PENGARUH VARIASI KADAR $CaCO_3$ TERHADAP PEMBENTUKAN FASE SUPERKONDUKTOR BSCCO-2212 PADA SUHU SINTERING 835°C MENGGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH

(Skripsi)

Oleh

CAHLIA KURNIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2024

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI KADAR $CaCO_3$ TERHADAP PEMBENTUKAN FASE SUPERKONDUKTOR BSCCO-2212 PADA SUHU SINTERING 835℃ MENGGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH

Oleh

CAHLIA KURNIA

Telah dilakukan sintesis superkonduktor BSCCO-2212 menggunakan metode pencampuran basah pada suhu 835℃ . Pada penelitian ini dibuat 4 sampel dengan variasi kadar $CaCO_3$ sebesar 0,95 mol, 1,00 mol, 1,05 mol, dan 1,10 mol. Sampel yang telah dibuat dilakukan karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil analisis XRD menunjukkan fraksi volume meningkat seiring dengan bertambahnya kadar $CaCO_3$. Fraksi volume tertinggi sebesar 88,44% pada sampel BSCCO-2212/1,10. Sedangkan fraksi volume terendah sebesar 81,02% pada sampel BSCCO-2212/0,95. Sementara derajat orientasi tertinggi pada sampel BSCCO-2212/0,95 sebesar 29,01%. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa sampel sudah terorientasi meskipun belum sempurna serta terdapat ruang kosong antar lempengan (*void*).

Kata kunci: superkonduktor, BSCCO-2212, sintering, fraksi volume, dan derajat orientasi.

ABSTRACT

THE EFFECT OF VARIATION IN THE CONTENT OF $CaCO_3$ ON THE FORMATION OF SUPERCONDUCTOR PHASE BSCCO-2212 AT SINTERING TEMPERATURE 835℃ USING THE WET MIXING METHOD

By

CAHLIA KURNIA

The synthesis of the BSCCO-2212 superconductor was carried out using the wet mixing method at a temperature of 835℃. In this study, 4 samples were made with varying levels of $CaCO_3$ which is 0,95 mol, 1,00 mol, 1,05 mol and 1,10 mol. The samples that haveb been made are characyerization to X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM) tests. The results of XRD analysis show that the volume fraction increases with increasing $CaCO_3$ levels. The highest volume fraction was obtained at 88,44% in sample BSCCO-2212/1,00. While the highest degree of orientation in the sample BSCCO-2212/0,95 is 29,01%. SEM characyerization results show that the sample oriented although not perfect and there is an empty space between the plates.

Key words: *superconductor, BSCCO-2212, sintering, volume fraction, and degree of orientation.*

PENGARUH VARIASI KADAR $CaCO_3$ TERHADAP PEMBENTUKAN FASE SUPERKONDUKTOR BSCCO-2212 PADA SUHU SINTERING 835℃ MENGGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH

Oleh

Cahlia Kurnia

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

2024

Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI KADAR $CaCO_3$ TERHADAP PEMBENTUKAN FASE SUPERKONDUKTOR BSCCO-2212 PADA SUHU SINTERING 835°C MENGGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH**

Nama Mahasiswa : **Cahlia Kurnia**

NPM : 1817041071

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Suprihatin, S.Si., M.Si.	**Agus Riyanto, S.Si., M.Sc.**
NIP. 197304141997022001	**NIP. 198608222015041002**

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

Gurum Ahmad Fauzi, S.Si., M.T.
NIP. 198010102005011002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

   Sekretaris : **Agus Riyanto, S.Si., M.Sc.** .....

   Penguji
   Bukan Pembimbing: **Dr.rer.nat. Roniyus Marjunus., M.Si.** .....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 5 Februari 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang sama persis dengan yang pernah dilakukan oleh orang lain. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam Daftar Pustaka. Selain itu, saya menyatakan skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, Februari 2024

Cahlia Kurnia
NPM. 1817041071

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Cahlia Kurnia, dilahirkan di Kota Bandar Lampung pada tanggal 26 November 1999. Penulis merupakan anak ketiga dari pasangan Bapak Achmad Syukur (Alm) dan Ibu Rustina. Penulis memulai pendidikan pada Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 2 Sukajawa Bandar Lampung dan diselesaikan pada tahun 2012. Kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Perintis 2 Bandar Lampung dan diselesaikan pada tahun 2015. Selanjutnya penulis ke Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 9 Bandar Lampung dan diselesaikan pada tahun 2018.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2018. Pada tahun 2021 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Fisika Inti FMIPA Universitas Lampung dengan judul "Pengembangan Praktikum Pendahuluan Radiasi Termal dengan *E-learning*". Penulis memilih bidang keilmuan material sebagai bidang yang terdapat di Jurusan Fisika FMIPA.

Pada tahun 2021 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Batu Putuk, Kecamatan Teluk Betung, Kota Bandar Lampung. Kemudian penulis melakukan penelitian di Laboratorium Fisika Material dengan judul "Pengaruh Variasi Kadar $CaCO_3$ terhadap Pembentukan Fase Superkonduktor BSCCO-2212 pada Suhu Sintering 835℃ Menggunakan Metode Pencampuran Basah" sebagai Tugas Akhir di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

MOTTO

“ Karunia Allah yang paling lengkap adalah kehidupan yang didasarkan pada ilmu pengetahuan “

-Ali bin Abi Thalib-

“Latihlah pikiranmu untuk melihat kebaikan dalam segala situasi”

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur kepada Allah SWT, karya ini dipersembahkan

kepada:

Keluargaku, yang senantiasa selalu mendo'akan dan memberi dukungan terbaik tanpa kenal lelah.

Bapak/ibu guru dan dosen, yang telah memberikan pengetahuan dan budi pekerti serta semangat untuk terus belajar.

FISIKA FMIPA 2018

Serta

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur atas kehadirat Allah SWT karena atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**Pengaruh Variasi Kadar $CaCO_3$ terhadap Pembentukan Fase Superkonduktor BSCCO-2212 pada Suhu Sintering 835℃ Menggunakan Metode Pencampuran Basah**" yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Skripsi ini merupakan karya bagi penulis yang dipersembahkan kepada almamater tercinta. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta dapat menjadi rujukan bagi penelitian selanjutnya.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Bandar Lampung, Februari 2024

Cahlia Kurnia

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas kuasa-Nya penulis masih diberikan kesempatan untuk mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi ini, terutama kepada:

1. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. sebagai Pembimbing I dan Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan dan arahan yang mendukung dari awal sampai akhir;
2. Bapak Agus Riyanto, S.Si., M.Sc. sebagai Pembimbing II yang senantiasa sabar dalam mengoreksi dan memberikan masukan-masukan untuk menyelesaikan skripsi ini dari awal sampai akhir penulisan;
3. Bapak Dr.rer.nat Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si. sebagai Penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi;
4. Kedua orang tuaku Almarhum Ayah Achmad Syukur dan Ibu Rustina, kakak-kakakku Linda Kurnia dan Cahya Kurnia, serta keluarga besarku yang luar biasa selalu mendukung dan mendo'akan;
5. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung;
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika atas ilmu yang telah diberikan selama penulis menempuh perkuliahan;

7. Sahabatku Anisyah Anggraini, Rysa Sonya Reni Paulin Gultom dan Rethanita Zaharani yang selama ini memberikan semangat;
8. Civitas akademika Fisika 2018.

Serta kepada pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT memberikan balasan berlipat dan memudahkan langkah semua pihak yang membantu penulisan dalam menyelesaikan skripsi ini. *Aamiin Yaa Robbal'alamin.*

Bandar Lampung, Februari 2024

Penulis

Cahlia Kurnia

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PENGESAHAN..... ii

DAFTAR ISI……..... iii

DAFTAR GAMBAR ……...……iv

DAFTAR TABEL ……..... v

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang..... 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Batasan Masalah 5
1.5 Manfaat Penelitian 5

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Superkonduktor..... 6
2.2 Superkonduktor BSCCO 8
2.3 Aplikasi Superkonduktor 10
2.4 Kalsium Karbonat ($CaCO_3$) 11
2.5 Kalsinasi dan Sintering 12
2.6 Analisis Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) 12
2.7 Analisis Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) 14

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat 16
3.2 Alat dan Bahan 16
3.3 Komposisi Bahan Dasar 16
3.4 Preparasi Sampel 18
3.5 Diagram Alir Penelitian 22

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) ……...……23
4.2 Hasil Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) ……...27

V. KESIMPULAN DAN SARAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Stuktur kristal sistem BSCCO..... 8

Gambar 2.2 Diagram fase superkonduktor BSCCO 10

Gambar 2.3 Skema difraksi sinar-X 14

Gambar 2.4 Skema dasar SEM 15

Gambar 3.1 Diagram pengeringan 19

Gambar 3.2 Diagram kalsinasi 19

Gambar 3.3 Diagram sintering 20

Gambar 3.4 Diagram alir penelitian..... 22

Gambar 4.1 Hasil analisis XRD ……..24

Gambar 4.2 Hubungan antara variasi kadar Ca terhadap kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2212 ……..26

Gambar 4.3 Hasil karakterisasi SEM sampel BSCCO-2212 pada kadar Ca 1,10 mol ……..……28

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 3.1 Komposisi bahan awal BSCCO-2212/0,95 17

Tabel 3.2 Komposisi bahan awal BSCCO-2212/1,00 17

Tabel 3.3 Komposisi bahan awal BSCCO-2212/1,10 17

Tabel 3.4 Komposisi bahan awal BSCCO-2212/1,15 17

Tabel 3.5 Kode sampel 21

Tabel 4.1 Puncak yang muncul pada sampel ……25

Tabel 4.2 Hasil perhitungan fraksi volume ……..……26

Tabel 4.3 Hasil perhitungan derajat orientasi……26

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tahun 1911 gejala superkonduktivitas ditemukan oleh fisikawan Belanda yang bernama Heike Kammerlingh Onnes. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, Onnes menyatakan bahwa resistivitas dari merkuri tiba-tiba menurun drastis menuju nol dalam kondisi sampel di bawah suhu kritisnya, titik leleh dari helium cair (Widodo dan Darminto, 2010). Sejak saat itu, penelitian superkonduktor semakin gencar dilakukan, baik di dalam negeri maupun di luar negeri. Penelitian dilakukan dalam skala besar maupun skala kecil (Sari, dkk., 2014). Superkonduktor merupakan bahan yang memiliki hambatan listrik bernilai nol pada suhu di bawah suhu kritisnya (Lusiana, 2014).

Berdasarkan suhu kritisnya, superkonduktor dibagi menjadi 2 yaitu superkonduktor suhu kritis rendah dan superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST). Superkonduktor suhu kritis rendah memiliki nilai suhu kritis di bawah nitrogen cair (77K), sedangkan superkonduktor suhu kritis tinggi memiliki suhu kritis di atas nitrogen cair (Yuliati, 2010). Suhu kritis (T_c) adalah suhu ketika material tersebut pertama kali menunjukkan fenomena superkonduktifitas (Saputri, dkk., 2016). Bahan superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST) umumnya berupa senyawa dengan komponen jamak dan mempunyai beberapa fase dengan struktur yang jamak pula. Salah satu bahan superkonduktor SKST yang penting adalah

sistem BSCCO, karena suhu kritisnya relatif tinggi dan tidak mengandung unsur yang beracun (Darminto dan Rahmawati, 2009). Sistem BSCCO memiliki 3 fase yaitu Bi-2201 dengan T_c 10K, Bi-2212 dengan T_c 80K, Bi-2223 dengan T_c 110K (Karo Karo, dkk., 2021).

Sistem BSCCO-2212 juga merupakan senyawa multi komponen dari superkonduktor oksida keramik yang mempunyai struktur berlapis-lapis dengan ciri khas sisipan lapisan CuO_2 yang menyebabkan sistem tersebut mempunyai kecenderungan bersifat metalik pada suhu kamar (Rahardjo, 2022). Salah satu aplikasi superkonduktor pada bidang energi yakni kawat superkonduktor dimana penggunaannya di jaringan distribusi tenaga listrik. Permasalahan yang ditemukan dalam superkonduktor berbasis bismuth ini adalah upaya peningkatan suhu kritis dan memperkecil tingkat kerapuhan materialnya (Lubis, dkk., 2018).

Beberapa metode sintesis superkonduktor antara lain metode *sol gel*, metode padatan, dan metode pencampuran basah. Metode *sol gel* adalah suatu proses yang digunakan untuk pembuatan material anorganik melalui suatu reaksi kimia dalam suatu larutan pada suhu relatif rendah. Metode *sol gel* pertama kali digunakan sebagai teknik pembentukan keramik dan kaca dengan kualitas yang tinggi (Elma, 2018). Metode padatan memiliki keuntungan antara lain mudah dibuat dan sederhana. Metode pencampuran basah memiliki tingkat homogenitas yang tinggi karena bahan yang digunakan dilarutkan dengan HNO_3 dan aquades secara perlahan hingga larutan berwarna biru jernih yang menandakan bahwa larutan telah homogen (Surahman, dkk., 2019).

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh Pratiwi (2021) menggunakan metode pencampuran basah, kadar Ca sangat berpengaruh terhadap pembentukan fase superkonduktor BPSCCO-2212 yang relatif menaikkan fraksi volume dan derajat orientasi kristal. Bahan yang biasa digunakan sebagai sumber Ca pada sintesis BSCCO yaitu $CaCO_3$. Pada penelitian ini, variasi $CaCO_3$ yang digunakan yaitu 0,95; 1,00; 1,05; dan 1,10 mol. Sampel disintering pada suhu 825℃ selama 20 jam. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tingkat kemurnian fase bahan superkonduktor BPSCCO-2212 terbaik diperoleh pada kadar Ca sebanyak 1,10 mol dengan fraksi volume sebesar 79,06% (Pratiwi, 2021). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ramadhan (2021) menyatakan bahwa variasi suhu sintering cenderung meningkatkan fraksi volume. Fraksi volume tertinggi sebesar 71,09% pada suhu 835℃.

Pada penelitian kali ini, dilakukan sintesis superkonduktor BSCCO-2212 dengan variasi kadar $CaCO_3$ sebesar 0,95; 1,00; 1,05; dan 1,10 mol dan dikalsinasi pada suhu 800℃ selama 10 jam kemudian disintering pada suhu 835℃ selama 20 jam dengan menggunakan metode pencampuran basah. Hasil yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui tingkat kemurnian fase yang terbentuk dan *Scanning Elecron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui struktur mikro pada sampel.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi kadar $CaCO_3$ terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2212 dengan menghitung fraksi volume (F_v), derajat

orientasi (*P*), dan impuritas (*I*)?

2. Bagaimana pengaruh variasi kadar $CaCO_3$ terhadap struktur mikro pada superkonduktor BSCCO-2212?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi kadar $CaCO_3$ terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2212 dengan menghitung fraksi volume (F_v), derajat orientasi (*P*), dan impuritas (*I*);
2. Mengetahui pengaruh variasi kadar $CaCO_3$ terhadap struktur mikro pada superkonduktor BSCCO-2212.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Variasi kadar $CaCO_3$ yang dilakukan adalah: 0,95; 1,00; 1,05; dan 1,10 mol;
2. Sintesis dilakukan menggunakan metode pencampuran basah;
3. Sampel dikalsinasi pada suhu 800℃ selama 10 jam;
4. Sampel disintering pada suhu 835℃ selama 20 jam;
5. Karakterisasi sampel dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM); dan
6. Penelitian ini tidak mengkaji tentang suhu kritis (T_c) dan rapat arus kritis (J_c).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai kadar $CaCO_3$ yang relatif baik dalam sintesis superkonduktor BSCCO-2212 menggunakan metode pencampuran basah;

2. Sebagai acuan untuk melakukan penelitian lebih lanjut, terutama untuk superkonduktor BSCCO-2212; dan
3. Sebagai referensi ilmiah di Jurusan Fisika, khususnya bidang material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Superkonduktor

Bahan superkonduktor pertama kali ditemukan pada tahun 1911 oleh seorang fisikawan Belanda dari Universitas Leiden yaitu Heike Kamerlingh Onnes. Pada tanggal 10 Juli 1908, Onnes berhasil mencairkan helium dengan cara mendinginkannya hingga suhu 4K atau –269ºC. Kemudian Onnes pada tahun 1911 mulai mempelajari sifat-sifat listrik dari logam pada suhu yang sangat dingin. Pada saat itu diketahui bahwa hambatan dari suatu logam akan menurun ketika didinginkan di bawah suhu ruang, tetapi belum ada yang dapat mengetahui berapa batas bawah hambatan yang dicapai ketika temperatur logam mendekati 0K atau nol mutlak (Deva dkk., 2019).

Sejak ditemukan superkonduktor suhu tinggi (SKST) yang diawali oleh hasil rintisan Bednorz dan Muller, kegiatan penelitian dalam bidang superkonduktor oksida telah mengalami peningkatan yang luar biasa. Peningkatan ini semula dirangsang oleh potensi peningkatan T_c lebih lanjut yang mendukung aplikasi dalam bidang teknologi yang luas, namun kini telah menumbuhkan pula penelitian ilmiah yang intensif karena banyaknya fenomena baru yang perlu diselidiki dan dipahami (Humairah, 2015). Temperatur kritis (T_c) merupakan suhu transisi suatu material dari keadaan normal (memiliki resistivitas listrik = ρ)

ke keadaan superkonduktor yaitu keadaan $\rho=0$ (Alviani, 2016).

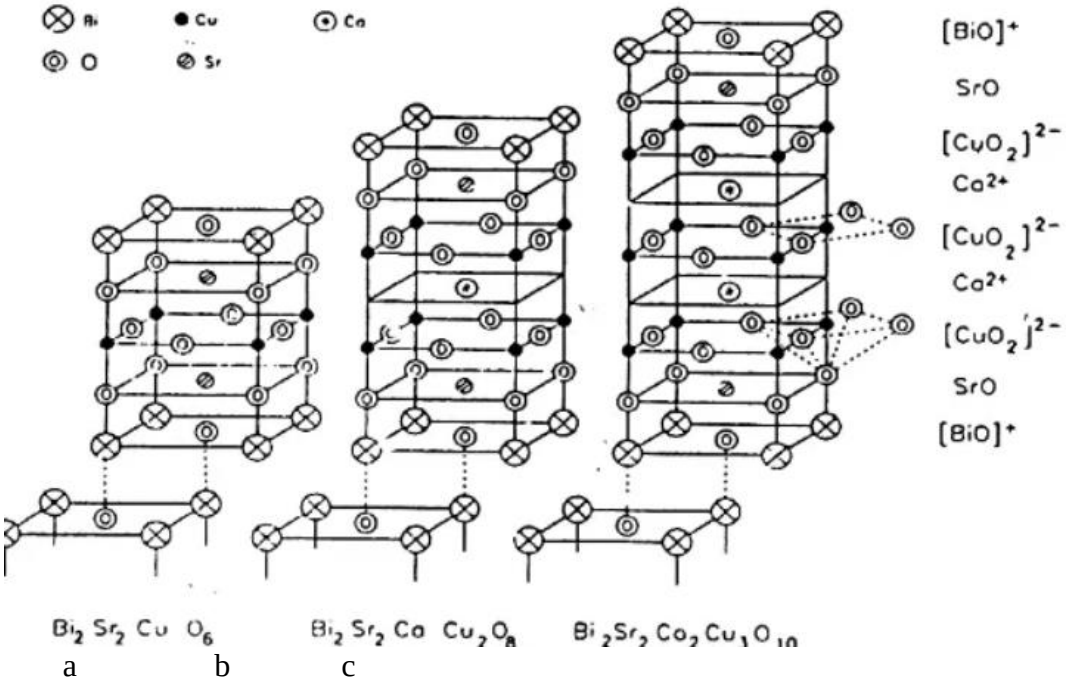
Banyak jenis material superkonduktor yang telah diteliti, antara lain BSCCO, YBCO, GdBaCuO, dan lain-lain. Penelitian tersebut menggunakan berbagai metode reaksi kimia basah atau pun *solid state reaction*. Penelitian menggunakan metode kimia basah yang telah dilakukan misalnya metode *sol gel* dan metode *molten salt* (Purwamargapratala, 2009).

Bahan superkonduktor merupakan material yang dapat menghantarkan arus listrik tanpa adanya hambatan, sehingga dapat mengalirkan arus listrik tanpa kehilangan daya sedikitpun. Superkonduktor tidak memiliki hambatan di bawah temperatur kritis (T_c) tertentu (Dewi, 2016). Superkonduktor dibedakan menjadi 2 yaitu, temperatur kritis (T_c) dan medan kritis (H_c). Berdasarkan temperatur kritisnya (T_c), superkonduktor dibagi menjadi 2 yaitu superkonduktor suhu kritis rendah dan superkonduktor suhu kritis tinggi. Sedangkan berdasarkan medan kritisnya (H_c), superkonduktor dibagi menjadi 2 yaitu, superkonduktor tipe I dan superkonduktor tipe II (Margono, 1997).

Superkonduktor tipe I dapat dijelaskan oleh teori BCS (*Bardeen, Cooper* dan *Scrieffer*) melalui pasangan elektron. Superkonduktor tipe I ditandai dengan resistivitas bernilai nol, dapat terjadi efek *Meissner* ketika di bawah nilai medan kritis ($<H_c$) dan sifat superkonduktivitas hilang ketika di atas nilai medan kritis ($>H_c$). Efek *Meissner* dapat diartikan sebagai suatu fenomena penolakan medan magnet luar oleh bahan superkonduktor. Superkonduktor tipe II akan menolak medan magnet yang diberikan tetapi perubahan sifat kemagnetan tidak secara tiba-tiba melainkan bertahap (Clinton, 2020).

2.2 Superkonduktor BSCCO

BSCCO merupakan superkonduktor suhu tinggi (SKST) pertama yang tidak mengandung logam tanah jarang (Pranomo, 2020). Superkonduktor suhu tinggi berbasis bismuth disebut dengan sistem BSCCO. Senyawa superkonduktor ini umumnya disintesis dari bahan awal berupa oksida Bi, Sr, Ca, dan Cu. Sistem BSCCO memiliki tiga fase yang stabil yaitu Bi-2201 ($Bi_2Sr_2CuO_x$), Bi-2212 ($Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$) dan Bi-2223 ($Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_z$). Suhu kritisnya yaitu 10K, 80K, dan 110K. Masing-masing memiliki stuktur kristal yang ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Stuktur kristal sistem BSCCO (Lehndroff, 2001).

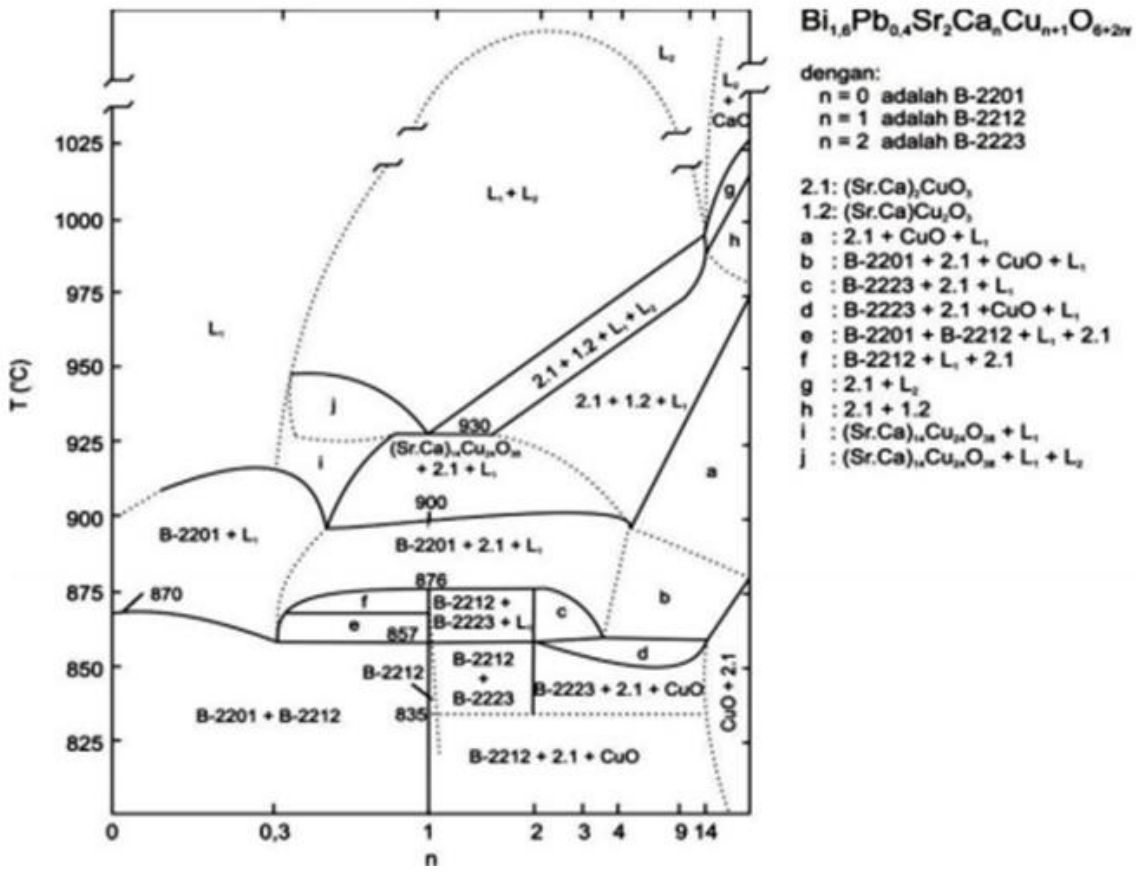
Pada Gambar 2.1a menunjukkan fase BSCCO-2201 dimana piramida Cu berada diantara dua bidang Sr. Bidang Bi berada pada bagian ujung struktur dan atom Cu dihubungkan dengan atom oksigen dalam struktur oktahedral. Pada Gambar 2.1b

menunjukkan fase BSCCO-2212 dimana piramida Cu dipisahkan oleh adanya bidang Ca, struktur kristal berbentuk tetragonal (Lehndroff, 2001). Pada Gambar 2.1c menunjukkan fase BSCCO-2223 membentuk struktur orthorombik. Rantai Sr memiliki ikatan yang paling lemah, sedangkan atom Cu sebagai kation yang paling tidak stabil memiliki tiga ikatan rantai yaitu Cu-Ca, Cu-O, dan Cu-Cu_2. Rantai Cu-O merupakan ikatan yang paling kuat (Lusiana, 2013).

Superkonduktor sistem BSCCO memiliki sifat anisotropi superkonduktivitas yang tinggi dan panjang koherensi yang pendek. Bahan superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST) umumnya mempunyai struktur yang berlapis sehingga bersifat anisotropis. Kendala terbesar yang masih menghadang terapan superkonduktor adalah bahwa superkonduktivitas bahan barulah muncuk pada suhu yang sangat rendah, jauh di bawah 0℃, dengan demikian penghematan pemakaina daya listrik masih harus bersaing dengan biaya pendinginan yang harus dilakukan (Sembiring dkk., 2016). Dalam pembuatan superkonduktor sistem BSCCO terdapat beberapa faktor yang dapat meningkatkan suhu kritis dan kemurnian fase, misalnya penambahan doping Pb, variasi waktu sintering, suhu sintering, dan variasi kadar Ca. Suhu sintering dapat mempercepat pertumbuhan fase dan pembentukan struktur kristal (Karo Karo dkk., 2021).

Sebuah kristal terdiri dari atom-atom yang tersusun dalam suatu pola secara berulang dan periodik dengan bentuk yang khas. Pengetahuan struktur kristal superkonduktor secara rinci dan tepat diperlukan untuk memahami korelasi struktur juga sifat superkonduktor yang berguna mengembangkan superkonduktor suhu tinggi dan pengendalian proses pembuatannya. Sistem superkonduktor suhu tinggi

pada umumnya memiliki sejumlah fase struktur yang berbeda dan struktur kristal yang rumit (Santosa, dkk., 2015). Diagram fase superkonduktor BSCCO ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Diagram Fase Superkonduktor BPSCCO (Strobel *et al.,* 1992).

2.3 Aplikasi Superkonduktor

Menurut Zainul (2021) superkonduktor dapat diaplikasikan yaitu sebagai kabel listrik, alat transportasi, superkomputer, dan generator listrik super-efisien. Kabel listrik menggunakan bahan superkonduktor agar energi listrik tidak akan mengalami disipasi karena hambatan pada bahan superkonduktor bernilai nol, maka penggunaan energi listrik semakin hemat. Penggunaan superkonduktor dalam bidang transportasi adalah kereta listrik super cepat yang dikenal dengan sebutan

Magnetik Levitation (*MAGLEV*). Di bidang komputer, superkonduktor digunakan untuk membuat suatu superkomputer dengan kemampuan berhitung fantastis. Perusahaan di Amerika, *American Superkonductor Corp* diminta untuk memasang suatu sistem penstabil listrik yang diberi nama *Distributed Superconducting Magnetic Energy Storage System* (D-SMES). Satu unit D-SMES dapat menyimpan energi listrik sebesar 3 Mega Watt yang dapat digunakan untuk menstabilkan listrik apabila terjadi gangguan listrik.

2.4 Kalsium Karbonat ($CaCO_3$)

Salah satu bahan yang paling banyak ditemukan di kerak bumi dan membentuk jenis batuan seperti batu gamping dan kapur yaitu $CaCO_3$ (Omari dkk., 2016). Menurut Larasati (2013) kalsium karbonat adalah mineral inorganik yang dikenal tersedia dengan harga murah secara komersial. Setiap molekul dari kalsium akan bergabung dengan 1 atom oksigen dan molekul lainnya akan berikatan dengan oksigen menghasilkan CO_2 yang akan terlepas ke udara sebagai gas karbon dioksida dengan reaksi pada Persamaan (2.1)

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \qquad (2.1)$$

Kalsium karbonat memiliki sifat kimia yang sama dengan karbonat-karbonat yang lain, yaitu jika kalsium karbonat bereaksi dengan asam kuat, maka akan melepaskan karbon dioksida, seperti Persamaan (2.2)

$$CaCO_3 + HCl \rightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O \qquad (2.2)$$

Penambahan kadar Ca pada sampel dikarenakan Ca adalah unsur yang berpengaruh pada pembentukan fase BSCCO. Ca merupakan atom yang berperan dalam pemisah antara bidang CuO yang terbentuk bidang CuO dipisahkan oleh bidang CaO dalam sistem BSCCO, bidang CaO didapatkan dari $CaCO_3$ yang terurai

menjadi CaO dan CO_2 lalu kemudian CO_2 dapat hilang karena proses pemanasan (Pratiwi, 2020).

2.5 Kalsinasi dan Sintering

Kalsinasi merupakan suatu proses pemanasan, namun di bawah titik lelehnya. Tujuan kalsinasi untuk melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat atau hidroksida, sehingga menghasilkan bahan dalam bentuk oksida dengan kemurnian yang tinggi (Suryawan, 2008).

Sintering adalah proses penggabungan partikel-partikel serbuk 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 *grain* serta peningkatan ikatan antar partikel yang berdekatan, sehingga menghasilkan bahan yang lebih mampat atau kompak (Ramlan dan Akhmad, 2021).

2.6 *X-Ray Diffraction* (XRD)

Sinar-X ditemukan pertama kali oleh Wilhem Conrad Rontgen pada tahun 1859. Tidak seperti cahaya biasa, sinar-X ini tidak terlihat, namun berada dalam garis lurus dan mempengaruhi film fotografi dengan cara yang sama seperti cahaya. Sinar-X yang digunakan dalam difraksi memiliki panjang gelombang kira-kira sebesar 0,5-0,2 Å. XRD merupakan salah satu metode karakterisasi yang menggunakan sinar-X untuk memindai sampel yang akan di teliti (Sari, 2021). Sinar-X dapat terbentuk apabila suatu logam sasaran ditembaki dengan berkas elektron energi tinggi. Dalam eksperimen digunakan sinar-X yang monokromatis. Kristal akan memberi hamburan yang kuat jika arah bidang kristal terhadap berkas

sinar-X (sudut θ) memenuhi persamaan Bragg (Callister, 2003). Peristiwa pembentukan sinar-X yaitu pada saat elektron yang berasal dari katoda menembus kulit atom dan mendekati inti kulit atom. Pada saat mendekati inti kulit atom, elektron ditarik mendekati inti atom yang bermuatan positif, sehingga lintasan elektron berbelok dan kecepatan elektron berkurang. Maka energi elektron menjadi berkurang. Energi yang hilang ini dipancarkan dalam bentuk sinar-X. Kemudian sinar-X tersebut menembak sampel padatan kristalin, sehingga mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg. Sistem kerja difraksi sinar-X didasarkan pada persamaan Bragg atau memenuhi Persamaan (2.3), (2.4), (2.5)

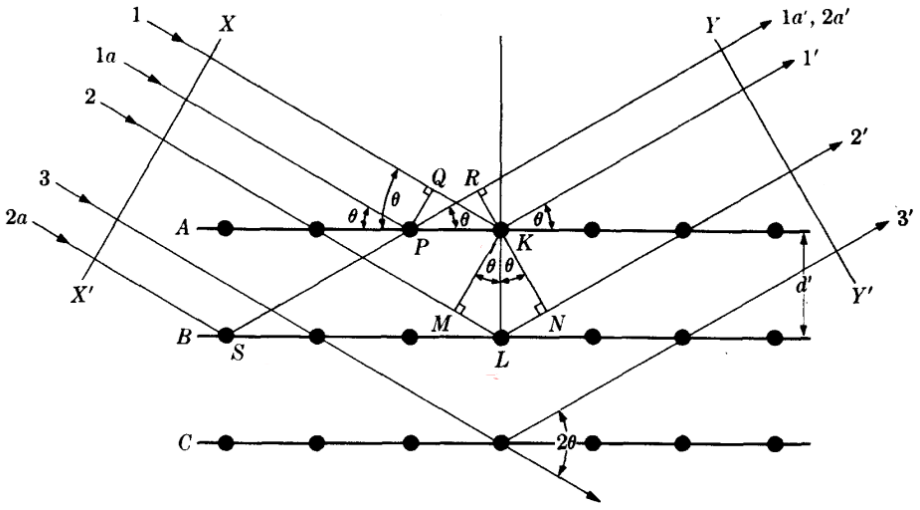
$$QK - PR = PK \cos\theta - PK \cos\theta = 0 \quad (2.3)$$

$$ML + LN = d' \sin\theta + d' \sin\theta \quad (2.4)$$

$$\lambda = 2d' \sin\theta \quad (2.5)$$

Dengan λ yaitu panjang gelombang sinar-X, d adalah jarak antar bidang, dan θ adalah sudut difraksi (Cullity,1978).

Skema difraksi sinar-X ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema difraksi sinar-X (Cullity, 1992).

Hukum Bragg dapat digunakan dengan dua cara yaitu dengan memakai sinar-X yang diketahui panjang gelombang λ dan mengukur sudut θ, maka dapat ditentukan pula jarak *d* dari berbagai bidang kristal (Robinson *et al*, 2005). Jika berkas paralel sempurna, maka sinar-X monokromatik sempurna dengan panjang gelombang merupakan sinar datang pada kristal dengan sudut θ (sudut Bragg), dimana θ diukur antara berkas datang dan bidang kristal tertentu (Cullity, 1978).

2.7 *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

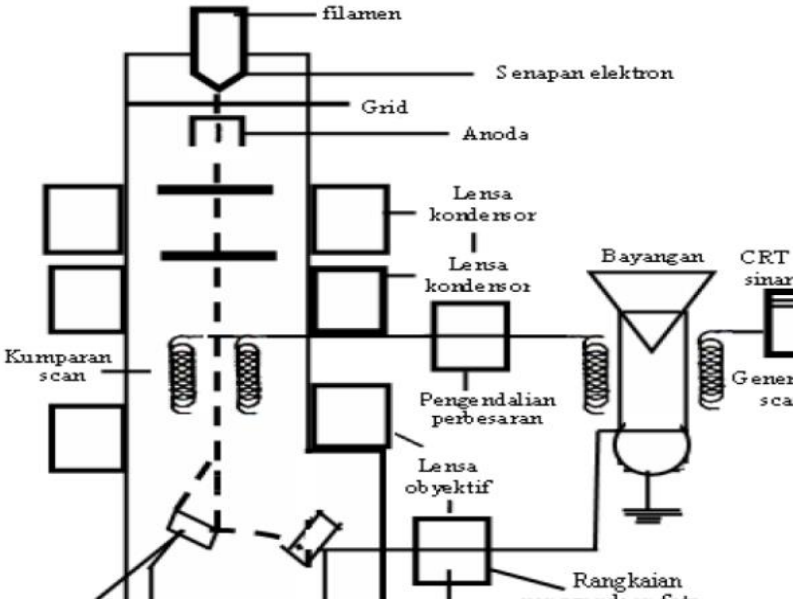
SEM pertama kali ditemukan pada tahun 1938 oleh ilmuan Jerman bernama Manfred Von Aedrnne dengan menggunakan prinsip tumbukan kertas elektron pada permukaan bahan. SEM adalah suatu tipe mikroskop elektron yang menggambarkan permukaan sampel dengan resolusi tinggi melalui proses pancaran energi yang tinggi dari elektron dalam suatu pola *scan raster* (Stokes, 2008). SEM digunakan dalam situasi yang membutuhkan pengamatan permukaan kasar dengan perbesaran berkisar antara 20 – 500.000 kali (Syam, 2017). Menurut Farikhin (2016) prinsip kerja SEM sebagai berikut:

a) *Electron gun* menghasilkan *electron beam* dari filamen. Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah *tungsten hairpin gun* 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.
b) Lensa magnetik menfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel.

c) Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan)* keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.

d) 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 gambar pada monitor CRT.

Skema dasar SEM ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Skema dasar SEM (Farikhin, 2016).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2022 sampai Februari 2022 di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Lampung, Laboratorium Kimia Anorganik FMIPA Universitas Lampung, dan SMK SMTI Bandar Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

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

3.3 Komposisi Bahan Dasar

Komposisi bahan awal untuk membuat 3 gram sampel superkonduktor BSCCO-2212 dengan variasi kadar $CaCO_3$ masing – masing 0,95; 1,00; 1,05; 1,10 mol diperoleh berdasarkan perhitungan menggunakan Persamaan (3.1) dan (3.4) dirangkum dalam Tabel 3.1, 3.2, 3.3, dan 3.4.

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

$$BM = \frac{BM-X}{BM-Total} \times \sum massa\ sampel \quad (3.2)$$

dengan *BMx* adalah massa atom X, *BM* adalah massa atom suatu unsur, dan fraksi adalah mol. Detail perhitungan sampel lain dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 3.1 Komposisi bahan awal BSCCO-2212/0,95

No.	Bahan	Fraksi (mol)	Massa untuk 3 gram sampel
1	Bi_2O_3	2	1,3767
2	$SrCO_3$	2	0,8723
3	$CaCO_3$	0,95	0,2809
4	CuO	2	0,4700
		Total	3,0000

Tabel 3.2 Komposisi bahan awal BSCCO-2212/1,00

No.	Bahan	Fraksi (mol)	Massa untuk 3 gram sampel
1	Bi_2O_3	2	1,3699
2	$SrCO_3$	2	0,8681
3	$CaCO_3$	1	0,2943
4	CuO	2	0,4677
		Total	3,0000

Tabel 3.3 Komposisi bahan awal BSCCO-2212/1,05

No.	Bahan	Fraksi (mol)	Massa untuk 3 gram sampel
1	Bi_2O_3	2	1,3633
2	$SrCO_3$	2	0,8638
3	$CaCO_3$	1,05	0,3075
4	CuO	2	0,4655
		Total	3,0000

Tabel 3.4 Komposisi bahan awal BSCCO-2212/1,10

No.	Bahan	Fraksi (mol)	Massa untuk 3 gram sampel
1	Bi_2O_3	2	1,3566
2	$SrCO_3$	2	0,8596
3	$CaCO_3$	1,10	0,3205
4	CuO	2	0,4632
		Total	3,0000

3.4 Preparasi Sampel

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

1. Penimbangan

Bahan dasar yang digunakan dalam penelitian ini terlebih dahulu ditimbang sesuai dengan komposisi pada diagram alir. Sampel superkonduktor BSCCO-2212 dibuat dengan 3 gram variasi kadar $CaCO_3$ sebesar 0,95; 1,00; 1,05; 1,10 mol.

2. Pelarutan

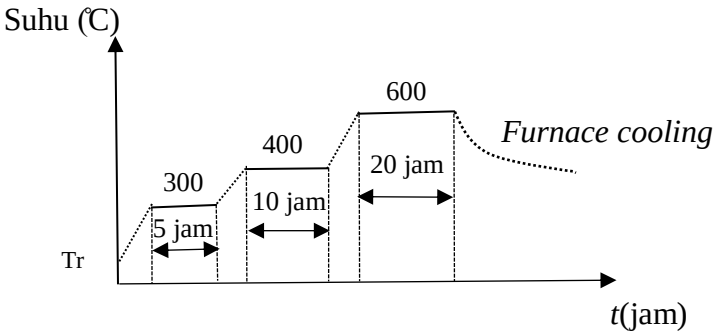
Setelah menimbang, kemudian mencampur dan melarutkan bahan dengan HNO_3 dan aquades sampai berubah warna menjadi biru jernih. Pelarutan bertujuan agar seluruh bahan memiliki homogenitas yang tinggi.

3. Pemanasan

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

4. Pengeringan

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



Gambar 3.1 Diagram pengeringan (Khafifah dkk, 2011).

5. Penggerusan

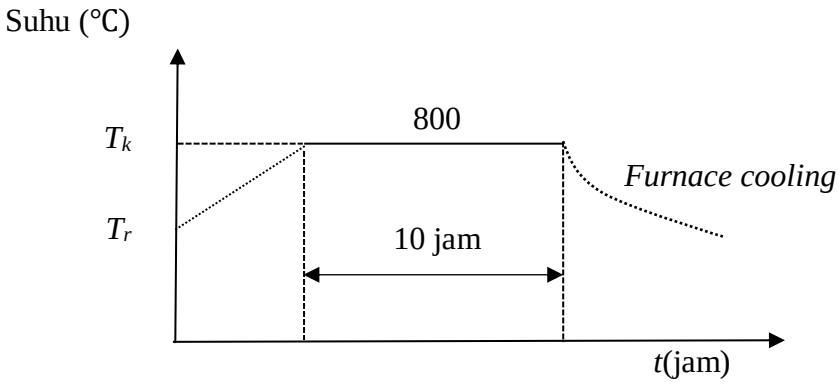
Sampel yang telah dikeringkan, digerus dengan mortal dan pastel secara manual selama ±10 jam secara bertahap sampai bahan terasa halus.

6. Kompaksi

Kompaksi adalah pemadatan serbuk menjadi pelet dengan alat *pressing* dengan tekanan sebesar 10 ton. Kompaksi bertujuan agar bahan padat dan relatif berdekatan satu dengan yang lain.

7. Kalsinasi

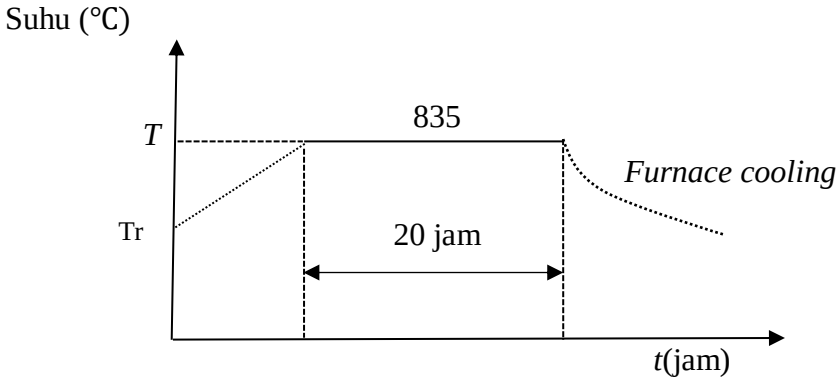
Sampel yang sudah terbentuk pelet dikalsinasi pada suhu 800℃ selama 10 jam. Setelah kalsinasi, sampel digerus kembali selama ±10 jam. Diagram kalsinasi dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Diagram kalsinasi (Khafifah dkk, 2011).

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 835℃ selama 20 jam dengan diagram yang dapat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram sintering (Khafifah dkk, 2011).

9. *X-Ray Diffraction* (XRD)

Karakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui tingkat kemurnian fase dengan menghitung fraksi volume, derajat orientasi, dan impuritas.

Hasil karakterisasi XRD dianalisis menggunakan program *HighScore Plus* versi 3.0e (3.0.5). Spektrum XRD memberi informasi mengenai puncak-puncak intensitas pada sudut 2θ tertentu. Untuk mempermudah penyajian data dan analisisnya, digunakan kode sampel yang telah ditentukan saat pembagian bahan. Kode sampel ditampilkan pada Tabel 3.5

Tabel 3.5 Kode sampel

No.	Kode Sampel	Kadar Ca (mol)
1.	BSCCO-2212/0,95	0,95
2.	BSCCO-2212/1,00	1,00
3.	BSCCO-2212/1,05	1,05
4.	BSCCO-2212/1,10	1,10

Tingkat kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2212 yang terbentuk dianalisis dengan menghitung fraksi volume, derajat ionisasi, dan impuritas menggunakan Persamaan (3.3), (3.4) dan (3.5).

$$F_{\mathrm{v}} = \frac{\sum I_{2212}}{\sum I_{\mathrm{total}}} \times 100\% \tag{3.3}$$

$$P = \frac{\sum I_{00l}}{\sum I_{2212}} \times 100\% \tag{3.4}$$

$$I = 100\% - F_{\mathrm{v}} \tag{3.5}$$

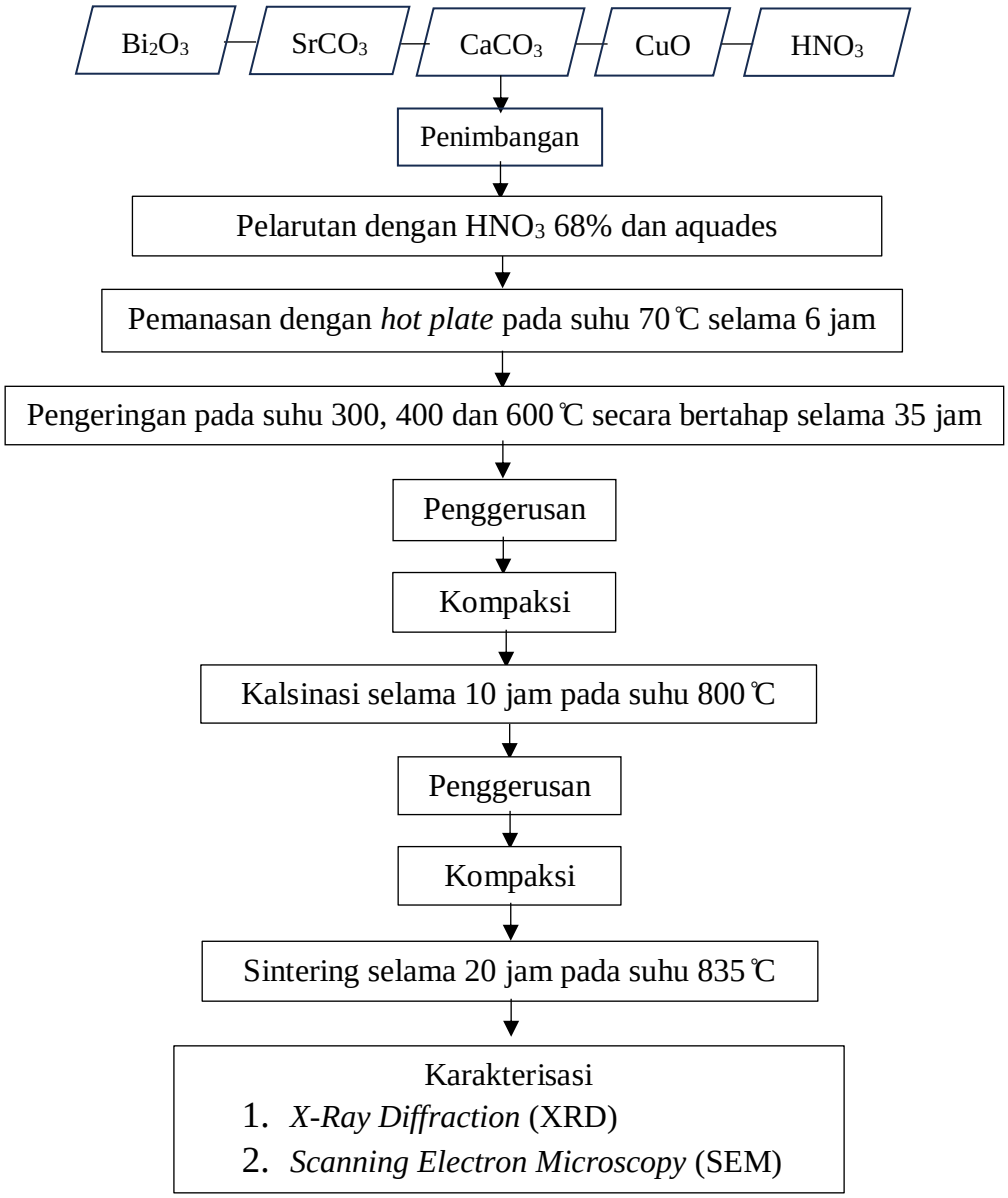
Dengan Fv adalah fraksi volume superkonduktor BSCCO-2212, P adalah derajat orientasi, I adalah impuritas (pengotor), I_{total} adalah intensitas total, dan I_{2212} adalah intensitas fase 2212, serta I_{00l} adalah intensitas fase Bi-2212 dengan $h = k = 0$ dan I bilangan genap.

10. *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

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

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitiran ini dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Tingkat kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2212 terbaik diperoleh pada BSCCO-2212/1,10 mol dengan fraksi volume sebesar 88,44%. Semakin banyak kadar Ca yang digunakan, maka semakin tinggi nilai fraksi volume yang dihasilkan;
2. Derajat orientasi tertinggi diperoleh sampel BSCCO-2212 pada kadar Ca sebanyak 0,95 yaitu sebesar 29,01%;
3. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa sampel sudah terorientasi meskipun belum sempurna dengan (*void*) yang dihasilkan relatif sedikit.

5.2 Saran

Pada sintesis superonduktor BSCCO-2212, sebaiknya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memvariasikan waktu dan suhu pemanasan (kalsinasi, dan sintering) .

DAFTAR PUSTAKA

Alviani, Risti Zulvi. 2016. Kajian material superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ untuk aplikasi rancang bangun siklotron di PSTA-BATAN Yogyakarta. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta. Yogyakarta.

Callister, W. D. 2003. *Material Science and Engineering An Intriduction.* Inggris. Jhon Wiley and Sons, Inc.

Clinton, Jaya. 2020. Pengaruh variasi diameter pada kawat superkonduktor FeSeTe terhadap sifat superkonduktivitas melalui proses sintering dan *drawing*. *Skripsi*. Institut Teknologi PLN. Jakarta.

Cullity, B.D. 1992. *Element of X-Ray Diffraction.* Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Washington, D.C.

Darminto dan Rahmawati, L. 2009. Nano kristalisasi superkonduktor $(Bi,Pb)_2\ Sr_2\ Ca\ Cu\ O_{8+\delta}$ dengan metode pencampuran basah. *Jurnal Dasar*.Vol. 4 No.2. Hal 75-80.

Darminto, Nugroho, A.A., Rusyadi, A., Menovsky, A.A., dan Loeksmanto. 1999. Variasi tekanan oksigen dalam penumbuhan kristal tunggal superkonduktor $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+}$ dan pengaruhnya. *Prociding Institut Teknologi Bandung*. Vol. 31. No.3. Hal 121-127.

Deva, Suryana.,Wayan Gede Suharta., I Ketut Putra. 2019. Pengaruh variasi unsur Gd pada struktur kristal superkoduktor Y-358 ($Y_{3-}XGd_xBa_5Cu_8O_{18-\delta}$). *Jurnal Teras*. Vol. 2. No.1. Hal 1-4.

Dewi, Y.P. 2016. Pengaruh komposisi pada sifat struktur dan superkonduktivitas Fe (Se,Te) dipreparasi dengan metode metalurgi serbuk. *Skripsi*. Universitas Airlangga. Surabaya.

Diantoro, M. 1997. Studi kinetika pembentukan superkonduktor sistem $Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ (2223) melalui prekursor fase (Bi,Pb)-2212. *Tesis*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Elma, Muthia. 2018. *Proses Sol Gel : Analisis, Fundamental dan Aplikasi*. Banjarmasin. Lambung Mangkurat University Press.

Farikhin, Fahrizal. 2016. Analisa *Scanning Electron Microscopy* komposit *polyester* dengan *filler* karbon aktif dan karbon non aktif. *Skripsi.* Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.

Fatimah, Nur Fitri dan Budi Utami. 2017. Sintesis dan analisis spektra IR, difraktogram XRD, SEM pada material katalis berbahan Ni/Zeolit alam teraktivasi dengan metode impregnasi. *Journal Cis-Trans (JC-T).*Vol. 1.Hal 35- 39.

Humairah, Nur Aisyah. 2015. Sintesis bahan $ND_1Fe_xBa_{2-x}Cu_3O_y$ dengan metode reaksi padatan (*Solid State Reaction)*.*Jurnal Saintifik.* Vol 1. NO. 1. Hal 103-110.

Karo Karo, Pulung., Risky Putra Ramadhan, Suprihatin, Yanti Yulianti. 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. 2. No. 1. Hal 86-95.

Khafifah, K., Baqiyah, M.A., dan Darminto. 2011. Nanokristalisasi superkonduktor $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O$ dengan variasi kalsinasi dan sintering melalui metode pencampuran basah. *Skripsi.* Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.

Larasati, A. 2013. Pengaruh kadar $CaCO_3$ terhadap pembentukan fase bahan superkonduktor BSCCO-2212 dengan doping Pb (BPSCCO-2212). *Skripsi.* Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Lehndroff, B.R. 2001. *High-Tc Superconducutors for Magnet and Energy Technology Fundamental Aspects.* Spinger-Verlag. Berlin.

Lubis, Hariyati., Agung Imduddin., Eddy Marlianto., Pius Sebleku., dan Eidi Sihombing. 2018. Pengaruh waktu proses sintering pada kawat superkonduktor Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O dengan selubung Ag dopan MgO menggunakan metode *powder in tube*. *Jurnal Aceh Physics.*Vol.7. No.1.17-23.

Lusiana. 2013. Proses Pembuatan Bahan Superkonduktor BSCCO dengan Metode Padatan. *Majalah Metalurgi.* Vol. 28. No.2. Hal 73-82.

Lusiana. 2014. Proses pembuatan material superkonduktor BSCCO dengan metoda padatan. *Majalah Metalurgi*.Vol.2. No1. Hal 1-8.

Margono, M. 1997. Pengaruh subsitusi gadolinum terhadap lantanum pada superkonduktor $La_{1,85}Sr_{0,15}CuO_4$. *Tesis.* Universitas Indonesia. Jakarta. Hal 27-36.

Omari, Al. M.M.H., LS. Rashid., N.A. Qinna., A.M Jaber., A.A. Badwan. 2016. Profiles of Drug Substance, Excipients, and Related Methodology. Vol. 41. No.2. Hal 31-132.

Pranomo, Andika Widya. 2020. *Pengembangan Material Superkonduktor Dan Biokampatibel Untuk Meningkatkan Kemandirian Alat Kesehaan MRI dan Implan Tulang di Indonesia.* LIPI press. Jakarta.

Pratiwi, Prastiana Tiara., Suprihatin., dan Simon Sembiring. 2020. Variasi kadar $CaCO_3$ terhadap pembentukan fase superkonduktor BSCCO 2223 menggunakan metode pencampuran basah. *Jurnal Aplikasi Sains, Informasi, Elektronika dan Komputer.* Vol. 2. No1. Hal 47-77.

Pratiwi, Rianggi Wahyuni. 2021. Pengaruh variasi kadar $CaCO_3$ terhadap pertumbuhan fase superkonduktor BPSCCO-2212 menggunakan metode pencampuran basah. *Skripsi.* Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Purwamargapratala, Yustinus. 2009. Sintetis superkonduktor $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ secara kopresipitasi untuk aplikasi industri nuklir. *Urania.* Vol 15.No. 4. Hal 221-229.

Rahardjo, Dwi Teguh. 2022. Refinement struktur kristal superkonduktor BSCCO-2212 dengan subsitusi Pb. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika.* Vol.12. No.1. Hal 6-13.

Ramadhan, Risky Putra. 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. 2. No. 4. Hal 86-95.

Ramlan dan Akhmad Aminuddin Bama.2021. Pengaruh suhu dan waktu sintering terhadap sifat bahan porselen untuk bahan elektrolit padat (komponen elektronik). *Jurnal Penelitian Sains.* Vol. 14. No. 1. Hal 23-25.

Robinson, J.W., Eillen, M.S.F and George, M.F. 2005. *Undergraduate Instrument Analysis Sixth Edition.* Marcell Dekker. New York.

Salahuddin. 2014. *Bahan Listrik.* Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh Jurusan Teknik Elektro. Aceh.

Santosa, Usman., Fuad Anwar., Agung Imaduddin., Dwi Teguh Rahardjo. 2015. Efek Doping Pb Rendah pada Superkonduktor Sistem BSCCO-2223. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika.*Vol.5. Hal 1-4.

Saputri, M., M. F. Sobari., A. I. Hanifah., W.A. Somantri., T. Saragi., dan Risdiana. 2016. Pengaruh konsentrasi *doping* Ce terhadap sifat listrik material $EU_{2-x}CE_xCuO_{4+A}$ pada daerah *under-doped. Jurnal Material dan Energi Indonesia.* Vol. 06. No. 02. Hal 30-36.

Sari, Meli Ratna., Suprihatin., Ediman Ginting Suka. 2014. Variasi suhu sintering dalam sintesis superkonduktor Bi-2212 dengan doping Pb (BPSCCO-2212) pada kadar Ca = 1,10. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika.*Vol.02. Hal 67-73.

Sembiring, Sehati Winarsih., Motlan., Abd Hakim S. 2016. Kristalisasi superkonduktor BSCCO (2212) dan pengaruh penambahan doping Pb dengan metode padatan. *Jurnal Einstein.* Vol. 4. Hal 60-64.

Stokes, D. J. 2008. *Principles Instrumental Analysis.* New York. John Wiley and Sons.

Strobel. P., Toledano, J. C., Morin, D., Schneck, J., Vaquir, G., Monnereau, O., Primot, J. and Fourier, T. 1992. Phase diagram of the system $Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr_2Ca_nCu_{n+1}O_{6+n}$ between 825℃ and 1100℃. *Journal Physic Superconductivity.* Vol. 102. No. 2. Hal 27-42.

Surahman, Rizki Putri., Suprihatin., Agus Riyanto. 2019. Pengaruh suhu *sintering* terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BPSCCO-2223 pada kadar Ca 2,10 menggunakan metode pencampuran basah. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika.*Vol.7. Hal 63-68.

Suryawan, I. 2008. Pengaruh tebal umpan butiran bola $(NH_4)_2U_2O_7.(C_2H_4O)_2$ dan waktu kalsinasi terhadap densitas U_3O_8. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Penolahan Perangkat Nuklir.*Hal 73-77.

Syam, Lisa Marlisa. 2017. Uji karakteristik nanopartikel magnetit menggunakan *X-Ray Diffraction* dan *Scanning Electron Microscopy. Skripsi.* Universitas Islam Negeri Alauddin Makasar. Makasar.

Widodo, H., dan Darminto. 2010. Nanokristalisasi superkonduktor $Bi_2SrCa_2Cu_3O_{10}$ dan $Bi_{1,6}Pbo_{0,4}Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ dengan metode kopresipitasi dan pencampuran basah. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi TELAAH.*Vol. 28. No.2. Hal 23-27.

Yuliati, T. 2010. Sintesis superkonduktor BPSCCO/Ag menggunakan metode padatan. *Skripsi.* Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Zainul, Rahadian. 2021. *Kimia Material.* Padang. Berkah Prima.