

**PERTUMBUHAN FASE BAHAN SUPERKONDUKTOR Bi-2223 DENGAN
VARIASI DOPING Pb (BPSCCO-2223) PADA KADAR Ca = 2.10 DAN
SUHU SINTERING 855⁰C**

(Skripsi)

Oleh
RENITA MAHARANI FAUZI



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

PERTUMBUHAN FASE BAHAN SUPERKONDUKTOR Bi-2223 DENGAN VARIASI DOPING Pb (BPSCCO-2223) PADA KADAR Ca = 2.10 DAN SUHU SINTERING 855°C

Oleh

Renita Maharani Fauzi

Sintesis bahan superkonduktor BPSCCO-2223 telah dilakukan dengan variasi doping Pb (BPSCCO-2223) pada kadar Ca 2.10 fraksi mol dan suhu sintering 855°C. Sintesis dilakukan dengan metode reaksi padatan (*solid state reaction methode*). Variasi doping Pb yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, dan 0.4. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh doping Pb terhadap pertumbuhan fase bahan superkonduktor BPSCCO-2223 berdasarkan nilai fraksi volume, derajat orientasi, dan impuritas. Kalsinasi dilakukan pada suhu 800°C selama 10 jam, dan sintering dilakukan pada suhu 855°C selama 20 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan doping Pb dalam sampel dapat meningkatkan fraksi volume BPSCCO-2223 dan menurunkan impuritas. Berdasarkan analisis pola XRD didapatkan nilai fraksi volume BPSCCO-2223 yang paling tinggi adalah 62.06% pada doping Pb 0.4. Sedangkan fraksi volume BPSCCO-2223 terendah pada sampel dengan doping Pb 0.0 yaitu 42.14%. Derajat orientasi pada sampel tanpa doping Pb yaitu 38.51%, nilai derajat orientasi menurun pada sampel dengan doping Pb 0.1 menjadi 21.81%, namun kemudian derajat orientasi akan mengalami peningkatan seiring dengan penambahan doping Pb (0.1-0.4). Derajat orientasi pada sampel doping Pb 0.4 adalah 38.13%. Selain itu, penambahan doping Pb akan menurunkan nilai impuritas. Nilai impuritas terendah yaitu pada sampel dengan kadar doping Pb 0.4 yaitu 37.94%. Berdasarkan hasil SEM dapat dilihat bahwa semua sampel telah menunjukkan lapisan-lapisan yang tersusun searah (terorientasi) dengan ruang kosong antara lempengan (*void*) relatif kecil.

Kata kunci: variasi doping Pb, fraksi volume, derajat orientasi, impuritas, fase Bi-2223

ABSTRACT

PHASE FORMATION OF SUPERCONDUCTING MATERIAL BI-2223 WITH VARIANS OF DOPING Pb (BPSCCO-2223) AT LEVEL OF Ca = 2.10 AND SINTERING TEMPERATURE 855°C

By

Renita Maharani Fauzi

The synthesis of BSCCO-2223 superconducting material with varians of doping Pb (BPSCCO-2223) at level of Ca = 2,10 mol fraction and sintering temperature of 855°C has been done by solid state reaction method. The varians of doping Pb was used for the research are 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, and 0.4. Variation was carried out to determine the effect of doping Pb on phase formation superconducting material of BPSCCO-2223 that views based on volume fraction, the degree of orientation and impurities. Calcination was executed for 10 hours at temperature of 800°C and sintering for 20 hours at temperature of 855°C. Result of research shows the increase of doping Pb in the sample could increase volume fraction of BPSCCO-2223 and decrease impurity. Based on the XRD pattern analysis obtained olume fraction value of BPSCCO-2223 that is relatively high is 62.06% on doping Pb 0.4. The lowest volume fraction is 42.14% on doping Pb 0.0. The degree of orientation in the sample without doping Pb is 38.51%, the value of degrees of orientation decreases in the sample with doping Pb 0.1 to 21.81%. Then the degree of orientation will increase along with the increase of doping Pb (0.1-0.4). The degree of orientation in sample of doping Pb 0.40 is 38.13%. Besides the addition of doping Pb will decrease the value of impurities. The lowest impurity value of is 37.94% on doping Pb 0.4. Result of SEM shows that all samples have shown that layers arranged in the direction of the empty space between the plates (void) is relatively small.

Keywords: varians doping Pb, volume fraction, degree of orientation, impurity, Bi-2223 phase.

**PERTUMBUHAN FASE BAHAN SUPERKONDUKTOR Bi-2223 DENGAN
VARIASI DOPING Pb (BPSCCO-2223) PADA KADAR Ca = 2.10 DAN
SUHU SINTERING 855°C**

Oleh
RENITA MAHARANI FAUZI

Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

Judul Skripsi

: **PERTUMBUHAN FASE BAHAN
SUPERKONDUKTOR BI-2223 DENGAN
VARIASI DOPING Pb (BPSCCO-2223)
PADA KADAR Ca = 2,10 DAN SUHU
SINTERING 855°C**

Nama Mahasiswa

: **Renita Maharani Fauzi**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1217041042

Jurusan

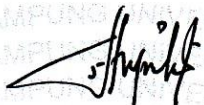
: Fisika

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

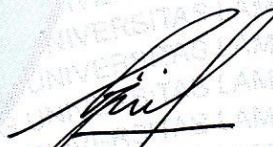
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Suprihatin, S.Si., M.Si.

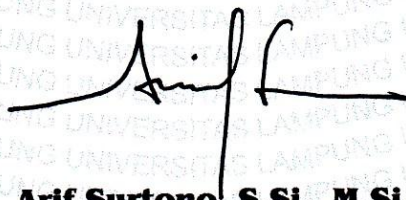
NIP 19730414 199702 2 001



Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si.

NIP 19570825 198603 1 002

2. Ketua Jurusan Fisika




Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.

NIP 19710909 200012 1 001

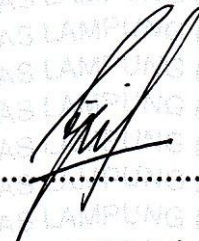
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

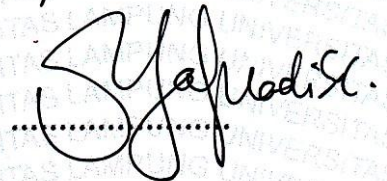
Ketua : **Suprihatin, S.Si., M.Si.**



Sekretaris : **Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si.**



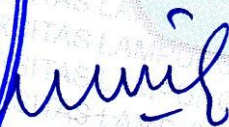
Penguji
Bukan Pembimbing : **Drs. Syafriadi, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Dr. Warsito, S.Si., D.E.A.
NIP 19710212 199512 1 001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **15 Agustus 2017**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang dipernah dilakukan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebut dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Agustus 2017



Renita Maharani Fauzi
NPM. 121741042

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Metro, 13 Oktober 1994. Penulis adalah anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Fauzi Ahmad Mursalin dan Ibu Suprihatin. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Budi Utama Pajaresuk pada tahun 2001, Sekolah Dasar di SDN 2 Pajaresuk pada tahun 2006, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 01 Pringsewu pada tahun 2009, dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 01 Pringsewu pada tahun 2012.

Pada tahun 2012, penulis diterima sebagai mahasiswa Universitas Lampung (Unila), Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), di jurusan Fisika melalui jalur SNMPTN. Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Krakatau Steel, Cilegon-Banten pada tahun 2015 dengan judul **“ANALISIS PROSES PEMBUATAN BAJA JIS G3133 SAPH END USE OUTOMOTIF DI PT. KRAKATAU STEEL (Persero) Tbk”**. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kabupaten Tanggamus, Pekon Kelumbayan, Desa Umbar pada tahun 2016. Penulis pernah menjadi asisten praktikum Sains Dasar, Fisika Dasar, dan Fisika Inti. Selama menjadi mahasiswa, penulis menjadi anggota dari Lembaga Kemahasiswaan (LK) Himpunan Mahasiswa Fisika.

MOTTO

Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari
betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah
(Thomas Alva Edison)

Sukses adalah kemampuan untuk melangkah dari kegagalan tanpa hilang
antusiasme (Sir Winston Churchill)

Jangan pernah menunda sampai besok apa yang bisa anda lakukan hari ini
(Thomas Jefferson)

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan karya ini untuk orang-orang yang kusayangi:

Kedua Orang Tuaku Tercinta

Ayah dan Ibunda tersayang, motivator terbesar dalam hidupku, yang tak pernah berhenti mendoakan dan menyayangiku. Terimakasih atas semua pengorbanan dan kesabaran mengantarku hingga kini.

Adik-adikku tersayang

Sahabat-sahabat terbaikku

Almamater tercinta Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin. Segala Puji hanya milik Allah SWT atas limpahan rahmat dan pertolongan-Nya, penulis bisa menyelesaikan skripsi yang berjudul **“PERTUMBUHAN FASE BAHAN SUPERKONDUTOR Bi-2223 DENGAN VARIASI DOPING Pb (BPSCCO-2223) PADA KADAR Ca = 2,10 DAN SUHU SINTERING 855°C”**. Adapun tujuan utama skripsi ini adalah sebagai salah satu syarat yang harus ditempuh untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains dari Universitas Lampung.

Penulis menyadari dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini banyak terdapat kekurangan. Oleh sebab itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diperlukan untuk memperbaiki dan menyempurnakan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Bandar Lampung, Agustus 2017
Penulis

Renita Maharani Fauzi

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur senantiasa penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, Rabb semesta alam yang menciptakan langit dan bumi serta penguasa atas semua makhluk. Alhamdulillah penulisan skripsi dengan judul “Pertumbuhan Fase Bahan Superkonduktor Bi-2223 dengan Variasi Doping Pb (BPSCCO-2223) pada Kadar Ca 2,10 dan Suhu Sintering 855°C”, sebagai salah satu syarat yang harus ditempuh untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains dari Universitas Lampung dapat terselesaikan. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua penulis, Ayah dan Ibu tercinta (Bapak Fauzi Ahmad Mursalin dan Ibu Suprihatin) yang selalu mendo'akan kebaikan bagi penulis.
2. Ibu Suprihatin, M.Si., sebagai Dosen Pembimbing I atas kesediannya membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan selalu meluangkan waktunya untuk memberikan ilmu dan nasihatnya kepada penulis.
3. Bapak Drs Ediman Ginting Suka, M.Si., sebagai Dosen Pembimbing II atas kesediannya membimbing dan memberikan saran kepada penulis.
4. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si. sebagai dosen Penguji yang telah berkenan menguji dan memberikan saran yang membangun kepada penulis.

5. Abi YasGhi atas kesediaannya membimbing dan memberi nasihat kepada penulis.
6. Bapak Dr. Junaidi selaku Pembimbing Akademik
7. Bapak Arif Surtono, M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika dan Bapak Gurum Ahmad Pauzi, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Fisika.
8. Adikku Esha Galang Gati Mahendra dan Muhammad Ghani Albar yang telah mendo'akan dan menghiburku.
9. Teman satu tim penelitian Riandini Pratiwi yang telah membantu dan memberikan motivasi kepada penulis.
10. Sahabat tercinta Dwi Aulia Ramadhani, Fitri Merlia, Istiqomatul Lailiyah D.L, Melati Sekar Arum, Tirta Kencana Dewi, Kiki Aprilia, Abriana Retno Utami yang selalu menghibur, menjadi pendengar yang baik dan selalu memberikan semangat serta dukungannya.
11. Sahabat di Fisika angkatan 2012, Nengah Okta Yuliani, Juniati BR Simbolon, Imaniar Romaeni, Sri Aknes, Nuraini Arma dan semua teman-teman Fisika lainnya.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dan niat baik yang telah diberikan.

Aamiin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Bandar Lampung, Agustus 2017

Penulis

Renita Maharani Fauzi

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Batasan Masalah	6
E. Manfaat Penelitian	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Superkonduktor	7
B. Struktur Kristal dan Diagram Fase Superkonduktor BSCCO	10
C. Sintesis Superkonduktor BSCCO-2223	13
D. Peranan Doping Pb	14
E. Kalsinasi	16
F. Sintering	16
G. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	18
H. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	20
I. <i>Celref</i>	21

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	23
B. Alat dan Bahan	23
C. Komposisi Bahan	24
D. Preparasi Sampel	25
E. Karakterisasi	29
F. Analisis Pola <i>X-Ray Diffraction</i> dengan Program <i>Celref</i>	31

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran Pola Difraksi Sinar-X (XRD)	38
B. Hasil Analisis Pola Difraksi Sinar-X (XRD)	42
C. Hasil Uji <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	46

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	49
B. Saran	50

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi bahan BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0.0 (BPSCCO-2223/Pb: 0,0).....	24
2. Komposisi bahan BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0.1 (BPSCCO-2223/Pb: 0.1).....	24
3. Komposisi bahan BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0.2 (BPSCCO-2223/Pb: 0.2).....	25
4. Komposisi bahan BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0.3 (BPSCCO-2223/Pb: 0.3).....	25
5. Komposisi bahan BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0.4 (BPSCCO-2223/Pb: 0.4).....	25
6. Hasil perhitungan fase BPSCCO-2223 yang terbentuk	42
7. Hasil perhitungan nilai impuritas BPSCCO-2223	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Fluks magnet pada jangkauan medan kritis	10
2. Struktur kristal BSCCO	11
3. Diagram fase superkonduktor BPSCCO.....	12
4. Skema SEM	19
5. Skema difraksi sinar-X oleh atom dalam kristal.....	20
6. Diagram alir penelitian.....	26
7. Diagram kalsinasi.....	28
8. Diagram sintering.....	29
9. Spektrum XRD superkonduktor BPSCCO-2223.....	31
10. Mengubah file <i>.txt</i> menjadi file <i>.rd</i>	32
11. Input data <i>.rd</i>	32
12. Memasukkan data <i>.rd</i>	33
13. Puncak-puncak yang akan diukur dari spektrum XRD.....	33
14. Initial parameter sel, yaitu dengan memilih jenis kristal ortorombik tipe FMMM.....	34
15. Proses <i>calculate</i>	34
16. Seleksi puncak dengan memilih toleransi berkisar 0,5 sampai dengan 1,0 ...	35
17. Hasil <i>refine</i> terbaik.....	36

18. Hasil <i>database excel</i> setelah di- <i>rifine</i>	36
19. Menentukan nilai intensitas	37
20. Hasil analisis pola XRD pada sampel BPSCCO-2223/Pb: 0.0.....	38
21. Hasil analisis pola XRD pada sampel BPSCCO-2223/Pb: 0.1.....	39
22. Hasil analisis pola XRD pada sampel BPSCCO-2223/Pb: 0.2.....	39
23. Hasil analisis pola XRD pada sampel BPSCCO-2223/Pb: 0.3.....	39
24. Hasil analisis pola XRD pada sampel BPSCCO-2223/Pb: 0.4.....	39
25. Hubungan antara variasi doping Pb terhadap fraksi volume (FV) dan derajat orientasi (P).....	43
26. Hubungan antara variasi doping Pb terhadap impuritas (I)	45
27. Hasil perekaman foto SEM pada sampel (a) BPSCCO-2223/Pb: 0.0 (b) BPSCCO-2223/Pb: 0.1, (c) BPSCCO-2223/Pb: 0.2, (d) BPSCCO-2223/Pb: 0.3, (e) BPSCCO-2223/Pb: 0.4, dengan perbesaran masing-masing 3000x.....	47

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sejak ditemukan material superkonduktor oleh H.K Onnes pada tahun 1911, penelitian tentang bahan superkonduktor terus dikembangkan. Superkonduktor semakin banyak digunakan seiring dengan kemajuan teknologi, misalnya kereta api super cepat di Jepang yang dikenal dengan *MagLev (Magnetic Levitation) train*. Prinsip dari kereta api ini adalah memanfaatkan gaya magnet sehingga tidak menyentuh rel dan gaya gesek dapat dikurangi. Kereta *maglev* mengambang kurang lebih 10 mm di atas rel megnetiknya. Penyusun relnya adalah magnet superkonduktor. Dorongan ke depan dilakukan melalui interaksi antar rel magnetik dengan mesin induksi yang juga menghasilkan medan magnetik di dalam kereta, dengan kecilnya gaya gesek dan besarnya gaya dorong, kereta ini mampu melaju dengan kecepatan sampai 600 km/jam (Shimbashi dan Minato-ku, 2003).

Selain *maglev* penggunaan bahan superkonduktor lainnya adalah kabel superkonduktor dengan pendingin nitrogen untuk menggantikan kabel listrik bawah tanah yang terbuat dari tembaga (Harsojo, 1998; Harsojo, 2003), dan generator SKST (Barnes *et al.*, 2005) serta masih banyak lagi penggunaan superkonduktor di berbagai bidang lainnya.

Suatu bahan memiliki sifat superkonduktor jika menunjukkan dua sifat khusus yaitu konduktivitas sempurna (*perfect conductivity*) tanpa adanya hambatan ($\rho = 0$) pada $T < T_c$ dan diamagnetik sempurna (*perfect diamagnetic*) dengan $B = 0$ pada temperatur $T < T_c$ (Tinkham, 1996).

Kendala yang dihadapi pada aplikasi bahan superkonduktor adalah sifat superkonduktivitas bahan hanya akan muncul pada suhu yang amat rendah, jauh di bawah 0°C . Kendala tersebut dapat diatasi setelah ditemukan superkonduktor suhu kritis tinggi (Darminto dkk, 1999). Berdasarkan suhu kritis (T_c) superkonduktor dibagi menjadi 2, yaitu: superkonduktor temperatur rendah dan superkonduktor suhu tinggi (SKST). Superkonduktor temperatur rendah memiliki nilai T_c di bawah nitrogen cair (77 K) sedangkan SKST memiliki T_c di atas nitrogen cair. Superkonduktor suhu tinggi merupakan golongan superkonduktor yang menarik untuk dikembangkan karena cenderung aplikatif dibandingkan dengan superkonduktor temperatur rendah (Windartun, 2008).

Superkonduktor suhu tinggi ditemukan pada awal tahun 1988, yaitu superkonduktor oksida Bi-2223 dan Ti-2223 dengan suhu kritis 110 K dan 125 K (Sukirman dkk, 2003). Pada superkonduktor Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO) dikenal tiga fase yang berbeda yaitu fase BSCCO-2201 ($T_c \sim 10$ K), fase BSCCO-2212 ($T_c \sim 80$ K) dan fase BSCCO-2223 ($T_c \sim 110$ K) (Yulianti, 2004). Sehingga jika dilihat dari nilai T_c -nya maka superkonduktor BSCCO-2223 merupakan fase yang menarik untuk diteliti karena memiliki nilai T_c yang relatif tinggi.

Untuk mendapatkan fase BSCCO-2223 murni kendala yang dihadapi adalah saat proses sintesis, karena ketika mensintesis fase BSCCO-2223 pada umumnya masih tercampur dengan fase lain yang tidak menguntungkan maupun pengotor seperti Ca_3CuO_2 , CuO , Ca_2PbO_4 (Widodo, 2010). Penelitian tentang bahan superkonduktor BSCCO-2223 terus dilakukan untuk mendapatkan bahan superkonduktor dengan kemurnian tinggi yaitu dengan atau tanpa doping, memvariasikan suhu kalsinasi dan sintering, memvariasikan waktu pelelehan, waktu penahanan dan sebagainya (Subarwanti, 2013). Memvariasikan kadar doping merupakan salah satu faktor dalam sintesis bahan superkonduktor yang bertujuan untuk mempercepat pertumbuhan dan peningkatan fraksi volumenya (Mizuno, 1998; Suharta, 1997).

Sistem sintesis dan suhu sintering memiliki pengaruh terhadap pembentukan fase dan struktur mikro. Sehingga diperlukan parameter proses yang tepat untuk memperoleh fase bahan superkonduktor BSCCO-2223. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Harnova (2005), menunjukkan bahwa sistem sintesis (kalsinasi-sintering) dipisah memiliki fraksi volume tertinggi (FV = 85%) dibandingkan dengan sistem sintesis (kalsinasi-sintering) digabung (FV = 62.31%) dan dengan dilakukan sintering dua kali (FV = 83.21%). Kemudian waktu penahanan sintering 20 jam mempunyai fraksi volume tertinggi (FV = 88.04%) dibandingkan dengan waktu penahanan sintering 40 jam (FV = 59.76%) dan 60 jam (FV = 57.19%).

Penelitian mengenai doping Pb pernah dilakukan oleh Ferlian (2008) pada sistem Bi-2223, dengan suhu kalsinasi 800°C dan suhu sintering 840°C serta kadar Ca

yang dipakai 2.00. Hasilnya menunjukkan bahwa sampel dengan kadar doping Pb 0.2 mempunyai fraksi volume tertinggi (FV = 70.22%), sedangkan derajat orientasi tertinggi (P = 41.90%) pada sampel dengan kadar doping Pb 0.3.

Selain penambahan doping Pb, penambahan Ca juga dapat mempengaruhi pembentukan fase dalam sistem BSCCO (Ginley *et al.*, 2002). Penambahan kadar Ca dalam sampel dapat meningkatkan fraksi volume BPSCCO, seperti penelitian yang dilakukan oleh Afriani (2013), yang memvariasikan kadar CaCO_3 yaitu 1.95, 2.00, 2.05, dan 2.10 pada suhu sintering 840°C selama 20 jam dan kadar Pb 0.4. Didapatkan hasil untuk fraksi volume tertinggi (FV = 86.09%) dan derajat orientasi tertinggi (P = 55.48%) pada sampel dengan kadar Ca 2.10 fraksi mol.

Selain itu, penelitian mengenai suhu sintering dilakukan oleh Reviana (2013) yang memvariasikan suhu sintering yaitu 840°C , 845°C , 850°C , dan 855°C . Dari penelitian ini didapatkan bahwa suhu sintering 855°C memiliki nilai fraksi volume yang paling tinggi (FV = 86.80%), sedangkan derajat orientasi tertinggi (P = 47.87%) pada suhu sintering 850°C .

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dilakukan penelitian tentang variasi doping Pb dalam pertumbuhan fase superkonduktor Bi-2223 (BPSCCO-2223), pada kadar Ca 2.10 fraksi mol dan suhu sintering 855°C . Metode sintesis yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode reaksi padatan. Karakterisasi sampel dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Aspek yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah tingkat kemurnian fase yang terbentuk dengan menghitung fraksi volume, impuritas, dan derajat orientasi.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi doping Pb terhadap pertumbuhan fase bahan superkonduktor BPSCCO-2223?
2. Bagaimana struktur mikro dari bahan superkonduktor BPSCCO-2223 dengan menganalisis hasil SEM?
3. Bagaimana tingkat kemurnian fase bahan superkonduktor BPSCCO-2223 yang terbentuk dengan menganalisis data XRD untuk menghitung nilai fraksi volume, derajat orientasi, dan impuritas?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh doping Pb terhadap pertumbuhan fase bahan superkonduktor BPSCCO-2223.
2. Mengetahui struktur mikro bahan superkonduktor BPSCCO-2223 dari hasil SEM.
3. Mengetahui tingkat kemurnian fase bahan superkonduktor BPSCCO-2223 yang terbentuk dengan menganalisis data XRD untuk menghitung nilai fraksi volume, derajat orientasi, dan impuritas.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Sintesis superkonduktor BPSCCO-2223 dilakukan dengan metode reaksi padatan (*solid state reaction methode*).
2. Variasi doping Pb yang dilakukan adalah 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, dan 0.4 dengan kadar Ca = 2.10 fraksi mol.
3. Kalsinasi dilakukan pada suhu 800°C selama 10 jam dan sintering dilakukan pada suhu 855°C selama 20 jam.
4. Penentuan tingkat kemurnian fase dilakukan dengan karakterisasi XRD dan mikrostruktur dengan karakterisasi SEM.
5. Analisis kuantitatif pola difraksi sinar-X hasil sintesis dilakukan dengan program *celref*.
6. Penelitian ini tidak mengkaji temperatur kritis (T_c), efek meissner, dan rapat arus kritis (J_c).

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai kadar doping Pb yang relatif baik dalam sintesis superkonduktor fase BPSCCO-2223.
2. Sebagai referensi ilmiah untuk penelitian lebih lanjut, terutama tentang bahan superkonduktor fase BPSCCO-2223.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Superkonduktor

1. Sejarah Superkonduktor

Pada tahun 1911 fisikawan Belanda, Heike Kamerling Onnes menemukan dalam risetnya, bahwa resistivitas DC dari merkuri tiba-tiba menurun drastis menuju nol dalam kondisi sampel di bawah 4,2 K yang merupakan titik leleh dari helium cair. Fenomena ini kemudian dinamakannya sebagai superkonduktivitas.

Pada tahun 1933 Meissner dan Ochsenfeld menemukan sifat superkonduktor yang lain yakni diamagnetik sempurna, dimana bahan superkonduktor akan menolak medan magnet. Kemudian tahun 1987 grup peneliti dari Alabama dan Houston menemukan bahan superkonduktor berbasis keramik $\text{YB}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, $T_c = 92$ K lebih tinggi dari titik leleh nitrogen cair 77 K. Kemudian di awal tahun 1988, Bi- dan Ti- kuparat oksida ditemukan dengan $T_c = 110$ K dan 125 K. Bahan-bahan superkonduktor ini disebut sebagai superkonduktor suhu tinggi (SKST) (Cyrot and Pavuna, 1992).

Seiring dengan kemajuan teknologi, kini ditemukan bahan superkonduktor suhu tinggi, yang umumnya berupa senyawa multikomponen, mempunyai multiphase,

memiliki sifat anisotropis yang berhubungan dengan struktur yang berlapis dan efek fluktuasi termal. Salah satu bahan SKST yang penting adalah sistem BSCCO, karena suhu kritisnya yang relatif tinggi (Yulianti, 2002).

2. Sifat Superkonduktor

Superkonduktivitas adalah sifat dari suatu material yang memiliki resistivitas listrik yang menurun secara tiba-tiba hingga hampir mendekati nol ketika material tersebut diturunkan temperaturnya hingga di bawah T_c . Material yang memiliki sifat tersebut disebut dengan material superkonduktor (Smith, 1996). Suatu material disebut superkonduktor jika menunjukkan dua sifat khusus, yaitu:

a. Tanpa resistivitas atau $\rho = 0$ pada temperatur $T \leq T_c$.

Pada suhu rendah, bahan superkonduktor memiliki resistivitas sama dengan nol ($\rho = 0$). Material yang didinginkan di dalam nitrogen cair atau helium cair, resistivitasnya akan turun seiring dengan penurunan suhu. Pada suhu tertentu resistivitas material akan turun secara drastis menjadi nol. Suhu di mana resistivitas material turun drastis menjadi nol disebut suhu kritis atau T_c (Pikatan, 1989).

b. Diamagnetik sempurna dengan $B = 0$ pada temperatur $T \leq T_c$.

Suatu bahan disebut sebagai superkonduktor jika menunjukkan sifat diamagnetik, yaitu medan magnet sama dengan nol jika bahan didinginkan hingga di bawah T_c dan magnet yang diberikan tidak terlalu tinggi (Sukirman dkk, 2003). Hal ini terjadi karena superkonduktor menolak fluks magnet yang mencoba memasuki bahan superkonduktor (Cyrot and Pavuna, 1992).

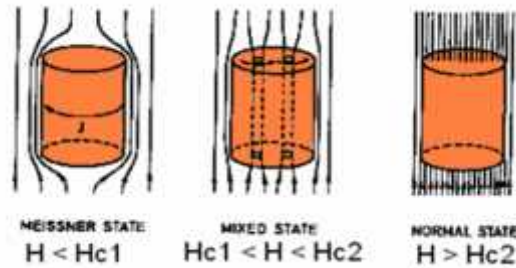
3. Jenis Superkonduktor

Superkonduktor dibagi menjadi dua jenis berdasarkan temperatur kritis dan medan magnet kritis. Berdasarkan temperatur kritis superkonduktor dibagi menjadi 2 yaitu: superkonduktor temperatur rendah dan superkonduktor temperatur tinggi (SKST). Superkonduktor temperatur rendah merupakan superkonduktor yang memiliki temperatur kritis di bawah nitrogen cair (77 K), sehingga untuk memunculkan superkonduktivitas material tersebut digunakan helium cair untuk pendingin. Superkonduktor temperatur tinggi merupakan superkonduktor yang memiliki suhu kritis di atas suhu nitrogen cair (77 K), sehingga sebagai pendinginnya dapat digunakan nitrogen cair (Windartun, 2008).

Sedangkan berdasarkan sifat magnetisnya superkonduktor dibagi menjadi 2 tipe, yaitu: superkonduktor tipe I dan superkonduktor tipe II. Superkonduktor tipe I merupakan bahan superkonduktor yang sempurna menolak medan magnet sampai pada batas medan magnet tertentu kemudian berubah menjadi normal (Smith, 1990). Medan magnet yang diperlukan untuk menghilangkan superkonduktivitas atau memulihkan resistivitas normalnya disebut medan kritis (H_c).

Superkonduktor tipe II mempunyai dua nilai medan magnet kritis yaitu H_{c1} dan H_{c2} . Di bawah H_{c1} fluks magnetik ditolak secara sempurna hingga medan magnet kritis H_{c1} , dengan resistivitas adalah nol dan induksi magnetik adalah nol. Di atas H_{c1} fluks magnet sebagian dapat menembus spesimen superkonduktor dalam bentuk filamen mikroskopik yang disebut *vortices* (*vortex*) sampai batas medan kritis H_{c2} . Di antara H_{c1} dan H_{c2} superkonduktor berada dalam keadaan campuran (*mixed state*). Di atas H_{c2} bahan akan kehilangan sifat superkonduktivitasnya.

Fluks magnet pada jangkauan medan magnet kritis dapat dilihat pada Gambar 1. (Saxena, A.K., 2010).

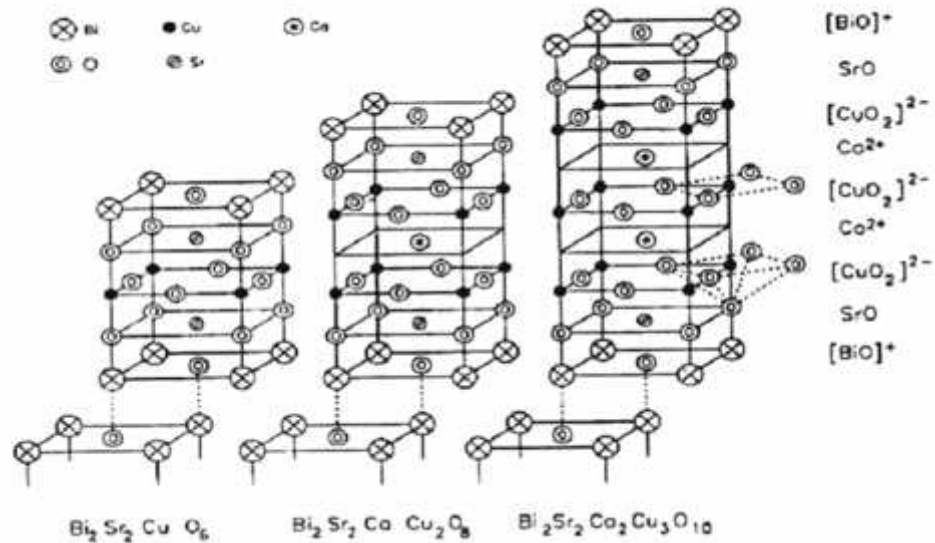


Gambar 1. Fluks magnet pada jangkauan medan magnet kritis.

B. Struktur Kristal dan Diagram Fase Superkonduktor BSCCO

Superkonduktor sistem BSCCO adalah superkonduktor oksida keramik yang mempunyai struktur berlapis-lapis, sehingga menyebabkan bahan superkonduktor sistem BSCCO sangat rapuh dan mudah patah. Selain itu, superkonduktor BSCCO memiliki sifat anisotropi superkonduktivitas yang tinggi dan koherensi yang pendek (Herlyn, 2008).

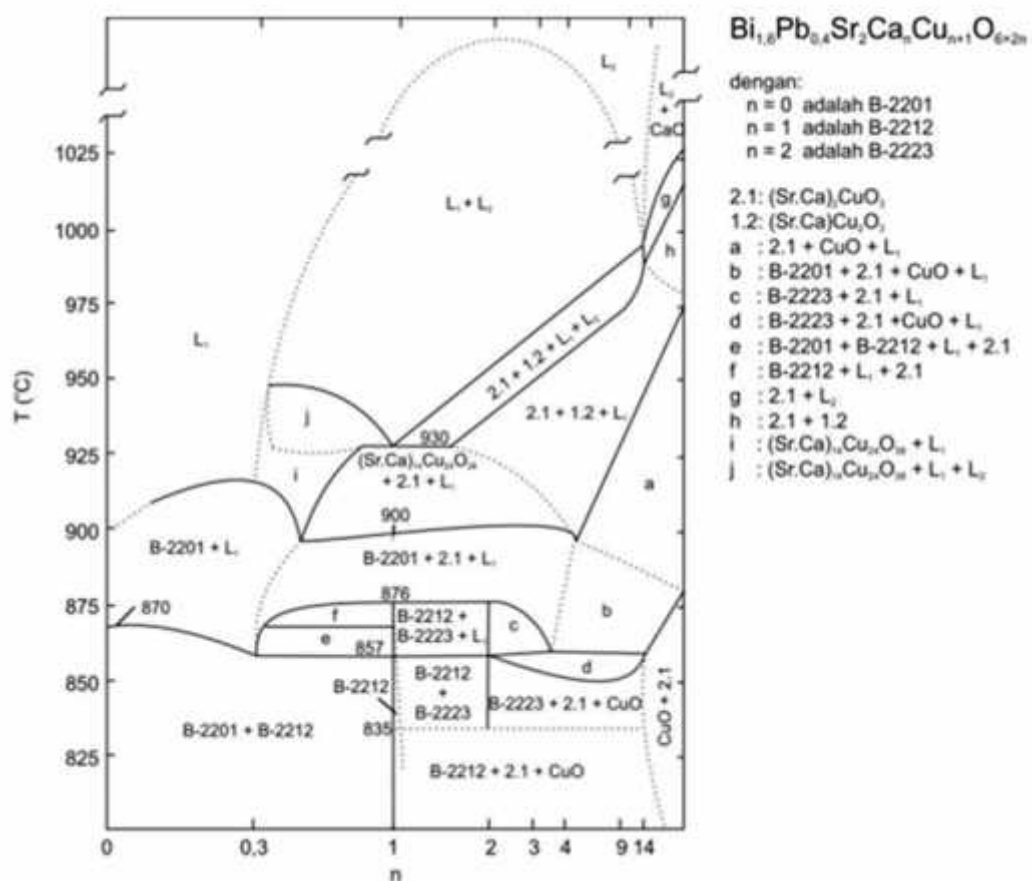
Dalam superkonduktor BSCCO dikenal 3 fase superkonduktif yaitu fase Bi-2201 memiliki suhu kritis 10 K, fase Bi-2212 memiliki suhu kritis 80 K, dan fase Bi-2223 memiliki suhu kritis 110 K. Struktur kristal dari fase yang terbentuk dalam material superkonduktor akan sangat berpengaruh terhadap temperatur kritisnya (T_c). Derajat ketidakaturan struktur fase yang tinggi sangat dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya adalah temperatur sintering dan lamanya waktu sintering saat dilakukan proses manufaktur dari material superkonduktor tersebut (Lehndroff, 2001). Struktur kristal BSCCO ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur kristal sistem BSCCO (Lehndroff, 2001).

Pada Gambar 2a menunjukkan fase BSCCO 2201 yang disusun oleh bidang (BiO)/SrO/CuO/SrO/(BiO), dimana piramida Cu berada diantara dua bidang SrO. BSCCO 2201 mempunyai parameter kisi $a = b = 5.39 \text{ \AA}$ dan $c = 24.6 \text{ \AA}$. Bidang BiO berada pada bagian ujung struktur dan atom Cu dihubungkan dengan atom oksigen dalam struktur oktahedral. Gambar 2b adalah fase BSCCO 2212 disusun oleh bidang senyawa (BiO)/SrO/CuO/CaO/CuO/SrO/(BiO), dimana piramida atom Cu dipisahkan oleh adanya bidang Ca. Struktur kristal berbentuk tetragonal ini memiliki parameter kisi $a = b = 5.4 \text{ \AA}$ dan $c = 30.7 \text{ \AA}$. Gambar 2c merupakan struktur kristal dari Bi-2223 yang membentuk struktur orthorombik. Rantai Sr-Sr memiliki ikatan yang paling lemah, sedangkan atom Cu(1) sebagai kation yang paling tidak stabil memiliki tiga ikatan rantai yaitu Cu(1)-Ca, Cu(1)-O(1), dan Cu(1)-Cu(2). Rantai ikatan Cu(1)-O(1) merupakan ikatan yang paling kuat ($r = 1.916 \text{ \AA}$). Atom oksigen O(3) hanya memiliki satu rantai ikatan dengan atom Bi yang memiliki panjang ikatan 2.231 \AA (Lehndroff, 2001).

Selain itu, pembentukan senyawa bergantung pada komposisi nominal bahan penyusun dan suhu pemrosesannya yang dapat digambarkan oleh diagram fase sistem yang bersangkutan (Suprihatin, 2002). Seluruh fase BSCCO memenuhi persamaan $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4}$ dengan nilai $n = 1, 2, 3$, dan seterusnya (Majewski *et al.*, 1997). Diagram fase menjelaskan tentang fase yang mungkin terbentuk pada temperatur atau tekanan tertentu. Menurut Strobel (1992) walaupun pada proses sintesis senyawa yang diinginkan merupakan fase dengan komposisi dan struktur tertentu, namun hasil akhirnya akan menghadirkan beberapa fase lain. Diagram fase superkonduktor dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram fase superkonduktor BPSCCO (Strobel *et al.*, 1992).

Jika dilihat pada Gambar 3, pembentukan fase Bi-2223 pada: daerah Bi-2212 + Bi2223, daerah Bi-2223 + Bi-2212 + L₁ dan daerah Bi-2223 + 2,1 + CuO + L₁ (Strobel *et al.*, 1992).

C. Sintesis Superkonduktor BSCCO-2223

Ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk mensintesis superkonduktor BSCCO-2223. Pada beberapa penelitian metode yang digunakan diantaranya: metode lelehan, padatan, dan sol-gel. Pada metode lelehan, bahan-bahan yang digunakan seperti Bi₂O₃, SrCO₃, CaCO₃, CuO, dan dopan PbO. Bahan-bahan ini dicampur dengan aquades dan HNO₃ sebagai pelarut. Apabila seluruh bahan telah terlarut, dilakukan pengeringan di dalam tungku sehingga didapatkan aglomerat-aglomerat. Kemudian digerus dan peletisasi, setelah itu dilakukan kalsinasi. Proses selanjutnya dilakukan penggerusan ulang kemudian peletisasi dan sintering. Pada sintering ini dilakukan pelelehan bahan BPSCCO pada temperatur sekitar 863°C selama beberapa menit, kemudian proses dilanjutkan dengan pemanasan sesuai dengan diagram fase agar terbentuk BPSCCO-2223 (Marhaendrajaya, 2001).

Pada metode padatan, bahan yang digunakan sama dengan metode lelehan yaitu bahan-bahan penyusun BPSCCO-2223 seperti Bi₂O₃, SrCO₃, CaCO₃, CuO, dan dopan PbO. Unsur-unsur tersebut dicampurkan sesuai dengan stoikiometri yang diinginkan. Selanjutnya dilakukan pengadukan dan penggerusan. Setelah itu dilanjutkan dengan kalsinasi, penggerusan kembali, peletisasi, dan sintering sesuai dengan diagram fase (Sukirman dkk., 2003; Kirom dan Ramadlan, 2001).

Sedangkan pada metode sol-gel umumnya digunakan senyawa ligan *ethylene-diaminetetraacetit acid* (EDTA) yang dapat membantu mengikat logam (Sukirman dkk, 2003). Sedangkan bahan yang digunakan adalah garam-garam nitrat, seperti: $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Sb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, dan $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. Garam nitrat tersebut dicampur di dalam pelarut etilen glikol, lalu secara simultan EDTA ditambahkan ke dalam larutan. Selama pelarutan, pH larutan selalu dikontrol agar tetap berada pada 8.0-8.2 dengan cara menambahkan amonium hidroksida (NH_4OH). Larutan dipanaskan pada temperatur 90°C hingga menjadi gel. Selanjutnya gel didekomposisi pada 300°C hingga didapat aglomerat yang lunak dan berpori. Langkah selanjutnya adalah penggerusan, kalsinasi, penggerusan kembali, peletisasi dan sintering dengan proses perlakuan panas yang sesuai dengan diagram fase (Sukirman dkk, 2003).

D. Peranan Doping Pb

Doping berperan penting dalam pembentukan superkonduktor Tc tinggi. Doping dapat berupa substitusi artinya mengganti atom asli di dalam superkonduktor dengan atom doping yang ukurannya tidak jauh berbeda dengan ukuran atom aslinya, atau dapat berupa penambahan artinya menambahkan atom-atom doping ke dalam atom-atom asli superkonduktor. Superkonduktor Tc tinggi dapat diekstensifikasi melalui substitusi khusus dari elemen-elemen tunggal. Selain doping oksigen, telah dilakukan penelitian menggunakan dopan Pb (Nurmalita, 2002).

Pada saat ini diketahui bahwa doping Pb dapat meningkatkan fraksi volume fase Bi-2223 yang terbentuk (Cava *et al.*, 1988; Statt *et al.*, 1988). Diakui para peneliti bahwa tanpa pendopongan, fase tunggal FTT (Fasa Tc Tinggi) sulit ditumbuhkan. Hal ini karena struktur kristal tidak stabil akibat adanya derajat ketidakteraturan yang tinggi antara lapisan bidang-bidang CuO, SrO, BiO, dan Ca. Ketidakteraturan itu terjadi karena reaksi padat pembentuk FTT berlangsung pada suhu mendekati titik leleh senyawa (870°C) disaat di mana mobilitas ion penyusun sangat tinggi (Escuredo *et al.*, 1989). Substitusi parsial Bi dengan Pb dan Sb mempermudah pembentukan FTT (Pissas, M., Niarchos, D., 1989). Namun demikian, mekanisme peranan-peranan dopan tersebut dalam FTT masih belum jelas. Untuk dapat mensintesis senyawa Bi-2223 yang stabil, maka distorsi modulasi harus dihilangkan atau setidaknya dikurangi. Pengurangan modulasi dapat dilakukan dengan mensubstitusi sebagian atom Bi dengan atom Pb, sehingga dapat memperpanjang jarak modulasi menjadi 64\AA (Prasud dkk, 1994).

Doping Pb dalam sintesis doping Bismut (BSCCO), selain memudahkan pembentukan senyawa yang dihasilkan karena kemiripan ukuran ion dan valensi dari atom Pb, maka penambahan Pb sebagai doping menghasilkan substitusi atom Bi oleh atom Pb pada lapisan ganda Bi-O (Nurmalita, 2011). Substitusi parsial dari Bi dengan Pb pada superkonduktor dengan sistem BSCCO diketahui dapat menurunkan secara drastis anisotropi dan menimbulkan *disorder* dalam kristal yang bersangkutan. Efek ini dapat dipandang sebagai proses metalisasi lapisan pemisah (*blocking layer*) dalam kristal. Secara umum diharapkan dapat memperkuat antar lapisan superkonduktif, dan sebagai akibatnya akan

berpengaruh pada dimensionalitas fluktuasi dari konduktivitasnya (Darminto dkk, 1999).

E. Kalsinasi

Kalsinasi adalah proses pemanasan suatu material pada suhu tinggi, namun di bawah titik lelehnya. Tujuan kalsinasi adalah untuk membuang komposisi yang tidak dibutuhkan seperti: H_2O , air kristal (dalam bentuk OH) dan gas (CO_2) sehingga menghasilkan bahan dalam bentuk oksida (Pujaatmaka dan Qadratillah, 1995).

Kalsinasi merupakan proses pembakaran tahap awal yang merupakan reaksi dekomposisi secara endothermik (memerlukan panas) dan berfungsi melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat atau hidroksida, sehingga menghasilkan bahan dalam bentuk oksida dengan kemurnian yang tinggi (James, 1988). Selain untuk menghilangkan zat-zat yang tidak diperlukan, kalsinasi juga mempengaruhi fraksi volume dalam sintesis bahan superkonduktor BSCCO. Kalsinasi yang tidak sempurna mengakibatkan permukaan sampel menggelembung. Beberapa faktor yang mempengaruhi kalsinasi yaitu: suhu pemanasan, waktu penahanan, suhu dan kecepatan pendinginan (Suryawan, 2008).

F. Sintering

Sintering merupakan proses pembakaran (pemanasan pada temperatur tinggi) yang secara umum menurunkan energi bebas disertai perubahan dimensional. Sintering merupakan proses pengikatan secara termal yang bertujuan untuk mengubah bentuk partikel-partikel kecil atau kelompok-kelompok kecil yang

seragam, sehingga membentuk ikatan yang kuat dan keras. Suhu sintering biasanya dilakukan di bawah titik leleh bahan dasarnya (Van Vlack, 1991). Melalui proses ini terjadi perubahan struktur mikro seperti pengurangan jumlah dan ukuran pori, pertumbuhan butir (*grain growth*), peningkatan densitas dan penyusutan (*shrinkage*). Faktor yang menentukan proses dan mekanisme sintering adalah jenis bahan, komposisi bahan, bahan pengotor, dan ukuran partikel (Reynen 1979). Selain itu terjadi juga rekonstruksi susunan partikel yang dapat menghilangkan atau mengurangi pori-pori yang berada di antara partikel. Umumnya peningkatan dan penyusutan densitas disebabkan karena adanya difusi volume dan difusi antar butir (Ristic, 1989).

Tahapan yang terjadi pada proses sintering adalah:

1. Tahap awal

Selama tahap awal, kontak titik antar partikel terus meningkat sehingga membentuk pertumbuhan leher (*neck growth*). Pada tahap ini proses densifikasi sangat cepat, sehingga densitas bahan menjadi 60%.

2. Tahap medium

Pada tahap ini, penggabungan antar butir terus terjadi sehingga membentuk saluran pori yang berkesinambungan, rongga mulai hilang dari saluran silinder dan terbentuklah pori-pori yang berbentuk diskrit. Pada proses ini densitasnya mencapai 92-95%.

3. Tahap akhir

Pada tahap akhir, saluran pori yang kontinu menghilang dan berubah bentuk menjadi pori-pori individu. Pada tahap ini, proses densifikasi telah berakhir.

Proses yang terjadi hanyalah perpaduan antara partikel-partikel yang lebih besar dan pori-pori sudah tertutup (Barsoum, 1997).

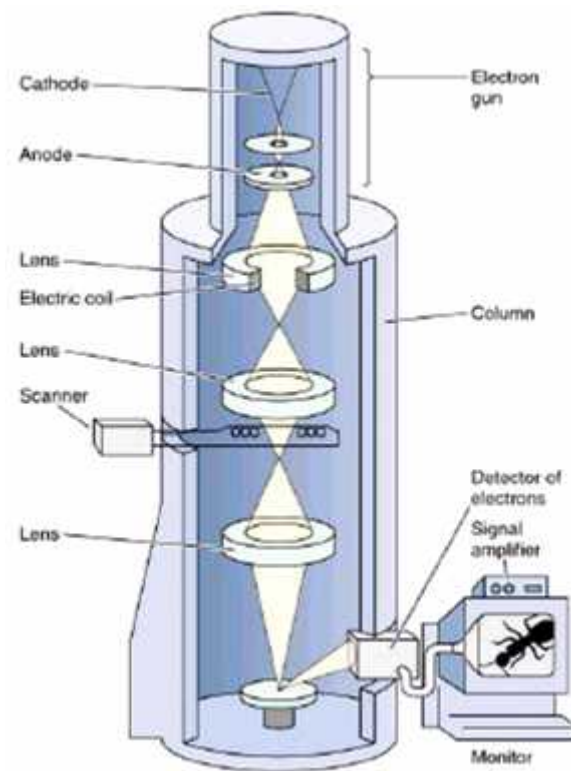
G. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah alat untuk menganalisis struktur mikro dan morfologi pada bidang material sains, kedokteran, dan biologi. SEM dapat membentuk bayangan permukaan spesimen secara mikroskopik. SEM mempunyai daya pisah sekitar 0,5 nm dengan perbesaran maksimum sekitar 500.000 kali (Gabriel, 1985). Kemampuan analisis SEM melebihi mikroskop optik (Sutiani, 2009).

SEM telah banyak digunakan untuk keperluan penelitian maupun industri. SEM dapat digunakan untuk mengetahui informasi mengenai:

1. Topografi, yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan sebagainya).
2. Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada *Integrated Circuit (IC)*, *chip*, dan sebagainya).
3. Komposisi, yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, kereaktifan, kekerasan, dan sebagainya).
4. Kristalografi, yaitu informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang diamati (konduktivitas, sifat elektrik, kekuatan, dan sebagainya).

Pada prinsipnya, SEM terdiri dari beberapa komponen, yaitu sumber elektron (*electron gun*), sistem lensa, sistem deteksi, sistem *scanning*, dan sistem *vacuum* (Sembiring dan Simanjuntak, 2015). Skema SEM dapat dilihat pada Gambar 4.

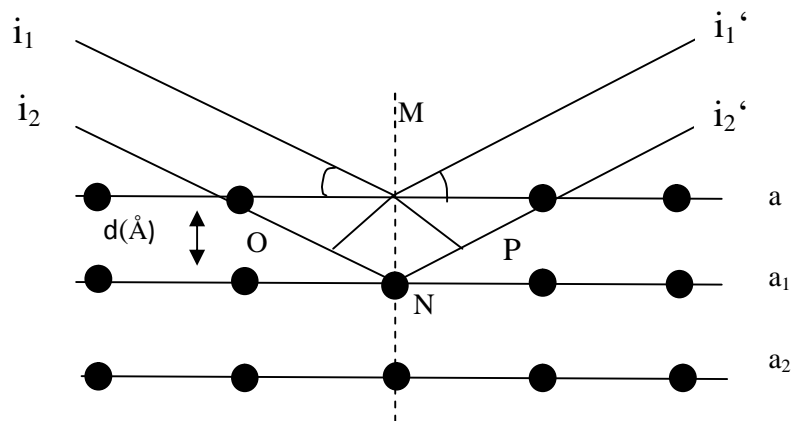


Gambar 4. Skema SEM (Smallman dan Bishop, 1995).

Prinsip kerja dari SEM adalah menembak permukaan sampel dengan berkas elektron berenergi tinggi yang dihasilkan *electron gun*. Elektron ditembakkan ke arah sampel yang melalui anoda dan *magnetic lens*, kemudian dipantulkan kembali oleh permukaan sampel. Berkas elektron (elektron sekunder) yang dipantulkan oleh sampel akan diterima oleh detektor. Elektron sekunder yang terdeteksi diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam pola gelap terang pada layar monitor. Pada monitor ini gambar struktur sampel diperbesar dan bisa dilihat (Smallman dan Bishop, 1995).

H. X-Ray Diffraction (XRD)

Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik yang memiliki energi antara 200eV-1MeV dengan panjang gelombang 0.05-0.25 nm (0.5-2.5 Å) (Smith, 1990). Bila berkas sinar-X dengan panjang gelombang λ diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut datang θ , maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang atom kristal dan menghasilkan puncak-puncak difraksi yang dapat diamati dengan peralatan difraktometer (Cullity, 1978). Sistem kerja difraktometer sinar-X didasarkan pada Hukum Bragg. Pola difraksi, intensitas, dan sudut difraksi 2θ berbeda-beda untuk setiap bahan. Interferensi berupa puncak-puncak intensitas diperoleh sebagai hasil proses difraksi di mana terjadi interaksi antara sinar-X dengan atom-atom pada bidang kristal (Van Vlack, 1991). Skema difraksi sinar-X dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema difraksi sinar-X oleh atom dalam kristal (Van Vlack, 1991).

Berdasarkan hasil eksperimen Van Lue dan dua ahli fisika Inggris W.H. Bragg dan W.L. Bragg menyatakan bahwa perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X

harus merupakan kelipatan panjang gelombang, maka persamaan difraksi berdasarkan Gambar 5 dapat dituliskan sebagai berikut:

$$n\lambda = ON + NP \quad (1)$$

$$\text{dengan: } \sin \theta = \frac{ON}{MN} = \frac{NP}{MN} \quad (2)$$

$$MN = d \quad (3)$$

$$ON = NP = d \sin \theta \quad (4)$$

sehingga

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

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (6)$$

di mana n = bilangan bulat 1, 2, 3,

λ = panjang gelombang sinar-X (\AA)

d = jarak antar kisi (\AA)

θ = sudut difraksi

Persamaan (6) dikenal dengan Hukum Bragg yang merupakan syarat terjadinya difraksi. 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 kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material (Zakaria, 2003; Suryanarayana, 1998).

I. *Celref*

Celref merupakan *software* yang digunakan untuk memperbaiki parameter kisi dengan metode *least-square* yang dibuat oleh Jean Laugier dan Bernard Bochu. *Celref* dapat digunakan untuk membantu menetapkan *space group* dari data XRD hasil pengukuran. Perangkat ini sangat berguna untuk menyelesaikan data yang memiliki puncak *overlap* karena banyak puncak kecil yang muncul dari hasil XRD (Janghorban, 2009). Fungsi dari *software celref* untuk mengimpor data mentah atau data puncak hasil pengukuran XRD dengan cara memilih puncak yang sesuai berdasarkan *auto-select* atau *auto-match*. *Celref* memiliki cara kerja yang mudah dalam menetapkan puncak dari data mentah melalui pencarian parameter sel yang paling mungkin dari data standar internasional yang telah baku menurut program. Setelah proses pencarian parameter sel yang paling mungkin, maka akan diperoleh tampilan dari visual grafik yang paling tepat (Laugier dan Bochu, 1999).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2016 sampai dengan Maret 2017 di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Lampung, Laboratorium Analitik dan Instrumentasi Kimia FMIPA Universitas Lampung, UPT Laboratorium dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung. Karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (PPPGL) Bandung.

B. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: neraca *sartorius* digital, alat penggerus (*pestle* dan *mortar*), spatula, tungku pemanas (*furnace*), cawan (*crucible*), alat *pressing*, dan cetakan sampel (*die*).

Bahan dasar yang dipakai dalam penelitian ini merupakan bahan oksida dan karbonat dengan tingkat kemurnian yang tinggi yaitu: Bi_2O_3 (99,9%); PbO (99,9%); SrCO_3 (99,9%); CaCO_3 (99,9%); dan CuO (99,999%).

C. Komposisi Bahan

Komposisi bahan awal untuk membuat 3 gram sampel superkonduktor BPSCCO-2223 pada kadar Ca: 2.10, dengan variasi doping Pb: 0.0, 0.1, 0.2, 0.3; dan 0.4 dapat dilihat pada Tabel 1, 2, 3, 4, dan 5. Untuk memudahkan, setiap sampel diberi kode yang menunjukkan parameter proses sintesis dengan format: komposisi bahan BPSCCO-2223 dengan doping Pb-nya, contoh: BPSCCO-2223/Pb: 0.1 menunjukkan bahwa sampel tersebut merupakan sampel superkonduktor untuk komposisi bahan BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0.1.

Tabel 1. Komposisi bahan BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0.0 (BPSCCO-2223/Pb: 0.0).

Bahan	Fraksi	Massa hitung untuk 3gram sampel
Bi ₂ O ₃	2,00	1,1552
PbO	0	0,0000
SrCO ₃	2,00	0,7320
CaCO ₃	2,10	0,5211
CuO	3,00	0,5916
Total		3,0000

Tabel 2. Komposisi bahan BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0.1 (BPSCCO-2223/Pb: 0.1).

Bahan	Fraksi	Massa hitung untuk 3gram sampel
Bi ₂ O ₃	1,90	1,0984
PbO	0,10	0,0554
SrCO ₃	2,00	0,7326
CaCO ₃	2,10	0,5215
CuO	3,00	0,5921
Total		3,0000

Tabel 3. Komposisi bahan BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0.2 (BPSCCO-2223/Pb: 0.2).

Bahan	Fraksi	Massa hitung untuk 3gram sampel
Bi ₂ O ₃	1,80	1,0414
PbO	0,20	0,1108
SrCO ₃	2,00	0,7332
CaCO ₃	2,10	0,5219
CuO	3,00	0,5926
Total		3,0000

Tabel 4. Komposisi bahan BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0.3 (BPSCCO-2223/Pb: 0.3).

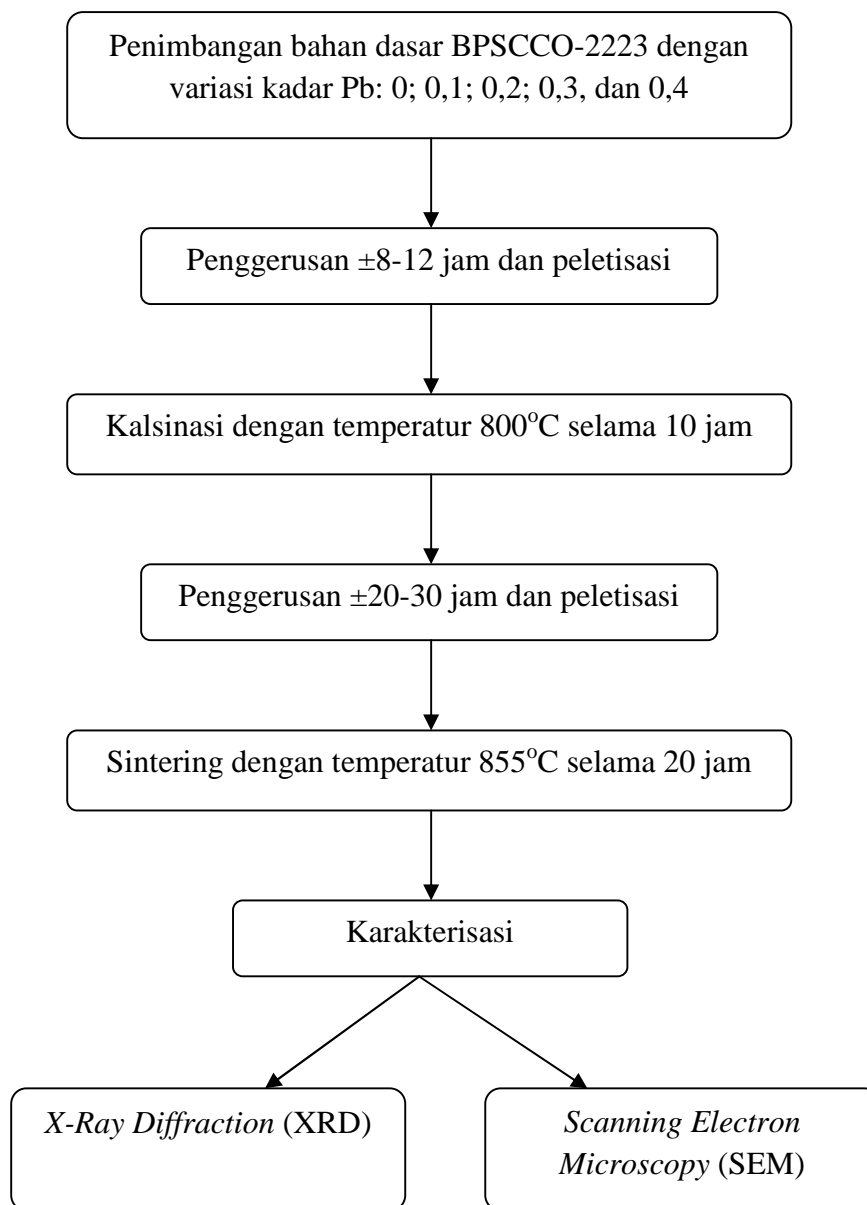
Bahan	Fraksi	Massa hitung untuk 3gram sampel
Bi ₂ O ₃	1,70	0,9843
PbO	0,30	0,1664
SrCO ₃	2,00	0,7338
CaCO ₃	2,10	0,5224
CuO	3,00	0,5931
Total		3,0000

Tabel 5. Komposisi bahan BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0.4 (BPSCCO-2223/Pb: 0.4).

Bahan	Fraksi	Massa hitung untuk 3gram sampel
Bi ₂ O ₃	1,60	0,9272
PbO	0,40	0,2221
SrCO ₃	2,00	0,7344
CaCO ₃	2,10	0,5228
CuO	3,00	0,5936
Total		3,0000

D. Preparasi Sampel

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode reaksi padatan (*solid state reaction methode*) yang terdiri dari penggerusan, peletisasi, serta pemanasan (kalsinasi dan sintering). Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir penelitian

1. Penimbangan

Bahan dasar yang akan digunakan ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan takaran yang telah ditentukan. Semua bahan yang telah ditimbang ditempatkan pada wadah tersendiri.

2. Penggerusan

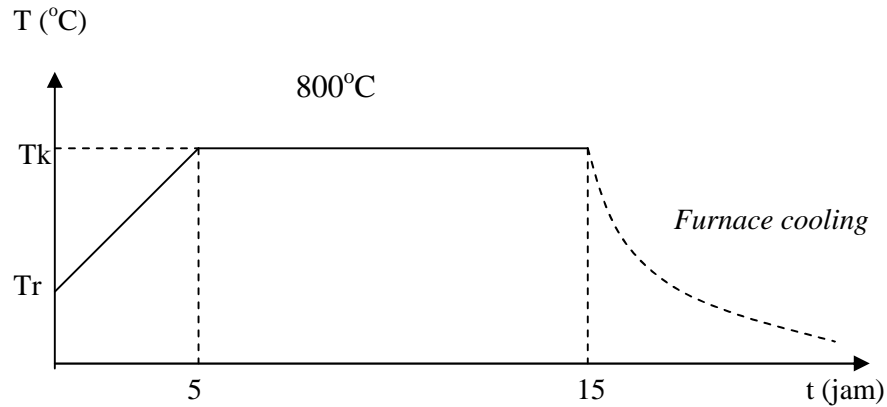
Setelah bahan ditimbang, semua bahan dicampur dan digerus menggunakan *mortar* dan *pastle* secara manual hingga bahan halus (penggerusan dilakukan secara bertahap). Penggerusan bertujuan meningkatkan homogenitas dan memperluas permukaan kontak agar reaksi dapat berlangsung secara stoikiometri. Dengan demikian, terjadi peningkatan efektivitas reaksi padatan yang membentuk benih-benih senyawa (prekursor).

3. Peletisasi

Peletisasi dapat meningkatkan reaksi padatan dalam sintesis bahan superkonduktor. Peletisasi merupakan proses memadatkan serbuk sehingga tercetak dalam bentuk lingkaran dengan ukuran tertentu. Peletisasi bertujuan agar partikel bahan campuran tersusun rapat dan padat sehingga apabila diberi perlakuan panas yang tepat, akan terjadi proses difusi atom dan terbentuk ikatan yang kuat antar partikel. Pada penelitian ini peletisasi dilakukan menggunakan alat *pressing* dengan kekuatan 8 ton.

4. Kalsinasi

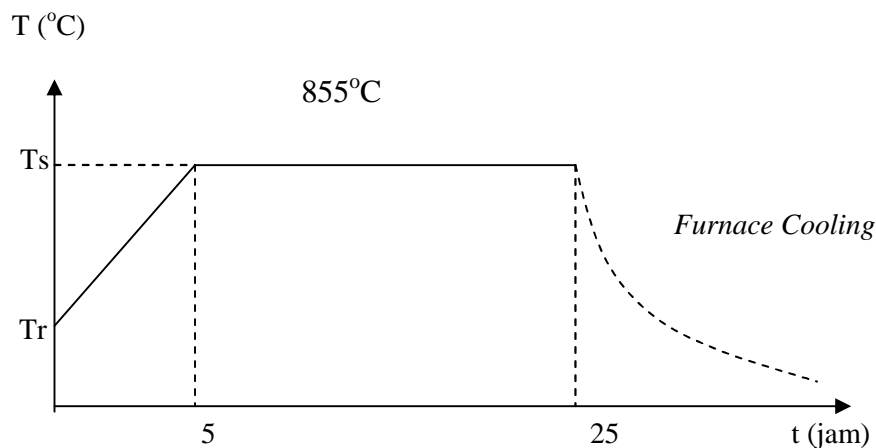
Kalsinasi adalah sebuah proses pemanasan yang dilakukan di bawah titik leleh suatu sampel dengan tujuan untuk membuang komposisi bahan yang tidak diperlukan. Untuk kalsinasi dilakukan pada temperatur 800°C selama 10 jam. Diagram kalsinasi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram kalsinasi

5. Sintering

Sampel hasil kalsinasi belum sempurna, karena adanya porositas, penangkapan gas sekitar, dan kecilnya luas permukaan kontak. Untuk menghasilkan komposisi dengan fase tertentu, sampel digerus ulang dan di-*press*, kemudian dipanaskan pada temperatur tertentu yang dikenal sebagai sintering. Sebelum proses sintering, permukaan kontak antar partikel dimaksimalkan dengan melakukan *pressing* sehingga bentuk awal material yang dipadatkan dapat dipertahankan dari penyusutan maupun pengembangan. Untuk sintering dilakukan pada temperatur 855°C selama 20 jam. Diagram sintering dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram sintering

E. Karakterisasi

Superkonduktor hasil sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

1. *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) digunakan untuk menganalisis struktur mikro dari bahan superkonduktor tersebut. Hal ini dilakukan untuk melihat bentuk *grain* sampel. Bahan superkonduktor memiliki konduktivitas yang cukup besar, maka sampel tersebut tidak perlu di-*coating* dengan emas (Au) ataupun karbon (C) tetapi cukup menempelkan sampel tersebut pada *holder* dengan pasta perak.

2. *X-Ray Diffraction* (XRD)

Karakterisasi menggunakan difraksi sinar-X bertujuan untuk melihat dan mempelajari fase-fase yang terbentuk, serta menganalisis tingkat kemurnian fase (fraksi volume, derajat orientasi, dan impuritas). Pola difraksi sinar-X diperoleh dengan menembak sampel dengan sumber Cu-K dengan panjang gelombang $1,54\text{\AA}$. Data difraksi diambil dalam rentang $2\theta = 5^{\circ}$ sampai 80° , dengan modus

scanning continue dan *step size* sebesar $2\theta = 0,05$ serta waktu 2 detik per *step*. Dari spektrum XRD terlihat adanya puncak-puncak intensitas yang terdeteksi tiap sudut difraksi 2θ .

Tingkat kemurnian fase BPSCCO-2223 yang terbentuk dapat diamati dengan menghitung fraksi volume, derajat orientasi, dan impuritas yang terkandung dalam sampel. Berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$FV = \frac{\sum I(2223)}{I_{total}} \quad (7)$$

$$P = \frac{\sum I(00l)}{\sum I(2223)} \quad (8)$$

$$I = 100\% - FV \quad (9)$$

dengan:

FV = Fraksi volume

P = Derajat orientasi

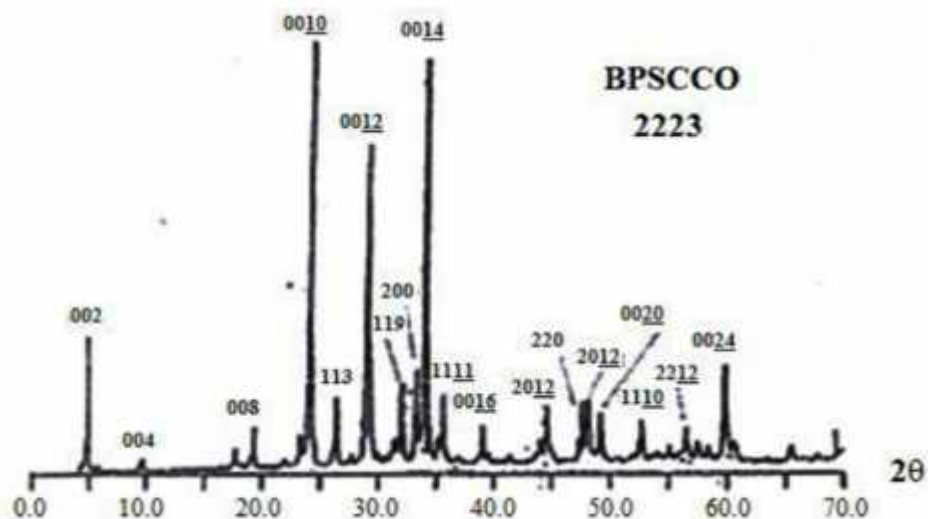
I = Impuritas

I_{total} = Intensitas total

$I_{(2223)}$ = Intensitas fase 2223

$I_{(00l)}$ = intensitas $h = k = 0$ dan l bilangan genap

Spektrum XRD dari BPSCCO fase 2223 menurut Manabe (1988) ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Spektrum XRD superkonduktor BPSCCO- 2223 (Manabe, 1988).

F. Analisis Pola X-Ray Diffraction dengan Program *Celref*

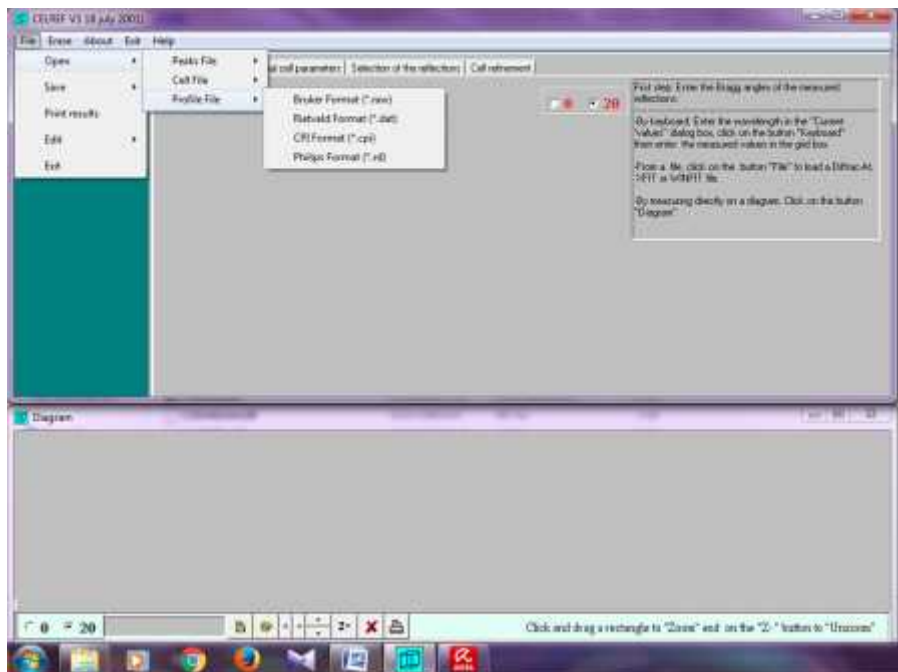
Analisis data XRD dilakukan menggunakan program *celref* versi ke 3 (CELREF V3). Langkah-langkah dalam analisis data XRD menggunakan program ini sebagai berikut:

1. Mengubah data XRD hasil pengukuran yang diperoleh (dalam bentuk *excel*) ke dalam bentuk *.rd* yang ditunjukkan pada Gambar 10.

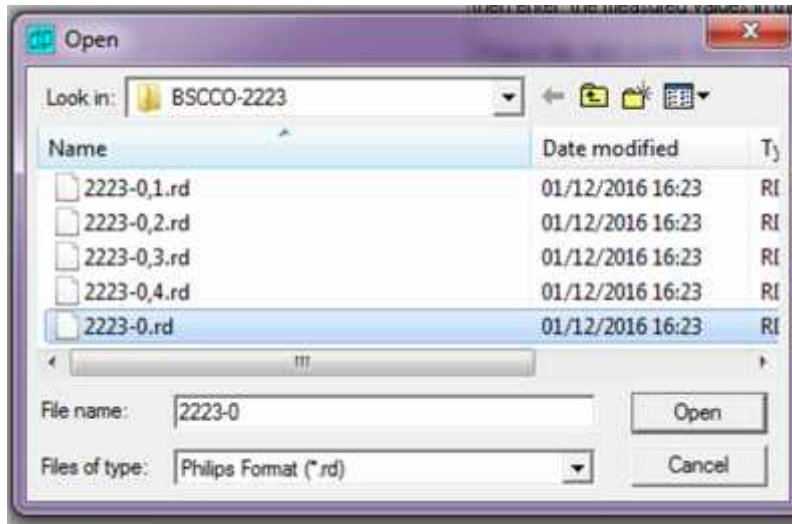


Gambar 10. Mengubah file *.txt* menjadi file *.rd*.

2. Membuka program *celref*.
3. Membuka file yang telah dikonversi ke format *.rd*, dengan cara mengklik *file*, pilih *open*, *profile file*, pilih format *Philip format (.rd)*, yang ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12.

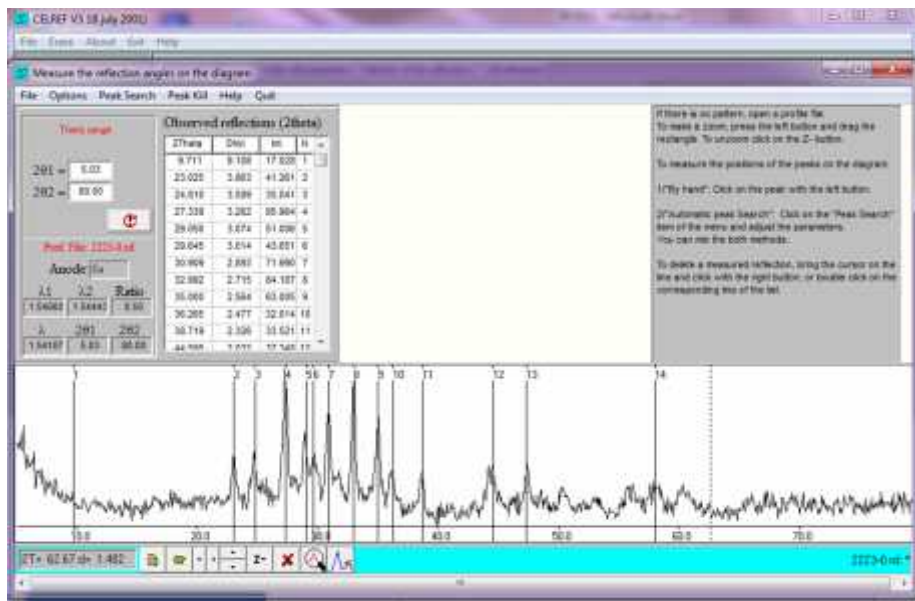


Gambar 11. Input data *.rd*.



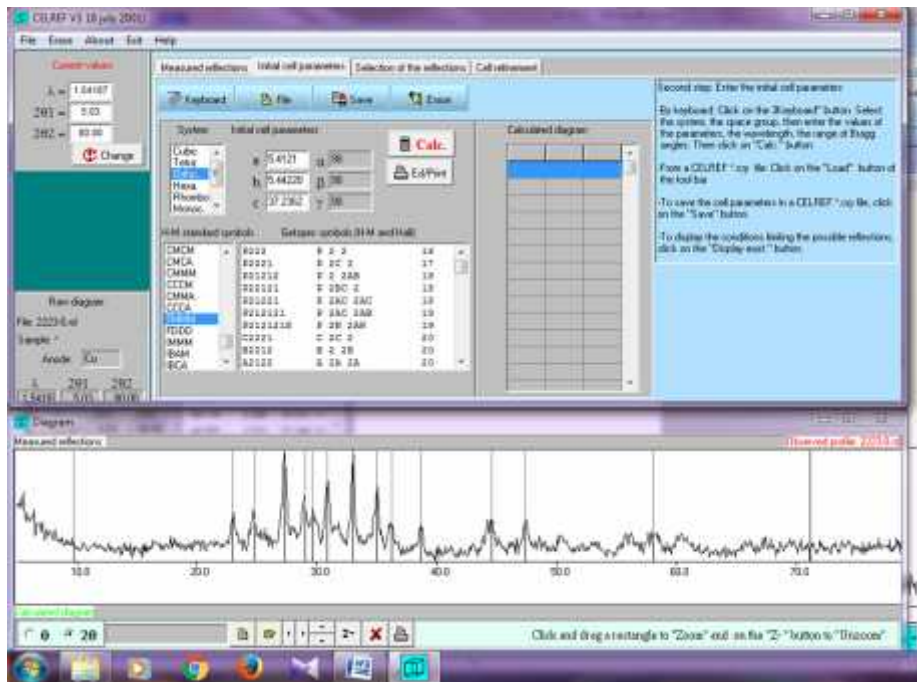
Gambar 12. Memasukkan data *.rd*.

- Memilih puncak-puncak yang akan diukur dari spektrum XRD yang ditampilkan oleh *Celref* seperti pada Gambar 13.



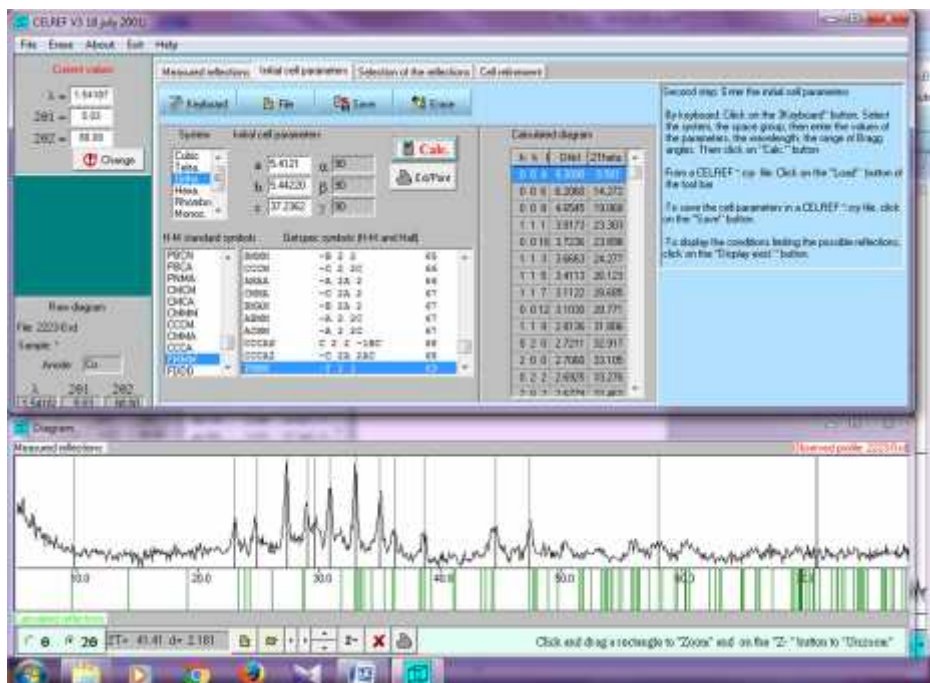
Gambar 13. Puncak-puncak yang akan diukur dari spektrum XRD.

- Menentukan inisial parameter sel, yaitu dengan memilih jenis kristal ortorombik tipe FMMM, dan memasukkan nilai awal kisi kristal BSCCO-2223, yaitu $a = 5,4121$; $b = 5,44220$; serta $c = 37,2362$, yang ditunjukkan pada Gambar 14.



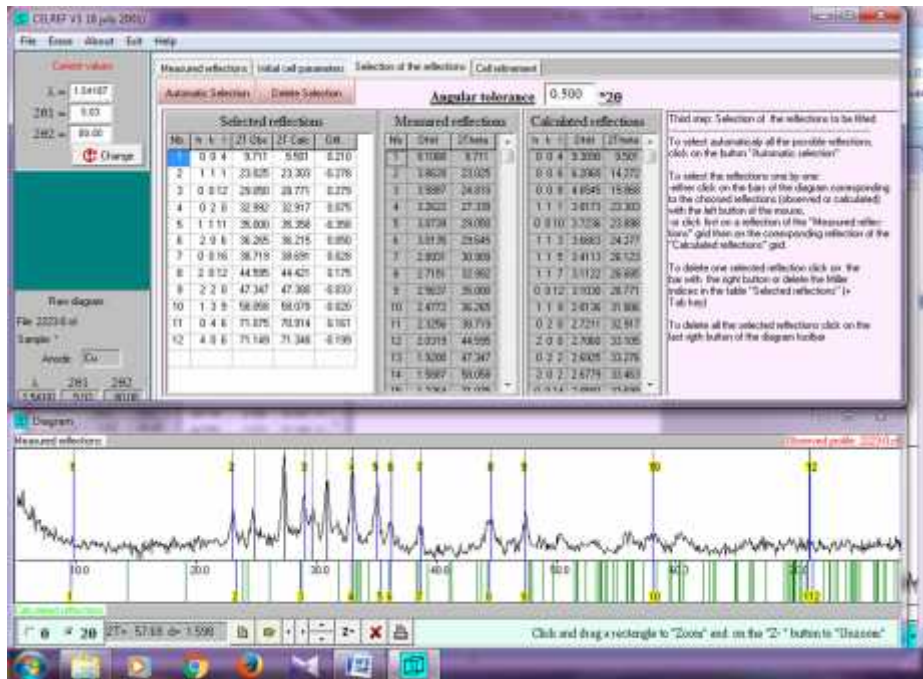
Gambar 14. Inisial parameter sel, yaitu dengan memilih jenis kristal ortorombik tipe FMMM.

6. Melakukan proses *calculate* pada *celref* yang ditunjukkan pada Gambar 15.



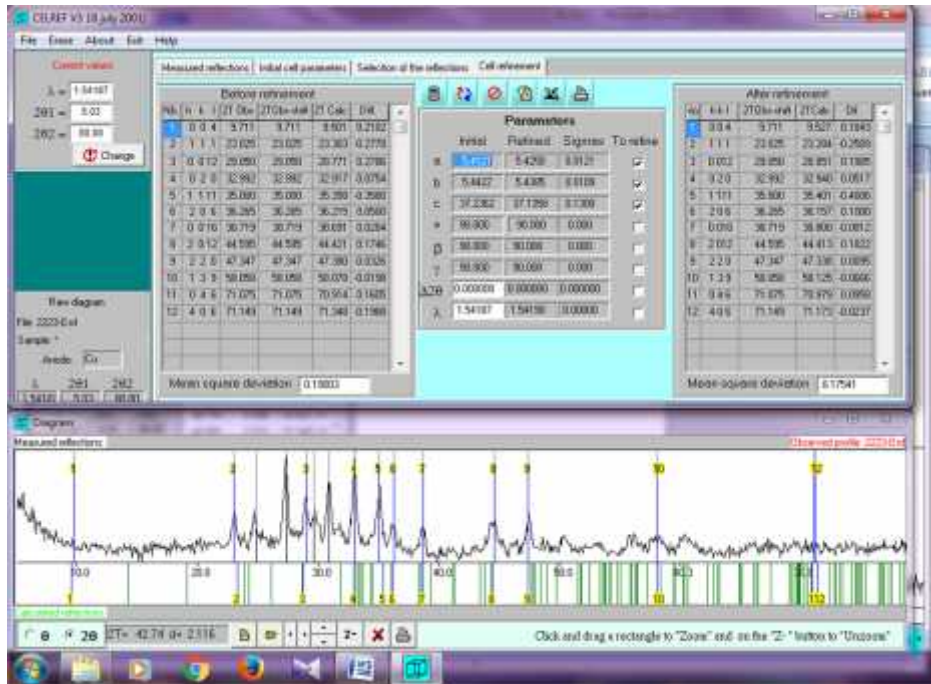
Gambar 15. Proses *calculate*.

7. Melakukan seleksi puncak dengan pemilihan toleransi berkisar 0.5 sampai dengan 1.0 seperti pada Gambar 16.



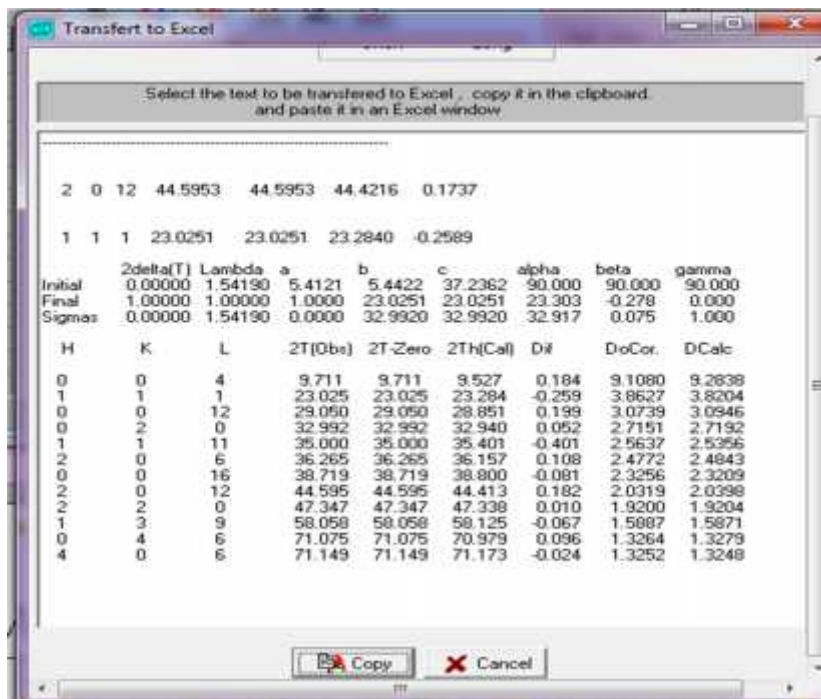
Gambar 16. Seleksi puncak dengan pemilihan toleransi berkisar 0.5 sampai dengan 1.0.

8. Kemudian melakukan *refine* data sampai mendapatkan hasil yang sesuai antara inisial sebelum di-*refine* dan setelah di-*refine* ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Hasil refine terbaik.

- Membuka database  (excel) seperti pada Gambar 18.



Gambar 18. Hasil database excel setelah di-refine.

10. Menentukan intensitas yang diperoleh dengan mencari nilai yang mendekati $2T(\text{Obs})$ di *database excel* terhadap data asli XRD seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19.

9	2	0	12	44.5953	44.5953	44.4216	0.1737					
10	1	1	1	23.0251	23.0251	23.3522	-0.3271					
11												
12												
13												
14				2delta(T)	Lambda	a	b	c	alpha	beta	gamma	
15				Initial	0	1.54190	5.4121	5.4422	37.2362	90	90	90
16				Final	1	1	10	23.0251	23.0251	23.303	-0.278	1
17				Sigmas	0	1.54190	12	28.9755	28.9755	28.772	0.204	0
18												
19	No	H	K	L	ZT(Obs)	ZT-Zero	ZTh(Cal)	Dif	DoCor.	DCalc	Intensitas	
20												
21	1	0	0	4	9.711	9.711	9.507	0.204	91.080	93.029	335	
22	2	1	1	1	23.025	23.025	23.352	-0.327	38.627	38.094	550*	
23	3	1	1	3	24.736	24.736	24.326	0.410	35.993	36.591	553	
24	4	0	0	12	28.975	28.975	28.790	0.185	30.816	31.010	627	
25	5	0	2	0	32.992	32.992	32.939	0.053	27.151	27.193	774*	
26	6	1	1	11	35.075	35.075	35.405	-0.331	25.585	25.353	662	
27	7	0	0	16	38.645	38.645	38.717	-0.072	23.299	23.257	454	
28	8	2	0	12	44.595	44.595	44.527	0.068	20.319	20.348	502	
29	9	2	2	0	47.422	47.422	47.486	-0.064	19.172	19.147	488	
30	10	2	2	4	48.612	48.612	48.544	0.067	18.730	18.754	387*	
31												
32	Jumlah Intensitas Impuritas											

Gambar 19. Menentukan nilai intensitas.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Pengaruh dari peningkatan doping Pb meningkatkan pertumbuhan fase bahan superkonduktor BPSCCO-2223 pada fraksi volume (FV) dan derajat orientasi (P). Nilai fraksi volume (FV) paling tinggi pada sampel BPSCCO-2223/Pb: 0.4 = 62.06%. Nilai derajat orientasi menurun pada sampel dengan doping Pb 0.1 menjadi 21.81%. Kemudian derajat orientasi akan mengalami peningkatan seiring dengan penambahan doping Pb (0.1-0.4). Derajat orientasi pada sampel doping Pb 0.4 adalah 38.13%. Selain itu penambahan doping Pb menurunkan impuritas setiap sampel yaitu: 57.86%, 57.45%, 51.85%, 45.01%, dan 37.94%.
2. Berdasarkan hasil SEM semua sampel superkonduktor BPSCCO-2223 telah terorientasi serta ruang kosong antar lempengan (*void*) juga relatif lebih sedikit. Tetapi sampel yang memiliki nilai derajat orientasi lebih tinggi mempunyai bentuk kristal yang lebih baik.
3. Tingkat kemurnian fase bahan superkonduktor BPSCCO-2223 yang terbentuk dengan nilai fraksi volume (FV) pada sampel BPSCCO-2223/Pb: 0.0 = 42.14%,

sampel BPSCCO-2223/Pb: 0.1 = 42,55%, sampel BPSCCO-2223/Pb: 0.2 = 48.15%, sampel BPSCCO-2223/Pb: 0.3 = 54.99%, sampel BPSCCO-2223/Pb: 0.4 = 62.06%. Nilai derajat orientasi (P) pada sampel BPSCCO-2223/Pb: 0.0 = 38.51%, sampel BPSCCO-2223/Pb: 0.1 = 21.81%, sampel BPSCCO-2223/Pb: 0.2 = 28.54%, sampel BPSCCO-2223/Pb: 0.30 = 36.20%, dan sampel BPSCCO-2223/Pb: 0.4 = 38.13%. Nilai impuritas dari masing-masing sampel yaitu: BPSCCO-2223/Pb: 0.0 = 57.86%, BPSCCO-2223/Pb: 0.1 = 57.45%, BPSCCO-2223/Pb: 0.2 = 51.85%, BPSCCO-2223/Pb: 0.3 = 45.01%, dan BPSCCO-2223/Pb: 0.4 = 34.58%.

B. Saran

Untuk mendapatkan bahan superkonduktor dengan tingkat kemurnian fase yang lebih baik perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memakai suhu sintering yang lain, menggunakan doping selain Pb, serta menggunakan metode pelelehan KCl atau *flux* lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriani, F. 2013. Variasi kadar CaCO_3 dalam pembentukkan fase superkonduktor BSCCO-2223 dengan doping Pb (BPSCCO-2223). *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Barnes, P.N., Michael, D.S., Gregory, L.R. 2005. Review of high power density superconducting generator: preset state and prospect for incorporating of YBCO windings. *Journal Cryogenics* 45. Pp 670-686.
- Barsoum, W. 1997. *Nano Porous Materials*. McGraw Hill Publishing Company, Inc. New York.
- Cava, R.J., B. Batlogg, S.A. Sunshine, T. Siegrist, R.M. Fleming, K. Rabe, L.F. Schneemeyer, D.W. Murphy, R.B. van Dover, P.K. Gallagher, S.H. Glarum, S. Nakahara, R.C. Farrow, J.J. Krajewski, S.M. Zahura, J.V. Waszczak, J.H. Marshall, P. Marsh, L.W. Rupp Jr., W.F. Peck, and E.A. Rietman. 1988. Studies of oxygen deficient $\text{Ba}_2\text{YCu}_3\text{O}_7$ and superconductivity Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O. *Journal Physic C: Superconductivity Vol 153-155 Part I*. Pp 560-565.
- Cullity, B.D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Boston.
- Cyrot, M. And Pavuna, D. 1992. *Introduction to Superconductivity and High Tc Materials*. World Scientific. Singapore.
- Darminto, Nugroho, A.A., Rusyadi, A., Menovsky, A.A., dan Loeksmanto. 1999. Variasi tekanan oksigen dalam penumbuhan kristal tunggal superkonduktor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+}$ dan pengaruhnya. *Proc ITB*.

- Escuredo, R., Chavira, E., Rios-Jara, D. 1989. Effects of Sb and Pb doping on the high-to phase-formation in Bi-Sr-Ca-Cu-O superconductors. *Journal Appl. Physics Lett* 54 (1576).
- Ferlian, Aris. 2008. Pengaruh doping Pb terhadap pertumbuhan fase bahan superkonduktor BSCCO-2223. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Gabriel, B.L. 1985. *SEM: A User Manual of Material Science*. American Society for Metal. Amerika Serikat. Pp 37-44.
- Ginley, D.S., Taylor, D.A.C., and Francis. 2002. *Handbook of Superconducting Materials*. IOP Publishing. Pp 947.
- Harnova, D. 2005. Pengaruh sistem sintesis dan waktu sintering terhadap pembentukan fase Bi-2212 bahan superkonduktor. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Harsojo. 1998. Kawat superkonduktor YBCO dengan Yttrium lokal. *Jurnal Fisika Indonesia No. 6 Vol. VII Edisi Agustus 1998*. Pp 61-68.
- Harsojo. 2003. Kawat pipih superkonduktor YBCO yang dibuat dengan Yttrium hasil produksi BATAN Yogyakarta. *Jurnal Fisika Indonesia No. 20 Vol. VIII Edisi April 2003*. Pp 1-7.
- Herlyn. 2008. Pengaruh lama pemanasan terhadap konduktivitas normal superkonduktor overdoped Pb (Bi-Pb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀ dengan metode melt-textured. *Skripsi*. Universitas Negeri Malang. Malang.
- James, S.R. 1988. *Introduction on The Principles of Ceramics Processing*. John Wiley and Son, Inc. Singapore.
- Janghorban, A. 2009. *Celref*. <http://amin.janghorban.perso.sfr.fr>. Diunduh pada tanggal 25 April 2016 pukul 11.30 WIB.
- Kirom dan Ramdhan, M. 2001. Pengaruh penambahan fluks B₂O₃ dalam sintesa bahan superkonduktor BPSCCO-2223 fase murni. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi Vol. 5 No.2*. Hal 25-28.

- Laugier, J. dan Bochu, B. 1999. *Basic Demonstration of Celref Unit-Cell Refinement Software on a Multiphase System*. <http://www.ccp14.ac.uk/tutorial/Imgp/celref.htm>. Diunduh pada tanggal 28 April pukul 14.00 WIB.
- Lehndroff, B.R. 2001. *High-Tc Superconductors for Magnet and Energy Technology Fundamental Aspects*. Springer-Verlag. Berlin.
- Majewski, P.J., Stefanie, K., Fritz, A. 1997. Fundamental material aspects underlying the preparation of high-temperature superconducting $(\text{Bi,Pb})_{2+x}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+d}$ ceramics. *Journal of the American Ceramic Society Vol. 80 Issue 5*. Pp 1174-1180.
- Manabe, C. 1998. Superstructure of the superconductor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ by high resolution electron microscopy. *Journal of Nature Volume 333 No 6168*. Pp 52-53.
- Marhaendrajaya, I. 2001. Eksperimen pembentukan kristal BPSCCO-2223 dengan metode lelehan. *Jurnal Berkala Fisika Vol. 4 No.2 April 2001*. Pp 33-40.
- Mizuno, M., Endo, H., Tsuchiya, J., Kijima, A., and Oguri, Y. 1988. Superconductivity of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Pb}_x\text{O}_y$ ($x = 0,2; 0,4; 0,6$). *Journal Appl. Physics Vol. 27*. Pp L1225-L1227.
- Nurmalita. 2011. The Effect of Pb on the volume fraction of BSCCO-2212 superconducting crystal. *Jurnal Natural Vol. II No.2*.
- Nurmalita. 2002. Sintesis kristal superkonduktor dengan metode melt textured growth. *Tesis*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Pikatan, S. 1989. *Mengenal Superkonduktor*. <http://geocities.com>. Diunduh pada tanggal 23 April 2016 pukul 20.15 WIB.
- Pissas, M., Niarchos, D. 1989. Preparation of the 110 K high Tc superconductor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ by Pb and Sb substitution. *Journal Physic C: Superconductivity Vol 159*. Pp 643-648.

- Prasuad, W., dan Sukirman, E. 1994. *Identifikasi Struktur Fasa 2223 Superkonduktor (Bi-Pb)SrCaCuO menggunakan Pendekatan Group Ruang FMMM (No-69) dengan menggunakan Teknik Difraksi Neutron*. Pusat Penelitian Sains Material BATAN Puspiptek Serpon. Tangerang.
- Pujaatmaka, A.H., dan M.T.Qadratillah. 1995. *Glosarium Kimia*. Balai Pustaka. Jakarta. Hal 65.
- Rahardjo, Dwi Teguh., dan Surantoro. 2016. Optimasi komposisi molar awal *off-stoichiometri* pada sintesis superkonduktor sistem Bi-2223. *Jurnal Berkala Fisika Indonesia Vol 8 No 1*.
- Reviana, Febri. 2013. Pembentukan fase bahan superkonduktor Bi-2223 dengan doping Pb (BPSCCO-2223) pada kadar Ca = 2,10 dengan variasi suhu sintering. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Reynen, P. 1979. The impact of sintering theory on powder technology. *Proceedings of 4th Meeting on Materials Science and Development*.
- Ristic, M.M. 1989. Sintering new development material science monographs vol 4. *Proceedings of 4th Internasional Round Table Conference on Sintern*.
- Saxena, A.K. 2010. *High Temperature Superconductors*. Spinger-Verlag. Berlin.
- Shimbhasi and Minato-ku. 2003. Preset situation of bulk superconductor application research. *International Superconductivity Technology Center*. Tokyo. Pp 16-18.
- Smallman, R.E. dan Bishop, R.E. 1995. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Erlangga. Jakarta.
- Smith, W.F. 1990. *Material Science and Engineering*. University of Florida. Amerika Serikat.
- Smith, W.F. 1996. *Principle of Material Science and Engineering*. Mc Graw-Hill Book. New York.

- Statt, B.W., Wang, Z., Lee, M.J.G., Yakhmi, J.V., De Camargo, P.C. 1988. Stabilizing the high-Tc superconductor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$ by Pb substitution. *Journal Physic C: Superconductivity Vol 156 Issue 2*. Pp 251-255.
- Strobel, P., Toledano, J. C., Morin, D., Schneck, J., Vaquir, G., Monnereau, O., Primot, J. and Fournier, T. 1992. Phase diagram of the system $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{n+1}\text{O}_{6+n}$ between 825°C and 1100°C. *Journal Physic C 201: Superconductivity*. Pp 27-42.
- Subarwanti, Y. 2013. Sintesis superkonduktor Bi-2223 tanpa doping Pb (BPSCCO-2223) dengan kadar Ca = 2.10 pada berbagai suhu sintering. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Suharta, W.G. 1997. Pengaruh fluks B_2O_3 dan beberapa parameter pemrosesan pada pembentukan superkonduktor BPSCCO-2223. *Tesis*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Sukirman, E., W.A. Adi, D.S. Winatapura, dan G.C. Sulungbudi. 2003. Review kegiatan litbang superkonduktor Tc tinggi di P3IB-BATAN. *Jurnal Sains Materi Indonesia Vol. 4 No. 2*. Hal 30-39.
- Suprihatin. 2002. Sintesis superkonduktor Bi-2212 dengan kehadiran KCl. *Tesis*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Suryanarayana. 1998. *X-Ray Diffraction a Pratical Approach*. Plenum Press. New York. Pp 321.
- Suryawan, I. 2008. Pengaruh tebal umpan butiran bola $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7 \cdot (\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_2$ dan waktu kalsinasi terhadap densitas U_3O_8 . *Prosiding Seminar Nasioanal Penelitian dan Pengolahan Perangkat Nuklir*.
- Sutiani, A. 2009. Metode karakterisasi bahan polimer. *Jurnal Kurtular Vol 10. No1*.
- Tinkham, M. 1996. *Introduction to Superconductivity (second edition)*. McGraw-Hill, Inc. Singapore.

- Van Vlack, L.H. 1991. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)* Edisi ke-5. Erlangga. Jakarta.
- Widodo, Henry. 2010. Nanokristalisasi superkonduktor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+}$ dan $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+}$ dengan metode kopresipitasi dan pencampuran basah. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi TELAAH* Vol. 28. Pp 6-9.
- Windartun. 2008. *Superkonduktor*. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Yulianti, N. 2002. Pengaruh kadar fluks CaCO_3 dan CuO pada pembentukan kristal superkonduktor Bi-2212. *Jurnal Ilmu Dasar* Vol 3, No1. Hal 8-14.
- Yulianti, N. 2004. Sintesis dan struktur mikro kristal superkonduktor Bi-Pb $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+}$ dengan metode *self-flux*. *Jurnal Ilmu Dasar* Vol 5.
- Zakaria. 2003. Analisis kandungan mineral magnetik pada bahan baku dari daerah Istimewa Yogyakarta dengan metode x-ray diffraction. *Skripsi*. Universitas Haluoleo. Kendari.