

**PENGARUH VARIASI WAKTU SINTERING TERHADAP
TINGKAT KEMURNIAN FASE SUPERKONDUKTOR BSCCO-
2212 PADA SUHU SINTERING 835°C MENGGUNAKAN
METODE PENCAMPURAN BASAH**

(Skripsi)

Oleh

A.M MARIO SIANTURI

1757041001



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI WAKTU SINTERING TERHADAP TINGKAT KEMURNIAN FASE SUPERKONDUKTOR BSCCO-2212 PADA SUHU SINTERING 835°C MENGGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH

Oleh

A.M Mario Sianturi

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu sintering terhadap pertumbuhan fase superkonduktor BSCCO-2212 dengan menghitung tingkat kemurnian fase yang terbentuk dan melihat struktur mikronya. Variasi waktu sintering yang dilakukan adalah 10, 20, 30, dan 40 jam dengan disinterring pada suhu 835°C. Sampel hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil XRD menunjukkan bahwa semakin lama waktu sintering yang dilakukan, semakin menurun tingkat kemurnian fase yang dihasilkan. Fraksi volume tertinggi didapatkan sebesar 83,90% pada sampel BSCCO-2212/ts10. Sedangkan fraksi volume terendah sebesar 77,71% pada sampel BSCCO-2212/ts40. Sementara, derajat orientasi tertinggi sebesar 20,46% pada sampel BSCCO-2212/ts20. Derajat orientasi terendah sebesar 9,54% pada sampel BSCCO-2212/ts40. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan sudah terorientasi serta memiliki ruang kosong (*void*) yang sedikit.

Kata kunci: superkonduktor BSCCO-2212, waktu sintering, dan derajat orientasi

ABSTRACT

VARIATION OF SINTERING TIME ON PURITY LEVEL OF BSCCO-2212 SUPERCONDUCTOR PHASE AT SINTERING TEMPERATURE 835°C USING WET MIXING METHOD

By

A.M Mario Sianturi

This research was conducted to determine the effect of variations in sintering time on the growth of the BSCCO-2212 superconducting phase by observing the level of purity of the formed phase and looking at its microstructure. Variations in sintering time were 10, 20, 30, and 40 hours with sintering at a temperature of 835°C. The synthesized samples were characterized using X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM). XRD results show that the longer the sintering time is carried out, the lower the level of purity produced. The highest volume fraction was obtained at 83.90% in the sample BSCCO-2212/ts10. While the lowest volume fraction was 77.71% in the sample BSCCO-2212/ts40. Meanwhile, the highest orientation degree was 20.46% in the BSCCO-2212/ts20 sample. The lowest degree of orientation was 9.54% in the sample BSCCO-2212/ts40. The results of the SEM characterization show that it is oriented and has little empty space

Keywords: *Superconductors BSCCO-2212, sintering time, volume fraction, and degree of orientateo*

**PENGARUH VARIASI WAKTU SINTERING TERHADAP
TINGKAT KEMURNIAN FASE SUPERKONDUKTOR BSCCO-
2212 PADA SUHU SINTERING 835°C MENGGUNAKAN
METODE PENCAMPURAN BASAH**

Oleh

A.M MARIO SIANTURI

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
2022**

Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI WAKTU SINTERING TERHADAP TINGKAT KEMURNIAN FASE SUPERKONDUKTOR BSCCO-2212 DENGAN WAKTU SINTERING 835°C MENGGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH**

Nama Mahasiswa : **A.M Mario Sianturi**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1757041001

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Suprihatin, S.Si., M.Si.
NIP 19730414 199702 2 001

Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.
NIP 19610723 198603 1 003

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP 19801010 200501 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

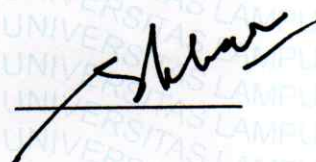
Ketua

: Suprihatin, S.Si., M.Si.



Sekretaris

: Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si



Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Yanti Yulianti, S.Si.,M.Si



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T.

NIP. 197407052000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : Jumat, 08 Juli 2022

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam skripsi ini tidak terdapat karya orang lain dan tidak terdapat pendapat atau karya yang ditulis 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 pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 8 Juli 2022

Penulis,



A.M Mario Sianturi
NPM.1757041001

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap A.M Mario Sianturi, dilahirkan di Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung pada tanggal 16 Agustus 1998. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Ambo Tuwo dan Ibu Madina Wati. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK PKK Ratu Langi pada tahun 2005, SDN Labuhan Ratu pada tahun 2011, SMPN 1 Pasir Sakti pada tahun 2014, dan SMAN 1 Pasir Sakti pada tahun 2017. Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2017 melalui jalur penerimaan MANDIRI. Penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Penelitian Fisika LIPI, Kawasan Puspitek, Serpong, Tangerang Selatan, dengan judul “Efek Penambahan *Candelila Wax* (0 dan 0,5 g) pada *Melamine Sponge* untuk Aplikasi *Water-Oil Seperator*”. Penulis juga melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2020 di Kecamatan Pasir Sakti, Kelurahan Mekarsari, Lampung Timur. Dalam bidang organisasi penulis pernah menjabat sebagai Wakil Ketua Umum HIMAFI FMIPA UNILA periode 2017-2020 dan juga sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Islam Cabang Bandar Lampung, Komisariat Teknik Unila.

MOTTO

**Apabila Allah menolong mu maka tidak ada yang
dapat mengalahkanmu**

-Ali Imran 160-

**Segala sesuatu yang dilakukan dengan hati maka
akan sampai ke hati**

-Anonim-

PERSEMBAHAN

**Dengan Penuh Rasa Syukur Kepada Allah Subhanahu wa ta'ala,
karya ini dipersembahkan kepada:**

Kedua Orang tuaku

Bapak Ambo Tuwo & Ibu Madina Wati.

Terimakasih untuk segala do'a dan usaha yang selalu diberikan demi
kesuksesan putranya hingga mampu menyelesaikan Pendidikan di tingkat
Universitas sabagai sarjana

Keluarga Besar & Teman-teman

Terimakasih atas segala dukungan yang telah diberikan sehingga dapat
tetap bertahan dalam keadaan suka maupun duku

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Waktu Sintering terhadap Tingkat Kemurnian Fase Superkonduktor BSCCO-2212 pada Suhu Sintering 835°C Menggunakan Metode Pencampuran Basah”**. Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains dan melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Pada penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan baik dalam isi maupun cara penyajian. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran guna perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca umumnya. Aamiin.

Bandar Lampung, 8 Juli 2022

A.M Mario Sianturi

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberi hikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Waktu Sintering terhadap Tingkat Kemurnian Fase Superkonduktor BSCCO-2212 pada Suhu Sintering 835°C Menggunakan Metode Pencampuran Basah”**. Pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang turut membantu. Penulisan skripsi ini tidak dapat terwujud tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, baik berupa tenaga maupun pemikiran. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis haturkan terima kasih kepada:

1. Ibu Suprihatin S.Si, M.Si sebagai Pembimbing Pertama yang tulus mengajari dan membantu penulis, serta membimbing, dan memberi pemahaman.
2. Bapak Drs Pulung Karo Karo, M.Si. sebagai Pembimbing Kedua yang senantiasa membantu penulis, membimbing, dan memberi pemahaman.
3. Ibu Dr. Yanti Yulianti, M.Si. sebagai Dosen Penguji dan Pembimbing Akademik yang telah memberikan masukan dan koreksi dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung

5. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M. T. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
6. Sekolah SMK SMTI Bandar Lampung, Ibu Yeni, Ibu Kristin, dan Ibu Betty yang telah membantu penulis untuk melakukan penelitian.
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika atas ilmu yang telah diberikan selama penulis menempuh perkuliahan.
8. Kedua orangtuaku, Bapak Ambo Tuwo dan Madina Wati, serta adik-adikku, Dewi Pertiwi dan Muhamad Reval Khalid yang telah mendo'akan serta memberikan semangat dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Sahabat-sahabat KENCENG KENDOR yang telah mendoakan dan mendukung penulis selama perkuliahan
10. Teman-teman HIMAFI dan Fisika 2017

Akhir kata, penulis haturkan do'a, semoga Allah SWT memberikan imbalan yang berlipat atas bantuan semua pihak dan semoga Allah SWT selalu memudahkan langkah kita yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, 8 Juli 2021

A.M Mario Sianturi

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
MENGESAHKAN	v
PERNYATAAN	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. Batasan Masalah	5
1.4. Tujuan Penelitian.....	5

1.5. Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Superkonduktor.....	7
2.2. Karakteristik Superkonduktor.....	8
2.3. Superkonduktor BSCCO.....	9
2.4. Diagram Fase Superkonduktor.....	11
2.5 Superkonduktor BSCCO – 2212.....	12
2.6. Sintering.....	13
2.7. <i>X – Ray Diffraction (XRD)</i>	14
2.8. <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	16
III. METODE PENELITIAN	
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
3.2. Alat dan Bahan.....	18
3.3. Prosedur Penelitian.....	19
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	24
4.2. Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	31
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan.....	33
5.2 Saran.....	33

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Bagian struktur kristal sistem BSCCO	10
Gambar 2.2 Diagram fase superkonduktor BSCCO.....	12
Gambar 2.3 Bagian mesin XRD	14
Gambar 2.4 Skema difraksi sinar-X	15
Gambar 3.1 Diagram pengeringan.....	21
Gambar 3.2 Diagram kalsinasi	22
Gambar 3.3 Diagram sintering	25
Gambar 4.1 Spektrum XRD dengan waktu sintering 10 jam.....	26
Gambar 4.2 Spektrum XRD dengan waktu sintering 20 jam.....	27
Gambar 4.3 Spektrum XRD dengan waktu sintering 30 jam.....	28
Gambar 4.4 Spektrum XRD dengan waktu sintering 40 jam.....	29
Gambar 4.5 Hubungan antara variasi waktu sintering terhadap kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2212.....	31
Gambar 4.6 Hasil karakterisasi SEM pada BSCCO-2212 dengan variasi waktu sintering	32

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Komposisi bahan awal BSCCO-2212 dengan kadar Ca = 1,10 mol.....	20
Tabel 4.1 Hasil perhitungan fase BSCCO-2212 dengan variasi waktu sintering .	29
Tabel 4.2 Hasil perhitungan impuritas fase BSCCO-2212 dengan variasi waktu sintering 10 dan 20 jam	29
Tabel 4.3 Hasil perhitungan impuritas fase BSCCO-2212 dengan variasi waktu sintering 10 dan 20 jam	29

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Fenomena superkonduktor telah ditemukan oleh ilmuwan yang bernama HK Onnes pada tahun 1911. Ia menemukan fenomena tentang suatu bahan yang memiliki resistivitas listrik yang menurun secara tiba-tiba hingga hampir mendekati nol ketika bahan tersebut diturunkan temperaturnya hingga di bawah temperatur kritisnya (T_c). Hal tersebut diketahui dengan mendinginkan merkuri (Hg) menggunakan helium cair pada suhu 4,2 K dan menyebabkan resistivitas Hg menghilang (Darminto *et al.*, 1999).

Bahan superkonduktor juga dapat bertindak sebagai bahan diamagnetik sempurna, sehingga dapat menolak medan magnet luar dengan sempurna selama medan magnet tersebut berada di bawah nilai kritisnya (H_c) (Nurmalita *et al.*, 2013). Superkonduktor konvensional pada umumnya berupa senyawa atau paduan logam dan memiliki suhu kritis (T_c) yang rendah, yaitu di bawah suhu nitrogen cair (77 K). Teknologi superkonduktor mulai berkembang pesat sejak ditemukan superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST) yaitu superkonduktor oksida Bi-2223 dan Ti-2223 dengan suhu kritis 110 K dan 125 K (Sukirman *et al.*, 2003)

Seiring dengan perkembangan teknologi, superkonduktor semakin banyak digunakan, misalnya: dalam bidang medis digunakan untuk pembuatan alat diagnosis *magnetic resonance imaging* (MRI) (Yamamoto *et al.*, 2015); Dalam bidang transportasi yaitu kereta api super cepat di Jepang yang dikenal dengan *magnetic levitation (maglev)* yang mampu melaju dengan kecepatan tinggi hingga 600 km/jam (Winter, 2003); generator superkonduktor bersuhu kritis tinggi (Barnes *et al.*, 2005); dan kabel superkonduktor dengan pendingin nitrogen untuk menggantikan kabel listrik bawah tanah yang terbuat dari tembaga (Harsojo, 1998).

Dalam superkonduktor terdapat 2 jenis superkonduktor berdasarkan T_c -nya yaitu superkonduktor temperatur rendah dan superkonduktor temperatur tinggi (SKST). Superkonduktor temperatur rendah merupakan superkonduktor yang memiliki nilai T_c di bawah temperatur nitrogen cair (77 K), sedangkan superkonduktor temperatur tinggi memiliki T_c di atas temperatur nitrogen cair (Windartun, 2008). Salah satu bahan superkonduktor temperatur tinggi yang banyak dikaji adalah sistem BSCCO yang sering dikenal sebagai superkonduktor berbasis Bi. Dalam sistem Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO) terdapat tiga fase yang stabil yaitu Bi-2201 ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_x$), Bi-2212 ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$) dan Bi-2223 ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_z$) yang memiliki temperatur kritis berturut turut yaitu 10 K, 80 K, dan 110 K. Sejak ketiga fase tersebut ditemukan, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengetahui efek penambahan maupun substitusi berbagai elemen pada sistem BSCCO terhadap fase, dan morfologi (Sato, 2015). Selain itu, pengaruh variasi suhu, waktu sintering dan metode sintesis dilakukan juga untuk mengetahui tingkat kemurnian fase (Rahmah *et al.*, 2020).

Ada beberapa metode dalam sintesis superkonduktor, antara lain metode sol gel, metode padatan, metode lelehan dan metode pencampuran basah. Metode sol gel umumnya menggunakan senyawa logam *ethylene diamine tetra acetit acid* (EDTA) yang dapat membantu mengikat logam, bahan-bahan dasar yang digunakan yaitu garam nitrat (Fallah-Arani *et al.*, 2018). Pada metode padatan, biasanya menggunakan bahan dalam bentuk serbuk, terjadi 2 tahap reaksi yaitu nukleasi dan pertumbuhan kristal (Lusiana, 2014). Metode lelehan, merupakan metode yang menggunakan kelebihan salah satu atau beberapa unsur pembentuk dari senyawa itu sendiri sebagai fluks (Marhaendrajaya, 2005). Kelebihan metode pencampuran basah, diantaranya senyawa HNO_3 dengan solubilitas yang tinggi diharapkan dapat berfungsi sebagai agen pelarut yang baik, sehingga ikatan yang terjadi bukan ikatan antar atom, tetapi ikatan antar ion (Rohmawati *et al.*, 2013).

Karo Karo, dkk (2021), melakukan penelitian tentang pengaruh suhu sintering terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 menggunakan metode pencampuran basah. Sintering dilakukan selama 20 jam dengan variasi suhu sintering: 825, 830, 835 dan 840°C. Hasil XRD menunjukkan fraksi volume meningkat hingga mencapai titik optimum pada suhu sintering 835°C, kemudian mengalami penurunan pada suhu sintering 840°C. Fraksi volume tertinggi superkonduktor fase BSCCO-2212 didapatkan pada suhu sintering 835°C sebesar 71,09% dan derajat orientasi tertinggi didapatkan pada suhu sintering 830°C sebesar 26,44%. Pada superkonduktor fase BPSCCO-2212 fraksi volume tertinggi didapatkan pada suhu sintering 835°C sebesar 52,59% dan derajat orientasi tertinggi pada suhu sintering 830°C sebesar 43,49%. Hasil perbandingan

sampel BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 diperoleh sampel BSCCO-2212 memiliki tingkat kemurnian fase yang lebih tinggi dibandingkan BPSCCO-2212.

Lusiana, (2014), juga telah melakukan penelitian tentang temperatur optimum proses sintering bahan superkonduktor BSCCO menggunakan metode padatan. Campuran serbuk sebelumnya ditekan menggunakan mesin kompresi dengan beban 1000 kPa pada temperatur kamar menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan diameter 10 mm. Temperatur sintering dilakukan pada $T_s = 800, 820, 845,$ dan 865°C dengan waktu penahanan 90 jam. Hasil sintering kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Dari hasil analisis XRD fraksi volume fase Bi-2212 terbesar diperoleh pada $T = 845^\circ\text{C}$ yaitu sebesar 73,6%, sedangkan untuk fase Bi-2223 terbesar diperoleh pada $T = 865^\circ\text{C}$ sebesar 42,4%. Efek dari tingginya fraksi volume fase-fase pada kondisi tersebut secara berturut-turut memberikan efek levitasi kuat dan sedang.

Dalam penelitian kali ini dilakukan variasi waktu sintering dalam sintesis superkonduktor BSCCO-2212 pada suhu sintering 835°C menggunakan metode pencampuran basah. Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui tingkat kemurnian fase yang terbentuk, dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui struktur mikro.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu sintering terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2212 dengan menghitung fraksi volume (F_v), derajat orientasi (P), dan impuritas (I)?

2. Bagaimana pengaruh variasi waktu sintering terhadap struktur mikro pada superkonduktor BSCCO-2212?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Sintesis dilakukan menggunakan metode pencampuran basah
2. Sampel dikalsinasi pada suhu 800°C selama 10 jam dan disintering pada suhu 835°C
3. Variasi waktu sintering 10, 20, 30, dan 40 jam
4. Karakterisasi dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)
5. Penelitian ini tidak mengkaji tentang suhu kritis (T_c) dan rapat arus kritis (J_c)

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi waktu sintering terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2212 dengan menghitung fraksi volume (F_v), derajat orientasi (P), dan impuritas (I).
2. Mengetahui pengaruh variasi waktu sintering terhadap struktur mikro pada superkonduktor BSCCO-2212.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai waktu sintering dalam sintesis superkonduktor fase BSCCO-2212 menggunakan metode pencampuran basah.

2. Memberikan tambahan referensi di Jurusan Fisika FMIPA Unila.
3. Sebagai referensi ilmiah untuk penelitian lebih lanjut, terutama tentang superkonduktor fase BSCCO-2212.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Superkonduktor

Superkonduktor merupakan suatu bahan yang tidak memiliki hambatan ($\rho=0$) dan konduktivitas sempurna, ketika berada di bawah suatu nilai temperatur tertentu, sehingga dapat menghantarkan arus listrik tanpa kehilangan daya sedikitpun. Suatu superkonduktor dapat berupa konduktor, semikonduktor ataupun isolator pada temperatur ruang. Temperatur dimana terjadi perubahan sifat konduktivitas menjadi superkonduktor disebut dengan temperatur kritis (T_c).

Fenomena superkonduktivitas pertama kali ditemukan pada tahun 1911 oleh Heike Kamerlingh Onnes seorang fisikawan Belanda dari Universitas Leiden yang berhasil mencairkan helium dengan cara mendinginkan hingga temperatur 4 K /- 269°C. Kemudian Onnes mulai mempelajari sifat-sifat listrik dari logam pada temperatur yang sangat rendah. Pada saat itu diketahui bahwa hambatan dari suatu logam akan menurun ketika didinginkan di bawah temperatur ruang, tetapi belum ada yang dapat mengetahui berapa batas bawah hambatan yang dicapai ketika temperatur logam mendekati 0 K atau nol mutlak

Tiga orang fisikawan yaitu Barden, Cooper dan Schrieffer mengajukan teori bahwa elektron-elektron dalam superkonduktor selalu dalam keadaan berpasang-pasangan

dan seluruhnya berada dalam keadaan kuantum yang sama. Pasangan-pasangan ini disebut *Cooper Pairs*. Dua elektron *Cooper Pairs* memiliki muatan yang sama. Hal ini bertentangan dengan hukum Coulomb yang mengatakan bahwa dua buah partikel dengan muatan yang sama akan saling tolak-menolak. Akhirnya elektron tersebut tertarik oleh elektron lain yang bermuatan negatif sehingga membentuk pasangan Cooper. Teori ini dikenal dengan nama teori BCS (Barden, Cooper dan Schrieffer) yang dikemukakan pada tahun 1957 (Pikatan, 1989).

Pada tahun 1987, kelompok peneliti Alabama dan Houston yang dikoordinir oleh K. Wu dan Paul Chu menemukan suatu keramik ($Y_1Ba_2Cu_3O_7$) yang bersifat superkonduktor pada suhu 92 K. Dengan demikian dapat digunakan nitrogen cair sebagai pendinginnya. Setahun berikutnya, Maeda berhasil menemukan superkonduktor BSCCO dengan suhu kritis sebesar 110 K. Pada tahun yang sama, dilakukan penelitian tentang superkonduktor Tl-Ba-Ca-Cu-O, bahan bersifat superkonduktif pada suhu kritis 125 K (Humaidi, dkk 2018).

2.2 Karakteristik Superkonduktor

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

Salah satu keunikan bahan superkonduktor adalah resistivitasnya adalah nol di bawah suhu tertentu (Pikatan, 1989). Bahan yang didinginkan di dalam helium cair atau nitrogen cair, resistivitasnya akan menurun seiring dengan penurunan suhu. Pada suhu tertentu, resistivitas bahan akan turun secara signifikan menjadi nol yang disebut suhu kritis, hal ini merupakan transisi dari keadaan normal ke keadaan superkonduktor (Reitz, 1993).

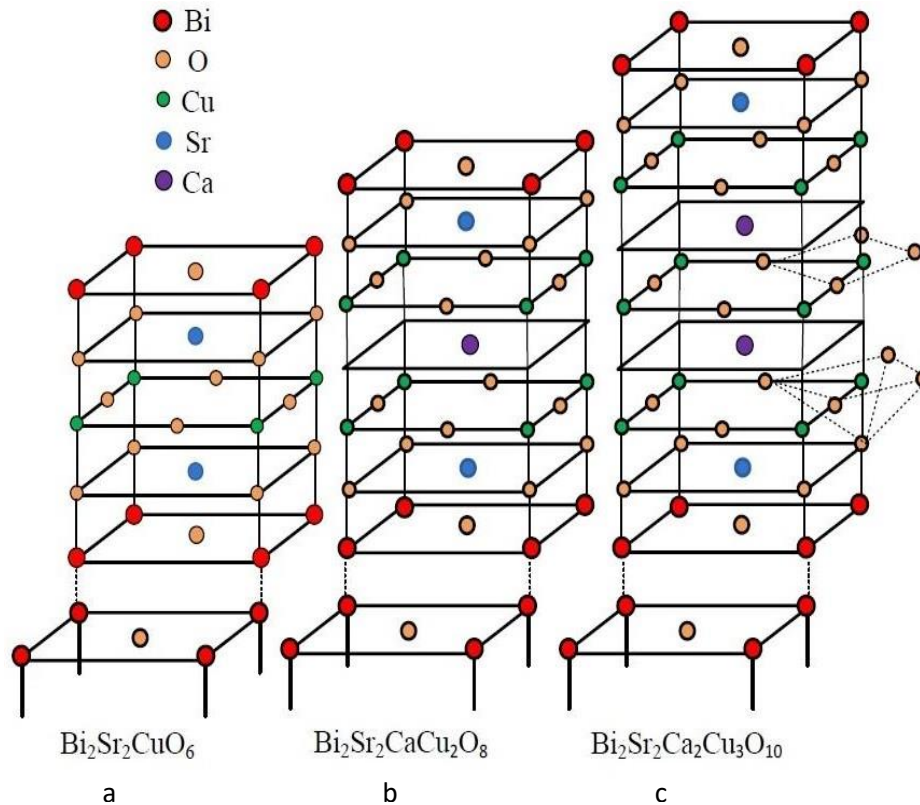
b. Diamagnetik sempurna dengan $B = 0$ pada $T \leq T_c$

Sebuah superkonduktor akan mengeluarkan fluks magnetiknya ketika didinginkan di bawah suhu kritis (T_c) di dalam suatu medan magnetik luar. Fluks magnetik ditolak superkonduktor, sehingga induksi magnetik menjadi nol di dalam superkonduktor yang kemudian dikenal sebagai sifat diamagnetik sempurna. Suhu kritis juga dapat turun dengan hadirnya medan magnet yang cukup kuat. Kuat medan magnet yang menentukan harga T_c disebut medan magnet kritis (H_c). Fenomena ini juga dikenal sebagai efek Meissner (Cyrot dan Pavuna, 1992).

2.3 Superkonduktor BSCCO

Superkonduktor BSCCO merupakan superkonduktor oksida keramik yang mempunyai struktur berlapis-lapis, sehingga menyebabkan bahan superkonduktor sistem BSCCO sangat rapuh dan mudah patah. Selain itu, superkonduktor sistem BSCCO memiliki sifat anisotropi superkonduktivitas yang tinggi dan panjang koherensi yang pendek (Sembiring *et al.*, 2015). Superkonduktor sistem BSCCO memiliki beberapa keunggulan dan keistimewaan dibandingkan superkonduktor keramik yang lainnya karena suhu kritisnya (T_c) relatif tinggi dan tidak mengandung unsur beracun. Dalam superkonduktor sistem BSCCO dikenal 3 fase superkonduktif yaitu fase 2201 dengan komposisi $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}$ memiliki suhu kritis (T_c) sebesar 10 K, fase 2212 dengan komposisi $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}$ memiliki suhu kritis

(T_c) sebesar 80 K dan fase 2223 dengan komposisi $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}$ memiliki suhu kritis (T_c) sebesar 110 K (Siswanto, 1999).



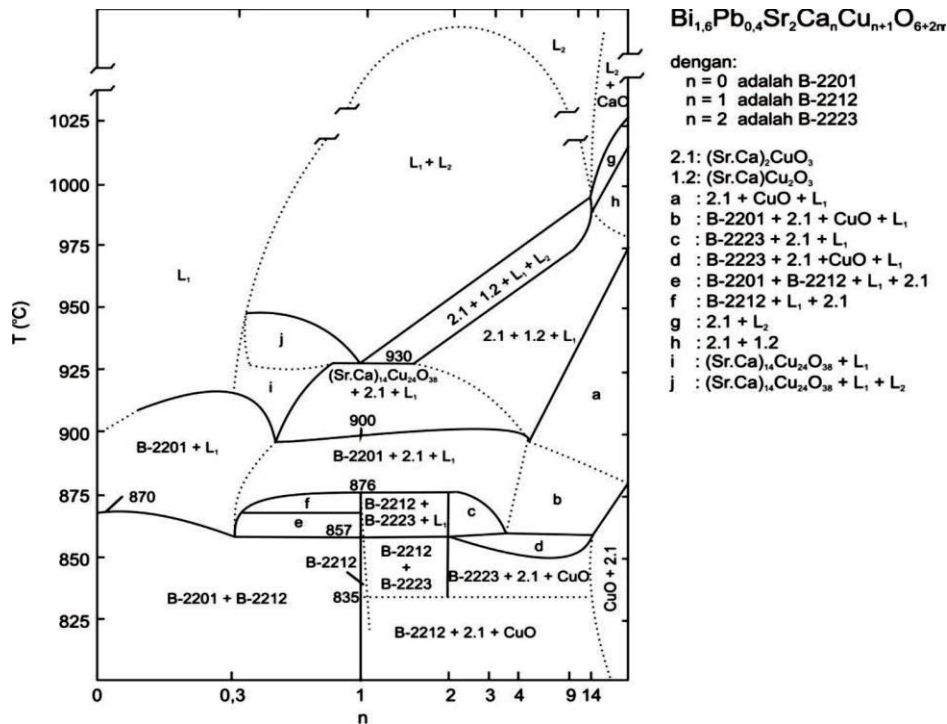
Gambar 2.1. Struktur kristal sistem BSCCO untuk fase; (a) 2201, (b) 2212, (c) 2223 (Lehndroff, 2001).

Struktur kristal dari fase yang terbentuk dalam bahan superkonduktor akan sangat berpengaruh terhadap temperatur kritisnya (T_c). Derajat ketidakteraturan struktur fase yang tinggi sangat dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya adalah temperatur sintering dan lamanya waktu sintering saat dilakukan proses manufaktur dari bahan superkonduktor tersebut. Gambar 2.1a menunjukkan fase BSCCO 2201 yang disusun oleh bidang (BiO)/SrO/CuO/SrO/(BiO), dimana piramida Cu berada diantara dua bidang SrO. BSCCO-2201 mempunyai parameter kisi $a = b = 5,39 \text{ \AA}$ dan $c = 24,6 \text{ \AA}$. Bidang BiO berada pada bagian ujung struktur dan atom Cu

dihubungkan dengan atom oksigen dalam struktur oktahedral. Gambar 2.1b adalah fase BSCCO-2212 disusun oleh bidang senyawa (BiO)/SrO/CuO/CaO/SrO/(BiO), dimana piramida atom Cu dipisahkan oleh adanya bidang Ca. Struktur kristal berbentuk tetragonal ini memiliki parameter kisi $a = b = 5,4 \text{ \AA}$ dan $c = 30,7 \text{ \AA}$. Gambar 2.1c merupakan struktur kristal BSCCO-2223 yang membentuk struktur orthorombik. Rantai Sr-Sr memiliki ikatan yang paling lemah, sedangkan atom Cu(1) sebagai kation yang paling tidak stabil memiliki tiga ikatan rantai yaitu Cu(1)-Ca, Cu(1)-O(1), dan Cu(1)-Cu(2). Rantai ikatan Cu(1)-O(1) merupakan ikatan yang paling kuat ($r = 1,916 \text{ \AA}$). Atom oksigen O(3) hanya memiliki satu 13 rantai ikatan dengan atom Bi yang memiliki panjang ikatan $2,231 \text{ \AA}$ (Lusiana, 2014).

2.4 Diagram Fase Superkonduktor

Pembentukan senyawa bergantung pada komposisi nominal bahan penyusun dan suhu pemrosesannya yang dapat digambarkan oleh diagram fase sistem yang bersangkutan (Suprihatin, 2002). Diagram fase menjelaskan tentang fase yang mungkin terbentuk dan keeksistensiannya pada temperatur atau tekanan tertentu (Strobel *et al.*, 1992). Walaupun pada proses sintesis senyawa yang diinginkan merupakan fase dengan komposisi dan struktur tertentu, namun hasil akhirnya akan menghadirkan beberapa fase lain. Diagram fase untuk sintesis superkonduktor sistem BSCCO dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2. Diagram fase superkonduktor BSCCO (Strobel *et al.*, 1992).

Diagram fase pada **Gambar 2.2** menyatakan hubungan antara suhu dan komposisi pembentukan $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{n+1}\text{O}_{6+2n}$ dengan $n = 0, 1, 2, 3$ dan seterusnya. Dalam diagram fase tersebut daerah pembentukan fase Bi-2212, yaitu daerah fase Bi-2212 + L_1 + 2.1, dan daerah fase Bi-2212 + 2.1 + CuO, + L_1 (Darminto *et al.*, 1999).

2.5 Superkonduktor BSCCO – 2212

Diantara superkonduktor berbasis bismuth, superkonduktor BSCCO-2212 merupakan bahan superkonduktor yang mudah membentuk senyawa dalam padatan polikristal dan tersedia metode yang tepat dalam menumbuhkan kristal tunggal. Oleh karena itu, BSCCO-2212 banyak dijadikan model studi untuk superkonduktor berbasis bismuth (Rohmawati *et al.*, 2013). Superkonduktor BSCCO-2212 memiliki beberapa kelebihan yaitu mudah terbentuk, memiliki suhu kritis rendah

($T_c = 80$ K) sehingga diharapkan pembentukan kristal lebih mudah dicapai, proses sistesis yang lebih mudah dan unsur-unsur pembentuknya relatif aman. Kualitas superkonduktor BSCCO-2212 dapat ditentukan dengan tingkat kemurnian fasenya ataupun dengan kualitas kristalnya. Waktu sintering cukup berpengaruh pada pembentukan fase dan pembentukan kristal BSCCO-2212 (Rahmah *et al.*, 2020).

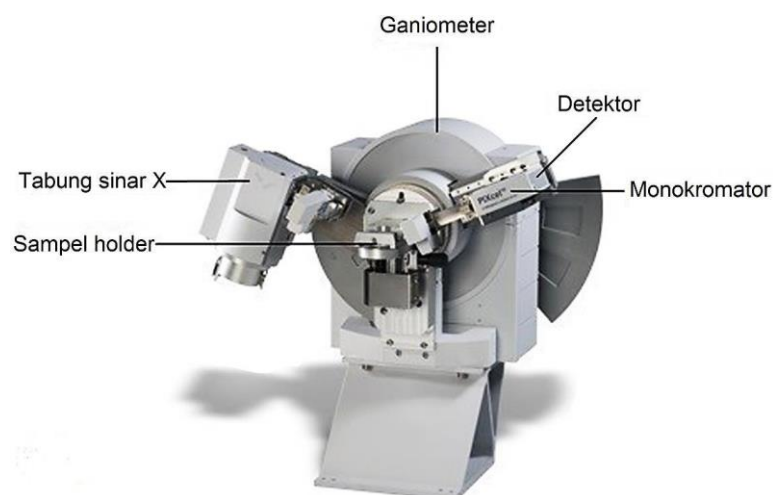
2.6 Sintering

Sintering adalah proses pemanasan pada suhu dan waktu tertentu. Pada proses ini mengakibatkan perubahan struktur mikro seperti perubahan ukuran pori, pertumbuhan butir, peningkatan densitas, dan kontraksi massa. Sintering dimulai dengan aglomerasi partikel menjadi serbuk yang diinginkan, dilanjutkan dengan pembakaran yang dapat mengikat partikel. Sintering membutuhkan suhu tinggi untuk memungkinkan partikel halus menggumpal menjadi bahan padat. Faktor-faktor yang menentukan sintering meliputi jenis bahan, komposisi, pengotor, dan ukuran partikel. Sintering terjadi ketika ada perpindahan massa (difusi) antara partikel dan sumber energi yang memulai perpindahan massa (perpindahan partikel untuk kontak dan ikatan yang sempurna) (Smith, 1990).

Sintering melalui fase padat (*solid state sintering*) terjadi karena energi penggerakannya adalah perbedaan energi bebas atau potensial kimia antara permukaan partikel-partikel yang berdekatan, sehingga partikel-partikel tersebut akan saling menempel dan berdifusi satu sama lain. Difusi ini juga mencakup pergerakan atom bebas di sepanjang permukaan bahan atau di antara tepi partikel. Akibatnya, ukuran pori menjadi kecil dan terjadi penyusutan volume seiring peningkatan kekuatan mekanik bahan (Kingery *et al.*, 1976).

2.7 X – Ray Diffraction (XRD)

XRD adalah metode analisis yang memanfaatkan interaksi antara sinar-X dengan atom yang tersusun dalam sebuah sistem kristal untuk mengetahui fase dari suatu sampel. Prinsip kerja XRD yaitu sinar-X ditumbukkan pada suatu bahan sehingga terjadi interaksi dengan elektron yang terdapat pada sekeliling atom. Ketika foton sinar-X bertumbukan dengan elektron, beberapa foton hasil tumbukan akan mengalami pembelokkan dari arah datang awal. XRD didasarkan pada hamburan sinar-X yang memberikan informasi distribusi elektron pada bahan. Difraksi sinar-X oleh elektron yang tersusun di dalam kristal akan menghasilkan pola yang berbeda tergantung pada konfigurasi elektron pembentuk kristal dan akan diperoleh informasi berupa posisi puncak. Selanjutnya sampel akan ditentukan dengan membandingkan hasil yang terdapat pada sampel dengan standarnya sesuai dengan *Joint Committee on Powder Diffraction Standard (JCPDS)* (Wahyuni *et al.*, 2012). Gambar 2.3 menunjukkan bentuk dan bagian dari mesin XRD.

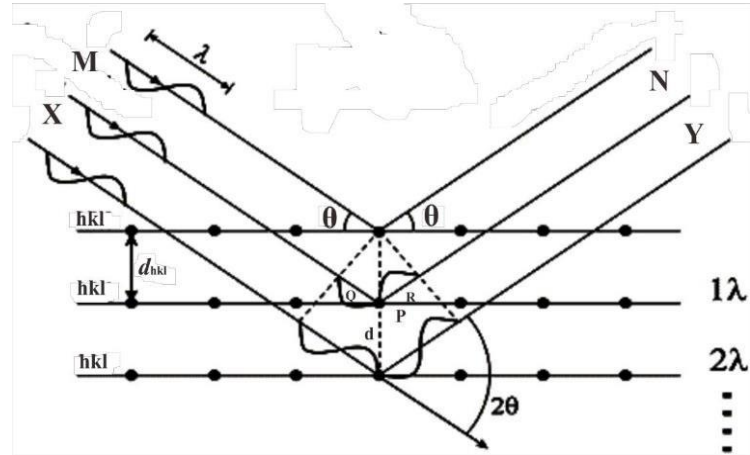


Gambar 2.3. Bagian mesin XRD

Ketika sinar-X dengan panjang gelombang λ diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut θ , maka sinar tersebut dihamburkan oleh bidang kristal. Sinar tersebut

ada yang berada dalam satu fase dan saling menguatkan serta tidak sefase dan saling meniadakan (Beiser, 1995). Skema difraksi sinar-X dapat dilihat pada

Gambar 2.4



Gambar 2.4. Skema difraksi sinar-X (Cullity, 1978).

Dilihat dari Gambar 2.4 bahwa sebuah kristal ditembak oleh sinar yang sudut datangnya sama dengan sudut pantulnya yaitu θ . Sinar datang yang paling atas (M) akan menumbuk titik O dan kemudian dipantulkan. Begitu juga dengan sinar datang (X) akan menumbuk titik P , tetapi dengan jarak tempuh tambahan $QP + PR$. Jarak tambahan ini haruslah sama dengan n dikalikan dengan λ agar kedua fase sinar tetap sama.

$$n\lambda = QP + PR \quad (2.1)$$

$$\sin\theta = \frac{QP}{OP} = \frac{QP}{d} \quad (2.2)$$

Dari gambar dapat dilihat bahwa $QP = PR$, maka persamaan (2.2) menjadi

$$n\lambda = QP + PR$$

$$n\lambda = 2QP \quad (2.4)$$

Kemudian persamaan (2.4) disubstitusikan ke persamaan (2.2)

$$d \sin\theta = QP$$

$$d \sin\theta = \frac{1}{2}n\lambda$$

$$2d \sin\theta = n\lambda \quad (2.4)$$

dengan :

λ = panjang gelombang (Å)

d = jarak antar bidang kisi (Å)

θ = sudut difraksi

$n = 1,2,3\dots$ (menunjukkan orde pertama, kedua, dan seterusnya)

Dari penurunan rumus di atas persamaan (2.4) disebut Hukum Bragg (Cullity,1978).

2.8 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan analisis yang digunakan untuk mengetahui bentuk dan ukuran partikel. Prinsip dari SEM yaitu berkas elektron ditembakkan pada permukaan sampel, sedangkan *imege*-nya diperoleh berdasarkan hasil deteksi elektron yang dihamburkan atau berdasarkan elektron sekunder. Elektron sekunder berasal dari permukaan sampel dan memiliki energi yang rendah sekitar 5 - 50 eV. Sedangkan elektron yang dihamburkan berasal dari bagian sampel yang lebih dalam dan memberikan informasi tentang komposisi sampel karena elektron yang lebih berat menghamburkan secara lebih kuat dan tampak lebih terang pada *image* yang dihasilkan.

Dengan menerapkan prinsip fisika yang berbeda dalam pembuatan citra, beberapa kategori mikroskop lainnya telah dikembangkan untuk mengatasi batasan tersebut.

Scanning Electron Microscopy (SEM), secara luas digunakan dalam penelitian

bahan serta dalam ilmu kehidupan, dan modifikasi utama adalah sumber iluminasi yang merupakan berkas elektron berenergi tinggi.

Konsep ini mudah dipahami jika kita ingat bahwa cahaya sebagai radiasi memiliki panjang gelombang 400-700 nm dan panjang gelombang elektron antara 0,001 - 0,01 nm. SEM menyediakan sumber penerangan yang sangat energik yang memungkinkan resolusi teoritis sekitar 0,02 nm, untuk elektron 100 kV. Karakterisasi mikropartikel berkembang selama dekade terakhir, dan mikroskop optik adalah salah satu alat pertama yang digunakan untuk inspeksi visual dan penentuan bentuk dan ukurannya. Jumlah partikel yang dapat diidentifikasi oleh OM dibatasi karena resolusi spasialnya, sedangkan partikel yang tidak terdeteksi dapat dengan mudah diamati di bawah mikroskop elektron, memungkinkan distribusi ukuran dan 28 evaluasi morfologi yang akurat (Girão *et al.*, 2017) .

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2022 sampai Juni 2022 di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Lampung, Laboratorium Analitik dan Instrumentasi Kimia FMIPA Universitas Lampung, SMK-SMTI Bandar Lampung

3.2. Alat dan Bahan

a. Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari: neraca sartorius digital, pipet, spatula, *mortal pastle*, cetakan sampel (*die*), tungku (*furnace*), alat *pressing*, *crucible*, *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

b. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan oksida dan karbonat dengan tingkat kemurnian yang tinggi yaitu: Bi_2O_3 (99,9 %) dari *Strem Chemical*, SrCO_3 (99,9 %) dari *Strem Chemical*, CaCO_3 (99,95 %) dari *Strem Chemical*, dan CuO (99,999 %) dari *Merck*, HNO_3 68% dan aquades.

c. Komposisi Bahan Dasar

Komposisi bahan awal untuk membuat sampel superkonduktor BSCCO-2212 dengan variasi waktu sintering selama 10, 20, 30, dan 40 jam dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Komposisi bahan awal BSCCO-2212 dengan kadar Ca = 1,10 mol

No	Bahan	Fraksi (mol)	Massa untuk 3 gram sampel
1	Bi ₂ O ₃	2,00	1,3566
2	SrCO ₃	2,00	0,8596
3	CaCO ₃	1,10	0,3205
4	CuO	2,00	0,4632
Total			3,0000

Komposisi bahan masing-masing sampel diperoleh berdasarkan perhitungan menggunakan Persamaan (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 Fraksi adalah mol. Detail perhitungan sampel lain dapat dilihat pada lampiran.

3.3. Prosedur Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pencampuran basah terdiri dari pelarutan, pengeringan, penggerusan, kompaksi dan pemanasan (kalsinasi dan sintering).

3.3.1 Penimbangan

Bahan dasar yang digunakan dalam penelitian ini terlebih dahulu ditimbang sesuai dengan komposisi (BSCCO-2212) seperti perhitungan pada Tabel 3.1

3.3.2 Pelarutan

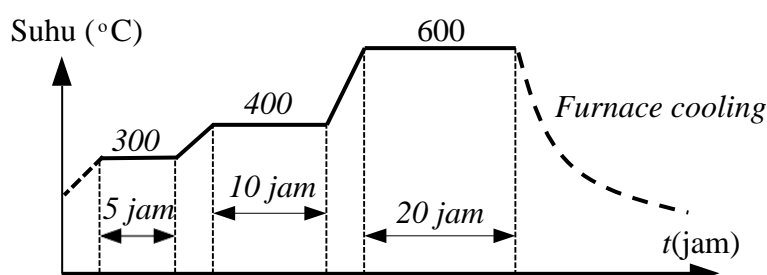
Setelah menimbang, kemudian mencampur dan melarutkan bahan dengan HNO_3 dan aquades. Pelarutan bertujuan agar seluruh bahan memiliki homogenitas yang tinggi dan tercampur dengan maksimal.

3.3.3 Pemanasan

Setelah bahan tercampur, kemudian melakukan pemanasan menggunakan *hot plate* pada suhu 70°C selama 5 sampai 6 jam hingga bahan menjadi kering. Pemanasan ini bertujuan untuk menguapkan bahan pelarut.

3.3.4 Pengeringan

Setelah melakukan pemanasan, kemudian melakukan pengeringan secara bertahap pada suhu 300, 400, dan 600°C sesuai dengan diagram yang ditampilkan pada **Gambar 3.1**. sampai bahan benar-benar kering.



Gambar 3.1. Diagram pengeringan (Khafifah *et al.*, 2011).

3.3.5 Penggerusan

Sampel yang telah dikeringkan, digerus dengan mortal dan pastel secara manual selama ± 10 jam secara bertahap sampai bahan terasa halus. Penggerusan bertujuan untuk meningkatkan homogenitas dan memperluas permukaan kontak agar reaksi

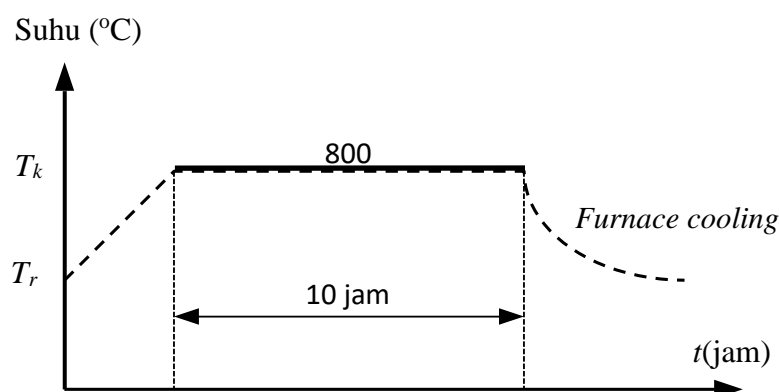
dapat berlangsung secara stoikiometri. Dengan demikian, terjadi peningkatan efektivitas reaksi padatan yang membentuk benih-benih senyawa (prekursor).

3.3.6 Kompaksi

Kompaksi adalah pemadatan serbuk menjadi pelet dengan alat *pressing*. Kompaksi bertujuan agar partikel bahan campuran tersusun rapat dan padat sehingga apabila diberi perlakuan panas yang tepat, akan terjadi proses difusi atom dan terbentuk ikatan yang kuat antar partikel.

3.3.7 Kalsinasi

Bahan yang sudah berbentuk pelet dikalsinasi pada suhu 800°C selama 10 jam. Setelah kalsinasi sampel akan melalui proses penggerusan kembali selama ± 10 jam. Diagram kalsinasi dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.

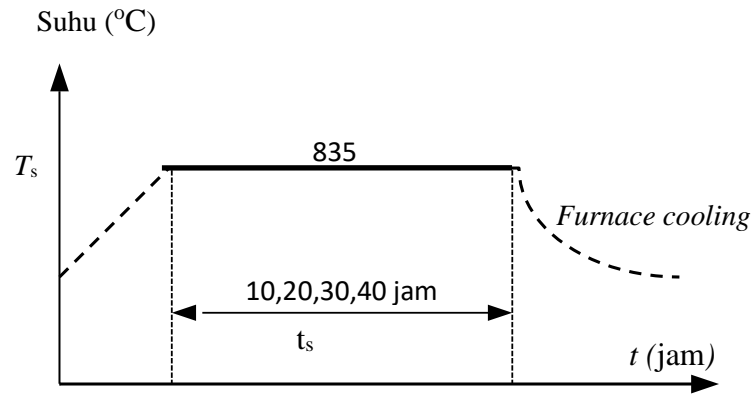


Gambar 3.2. Diagram kalsinasi (Khafifah *et al.*, 2011).

3.3.8 Sintering

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 pemadatan pada sampel. Sintering dilakukan pada suhu

(T_s) 835°C Variasi waktu sintering (t_s) yang dilakukan adalah selama 10, 20, 30 dan 40 jam dengan diagram yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Diagram Sintering

3.3.9 Karakterisasi

Karakterisasi yang dilakukan pada superkonduktor BSCCO-2212 yaitu menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui fase yang terbentuk pada sampel dan menggunakan SEM untuk mengetahui struktur mikro, serta menganalisis tingkat kemurnian fase dengan menghitung fraksi volume, derajat orientasi, impuritas yang terkandung di dalam sampel, berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$Fv = \frac{\sum I(2212)}{I_{total}} \times 100\% \quad (3.1)$$

$$P = \frac{\sum I(00l)}{\sum I(2212)} \times 100\% \quad (3.2)$$

$$I = 100\% - Fv \quad (3.3)$$

Dengan:

Fv : Fraksi volume fase Bi-2212

P : Derajat orientasi

I : Impuritas

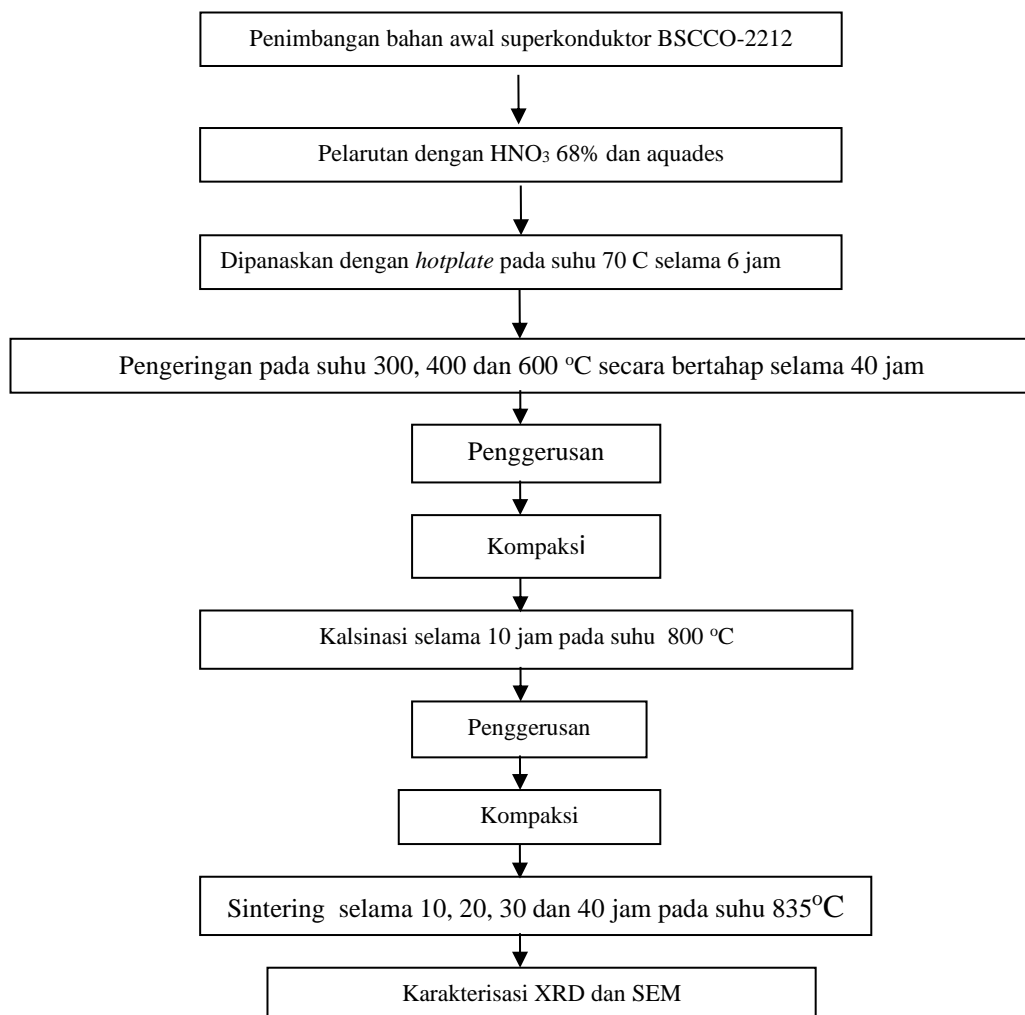
I_{total} : Intensitas total

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

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

3.4 Diagram Alir

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.4**.



Gambar3.4. Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

1. Semakin lama waktu sintering, maka semakin rendah tingkat kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2212. Fraksi volume tertinggi diperoleh pada waktu sintering 10 jam yaitu sebesar 83,90% dan yang terendah diperoleh pada waktu sintering 40 jam yaitu sebesar 77,71%
2. Berdasarkan karakterisasi XRD, semua sampel BSCCO-2212 masih terdapat fase lain atau impuritas yang terbentuk.
3. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa sampel telah terorientasi dan telah menunjukkan pertumbuhan kristal yang relatif baik, ditunjukkan dengan perhitungan derajat orientasi

5.2 Saran

Pada sintesis superkonduktor fase BSCCO-2212 selanjutnya, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan penambahan doping untuk memperoleh fase superkonduktor yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Barnes, P. N., Sumption, M. D., dan Rhoads, G. L. 2005. Review of high power density superconducting generators: Present state danprospects for incorporating YBCO windings. *Journal Cryogenics*, Vol.45.No 2. Hal 670–686..
- Beiser, A. 1995. *Konsep Fisika Modern*. Erlangga. Jakarta. Pp. 54-58.
- Cullity, B. D. 1978. *Elements of X-Ray Diffraction, 2nd Edition. Department of Metallurgical Engeenering dan Bahans Science*. Addison-Wesley Publishing Sompany Inc. USA.
- Cyrot, M. dan Pavuna, D. 1992. *Introduction to Superconductivity and High Tc Materials*. World Scientific. Singapore.
- Darminto dan Rohmawati, L. 2012. Nanokristalisasi superkonduktor (Bi,Pb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O_{8+δ} dengan metode pencampuran basah. *Berkala Fisika Indonesia*. Vol. 4. No. 1 dan 2. Hal. 22-26.
- Darminto, Nugroho, A., Rusyadi, A., Menovskyt, A., dan Loeksamanto, W. 1999. Variasi tekanan oksigen dalam penumbuhan kristal Tunggal superkonduktor Bi₂Sr₂CaCu₂O_{δ+δ} dan pengaruhnya. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, Vol.31. No 3. Hal. 121–137.
- Diantoro, M. 1997. Studi kinetika pembentukan superkonduktor sistem Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr₂Ca₂Cu₃O_{10+δ} (2223) melalui prekursor fase (Bi,Pb)-2212. *Tesis*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Fallah-Arani, H., Baghshahi, S., Sedghi, A., Stornaiuolo, D., Tafuri, F., Massarotti, D., an Riahi-Noori, N. 2018. The influence of heat treatment on the microstructure, flux pinning dan magnetic properties of bulk BSCCO samples prepared by sol-gel route. *Ceramics International*, Vol.44. No 5. Hal. 5209–5218.
- Girão, A. V., Caputo, G., danFerro, M. C. 2017. Application of scanning electron microscopy–energy dispersive X-Ray spectroscopy (SEM-EDS). *Comprehensive Analytical Chemistry*, Vol 7. Hal. 153–

- Harsojo. 1998. Kawat superkonduktor YBCO dengan Yttrium lokal. *Jurnal Fisika Indonesia*. Vol.11. No 2. Hal. 61-68
- Humaidi, S., Muhammad, R., dan Roslan, A. S., 2018, Preparation of TI-2212 Cr Substitued $(\text{Ti}_{2-x}\text{Cr}_x)\text{Ba}_2\text{CaCuO}_{8-x}$ superconductor. *Jurnal of Physic: Conf.series* 1116-032010
- Karo Karo, P., Ramadhan, R. P., Suprihatin, S., dan Yulianti, Y. 2021. Analisis pertumbuhan fase superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 akibat variasi suhu sintering menggunakan metode pencampuran basah. *Journal of Energy, Bahan, dan Instrumentation Technology*, Vol 2. No. 4. Hal. 86–95.
- Khafifah, K., Baqiya, M.A., dan Darminto. 2011. Nanokristalisasi superkonduktor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}$ dengan variasi kalsinasi dan sintering melalui metode pencampuran basah. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Kingery, W.D., Bowen., H.K., dan Uhlmann., D.R. 1976. *Introduction to Ceramics*, John Wiley dan Sons, Singapore.
- Lehndroff, B.R. 2001. *High-Tc Superconductors for Magnet dan Energy Technology Fundamental Aspects*. Springer-Verlag. Berlin.
- Liu, H., Liu, L., Yu, H., Zhang, Y., Jin, Z. 1999. Optimization of the composition for synthesizing the high-Tc phase in Bi(Pb)SrCaCuO system. *Journal of Materials Science*. Vol.34. No 3. Hal.4329-4332.
- Lusiana, L. 2014. Proses pembuatan bahan superkonduktor BSCCO dengan metoda padatan. *Jurnal Metalurgi*, Vol.29. No 1. Hal 1.
- Marhaendrajaya, Eksperimen pembentukan kristal BPSCCO-2223 dengan metoda lelehan, *Jurnal Berkala Fisika*, Vol. 4, No. 2, Hal. 53-60
- Nurmalita, Amani, N., dan Fauzi. 2013. XRD analysis of Bi-2212 superconductors: prepared by the self-flux method. *Jurnal Natural Unsyiah*, Vol 13. No 1. Hal. 115-161.
- Pikatan, S. 1989. *Mengenal Superkonduktor*. <http://geocities.com/mipa/article/sp/konduktor.pdf>. Diakses pada tanggal 20 September 2021.
- Rahmah, K., Suprihatin, S., dan Karo Karo, P. 2020. Pengaruh variasi waktu sintering terhadap pertumbuhan fase bahan superkonduktor BSCCO-2212 dengan kadar Ca=1,10 menggunakan metode pencampuran basah. *Journal of Energy, Bahan, dan Instrumentation Technology*, Vol 1. No 1. Hal. 7–11.
- Reitz, J. R, 1993. *Dasar Teori Listrik Magnet (Edisi Ketiga)*, alih bahasa oleh Suwarno Wiryosimin. ITB. Bandung.

- Rohmawati, L., Studi, P., Fisika, M., Bahan, B. K., & Fmipa, J. F. 2013. Nanokristalisasi superkonduktor $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{\delta+\delta}$ dengan metode pencampuran basah. *Berkala Fisika Indonesia: Jurnal Ilmiah Fisika Pembelajaran Dan Aplikasinya*, Vol.4. No 1 dan 2. Hal. 22–26.
- Sembiring., Motlan, dan Abd, S. 2015. Kristalisasi superkonduktor BSCCO (2212) dan pengaruh penambahan doping Pb dengan metode padatan. *Bioilmi Edisi Agustus*, Vol 1. No 1. Hal. 72–82.
- Sato, K. 2015. Bismuth-based oxide (BSCCO) high-temperature superconducting wires for power grid applications. In *Superconductors in the Power Grid*. Elsevier Ltd.
- Siswanto. 1999. Sintesis superkonduktor keramik BSCCO fase Tc tinggi (2223) melalui route sol-gel sitrat. <http://adln.lib.unair.ac.id> Diakses pada tanggal 24 Januari pukul 17.00 WIB.
- Smith, C.W., Jr. 1990. Corporate Risk Management : Theory dan Practice. *Journal De-rivatieves*, Vol. 2. Hal.21-30
- Strobel, P., Tolédano, J. C., Morin, D., Schneck, J., Vacquier, G., Monnereau, O., Primot, J., & Fournier, T. 1992. Phase diagram of the system $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{CuO}_6\text{-CaCuO}_2$ between 825°C dan 1100°C . *Physica C: Superconductivity dan Its Applications*, Vol.201. No 2 Hal. 27–42.
- Sukirman, E., Adi, W. A., Winatapura, D. S., dan Sulungbudi, G. T. 2003. Review kegiatan litbang superkonduktor Tc Tinggi Di P3Ib-Batan. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 4. Hal. 30–39.
- Suprihatin. 2002. Sintesis superkonduktor Bi-2212 dengan kehadiran kcl. *Tesis*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Wahyuni, M. S., dan Hastuti, E. 2012. Karakterisasi cangkang kerang menggunakan Xrd Dan X Ray Physics basic unit. *Jurnal Neutrino*, Vol. 3. Hal. 32–43.
- Windartun. 2008. Superkonduktor. *Skripsi*. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Winter. 2003. Present situation of bulk superconductor application research. *Superconductivity Web21*, Vol. 1. Hal. 17–18.
- Yamamoto, M., Toyota, H., Kawagoe, S., Hatta, J., dan Tanaka, S. 2015. Development of ultra-low field SQUID-MRI system with an LC resonator. *Physics Procedia*, Vol 65. Hal. 197–200.