

**PENGARUH VARIASI KADAR DOPING Pb TERHADAP TINGKAT
KEMURNIAN FASE SUPERKONDUKTOR BPSCCO-2212 PADA SUHU
SINTERING 835°C MENGGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH**

(Skripsi)

Oleh

FITRIA RIZKI UTAMI



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI KADAR DOPING Pb TERHADAP TINGKAT KEMURNIAN FASE SUPERKONDUKTOR BPSCCO-2212 PADA SUHU SINTERING 835°C MENGGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH

Oleh

Fitria Rizki Utami

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kadar doping Pb terhadap kemurnian fase (fraksi volume, derajat orientasi, impuritas) dan struktur mikro. Variasi doping Pb yang dilakukan yaitu sebesar 0; 0,2; 0,4 dan 0,6 mol menggunakan metode pencampuran basah. Sampel dikalsinasi pada suhu 800°C selama 10 jam dan disintering pada suhu 835°C selama 20 jam. Sampel dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil karakterisasi XRD menunjukkan nilai fraksi volume mengalami kenaikan pada sampel BPSCCO-2212/0 – BPSCCO-2212/0,4 dan turun kembali pada sampel BPSCCO-2212/0,6. Fraksi volume tertinggi pada sampel BPSCCO-2212/0,4 sebesar 73,026%. Sedangkan fraksi volume terendah pada sampel BPSCCO-2212/0 sebesar 71,277%. Sementara, nilai derajat orientasi tertinggi yaitu pada sampel BPSCCO-2212/0 sebesar 36,658% dan derajat orientasi terendah pada sampel BPSCCO-2212/0,2 sebesar 25,262%. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan sudah terorientasi meskipun belum sempurna dengan *void* (ruang kosong antar lempengan) yang dihasilkan relatif sedikit.

Kata kunci : Superkonduktor BPSCCO-2212, doping Pb, metode pencampuran basah, fraksi volume, derajat orientasi

ABSTRACT

THE EFFECT OF Pb DOPING VARIATIONS ON THE LEVEL OF PURE PHASE OF SUPERCONDUCTOR BPSCCO-2212 AT 835°C SINTERING TEMPERATURE USING WET MIXING METHODS

by

FITRIA RIZKI UTAMI

This research was conducted to determine the effect of Pb doping levels on phase purity (volume fraction, degree of orientation, impurities) and microstructure. The variations of Pb doping are 0; 0.2; 0.4 and 0.6 mol using wet mixing method. The samples were calcined at 800°C for 10 hours and sintered at 835°C for 20 hours. The samples were characterized using X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM). The XRD characterization results show that the volume fraction value increases in the BPSCCO-2212/0 - BPSCCO-2212/0.4 sample and drops back in the BPSCCO-2212/0.6 sample. The highest volume fraction was 73.026% in the BPSCCO-2212/0.4 sample. While the lowest volume fraction was 71.277% in the BPSCCO-2212/0 sample. Meanwhile, the highest orientation degree value was 36.658% for the BPSCCO-2212/0 sample and the lowest orientation degree was 25.262% for the BPSCCO-2212/0.2 sample. SEM characterization results showed that it was oriented even though it was not perfect with relatively few voids (empty space between plates) produced.

Keywords: BPSCCO-2212 superconductor, Pb doping, wet mixing method, volume fraction, orientation degree.

**PENGARUH VARIASI KADAR DOPING Pb TERHADAP TINGKAT
KEMURNIAN FASE SUPERKONDUKTOR BPSCCO-2212 PADA SUHU
SINTERING 835°C MENGGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH**

Oleh

FITRIA RIZKI UTAMI

Skripsi

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

Pada

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Kadar Doping Pb terhadap Tingkat Kemurnian Fase Superkonduktor BPSCCO-2212 pada Suhu Sintering 835°C Menggunakan Metode Pencampuran Basah

Nama Mahasiswa : Fitri Rizki Utami

Nomor Pokok Mahasiswa : 1617041077

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Pembimbing I

Pembimbing II

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

Drs. Syafriadi, M.Si.
NIP. 196108211992031002

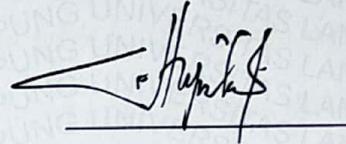
2. Ketua Jurusan Fisika

Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 19801010200511002

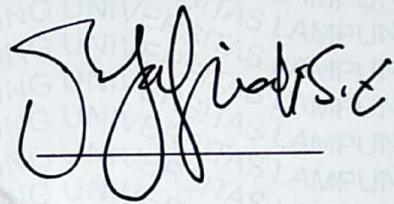
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

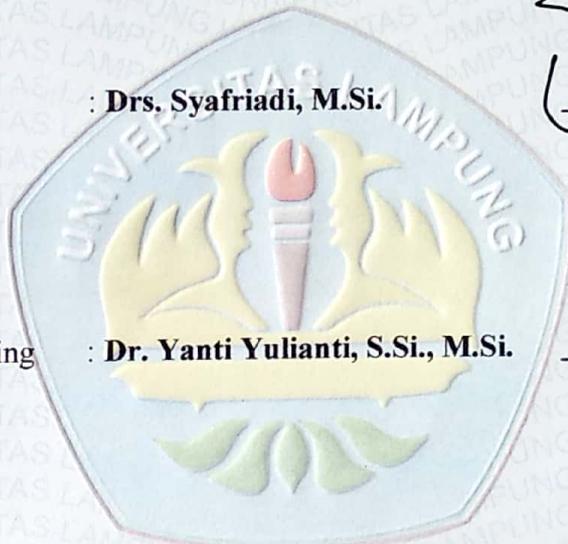
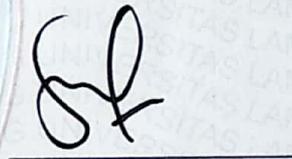
Ketua : **Suprihatin, S.Si., M.Si.**



Sekretaris : **Drs. Syafriadi, M.Si.**



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



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.,
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **07 Juni 2023**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, 07 Juni 2023



Fitria Rizki Utami
NPM. 1617041077

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Fitria Rizki Utami, dilahirkan pada tanggal 06 Mei 1998 di Panjang, Bandar Lampung. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara pasangan Bapak Rudiantoro dan Ibu Sutinah. Penulis memulai pendidikan pada Taman Kanak – Kanak (TK) Bratasena Adiwarna Kecamatan Dente Teladas yang diselesaikan pada tahun 2004. Kemudian melanjutkan ke Sekolah Dasar Negeri (SDN) 1 Bratasena Adiwarna Kecamatan Dente Teladas yang diselesaikan pada tahun 2010 dan Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 1 Dente Teladas Kabupaten Tulang Bawang yang diselesaikan pada tahun 2013. Kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Atas (SMA) Taman Siswa Teluk Betung hingga tahun 2016.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2016. Penulis melaksanakan Karya Wisata Ilmiah (KWI) tahun 2017 di Desa Margosari, Kec. Pagelaran Utara, Kab. Pringsewu. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk. Unit Panjang pada tahun 2019 tentang “Pengujian Sifat Fisik dan Kimia pada *Portland Composite Cement* (PCC) di Quality Control PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk. Unit Panjang”. Penulis juga melakukan pengabdian pada

masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2020 di Desa Gunung Labuhan, Kecamatan Sungkai Selatan, Kabupaten Lampung Utara.

MOTTO

*“Aku menyerahkan urusanku kepada Allah. Sungguh, Allah Maha
Melihat akan hamba- hamba-Nya”
(Q.S Ghafir : 44)*

**“SEMUA YANG TIDAK MUNGKIN ADALAH MUNGKIN BAGI ORANG
YANG PERCAYA”**

“YOU GET WHAT YOU WORK FOR, NOT YOU WISH FOR”

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur kepada Allah SWT, aku persembahkan hasil karya ini kepada

Ibunda Sutinah & Ayahanda Rudiantoro

Untuk segala do'a, dukungan, kasih sayang, perjuangan yang terbaik tanpa kenal lelah dan sebagai pengingat, penguat untuk terus bertahan dan mewujudkan segala impian

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Pengaruh Variasi Kadar Doping Pb terhadap Tingkat Kemurnian Fase Superkonduktor BPSCCO-2212 pada Suhu Sintering 835°C Menggunakan Metode Pencampuran Basah**”. Pada skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan baik dalam isi maupun cara penyajian. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya, bagi pembaca serta dapat menjadi rujukan bagi penelitian selanjutnya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Bandar Lampung, 07 Juni 2023

Fitria Rizki Utami

SANWACANA

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Pengaruh Variasi Kadar Doping Pb terhadap Tingkat Kemurnian Fase Superkonduktor BPSCCO-2212 pada Suhu Sintering 835°C Menggunakan Metode Pencampuran Basah**” sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Pada kesempatan ini dengan kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang turut membantu baik berupa tenaga maupun pemikiran. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis haturkan terima kasih kepada :

1. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si., sebagai Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberi bimbingan, arahan, motivasi, nasihat serta ilmunya;
2. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II atas bimbingan, masukan, nasihat serta ilmunya dalam penulisan skripsi ini;
3. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembahas atas saran yang telah diberikan agar penulisan skripsi ini lebih baik lagi;
4. Ibu Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik;
5. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung;
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan alam;
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika atas ilmu yang telah diberikan selama penulis menempuh perkuliahan;
8. Adjie Firmantoro, Januar Lazuardi dan Safira Bahana Amandaru yang paling aku sayangi, yang selalu memotifasiku untuk menyelesaikan perkuliahan ini;

9. Risa Amelia Putri, S.Si., Nia Diana, S.Si., Bella Laraswati, S.Si. dan Redy Afrizal yang selalu menemaniku, mengajarkanku dari awal perkuliahan sampai skripsi ini selesai;
10. Civitas akademika Fisika 2016.

Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT memberikan balasan berlipat, memudahkan langkah semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Aamiin Ya Rabbal'alam.

Bandar Lampung, 07 Juni 2023

Penulis

Fitria Rizki Utami

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN	v
RIWAYAT HIDUP	vi
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sejarah dan Pengertian Superkonduktor.....	7
2.2 Superkonduktor BSCCO.....	9
2.3 Superkonduktor BSCCO-2212.....	10
2.4 Metode Pencampuran Basah.....	11
2.5 Doping Pb.....	11
2.6 Kalsinasi.....	12
2.7 Sintering.....	13

2.8 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	15
2.9 <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.....	22
3.5 Karakterisasi.....	23
3.6 Diagram Alir.....	25
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil analisis <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	26
4.2 Hasil analisis <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	31
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	33
5.2 Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
Lampiran 1. Perhitungan massa bahan untuk setiap sampel.....	42
Lampiran 2. Perhitungan hasil kemurnian superkonduktor BPSCCO-2212.....	48
Lampiran 3. Grafik XRD masing masing sampel.....	50
Lampiran 4. Hasil pengolahan data XRD.....	51
Lampiran 5. Hasil rekam SEM.....	55
Lampiran 6. Foto alat dan bahan.....	63

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Magnetisasi bahan superkonduktor terhadap kuat medan magnet.....	8
Gambar 2. Struktur kristal superkonduktor berbasis bismut Bi-2201, Bi-2212, dan Bi-2223.....	9
Gambar 3. Sketsa model dua bola ideal perbandingan struktur mikro dari (a) Sintering fase padat (b) Sintering fase cair.....	14
Gambar 4. Skema penggunaan alat XRD.....	15
Gambar 5. Skema difraksi Sinar-X.....	16
Gambar 6. Skema kerja SEM.....	18
Gambar 7. Diagram pengeringan.....	22
Gambar 8. Diagram alir penelitian.....	25
Gambar 9. Hasil karakterisasi sampel menggunakan XRD pada BPSCCO-2212 (A). BPSCCO-2212/0;(B). BPSCCO-2212/0,2; (C).BPSCCO-2212/0,4; (D). BPSCCO-2212/0,6.....	27
Gambar 10. Hubungan variasi kadar Pb terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BPSCCO-2212.....	30
Gambar 11. Hasil karakterisasi sampel menggunakan SEM pada BPSCCO-2212 (a). Sampel BPSCCO-2212/0; (b). Sampel BPSCCO-2212/0,2; (c). Sampel BPSCCO-2212/0,4; (d). Sampel BPSCCO-2212/0,6.....	32

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Komposisi bahan Superkonduktor BPSCCO-2212 doping Pb 0	20
Tabel 2. Komposisi bahan Superkonduktor BPSCCO-2212 doping Pb 0,2	20
Tabel 3. Komposisi bahan Superkonduktor BPSCCO-2212 doping Pb 0,4	20
Tabel 4. Komposisi bahan Superkonduktor BPSCCO-2212 doping Pb 0,6	20
Tabel 5. Puncak yang muncul pada sampel.....	27
Tabel 6. Hasil perhitungan fraksi volume, derajat orientasi dan impuritas.....	27
Tabel 7. Hasil perhitungan derajat orientasi.....	28

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Memasuki revolusi industri 5.0, ketergantungan manusia terhadap teknologi sangatlah tinggi. Dengan adanya teknologi, waktu dan tenaga manusia sangatlah terbantu. Kemajuan teknologi saat ini tidak terlepas dari peranan material yang mempunyai karakteristik berbeda-beda. Salah satu material dengan karakteristik tersendiri yaitu material superkonduktor (Nurmalita, 2012).

Superkonduktor merupakan suatu material yang memiliki resistivitas bernilai 0 pada suhu rendah ($\rho=0$) (Ismunandar dan Cun, 2002) sehingga dapat menghantarkan arus listrik tanpa kehilangan daya (Suprihatin, 2008). Teknologi superkonduktor mulai berkembang pesat sejak ditemukan superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST) pada tahun 1986. SKST, yaitu berupa bahan oksida atau keramik yang berinduk pada senyawa kuprat (CuO) dengan komposisi kimiawi yang multi komponen (Nurmalita dkk., 2013). Salah satu bahan superkonduktor SKST yang banyak diteliti adalah sistem Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO), karena suhu kritisnya relatif tinggi dan tidak mengandung unsur yang beracun (Yulianti, 2002).

Pada superkonduktor BSCCO terdapat 3 fase yaitu fase 2201, fase 2212, dan fase 2223 dengan suhu kritis secara berturut-turut adalah 10°K, 80°K dan 110°K (Imaduddin dkk., 2014). Terdapat 4 metode sintesis superkonduktor, yaitu metode *self-flux* (Marhaendrajaya, 2005), metode sol gel (Chasanah, 2008), metode padatan (Lusiana, 2014) dan metode pencampuran basah (Surahman, 2019).

Metode *self-flux* merupakan metode yang menggunakan kelebihan salah satu atau beberapa unsur pembentuk dari senyawa itu sendiri sebagai fluks (Marhaendrajaya, 2005). Metode sol-gel merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mensintesis BSCCO. Keuntungannya adalah bahan–bahannya lebih murah dan lebih mudah diperoleh karena dalam bentuk garam nitrat (Chasanah, 2008).

Metode padatan digunakan karena prosesnya lebih cepat dalam mensintesis bahan superkonduktor, biaya relatif murah, dan dapat menghasilkan BSCCO-2212 dengan kualitas yang cukup baik (Sukirman, 1995). Metode pencampuran basah bertujuan agar semua bahan yang dicampur menjadi lebih homogen (Widodo dan Darminto, 2010) atau memiliki tingkat homogenitas yang tinggi. Semua bahan yang digunakan dilarutkan menggunakan HNO_3 dan aquades hingga larutan berwarna biru jernih yang menandakan bahwa larutan telah homogen (Rohmawati dan Darminto, 2012). Menurut Miyunami (2006) homogenitas sampel adalah kondisi dimana campuran material dalam sampel tersebut memiliki keseragaman bentuk dan ukuran.

Hingga saat ini penelitian tentang superkonduktor terus dilakukan dengan tujuan agar mendapatkan material superkonduktor yang memiliki suhu kritis (T_c) mendekati suhu ruang seperti dengan variasi suhu sintering, waktu sintering dan dengan penambahan doping. Menurut Ramadhan dkk (2021), fraksi volume meningkat hingga mencapai titik optimum pada suhu sintering 835°C sebesar 54,53% sedangkan fraksi volume terendah pada suhu sintering 840°C sebesar 49,43%.

Doping sangat berperan penting pada pembentukan superkonduktor T_c tinggi. Salah satunya dengan menambahkan (doping) Pb pada superkonduktor sistem BSCCO. Pendopingan bertujuan untuk memperoleh superkonduktor dengan kemurnian fase 2212 dan suhu kritis T_c yang tinggi. Disamping itu, penambahan Pb dapat menghambat penyerapan uap air di udara oleh superkonduktor dan untuk menjaga stabilitas struktur superkonduktor BSCCO (Abbas dkk., 2015). Pada sintesis superkonduktor sistem BSCCO digunakan Pb sebagai dopan karena titik leleh Pb lebih rendah dari titik leleh Sr, Ca, dan Cu (Susanti, 2010). Serta, bahan Pb memiliki ukuran atom dan nomor valensi yang mirip dengan unsur Bi, sehingga mampu mensubstitusi posisi Bi pada sistem BSCCO (Roumie, dkk., 2014). Menurut

Suprihatin, dkk (2017) penambahan doping Pb pada sintesis superkonduktor BSCCO-2212 dapat meningkatkan struktur kristal dan susunan kristal lebih searah serta ruang kosong antar lempengan relatif lebih sedikit.

Penelitian tentang superkonduktor BSCCO doping Pb banyak dilakukan antara lain pada penelitian Pratiwi (2017) mengenai pengaruh doping Pb terhadap pertumbuhan fase bahan superkonduktor Bi-2212 pada kadar Ca 1,10 menggunakan metode padatan hasilnya menunjukkan bahwa sampel tanpa doping Pb mempunyai nilai fraksi volume lebih rendah dibandingkan sampel dengan doping Pb. Pada doping Pb 0,4 memiliki fraksi volume tertinggi ($F_v = 80,99\%$). Serta pada penelitian Yufita, E dan Nurmalita (2016) mengenai pengaruh waktu sintering terhadap morfologi permukaan superkonduktor oksida Bi-2223 doping Pb yang disiapkan dengan metode reaksi padatan pada 840°C menunjukkan harga F_v tertinggi yaitu 72.63% dimiliki sampel dengan waktu sintering 32 jam, sedangkan F_v terendah 67.3% dimiliki oleh sampel dengan waktu sintering 34 jam.

Pada penelitian ini telah dilakukan variasi doping Pb dalam sintesis superkonduktor BPSCCO-2212 pada suhu sintering 835°C menggunakan metode pencampuran basah. Variasi doping Pb yang digunakan pada penelitian ini adalah 0; 0.2; 0.4 dan 0.6. Sampel dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), kemudian dianalisis menggunakan *Software Highscore Plus* (HSP) untuk mengetahui tingkat kemurnian fase dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah.

1. Bagaimana pengaruh variasi kadar doping Pb terhadap fraksi volume (F_v), derajat orientasi (P) dan impuritas (I) pada superkonduktor BPSCCO-2212 pada suhu sintering 835°C menggunakan metode pencampuran basah?
2. Bagaimana pengaruh variasi kadar doping Pb terhadap struktur mikro superkonduktor BPSCCO-2212 pada suhu sintering 835°C menggunakan metode pencampuran basah?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah.

1. Mengetahui pengaruh variasi kadar doping Pb terhadap fraksi volume (F_v), derajat orientasi (P) dan impuritas (I) superkonduktor BPSCCO-2212 pada suhu sintering 835°C menggunakan metode pencampuran basah,
2. Mengetahui pengaruh variasi kadar doping Pb terhadap struktur mikro superkonduktor BPSCCO-2212 pada suhu sintering 835°C menggunakan metode pencampuran basah.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah.

1. Sintesis superkonduktor BPSCCO-2212 dilakukan menggunakan metode pencampuran basah,
2. Variasi doping Pb yang digunakan yaitu 0; 0.2; 0.4 dan 0.6 mol,
3. Sampel dikalsinasi pada suhu 800°C selama 10 jam,
4. Sampel disintering pada suhu 835°C selama 20 jam,
5. Sampel yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM,
6. Sampel tidak digunakan uji efek meissner, suhu kritis (T_c), dan rapat arus kritis (J_c).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah.

1. Tambahan referensi di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Unila, khususnya bidang Fisika Material,
2. Bahan acuan untuk melakukan penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan bahan superkonduktor (BPSCCO-2212) menggunakan metode pencampuran basah,

3. Referensi mengenai tingkat kemurnian fase akibat variasi kadar doping Pb dalam sintesis superkonduktor BPSCCO-2212 pada suhu sintering 835°C menggunakan metode pencampuran basah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah dan Pengertian Superkonduktor

Superkonduktor pertama kali ditemukan pada tahun 1911 oleh seorang fisikawan Belanda dari Universitas Leiden yaitu Heike Kamerlingh Onnes. Pada saat itu, dia sedang mencoba mengamati hambatan jenis (*resistivity*) logam merkuri (Hg) ketika didinginkan sampai suhu helium cair. Ternyata dia mendapatkan hambatan jenis merkuri tiba-tiba turun drastis menjadi nol pada suhu 4,2 K. Fenomena inilah yang disebut superkonduktivitas, dan bahan yang mempunyai sifat superkonduktif ini dinamakan bahan superkonduktor (Anwar, 2010).

Superkonduktor adalah bahan yang dapat menghantarkan arus listrik tanpa hambatan karena sifat resistivitas nol ketika berada pada suhu yang sangat rendah (Nurmalita dkk., 2013) dan dapat menolak fluks magnet eksternal yang melewatinya atau mengalami diamagnetisme sempurna (efek Meissner–Ochsenfeld) (Camargo-Martinez, dkk., 2014). Teknologi superkonduktor mulai berkembang pesat sejak ditemukan superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST) pada tahun 1988. SKST merupakan material anisotropik, memiliki struktur kristal berlapis, panjang koherensi yang pendek dan efek fluktuasi termal yang kuat (Rohmawati dan Darminto, 2012). SKST yang ditemukan pada awal tahun 1988, yaitu superkonduktor oksida Bi-Sr-

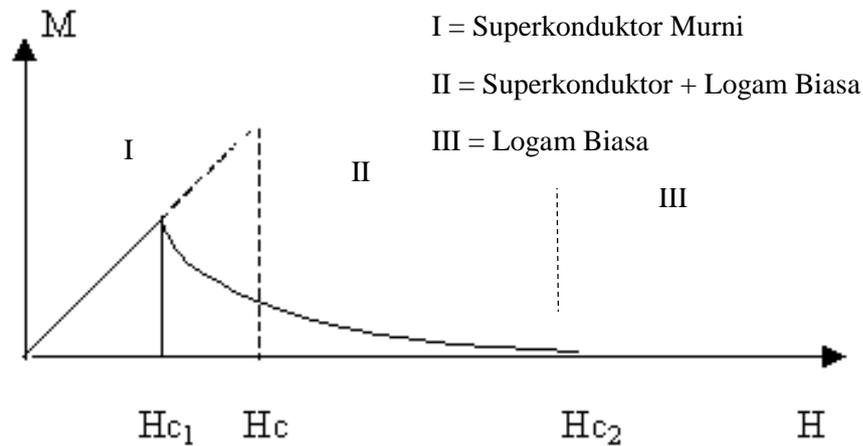
Ca-Cu-O dan Ti-Ba-Ca-Cu-O dengan suhu kritis (T_c) secara berturut-turut 110K dan 125 K (Sukirman dkk., 2003).

Superkonduktor dapat dibedakan berdasarkan suhu kritis dan sifat magnetik (medan magnet kritis). Suhu kritis (T_c) adalah suhu ketika material pertama kali menunjukkan fenomena superkonduktivitas (Risidiana dkk., 2015). Berdasarkan suhu kritisnya (T_c), superkonduktor dibagi menjadi 2 yaitu superkonduktor suhu kritis rendah (SKSR) dan superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST) (Windartun, 2008). SKSR memiliki suhu kritis di bawah suhu nitrogen cair sehingga untuk pendinginannya menggunakan helium cair (Kamihara dkk., 2008). Sedangkan SKST memiliki suhu kritis di atas suhu nitrogen cair (77°K) sehingga untuk pendinginannya dapat menggunakan nitrogen cair (Windartun, 2008).

Salah satu bahan SKST yang banyak dikaji adalah sistem Bi-Pb-Sr-CaCu-O (BPSCCO) yang dikenal juga sebagai bahan superkonduktor berbasis Bi (Nurmalita dkk., 2013). Pada superkonduktor ini, lapisan kuprat dalam struktur kristalnya dipercaya sebagai lapisan paling berperan dalam gejala superkonduktor (Nurmalita, 2016). Superkonduktor BSCCO (*bismuth-strontium-calcium-copper oxide*) memiliki 3 fase yaitu fase 2201, 2212, dan 2223 dengan suhu kritis secara berturut-turut adalah 10°K , 80°K dan 110°K (Imaduddin dkk., 2014).

Berdasarkan sifat magnetiknya, superkonduktor terdiri dari 2 tipe yaitu tipe I dan tipe II. Superkonduktor tipe I secara fisik ditandai dengan efek Meissner, yaitu gejala penolakan medan magnet luar (gejala levitasi) oleh superkonduktor. Sifat superkonduktivitas akan hilang apabila kuat medan magnetnya melebihi batas medan magnet kritis. Sehingga superkonduktor tipe I akan terus menolak medan magnet yang diberikan sampai mencapai medan magnet kritis. Superkonduktor tipe II mempunyai dua nilai medan magnet kritis yaitu: H_{c1} (di bawah) dan H_{c2} (di atas) (Nurmalita, 2012). Di bawah H_{c1} fluks magnetik ditolak secara sempurna dan di atas H_{c1} fluks magnet sebagian dapat menembus interior bahan sampai batas medan kritis H_{c2} . Di atas H_{c2} bahan akan kehilangan sifat superkonduktivitasnya (Rahardjo dan Surantoro, 2016).

Superkonduktor BSCCO termasuk dalam golongan superkonduktor tipe II dan merupakan oksida keramik yang mempunyai suhu tinggi (Saxena, 2010). Hubungan magnetisasi terhadap medan magnet ditunjukkan pada Gambar 1.



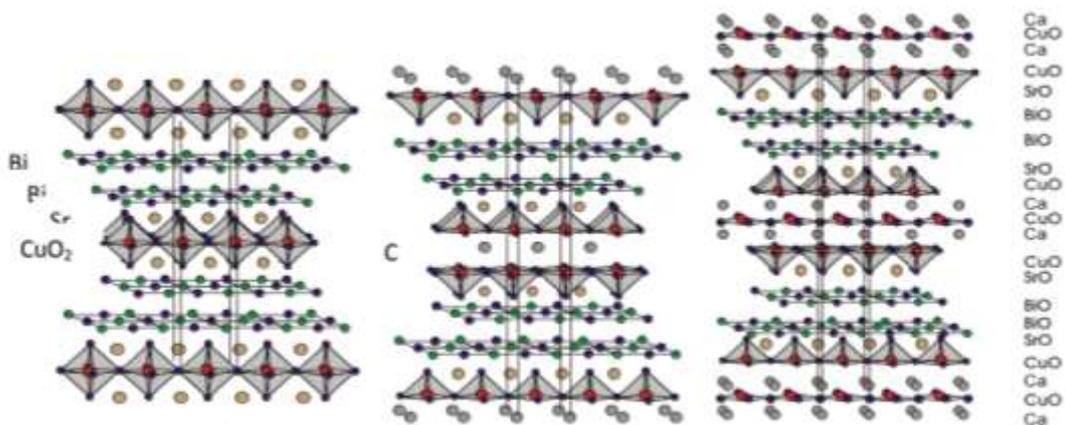
Gambar 1. Magnetisasi bahan superkonduktor terhadap kuat medan magnet (Sentosa, dkk., 2015).

Superkonduktor tipe II ini tidak dapat dijelaskan dengan teori BCS karena apabila superkonduktor tipe II ini dijelaskan dengan teori BCS, efek Meissner tidak terjadi. Abrisokov berhasil memformulasikan teori baru untuk menjelaskan superkonduktor tipe II ini. Ia mendasarkan teorinya pada kerapatan pasangan elektron yang dinyatakan dalam parameter keteraturan fungsi gelombang. Abrisokov dapat menunjukkan bahwa parameter tersebut dapat mendeskripsikan pusaran (*vorteks*). Lebih lanjut ia pun dengan secara mendetail dapat memprediksikan jumlah pusaran yang tumbuh seiring meningkatnya medan magnet. Teori ini merupakan terobosan dan masih digunakan dalam pengembangan dan analisis superkonduktor dan magnet. Superkonduktor tipe II akan menolak medan magnet yang diberikan. Namun perubahan sifat kemagnetan tidak tiba-tiba tetapi secara bertahap. Pada suhu kritis, maka bahan akan kembali ke keadaan semula. Superkonduktor Tipe II memiliki suhu kritis yang lebih tinggi dari superkonduktor tipe I.

2.2 Superkonduktor BSCCO

Pada tahun 1988, Maeda, Tanaka, Fukutomi, dan Asano menemukan superkonduktor suhu tinggi oksida berbasis bismut, yang ditulis dalam bentuk Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO) (Sato, 2015). BSCCO merupakan superkonduktor oksida keramik yang mempunyai struktur berlapis-lapis, terdiri dari lapisan CuO_2 yang menyebabkan sistem tersebut mempunyai kecenderungan bersifat metalik pada suhu kamar (Rahardjo dan Surantoro, 2016), lapisan Sr-O, dan lapisan Bi-O, dan susunan yang berfase jamak sebagai akibat senyawa multikomponen (Nurmalita, 2016).

Sistem BSCCO memiliki tiga fase yang stabil yaitu Bi-2201 ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_y$), Bi-2212 ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$) dan Bi-2223 ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_z$) dengan suhu kritisnya berturut-turut yaitu 10°K , 80°K , dan 110°K (Sato, 2015). Dalam kelompok material superkonduktor berbasis Bismuth, jenis fase Bi-2212 mempunyai struktur yang lebih stabil dari pada Bi-2223. Bahkan fase Bi-2212 dapat memiliki nilai rapat arus J_c yang tinggi pada temperatur 77°K (H. Aydin dkk., 2009). Struktur kristal superkonduktor BSCCO ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur kristal superkonduktor berbasis bismut Bi-2201, Bi-2212, dan Bi-2223 (Sato, 2015).

Ketiga struktur kristal memiliki struktur berlapis yang panjang di sepanjang sumbu- c ; hanya lapisan CuO_2 dan Ca yang bertambah satu lapisan dengan urutan Bi-2201, Bi-2212, dan Bi-2223. Superkonduktor berbasis bismut ditulis dalam rumus kimianya sebagai $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_y$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) (Sato, 2015). BSCCO-2201 yang disusun oleh bidang (BiO)/SrO/CuO/SrO/(BiO) dimana piramida Cu berada diantara

dua bidang SrO. BSCCO-2201 memiliki 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 6 atom oksigen dalam struktur oktahedral.

Pada 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 $c = 30,7 \text{ \AA}$. Pada fase BSCCO-2223 membentuk struktur ortorombik. Rantai Sr-Sr memiliki ikatan yang paling lemah, sedangkan Cu sebagai kation yang paling tidak stabil memiliki 3 rantai ikatan yaitu Cu-Ca, Cu-O dan Cu-Cu. Rantai ikatan Cu-O merupakan ikatan yang paling kuat ($r = 1,1916 \text{ \AA}$). Atom oksigen O hanya memiliki satu rantai ikatan dengan atom Bi yang memiliki panjang ikatan sebesar $2,231 \text{ \AA}$. Hal ini terjadi karena struktur kristalnya tidak stabil, akibat adanya derajat ketidakteraturan yang tinggi antara lapisan bidang- bidang CuO, SrO, BiO, dan CaO (Ritonga, 2019).

Struktur kristal BSCCO seperti terlihat dalam Gambar 2 juga mempunyai sifat fisik yang berlapis-lapis, sehingga menyebabkan bahan superkonduktor sistem BSCCO mudah patah dan sangat rapuh karenanya sulit untuk diterapkan pada pembuatan kabel aliran listrik (Rahardjo dan Surantoro, 2016). Kelebihan dari superkonduktor sistem BSCCO adalah suhu kritisnya tinggi, mudah dibentuk, tidak beracun, dan dapat dikembangkan sebagai lapisan tipis (Quereshi dkk., 2010).

2.3 Superkonduktor BSCCO-2212

Superkonduktor BSCCO-2212 memiliki beberapa kelebihan yaitu lebih mudah terbentuk, memiliki suhu kritis yang relatif tinggi ($T_c = 80^\circ\text{K}$) sehingga diharapkan pembentukan kristal tunggal lebih mudah dicapai, proses sintesisnya yang relatif mudah dan unsur-unsur pembentuknya yang relatif aman (Tjia, 1994), selain itu pada superkonduktor BSCCO-2212 memiliki jarak antar lapisan superkonduksi yang pendek. Secara teori ada indikasi bahwa jarak antar lapisan superkonduksi yang pendek ini menyebabkan bahan lebih tahan oleh medan listrik dan medan magnet tinggi dari luar saat diaplikasikan untuk suatu piranti (Fatmawati, 2006).

Sistem BSCCO-2212 memiliki struktur kristal berbentuk tetragonal ini memiliki parameter kisi $a=b= 5,4\text{\AA}$ dan $c= 30,7\text{\AA}$. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2 Superkonduktor BSCCO-2212 disusun oleh bidang senyawa BiO/SrO/CuO/CaO/CuO/SrO/BiO dimana piramida atom Cu dipisahkan oleh adanya bidang Ca (Ritonga, 2019). Sistem BSCCO-2212 memiliki lapisan CuO_2 ganda, dua lapisan semikonduktor BiO dan lapisan isolator SrO (Rohmawati dan Darminto, 2012).

2.4 Metode Pencampuran Basah

Metode pencampuran basah bertujuan agar semua bahan yang dicampur menjadi lebih homogen (Widodo dan Darminto, 2010) atau memiliki tingkat homogenitas yang tinggi. Semua bahan yang digunakan dilarutkan menggunakan HNO_3 dan aquades hingga larutan berwarna biru jernih yang menandakan bahwa larutan telah homogen (Rohmawati dan Darminto, 2012). Senyawa HNO_3 dengan solubilitas yang tinggi diharapkan dapat berfungsi sebagai *digest agent* yang baik, sehingga ikatan yang terjadi bukan ikatan antar atom, tetapi ikatan antarion (Pradhana dkk., 2016).

2.5 Doping Pb

Doping dapat berupa penambahan, atom-atom doping ke dalam atom-atom asli superkonduktor. Doping juga 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. Doping sangat berperan penting pada pembentukan superkonduktor T_c tinggi.

Penggunaan doping Pb dalam sintesis polikristal sistem Bi memudahkan pembentukan senyawa bersangkutan dan mempengaruhi sifat-sifat senyawa yang dihasilkan. Penambahan Pb sebagai doping telah diyakini akan menghasilkan substitusi atom Bi oleh atom Pb pada lapisan ganda Bi-O karena kemiripan ukuran ion dan persyaratan valensi dari atom Pb (Nurmalita, 2011).

Doping Pb dapat meningkatkan fraksi volume (Astuti, dkk., 2013), meningkatkan kualitas kristal superkonduktor yang terbentuk (Nurmalita, 2012) serta meningkatkan suhu kritis superkonduktor BSCCO (Mohammed, dkk., 2012; Roumie, dkk., 2014) karena Pb memiliki sifat fisis dan kimia yang mirip dengan unsur Bi sehingga mampu mensubstitusi posisi Bi pada sistem kristal BSCCO (Hermiz, dkk., 2014).

2.6 Kalsinasi

Tahap awal proses kalsinasi merupakan reaksi dekomposisi secara endotermik dan berfungsi untuk melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat atau hidroksida sehingga menghasilkan serbuk dalam bentuk oksida dengan kemurnian yang tinggi (Afza, 2011). Kalsinasi diperlukan sebagai penyiapan serbuk untuk diproses lebih lanjut dan juga untuk mendapatkan ukuran partikel yang optimum serta menguraikan senyawa-senyawa dalam bentuk garam atau dihidrat menjadi oksida, membentuk fase Kristal. Peristiwa yang terjadi selama proses kalsinasi antara lain (Reed, 1988).

1. Pelepasan air bebas (H_2O) dan terikat (OH) berlangsung sekitar suhu $100^{\circ}C$ hingga suhu $300^{\circ}C$,
2. Pelepasan gas-gas, seperti : CO_2 berlangsung sekitar suhu $600^{\circ}C$ dan pada tahap ini disertai terjadinya pengurangan berat yang cukup berarti,
3. Pada suhu lebih tinggi, sekitar $800^{\circ}C$ struktur kristalnya sudah terbentuk, dimana pada kondisi ini ikatan diantara partikel serbuk belum kuat dan mudah lepas.

2.7 Sintering

Sintering adalah proses penggabungan partikel-partikel serbuk melalui peristiwa difusi pada saat suhu meningkat. Pada dasarnya sintering adalah peristiwa penghilangan pori-pori antara partikel bahan, pada saat yang sama terjadi penyusutan komponen, dan diikuti oleh pertumbuhan butir (*grain*) serta peningkatan ikatan antara partikel yang berdekatan, sehingga menghasilkan bahan yang lebih mampat/kompak (Ramlan dan Akhmad, 2011). Sintering dilakukan dengan pemanasan cuplikan yang telah dicetak berbentuk pelet pada suhu tertentu (Margono, 1997).

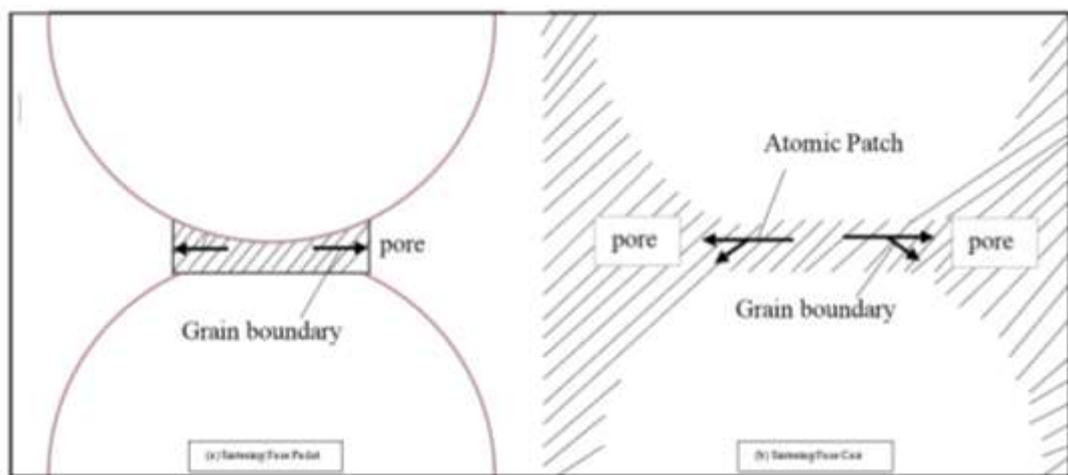
Proses difusi yang terjadi selama sintering mengakibatkan terjadinya penyusutan/*shrinkage* partikel yang diiringi pengurangan porositas akibat pergerakan batas butir. Sebagai akibat dari penyusutan tersebut, volume pori yang terjadi selama sintering berlangsung meningkat, ikatan antara butiran akan menjadi semakin padat dan kuat, sehingga densitas meningkat dengan peningkatan temperatur sintering (Yus, 2011).

Energi yang diperlukan untuk menggerakkan proses sintering disebut gaya dorong (*driving force*) yang terdiri dari energi permukaan, energi cacat kristal (*defect*), dan energi tekanan uap. Adanya gaya dorong menyebabkan perpindahan materi (difusi), dengan adanya difusi tersebut maka akan terjadi kontak antar partikel dan membentuk kaitan antar butir (*neck*). Disamping itu terjadi rekonstruksi ukuran partikel yang dapat menghilangkan atau mengurangi pori-pori yang berada diantara partikel (Boch dan Niepce, 2007).

Berdasarkan kehadiran fase cair selama proses berlangsung, sintering dibedakan menjadi sintering fase padat (*solid phase sintering*) dan sintering fase cair (*liquid phase sintering*). Gambar 3 menunjukkan sketsa dari model dua bola ideal di mana aspek struktur mikro sintering fase cair dibandingkan dengan sintering fase padat. Berikut adalah perbedaannya:

1. Sintering fase padat merupakan sintering yang diberikan kepada material tanpa kehadiran fase cair. Proses ini membutuhkan ukuran partikel yang halus (orde micrometer), dan umumnya setelah sintering terjadi butir polikristal lebih besar dari bubuk awalnya. Tahapan sintering meliputi
 - a. Penyusunan kembali (*rearrangement*) untuk mempertinggi jumlah antar partikel dan pembentukan *neck*.
 - b. Ukuran neck antar bulir tumbuh dan porositasnya menurun, pada tahapan ini butir mulai tumbuh (*grain growth*).
 - c. Eliminasi porositas melalui difusi antar butir dan pertumbuhan bulir. Pada sintering fase padat misalnya, difusi batas butir menjadi parameter penting yang mengontrol laju difusi adalah produk dari koefisien difusi batas butir D_{gb} dan ketebalan batas butir δ_{gb} .

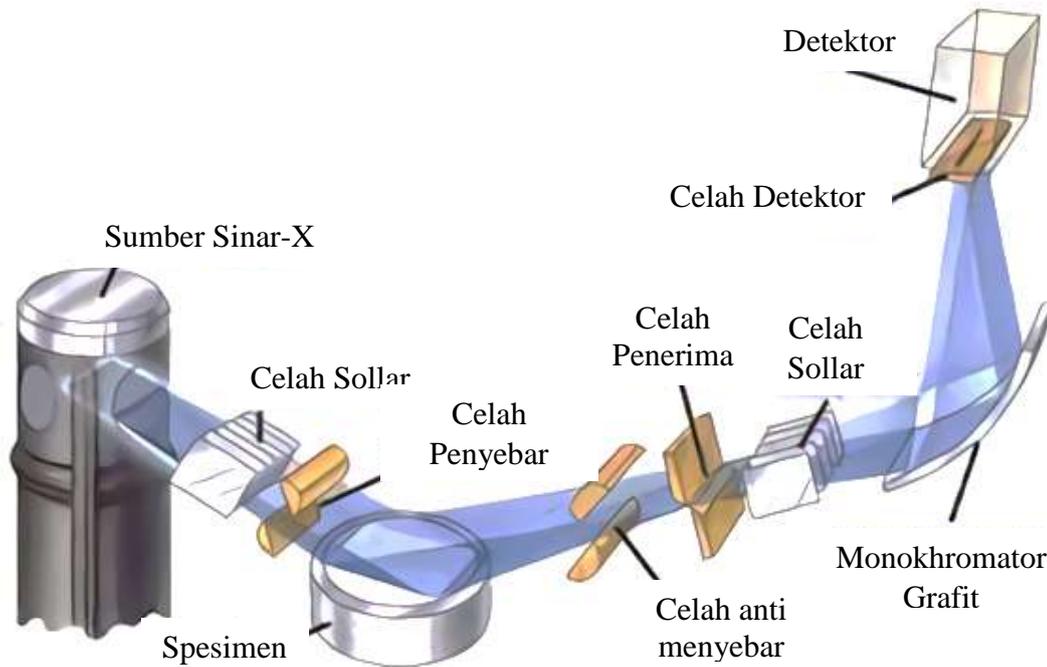
2. Pada sintering fase cair menyebabkan peningkatan densifikasi dibandingkan dengan sintering fase padat melalui
 - a. Penataan partikel-partikel padat dan
 - b. Peningkatan transportasi materi melalui cairan. Dalam sintering fase cair, fase cair membasahi dan menyebar untuk menutupi permukaan padat, partikel akan dipisahkan oleh sebuah *liquid bridge*. Gesekan antara partikel berkurang secara signifikan, sehingga mereka dapat mengatur ulang lebih mudah akibat adanya tekanan kapilaritas yang diberikan oleh cairan (Riska, 2015).



Gambar 3. Sketsa model dua bola ideal perbandingan struktur mikro dari (a) Sintering fase padat (b) Sintering fase cair (Riska, 2015).

2.8 X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar-X atau *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan metode analisis yang memanfaatkan interaksi antara sinar-X dengan atom yang tersusun dalam sebuah sistem kristal (Setiabudi dkk., 2012). Menurut Mukti (2012), XRD merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisis menggunakan XRD akan memunculkan puncak-puncak yang spesifik. Sehingga kelemahan alat ini tidak dapat untuk mengkarakterisasi bahan yang bersifat amorf. Salah satu teknik yang digunakan untuk menentukan struktur suatu padatan kristalin adalah metode difraksi sinar-X seperti terlihat pada Gambar 4.

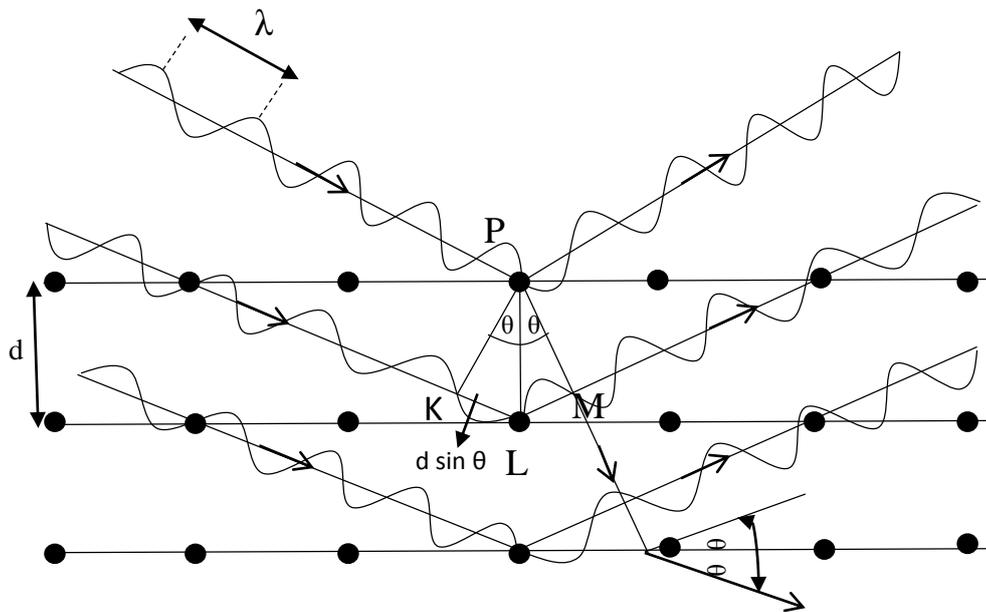


Gambar 4. Skema penggunaan alat XRD (Beiser, 1992).

Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fase kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fase tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Sinar-X dihasilkan dari tumbukan antara elektron kecepatan tinggi dengan logam target. Dari prinsip dasar ini, maka alat untuk menghasilkan sinar-X harus terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu: sumber elektron (katoda), tegangan tinggi untuk mempercepat elektron, dan logam target (anoda). Ketiga komponen tersebut merupakan komponen utama suatu tabung sinar-X (Oktaviana, 2009). Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg.

$$2d_{hkl} \sin \theta_{hkl} = n \lambda \quad (1)$$

Dengan d_{hkl} adalah jarak antar bidang kristal (hkl) dan 2θ adalah sudut difraksi. Skema proses difraksi dapat dilihat pada Gambar 5 yang menunjukkan adanya sinar-X yang datang pada sebuah permukaan kristal dengan setiap lapisan atom-atom terpisah sejauh d masing-masing dengan jarak yang sama.



Gambar 5. Skema difraksi Sinar-X (Cullity, 1978).

Pada Gambar 5 sinar datang menumbuk pada titik pada bidang pertama dan dihamburkan oleh atom P . Sinar datang yang kedua menumbuk bidang berikutnya dan dihamburkan oleh atom K , sinar ini menempuh jarak $SQ + QT$ bila dua sinar tersebut paralel dan satu fase (saling menguatkan). Jarak tempuh ini merupakan kelipatan (n) panjang gelombang (λ), sehingga persamaan menjadi (Callister, 2003):

$$n\lambda = SQ + QT \quad (2)$$

$$\sin \theta = \frac{SQ}{OP} = \frac{QP}{d} \quad (3)$$

Dapat dilihat dari Gambar 5 bahwa $SQ = QT$, maka persamaan (3) menjadi

$$\begin{aligned} n\lambda &= SQ + QT \\ n\lambda &= 2SQ \end{aligned} \quad (4)$$

Kemudian persamaan (4) disubstitusikan ke persamaan (3)

$$d \sin \theta = SQ \quad (5)$$

$$d \sin \theta = \frac{1}{2} n\lambda \quad (6)$$

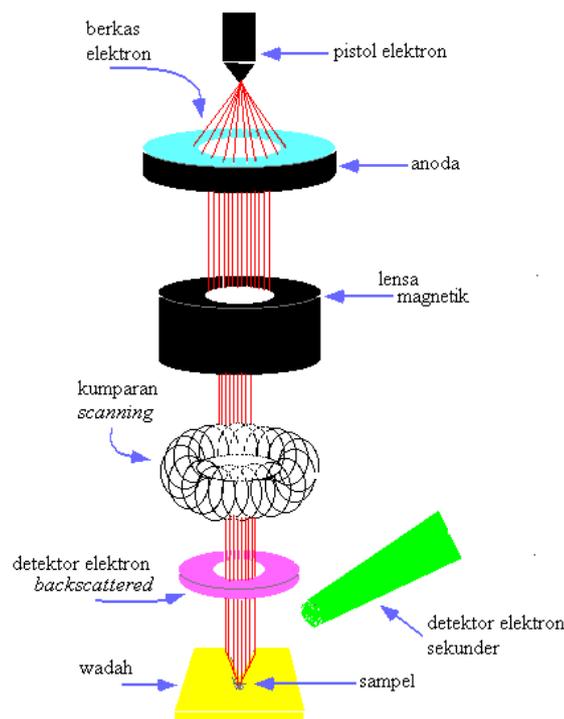
$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (7)$$

Berdasarkan persamaan Bragg jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel (kristal) maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang

sama dengan jarak antar atom dalam kristal tersebut. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkan. Tiap puncak yang muncul pada spektrum *X-Ray Diffraction* mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu (Suryanarayana dan Norton, 1998).

2.9 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menyelidiki permukaan dari objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran $10 - 3 \times 10^6$ kali dan resolusi sebesar $1 - 10$ nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri (Prasetyo, 2011). Skema kerja dari SEM dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema kerja SEM

Prinsip kerja dari SEM adalah:

1. *Electron gun* atau pistol tembak menghasilkan *electron beam* dari filamen. Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah tungsten dengan filamen berupa

lilitan tungsten yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan yang diberikan kepada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda. *Electron gun* sendiri berfungsi untuk membangkitkan berkas elektron.

2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
4. Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron, baik *Secondary Electron* (SE) atau *Back Scattered Electron* (BSE) dari permukaan sampel dan akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor (CRT) (Farikhin dkk., 2016). SE dan BSE adalah berkas yang digunakan untuk mendapatkan citra SEM (Adhika, dkk., 2018).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tepat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan April 2022 sampai dengan Mei 2022 di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Lampung, Laboratorium Kimia Analitik dan Instrumentasi FMIPA Universitas Lampung, SMK-SMTI Bandar Lampung. Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dilaksanakan di Universitas Negeri Padang dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilaksanakan di Badan Tenaga Nuklir Nasional.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu neraca sartorius digital, tungku pemanas (*furnace*), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), cawan (*crucible*), alat penggerus, pipet tetes, spatula, mortal pastel, *glass beaker*, *hot plate*, alat pencetakan (pelet).

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan bahan oksida dan karbonat dengan tingkat kemurnian yang tinggi yaitu Bi_2O_3 (99,9%) dari *Strem Chemical*,

PbO (99%) dari *Aldrick*, SrCO₃ (99,9%) dari *Strem Chemical*, CaCO₃ (99,9%) dari *Strem Chemical*, dan CuO (99,999%) dari *Merck*, HNO₃ dan *aquades*.

3.3 Komposisi Bahan

Komposisi bahan untuk membuat 3 gram sampel superkonduktor BPSCCO-2212 doping Pb terlihat pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.

Tabel 1. Komposisi bahan Superkonduktor BPSCCO-2212 doping Pb 0

Bahan	Fraksi Mol	Massa Bahan
Bi ₂ O ₃	2,0	1,3567
SrCO ₃	2,0	0,8596
CaCO ₃	1,1	0,3205
CuO	2,0	0,4632
Total		3,0000

Tabel 2. Komposisi bahan Superkonduktor BPSCCO-2212 doping Pb 0,2

Bahan	Fraksi Mol	Massa Bahan
Bi ₂ O ₃	1,8	1,2233
PbO	0,2	0,1302
SrCO ₃	2,0	0,8613
CaCO ₃	1,1	0,3211
CuO	2,0	0,4641
Total		3,0000

Tabel 3. Komposisi bahan Superkonduktor BPSCCO-2212 doping Pb 0,4

Bahan	Fraksi Mol	Massa Bahan
Bi ₂ O ₃	1,6	1,0894
PbO	0,4	0,2609
SrCO ₃	2,0	0,8629
CaCO ₃	1,1	0,3218
CuO	2,0	0,4650
Total		3,0000

Tabel 4. Komposisi bahan Superkonduktor BPSCCO-2212 doping Pb 0,6

Bahan	Fraksi Mol	Massa Bahan
Bi ₂ O ₃	1,4	0,9551
PbO	0,6	0,3921
SrCO ₃	2,0	0,8646
CaCO ₃	1,1	0,3224
CuO	2,0	0,4658
Total		3,0000

3.4 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode pencampuran basah yang terdiri dari pencampuran asam nitrat, pengeringan, kompaksi, serta pemanasan (kalsinasi dan sintering).

1. Penimbangan

Bahan dasar yang akan digunakan ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan perbandingan pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4. Semua bahan yang telah ditimbang ditempatkan pada wadah tersendiri.

2. Pelarutan

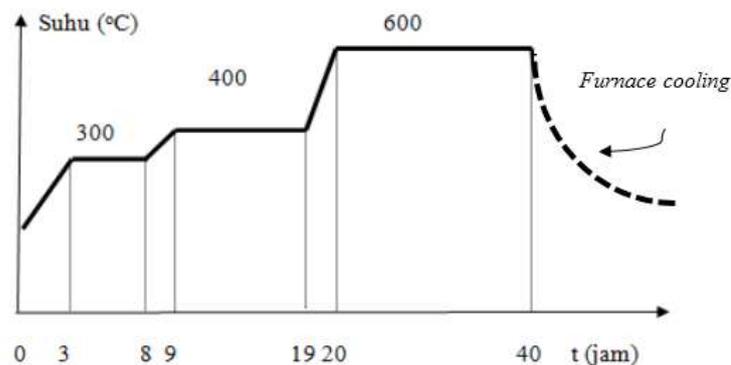
Setelah bahan ditimbang, bahan dilarutkan menggunakan asam nitrat (HNO_3) 68% dan aquades kemudian diaduk secara perlahan sampai berubah warna menjadi biru jernih yang menandakan larutan tersebut sudah homogen.

3. Pemanasan

Sampel yang telah homogen, kemudian dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu 70°C selama 6 jam sampai larutan mengering. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan bahan-bahan pelarut seperti aquades.

4. Pengeringan

Setelah bahan mengering, dilakukan pengeringan secara bertahap pada suhu 300 , 400 , dan 600°C selama 40 jam. Diagram pengeringan yang dilakukan secara bertahap ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram pengeringan (Surahman, 2019).

Proses pengeringan dilakukan mulai pada suhu ruang 30°C kemudian suhu dinaikkan menjadi 300°C dengan laju sebesar $1,5^\circ\text{C}/\text{menit}$. Pada suhu 300°C ditahan selama 5

jam. Kemudian suhu dinaikkan dari 300°C menjadi 400°C dengan laju sebesar 1,67°C/menit. Pada suhu 400°C ditahan selama 10 jam. Kemudian dinaikkan kembali dari 400°C menjadi 600°C dengan laju sebesar 3,3°C/menit dan ditahan selama 20 jam.

5. Penggerusan

Setelah melakukan pengeringan, kemudian sampel digerus dengan mortar dan pastel selama 10 jam sampai sampel terasa halus. Penggerusan ini bertujuan agar didapatkan bahan dalam bentuk serbuk dengan tujuan agar ukuran partikel menjadi homogen sehingga dapat mengurangi celah anatr partikel saat pengepresan.

6. Kompaksi

Menurut Surahman (2019), kompaksi dilakukan menggunakan alat *pressing* dengan kekuatan 8 ton dengan ukuran 10 mm dan tebal 2-3 mm. Kompaksi bertujuan agar partikel bahan campuran tersusun rapat dan padat sehingga apabila diberikan perlakuan panas akan terjadi proses difusi atom dan terbentuk ikatan yang kuat antar partikel.

7. Kalsinasi

Bahan yang sudah berbentuk pelet, lalu dikalsinasi pada suhu 800°C selama 10 jam. Setelah kalsinasi sampel akan melalui proses penggerusan kembali selama ±10 jam.

8. Sintering

Sebelum sintering, permukaan kontak antarpartikel dimaksimalkan dengan melakukan kompaksi sehingga bentuk awal bahan yang dipadatkan dapat dipertahankan dari penyusutan maupun pengembangan. Sintering dilakukan selama 20 jam dengan suhu 835°C.

3.5 Karakterisasi

Sampel dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

1. *X-Ray Diffraction* (XRD)

Sampel dikarakterisasi menggunakan XRD untuk menganalisis tingkat kemurnian fase (fraksi volume, derajat orientasi, dan impuritas). Spektrum difraksi sinar-X

diperoleh dengan menembak bahan dengan sumber Cu-K α dengan panjang gelombang 1,54 Å. 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 .

Hasil karakterisasi XRD akan dianalisis dengan program *High Score Plus* versi 3.0e (3.0.5). Spektrum XRD memberi informasi mengenai puncak-puncak intensitas pada sudut 2θ tertentu. Spektrum XRD dari BSCCO-2212 yang diperoleh dibandingkan dengan *database*. Tingkat kemurnian fase BSCCO-2212 yang terbentuk dapat dilakukan dengan menghitung fraksi volume (F_v), derajat orientasi (P), dan impuritas (I) yang terkandung dalam bahan, berdasarkan rumus (8)-(10):

$$F_v = \frac{\sum I(2212)}{I_{total}} \times 100\% \quad (8)$$

$$P = \frac{\sum I(00l)}{\sum I(2212)} \times 100\% \quad (9)$$

$$I = 100\% - F_v \quad (10)$$

Keterangan :

F_v = Fraksi volume fase BSCCO-2212(%)

P = Derajat orientasi (%)

I = Impuritas (%)

I_{total} = Intensitas total

$I(2212)$ = Intensitas fase BSCCO-2212

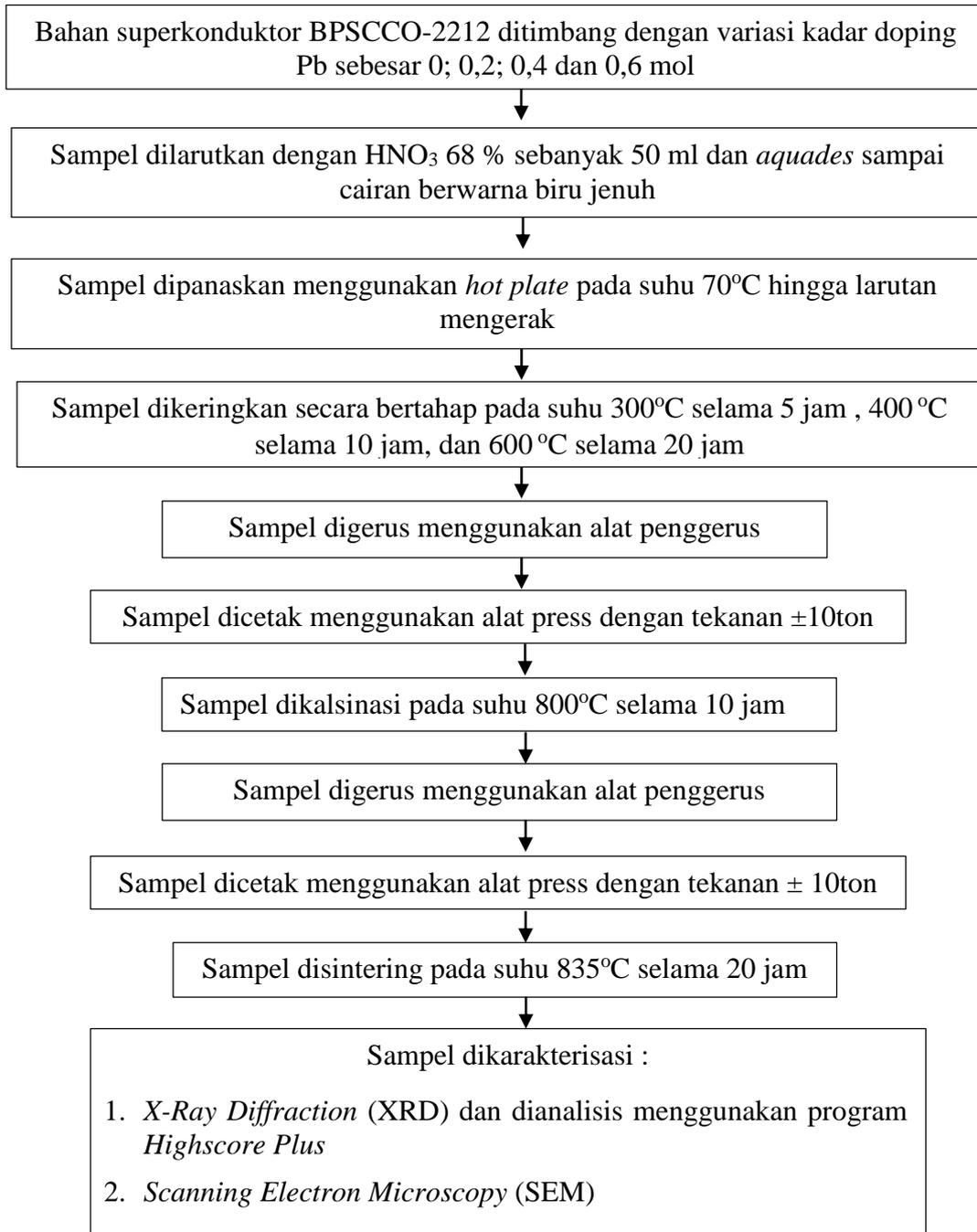
$I(00l)$ = Intensitas fase BSCCO-2212 $h=k=0$ dan l bilangan genap

2. Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM digunakan untuk menganalisis struktur mikro dari superkonduktor. Superkonduktor memiliki konduktivitas yang cukup besar, maka bahan tersebut tidak perlu di-*coating* dengan emas (Au) ataupun karbon (C) tetapi cukup menempelkan bahan tersebut pada *holder* dengan pasta perak (Surahman, 2019).

3.6 Diagram alir

Diagram alir dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Persentase fraksi volume terus mengalami peningkatan dari sampel BPSCCO-2212/0 sampai pada sampel BPSCCO-2212/0,4 dan mengalami penurunan pada sampel BPSCCO-2212/0,6. Sedangkan derajat orientasi tidak membentuk pola yang teratur. Fraksi volume tertinggi didapat pada sampel BPSCCO-2212/0,4 sebesar 73,026% dengan derajat orientasi dan impuritas yang didapat sebesar 33,574% dan 26,974%. Sedangkan fraksi volume terendah didapat pada sampel BPSCCO-2212/0 sebesar 71,277% dengan derajat orientasi dan impuritas yang didapat sebesar 36,658% dan 28,723%.
2. Hasil karakterisasi sampel menggunakan SEM, terlihat bahwa sampel sudah terorientasi meskipun belum sempurna dengan *void* yang dihasilkan relatif sedikit dan kecil.

5.2 Saran

Pada sintesis superkonduktor BPSCCO-2212, sebaiknya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memvariasikan waktu, suhu pemanasan (pengeringan, kalsinasi dan sintering) dengan mengontrol laju pemanasannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, M. M., Oboudi, S.F., dan Raoof, N. Q. 2015. Investigating the preparations conditions on superconducting properties of $\text{Bi}_{2x}\text{Li}_x\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$. *Materials Sciences and Applications*. Vol. 6. No. 04. pp. 310-321.
- Adhika, D. R., Atsarina, L. A., Viny, V. T. dan Heni. R. 2018. Teknik pengamatan sampel biologi dan non-konduktif menggunakan scanning electron microscopy. *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO)*. ISSN : 2461-1441 || ISBN : 978-602-72059-1-8.
- Afza, E. 2011. Pembuatan Magnet Permanen Ba-Hexa Ferrite ($\text{BaO}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$) dengan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasinya. *Skripsi*. USU, Medan.
- Anwar, F. *Sejarah dan Pengertian Superkonduktor*. 2010. Diakses pada tanggal 21 Oktober 2020 pukul 12.03 WIB. <https://fanwar.staff.uns.ac.id/2010/04/23/sejarah-dan-pengertian-superkonduktor/>.
- Astuti, F., Malik, A. B., and Darminto. 2013. Magnetic properties of superconductors Bi-2212 and (Bi,Pb)-2212 nanoparticles synthesized by dissolved method. *Padjadjaran Internasional Physics Symposium*. Vol. 1554. No. 97. Pp. 97-100.
- Beiser, Arthur. 1992. *Konsep Fisika Modern Edisi KeEmpat*. Penerjemah: Dr. The Houw Liong. Erlangga. Jakarta
- Boch, P dan Niepce J. C. 2007. *Ceramics Materials: Process Properties and Application*. ISTE Ltd. USA
- Camargo-Martinez, J.A, Diego, E., and Baquero, 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*. ISSN 0035-001X. Vol. 60. No.1. pp.39-45.
- Chasanah. R. 2008. Sintesis superkonduktor Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O/Ag dengan metode sol gel. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Cullity, B. D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction Second Edition*. Addison- Wesley Publishing Company. Phillippines.
- Farikhin, Fahrizal and , Ir. Ngafwan, MT and , Joko Sedyono, ST, M.Eng, Ph.D. 2016. Analisa scanning electron microscope komposit polyester dengan filler

- karbon aktif dan karbon non aktif. *Thesis*. Universitas Muhammadiyah Surakarta, Sukoharjo.
- Fatmawati, D. A. 2006. Sintesis kristal superkonduktor BSCCO-2212 dan superkonduktor BPSCCO-2212 dengan fluks KCl. *Skripsi*. Universitas Airlangga. Surabaya.
- H. Aydin, O. Cakiroglu, M. Nursoy, and C. Terzioglu. 2009. Mechanical and superconducting properties of the $\text{Bi}_{1.8}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_{1.9}\text{Ca}_{1.2}\text{Cu}_3$ system. *Chinese Journal of Physics*. Vol. 47. No. 2. pp. 192-206.
- Hermiz, G.Y., Aljurani B. A., and Beayaty M. A. 2014. Effect of Mn substitution on the superconducting properties of $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Mn}_x\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. Vol 3. No. 4. pp. 213-217.
- Imaduddin, P., Sigit D.Y., Bintoro S., Hendrik. 2014. Pergeseran suhu kritis superkonduktor Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O pada medan tinggi. *Majalah Metalurgi*. ISSN 0126-3188. Vol 29. Pp. 229-234.
- Ismunandar dan Cun, S. 2002. *Mengenal Superkonduktor*. Diakses pada tanggal 11 Januari 2021 pukul 10.00 WIB. <http://www.fisikanet.lipi.go.id/utama.cgi?cetakartikel&1100396563>.
- Kamihara, Y., Watanabe, T., Hirano, M., Husono, H. 2008. Iron-based layered superconductor $\text{La}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$ ($x=0.05-0.12$) with T_c 26 K. *Journal of the American Chemical Society*. Vol. 130, No. 11. pp. 3296-3297.
- Lusiana. 2014. Proses pembuatan material superkonduktor BSCCO dengan metode padatan. *Majalah Metalurgi*. Vol. 29. No. 1. pp. 1-8.
- Marhaendrajaya, I. 2005. Eksperimen pembentukan kristal BPSCCO-2223 dengan metode self-flux. *Jurnal Berkala Fisika*. ISSN: 1410-9662. Vol.8. No.2. pp. 53-60.
- Margono, M. 1997. Turunnya suhu kritis superkonduktor LaSrCuO karena doping gadolinium. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi*. ISSN 1410-2897.
- Miyunami, K. 2006. *Mixing in Powder Technology Handbook 3rd*. CRC Press. Cleveland.
- Mohammed, N. H., Ramadhan, A., Ali, I. A., Ibrahim, I. H., and Hassan, M. S. 2012. Optimizing the preparation conditions of Bi-2223 superconducting phase using PbO and PbO₂. *Materials Sciences and Applications*. Vol. 3. No. 4. pp. 224-233.
- Mukti, Kusnanto. 2012. Makalah. *Fabrikasi dan Karakterisasi XRD (X-Ray Diffractometer)*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Nurmalita. 2011. The effect of Pb dopant on the volume fraction of BSCCO-2212 superconducting. *Jurnal Natural*. Vol. 11. No. 2. pp. 1-6.

- Nurmalita. 2012. The effect of Pb dopant on the critical temperature of BSCCO-2212 superconducting crystal. *Proceedings of The 2Annual International Conference*. Vol. 2. No. 2. pp. 22–24.
- Nurmalita. 2012. Suhu kritis superkonduktor Bi_{2-x}Pb_xSr₂CaCu₂O_y. *Jurnal Sains MIPA*. Vol. 18. No. 3. pp. 83-90.
- Nurmalita., Nauilul A., Fauzi. 2013. XRD analysis of Bi-2212 superconductor: prepared by the self-flux method. *Jurnal Natural*. Vol. 13. No.1. pp. 23-27.
- Nurmalita. 2016. The dc electrical resistivity curves of bismuth-2212 ceramic superconductors: evaluation of the hole-carrier concentrations perCu ion. *Journal of Aceh Physics Society (JAcPS)*. Vol. 5. No. 1. pp. 9–13.
- Oktaviana, A. 2009. Tugas Makalah Teknologi *Penginderaan Mikroskopi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta. pp. 14-18.
- Pradhana, I. G. C., Wayan, G. S., dan I Gusti, A. W. 2016. Pengaruh variasi temperatur sintering terhadap struktur kristal superkonduktor Y_{0,5}La_{0,5}Ba₂Cu₃O_{7-δ}. *Buletin Fisika*. Vol. 7. No. 1. Hal. 34-40.
- Prasetyo, Y. 2011. *Scanning Electron Microscope dan Optical Emission Spectroscopy*. Diakses pada tanggal 23 Oktober 2020 pukul 15.49 WIB. <https://yudiprasetyo53.wordpress.com/2011/11/07/scanning-electron-microscope-sem-dan-optical-emission-spectroscopy-oes/>.
- Pratiwi, R. 2017. Variasi doping Pb terhadap pertumbuhan fase bahan superkonduktor Bi-2212 pada kadar Ca 1,10 dan suhu sintering 830oC. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Quereshi, A. H., H. Nazar, K.D. Shalid, W.H and A.M. 2010. Microstructural development of superconducting phases In Pb-BSCCO system derived from sol-gel technique. *J.Chem. Sok. Pak*. Vol. 32. No. 6. pp. 761-766.
- Rahardjo, D. T., dan Surantoro. 2016. Optimasi komposisi molar awal off-stoikhiometri pada sintesis superkonduktor sistem Bi-2223. *Berkala Fisika Indonesia*. Vol. 8. No 1. pp. 1-9.
- Ramadhan, R. P., Suprihatin., Yanti, Y. 2021. Analisis pertumbuhan fase superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 akibat variasi suhu sintering menggunakan metode pencampuran basah. *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*. Vol 10. No. 10. pp. 1-10.
- Ramlan dan Akhmad A. B., 2011. Pengaruh suhu dan waktu sintering terhadap sifat bahan porselen untuk bahan elektrolit padat (komponen elektronik). *Jurnal Penelitian Sains*. Vol. 14. No. 3(B). pp. 22-25.
- Reed, J.S. 1988. *Introduction to the Principles of Ceramic Processing*. John Wiley and Sons, Inc., New York.

- Risdiana, T. Adachi, N. Oki, Y. Koike, T. Suzuki, I. Watanabe. 2015. Muon-spin-relaxation study of the Cu-spin dynamics in electron-doped high-Tc superconductor $\text{Pr}_{0,86}\text{LaCe}_{0,14}\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*. Vol. 82. No. 1. pp.1-6.
- Riska, A. N. 2015. Sintering of material $\text{Zn}_{0,9}\text{Mg}_{0,1}\text{TiO}_3$ with adoped variation V_2O_5 using solid state reaction methode. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya
- Ritonga, W. A. 2019. Pembuatan dan karakterisasi superkonduktor $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{M}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ (M = Na, Mg dan Ce) fase 2223 melalui metode reaksi padatan (Solid State Reaction). *Thesis*. Universits Sumatera Utara. Medan.
- Rohmawati, L dan Darminto. 2012. Nanokristalisasi superkonduktor $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$. (Bi,Pb) dengan metode pencampuran basah. *Berkala Fisika Indonesia*. Vol. 4. No. 1&2. pp. 22-26.
- Roumie, M., Marhaba, S., Awad R., Kork, M., Hassan, I., dan Mawassi, R. 2014. Effect of Fe_2O_3 nano-oxide addition on the superconducting properties of the (Bi,Pb)-2223 phase. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*. Vol. 27. No.1. pp. 143-153.
- Sato. K. 2015. *Bismuth-based oxide (BSCCO) high-temperature superconducting wires for power grid applications: Properties and fabrication*. Sumitomo Electric Industries Ltd. Japan.
- Saxena, A.K. 2010. *High Temperature Superconductors*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Berlin.
- Sentosa, U., Fuad A., Agung I., Dwi T.R. 2015. Efek doping Pb rendah pada superkonduktor sistem BSCCO-2223. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika (JMPF)*. ISSN : 2089-6158. Vol. 5. No. 2. pp. 1-4.
- Setiabudi. A., Rifan H., Ahmad M. 2012. *Karakterisasi Material; Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. ISBN: 979978435-2. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Sukirman, E. 1995. Sintesis superkonduktor keramik sistem YBCO dan BSCCO dengan metode reaksi padatan. *Buletin BATAN Tahun XVI*. No. 02.
- 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. pp. 30-39.
- Suprihatin, 2008, Pengaruh variasi suhu sintering dalam sintesis superkonduktor Bi-2221 dengan doping Pb (BSCCO-2212) pada suhu kalsinasi 790o. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

- Suprihatin., Riandini. P., dan Syafriadi. 2017. Variasi doping Pb terhadap pertumbuhan fase bahan superkonduktor Bi-2212 pada kadar Ca 1,10 dan suhu sintering 830°C. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 05. No. 02. pp. 187-194.
- Surahman, R. P. 2019. Pengaruh suhu sintering terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BPSCCO-2223 pada kadar Ca 2,10 menggunakan metode pencampuran basah. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Suryanarayana, C and Norton M.G. 1998. *X-Ray Diffraction A Partical Approach*. Plenum Press: New York and London.
- Susanti, H. 2010. Pengaruh variasi perlakuan doping Pb pada Bi dalam sintesis superkonduktor BSCCO terhadap efek meisser dan suhu kritis. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Tjia, M. O. 1994. *Perkembangan Fisika Bahan Superkonduktor*. Jurusan Fiska. Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Widodo, H. dan Darminto. 2010. Nanokristalisasi superkonduktor $\text{Bi}_2\text{SrCa}_2\text{Cu}_2\text{O}_{10+x}$ dan $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ dengan metode presitipasi dan pencampuran Basah. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*. Vol. 28. No. 1. pp. 6-9.
- Windartun. 2008. *Superkonduktor*. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung
- Yufita, E. dan Nurmalita. 2016. The effect of sintering time on surface morfologi of Pb-doped Bi-2223 oxides superconductors prepared by the solid state reaction methods at 840°C. *Jurnal of Aceh Physics Society*. Vol.5. No. 1. pp. 1-5.
- Yulianti, N. 2002. Pengaruh kadar fluks CaCO dan CuO pada pembentukan kristal superkonduktor Bi-2212. *Jurnal Ilmu Dasar 3*. Vol.1. No. 1. pp. 8-14.
- Yus, D. N. 2011. Karakterisasi material refractory basa berbahan dasar magnesia (MgO) guna lining tungku induksi pengecoran baja di PT X Klaten. *Skripsi*. Universitas Diponegoro. Semarang.