0)	(0;-0,5;0)
O(4)	Cu(1)	O(4)	180(3)	(-0,5;0;0)	(0;0;0)	(0,5;0;0)
O(4)	Cu(1)	O(5)	90(12)	(-0,5;0;0)	(0;0;0)	(0;-0,5;0)
O(5)	Cu(1)	O(5)	180(3)	(0;-0,5;0)	(0;0;0)	(0;0,5;0)
O(1)	Cu(2)	O(2)	95(2)	(0;0;0,159)	(0;0;0,35)	(-0,5;0;0,369)
O(1)	Cu(2)	O(3)	102(2)	(0;0;0,159)	(0;0;0,35)	(0;-0,5;0,387)
O(2)	Cu(2)	O(2)	169,21(14)	(-0,5;0;0,369)	(0;0;0,35)	(0,5;0;0,369)
O(2)	Cu(2)	O(3)	88,9(3)	(-0,5;0;0,369)	(0;0;0,35)	(0;-0,5;0,387)
O(3)	Cu(2)	O(3)	156,7(3)	(0;-0,5;0,387)	(0;0;0,35)	(0;0,5;0,387)

Tabel 4.9 menyatakan data besar sudut ikatan antara tiga atom pada superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Ikatan antara atom berat bersama oksigen menghasilkan nilai yang berbeda-beda. Sudut ikat dan jarak antar atom inilah yang digunakan sebagai acuan untuk mengetahui dampak penggantian atom Y dengan atom Gd dan atom ( $\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5}$ ). Dari ketiga bahan superkonduktor, pada struktur kristalnya terjadi perubahan volume yang disebabkan oleh perbedaan parameter kisinya, semakin besar nilai parameter kisi maka semakin besar pula volume struktur kristalnya.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

100	100	100	100	100	100
90	90	90	90	90	90
80	80	80	80	80	80
70	70	70	70	70	70
60	60	60	60	60	60
50	50	50	50	50	50
40	40	40	40	40	40
30	30	30	30	30	30
20	20	20	20	20	20
10	10	10	10	10	10
0	0	0	0	0	0

Table 4.9 menyajikan data besar untuk analisis regresi pada superkonduktor YBaCuO<sub>2</sub>. Ikhtisar tentang bentuk persamaan statistik nonlinier nilai yang berbeda-beda sudah bisa ditelusuri dalam nilai yang digambarkan sebagai nilai maksimum dan minimum bergantung atom Y dalam atom Cu dan atom E<sub>g</sub> (0.4). Dan karena dalam superkonduktor pada struktur kristal ini terjadi perubahan volume yang disebabkan oleh perbedaan parameter kristal, maka besar nilai parameter ini maka semakin besar pada volume struktur kristalnya.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan bahwa :

1. Superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  memiliki struktur ortorombik, grup ruang *Pmmm* No. 47. Penggantian atom Y dengan atom *rare earth* Gd dan Eu telah merubah volume dari struktur kristal dan pergeseran puncak pola difraksi dari ketiganya yang disebabkan oleh perbedaan parameter kisi.
2. Fraksi volume yang dihasilkan untuk superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  adalah 99,8%, untuk superkonduktor  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  adalah 99,72% dan superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  adalah 99,50%.
3. Penggantian Yttrium(Y) dengan Gadolynium (Gd) mengakibatkan panjang ikatan antar atom logam dengan oksigen menjadi lebih memanjang. Sedangkan untuk sudut ikatannya semakin mengecil.

### 5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk karakterisasi bahan menggunakan HRPD pada superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $(\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  dan  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  untuk mencari berapa nilai oksigen yang terkandung didalam sampel tersebut serta solusi terkait parameter termal yang bila *refinement* menghasilkan nilai yang negatif. Perlu dilakukan uji efek Meissner dan penentuan temperatur kritisnya( $T_c$ )

## “Halaman ini sengaja dikosongkan”

### 5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh

tersebut

1. Superkonduktor  $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$  ( $T_c = 92,5 K$ ) dan  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  memiliki struktur ortorombik grup ruang  $Fm\bar{3}m$  No. 47. Pengaturan atom Y dengan atom  $Ca$  dan  $Ba$  telah menjadi volume dan struktur kristal dan pengaturan atom  $Cu$  tidak dapat dirangsang yang disebabkan oleh perbedaan

2. Praksi volume yang dihasilkan untuk superkonduktor  $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$  adalah 92,5% untuk superkonduktor ( $T_c = 92,5 K$ ) dan  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  adalah 92,7% dan superkonduktor  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  adalah 92,50%.

3. Pengaturan Yttrium ( $T_c$  dalam GdBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub>) menunjukkan pengaruh yang signifikan dalam atom  $Ca$  dengan oksigen terdapat lebih menantang sebagai atom superkonduktor.

### 5.2 Daftar Pustaka

1. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tersebut  
 2. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tersebut  
 3. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tersebut  
 4. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tersebut  
 5. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tersebut  
 6. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tersebut  
 7. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tersebut  
 8. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tersebut  
 9. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tersebut  
 10. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tersebut



## DAFTAR PUSTAKA

- Beiser, A. dan The How Liong, Ph.D. (1983), *Konsep Fisika Modern*, edisi ketiga. Jakarta: Erlangga.
- Cyrot, M, and Pavuna, D.(1992). *Introduction To Superconductivity and Hight-Tc Material*. Singapore; World scientific.
- Darminto, (2009). *Handout Kuliah Fisika Zat Padat*, Surabaya.
- Fajar,Andika., H. Mugirahardjo, Bharoto, E. Santoso, dan Gunawan (2008) *Pengembangan Difraktometer Neutron Serbuk Resolusi Tinggi untuk Penelitian Struktur Bahan*, Pustek Bahan Industri Nuklir-BATAN
- Hespariyanti, Melvi., (2004), *Aplikasi Metode Rietveld dalam Penentuan Struktur Kristal Material Alumina dan Baja*. Skripsi, UNILA, Lampung.
- Krabbes, Gernot, Gunter Fuchs, Wolf-Rudiger Canders, Hardo May, and Ryszard Palka (2006), *High Temperature Superconductor Bulk Materials*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Mourachkine, Andrei.(2004) *Room-Temperature Superconductivity*, Cambridge International Science Publishing, Chippenham, England.
- Omar M. A., (1975), *Elementary Solid State Physics Principles and Application*, Addison Wesley Publishing Company, Filipina
- Pikatan, Sugata. (1989) *Mengenal Superkonduktor*.

Purwanto, Agus., (2001), *Difraksi*, Universitas Pelita Harapan, Jakarta.

Pratapa, Suminar. (2009), *Analisis Data Difraksi Menggunakan Metode Rietveld*, Laboratorium Difraksi Sinar-X Fisika FMIPA ITS, Surabaya.

Sukirman, Engkir. (1991) *Pengaruh Distribusi Kekosongan Oksigen pada Superkonduktivitas  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$*  Fakultas Pascasarjana Universitas Indonesia, Jakarta.

\_\_\_\_\_, 2009. Europium. <http://www.wikipedia.org> dikutip pada tanggal [29 Desember 2009 jam 13.00 WIB].

\_\_\_\_\_, 2009. Gadolinium. <http://www.wikipedia.org> dikutip pada tanggal [29 Desember 2009 jam 13.05 WIB].

## LAMPIRAN A

### PENENTUAN KOMPOSISI MASSA SAMPEL DAN JUMLAH HNO<sub>3</sub>

Diketahui atom relatif (Ar) :

$$\text{Gd} = 157,25 \text{ gram/mol}$$

$$\text{Eu} = 151,96 \text{ gram/mol}$$

$$\text{Y} = 88,90 \text{ gram/mol}$$

$$\text{Ba} = 137,34 \text{ gram/mol}$$

$$\text{Cu} = 63,54 \text{ gram/mol}$$

$$\text{O} = 15,99 \text{ gram/mol}$$

$$\text{H} = 1,00 \text{ gram/mol}$$

$$\text{N} = 14,00 \text{ gram/mol}$$

$$\text{C} = 12,01 \text{ gram/mol}$$

$$\text{Massa jenis HNO}_3 = 1,42 \text{ gram/ml}$$

Dengan massa atom relatif (Mr) :

$$\text{Y}_2\text{O}_3 = 225,80990 \text{ gram/mol}$$

$$\text{Gd}_2\text{O}_3 = 362,49820 \text{ gram/mol}$$

$$\text{Eu}_2\text{O}_3 = 351,92620 \text{ gram/mol}$$

$$\text{CuO} = 79,54540 \text{ gram/mol}$$

$$\text{HNO}_3 = 63,01288 \text{ gram/mol}$$

$$\text{BaCO}_3 = 197,34920 \text{ gram/mol}$$

#### A. Superkonduktor GdBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>.

##### • Perhitungan Massa :

$$\text{Gd}_2\text{O}_3 = \frac{1}{2} \times 362,4982 = 181,2491 \text{ gram/mol}$$

$$\text{BaCO}_3 = \frac{2}{1} \times 197,3492 = 394,6984 \text{ gram/mol}$$

$$\text{CuO} = \frac{3}{1} \times 79,5454 = \frac{238,6362 \text{ gram/mol} + 814,5837 \text{ gram/mol}}$$

Pembuatan 5 gram Superkonduktor  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

$$\text{Gd}_2\text{O}_3 = \frac{5 \text{ gram}}{814,5837} \times 181,2491 = 1,11253 \text{ gram}$$

$$\text{BaCO}_3 = \frac{5 \text{ gram}}{814,5837} \times 394,6984 = 2,42270 \text{ gram}$$

$$\text{CuO} = \frac{5 \text{ gram}}{814,5837} \times 238,6362 = \frac{1,46477 \text{ gram} + 5,00000 \text{ gram}}$$

• **Perhitungan Volume  $\text{HNO}_3$  :**



$$\text{Mol Gd}_2\text{O}_3 = \frac{\text{Massa}}{\text{Mr}} = \frac{1,11253}{362,4982} = 0,00331 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol HNO}_3 &= \frac{\text{Koefisien HNO}_3}{\text{Koefisien Gd}_2\text{O}_3} \times \text{mol Gd}_2\text{O}_3 \\ &= \frac{6}{1} \times 0,00331 \text{ mol} \\ &= 0,01984 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa HNO}_3 &= \text{mol HNO}_3 \times \text{Mr} \\ &= 0,01984 \text{ mol} \times 63,01288 \text{ gram/mol} \\ &= 1,25007 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Volume HNO}_3 = \frac{\text{Massa}}{\rho} = \frac{1,25007 \text{ gram}}{1,42 \text{ gram/mL}} = 0,88033 \text{ mL}$$



$$\text{Mol BaCO}_3 = \frac{\text{Massa}}{\text{Mr}} = \frac{2,42270}{197,3492} = 0,01228 \text{ mol}$$



$$\begin{aligned}\text{Mol HNO}_3 &= \frac{\text{Koefisien HNO}_3}{\text{Koefisien BaCO}_3} \times \text{mol BaCO}_3 \\ &= \frac{2}{1} \times 0,01228 \text{ mol} \\ &= 0,02455 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa HNO}_3 &= \text{mol HNO}_3 \times \text{Mr} \\ &= 0,02455 \text{ mol} \times 63,01288 \text{ gram/mol} \\ &= 1,54712 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\text{Volume HNO}_3 = \frac{\text{Massa}}{\rho} = \frac{1,54712 \text{ gram}}{1,42 \text{ gram/mL}} = 1,08952 \text{ mL}$$



$$\text{Mol CuO} = \frac{\text{Massa}}{\text{Mr}} = \frac{1,46477}{79,5454} = 0,01841 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol HNO}_3 &= \frac{\text{Koefisien HNO}_3}{\text{Koefisien CuO}} \times \text{mol CuO} \\ &= \frac{2}{1} \times 0,01841 \text{ mol} \\ &= 0,03683 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa HNO}_3 &= \text{mol HNO}_3 \times \text{Mr} \\ &= 0,03683 \text{ mol} \times 63,01288 \text{ gram/mol} \\ &= 2,32068 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\text{Volume HNO}_3 = \frac{\text{Massa}}{\rho} = \frac{2,32068 \text{ gram}}{1,42 \text{ gram/mL}} = 1,63428 \text{ mL}$$



## 2. Superkonduktor ( $\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7,8}$ )

### • Perhitungan Massa :

$$\text{Eu}_2\text{O}_3 = \frac{0,5}{2} \times 351,9262 = 87,98155 \text{ gram/mol}$$

$$\text{Gd}_2\text{O}_3 = \frac{0,5}{2} \times 362,4982 = 90,62455 \text{ gram/mol}$$

$$\text{BaCO}_3 = \frac{2}{1} \times 197,3492 = 394,69840 \text{ gram/mol}$$

$$\text{CuO} = \frac{3}{1} \times 79,5454 = \frac{238,63620 \text{ gram/mol} + 811,94070 \text{ gram/mol}}$$

Pembuatan 10 gram Superkonduktor ( $\text{Eu}_{0,5}\text{Gd}_{0,5}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7,8}$ ).

$$\text{Eu}_2\text{O}_3 = \frac{10 \text{ gram}}{811,94070} \times 87,98155 = 1,08360 \text{ gram}$$

$$\text{Gd}_2\text{O}_3 = \frac{10 \text{ gram}}{811,94070} \times 90,62455 = 1,11615 \text{ gram}$$

$$\text{BaCO}_3 = \frac{10 \text{ gram}}{811,94070} \times 394,6984 = 4,86117 \text{ gram}$$

$$\text{CuO} = \frac{10 \text{ gram}}{811,94070} \times 238,6362 = \frac{2,93908 \text{ gram} + 10,00000 \text{ gram}}$$

### • Perhitungan Volume $\text{HNO}_3$ :



$$\text{Mol Eu}_2\text{O}_3 = \frac{\text{Massa}}{\text{Mr}} = \frac{1,08360}{351,9262} = 0,003079 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol HNO}_3 &= \frac{\text{Koefisien HNO}_3}{\text{Koefisien Nd}_2\text{O}_3} \times \text{mol Eu}_2\text{O}_3 \\ &= \frac{6}{1} \times 0,003079 \text{ mol} \\ &= 0,0184743 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa HNO}_3 &= \text{mol HNO}_3 \times \text{Mr} \\ &= 0,0184743 \text{ mol} \times 63,01288 \text{ gram/mol} \\ &= 1,164118 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\text{Volume HNO}_3 = \frac{\text{Massa}}{\rho} = \frac{1,164118 \text{ gram}}{1,42 \text{ gram/mL}} = 0,819802 \text{ mL}$$



$$\text{Mol Gd}_2\text{O}_3 = \frac{\text{Massa}}{\text{Mr}} = \frac{1,11615}{362,4982} = 0,003079 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol HNO}_3 &= \frac{\text{Koefisien HNO}_3}{\text{Koefisien Nd}_2\text{O}_3} \times \text{mol Gd}_2\text{O}_3 \\ &= \frac{6}{1} \times 0,003079 \text{ mol} \\ &= 0,0184743 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa HNO}_3 &= \text{mol HNO}_3 \times \text{Mr} \\ &= 0,0184743 \text{ mol} \times 63,01288 \text{ gram/mol} \\ &= 1,16411 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\text{Volume HNO}_3 = \frac{\text{Massa}}{\rho} = \frac{1,16411 \text{ gram}}{1,42 \text{ gram/mL}} = 0,819802 \text{ mL}$$



$$\text{Mol BaCO}_3 = \frac{\text{Massa}}{\text{Mr}} = \frac{4,86117}{197,3492} = 0,02463 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol HNO}_3 &= \frac{\text{Koefisien HNO}_3}{\text{Koefisien BaCO}_3} \times \text{mol BaCO}_3 \\ &= \frac{2}{1} \times 0,02463 \text{ mol} \\ &= 0,04926 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa HNO}_3 &= \text{mol HNO}_3 \times \text{Mr} \\ &= 0,04926 \text{ mol} \times 63,01288 \text{ gram/mol} \\ &= 3,104308 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\text{Volume HNO}_3 = \frac{\text{Massa}}{\rho} = \frac{3,104308 \text{ gram}}{1,42 \text{ gram/mL}} = 2,186132 \text{ mL}$$



$$\text{Mol CuO} = \frac{\text{Massa}}{\text{Mr}} = \frac{2,93908}{79,5454} = 0,036948 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned}\text{Mol HNO}_3 &= \frac{\text{Koefisien HNO}_3}{\text{Koefisien CuO}} \times \text{mol CuO} \\ &= \frac{2}{1} \times 0,036948 \text{ mol} \\ &= 0,073896 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa HNO}_3 &= \text{mol HNO}_3 \times \text{Mr} \\ &= 0,073896 \text{ mol} \times 63,01288 \text{ gram/mol} \\ &= 4,656457 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\text{Volume HNO}_3 = \frac{\text{Massa}}{\rho} = \frac{4,656457 \text{ gram}}{1,42 \text{ gram/mL}} = 3,27919 \text{ mL}$$



### 3. Superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

- **Perhitungan Massa :**

$$\text{Y}_2\text{O}_3 = \frac{1}{2} \times 225,809 = 112,90495 \text{ gram/mol}$$

$$\text{BaCO}_3 = \frac{2}{1} \times 197,3492 = 394,69840 \text{ gram/mol}$$

$$\text{CuO} = \frac{3}{1} \times 79,5454 = \frac{238,6362 \text{ gram/mol} + 746,23955 \text{ gram/mol}}$$

Pembuatan 3 gram Superkonduktor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

$$\text{Y}_2\text{O}_3 = \frac{3 \text{ gram}}{746,23955} \times 112,90495 = 0,4539 \text{ gram}$$

$$\text{BaCO}_3 = \frac{3 \text{ gram}}{746,23955} \times 394,6984 = 1,58675 \text{ gram}$$

$$\text{CuO} = \frac{3 \text{ gram}}{746,23955} \times 238,6362 = \frac{0,95935 \text{ gram} + 3,00000 \text{ gram}}$$

- **Perhitungan Volume  $\text{HNO}_3$  :**

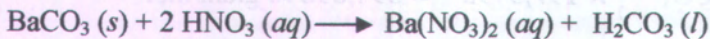


$$\text{Mol } \text{Y}_2\text{O}_3 = \frac{\text{Massa}}{\text{Mr}} = \frac{0,4539}{225,809} = 0,00201 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol } \text{HNO}_3 &= \frac{\text{Koefisien } \text{HNO}_3}{\text{Koefisien } \text{Y}_2\text{O}_3} \times \text{mol } \text{Y}_2\text{O}_3 \\ &= \frac{6}{1} \times 0,00201 \text{ mol} \\ &= 0,01206 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa HNO}_3 &= \text{mol HNO}_3 \times \text{Mr} \\ &= 0,01206 \text{ mol} \times 63,01288 \text{ gram/mol} \\ &= 0,75996 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Volume HNO}_3 = \frac{\text{Massa}}{\rho} = \frac{0,75996 \text{ gram}}{1,42 \text{ gram/mL}} = 0,53519 \text{ mL}$$



$$\text{Mol BaCO}_3 = \frac{\text{Massa}}{\text{Mr}} = \frac{1,58675}{197,3492} = 0,00804 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol HNO}_3 &= \frac{\text{Koefisien HNO}_3}{\text{Koefisien BaCO}_3} \times \text{mol BaCO}_3 \\ &= \frac{2}{1} \times 0,00804 \text{ mol} \\ &= 0,01608 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa HNO}_3 &= \text{mol HNO}_3 \times \text{Mr} \\ &= 0,01608 \text{ mol} \times 63,01288 \text{ gram/mol} \\ &= 1,01329 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Volume HNO}_3 = \frac{\text{Massa}}{\rho} = \frac{1,01329 \text{ gram}}{1,42 \text{ gram/mL}} = 0,71358 \text{ mL}$$



$$\text{Mol CuO} = \frac{\text{Massa}}{\text{Mr}} = \frac{0,95935}{79,5454} = 0,01206 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol HNO}_3 &= \frac{\text{Koefisien HNO}_3}{\text{Koefisien CuO}} \times \text{mol CuO} \\ &= \frac{2}{1} \times 0,01206 \text{ mol} \\ &= 0,02412 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa HNO}_3 &= \text{mol HNO}_3 \times \text{Mr} \\ &= 0,02412 \text{ mol} \times 63,01288 \text{ gram/mol} \\ &= 1,51993 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\text{Volume HNO}_3 = \frac{\text{Massa}}{\rho} = \frac{1,51993 \text{ gram}}{1,42 \text{ gram/mL}} = 1,07037 \text{ mL}$$

## LAMPIRAN B

INORGANIC CRYSTAL STRUCTURE DATABASE  
(ICSD)



COL ICSD Collection Code 78456  
 DATE Recorded Apr 22, 1996  
 NAME Gadolinium barium copper oxide (1/2/3/6.99)  
 FORM Gd Ba2 Cu3 O6.99  
       = Ba2 Cu3 Gd O6.99  
 TITL A systematic low-temperature neutron diffraction study of the R  
       Ba2 Cu3 Ox (R= yttrium, and rare earths; x= 6 and 7) compounds  
 REF Journal of Physics: Condensed Matter  
       JCOME 6 (1994) 7963-7976  
 AUT Guillaume M, AllenspachyP, Henggelyw, Mesotýj, Roessliýb,  
       Staubýu, FischeryP, FurreryA, Trounovýv  
 CELL a=3.831(1) b=3.893(1) c=11.667(1) Å=90.0 Å=90.0 ζ=90.0  
       V=174.0 Z=1  
 SGR P m m m (47) - orthorhombic  
 CLAS mmm (Hermann-Mauguin) - D2h (Schoenflies)  
 PRS OP13  
 ANX AB2C3X7  
 PARM

Atom	NO	OxStat	Wyck	X	Y	Z	SOF
Gd	1	3.000	1h	1/2	1/2	1/2	
Ba	1	2.000	2t	1/2	1/2	0.1826(4)	
Cu	1	2.320	1a	0.	0.	0.	
Cu	2	2.320	2q	0.	0.	0.3533(4)	
O	1	-2.000	2q	0.	0.	0.1596(4)	
O	2	-2.000	2s	1/2	0.	0.3755(5)	
O	3	-2.000	2r	0.	1/2	0.3776(5)	
O	4	-2.000	1b	1/2	0.	0.	
O	0.93(1)						
O	5	-2.000	1e	0.	1/2	0.	
O	0.06(2)						

WYCK t s r q2 h e b a  
 ITF Gd 1 B=0.1(1)  
 ITF Ba 1 B=0.1(1)  
 ITF Cu 1 B=0.3(1)  
 ITF Cu 2 B=0.3(1)  
 ITF O 1 B=0.5(1)  
 ITF O 2 B=0.4(1)  
 ITF O 3 B=0.4(1)  
 ITF O 4 B=2.0(2)  
 ITF O 5 B=2.0(2)  
 REM TEM 10  
 REM NDP (neutron diffraction from a powder)  
 REM RVP  
 REM K TC=94+1 K  
 RVAL 0.020  
 TEST At least one temperature factor is implausible or meaningless but  
 agrees with the value given in the paper. (Code 52)



## LAMPIRAN C

## CRYSTALLOGRAPHY OPEN DATABASE (COD)

YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>

```

-----
##$Date: 2008-01-26 13:05:32 +0000 (Sat, 26 Jan 2008) $
##$Revision: 19 $
##$URL: svn://cod.ibt.lt/cod/cif/1/1001435.cif $
-----
#
# This file is available in the Crystallography Open Database (COD),
# http://www.crystallography.net/
#
# All data on this site have been placed in the public domain by the
# contributors.
#
data_1001435
  _chemical_name_systematic      'Yttrium barium copper oxide (1/2/3/6.9) '
  _chemical_formula_structural    'Y Ba2 Cu3 O6.92'
  _chemical_formula_sum           'Ba2 Cu3 O6.92 Y'
  _publ_section_title
;
Structure-Property Relationships for RBa-2-Cu-3-O-x~ Phases
;
loop_
  _publ_author_name
    'Torardi, C C'
    'McCarron, E M'
    'Subramanian, M A'
    'Horowitz, H S'
    'Michel, J B'
    'Sleight, A W'
    'Cox, D E'
  _journal_name_full              'American Chemical Society: Symposium Series'
  _journal_codен_ASTM            ACSMC8
  _journal_volume                 351
  _journal_year                   1987
  _journal_page_first            152
  _journal_page_last             163
  _cell_length_a                  3.8179(1)
  _cell_length_b                  3.8801(2)
  _cell_length_c                  11.6655(6)
  _cell_angle_alpha               90
  _cell_angle_beta               90
  _cell_angle_gamma              90
  _cell_volume                    172.8
  _cell_formula_units_Z          1
  _symmetry_space_group_name_H-M  'P m m m'
  _symmetry_Int_Tables_number     47
  _symmetry_cell_setting          orthorhombic
loop_
  _symmetry_equiv_pos_as_xyz
    'x, y, z'
    '-x, -y, z'
    'x, -y, -z'
    '-x, y, -z'
    '-x, -y, -z'
    'x, y, z'
    '-x, y, z'
    'x, -y, z'

```

```

loop_
  _atom_type_symbol
  _atom_type_oxidation_number
  Ba2+ 2.000
  Y3+ 3.000
  Cu2+ 2.280
  O2- -2.000
loop_
  _atom_site_label
  _atom_site_type_symbol
  _atom_site_symmetry_multiplicity
  _atom_site_Wyckoff_symbol
  _atom_site_fract_x
  _atom_site_fract_y
  _atom_site_fract_z
  _atom_site_occupancy
  _atom_site_attached_hydrogens
  _atom_site_calc_flag
Ba1 Ba2+ 2 t 0.5 0.5 0.1847(4) 1. 0 d
Y1 Y3+ 1 h 0.5 0.5 0.5 1. 0 d
Cu1 Cu2+ 1 a 0. 0. 0. 1. 0 d
Cu2 Cu2+ 2 q 0. 0. 0.3556(3) 1. 0 d
O1 O2- 2 q 0. 0. 0.1586(4) 1. 0 d
O2 O2- 2 r 0. 0.5 0.3784(5) 1. 0 d
O3 O2- 2 s 0.5 0. 0.3782(4) 1. 0 d
O4 O2- 1 e 0. 0.5 0. 0.87(3) 0 d
O5 O2- 1 b 0.5 0. 0. 0.05(1) 0 d
refine_ls_R_factor_all 0.022

```

## LAMPIRAN D

## INFORMASI UNTUK GRUP RUANG PMMM (NO. 47)

Number of Space group: 47  
 Hermann-Mauguin Symbol: P M M M  
 Hall Symbol: -P 2 2  
 Table Setting Choice:  
 Setting Type: Generated from Hall symbol  
 Crystal System: Orthorhombic  
 Laue Class: mmm  
 Point Group: mmm  
 Bravais Lattice: P  
 Lattice Symbol: oP  
 Reduced Number of S.O.: 4  
 General multiplicity: 8  
 Centrosymmetry: Centric (-1 at origin)  
 Generators (exc. -1&L): 2  
 Asymmetric unit: 0.000  $\leq x \leq$  0.500  
                           0.000  $\leq y \leq$  0.500  
                           0.000  $\leq z \leq$  0.500  
 Centring vectors: 0

## List of all Symmetry Operators and Symmetry Symbols

SYMM( 1): x,y,z	Symbol: 1
SYMM( 2): -x,-y,z	Symbol: 2 0,0,z
SYMM( 3): x,-y,-z	Symbol: 2 x,0,0
SYMM( 4): -x,y,-z	Symbol: 2 0,y,0
SYMM( 5): -x,-y,-z	Symbol: -1 0,0,0
SYMM( 6): x,y,-z	Symbol: m x,y,0
SYMM( 7): -x,y,z	Symbol: m 0,y,z
SYMM( 8): x,-y,z	Symbol: m x,0,z

## Special Wyckoff Positions for P M M M

Multip	Site	Representative translations excluded)	Coordinates (centring
4	z	x,y,1/2 -x,y,1/2	-x,-y,1/2 x,-y,1/2
4	y	x,y,0 -x,y,0	-x,-y,0 x,-y,0
4	x	x,1/2,z -x,y,0	-x,1/2,z x,1/2,-z
4	x	x,1/2,z -x,1/2,-z	-x,1/2,z x,1/2,-z
4	w	x,0,z -x,0,-z	-x,0,z x,0,-z
4	v	1/2,y,z 1/2,y,-z	1/2,-y,z 1/2,-y,-z
4	u	0,y,z 0,y,-z	0,-y,z 0,-y,-z
2	t	1/2,1/2,z	1/2,1/2,-z
2	s	1/2,0,z	1/2,0,-z
2	r	0,1/2,z	0,1/2,-z
2	q	0,0,z	0,0,-z
2	p	1/2,y,1/2	1/2,-y,1/2
2	o	1/2,y,0	1/2,-y,0
2	n	0,y,1/2	0,-
2	k	x,1/2,0	-x,1/2,0
2	j	x,0,1/2	-x,0,1/2
2	i	x,0,0	-x,0,0
1	h	1/2,1/2,1/2	
1	g	0,1/2,1/2	
1	f	1/2,1/2,0	
1	e	0,1/2,0	
1	d	1/2,0,1/2	
1	c	0,0,1/2	
1	b	1/2,0,0	



1        a        0,0,0

>>> Integral reflections conditions for centred lattices:

=====

====>>> no general reflection condition

>>> Zonal reflections conditions for glide planes:

=====

====>>> no zonal reflection condition

>>> Serial reflections conditions for screw axes:

=====

====>>> no serial reflection condition

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Sidoarjo pada tanggal 17 April 1988, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis dilahirkan dari kedua orang tua yang bernama Suwandi dan Nurmah. Penulis adalah alumni dari TK Aisyah, SD Negeri 1 Tulangan, SLTP Negeri 1 Tulangan dan SMA Negeri 1 Sidoarjo. Setelah lulus menempuh Pendidikan Menengah atas, penulis melanjutkan Pendidikan Tinggi di Jurusan Fisika Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru (SPMB) pada bulan Juli 2006. Selama menempuh pendidikan tinggi di ITS, penulis pernah aktif dan berpartisipasi dalam organisasi HIMASIKA-ITS dan BEM-FMIPA ITS. Penulis juga aktif mengikuti beberapa pelatihan, seminar dan *study tour*. Penulis sempat menempuh Kerja Praktek di BATAN Serpong, Tangerang. Penulis pernah menjadi koordinator asisten praktikum Fisika Dasar. Penulis menamatkan studi di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan mengambil Tugas Akhir pada bidang Fisika Bahan.