

**VARIASI DOPING Pb TERHADAP PERTUMBUHAN FASE
SUPERKONDUKTOR BPSCCO-2223 PADA KADAR Ca = 2,10 MOL
MENGGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH**

(Skripsi)

Oleh

ADE SETIAWAN



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

VARIASI DOPING Pb TERHADAP PERTUMBUHAN FASE SUPERKONDUKTOR BPSCCO-2223 PADA KADAR Ca = 2,10 MOL MENGGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH

Oleh

ADE SETIAWAN

Telah dilakukan penelitian tentang variasi doping Pb terhadap pertumbuhan fase superkonduktor BPSCCO-2223 pada kadar Ca = 2,10 mol menggunakan metode pencampuran basah. Sampel dilarutkan dengan HNO₃ dan aquades secara perlahan, kemudian dilakukan pengeringan pada suhu 300, 400, dan 600 °C secara bertahap. Sampel dikalsinasi selama 10 jam pada suhu 800 °C dan di-sintering pada suhu 865 °C selama 10 jam. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kadar doping Pb terhadap kemurnian fase superkonduktor. Hasil XRD menunjukkan penambahan kadar doping Pb berpengaruh terhadap nilai fraksi volume BPSCCO-2223. Fraksi volume tertinggi diperoleh pada kadar doping Pb sebanyak 0,4 mol yaitu sebesar 76,35 % dengan nilai derajat orientasi sebesar 26,08 %. Fraksi volume terendah terdapat pada sampel tanpa doping Pb yaitu sebesar 49,94 % dengan derajat orientasi sebesar 0 %. Hasil SEM menunjukkan bahwa penambahan doping Pb mengakibatkan sampel terorientasi ke satu arah serta ruang kosong antar lempengan (*void*) semakin berkurang. Hasil uji Meissner menunjukkan terjadi penolakan magnet (efek Meissner lemah) oleh sampel superkonduktor BPSCCO-2223 pada kadar doping Pb sebanyak 0,4 mol.

Kata kunci: BPSCCO-2223, derajat orientasi, doping, fraksi volume, superkonduktor

ABSTRACT

THE Pb DOPING VARIATION ON THE GROWTH OF SUPERCONDUCTOR PHASE BPSCCO-2223 AT Ca LEVEL = 2,10 MOL LEVEL USING WET-MIXING METHOD

By

Ade Setiawan

Research of Pb doping variation on the growth of the superconductor phase BPSCCO-2223 at Ca level = 2,10 mol using wet-mixing method has been done. Samples were dissolved with HNO_3 and distilled with water slowly, then dried out at temperatures of 300, 400, and 600 °C gradually. The samples were calcined for 10 hours at 800 °C and sintered at 865 °C for 10 hours. The aim of this research is to determine the effect of Pb doping levels on the purity of superconductor phase. The XRD result shows that the addition of Pb doping levels affecting the volume fraction value of BPSCCO-2223. The highest volume fraction is obtained at 0,4 mol Pb doping level i.e. 76,35 % with the orientation degree value i.e. 26,08 %. The lowest volume fractions is found in samples without Pb doping (49,94 %) with the orientation degree is 0 %. SEM result shows that the Pb doping addition causing the sample is oriented in one direction and the empty space between slabs (voids) decreases. The Meissner test result shows a magnetic rejection (weak Meissner effect) on the BPSCCO-2223 superconductor sample with 0,4 mol Pb doping level.

Keywords: BPSCCO-2223, doping, orientation degree, superconductor, and volume fraction

**VARIASI DOPING Pb TERHADAP PERTUMBUHAN FASE
SUPERKONDUKTOR BPSCCO-2223 PADA KADAR Ca = 2,10 MOL
MENGGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH**

Oleh

ADE SETIAWAN

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi : **Variasi Doping Pb terhadap Pertumbuhan Fase Superkonduktor BPSCCO-2223 pada Kadar Ca = 2,10 Mol Menggunakan Metode Pencampuran Basah**

Nama Mahasiswa : **Ade Setiawan**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1517041111**

Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

MENYETUJUI

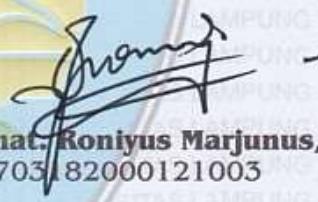
1. Dosen Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

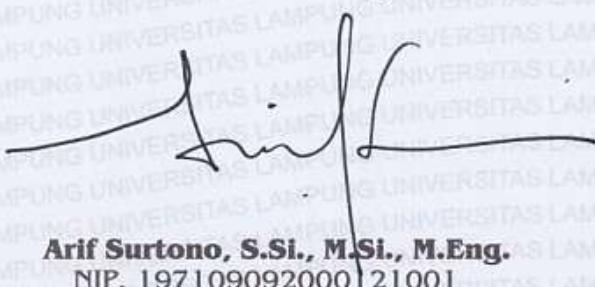


Suprihatin, S.Si., M.Si.
NIP. 197304141997022001



Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si.
NIP. 197703182000121003

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA



Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 19710909200121001

MENGESAHKAN

1. Tim Pengaji

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

Sekertaris : **Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si.**

Pengaji

Bukan Pembimbing: **Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.**

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Suratman, M.Sc.

NIP 196406041990031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **30 Oktober 2019**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebut dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, Oktober 2019



RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Ade Setiawan, dilahirkan di Sukaraja VI, Gedong Tataan pada 19 April 1997. Penulis merupakan anak bungsu dari pasangan Bapak Safaat dan Ibu Ruminah. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 2 Bagelen pada tahun 2009, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Gedong Tataan, Pesawaran pada tahun 2012, dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 2 Gedong Tataan, Pesawaran pada tahun 2015. Pada tahun 2015 penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN.

Penulis memilih bidang keilmuan fisika material sebagai bidang yang ditekuni. Selama menempuh pendidikan, penulis pernah menjadi asisten praktikum Fisika dasar I dan Fisika Dasar II. Penulis juga pernah aktif dalam kegiatan organisasi seperti menjadi anggota bidang dana dan usaha HIMAFI FMIPA Unila, Ketua bidang sosial dan masyarakat HIMAIFI FMIPA Unila, anggota Sub-Divisi Pendidikan Karya Salemba Empat (KSE) Unila, dan anggota bidang dana dan usaha Karya Salemba Empat (KSE) Unila.

Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Teknologi Material, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (PTM-BPPT) Serpong-Tangerang Selatan pada tahun 2018. Pada tahun 2019 penulis melakukan penelitian skripsi tentang superkonduktor di Laboratorium Fisika Material Unila dengan judul “Variasi Doping Pb terhadap Pertumbuhan Fase Superkonduktor BPSCCO-2223 pada Kadar Ca 2,10 Menggunakan Metode Pencampuran Basah”.

MOTTO

“ENJOY THE PAIN”
(Karya Salemba Empat)

“Sharing, Networking, Developing”
(Karya Salemba Empat)

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”
(Q.S Al-Insyirah: 6)

PERSEMBAHAN

Dengan segala rasa takut dan rasa syukur kepada Allah SWT,

Kupersembahkan karya ku ini kepada:

“ Kedua orang tua-ku

Abah Safaa`at dan Mamak Ruminah

sebagai motivator terbesar dalam hidupku yang telah memberikan kasih sayang,

semangat serta mendoakan bagi kesuksesan dan keberhasilan-ku”

“ Bapak/Ibu guru dan dosen yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan budi

pekerji untuk terus belajar hingga tercapainya cita-citaku”

“ Kakak-adikku serta keluarga besar yang selalu menjadi penyemangatku ”

“ Fisika 15”

“ Almamater Tercinta”

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat, hidayah dan karunia-Nya maka penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Variasi Doping Pb terhadap Pertumbuhan Fase Superkonduktor BPSCCO-2223 pada Kadar Ca = 2,10 Mol Menggunakan Metode Pencampuran Basah”**. Shalawat serta salam tercurahkan kepada Rasullullah SAW, keluarga, dan sahabatnya.

Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak baik secara moril maupun materil. Karena penulis meyakini tanpa bantuan dan dukungan tersebut, sulit rasanya bagi penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan, Maka dari itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun kearah perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua. *Aamiin Yaa Rabbal `Alamin.*

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Bandar Lampung, Oktober 2019
Penulis

Ade Setiawan

SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat, hidayah dan karunia-Nya maka penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Terselesaikannya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang tidak pernah lelah membimbing dan memberikan semangat kepada penulis. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis menghaturkan terima kasih kepada:

1. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan ilmu serta masukannya dalam melakukan penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Merjunus, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan ilmu serta saranya dalam melakukan penelitian dan penulisan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembahas atas segala masukan dan koreksinya dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Unila.
5. Bapak Drs. Suratman, M.Sc. selaku Dekan FMIPA Unila.
6. Kedua orangtuaku Bapak Safa`at dan Ibu Ruminah serta keluarga besarku yang telah memberikan doa, semangat, dan motivasi yang luar biasa dalam hidupku.

7. Bapak Prof. Simon Sembiring, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Akademik, terimakasih atas segala nasehat, dan motivasi serta semangat yang diberikan kepada penulis.
8. Rekan penelitian kami, Prastiana Tiara Pratiwi dan Ketut Putra Wijaya atas kerjasama dan semangat yang telah diberikan.
9. Sahabat-sahabat terbaikku Novalita, Nikki, Agus, Koko, Ferli, Munawir, Ayunis, Rima, Arie, Ayu Astika yang selalu memberikan tempat untuk bercerita dan tertawa ketika penulis sedang senang maupun sedih.
10. Keluarga Karya Salemba Empat Unila yang telah memberikan bantuan dan pengalaman yang luar biasa.
11. Teman-teman Fisika 2015, terimakasih atas semua pengalaman, cerita, dan rasa kekeluargaan yang telah diberikan selama ini.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah dilakukan

Bandar Lampung, Oktober 2019
Penulis

Ade Setiawan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	Halaman i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvi
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Batasan Masalah	5

1.5. Manfaat Penelitian	6
-------------------------------	---

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Superkonduktor	7
2.2. Jenis-jenis Superkonduktor.....	9
2.3. Superkonduktor BSCCO	10
2.4. Sintesis Superkonduktor BSCCO-2223.....	12
2.5. Pengaruh Doping Pb pada Superkonduktor BSCCO	14
2.6. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	15
2.7. <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	17

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	20
3.2. Alat dan Bahan	20
3.3. Komposisi Bahan.....	21
3.4. Prosedur Penelitian	24
3.4.1. Preparasi Sampel	25
3.4.2. Pelarutan	26
3.4.3. Pemanasan	26
3.4.4. Pengeringan	26
3.4.5. Penggerusan	26
3.4.6. Peletisasi	27
3.4.7. Kalsinasi	27
3.4.8. Sintering.....	28
3.4.9. Karakterisasi	28

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Analisis <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	31
4.2. Hasil Analisis <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	37
4.3. Hasil Uji Meissner.....	38

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	40
5.2. Saran.....	41

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Fluks Magnet pada Jangkauan Medan Magnet Kritis.....	10
2.2. Struktur Kristal Sistem BSCCO.....	11
2.3. Diagram Fase Superkonduktor BSCCO	13
2.4. Skema Difraksi Sinar-X oleh Atom Kristal	16
2.5. Bagian dan Prinsip Kerja <i>Scanning Electron Microscopy</i>	18
3.1. Diagram Alir Penelitian	25
3.2. Diagram Pengeringan.....	26
3.3. Diagram Kalsinasi.....	27
3.4. Diagram Sintering	28
4.1. Hasil analisis XRD dengan program <i>HighScore Plus</i> pada superkonduktor BPSCCO-2223 dengan variasi doping Pb. a) BPSCCO/0; b) BPSCCO/2; c) BPSCCO/4; dan d) BPSCCO/6. Keterangan: $A = \text{BSCCO}/\text{BPSCCO}-2223$, $B = \text{BPSCCO}-2212$, $C = \text{Ca}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{CuO}_2$, $D = \text{Ca}_2\text{CuO}_3$, $E = (\text{Sr,Ca})_2\text{CuO}_3$, $F = \text{SrPbO}_3$	32
4.2. Hasil analisis XRD sampel superkonduktor BPSCCO-2223.....	33
4.3. Hubungan antara kadar doping Pb terhadap kemurnian fase superkonduktor BPSCCO-2223	36
4.4. Hasil analisis SEM pada sampel superkonduktor (a) BPSCCO/0; (b) BPSCCO/2; (c) BPSCCO/4; (d) BPSCCO/6. Keterangan: () menunjukkan <i>void</i> () menunjukkan lempengan yang telah terorientasi.....	37

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Perkembangan bahan superkonduktor	9
3.1. Komposisi bahan awal BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0 mol	21
3.2. Komposisi bahan awal BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0,2 mol	21
3.3. Komposisi bahan awal BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0,4 mol	21
3.4. Komposisi bahan awal BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0,6 mol	22
3.5. Contoh perhitungan untuk sampel dengan doping Pb = 0,2 mol	22
3.6. Kode masing-masing sampel	29
4.1. Hasil perhitungan fraksi volume dan impuritas	35
4.2. Hasil perhitungan derajat orientasi.....	35
4.3. Hasil uji Meissner	39

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Superkonduktor merupakan suatu material yang mempunyai karakteristik dapat mengalirkan arus listrik tanpa kehilangan energi sedikitpun karena memiliki hambatan sebesar nol ($\rho = 0$) dan dapat menolak fluks magnet eksternal yang melewatinya atau mengalami diamagnetisme sempurna $B = 0$ pada suhu tertentu (Martinez dkk, 2014; Thinkham, 1996). Suhu yang menjadi batas perubahan sifat konduktivitas menjadi superkonduktivitas disebut suhu kritis (T_c) (Ismunandar dan Cun, 2002). Gejala superkonduktor pertama kali ditemukan oleh fisikawan Belanda yakni Heike Kamerlingh Onnes pada tahun 1911 (Kittel, 1986). Dalam penelitiannya, hambatan listrik merkuri (Hg) secara signifikan mendekati nol ketika didinginkan sampai mendekati suhu 4 K (Windartun, 2008).

Superkonduktor terbagi menjadi dua jenis yaitu berdasarkan suhu dan medan magnet. Berdasarkan suhunya, superkonduktor terdiri dari superkonduktor suhu kritis tinggi dan suhu kritis rendah. Sementara itu, berdasarkan medan magnetnya terdiri atas superkonduktor tipe I dan tipe II (Windartun, 2008). Superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST) ditemukan pada awal tahun 1988, yaitu superkonduktor oksida Bi-Sr-Ca-Cu-O dan Ti-Ba-Ca-Cu-O dengan suhu kritis berturut-turut yaitu 110 K dan 125 K (Sukirman dkk, 2003; Mohammed dkk, 2012). Superkonduktor

Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO) memiliki tiga fase yang berbeda yaitu BSCCO-2201 ($T_c \sim 10$ K), BSCCO-2212 ($T_c \sim 80$ K), dan BSCCO-2223 ($T_c \sim 110$ K) (Yulianti, 2004). Kelebihan dari superkonduktor BSCCO adalah suhu kritis yang tinggi, mudah dibentuk, tidak beracun, dan dapat dikembangkan sebagai lapisan tipis (Darminto, 2002).

Superkonduktor dapat digunakan sebagai transmisi listrik yang sangat efisien, alat pendiagnosa, dan lain sebagainya (Harsojo, 2003). Namun, karena sifat materinya yang masih tidak dapat digunakan pada suhu kamar maka diperlukan penelitian yang lebih lanjut untuk mendapatkan superkonduktor dengan suhu kritis yang tinggi (Lubis dkk, 2018).

Suhu kritis bahan superkonduktor akan semakin tinggi apabila fase yang diperoleh pada bahan superkonduktor bersifat fase tunggal atau fase murni. Fase 2223 merupakan fase yang paling potensial untuk diaplikasikan dibandingkan dengan fase-fase lainnya karena suhu kritisnya tinggi (Saoudel dkk, 2013). Namun, untuk menyintesis superkonduktor fase 2223 masih sulit dilakukan karena stabilitas struktur yang rendah (Darsono dkk, 2015). Untuk mendapatkan fase BSCCO-2223 (fase murni) kendala yang dihadapi adalah saat proses sintesis dan komposisi bahan yang digunakan. Pada umumnya, proses sintesis bahan superkonduktor masih tercampur dengan fase pengotor seperti Ca_3CuO_2 , CuO , Ca_2PbO_4 (Widodo, 2010). Hingga saat ini, penelitian bahan superkonduktor BSCCO-2223 terus dilakukan untuk mendapatkan superkonduktor dengan kemurnian yang tinggi, kerapatan butir, dan morfologi yang lebih baik (Hamid dkk, 2000). Beberapa cara untuk meningkatkan kemurnian bahan superkonduktor

adalah dengan memberikan doping, memvariasikan suhu kalsinasi-sintering dan sebagainya (Subarwanti, 2013).

Penambahan atom doping pada sistem BSCCO dapat dilakukan menggunakan atom Pb, Nd, dan lain sebagainya. Pemberian doping Pb pada bahan superkonduktor bertujuan untuk mempercepat pertumbuhan dan peningkatan fraksi volume serta stabilitas strukturnya (Mizuno dkk, 1998; Suharta, 1997; Meretliev dkk, 2000; Abbas dkk, 2015). Penelitian yang dilakukan oleh Fauzi (2017) telah memvariasikan doping Pb pada bahan superkonduktor BSCCO-2223 pada kadar Ca sebanyak 2,10 mol dengan suhu kalsinasi 800 °C dan suhu sintering 855 °C menggunakan metode padatan. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan doping Pb menyebabkan terjadinya peningkatan derajat orientasi dan fraksi volume dari bahan superkonduktor. Fraksi volume tertinggi didapatkan pada bahan superkonduktor yang didoping Pb sebesar 0,4 mol ($F_v = 62,06\%$). Widodo dan Darminto (2010) melakukan penelitian pada sistem Bi-2223 menggunakan metode kopresipitasi dan pencampuran basah dengan suhu kalsinasi 780 °C dan suhu sintering 840 °C pada kadar Ca sebesar 2,0 mol. Hasilnya adalah sampel yang diberi doping Pb sebanyak 0,4 mol memiliki fraksi volume tertinggi ($F_v = 87,57\%$). Kemudian, sistem superkonduktor yang disintesis dengan metode pencampuran basah berhasil dilakukan sedangkan kopresipitasinya gagal.

Selain penambahan atom doping, sistem sintesis dan suhu sintering juga memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap pertumbuhan fase dan struktur permukaan superkonduktor. Harnova (2005) dalam penelitiannya menggunakan metode padatan menunjukkan bahwa sistem sintesis (kalsinasi-sintering) yang dipisah memiliki fraksi volume yang lebih tinggi ($F_v = 85\%$) dibandingkan dengan sistem

sintesis (kalsinasi-sintering) yang digabung ($F_v = 62,31\%$) dan sistem sintesis yang melakukan sintering dua kali ($F_v = 83,21\%$).

Komposisi Ca juga sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan fase BSCCO (Ginley dkk, 2002). Handayani (2013) dalam penelitiannya telah memvariasikan kadar CaCO_3 sebanyak 1,95; 2,0; 2,05 dan 2,10 mol pada suhu sintering 850 °C selama 20 jam menggunakan metode padatan. Hasilnya menunjukkan fraksi volume tertinggi terdapat pada sampel dengan kadar Ca sebanyak 2,10 mol. Kemudian, Afriani (2013) mendapatkan fraksi volume tertinggi ($F_v = 86.09\%$) dan derajat orientasi tertinggi ($P = 55.48\%$) pada sampel dengan kadar Ca sebanyak 2,10 mol dengan doping Pb menggunakan metode padatan.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan tersebut, maka dilakukan penelitian tentang variasi doping Pb terhadap pertumbuhan fase superkonduktor BSCCO-2223 pada kadar Ca sebesar 2,10 mol menggunakan metode pencampuran basah ini. Karakterisasi sampel dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) serta uji Meissner. Aspek yang dibahas dalam penelitian ini adalah tingkat kemurnian fase, struktur mikro sampel, dan sifat superkonduktivitas yang terbentuk. Tingkat kemurnian fase diketahui dengan cara menghitung fraksi volume, impuritas, dan derajat orientasi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh doping Pb terhadap pertumbuhan fase superkonduktor BPSCCO-2223?
2. Bagaimana tingkat kemurnian dari fase superkonduktor BPSCCO-2223 yang terbentuk dengan menganalisis data XRD untuk menentukan fraksi volume (F_v), derajat orientasi (P), dan impuritas (I)?
3. Bagaimana struktur mikro dan sifat superkonduktivitas yang terbentuk dari bahan superkonduktor BPSCCO-2223?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh doping Pb terhadap pertumbuhan fase superkonduktor BPSCCO-2223.
2. Mengetahui tingkat kemurnian dari fase superkonduktor BPSCCO-2223 dengan menghitung fraksi volume (F_v), derajat orientasi (P), dan impuritas (I).
3. Mengetahui struktur mikro dan sifat superkonduktivitas yang terbentuk dari bahan superkonduktor BPSCCO-2223.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sintesis bahan superkonduktor BPSCCO-2223 dilakukan menggunakan metode pencampuran basah.
2. Variasi doping Pb yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0; 0,2; 0,4 dan 0,6 mol dengan kadar Ca sebesar 2,1 mol.

3. Sampel dikalsinasi pada suhu 800 °C selama 10 jam dan disintering pada suhu 865 °C selama 10 jam.
4. Sampel dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).
5. Hasil karakterisasi XRD dianalisis menggunakan *software HighScore Plus*.
6. Penelitian ini tidak mengkaji tentang rapat arus kritis (J_c), suhu kritis (T_c).

1.5. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai:

1. Referensi untuk penelitian berikutnya mengenai superkonduktor BPSCCO-2223.
2. Referensi di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
3. Bahan acuan untuk mengetahui kadar doping Pb terbaik terhadap superkonduktor BPSCCO-2223.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Superkonduktor

Superkonduktor adalah suatu material yang tidak memiliki hambatan di bawah suatu nilai suhu tertentu yang disebut dengan suhu kritis (Cyrot dan Pavuna, 1992). Sehingga, material tersebut dapat menghantarkan arus listrik tanpa kehilangan daya atau energi sedikitpun (Darminto dkk, 1999). Suatu superkonduktor dapat bersifat konduktor, semikonduktor ataupun isolator pada suhu kamar. Superkonduktor dapat berupa unsur atau paduan logam (Ismunandar dan Cun, 2002).

Superkonduktor pertama kali ditemukan oleh seorang fisikawan Belanda yaitu Heike Kamerlingh Onnes dari Universitas Leiden pada tahun 1911. Sebelumnya, pada tanggal 10 Juli 1908, Onnes berhasil mencairkan helium dengan cara mendinginkan hingga 4 K. Kemudian, pada tahun 1911, Onnes mulai mempelajari sifat-sifat listrik dari logam pada suhu yang sangat dingin. Pada saat itu, ia mengetahui bahwa hambatan suatu logam akan menurun ketika didinginkan di bawah suhu kamar. Akan tetapi, belum ada yang dapat mengetahui berapa batas hambatan yang dicapai ketika suhu logam mendekati 0 K atau nol mutlak (Yulianti, 2002). Kemudian, beberapa ilmuwan seperti William Kelvin memperkirakan bahwa elektron yang mengalir dalam konduktor akan berhenti

ketika mencapai nol mutlak. Di lain pihak, Onnes memperkirakan bahwa hambatan akan menghilang pada keadaan tersebut. Untuk mengetahui apa yang sebenarnya terjadi, Onnes mengalirkan arus listrik pada kawat merkuri yang sangat murni, kemudian mengukur hambatannya sambil menurunkan suhunya. Pada suhu 4,2 K Onnes mendapatkan hambatannya menghilang sehingga arus mengalir melalui kawat tersebut secara terus-menerus tanpa kehilangan energi (Anwar, 2010). Fenomena ini kemudian diberi nama superkonduktivitas. Atas penemuannya itu, Onnes dianugerahi hadiah Nobel Fisika pada tahun 1913. Dari eksperimen tersebut, Onnes mengambil kesimpulan bahwa suatu hambatan logam akan turun bahkan hilang ketika logam didinginkan di bawah suhu kamar (suhu yang sangat dingin) atau setidaknya lebih rendah dari suhu kritis (T_c).

Pada tahun 1933, fisikawan bernama Walter Meissner dan Robert Ochsenfeld menemukan bahwa bahan superkonduktor akan menolak medan magnet. Fenomena ini dikenal dengan istilah diamagnetisme dan efek ini kemudian dinamakan sebagai efek Meissner (Ismunandar dan Cun, 2002). Selanjutnya pada tahun 1957, tiga ilmuwan yaitu Barden, Cooper dan Schrieffer mengajukan teori tentang superkonduktor bahwa elektron-elektron dalam material superkonduktor selalu dalam keadaan berpasangan dan seluruhnya berada dalam kuantum yang sama. Pasangan-pasangan tersebut disebut sebagai *Cooper Pairs*. Teori ini dikenal dengan nama teori BCS dan membuat ketiga ilmuwan tersebut memenangkan hadiah nobel pada tahun 1972.

Pada tahun 1986 Alex Muller dan George Bednors berhasil membuat suatu keramik yang terdiri dari unsur lanthanum, barium, tembaga, dan oksigen yang bersifat superkonduktor pada suhu kritis tertinggi yaitu 30 K. Penemuan ini

menjadi populer karena selama ini keramik dikenal sebagai material yang bersifat isolator. Selanjutnya, pada Februari 1987 ditemukan keramik yang bersifat superkonduktor pada suhu kritis 90 K sehingga dapat menggunakan nitrogen cair sebagai pendinginnya. Karena suhu kritisnya cukup tinggi dibandingkan dengan material superkonduktor lain, maka material tersebut diberi nama superkonduktor suhu kritis tinggi. Selanjutnya, perkembangan penemuan bahan superkonduktor dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Perkembangan bahan superkonduktor (Pikatan, 1989).

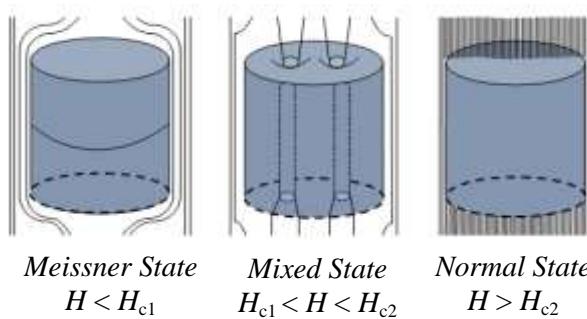
Bahan	Tahun ditemukan	T_c (K)
Raksa (Hg)	1911	4,2
Timbal (Pb)	1913	7,2
Niobium nitride	1960-an	16,0
Niobium-3-timah	1960-an	18,1
$Al_{0,8}Ge_{0,2}Nb_3$	1960-an	20,7
Niobium germanium	1973	23,2
Lanthanum barium tembaga 28 oksida	1985	28,0
Yitrium barium tembaga oksida (123 atau YBCO)	1987	93
Thalium barium kalsium tembaga oksida	1987	125,0

2.2. Jenis-jenis Superkonduktor

Superkonduktor dibagi menjadi dua jenis berdasarkan suhu kritis dan medan magnet kritis. Berdasarkan suhu kritisnya, superkonduktor dibagi menjadi dua yaitu superkonduktor suhu rendah dan superkonduktor suhu tinggi (SKST). Superkonduktor suhu rendah memiliki suhu kritis di bawah nitrogen cair (77 K), sedangkan jika di atasnya disebut superkonduktor suhu tinggi (Windartun, 2008).

Kemudian, berdasarkan sifat magnetiknya superkonduktor dibagi menjadi 2 tipe yaitu superkonduktor tipe I dan tipe II. Superkonduktor tipe I merupakan bahan

superkonduktor yang sempurna menolak medan magnet sampai batas medan magnet tertentu (medan magnet kritis). Kemudian dengan tiba-tiba bahan akan berubah ke keadaan 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 sehingga di daerah ini memiliki resistivitas dan induksi magnetik sebesar nol. Di antara H_{c1} dan H_{c2} , superkonduktor berada dalam keadaan campuran. Sebagian fluks magnet dapat menembus spesimen superkonduktor dalam bentuk filamen mikroskopik yaitu *vortices* (*vortex*) sampai batas medan kritis H_{c2} . Di atas H_{c2} , bahan akan kehilangan sifat superkonduktivitasnya. Fluks magnet pada jangkauan medan magnet kritis dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Saxena, 2010).

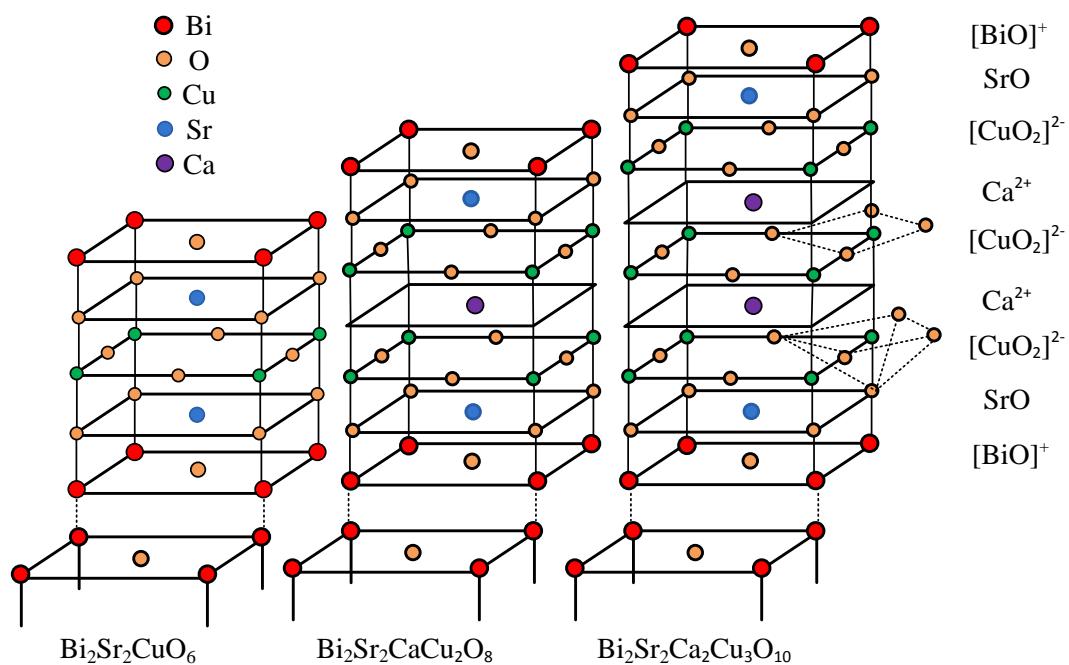


Gambar 2.1. Fluks magnet pada jangkauan medan magnet kritis

2.3. Superkonduktor BSCCO

Superkonduktor sistem BSCCO merupakan superkonduktor oksida keramik yang memiliki struktur berlapis-lapis, sehingga menyebabkan bahan superkonduktor ini sangat rapuh dan mudah patah. Selain itu, superkonduktor sistem BSCCO memiliki sifat anisotropi, superkonduktivitas yang tinggi, dan koherensi yang

pendek (Herlyn, 2008). Dalam superkonduktor BSCCO dikenal tiga fase superkonduktif yaitu fase Bi-2201 yang memiliki suhu kritis 10 K, fase Bi-2212 memiliki suhu kritis 80 K, dan fase Bi-2223 memiliki suhu kritis 110 K (Siswanto, 1999). Superkonduktor sistem BSCCO memiliki keunggulan dibandingkan superkonduktor keramik lainnya karena suhu kritisnya yang relatif lebih tinggi dan tidak mengandung unsur yang beracun. Superkonduktor BSCCO memiliki struktur kristal seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Struktur kristal sistem BSCCO

Struktur kristal dari fase yang terbentuk dalam material superkonduktor akan sangat berpengaruh terhadap suhu kritisnya (T_c). Derajat ketidakteraturan struktur fase yang tinggi sangat dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya adalah suhu sintering dan lamanya waktu sintering saat dilakukan proses manufaktur dari material superkonduktor tersebut (Lehndroff, 2001).

2.4. Sintesis Superkonduktor BSCCO-2223

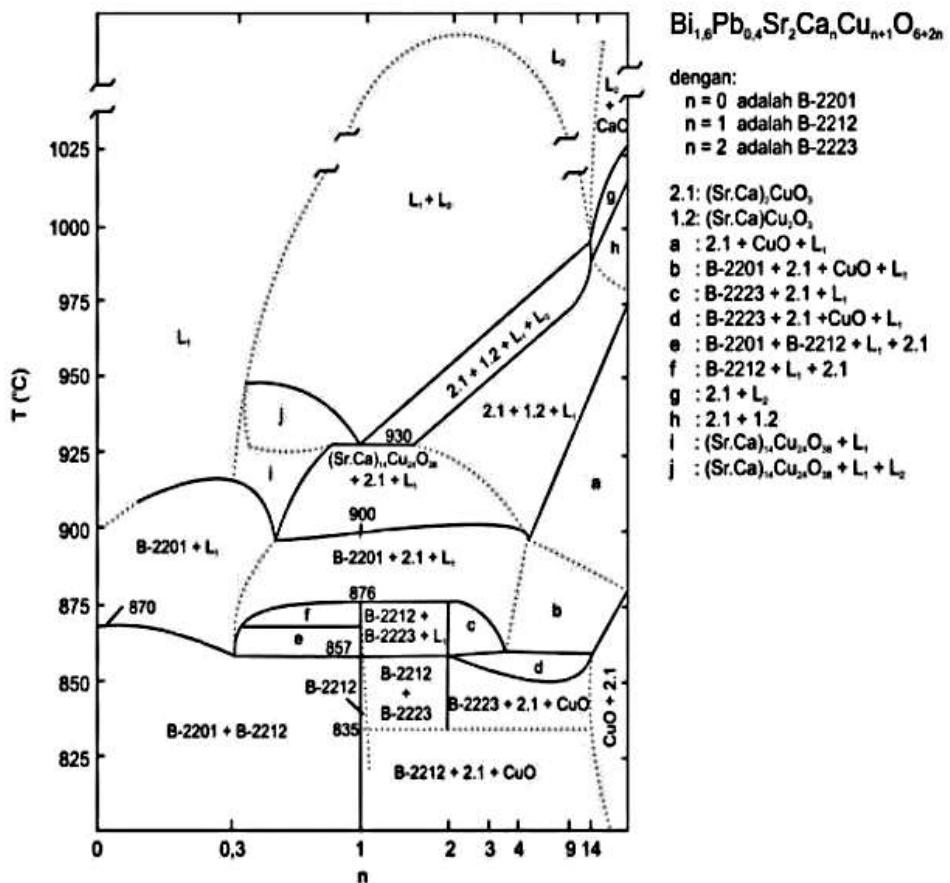
Superkonduktor BSCCO-2223 adalah superkonduktor yang memiliki T_c paling tinggi dibandingkan BSCCO-2201 dan BSCCO-2212. Sehingga banyak dilakukan penelitian untuk mendapatkan fase 2223 murni. Beberapa upaya yang dilakukan untuk mendapatkan BSCCO-2223 murni atau berfase tunggal antara lain menambahkan atom Pb dan Ag, doping Pb dan Sb, menggunakan fluks (Bi_2O_3 , KCl , dan NaCl). Selain itu juga dapat dilakukan dengan cara mengubah beberapa parameter pemrosesan seperti variasi komposisi awal (Rachmawati, 2009). Beberapa metode penelitian dilakukan seperti metode lelehan, padatan, sol gel, dan pencampuran basah untuk mendapatkan material superkonduktor 2223.

Pada metode lelehan, bahan-bahan yang digunakan seperti Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaCO_3 , CuO , dan dopan PbO . Bahan-bahan tersebut dilarutkan dengan aquades dan HNO_3 sebagai pelarut. Setelah itu, dikeringkan dalam tungku yang kemudian dilakukan penggerusan hingga sampel halus dan dipelet serta kalsinasi. Proses selanjutnya dilakukan penggerusan ulang kemudian dipelet kembali dan disintering pada suhu tertentu selama beberapa jam. Dalam sintering, pemanasan diawali pada suhu lelehan dan dilanjutkan dengan pemanasan sesuai dengan diagram fase agar terbentuk superkonduktor fase 2223 (Marhaendrajaya, 2001).

Gambar 2.3 merupakan diagram fase dari superkonduktor BSCCO.

Pada metode padatan, bahan yang digunakan sama dengan metode lelehan. Unsur-unsur tersebut dicampurkan sesuai dengan stoikiometri yang diinginkan. Selanjutnya, dilakukan pengadukan dan penggerusan. Setelah itu, dilanjutkan dengan proses kalsinasi dan penggerusan kembali serta peletisasi. Proses

selanjutnya adalah sintering sesuai dengan diagram fase (Kirom dan Ramdlan, 2001). Sedangkan metode sol-gel, umumnya menggunakan senyawa ligan *ethylene-diaminetetraacetid acid* (EDTA) yang berfungsi untuk membantu mengikat logam (Sukirman dkk, 2003). Sementara itu, pada metode pencampuran basah proses yang dilakukan hampir serupa dengan metode lelehan. Hanya saja, dalam metode ini tidak menggunakan suhu lelehan pada proses sintering (Marhaendrajaya, 2001).



Gambar 2.3. Diagram fase superkonduktor BSCCO (Strobel dkk, 1992).

Gambar 2.3 merupakan hubungan antara komposisi dan suhu pembentukan superkonduktor $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{n+1}\text{O}_{6+2n}$ dengan n yang berbeda. Dalam diagram fase tersebut, terdapat daerah pembentukan fase Bi-2223 pada daerah Bi-

2212 + Bi-2223, daerah Bi-2223 + Bi-2212 + L₁ dan daerah Bi-2223 + 2,1 + CuO + L₁ (Strobel dkk, 1992).

2.5. Pengaruh Doping Pb pada Superkonduktor BSCCO

Doping memiliki peranan yang sangat penting dalam pembentukan superkonduktor suhu kritis tinggi. Dalam sistem superkonduktor BSCCO biasanya digunakan atom Pb sebagai dopingnya. Penggunaan atom doping Pb dapat berupa substitusi penuh atau hanya sebagai penambahan. Substitusi penuh artinya doping tersebut dapat menggantikan atom aslinya di dalam superkonduktor dengan syarat atom tersebut memiliki ukuran atom yang tidak jauh berbeda. Sedangkan, penambahan memiliki arti bahwa doping tersebut hanya berperan sebagai atom penambah ke dalam atom-atom superkonduktor. Penambahan atom Pb dapat meningkatkan derajat orientasi dan fraksi volume dari kristal yang terbentuk (Nurmalita, 2002; Cava dkk., 1988), memperbaiki stabilitas struktur kristal (Meretliev dkk, 2000; Abbas dkk, 2015), dan meningkatkan kualitas kristal superkonduktor yang terbentuk (Nurmalita, 2012).

Superkonduktor BSCCO doping Pb atau (Bi,Pb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O_{10+δ} (fase Bi-2223) merupakan bahan superkonduktif yang telah banyak dikaji baik dari aspek eksperimen maupun aplikasinya. Dengan suhu kritis yang cukup tinggi (T_c ~110 K) fase Bi-2223 ini sangat berpotensi untuk diaplikasikan. Akan tetapi fase jenis ini memiliki rapat arus kritis (*J_c*) yang cukup rendah dan mudah turun apabila berada di dalam medan magnet dan suhu tinggi. Untuk kasus superkonduktor Bi-2212 peningkatan *J_c* dapat dilakukan dengan cara memberikan dan meningkatkan

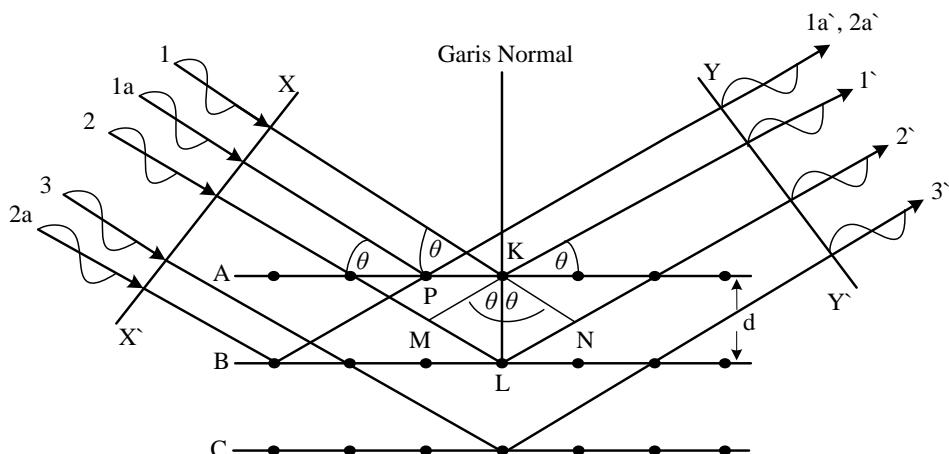
kekuatan pinningnya (*pinning strength*) dengan melakukan substitusi Pb (Darminto, 2002).

Menurut para peneliti, tanpa adanya atom doping maka fase tunggal superkonduktor suhu kritis tinggi sulit untuk ditumbuhkan. Hal ini dikarenakan struktur kristal tidak stabil akibat adanya derajat ketidakteraturan (Escuredo dkk, 1989). Arani dkk (2018) meneliti pengaruh kalsinasi dan suhu sintering pada struktur mikro superkonduktor $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\theta}$ (Bi-2223) menggunakan metode sol-gel. Hasilnya mengungkapkan bahwa terjadi peningkatan J_c untuk Bi-2223 yang disebabkan oleh peningkatan struktur butir. Semakin kecil ukuran butirnya semakin besar luas permukaan kontak antara butir satu dengan butir yang lain, akibatnya kerapatan bahan dan J_c akan meningkat (Adi dkk, 2003).

2.6. X-Ray Diffraction (XRD)

Sinar-X ditemukan pertama kali oleh ilmuwan bernama Wilhelm Roentgen pada tahun 1895. Roentgen menemukan bahwa sinar dari tabung dapat menembus bahan dan menghasilkan film foto. Sinar ini berasal dari titik dimana elektron dalam tabung mengenai objek atau tabung kacanya sendiri. Karena asalnya tidak diketahui waktu itu maka disebut sinar-X. Sinar-X digunakan untuk tujuan pemeriksaan yang tidak merusak pada material maupun manusia (Tipler, 1996). Sinar-X merupakan salah satu jenis gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang 0,05-0,25 nm dan memiliki energi antara 200 eV sampai 1 MeV. Panjang gelombang sinar-X ini merupakan dasar digunakannya teknik difraksi sinar-X (*X-Ray Diffraction*) (Smith, 1990).

Jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal maka bidang kristal tersebut akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang yang 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. Skema difraksi sinar-X oleh atom dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Skema difraksi Sinar-X oleh atom kristal (Cullity, 1978).

Teknik *X-Ray Diffraction* (XRD) berperan penting dalam proses analisis padatan kristalin. XRD adalah metode karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui ciri utama kristal, seperti parameter kisi dan tipe struktur. Selain itu, juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal, kehadiran cacat, orientasi, dan cacat kristal (Smallman, 2000). Sistem kerja dari difraktometer sinar-X didasarkan pada persamaan Bragg atau persamaan (2.3). 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 2.4 dapat dituliskan sebagai berikut:

$$n\lambda = ML + LN \quad (2.1)$$

dengan:

$$\sin \theta = \frac{ML}{KL} = \frac{LN}{KL} \text{ dan } KL = d; ML = LN = d \sin \theta \quad (2.2)$$

sehingga persamaan 2.1 menjadi:

$$\begin{aligned} n\lambda &= d \sin \theta + d \sin \theta \\ n\lambda &= 2d \sin \theta \end{aligned} \quad (2.3)$$

dengan d adalah jarak antar bidang kisi (\AA), θ adalah sudut difraksi, λ adalah panjang gelombang (\AA), dan n adalah orde (1, 2, 3, n).

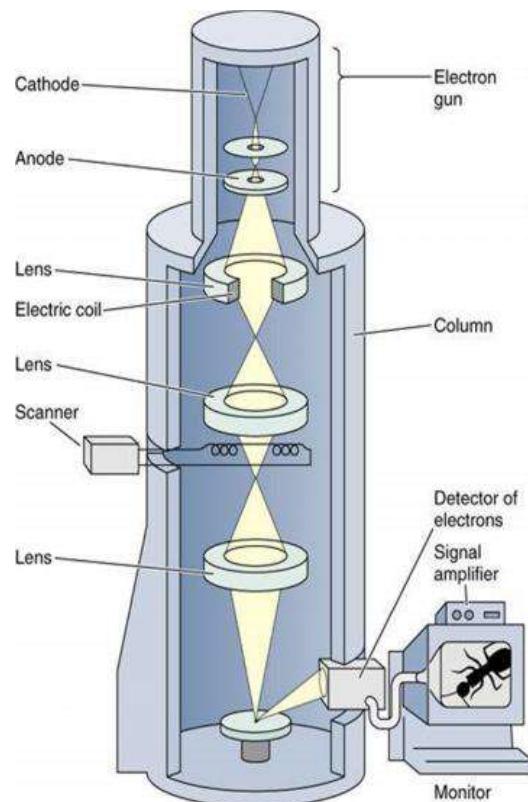
Pada Gambar 2.4, memperlihatkan empat berkas sinar-X yang didifraksikan dengan sudut θ oleh bidang kristal dengan jarak d . Berkas sinar pada arah $1a'$ dan $2a'$ saling menguatkan karena memiliki lintasan yang sama (Cullity, 1978). Metode analisis difraksi sinar-X atau *X-Ray Diffraction (XRD)* dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal, bentuk kristal (*single crystal, polycrystal, amorphous*), cacat kristal (dislokasi), parameter kristal (parameter kisi, jarak antar atom, jumlah atom per unit sel), dan analisis kimia (Santoso, 2006).

2.7. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan alat yang dapat digunakan untuk membantu mengatasi permasalahan analisis struktur mikro, tekstur, topografi, dan sifat permukaan bubuk atau padatan pada bidang sains, kedokteran

atau biologi. Keunggulan SEM dibandingkan dengan mikroskop optik adalah mempunyai daya pisah yang sangat tinggi, dimana jarak terkecil antara dua titik dari suatu objek yang masih sama dapat diamati secara terpisah dalam orde 100 Å. Daya pisah atau resolusi yang jauh lebih baik dari mikroskop optik ini berkat penggunaan berkas elektron yang mempunyai panjang gelombang yang sangat pendek sehingga tampilan gambar tampak tiga dimensi. Efek tiga dimensi ini tergantung dari besar kecilnya perbesaran (Goldstein dkk, 1981).

Untuk pengamatan topografi permukaan yang kasar seperti retakan bukaan diafragma diatur sekecil mungkin dengan jarak kerja sejauh mungkin. Bila diinginkan gambar dengan data pisah dan perbesaran yang tinggi, maka jarak kerja harus dibuat sedekat mungkin dan bukaan diafragma disesuaikan dengan cara kerja (Goldstein dkk, 1981).



Gambar 2.5. Bagian dan prinsip kerja *Scanning Electron Microscopy* (Smallman dan Bishop, 1995).

Instrumen SEM ditampilkan pada Gambar 2.5. SEM terdiri dari penembak elektron (*electron gun*), tiga lensa elektrostatik, dan kumparan *scan* elektromagnetik yang terletak antara lensa kedua dan ketiga, serta tabung *amplifier* untuk mendeteksi cahaya pada layar. SEM menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk menghasilkan bayangan (Reed,1993).

Prinsip kerja SEM dapat dijelaskan seperti pada Gambar 2.5. Sumber elektron yang berasal dari filamen katoda ditembakkan menuju sampel. Berkas elektron tersebut kemudian difokuskan oleh lensa magnetik sebelum sampai pada permukaan sampel. Lensa magnetik memiliki lensa kondenser yang berfungsi memfokuskan sinar elektron. Berkas elektron kemudian menghasilkan *Backscattered Electron* (BSE) dan *Secondary Electron* (SE) menuju sampel, dimana SE akan terhubung dengan *amplifier* yang kemudian dihasilkan gambar pada monitor (Reed,1993).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3. 1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2019 sampai dengan Juli 2019 di Laboratorium Fisika Material FMIPA, Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Lampung, dan SMK-SMTI Bandar Lampung, serta UPT Laboratorium dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung. Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Universitas Negeri Padang dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan di Laboratorium Forensik Cabang Palembang, serta uji Meissner dilakukan di Balai Inseminasi Buatan, Lampung Tengah.

3.2. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Neraca Sartorius digital dengan ketelitian 0.0001 berfungsi untuk menimbang massa sampel.
2. Alat penggerus (*mortar* dan *pastle*) berfungsi sebagai alat penggerus sampel.
3. *Furnace* berfungsi sebagai alat pemanas sampel.
4. Spatula berfungsi sebagai pengambil bahan-bahan kimia.
5. Cetakan sampel dan alat *pressing*.

6. Cawan (*cruddle*) berfungsi sebagai tempat meletakkan sampel ketika dilakukan pemanasan.
7. *Hot plate* berfungsi sebagai alat pemanas sampel.
8. Thermometer berfungsi sebagai alat pengukur suhu.

Sedangkan bahan yang digunakan adalah Bi_2O_3 (99,9 %), PbO (99,9 %), SrCO_3 (99,9 %), CaCO_3 (99,9 %), CuO (99,9 %), HNO_3 , Aquades, dan HCl .

3.3. Komposisi Bahan

Komposisi bahan yang digunakan untuk membuat 3 gram bahan superkonduktor BPSCCO-2223 dengan variasi Pb sebesar 0; 0,2; 0,4; 0,6 mol dan kadar Ca = 2,10 mol dirangkum dalam Tabel 3.1, 3.2, 3.3, dan 3.4.

Tabel 3.1. Komposisi bahan awal BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0 mol

No	Bahan	Fraksi (mol)	Massa untuk 3 gram sampel
1	Bi_2O_3	2,00	1,1552
2	PbO	0,00	0,0000
3	SrCO_3	2,00	0,7320
4	CaCO_3	2,10	0,5211
5	CuO	3,00	0,5916
Total			3,0000

Tabel 3.2. Komposisi bahan awal BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0,2 mol

No	Bahan	Fraksi (mol)	Massa untuk 3 gram sampel
1	Bi_2O_3	1,80	1,0414
2	PbO	0,20	0,1109
3	SrCO_3	2,00	0,7332
4	CaCO_3	2,10	0,5219
5	CuO	3,00	0,5926
Total			3,0000

Tabel 3.3. Komposisi bahan awal BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0,4 mol

No	Bahan	Fraksi (mol)	Massa untuk 3 gram sampel
1	Bi_2O_3	1,60	0,9272
2	PbO	0,40	0,2220
3	SrCO_3	2,00	0,7344
4	CaCO_3	2,10	0,5228
5	CuO	3,00	0,5936
Total			3,0000

Tabel 3.4. Komposisi bahan awal BPSCCO-2223 dengan doping Pb = 0,6 mol

No	Bahan	Fraksi (mol)	Massa untuk 3 gram sampel
1	Bi ₂ O ₃	1,40	0,8126
2	PbO	0,60	0,3336
3	SrCO ₃	2,00	0,7356
4	CaCO ₃	2,10	0,5236
5	CuO	3,00	0,5945
	Total		3,0000

Komposisi bahan masing-masing sampel diperoleh berdasarkan perhitungan menggunakan Pers (3.1),

$$BM_x = BM \times \frac{1}{\text{Jumlah atom}} \times \text{Fraksi} \quad (3.1)$$

dengan BM_x adalah massa atom X, BM adalah massa atom suatu unsur, dan F adalah mol. Sebagai contoh, untuk sampel dengan doping Pb = 0,2 mol.

Tabel 3.5. Contoh perhitungan untuk sampel dengan doping Pb = 0,2 mol

Bahan	Berat molekul (gram/mol)	Fraksi	Jumlah atom
Bi ₂ O ₃	465,959	1,80	2
PbO	223,1994	0,20	1
SrCO ₃	147,6293	2,00	1
CaCO ₃	100,0873	2,10	1
CuO	79,5454	3,00	1

$$\begin{aligned} BM_{Bi_2O_3} &= BM \times \left(\frac{1}{\text{jumlah atom}} \right) \times \text{fraksi} \\ &= 465,959 \text{ gram/mol} \times \left(\frac{1}{2} \right) \times 1,80 \text{ mol} = 419,3631 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BM_{PbO} &= BM \times \left(\frac{1}{\text{jumlah atom}} \right) \times \text{fraksi} \\ &= 223,1994 \text{ gram/mol} \times \left(\frac{1}{1} \right) \times 0,20 \text{ mol} = 44,6398 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$BM_{SrCO_3} = BM \times \left(\frac{1}{\text{jumlah atom}} \right) \times \text{fraksi}$$

$$= 147,6293 \text{ gram/mol} \times \left(\frac{1}{1} \right) \times 2,00 \text{ mol} = 295,2586 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} BM_{CaCO_3} &= BM \times \left(\frac{1}{jumlah atom} \right) \times fraksi \\ &= 100,0873 \text{ gram/mol} \times \left(\frac{1}{1} \right) \times 2,10 \text{ mol} = 210,1833 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BM_{CuO} &= BM \times \left(\frac{1}{jumlah atom} \right) \times fraksi \\ &= 79,5454 \text{ gram/mol} \times \left(\frac{1}{1} \right) \times 3,00 \text{ mol} = 238,6362 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BM_{total} &= BM_{Bi_2O_3} + BM_{PbO} + BM_{SrCO_3} + BM_{CaCO_3} + BM_{CuO} \\ &= 419,3631 \text{ gram} + 44,6398 \text{ gram} + 295,2586 \text{ gram} + 210,1833 \text{ gram} \\ &\quad + 238,6362 \text{ gram} \\ &= 1208,081 \text{ gram} \end{aligned}$$

Perhitungan untuk membuat 3 gram sampel superkonduktor,

$$\begin{aligned} BB_{Bi_2O_3} &= \left(\frac{BM_{Bi_2O_3}}{BM_{total}} \right) \times \sum berat sampel \\ &= \left(\frac{419,3631 \text{ gram}}{1208,081 \text{ gram}} \right) \times 3 \text{ gram} = 1,0414 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BB_{PbO} &= \left(\frac{BM_{PbO}}{BM_{total}} \right) \times \sum berat sampel \\ &= \left(\frac{44,6398 \text{ gram}}{1208,081 \text{ gram}} \right) \times 3 \text{ gram} = 0,1109 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$BB_{SrCO_3} = \left(\frac{BM_{SrCO_3}}{BM_{total}} \right) \times \sum berat sampel$$

$$= \left(\frac{295,2586 \text{ gram}}{1208,081 \text{ gram}} \right) \times 3 \text{ gram} = 0,7332 \text{ gram}$$

$$BB_{CaCO_3} = \left(\frac{BM_{CaCO_3}}{BM_{total}} \right) \times \sum \text{berat sampel}$$

$$= \left(\frac{210,1833 \text{ gram}}{1208,081 \text{ gram}} \right) \times 3 \text{ gram} = 0,7332 \text{ gram}$$

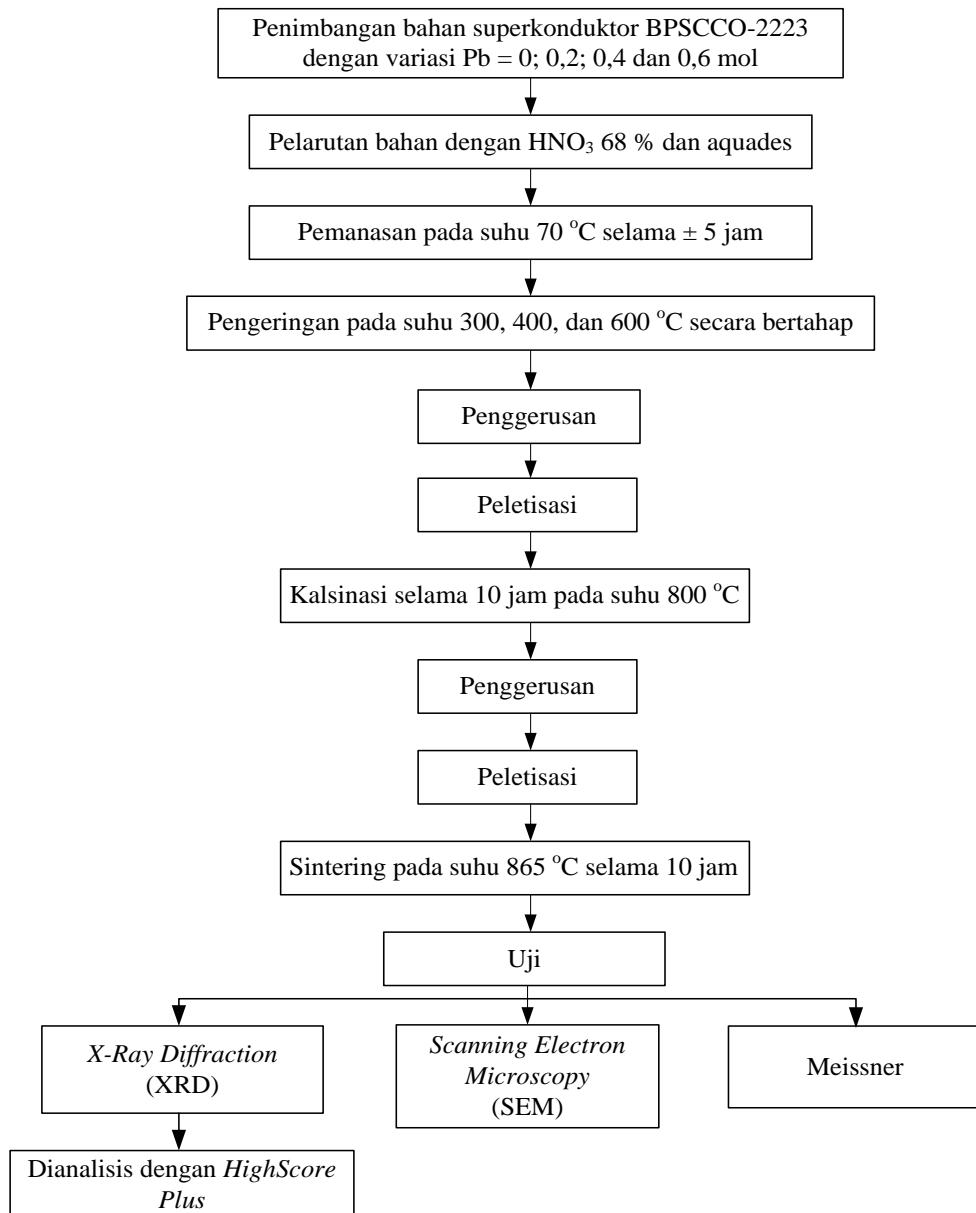
$$BB_{CuO} = \left(\frac{BM_{CuO}}{BM_{total}} \right) \times \sum \text{berat sampel}$$

$$= \left(\frac{238,6362 \text{ gram}}{1208,081 \text{ gram}} \right) \times 3 \text{ gram} = 0,7332 \text{ gram}$$

Detail perhitungan sampel lain dapat dilihat pada Lampiran 1.1.

3.4. Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode pencampuran basah yang terdiri dari preparasi sampel, pelarutan, pengeringan, penggerusan, peletisasi (*pressing*), dan pemanasan (kalsinasi dan sintering). Kemudian, sampel dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) serta dilakukan uji Meissner. Selanjutnya, hasil karakterisasi XRD dianalisis menggunakan *software HighScore Plus*. Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.4.1. Preparasi Sampel

Bahan-bahan ditimbang sesuai dengan massa yang telah didapatkan melalui perhitungan. Semua bahan yang telah ditimbang, ditempatkan pada masing-masing wadah. Penelitian ini menggunakan kadar doping Pb sebanyak 0; 0,2; 0,4; dan 0,6 mol.

3.4.2. Pelarutan

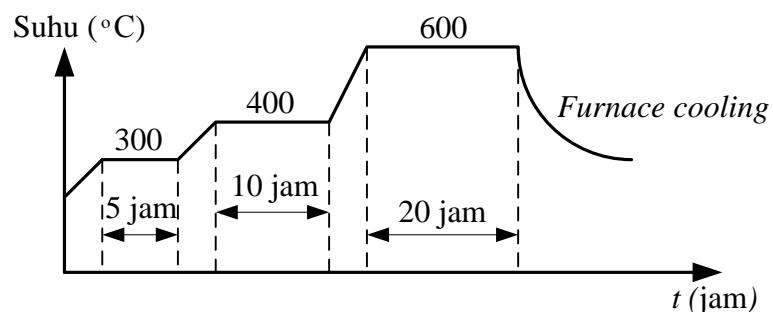
Bahan-bahan yang telah ditimbang kemudian dicampur dan dilarutkan dengan HNO_3 (68 %) dan aquades hingga larutan berwarna biru jernih. Proses ini bertujuan agar sampel tercampur sempurna dan homogenitas sampel menjadi tinggi.

3.4.3. Pemanasan

Sampel yang telah larut, kemudian dilakukan pemanasan menggunakan *hot plate* pada suhu $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 5-6 jam sampai sampel menjadi kering. Proses ini bertujuan untuk menguapkan bahan-bahan pelarut seperti aquades.

3.4.4. Pengeringan

Pengeringan dilakukan pada suhu 300, 400, dan $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ secara bertahap. Proses ini bertujuan agar sampel benar-benar kering. Diagram pengeringan dapat terlihat seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram pengeringan (Marhaendrajaya, 2001)

3.4.5. Penggerusan

Sampel yang telah dikeringkan, digerus dengan mortal dan pastel secara manual selama ± 10 jam secara bertahap sampai sampel terasa halus. Selain membuat

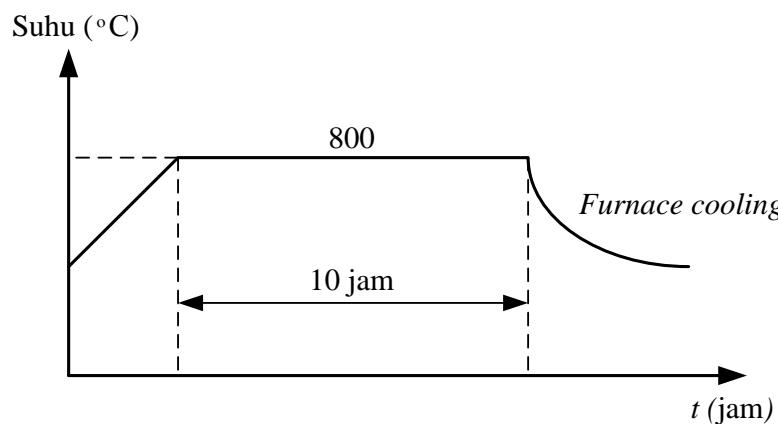
sampel menjadi halus, diharapkan dalam proses penggerusan akan meningkatkan homogenitas.

3.4.6. Peletisasi

Peletisasi merupakan proses pemanatan yang bertujuan agar jarak atom dengan atom lain menjadi lebih berdekatan dan tersusun rapat sehingga apabila diberikan perlakuan panas akan terjadi proses difusi atom dan terbentuk ikatan yang kuat. Pada penelitian ini sampel dipelet menggunakan alat *pressing* dengan kekuatan 8 ton (Surahman dkk, 2019).

3.4.7. Kalsinasi

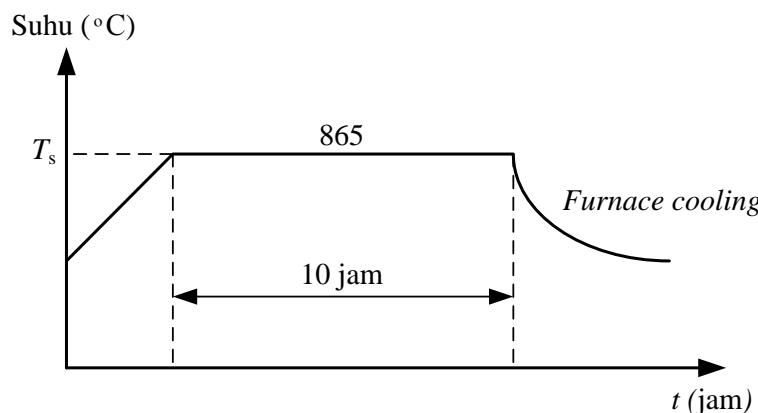
Sampel yang sudah berbentuk pelet kemudian dikalsinasi pada suhu 800 °C selama 10 jam. Kalsinasi merupakan sebuah proses pemanasan yang dilakukan pada suhu di bawah titik leleh dari sampel superkonduktor BSCCO (≈ 870 °C). Kalsinasi bertujuan untuk menghilangkan senyawa-senyawa pengotor yang tidak diperlukan. Diagram kalsinasi pada penelitian ini dapat terlihat seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Diagram kalsinasi (Khafifah dkk, 2011)

3.4.8. Sintering

Biasanya, hasil kalsinasi belum maksimal. Hal ini dikarenakan adanya porositas (kamar kosong di antara material) akibat dekomposisi senyawa-senyawa pengotor. Setelah kalsinasi, sampel digerus kembali dan dipelet. Setelah itu, sampel disintering pada suhu 865 °C selama 10 jam (Rahayu dkk, 2019). Sintering bertujuan untuk mengubah bentuk partikel-partikel kecil menjadi seragam, sehingga membentuk ikatan yang kuat dan keras. Selain itu, sintering juga bertujuan untuk pembentukan fase superkonduktor. Selama sintering, gaya tarik menarik antara partikel-partikel penyusun akan meningkat dan porositas akan berkurang karena adanya pemanasan pada sampel. Diagram sintering dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Diagram sintering (Rahayu dkk, 2019)

3.4.9. Karakterisasi

Sampel yang telah disintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Setiap sampel diberi kode untuk mempermudah penyajian data dan analisisnya. Pengkodean sampel ditampilkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6. Kode masing-masing sampel

No.	Kode Sampel	Besar Doping Pb (mol)
1.	BPSCCO/0,0	0,0
2.	BPSCCO/0,2	0,2
3.	BPSCCO/0,4	0,4
4.	BPSCCO/0,6	0,6

3.4.9.1. X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi XRD bertujuan untuk mempelajari fase-fase yang terbentuk dan menganalisis tingkat kemurnian fase (fraksi volume, derajat orientasi, dan impuritas) dari sampel superkonduktor. Pola difraksi sampel diperoleh dengan menembak sampel menggunakan sumber Cu-K α yang memiliki panjang gelombang 1,54 Å. Data difraksi diambil pada rentang $2\theta = 10^\circ$ sampai 60° , dengan modus *scanning continue* dan *step size* sebesar $2\theta = 0,026$ serta waktu 7,14 detik per *step*. Dari spektrum XRD dapat terlihat adanya puncak-puncak intensitas yang terdeteksi tiap sudut difraksi 2θ . Hasil pola XRD yang didapat, dianalisis menggunakan program *HighScore Plus* Versi 3.0e (3.0.5). Tingkat kemurnian fase superkonduktor BPSCCO-2223 yang terbentuk dianalisis dengan menghitung fraksi volume, derajat orientasi, dan impuritas menggunakan persamaan berikut.

$$F_v = \frac{\sum I_{2223}}{\sum I_{total}} \times 100\% \quad (3.2)$$

$$P = \frac{\sum I_{00l}}{\sum I_{2223}} \times 100\% \quad (3.3)$$

$$I = 100\% - F_v \quad (3.4)$$

dengan F_v adalah fraksi volume superkonduktor BPSCCO-2223, P adalah derajat orientasi, I adalah impuritas (pengotor), I_{total} adalah intensitas total, dan $I_{(2223)}$

adalah intensitas fase-2223, serta $I_{(001)}$ adalah Intensitas fase $h = k = 0$ dan l bilangan genap.

3.4.9.2. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Struktur mikro dari sampel yang dihasilkan dianalisis dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Karakterisasi SEM dilakukan untuk melihat bentuk *grain* dari sampel. Karena sifat konduktivitas bahan superkonduktor yang cukup besar, maka sampel tidak perlu di-coating dengan Au atau C. Tetapi, sampel cukup ditempelkan pada *holder* dengan pasta perak.

3.4.9.3. Uji Meissner

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya sifat superkonduktivitas suatu bahan. Mulanya, sampel didinginkan dalam nitrogen cair sampai suhu sampel sama dengan nitrogen cair (77 K) kemudian diberikan sepotong magnet di atasnya. Efek Meissner dapat diamati dengan ada atau tidaknya levitasi (penolakan medan magnet). Jadi sampel superkonduktor suhu tinggi seharusnya bisa mengangkat magnet tersebut (Marhaendrajaya, 2001). Jika terjadi pengangkatan magnet di atas sampel atau magnet ditolak, maka bahan tersebut merupakan bahan superkonduktor. Jika tidak terjadi penolakan magnet oleh superkonduktor, dimungkinkan sampel tersebut bukan superkonduktor atau masih banyak pengotornya (Susanti, 2010).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan doping Pb dapat meningkatkan fraksi volume dan derajat orientasi serta menurunkan impuritas superkonduktor BPSCCO-2223.
2. Tingkat kemurnian fase superkonduktor BPSCCO-2223 yang ditunjukkan dengan nilai fraksi volume (F_v) akan meningkat seiring bertambahnya doping Pb hingga 0,4 mol. Fraksi volume (F_v) tertinggi hingga terendah didapat pada sampel dengan doping Pb sebanyak 0,4; 0,6; 0,2 dan 0,0 mol yaitu sebesar 76,35 %; 74,96 %; 63,39 %; dan 49,94 %.
3. Hasil uji SEM menunjukkan sampel yang didoping Pb mengakibatkan ruang kosong antar lempengan (*void*) berkurang serta sampel menjadi terorientasi ke satu arah.
4. Hasil uji Meissner menunjukkan pada sampel BPSCCO/0,4 teramati adanya efek Meissner yang lemah.

5.2. Saran

Pembuatan superkonduktor BPSCCO-2223 sebaiknya digunakan doping lain selain Pb dengan waktu pemanasan (pengeringan, kalsinasi, dan sintering) yang lebih lama dan mengontrol laju pemanasannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, M. M., Abbas, L. K., and Bahedh, H. S. 2015. Superconducting Properties of $\text{Bi}_2\text{Sb}_x\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_{1.9}\text{Ba}_{0.1}\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ Compounds. *Journal of Applied Science Research*. Vol. 11. No. 22. Pp. 164-172.
- Adi, W. A., Grace, T., Didin, S., Winatapura, Handayani, A., dan Octavianus. 2003. Pengaruh ukuran serbuk terhadap rapat arus kritis superkonduktor $\text{YBa}_2\text{O}_{7-x}$. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Vol. 4. No. 3. Pp. 8-14.
- Afriani, F. 2013. Variasi kadar CaCO_3 dalam pembentukan fase superkonduktor BSCCO-2223 dengan doping Pb (BPSCCO-2223). *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Anwar, F. 2010. *Sejarah dan Pengertian Superkonduktor*. <http://fanwar.staff.uns.ac.id/2010/04/23/sejarah-dan-pengertian-superkonduktor/>. Diakses pada tanggal 17 Desember 2018 pukul 07.41 WIB.
- Arani, H. F., Baghshahi, S., Sedghi, A., Stornaiuolo, D., Tafuri, F., Massarotti, D. 2018. The influence of heat treatment on the microstructure, flux pinning and magnetic properties of bulk BSCCO samples prepared by sol-gel route. *Ceramics International*. Vol. 44. Pp. 5209-5218.
- Cava, R. J. 1988. Studies of oxygen deficient $\text{Ba}_2\text{YCU}_3\text{O}_{7-\Delta}$ and superconductivity $\text{Bi}(\text{Pb})\text{-Sr-Ca-Cu-O}$. *Journal Physica C*. Pp. 560-565.
- Chen, F.H., Koo, H.S., and Tseng, T.Y. 1991. Effect of Ca_2PbO_4 additions on the formation of the 110 K phase in Bi-Pb-sr-Ca-Cu-O superconducting ceramics. *Journal Applied Physics*. Vol. 58. Pp. 637-642.
- Cullity, B. D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction*. Boston: Addison-Wesley Publishing Company.
- Cook, L and Wong-Ng, W. 2000. Vapor pressure of the SrPbO_3 perovskite phase. *Journal Ceramic Transaction*. Pp. 104.
- Cyrot, M., and Pavuna, D. 1992. *Introduction to Superconductivity and High T_c Materials*. Singapore: World Scientific.

- Darminto. 2002. Karakteristik fase gelas vorteks dalam kristal tunggal superkonduktor $(Bi,Pb)_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$. *Jurnal Ilmu Dasar*. Vol. 3. Pp. 66-73.
- Darminto, Nugroho, A. A., Rusyadi, A., Menovsky, A. A., and Loeksmanto. 1999. Variasi tekanan oksigen dalam penumbuhan kristal tunggal superkonduktor $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ dan pengaruhnya. *Proc ITB* . Vol. 31. No. 3. Pp. 121-127.
- Darsono, N., Immaduddin, A., Raju, K., and Yoon, D. H. 2015. Synthesis and characterization of $Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_3O_7$ superconducting oxide by high-energy milling. *Journal Supercond Nov Magn*. Vol. 28. No. 8. Pp. 2259-2266.
- Diantoro, M. 1997. Studi kinetika pembentukan superkonduktor sistem $Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_3O_{10+\delta}$ (2223) melalui prekursor fase (Bi,Pb)-2212. *Tesis*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Escuredo, R., Chavira, E., and Rios-Jara, D. 1989. Effects of Sb and Pb doping on the high-to phase-formation in Bi-Sr-Ca-Cu-O superconductors. *Journal Applied Physic*. Vol. 54. Pp. 1576.
- Fauzi, Renita Maharani. 2017. Pertumbuhan fase bahan superkonduktor Bi-2223 dengan variasi doping Pb (BPSCCO-2223) pada kadar Ca = 2.10 dan suhu sintering 855 °C. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Ginley, D.S., Taylor, D.A.C., and Francis. 2002. *Handbook of Superconducting Materials*. IOP Publishing. Pp. 947.
- Goldstein, J.I., Newberry, D.E., Echlin, P., Joy, D.C., Fiori, C. dan Lifshin, E. 1981. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. A Textbook for Biologist, Materials Scientists and Geologists. New York. Plenum Press. Pp. 673.
- Hamid, N. A., and Abd-Shukor, R. 2000. Effects of TiO_2 addition on the superconducting properties of Bi-Sr-Ca-Cu-O system. *Journal Material Science*. Vol. 35. Pp. 2325-2329.
- Handayani, Heni. 2013. Sintesis Bahan Superkonduktor BSCCO-2223 Tanpa Doping Pb Pada Berbagai Kadar $CaCO_3$. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Harnova, D. 2005. Pengaruh sistem sintesis dan waktu sintering terhadap pembentukan fase Bi-2212 bahan superkonduktor. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

- Harsojo. 2003. Kawat pipih superkonduktor YBCO yang dibuat dengan Yttrium hasil produksi BATAN Yogyakarta. *Jurnal Fisika Indonesia*. Vol. VIII. No. 20. Pp. 1-7.
- Herlyn. 2008. Pengaruh lama pemanasan terhadap konduktivitas normal superkonduktor overdoped Pb₂(Bi-Pb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀ dengan metode melttextured. *Skripsi*. Universitas Negeri Malang. Malang.
- Ismunandar dan S. Cun. 2002. *Mengenal Superkonduktor*. <http://www.fisikanet.lipi.go.id/utama.cgi?cetakartikel&1100396563>. Diakses pada tanggal 10 Desember pukul 09.20 WIB.
- Khafifah, K., Baqya, M.A., dan Darminto. 2011. Nanokristalisasi superkonduktor Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O dengan variasi kalsinasi dan sintering melalui metode pencampuran basah. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Kirom, and Ramdlan, M. 2001. Pengaruh penambahan fluks B2O₃ dalam sintesa bahan superkonduktor BPSCCO-2223 fase murni. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi*. Vol. 5. No. 2. Pp. 25-28.
- Kittel, C. 1986. *Introduction to Solid State Physics seventh edition*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Lehndroff, B. 2001. *High-T_c Superconductors for Magnet and Energy Technology Fundamental Aspects*. Berlin: Springer-Verlag.
- Liu, H., Liu, L., Yu, H., Zhang, Y., Jin, Z. 1999. Optimization of the composition for synthesizing the high-T_c phase in Bi(Pb)SrCaCuO system. *Journal of Materials Science*. Vol. 34. Pp. 4329-4332.
- Lubis, H., Imaduddin, A., Marlianto, E., Sebleku, P., and Sihombing, E. 2018. Pengaruh waktu proses sintering pada kawat superkonduktor Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O dengan selubung Ag dopan MgO menggunakan metode powder in tube. *Journal Aceh Physic*. Pp. 17-23.
- Marhaendrajaya, I. 2001. Eksperimen pembentukan kristal BPSCCO-2223 dengan metode lelehan. *Jurnal Berkala Fisika*. Vol 4. No. 2. Pp. 33-40.
- Mahmudah, S. 2014. Karakteristik superkonduktor BSCCO-2223 yang disintesis dengan metode reaksi padatan. *Skripsi*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Manabe, C. 1998. Superstructure of the superconductor Bi₂Sr₂CaCu₂O₈ by high resolution electron microscopy. *Journal of Nature*. Vol. 333. No. 6168. Pp. 52-53.

- Martinez, J. A., Espitia, D., and Baqu, R. 2014. First-principles study of electronic structure of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$. *Revista Mexicana De Fisica*. Pp. 39-45.
- Meretliev, S., Sadykov, K., and Berkeliyev, A. 2000. Doping of high temperature superconductors. *Turky Journal Physic*. Pp. 39-48.
- Mizuno, M., Endo, H., Tsuchiya, J., Kimijima, 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 Applied Physic*. Vol. 27. Pp. 1225-1227.
- Mohammed, N. H., Awad, R., Aly, A., Ibrahim, I. H., and Hassan, M. S. 2012. Optimizing the preparation conditions of Bi-2223 superconducting phase using PbO and PbO₂. *Journal Material Science Applied*. Vol. 3 . Pp. 224-233.
- Nurmalita. 2002. Sintesis kristal superkonduktor dengan metode melt textured growth. *Tesis*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Nurmalita. 2012. Suhu kritis superkonduktor $\text{Bi}_{2-x}\text{Pb}_x\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$. *Jurnal Sains MIPA*. Vol. 18. No. 3. Pp. 83-90.
- Pikatan, S. 1989. *Mengenal Superkonduktor*. <http://geocities.com>. Diunduh pada tanggal 17 Desember 2018 pukul 09.15 WIB.
- Rachmawati, A. 2009. Pengaruh substitusi Sb pada Bi terhadap struktur kristal dan efek meissner dalam sintesis superkonduktor Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O menggunakan metode padatan. *Skripsi*. UNS. Semarang.
- Rahayu, I., Suprihatin, dan Riyanto, A. 2019. Pengaruh waktu sintering terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BPSCCO-2223 dengan kadar Ca 2,10 menggunakan metode pencampuran basah. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 07. No. 1. Pp. 91-98.
- Reed, S.J.B. 1993. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*. Cambridge University Press. Florida. Pp. 23-24.
- Santoso, H. 2006. Variasi suhu kalsinasi dan sintering pada sintesis superkonduktor Bi-2223 tanpa doping Pb. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Saoudel, A., Amira, A., Boudjadja, Y., Mahamdioua, N., Amrouche, A., Varilci, A. 2013. Study of the thermo magnetic fluctuations in carbon nano-tubes added Bi-2223 superconductors. *Jourrnal Physica B*. Pp. 33-37.
- Saxena, A. 2010. *High Temperature Superconductors*. Springer-Verlag. Berlin.
- Siswanto. 1999. *Sintesis Superkonduktor Keramik BSCCO Fase Tc Tinggi (2223) Melalui Route Sol-Gel Sitrat*. Universitas Airlangga. Surabaya.

- Smallman, R.E. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Edisi ke enam. Erlangga. Jakarta.
- Smallman, R.E. dan Bishop, R.E. 1995. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Erlangga. Jakarta.
- Smith, W. 1990. *Material Science and Engineering*. University of Florida. Amerika Serikat.
- Strobel, P., Toledano, J. C., Schneck, J., Vacquier, G., Monnereau., Primor, J., Fournier, T. 1992. Phase diagram of system $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{n+1}\text{O}_{6+2n}$ between 800 °C and 825 °C. *Jurnal Physica C*. Vol. 201. 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., Adi, W. A., Winatapura, D. S., and Sulungbudi, G. Tj. 2003. Review kegiatan litbang superkonduktor T_c tinggi di P3IB-BATAN. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Vol. 4. No. 2. Pp. 30-39.
- Surahman, R.P., Suprihatin, dan Riyanto, A. 2019. Pengaruh suhu sintering terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BPSCCO-2223 pada kadar Ca 2,10 menggunakan metode pencampuran basah. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 7. No. 1. Pp. 63-68.
- Susanti, H. 2010. Pengaruh variasi perlakuan doping Pb pada Bi dalam sintesis superkonduktor BSCCO terhadap efek meissner dan suhu kritis. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Thinkham, M. 1996. *Introduction to Superconductivity (second edition)*. Singapore: McGraw-Hill.
- Tjahjanti, P.H. 2000. Pengaruh variasi Bi terhadap dopan Pb pada pembentukan superkonduktor (Bi,Pb)-2223 melalui precursor (Bi,Pb)-2212. *Jurnal Ilmu Dasar*. Vol. 1. Pp. 15-23.
- Tipler, P.A. 1996. *Fisika Untuk Sains dan Teknik Jilid 2*. Erlangga. Jakarta
- Widodo, H dan Darminto. 2010. Nanokristal superkonduktor $\text{Bi}_2\text{SrCa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\chi}$ dan $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+6}$ dengan metode kopresipitasi dan pencampuran basah. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Telaah*. Vol. 28. Pp. 6-9.
- Windartun. 2008. *Superkonduktor*. Universitas Pendidikan Bandung. Bandung.

Yulianti, N. 2002. Pengaruh kadar fluks CaCo_3 dan CuO pada pembentukan kristal superkonduktor. *Jurnal Ilmu Dasar*. Vol 3. No. 2. Pp. 2-6.

Yulianti, N. 2004. Sintesis dan struktur mikro kristal superkonduktor (Bi,Pb)-2212 dengan metode self-flux. *Jurnal Ilmu Dasar*. Vol. 5. No. 1. Pp. 8-14.