

**ANALISIS PERTUMBUHAN FASE SUPERKONDUKTOR BSCCO-2212
DAN BPSCCO-2212 AKIBAT VARIASI SUHU SINTERING
MENGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH**

(Skripsi)

Risky Putra Ramadhan



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

ANALISIS TINGKAT KEMURNIAN FASE SUPERKONDUKTOR BSCCO-2212 DAN BPSCCO-2212 AKIBAT VARIASI SUHU SINTERING MENGGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH

Oleh

Risky Putra Ramadhan

Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu sintering terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 menggunakan metode pencampuran basah. Variasi suhu sintering yang digunakan adalah 825, 830, 835 dan 840°C selama 20 jam. Hasil XRD menunjukkan bahwa tingkat kemurnian fase pada superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 meningkat hingga mencapai titik optimum pada suhu sintering 835°C kemudian mengalami penurunan pada suhu sintering 840°C. Fraksi volume tertinggi sampel BSCCO-2212 didapatkan pada suhu sintering 835°C sebesar 71,09% dan derajat orientasi tertinggi didapatkan pada suhu sintering 830°C sebesar 23,38%. Pada sampel 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 bahwa sampel BPSCCO-2212 memiliki tingkat kemurnian fase yang lebih tinggi dibandingkan BSCCO-2212.

Kata kunci : Superkonduktor BSCCO-2212, Suhu Sintering, Fraksi Volume

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE LEVELS OF CHASSIS PHASE BSCCO-2212 AND BPSCCO-2212 RESULTING FROM VARIATIONS SINTERING TEMPERATURES USE WET MIXING METHODS

By

Risky Putra Ramadhan

The research is done to see how variations of sintering temperatures would affect the level of chasteness of the superconducting phases of BSCCO-2212 and the BPSCCO-2212 using methods of moist mixing. Variations of sintering temperatures used are 825, 830, 835 and 840°C over 20 hours. XRD results show that the level of phase innocence on the superconductors of BSCCO-2212 and the BPSCCO-2212 increased to the point of optimum at sintering temperature 835°C then went down at sintering 840°C. The higher-volume fraction of the BSCCO-2212 obtained at sintering temperature 835°C by 71,09% and the highest degree of orientation obtained at sintering temperature 830°C by 23.38%. On sample BPSCCO-2212 fractions of the highest volume found at sintering temperature 835°C for 52.59% and the highest degree of orientation at sintering temperature 830°C by 43.49%. The ratio of sample BSCCO-2212 and BPSCCO-2212 were obtained that sample BPSCCO-2212 had a higher level of phase purity than BSCCO-2212.

Keywords: Superconductor BSCCO-2212, Sintering Temperature, Volume Fraction

**ANALISIS PERTUMBUHAN FASE SUPERKONDUKTOR BSCCO-2212
DAN BPSCCO-2212 AKIBAT VARIASI SUHU SINTERING
MENGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH**

Oleh

Risky Putra Ramadhan

Skripsi

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

Pada

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



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

Judul Skripsi : **ANALISIS PERTUMBUHAN FASE
SUPERKONDUKTOR BSCCO-2212 DAN
BPSCCO-2212 AKIBAT VARIASI SUHU
SINTERING MENGGUNAKAN METODE
PENCAMPURAN BASAH**

Nama Mahasiswa : **Risky Putra Ramadhan**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1617041028**

Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



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

Dr. Yanti Yulianti, M.Si.
NIP 19751219 200012 2 003

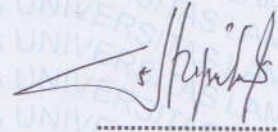
2. **Ketua Jurusan Fisika**

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

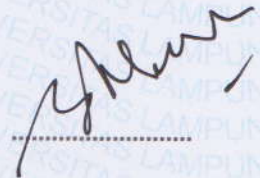
Ketua : Suprihatin, S.Si., M.Si.



Sekretaris : Dr. Yanti Yulianti, M.Si.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 19740705 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 2 November 2021

PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 2 November 2021



Risky Putra Ramadhan

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Risky Putra Ramadhan, dilahirkan pada tanggal 13 Januari 1998 di Metro. Penulis merupakan anak ketiga dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Suwono dan Ibu Min Khoiriyah.

Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis adalah Taman Kanak-Kanak (TK) Aisyiyah Bustanul Athfal, Mulya Asri, Tulang Bawang Barat pada Tahun 2004, Sekolah Dasar Negeri 3 Mulya Asri pada Tahun 2010, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Tulang Bawang Tengah pada tahun 2013. Selama menempuh pendidikan di sekolah menengah pertama penulis aktif mengikuti organisasi basket pada tahun 2011 sampai 2013. Lalu melanjutkan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Tumijajar pada Tahun 2016. Selama menempuh pendidikan di sekolah menengah atas penulis kembali aktif di organisasi basket sejak 2013 hingga 2016.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) pada tahun 2016. Selama menempuh pendidikan penulis dipercaya menjadi anggota bidang komunikasi dan informasi Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) Universitas Lampung pada tahun 2017. Pada tahun

2019 penulis menjadi pimpinan bidang Komunikasi dan Informasi Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi). Pada tahun 2019 penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Serpong, Tangerang Selatan, yang berjudul “*Pembuatan Lembaran Anoda Baterai Litium Berbasis Litium Titanat Oksida Terdoping Zirkonium*”. Penulis juga melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Tematik Universitas Lampung pada tahun 2020 di Desa Sukacari, Batanghari Nuban, Lampung Timur.

MOTTO

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.

***Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan),
kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain,***

dan hanya kepada Tuhanmu-lah hendaknya kamu

berharap". (QS. Insyirah : 6-8)

Tunjukkan usaha terbaikmu dan Allah akan

kerjakan sisanya

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur kepada Allah SWT, penulis persembahkan karya ini kepada

Ayah dan Ibu

Untuk segala do'a, dukungan dan perjuangan menjadi yang terdepan dan selalu terbaik.

Kakak dan Adik yang Aku Sayangi

Yang selalu memberikan do'a, dukungan, kebaikan, perhatian, semangat serta pengertiannya

Rekan-rekan seperjuangan "**FISIKA FMIPA UNILA 2016**"

Serta Almamater Tercinta "**Universitas Lampung**"

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Pertumbuhan Fase Superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 Akibat Variasi Suhu Sintering Menggunakan Metode Pencampuran Basah”** yang merupakan syarat untuk meraih gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Skripsi ini membahas tentang pengaruh variasi suhu sintering terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212. Pada skripsi ini dilakukan analisis terhadap hasil karakterisasi XRD sampel BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 untuk mengetahui tingkat kemurnian fase berdasarkan fraksi volume, impuritas dan derajat orientasi.

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini.

Bandar Lampung, 2 November 2021

Risky Putra Ramadhan

SANWACANA

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah mencurahkan segala nikmat, rahmat, kekuatan, hidayah dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “**Analisis Pertumbuhan Fase Superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 Akibat Variasi Suhu Sintering Menggunakan Metode Pencampuran Basah**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Universitas Lampung.

Melalui kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga pada semua pihak yang telah memberikan dukungan moril maupun spiritual. Teriring salam dan do'a serta ucapan terima kasih yang tak terhingga, penulis sampaikan kepada:

1. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. selaku dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan, dan memotivasi penulis.
2. Ibu Dr. Yanti Yulianti, M.Si. selaku dosen Pembimbing II yang telah memberikan bantuan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. selaku Penguji dan Pembahas atas saran dan kritik yang diberikan untuk skripsi ini.

4. Ibu Sri Wahyu Suciwati, M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama mengikuti perkuliahan.
5. Seluruh Dosen dan Staff Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Ibu dan Ayah tercinta yang selalu berjuang dan berdo'a demi kesuksesan penulis.
9. Kakak dan adik yang selalu membantu, memberikan semangat dan motivasi bagi penulis.
10. Saskya Adrila Ramadhanti yang menemani, mendoakan serta membantu dalam menyelesaikan skripsi.
11. Teman-teman ABAS yang selalu memberikan dukungan dan motivasi.
12. Ari, Yusril, Ibnu, Ridho, Afrizal, Raka, Rizky Qidel, Samsul, Arfi, Gilang, Dio yang telah membantu dan menyediakan tempat selama proses menyelesaikan skripsi.
13. Teman-teman mahasiswa Jurusan Fisika Angkatan 2016 dan semua pihak yang telah berperan dalam membantu dan mendukung penulis untuk menyelesaikan skripsi.

Bandar Lampung, 2 November 2021
Penulis,

Risky Putra Ramadhan

DAFTAR ISI

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

II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Superkonduktor.....	7
B. Karakteristika Bahan Superkonduktor.....	8
C. Superkonduktor BSCCO.....	9
D. Superkonduktor BSCCO-2212.....	12
E. Doping Pb.....	12
F. Kalsinasi.....	14
G. Sintering.....	15
H. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	16
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	19
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
B. Alat dan Bahan.....	19
C. Komposisi Bahan.....	20
D. Preparasi Bahan.....	20
E. Karakterisasi.....	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
A. Hasil Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) BSCCO-2212.....	27
B. Hasil Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) BPSCCO-2212.....	35
C. Pengaruh Penambahan doping Pb terhadap Tingkat Kemurnian Fase Bi-2212 (BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212).....	41
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	44
A. Kesimpulan.....	44
B. Saran.....	45

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi Bahan BSCCO-2212.....	20
2. Komposisi Bahan BPSCCO-2212	20
3. Suhu sintering serta pengkodean BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212.....	24
4. Hasil Perhitungan tingkat kemurnian fase BSCCO-2212 akibat variasi suhu sintering.....	33
5. Hasil perhitungan tingkat kemurnian fase BPSCCO-2212 akibat variasi suhu sintering.....	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Penolakan Garis Gaya Magnet (Kittel, 1996).....	8
2. Struktur Kristal BSCCO (Watanabe dkk., 2003).....	10
3. Diagram Pembentukan Fase Superkonduktor sistem BSCCO (Strobel dkk, 1992)	11
4. Skema difraksi Sinar-X (Cullity, 1978)	17
5. Diagram Pengeringan (Surahman dkk, 2019).....	22
6. Diagram kalsinasi (Surahman dkk, 2019).....	23
7. Diagram alir penelitian.....	26
8. Hasil analisis XRD sampel BSCCO-2212-825. (Keterangan : (a) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{x+8}$, (b) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_x$, (c) CaCuO_2 , (d) CuO , (e) Bi)	28
9. Hasil analisis XRD sampel BSCCO-2212-830. (Keterangan : (a) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{x+8}$, (c) CaCuO_2 , (d) CuO , (f) $\text{CaSr}_3\text{Bi}_2\text{O}_8$, (g) Ca_4O_4) .	29
10. Hasil analisis XRD sampel BSCCO-2212-835. (Keterangan : (a) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{x+8}$, (b) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_x$, (c) CaCuO_2 , (d) CuO , (g) Ca_4O_4 , (h) $\text{Sr}_2\text{Cu}_2\text{O}_3$)	30
11. Hasil analisis XRD sampel BSCCO-2212-840. (Keterangan : (a) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{x+8}$, (c) CaCuO_2 , (i) CaBi_2O_4 , (j) $\text{Sr}_{8,5}\text{Bi}_6\text{Ca}_{2,5}\text{O}_{22}$, (k) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_x$)	31
12. Hasil analisis XRD sampel BSCCO-2212-825. (Keterangan : (a) $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0,4})\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8,716}$, (b) $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0,4})\text{Sr}_2\text{CuO}_6$, (c) $\text{Sr}_{1.8}\text{CuBi}_{2.2}\text{O}_{6.1}$, (d) $\text{Ca}_{4.000}\text{O}_{4.00}$)	35

13. Hasil analisis XRD sampel BPSCCO-2212-830. (Keterangan : (a) $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8.716}$, (e) $\text{Ca}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$, (f) Sr_3PbO , (g) Pb_2O) 36
14. Hasil analisis XRD sampel BPSCCO-2212-835. (Keterangan : (a) $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8.716}$, (e) $\text{Ca}_2\text{Bi}_2\text{O}$, (h) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 37
15. Hasil analisis XRD sampel BPSCCO-2212-840. (Keterangan : (a) $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8.716}$, (b) $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{CuO}_6$ (i) $\text{Sr}_5\text{Pb}_3\text{CuO}_{12}$, (j) $\text{Cu}_2\text{Sr}_3\text{Bi}_4\text{O}_{11}$, (k) Bi_2O_3) 38
16. Perbandingan fraksi volume BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 akibat variasi suhu sintering 41
17. Perbandingan derajat orientasi BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 akibat variasi suhu sintering 42

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi saat ini tidak terlepas dari peranan material. Setiap material memiliki karakteristik yang berbeda. Salah satu material dengan karakteristik khusus yaitu material superkonduktor. Contoh dari penerapan superkonduktor adalah *magnetic levitated train (maglev)*. *Magnetic levitated train* memanfaatkan sifat diamagnetis dari superkonduktor untuk mengangkat kereta sehingga dapat melayang dan mengurangi gaya gesek (Fujimoto dkk., 2000).

Superkonduktor merupakan salah satu material yang banyak diteliti karena dapat menghantarkan arus listrik tanpa adanya hambatan ($\rho = 0$) ketika di bawah suhu kritisnya, sehingga dapat menghantarkan arus listrik tanpa kehilangan daya (Suprihatin, 2008). Suhu kritis adalah suhu yang menjadi batas perubahan sifat konduktor menjadi superkonduktor (Ismunandar dan Cun, 2002). Pesatnya perkembangan superkonduktor dimulai sejak ditemukannya superkonduktor suhu tinggi (SKST) pada tahun 1986. SKST yang ditemukan berupa bahan oksida atau keramik yang berinduk pada senyawa kuprat (Cu-O) dan bersifat multifase, struktur kristalnya berlapis, derajat anisotropi yang tinggi dan panjang koherensi yang pendek (Khurana, 1989). Superkonduktor BSCCO (*bismuth strontium calcium copper oxide*) merupakan salah satu material SKST yang banyak diteliti

(Chu and Mc Hendry, 1998). Terdapat 4 metode sintesis superkonduktor, antara lain metode sol gel (Fallaharani dkk., 2017), metode lelehan (Marhaendrajaya, 2001), metode padatan (Fauzi, 2017), dan metode pencampuran basah (Rohmawati dan Darminto, 2012). Metode padatan merupakan metode yang sering digunakan dalam sintesis superkonduktor BSCCO karena dinilai lebih efisien. Kelemahan dari metode reaksi padatan yaitu kurangnya homogenitas sampel (Reviana, 2013). Menurut Miyanami (2006) homogenitas sampel adalah kondisi dimana campuran bahan dalam sampel memiliki keseragaman bentuk dan ukuran. Metode pencampuran basah memiliki tingkat homogenitas sampel yang lebih tinggi dibandingkan metode reaksi padatan, dikarenakan sampel BSCCO yang dilarutkan menggunakan HNO_3 dan aquades secara perlahan hingga menjadi larutan berwarna biru jernih yang menandakan bahwa larutan telah homogen (Rohmawati dan Darminto, 2012).

Penelitian tentang superkonduktor hingga saat ini terus dilakukan dalam upaya menemukan superkonduktor yang memiliki suhu kritis (T_c) mendekati suhu ruang. Penelitian dilakukan menggunakan berbagai macam perlakuan seperti variasi suhu sintering, waktu sintering, dan lama waktu penahanan (Subarwati, 2013).

Suhu sintering menjadi salah satu faktor yang berpengaruh dalam sintesis superkonduktor karena dapat mempercepat pertumbuhan fase dan pembentukan struktur kristal. Suprihatin, dkk. (2017) menyatakan bahwa superkonduktor BPSCCO-2212 yang disintering pada suhu 830°C mengalami pembentukan kristal yang relatif baik dengan susunan lapisan yang searah dan ruang kosong antar lempengan relatif sedikit. Menurut Rahardjo (2011), superkonduktor

BPSCCO-2212 yang disintering pada suhu sintering 820°C dapat membentuk struktur kristal orthorombik dan mengurangi nilai residu.

Penelitian tentang superkonduktor BSCCO dengan variasi suhu sintering banyak dilakukan, salah satunya pada penelitian Harnova (2005) mengenai sistem sintesis dan perbedaan waktu sintering terhadap pembentukan fase superkonduktor BSCCO-2212 menggunakan metode reaksi padatan. Hasil penelitian Harnova (2005) menunjukkan bahwa sistem sintesis (kalsinasi-sintering) dipisah memiliki fraksi volume tertinggi sebesar 85% dan waktu penahanan sintering selama 20 jam memiliki fraksi volume tertinggi sebesar 88,04%.

Penelitian juga dilakukan oleh Rahmah (2020) mengenai pengaruh variasi waktu sintering selama 10, 20, 30 dan 40 jam dalam sintesis superkonduktor BSCCO-2212 dengan kadar Ca=1,10 menggunakan metode pencampuran basah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BPSCCO-2212 yang disintering pada suhu 830°C mengalami penurunan tingkat kemurnian fase seiring bertambahnya waktu sintering dengan fraksi volume tertinggi terdapat pada waktu sintering selama 10 jam yaitu sebesar 90,48%.

Kemurnian fase dan suhu kritis (T_c) superkonduktor dapat ditingkatkan dengan memberikan suatu doping (Currie dan Forest, 1998). Pemberian doping berperan penting dalam pembentukan superkonduktor T_c tinggi. Suatu material yang digunakan sebagai doping memiliki karakteristik dan keunggulan tersendiri. Pemilihan doping Pb dilakukan untuk menjaga stabilitas struktur superkonduktor BSCCO (Abbas dkk., 2015) dikarenakan bahan Pb memiliki ukuran atom dan nomor valensi yang mirip dengan unsur Bi, sehingga mampu mensubstitusi posisi

Bi pada sistem BSCCO (Roumie dkk, 2014) dan memudahkan pembentukan senyawa serta dapat mempengaruhi sifat senyawa yang dihasilkan pada superkonduktor BSCCO (Miller dkk., 2006). Penambahan doping Pb pada BSCCO-2212 akan meningkatkan derajat orientasi kristal yang terbentuk (Nurmalita, 2002).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Ghofur (2007) mengenai variasi doping Pb 0; 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5 mol pada suhu sintering 820°C menggunakan metode reaksi padatan menunjukkan bahwa pada sampel doping Pb dengan kadar 0,2 mol terbentuk fraksi volume sebesar 86,25% dan derajat orientasi 21,25%.

Hasil penelitian Sari (2014) mengenai pengaruh variasi suhu sintering dalam sintesis superkonduktor BSCCO dengan doping Pb (BPSCCO-2212) pada kadar $\text{Ca} = 1,10$ menggunakan metode reaksi padatan menunjukkan bahwa variasi suhu sintering: 815°C , 820°C , 825°C , dan 830°C cenderung meningkatkan fraksi volume (F_v). Fraksi volume (F_v) relatif baik pada sampel yang disintering pada suhu 830°C yaitu sebesar 90,10% dan derajat orientasi (P) relatif baik pada sampel dengan suhu 825°C sebesar 59,31%.

Pada penelitian ini dilakukan variasi suhu sintering pada superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 menggunakan metode pencampuran basah. Variasi suhu yang dilakukan pada penelitian ini adalah 825°C , 830°C , 835°C , dan 840°C . Sampel dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), kemudian dianalisis menggunakan program *highscore plus* (HSP) untuk mengetahui tingkat kemurnian fase.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi suhu sintering terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 menggunakan metode pencampuran basah?
2. Bagaimana pengaruh penambahan doping Pb terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BPSCCO-2212 menggunakan metode pencampuran basah?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi suhu sintering terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 menggunakan metode pencampuran basah.
2. Mengetahui pengaruh penambahan doping Pb terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BPSCCO-2212 menggunakan metode pencampuran basah.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Sintesis superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 dilakukan menggunakan metode pencampuran basah.
2. Sampel dikalsinasi pada suhu 800°C selama 10 jam.

3. Sampel disintering selama 20 jam, dengan variasi suhu sintering: 825°C, 830°C, 835°C dan 840°C.
4. Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan dianalisis dengan program *highscore plus* (HSP).
5. Penelitian tidak dilakukan uji efek meissner, suhu kritis (T_c), rapat arus kritis (J_c), dan struktur mikro.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh suhu sintering terhadap tingkat kemurnian fase pada superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 menggunakan metode pencampuran basah.
2. Sebagai acuan untuk melakukan penelitian lebih lanjut, terutama untuk superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212.
3. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, khususnya bidang Fisika Material.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Superkonduktor

Superkonduktor merupakan material dengan resistivitas (hambatan jenis) listrik bernilai nol ketika berada di bawah suhu kritisnya, sehingga arus listrik dapat mengalir tanpa kehilangan daya sedikitpun (Callister dan Rethwisch, 2014). Suhu kritis yang dimiliki material superkonduktor berbeda tergantung bahan pembentuknya. Pada superkonduktor BSCCO terdapat 3 fase yaitu 2201 dengan suhu kritis (T_c) sebesar 10°K , fase 2212 dengan T_c sebesar 80°K dan fase 2223 dengan T_c sebesar 110°K (Raffy, 2011).

Terdapat 2 macam superkonduktor, yaitu:

1. Superkonduktor tipe I

Superkonduktor tipe I memiliki satu medan magnet kritis (H_c). Ketika medan magnet dari luar lebih kecil daripada superkonduktor ($H < H_c$) maka superkonduktor memiliki sifat diamagnetik sempurna. Namun, ketika ($H > H_c$) maka sifat superkonduktivitasnya akan menghilang.

2. Superkonduktor tipe II

Superkonduktor tipe II memiliki dua medan magnet kritis yaitu H_{c1} dan H_{c2} . Ketika $H < H_{c1}$ superkonduktor bersifat diamagnetik sempurna. Pada

$H_{C1} < H < H_{C2}$ sebagian fluks magnet akan menembus superkonduktor (Gupta dan Multani, 1992).

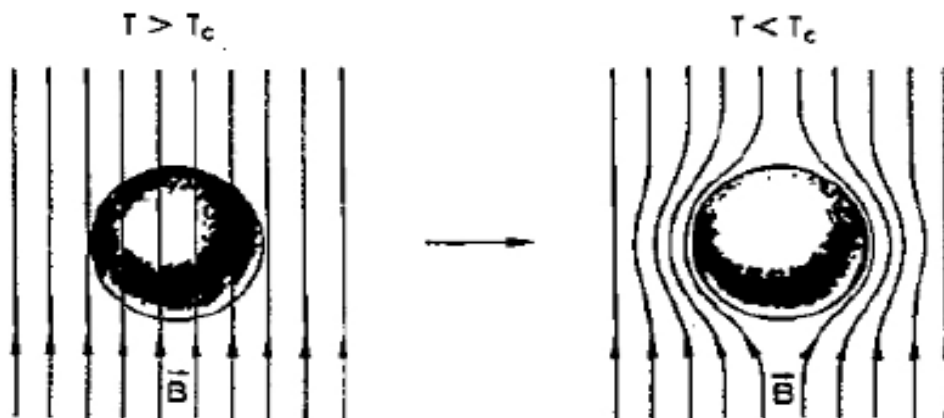
B. Karakteristik Bahan Superkonduktor

Menurut Tinkham (1996), bahan superkonduktor menunjukkan 2 sifat khusus yaitu diamagnetik sempurna dan konduktivitas sempurna.

1. Sifat diamagnetik sempurna

Jika sebuah superkonduktor ditempatkan pada suatu medan magnet, kemudian didinginkan hingga mencapai suhu di bawah suhu kritisnya, maka tidak akan ada fluks yang masuk ke dalam superkonduktor atau terjadi penolakan garis-garis gaya magnet (efek Meissner) (Salmah, 2001). Ilustrasi penolakan garis gaya magnet ditunjukkan pada Gambar 1.

Efek Meissner ini sangat kuat sehingga sebuah magnet dapat melayang karena ditolak oleh superkonduktor, tetapi medan magnet ini juga tidak boleh terlalu besar. Apabila medan magnet terlalu besar, maka efek Meissner ini akan hilang dan material akan kehilangan sifat superkonduktivitasnya (Shukor, 2009).



Gambar 1. Penolakan Garis Gaya Magnet (Kittel, 1996)

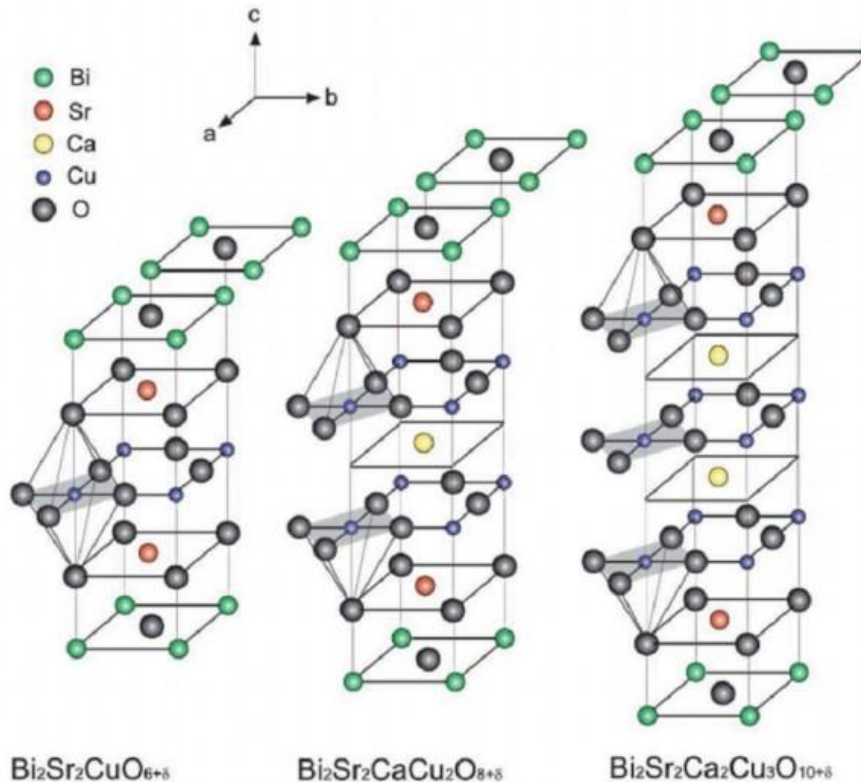
2. Konduktivitas Sempurna

Sifat konduktivitas sempurna terjadi ketika suatu bahan konduktor memiliki nilai resistivitas sama dengan nol. Nilai resistivitas akan turun seiring dengan penurunan suhu. Pada suhu tertentu, resistivitas superkonduktor dapat turun secara signifikan menjadi nol ($\rho = 0$). Suhu ketika resistivitas material menjadi nol disebut dengan suhu kritis (T_c) (Pikatan, 1989).

C. Superkonduktor BSCCO

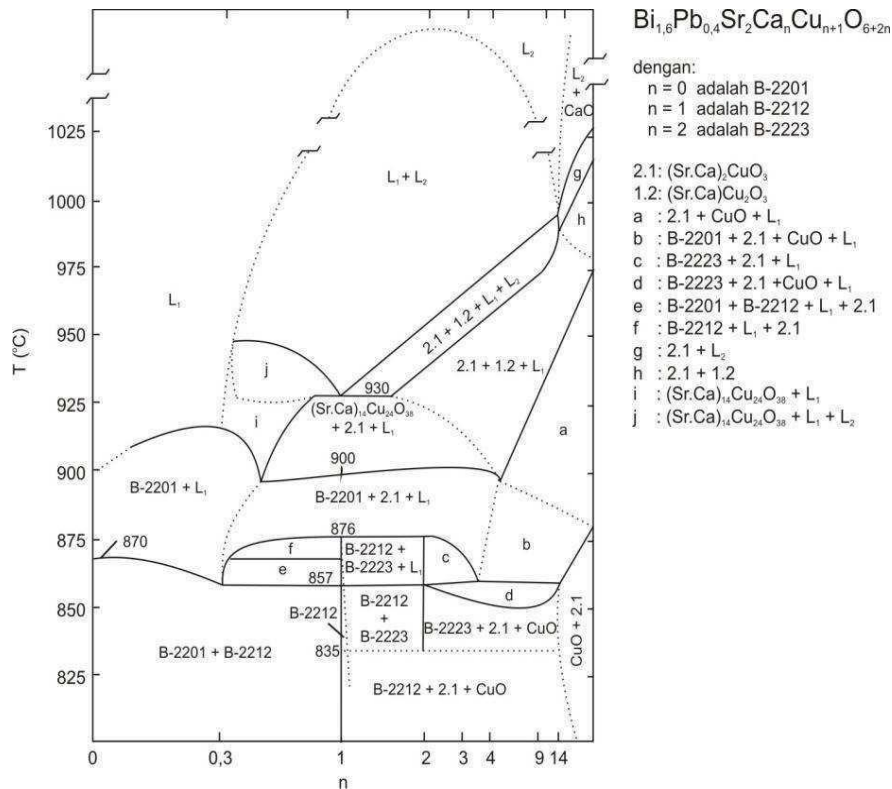
Superkonduktor BSCCO (*bismuth-strontium-calcium-copper oxide*) merupakan superkonduktor oksida keramik yang memiliki struktur berlapis, sehingga menyebabkan bahan superkonduktor BSCCO sangat rapuh dan mudah patah. Superkonduktor BSCCO memiliki keunggulan yaitu suhu kritisnya (T_c) yang relatif tinggi dan tidak mengandung unsur beracun (Herlyn, 2008).

Superkonduktor BSCCO memiliki tiga fase yaitu fase 2201 dengan suhu kritis (T_c) sebesar 10°K, fase 2212 dengan suhu kritis (T_c) sebesar 80°K dan fase 2223 dengan suhu kritis (T_c) 110°K (Yulianti, 2002). Struktur kristal superkonduktor BSCCO ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur Kristal BSCCO (Watanabe dkk., 2003).

Pembentukan fase superkonduktor BSCCO terjadi dalam suhu yang berbeda. Menurut Lusiana (2014) pada temperatur 650-840°C terbentuk fase Bi-2201, Ca_2CuO_3 dan CuO , kemudian pada suhu 840-890°C terbentuk fase Bi-2212 dan Bi-2223 (Strobel dkk, 1992). Diagram pembentukan fase superkonduktor sistem BSCCO ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Pembentukan Fase Superkonduktor sistem BSCCO (Strobel dkk, 1992).

Jangkauan suhu pembentukan fase BSCCO-2212 yaitu $650\text{--}840^\circ\text{C}$. Selain fase BSCCO-2212 juga terbentuk fase lain seperti BSCCO-2201, BSCCO-2223, Ca_2CuO_3 , dan CuO . Fase selain BSCCO-2212 disebut dengan impuritas (Marhaendrajaya, 2001).

Struktur kristal yang terbentuk dalam sampel superkonduktor akan sangat berpengaruh terhadap suhu kritisnya (T_c) (Lehndroff, 2001). Berbagai penelitian tentang superkonduktor BSCCO telah dilakukan untuk meningkatkan suhu kritis (T_c) dan kemurnian fase. Misalnya, dengan penambahan doping Pb (Shimono dkk, 1993), variasi waktu dan suhu sintering (Siswayanti dkk, 2015), dan variasi kadar Ca (Cardwell dan Ginley, 2003).

D. Superkonduktor BSCCO-2212

Keunggulan superkonduktor BSCCO fase 2212 dibandingkan dengan fase 2201 dan fase 2223 adalah pertumbuhan kristal yang lebih cepat sehingga lebih mudah terbentuk kristal tunggal dengan kualitas yang tinggi (Cruz dkk, 2000).

Superkonduktor BSCCO fase 2212 dengan komposisi $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}$ memiliki suhu kritis (T_c) sebesar 80°K (Siswanto, 1999) dan memiliki parameter kisi $a = 5,4 \text{ \AA}$; $b = 5,4 \text{ \AA}$ dan $c = 30,89 \text{ \AA}$. Sistem BSCCO-2212 memiliki lapisan CuO_2 ganda, dua lapisan semikonduktor BiO dan lapisan isolator SrO (Darminto dan Rohmawati, 2008).

Rohmawati dan Darminto (2012) membandingkan bahan BSCCO-2212 murni dan BSCCO-2212 dengan doping Pb (Timbal) yang disintesis menggunakan metode pencampuran basah. BSCCO-2212 murni memiliki ukuran kristal mencapai 90 nm dengan fraksi volume sebesar 68%, sedangkan BSCCO-2212 doping Pb memiliki ukuran kristal mencapai 100 nm dengan fraksi volume sebesar 85%. Sari (2014) menyatakan bahwa BSCCO-2212 dengan doping Pb yang disintering pada suhu 830°C diperoleh fraksi volume sebesar 90,10%. Lusiana (2014) menyatakan superkonduktor BSCCO-2212 tanpa doping Pb yang disintesis dengan metode reaksi padatan memiliki fraksi volume terbesar pada suhu 845°C sebesar 73,6 %.

E. Doping Pb

Doping memiliki peranan penting dalam pembentukan superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST). Menurut para peneliti, tanpa adanya doping maka fase tunggal superkonduktor suhu kritis tinggi sulit untuk ditumbuhkan. Hal ini dikarenakan

struktur kristal yang tidak stabil akibat adanya derajat ketidakteraturan (Escuredo dkk., 1989). Penelitian tentang pemberian doping pada superkonduktor BSCCO telah banyak dilakukan, seperti doping Ag, Mg dan Pr (Boussouf dkk., 2009), doping Pb (Shimono dkk., 1993) dan doping Hg (Shan dkk., 1995).

Penggunaan doping dapat berupa substitusi atau penggantian atom asli dalam superkonduktor dengan syarat memiliki ukuran atom yang sama atau tidak jauh berbeda. Penggunaan doping juga dapat berupa penambahan, yaitu menambahkan atom-atom doping ke atom-atom asli superkonduktor sehingga mampu meningkatkan derajat orientasi, fraksi volume, dan menurunkan impuritas dari struktur kristal (Nurmalita, 2002). Dalam sintesis superkonduktor BSCCO, Pb digunakan sebagai doping karena memiliki titik leleh yang lebih rendah dibandingkan dengan Sr, Ca dan Cu sehingga diharapkan substitusi parsial dari Bi oleh Pb dapat dilakukan. Doping Pb dianggap sesuai sebagai doping superkonduktor BSCCO, dikarenakan memiliki ukuran atom dan nomor valensi yang hampir sama dengan Bi (Miller dkk, 2006).

Substitusi Pb pada superkonduktor BSCCO-2212 dapat meningkatkan rapat arus kritis (J_c) (Darminto dan Rohmawati, 2002). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Rahardjo (2011) mengenai pengaruh substitusi Pb dalam pembentukan struktur kristal superkonduktor BSCCO-2212 menyatakan bahwa penambahan doping Pb pada superkonduktor BSCCO-2212 memberikan peningkatan fraksi volume dan menurunkan impuritas.

F. Kalsinasi

Kalsinasi memiliki makna yang berbeda-beda, IUPAC mendefinisikan kalsinasi sebagai pemanasan hingga mencapai suhu yang tinggi tergantung pada jenis bahannya (McNaught dan Wilkinson, 1997). Menurut Pinna (1998), kalsinasi merupakan pemanasan berupa reaksi dekomposisi secara endotermik. Kalsinasi berfungsi melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat atau hidroksida yang tidak diperlukan dalam reaksi sehingga bahan berubah menjadi bentuk oksida. Kalsinasi dapat mempengaruhi fraksi volume dalam sintesis superkonduktor BSCCO (Pinna, 1998).

Kalsinasi diperlukan sebagai penyiapan serbuk keramik untuk diproses lebih lanjut dan juga mendapatkan ukuran partikel yang optimum serta menguraikan senyawa – senyawa dalam bentuk garam atau dihidrat menjadi oksida dan membentuk fase kristal. Peristiwa yang terjadi selama kalsinasi material keramik antara lain:

- a) Pelepasan air (H_2O) dan hidroksida (OH) berlangsung pada kisaran suhu $100^{\circ}C$ hingga $300^{\circ}C$.
- b) Pelepasan gas seperti karbon dioksida (CO_2) berlangsung pada suhu $600^{\circ}C$. Pada tahap ini terjadi pengurangan berat bahan.
- c) Pada kisaran suhu $800^{\circ}C$ terbentuk struktur kristal, dimana pada kondisi ini terjadi ikatan yang kuat antar partikel (Reed, 1988).

Dibandingkan dengan konduktor biasa yang memiliki suhu optimum kalsinasi pada $800^{\circ}C$ (Indriati, 2013), superkonduktor memiliki suhu optimum kalsinasi yang lebih tinggi. Pada superkonduktor, kalsinasi dilakukan pada suhu lebih dari

750°C dengan tujuan membuang senyawa yang tidak dibutuhkan seperti H₂O dan CO₂ (Sitorus dkk, 2018). Kalsinasi di atas suhu 750°C pada superkonduktor akan menyebabkan dekomposisi fase (Darsono dkk, 2015), sehingga muncul fase BSCCO-2201 dan impuritas seperti CaCO₃ (Marhaendrajaya, 200) yang merupakan hasil dari dekomposisi fase BSCCO-2212.

G. Sintering

Sintering merupakan pemanasan pada suhu tinggi untuk menghasilkan ikatan antar partikel dan penyatuan partikel-partikel suatu bahan sehingga terjadi pemadatan. Selama sintering, terjadi pengurangan pori-pori pada sampel disertai dengan penumbuhan butir. Hal ini dikarenakan dua buah partikel saling bertumbukan, sehingga terjadi ikatan yang kuat antar butir (Suryani, 2016).

Budihartono (2012) menyatakan bahwa ikatan yang terjadi selama sintering akan meningkatkan kepadatan (*density*) serta sifat mekanis seperti kekuatan dan kekerasannya.

Menurut Vlack (2001), tiga hal yang mempengaruhi sintering adalah:

a. Ukuran partikel

Partikel yang halus dapat meningkatkan gaya penggerak sintering, memendekkan jarak difusi atom, meningkatkan kelarutan partikel dalam fase cair, dan mempercepat waktu sintering.

b. Suhu dan waktu pembakaran

Semakin tinggi suhu dan waktu sintering akan meningkatkan kepadatan hasil

sintering sehingga mengurangi porositas bahan. Namun memiliki kerugian seperti penyusutan ukuran partikel dan terjadinya penumbuhan butir.

c. Tekanan

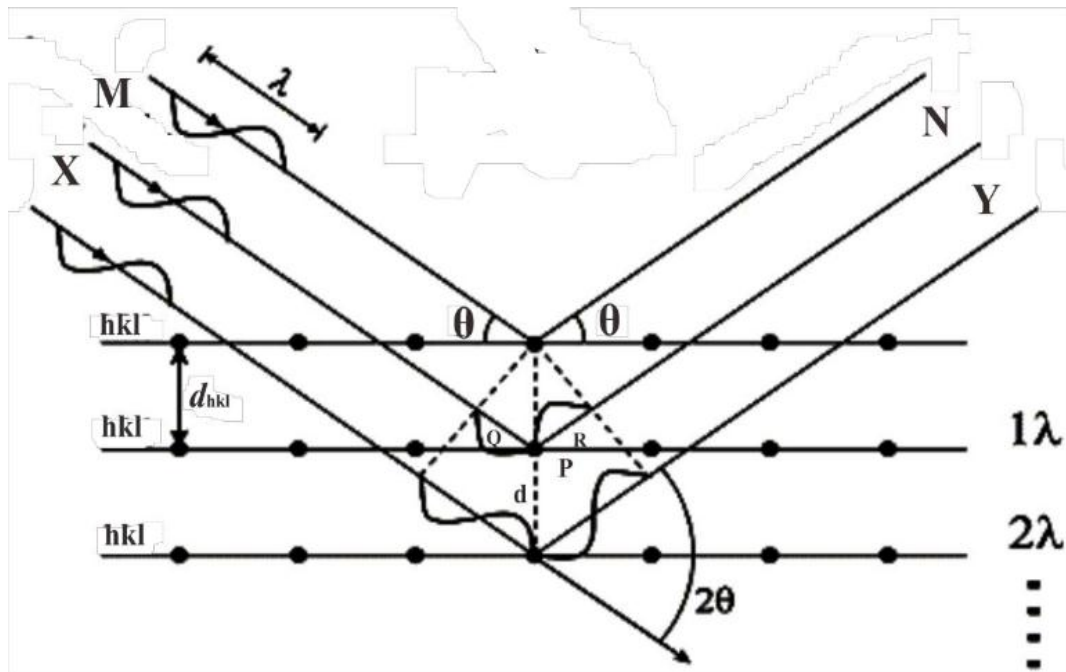
Semakin tinggi tekanan hasil kompaksi maka semakin rapat kontak antar partikel dan semakin kecil resistansi difusi selama sintering.

H. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Sinar-X merupakan bentuk radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang $\lambda = 0,05 - 0,25$ nm yang dapat mendeteksi jarak antar atom suatu kristal (Smith, 1990). Dengan demikian, kristal dapat mendifraksikan sinar-X karena kristal tersusun atas atom-atom yang teratur dan dapat berperan sebagai pusat penghamburan sinar-X (Tipler, 1991).

X-Ray Diffraction (XRD) digunakan untuk mengetahui fase kristal yang meliputi perubahan struktur fase dan ukuran partikel bahan seperti keramik, komposit, dan polimer. Secara umum pola difraksi dapat menangkap informasi mengenai simetri susunan atom, struktur kristal, orientasi kristal serta pengukuran berbagai sifat bahan (tegangan, vibrasi termal dan cacat kristal) (Cullity, 1978).

Difraksi sinar-X erat kaitannya dengan hukum Bragg yang merupakan teori terjadinya difraksi. Skema difraksi sinar-X dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema difraksi Sinar-X (Cullity, 1978).

Gambar 4 menunjukkan sinar yang ditembakkan pada sebuah kristal dengan sudut datang 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 ini sama dengan n dikalikan λ agar kedua fase sinar tetap sama.

$$n\lambda = QP + PR \quad (2.2)$$

$$\sin \theta = \frac{QP}{OP} = \frac{QP}{d} \quad (2.3)$$

Dari Gambar 4 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 (2.3)

$$d \sin \theta = QP$$

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

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

dengan:

λ = panjang gelombang (Å)

d = jarak antar bidang kisi (Å)

θ = sudut deviasi

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

Sinar yang dipantulkan selanjutnya ditangkap dan diterjemahkan oleh detektor sebagai sebuah puncak difraksi. Tiap puncak yang muncul pada spektrum XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran kemudian dicocokkan dengan data standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material (Ratnasari dkk, 2009; Suryanarayana dkk, 1998).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Agustus 2020 sampai Januari 2021 di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Lampung dan SMK-SMTI Bandar Lampung. Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Universitas Negeri Padang, Padang.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu neraca *sartorius* digital, alat penggerus (*paste* dan *mortar*), spatula, *glass beaker*, *hot plate*, tungku pemanas (*furnace*), cawan (*crucible*), cetakan bahan, alat pencetakan (pelet), *X-Ray Diffraction* (XRD).

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan bahan oksida dan karbonat dengan tingkat kemurnian tinggi yaitu Bi_2O_3 (99,9%) dari Strem Chemical; SrCO_3 (99,9%) dari Strem Chemical; CaCO_3 (99,9%) dari Strem Chemical; dan CuO (99,9%) dari Merck, PbO (99%) dari Aldrick, HNO_3 dan aquades.

C. Komposisi Bahan

Komposisi bahan awal untuk membuat 3 gram sampel superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Komposisi Bahan BSCCO-2212

Bahan	Fraksi Mol	Massa Bahan
Bi ₂ O ₃	2,0	1,3699
SrCO ₃	2,0	0,8681
CaCO ₃	1,1	0,2943
CuO	2,0	0,4677
Total		3,0000

Tabel 2. Komposisi Bahan BPSCCO-2212

Bahan	Fraksi Mol	Massa Bahan
Bi ₂ O ₃	1,8	1,2353
PbO	0,2	0,1315
SrCO ₃	2,0	0,8697
CaCO ₃	1,1	0,2948
CuO	2,0	0,4686
Total		3,0000

D. Preparasi Bahan

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

1. Penimbangan

Bahan dasar yang digunakan dalam penelitian ini ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan takaran yang sudah ditentukan pada Tabel 1 dan Tabel 2, kemudian ditempatkan pada wadah khusus.

2. Pelarutan

Bahan yang telah ditimbang dilarutkan menggunakan asam nitrat (HNO_3) 68% dan aquades, kemudian diaduk secara perlahan sampai larutan berwarna biru jernih yang menandakan bahwa larutan sudah homogen.

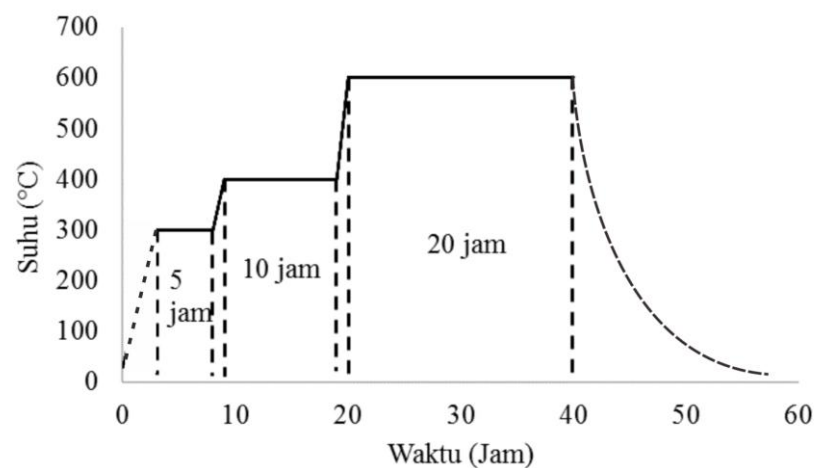
3. Pemanasan

Sampel yang telah larut, kemudian dipanaskan menggunakan *hot plate*, pada suhu 70°C selama 5-6 jam sampai sampel menjadi kering. Proses ini bertujuan untuk menguapkan bahan-bahan pelarut seperti aquades.

4. Pengeringan

Pengeringan dilakukan dalam *furnace* pada suhu 300°C , 400°C , dan 600°C (Surahman dkk, 2019; Marhaendrajaya, 2001) secara bertahap hingga bahan menjadi benar-benar kering.

Pengeringan dimulai pada suhu ruang sekitar 30°C kemudian dinaikkan menuju suhu 300°C dengan laju kenaikan sebesar $1,5^\circ\text{C}/\text{menit}$. Pada suhu 300°C ditahan selama 5 jam. Kemudian suhu dinaikkan dari 300°C ke 400°C dengan laju yang digunakan sebesar $1,67^\circ\text{C}/\text{menit}$. Pada suhu 400°C ditahan selama 10 jam. Kemudian dinaikkan kembali dari 400°C ke 600°C dengan laju yang digunakan sebesar $3,3^\circ\text{C}/\text{menit}$ dan ditahan selama 20 jam. Diagram pengeringan yang dilakukan secara bertahap ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Pengeringan (Surahman dkk, 2019).

5. Penggerusan

Setelah bahan dikeringkan dalam *furnace*, dilakukan penggerusan dengan *mortar dan pastle* secara bertahap selama ± 10 jam sampai bahan terasa halus.

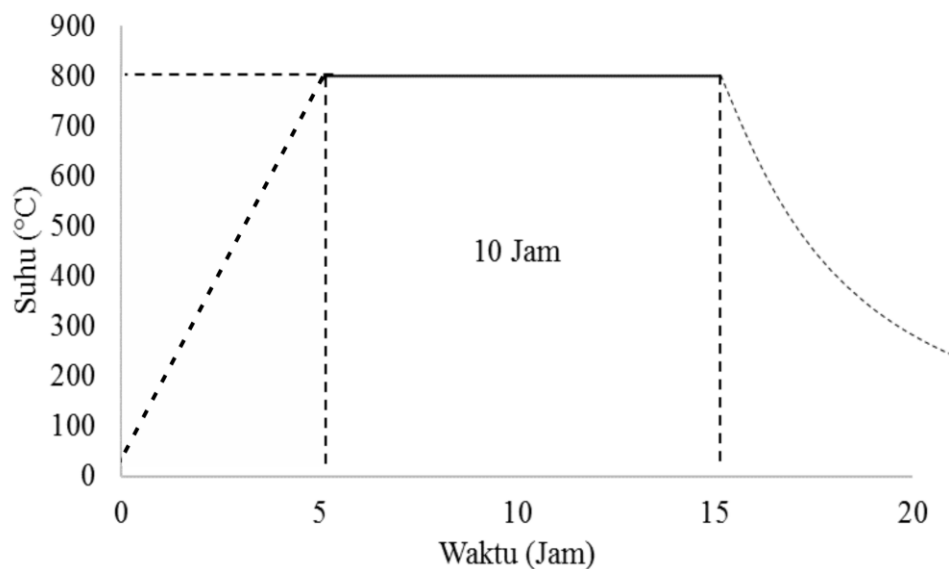
6. Kompaksi

Kompaksi dilakukan dengan tujuan memadatkan sampel sehingga jarak atom dengan atom lain menjadi lebih berdekatan dan terjadi proses difusi serta ikatan yang kuat apabila diberi perlakuan panas. Pada penelitian ini kompaksi dilakukan menggunakan alat *pressing* dengan kuat tekan 8 ton, ukuran cetakan berdiameter 10 mm dan tebal 2-3 mm (Surahman dkk, 2019).

7. Kalsinasi

Kalsinasi bertujuan melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat atau hidroksida yang tidak diperlukan saat reaksi, sehingga sampel berbentuk oksida. Sampel yang sudah berbentuk pelet dikalsinasi pada suhu 800°C selama 10 jam.

Kalsinasi dilakukan dengan menaikkan suhu mulai dari suhu ruang yaitu sekitar 30°C ke 800°C dengan laju kenaikan sebesar 2,5°C/menit. Setelah mencapai suhu 800°C, suhu ditahan selama 10 jam. Kemudian didinginkan kembali menggunakan *furnace cooling*. Setelah itu sampel digerus selama ±10 jam hingga halus dan dikompaksi kembali. Diagram kalsinasi ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram kalsinasi (Surahman dkk, 2019).

8. Sintering

Sebelum sintering, kontak permukaan antarpartikel dimaksimalkan dengan melakukan kompaksi sehingga bentuk awal bahan yang dipadatkan dapat dipertahankan dari penyusutan maupun pengembangan. Sintering dilakukan selama 20 jam dengan variasi suhu dan pengkodean sampel ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Suhu sintering serta pengkodean BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212

No	Suhu (°C)	Kode sampel BSCCO-2212	Kode sampel BPSCCO-2212
1	825	BSCCO-2212-825	BPSCCO-2212-825
2	830	BSCCO-2212-830	BPSCCO-2212-830
3	835	BSCCO-2212-835	BPSCCO-2212-835
4	840	BSCCO-2212-840	BPSCCO-2212-840

E. Karakterisasi

Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) bertujuan untuk mengetahui fase yang terbentuk, serta menganalisis tingkat kemurnian fase (fraksi volume, derajat orientasi, dan impuritas) superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212. Hasil uji diperoleh dengan menembak sampel menggunakan sumber Cu-K α yang memiliki panjang gelombang 1,54 Å. Data diambil dalam rentang $2\theta = 5^\circ$ sampai 80° , dengan modus *scanning continue* dan *step size* sebesar $2\theta = 0,05$ serta waktu 2 detik *per step*.

Hasil karakterisasi XRD dianalisis dengan program *highscore plus* versi 3.0e (3.0.5). Spektrum XRD memberi informasi mengenai puncak-puncak intensitas pada sudut 2θ tertentu. Spektrum XRD dari BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 yang diperoleh dibandingkan dengan *database*. Tingkat kemurnian fase BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 yang terbentuk dapat diperoleh dengan menghitung fraksi volume (Fv), derajat orientasi (P) dan impuritas (I) yang terkandung pada sampel menggunakan persamaan (3.1) sampai dengan (3.3) (Widodo dan Darminto, 2010).

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

$$P = \frac{\sum I(001)}{\sum I(2212)} \times 100\% \quad (3.2)$$

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

Dimana F_v = Fraksi volume fase Bi-2212 (%)

P = Derajat orientasi (%)

I = Impuritas (%)

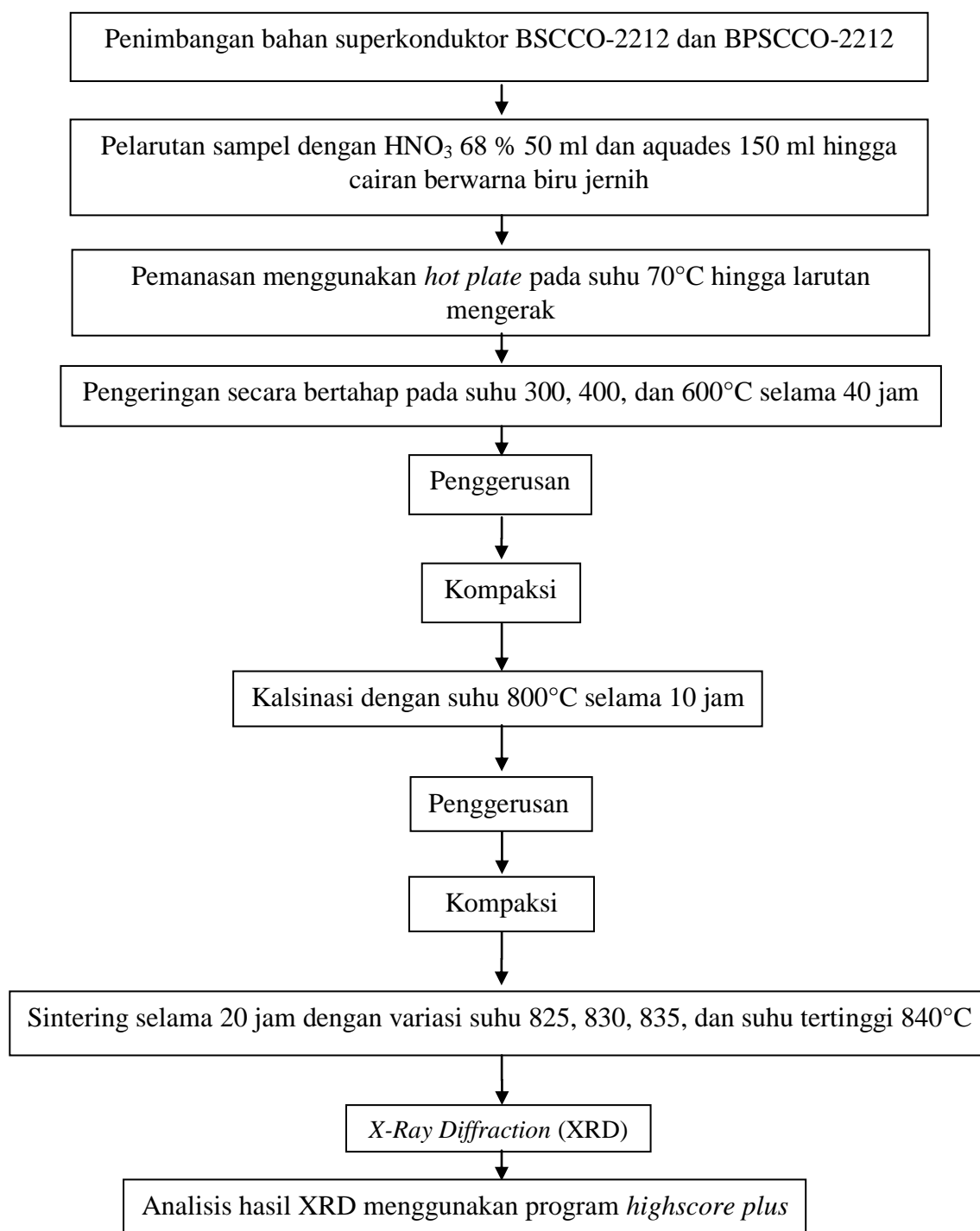
I_{total} = Intensitas total

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

$I(001)$ = Intensitas fase Bi-2212 dengan $h=k=0$ dan l bilangan genap

E. Diagram Alir

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alir penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan sintesis superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 dengan variasi suhu sintering 825°, 830°, 835° dan 840°C selama 20 jam menggunakan metode pencampuran basah.

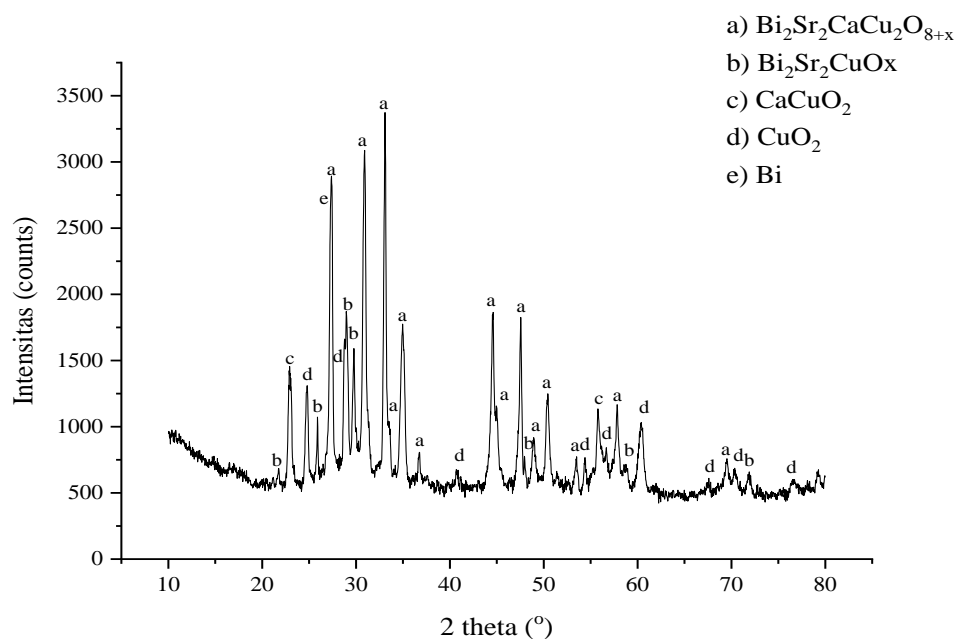
A. Hasil Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) BSCCO-2212

Pada penelitian ini sampel superkonduktor BSCCO-2212 dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Spektrum hasil karakterisasi dianalisis menggunakan program *highscore plus* dengan cara mencocokkan puncak pada sampel dengan *database* standar ICDD menggunakan metode *search and match*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kemurnian fase yang terbentuk, meliputi fraksi volume, derajat orientasi, dan impuritas.

Pada proses analisis ini digunakan sub menu *search and peak* untuk menentukan puncak pada spektrum sampel dengan intensitas tertinggi. Setelah ditemukan, maka akan muncul garis biru sebagai penanda puncak-puncak dengan intensitas tertinggi. Puncak-puncak tersebut kemudian dicocokkan dengan *database*. Kriteria pemilihan kandidat *database* yaitu dengan memilih *database* yang memiliki kualitas *star*, *indexed* atau *calculated*, yang kemudian *database* tersebut dipindahkan ke kolom pada menu *pattern list* hingga garis biru penanda puncak-puncak tersebut menghilang.

Cara pencocokan database adalah dengan mencari nilai delta d yang tidak berkisar atau lebih dari 0,01. Nilai delta d ditentukan dengan cara menyelisihkan d -spacing (jarak antar kisi) sampel dengan *database* sehingga menghasilkan nilai delta d yang tidak memiliki nilai lebih dari 0,01 agar sampel dapat dikatakan cocok dengan *database*. Pada sampel BSCCO-2212 *database* yang digunakan antara lain: 00-041-0317, 01-079-2181, 01-082-1772, 01-077-1898, 01-085-1330, 00-049-0864, 96-900-6720, 01-080-0864, 00-043-0213, 00-050-1731, 00-042-0743.

Hasil analisis XRD sampel BSCCO-2212-825 ditunjukkan pada Gambar 8.

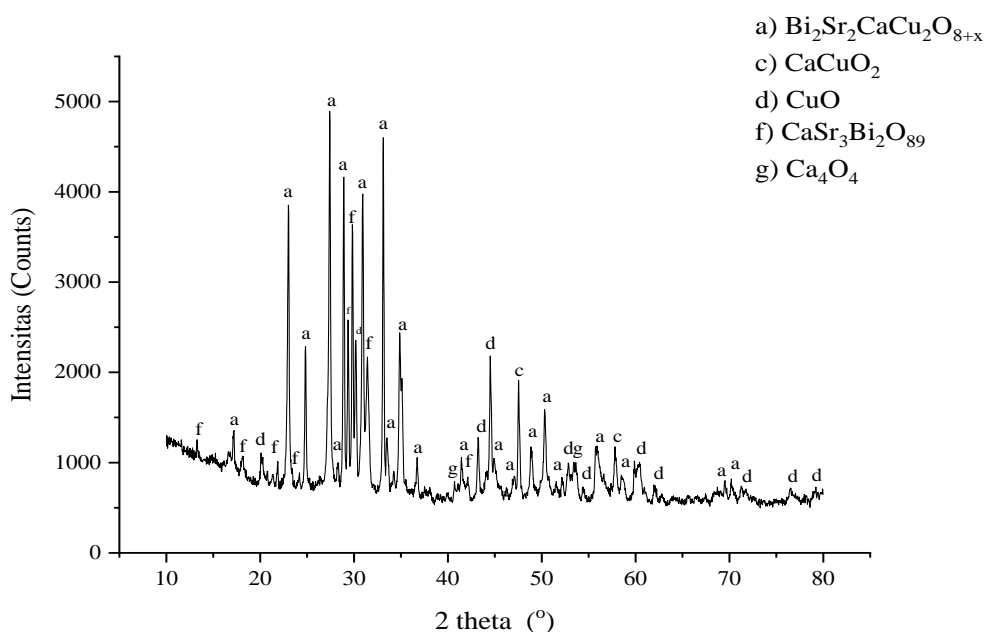


Gambar 8. Hasil analisis XRD sampel BSCCO-2212-825. (Keterangan : (a) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{x+8}$, (b) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_x$, (c) CaCuO_2 , (d) CuO , (e) Bi).

Berdasarkan Gambar 8, pada BSCCO-2212-825 terbentuk 33 puncak tertinggi dengan 14 puncak merupakan puncak $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{x+8}$ (00-041-0317) dengan intensitas fase sebesar 21697,87 counts, 2 puncak CaCuO_2 (01-082-1772) dengan intensitas fase sebesar 2384,55 counts, dan 9 puncak CuO (01-077-1898) dengan

intensitas fase sebesar 7399,13 *counts*. Selain itu terbentuk 2 senyawa impuritas lain yaitu 7 puncak $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ (01-079-2181) dengan intensitas fase sebesar 7241,78 *counts*, dan 5 puncak Bi (01-085-1330) dengan intensitas fase sebesar 2503,6 *counts*. Puncak-puncak tersebut ditentukan dari *database* yang paling mendekati atau memiliki panjang 2 theta yang sama dengan 2 theta pada sampel.

Hasil analisis XRD sampel BSCCO-2212-830 ditunjukkan pada Gambar 9.

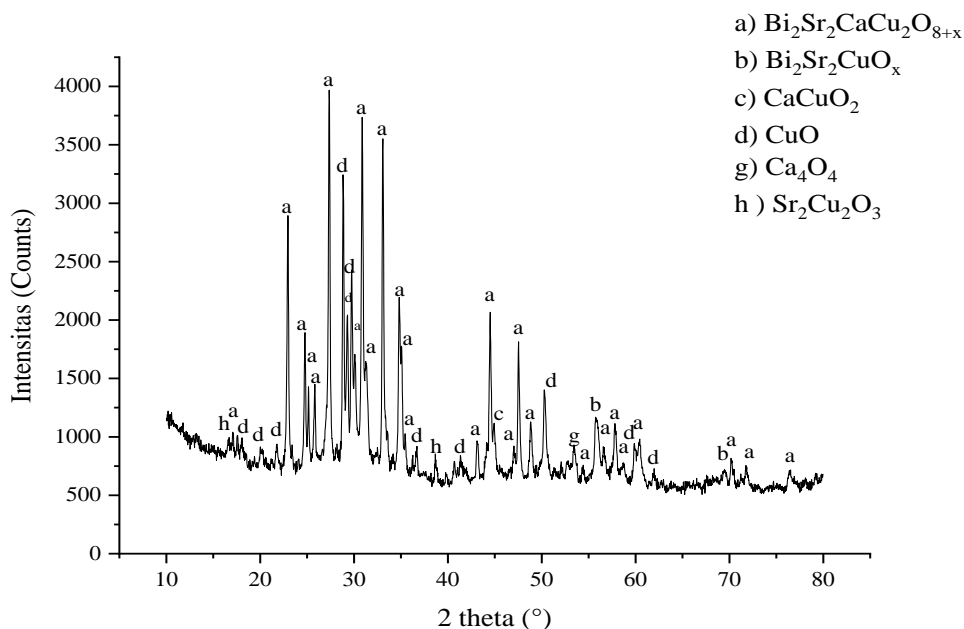


Gambar 9. Hasil analisis XRD sampel BSCCO-2212-830. (Keterangan : (a) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{x+8}$, (c) CaCuO_2 , (d) CuO , (f) $\text{CaSr}_3\text{Bi}_2\text{O}_{89}$, (g) Ca_4O_4).

Berdasarkan Gambar 9, pada BSCCO-2212-830 terbentuk 47 puncak tertinggi dengan 22 puncak $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{x+8}$ (00-041-0317), intensitas fase sebesar 44376,92 *counts* dan 2 puncak CaCuO_2 (01-082-1772) dengan intensitas fase sebesar 2016,8 *counts*. Selain itu terdapat juga 3 fase lain seperti 12 puncak senyawa CuO (01-077-1898) dengan intensitas fase sebesar 13088,3 *counts*, 8 puncak $\text{CaSr}_3\text{Bi}_2\text{O}_{89}$ (00-049-0864) dengan intensitas fase sebesar 13627,4 *counts*,

dan 2 puncak Ca_4O_4 (96-900-6720) dengan intensitas fase sebesar 2040,7 *counts*. Fase-fase yang terbentuk ditentukan berdasarkan nilai 2 theta dari kandidat *database* yang mendekati nilai 2 theta sampel.

Hasil analisis XRD sampel BSCCO-2212-835 ditunjukkan pada Gambar 10.

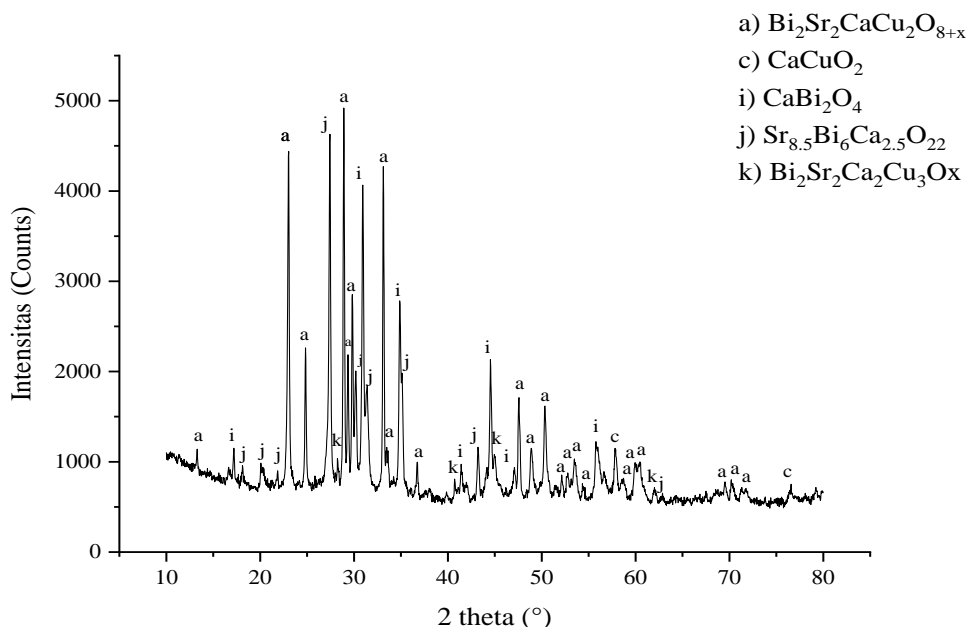


Gambar 10. Hasil analisis XRD sampel BSCCO-2212-835. (Keterangan : (a) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{x+8}$, (b) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_x$, (c) CaCuO_2 , (d) CuO , (g) Ca_4O_4 , (h) $\text{Sr}_2\text{Cu}_2\text{O}_3$).

Berdasarkan Gambar 10, pada BSCCO-2212-835 terbentuk 44 puncak yaitu 27 puncak $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{x+8}$ (00-041-0317) dengan intensitas fase sebesar 49877,08 *counts*, 2 puncak $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_x$ (01-079-2181) dengan intensitas fase sebesar 1334,57 *counts*, 1 puncak CaCuO_2 (01-082-1772) dengan intensitas fase sebesar 2384,55 *counts*, 11 puncak CuO (01-077-1898) dengan intensitas fase sebesar 14159,1 *counts*, 1 puncak Ca_4O_4 (96-900-6720) dengan intensitas fase sebesar

830,15 *counts*, dan 2 puncak $\text{Sr}_2\text{Cu}_2\text{O}_3$ (01-080-0864) dengan intensitas fase sebesar 2050,69 *counts*.

Hasil analisis XRD sampel BSCCO-2212-840 ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil analisis XRD sampel BSCCO-2212-840. (Keterangan : (a) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{x+8}$, (c) CaCuO_2 , (i) CaBi_2O_4 , (j) $\text{Sr}_{8.5}\text{Bi}_6\text{Ca}_{2.5}\text{O}_{22}$, (k) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_x$).

Berdasarkan Gambar 11, pada BSCCO-2212-840 terbentuk 19 puncak BSCCO-2212 (00-041-0317) dengan intensitas fase sebesar 31389,13 *counts*, 2 puncak CaCuO_2 (01-082-1772) dengan intensitas fase sebesar 1796,07 *counts*, 12 puncak $\text{Sr}_{8.5}\text{Bi}_6\text{Ca}_{2.5}\text{O}_{22}$ (00-050-1731) dengan intensitas fase sebesar 16505,6 *counts*, 6 puncak CaBi_2O_4 (00-043-0213) dengan intensitas fase sebesar 9100,99 *counts*, dan 4 puncak $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_x$ (00-042-0743) dengan intensitas fase sebesar 2990,6 *counts*.

Dari semua hasil analisis XRD, BSCCO-2212-840 memiliki intensitas puncak yang berbeda dan pembentukan fase yang lebih banyak. Hal ini didukung oleh penelitian Strobel, dkk (1992) apabila suhu sintering dinaikkan sampai suhu lelehnya maka akan merubah komposisi bahan atau mengalami transformasi fase. Terbentuknya beberapa fase tersebut disebabkan karena molekul bahan pembentuk senyawa superkonduktor memiliki titik leleh yang berbeda-beda, sehingga menyebabkan berkurangnya unsur-unsur tertentu (Liu, dkk. 1999).

Hasil karakterisasi XRD ini sesuai dengan penelitian Nilson (2009), serta Cardwell dan Ginley (2003) bahwa superkonduktor BSCCO-2212 yang disintering pada suhu 825, 830, dan 835°C terbentuk fase BSCCO-2212, Ca_2CuO_3 dan CuO sedangkan pada suhu 840-890°C terbentuk fase BSCCO-2212, BSCCO-2223 dan Ca_2CuO_3 . Puncak-puncak utama pada sampel BSCCO-2212 yang disintering pada suhu 825, 830, dan 835°C identik dengan fase BSCCO-2212, sedangkan pada suhu 840°C terdapat fase baru yang terbentuk berupa fase BSCCO-2223 seperti pada Gambar 11. Menurut penelitian Amri, dkk (2018), perbedaan fase ini dipengaruhi oleh meningkat dan menurunnya intensitas sampel sehingga dapat mempengaruhi besarnya nilai fraksi volume.

Tingkat kemurnian fase BSCCO-2212 berdasarkan fraksi volume (F_v), derajat orientasi (P) dan impuritas (I) dapat dihitung menggunakan persamaan (3.1) sampai (3.3). Hasil perhitungan tingkat kemurnian fase BSCCO-2212 akibat variasi suhu sintering ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan tingkat kemurnian fase BSCCO-2212 akibat variasi suhu sintering

Kode Sampel	Suhu (°C)	Fraksi Volume (%)	Impuritas (%)	Derajat Orientasi (%)
BSCCO-2212-825	825	51,91	48,09	8,49
BSCCO-2212-830	830	60,33	39,67	26,44
BSCCO-2212-835	835	71,09	28,91	18,25
BSCCO-2212-840	840	49,68	50,32	12,43

Berdasarkan Tabel 4, terjadi peningkatan fraksi volume yang signifikan dari suhu 825°C hingga suhu 835°C kemudian mengalami penurunan fraksi volume ketika menyentuh suhu 840°C. Seperti yang ditampilkan pada Tabel 4, sampel BSCCO-2212-825 memiliki $F_v = 51,91\%$, yang berarti 51,91% dari sampel merupakan BSCCO-2212. Kemudian pada sampel BSCCO-2212-830 diperoleh $F_v = 60,32\%$, yang berarti terbentuk BSCCO-2212 sebesar 60,32%. Pada sampel BSCCO-2212-835 merupakan fraksi volume tertinggi yaitu $F_v = 71,09\%$, yang berarti terbentuk BSCCO-2212 sebesar 71,09%. Kemudian pada sampel BSCCO-2212-840 fraksi volume mengalami penurunan menjadi 49,68%, yang berarti hanya terbentuk BSCCO-2212 sebesar 49,68% dari sampel. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa pada suhu 835°C merupakan titik optimum terbentuknya fase BSCCO-2212 yaitu sebesar 71,09% dan sisanya merupakan impuritas.

Kemudian diperoleh juga nilai derajat orientasinya. Perhitungan derajat orientasi dilakukan berdasarkan persamaan (3.2). Derajat orientasi (P) tertinggi terdapat pada BSCCO-2212-830 yaitu sebesar 26,44% yang didapat dari $2\theta = 17,2083$ dengan $hkl = (006)$, $2\theta = 23,0308$ dengan $hkl = (008)$, $2\theta = 28,9067$ dengan $hkl = (0010)$, dan $2\theta = 36,7189$ dengan $hkl = (002)$. Sedangkan derajat orientasi (P)

terendah terdapat pada BSCCO-2212-825 sebesar 8,49% dari $2\theta = 28,978$ dengan $hkl = (008)$.

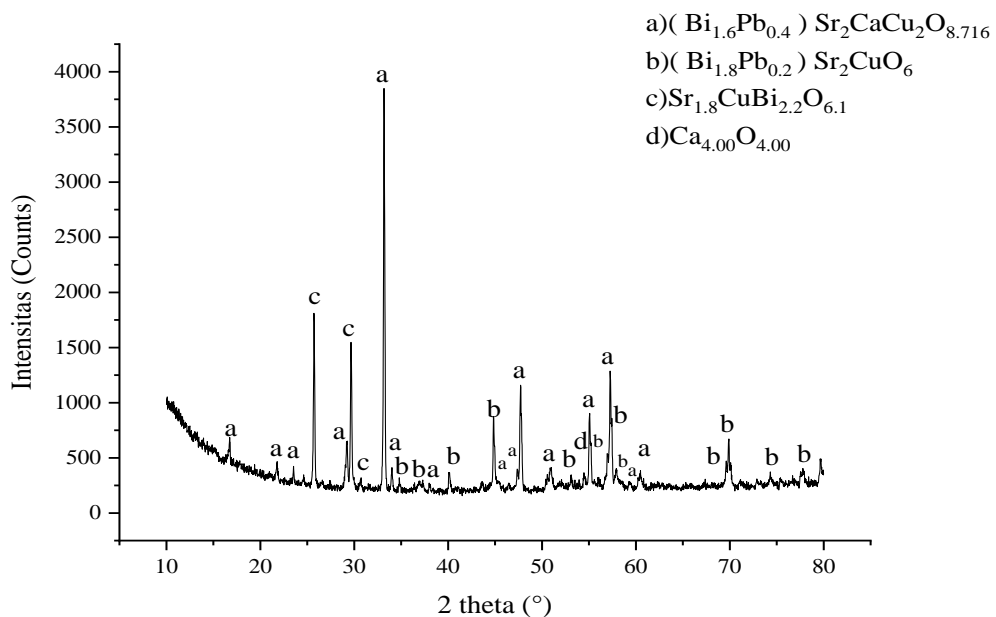
Berdasarkan Tabel 4, kenaikan suhu sintering berpengaruh terhadap peningkatan fraksi volume. Hasil ini sesuai dengan penelitian Iksantoso (2014), yang melakukan sintesis superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 dengan variasi suhu sintering 835, 845 dan 855°C, dimana fraksi volume mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan suhu sintering. Fraksi volume optimum terdapat pada suhu 855°C sebesar 66,93%. Hasil penelitian ini juga diperkuat dengan penelitian Lusiana (2014) yang mensintesis superkonduktor BSCCO-2212 dengan variasi suhu sintering 800, 820, 845 dan 860°C, dimana fraksi volume mengalami peningkatan seiring kenaikan suhu sintering.

Pada penelitian Lusiana (2014) fraksi volume mencapai titik optimum pada suhu sintering 845°C ($Fv = 73,6\%$) dan kemudian mengalami penurunan. Penurunan fraksi volume ini sesuai dengan teori yang ada sebelumnya, dimana pembentukan superkonduktor BSCCO-2212 terjadi pada suhu 650°C-840°C sedangkan mulai dari suhu 840°C-890°C terbentuk fase BSCCO-2223 (Cardwell dan Ginley, 2003). Superkonduktor BSCCO-2212 yang disintering di atas suhu 835°C dapat menyebabkan terjadinya penurunan nilai fraksi volume, dikarenakan pada suhu tersebut perlahan terjadi pembentukan fase menjadi BSCCO-2223 dan fase impuritas lain.

B. Hasil analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) BPSCCO-2212

Hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dianalisis menggunakan program *highscore plus*. Analisis dilakukan dengan cara mencocokkan data XRD hasil karakterisasi dengan *database* dari ICDD untuk mengetahui fase yang terbentuk. Cara pencocokan database adalah dengan mencari nilai delta d yang tidak berkisar atau lebih dari 0,01. Nilai delta d ditentukan dengan cara menyelisihkan *d-spacing* (jarak antar kisi) sampel dengan *database* sehingga menghasilkan nilai delta d yang tidak memiliki nilai lebih dari 0,01 agar sampel dapat dikatakan cocok dengan *database*. Kode *database* yang digunakan antara lain: 01-080-2029, 00-046-0499, 01-080-2028, 96-900-6703, 00-042-1438, 01-083-1866, 01-075-0201, 01-079-2183, 01-085-2441, 00-047-0399, dan 01-077-0374.

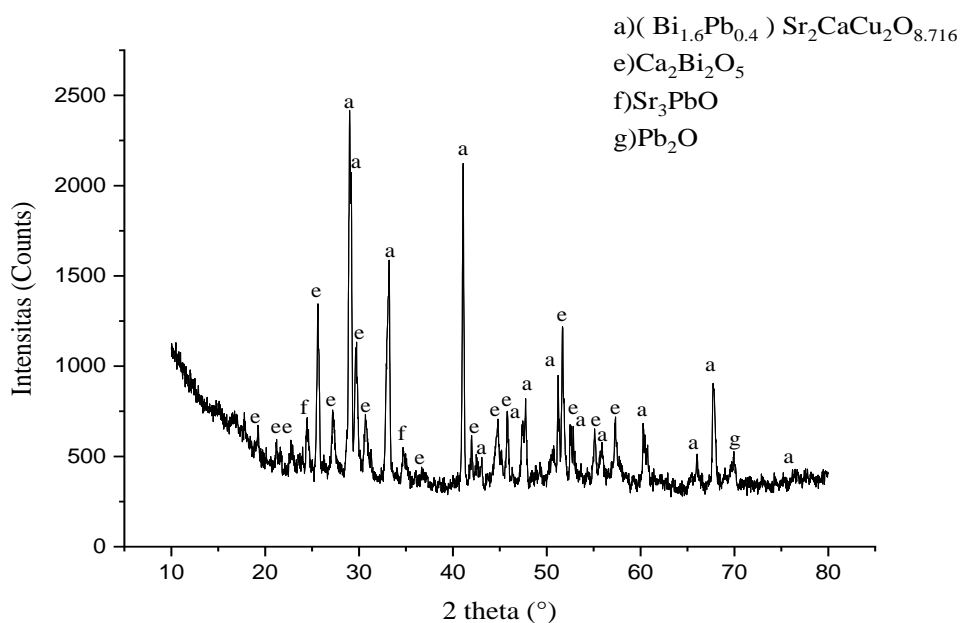
Hasil analisis XRD sampel BPSCCO-2212-825 ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil analisis XRD sampel BPSCCO-2212-825. (Keterangan : (a) $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8.716}$, (b) $(\text{Bi}_{1.8}\text{Pb}_{0.2})\text{Sr}_2\text{CuO}_6$, (c) $\text{Sr}_{1.8}\text{CuBi}_{2.2}\text{O}_{6.1}$, (d) $\text{Ca}_{4.00}\text{O}_{4.00}$).

Berdasarkan Gambar 12, pada BPSCCO-2212 terbentuk 32 puncak tertinggi yaitu 16 puncak merupakan $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8.716}$ (01-080-2029) dengan intensitas fase sebesar 10915,89 *counts*, 13 puncak impuritas $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{CuO}_6$ (01-080-2028) dengan intensitas fase sebesar 6375,44 *counts*, 3 puncak $\text{Sr}_{1.8}\text{CuBi}_{2.2}\text{O}_{6.1}$ (00-046-0499) dengan intensitas fase sebesar 3558,02 *counts* dan 1 puncak $\text{Ca}_{4.00}\text{O}_{4.00}$ (96-900-6703) dengan intensitas fase sebesar 319,11 *counts*. Puncak-puncak tersebut ditentukan dari *database* yang paling mendekati atau memiliki panjang 2 theta yang sama dengan 2 theta pada sampel.

Hasil analisis XRD sampel BPSCCO-2212-830 ditunjukkan pada Gambar 13.

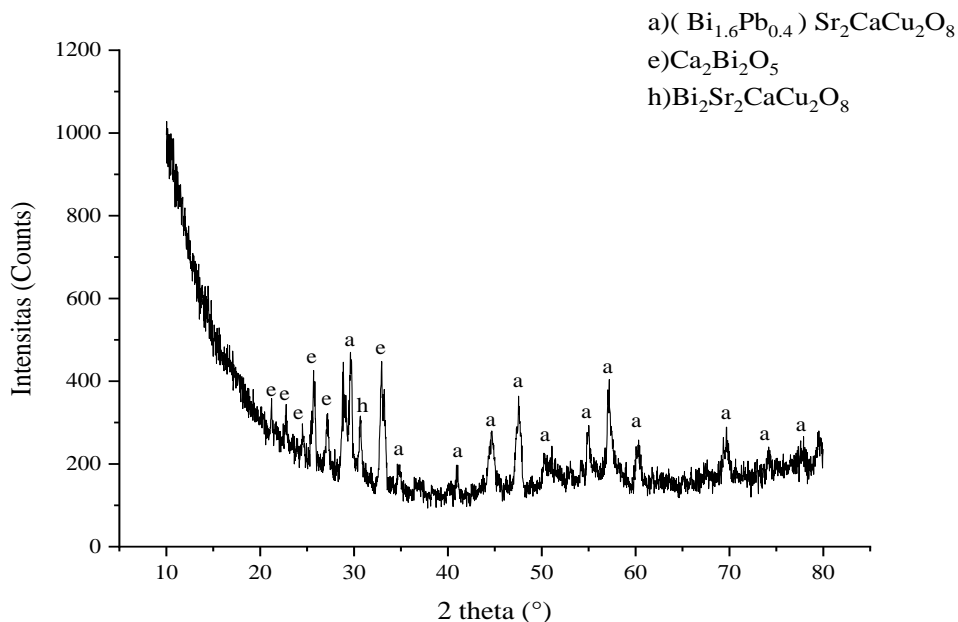


Gambar 13. Hasil analisis XRD sampel BPSCCO-2212-830. (Keterangan : (a) $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8.716}$, (e) $\text{Ca}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$, (f) Sr_3PbO , (g) Pb_2O).

Berdasarkan Gambar 13, pada BPSCCO-2212-830 terbentuk 32 puncak yaitu 14 puncak $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8.716}$ (01-080-2029) dengan intensitas fase sebesar 14247,97 *counts*, 15 puncak $\text{Ca}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ (00-042-1438) dengan intensitas fase

sebesar 11166,2 *counts*, 2 puncak Sr_3PbO (01-083-1866) dengan intensitas fase sebesar 1230,39 *counts*, dan 1 puncak Pb_2O (01-075-0201) dengan intensitas fase sebesar 448,89 *counts*.

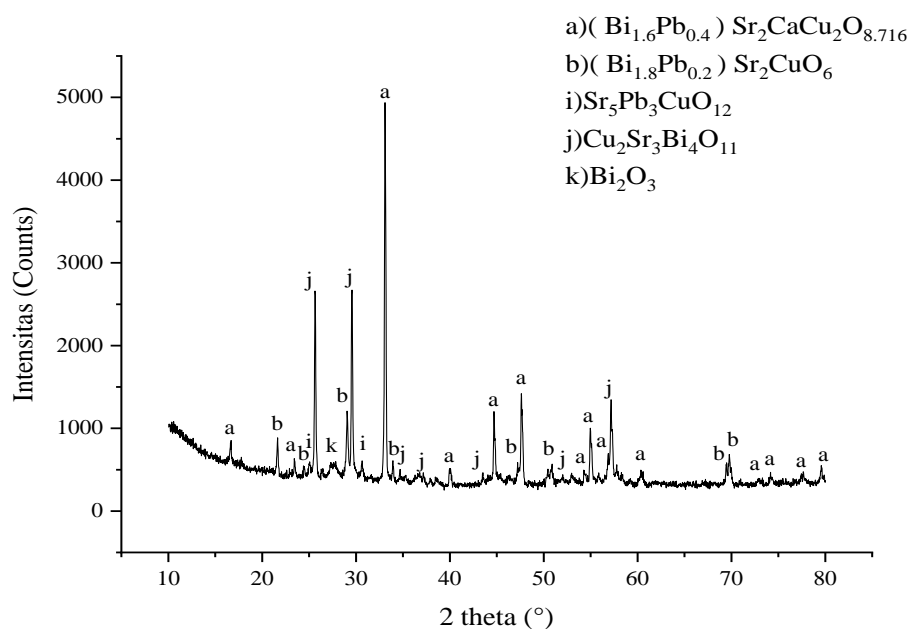
Hasil analisis XRD sampel BPSCCO-2212-835 ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Hasil analisis XRD sampel BPSCCO-2212-835. (Keterangan : (a) $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8,716}$, (e) $\text{Ca}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$, (h) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$).

Berdasarkan Gambar 14, pada BPSCCO-2212-835 terbentuk 20 puncak tertinggi yaitu 12 puncak $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8,716}$ (01-080-2029) dengan intensitas fase sebesar 3113,15 *counts*, 7 puncak impuritas $\text{Ca}_2\text{Bi}_2\text{O}_5$ (00-042-1438) dengan intensitas fase sebesar 2255,49 *counts*, dan 1 puncak $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ (01-079-2183) dengan intensitas fase sebesar 447,51 *counts*.

Hasil analisis XRD sampel BPSCCO-2212-840 ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Hasil analisis XRD sampel BPSCCO-2212-840. (Keterangan : (a) $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8.716}$, (b) $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{CuO}_6$ (i) $\text{Sr}_5\text{Pb}_3\text{CuO}_{12}$, (j) $\text{Cu}_2\text{Sr}_3\text{Bi}_4\text{O}_{11}$, (k) Bi_2O_3).

Berdasarkan Gambar 15, pada BPSCCO-2212-840 terbentuk 32 puncak yaitu 14 puncak $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8.716}$ (01-080-2029) dengan intensitas fase sebesar 14371,17 *counts*, 8 puncak impuritas $(\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4})\text{Sr}_2\text{CuO}_6$ (01-080-2028) dengan intensitas fase sebesar 5326,51 *counts*, 2 puncak $\text{Sr}_5\text{Pb}_3\text{CuO}_{12}$ (01-085-2441) dengan intensitas fase sebesar 1195,61 *counts*, 7 puncak $\text{Cu}_2\text{Sr}_3\text{Bi}_4\text{O}_{11}$ (00-047-0399) dengan intensitas fase sebesar 8421,87 *counts* dan 1 puncak Bi_2O_3 (01-077-0374) dengan intensitas fase sebesar 581,95 *counts*.

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh, dilakukan perhitungan tingkat kemurnian fase BPSCCO-2212 berdasarkan fraksi volume (F_v), derajat orientasi (P) dan impuritas (I). Hasil perhitungan tingkat kemurnian fase superkonduktor BPSCCO-2212 akibat variasi suhu sintering terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan tingkat kemurnian fase BPSCCO-2212 (doping Pb = 0,2 mol) akibat variasi suhu sintering

Kode Sampel	Fraksi Volume (%)	Impuritas (%)	Derajat Orientasi (%)
BPSCCO-2212-825	51	49	9,48
BPSCCO-2212-830	52,59	47,41	43,49
BPSCCO-2212-835	54,53	45,47	23,06
BPSCCO-2212-840	49,43	50,57	24,28

Berdasarkan Tabel 5, terjadi peningkatan fraksi volume yang signifikan dari suhu 825°C hingga suhu 835°C kemudian mengalami penurunan fraksi volume ketika menyentuh suhu 840°C. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 17, sampel BPSCCO-2212-825 memiliki $F_v = 51\%$, yang berarti terbentuk BPSCCO-2212 sebesar 51% dari sampel. Kemudian pada sampel BPSCCO-2212-830 diperoleh $F_v = 52,59\%$, yang berarti terbentuk BPSCCO-2212 sebesar 52,59% dari sampel. Pada sampel BPSCCO-2212-835 merupakan fraksi volume tertinggi yaitu $F_v = 54,53\%$, yang berarti terbentuk BPSCCO-2212 sebesar 54,53% dari sampel. Kemudian pada sampel BPSCCO-2212-840 fraksi volume mengalami penurunan menjadi 49,43%, yang berarti terbentuk BPSCCO-2212 sebesar 49,43% dari sampel. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa pada suhu 835°C merupakan titik optimum terbentuknya fase BPSCCO-2212 yaitu sebesar 54,53% dan sisanya merupakan impuritas.

Perhitungan derajat orientasi dilakukan berdasarkan persamaan (3.2). Derajat orientasi (P) tertinggi pada BPSCCO-2212-830 yaitu sebesar 43,49% yang didapat dari $2\theta = 29,004$ dengan $hkl = (008)$, $2\theta = 29,1927$ dengan $hkl = (00\bar{1}0)$, $2\theta = 47,3969$ dengan $hkl = (00\bar{1}6)$, dan $2\theta = 60,2959$ dengan $hkl = (00\bar{2}0)$.

Sedangkan derajat orientasi (P) terendah terdapat pada BPSCCO-2212-825 sebesar 9,48% didapat dari $2\theta = 29,2252$ dengan $hkl = (00\bar{1}0)$, dan $2\theta = 47,3761$ dengan $hkl = (00\bar{1}6)$.

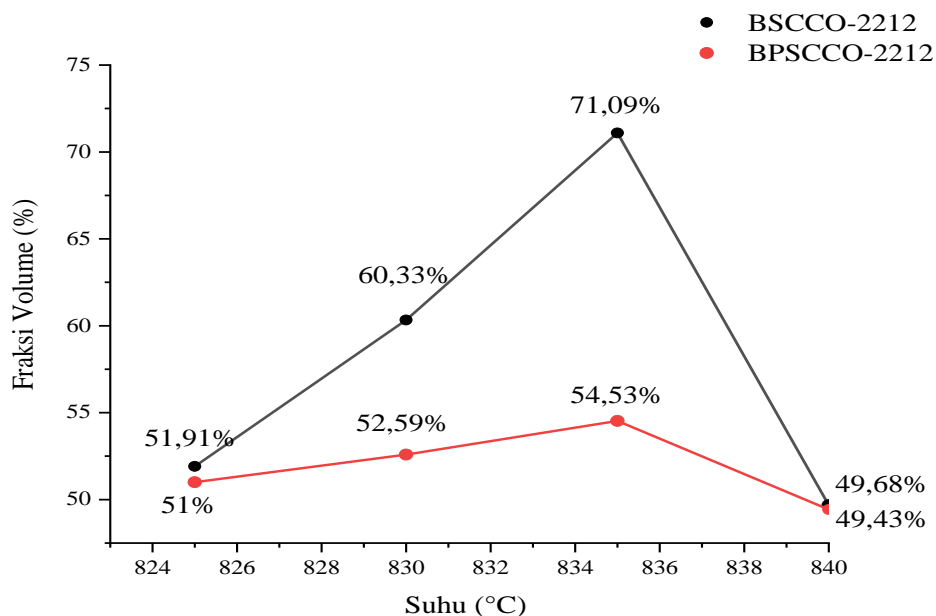
Penelitian yang dilakukan oleh Sari (2014) dengan variasi suhu sintering 815, 820, 825, dan 830°C menunjukkan bahwa peningkatan suhu sintering tidak selalu meningkatkan fraksi volume BPSCCO-2212. Peningkatan suhu dari 825°C sampai 830°C terjadi peningkatan fraksi volume, kemudian setelah 830°C fraksi volume menurun. Fraksi volume tertinggi terdapat pada 830°C diperoleh sebesar 90,10%. Peningkatan suhu sintering yang terlalu tinggi memungkinkan terbentuknya impuritas yang disebabkan oleh transformasi fase BPSCCO-2212 ke fase yang lainnya.

Penambahan doping Pb juga meningkatkan nilai derajat orientasi. Meningkatnya nilai derajat orientasi ini sesuai dengan penelitian Nurmalita (2002) dimana doping Pb pada BSCCO-2212 akan meningkatkan nilai derajat orientasi. Tingginya nilai derajat orientasi (P) ini menunjukkan bahwa sampel BPSCCO memiliki keteraturan susunan kristal yang baik sehingga memiliki struktur kristal yang lebih baik dengan susunan kristal yang lebih searah dan memiliki lebih sedikit ruang kosong (Nurmalita, 2012). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai P tertinggi terdapat pada BPSCCO-2212-830 sebesar 43,49%, sedangkan nilai P terendah terdapat pada BPSCCO-2212-825 sebesar 9,48%.

C. Pengaruh Penambahan doping Pb terhadap Tingkat Kemurnian Fase Bi-2212 (BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212)

Berdasarkan karakterisasi XRD yang telah dilakukan antara BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212, maka diperoleh pengaruh penambahan doping Pb 0,2 mol terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor Bi-2212 berdasarkan fraksi volume, impuritas dan derajat orientasi.

Berdasarkan variasi suhu sintering, perbandingan fraksi volume BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 ditunjukkan pada Gambar 16.

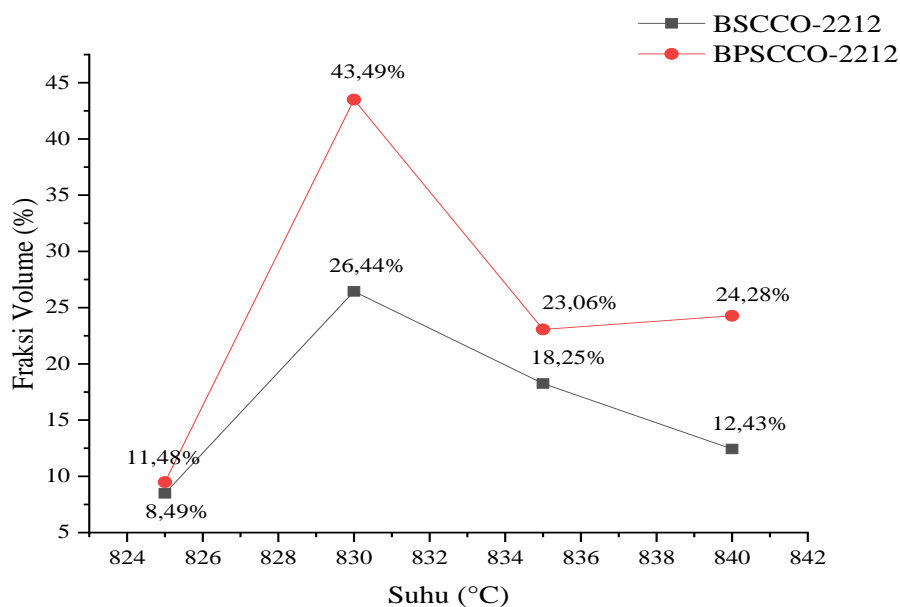


Gambar 16. Perbandingan fraksi volume BSCCO-2212 (tanpa doping) dan BPSCCO-2212 (doping pb = 0,2 mol) akibat variasi suhu sintering.

Berdasarkan Gambar 16, secara umum BSCCO-2212 memiliki fraksi volume yang lebih tinggi daripada BPSCCO-2212, dengan suhu optimum pada suhu 835°C. Fraksi volume tertinggi pada BSCCO-2212 sebesar 71,09%, sedangkan pada BPSCCO-2212 sebesar 54,53%.

Rendahnya nilai fraksi volume BPSCCO-2212 daripada BSCCO-2212 sesuai dengan hasil penelitian Nurmalita (2011) yang melakukan variasi doping Pb (0; 0,2; 0,4), menunjukkan bahwa penambahan doping Pb menurunkan nilai fraksi volume. Nilai fraksi volume terbesar pada doping Pb 0 mol (tanpa doping Pb) yaitu sebesar 78% dan fraksi volume terkecil terdapat pada doping Pb 0,4 mol sebesar 68%.

Berdasarkan derajat orientasi, perbandingan tingkat kemurnian fase BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 akibat variasi suhu sintering ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Perbandingan derajat orientasi BSCCO-2212 (tanpa doping) dan BPSCCO-2212 (doping Pb = 0,2 mol) akibat variasi suhu sintering.

Berdasarkan Gambar 17, sampel BPSCCO-2212 memiliki nilai derajat orientasi yang lebih tinggi daripada BSCCO-2212 dengan suhu optimum pada 830°C. Derajat orientasi tertinggi pada BPSCCO-2212 sebesar 43,49%, sedangkan pada BSCCO-2212 sebesar 26,44%.

Rendahnya nilai derajat orientasi BSCCO-2212 daripada BPSCCO-2212 sesuai dengan penelitian Miller, dkk (2005) bahwa BPSCCO-2212 memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan BSCCO-2212 dikarenakan BSCCO-2212 sulit untuk membentuk suatu kristal tunggal. Hal ini juga didukung dengan penelitian Nurmalita (2002) yang menyatakan bahwa penambahan doping Pb pada BSCCO-2212 akan meningkatkan derajat orientasi kristal yang terbentuk dan penelitian Suprihatin, dkk (2017) menyatakan bahwa superkonduktor BPSCCO-2212 yang disintering dengan suhu 830°C mengalami pembentukan kristal yang relatif baik.

Berdasarkan nilai fraksi volume dan derajat orientasi, ditunjukkan bahwa sampel BPSCCO-2212 memiliki tingkat kemurnian fase yang lebih baik daripada sampel BSCCO-2212. Tingginya tingkat kemurnian fase ini diperoleh dengan cara mengalikan nilai fraksi volume dan derajat orientasi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Pada superkonduktor BSCCO-2212, fraksi volume meningkat hingga mencapai titik optimum pada suhu sintering 835°C kemudian mengalami penurunan pada suhu sintering 840°C, F_v tertinggi pada suhu 835°C yaitu sebesar 71,09%, F_v terendah pada suhu 840°C sebesar 49,68%.
2. Pada superkonduktor sistem BPSCCO-2212, fraksi volume meningkat hingga mencapai titik optimum pada suhu sintering 835°C kemudian mengalami penurunan pada suhu sintering 840°C, F_v tertinggi pada suhu 835°C yaitu sebesar 54,53%, F_v terendah pada suhu 840°C sebesar 49,43%.
3. Pada superkonduktor sistem BSCCO-2212, memiliki P tertinggi pada suhu 830°C yaitu sebesar 24,66%, P terendah pada suhu 825°C sebesar 8,49%, sementara pada suhu 835°C $P = 18,25%$, dan 840°C $P = 12,42%$.
4. Pada superkonduktor sistem BPSCCO-2212, memiliki P tertinggi pada suhu 830°C yaitu sebesar 43,49%, P terendah pada suhu 825°C sebesar 9,48%, sementara pada suhu 835°C $P = 23,06%$, dan 840°C $P = 24,28%$.
5. Secara umum fraksi volume BPSCCO-2212 lebih rendah dibandingkan BSCCO-2212. Namun BPSCCO-2212 memiliki derajat orientasi yang lebih

tinggi dibandingkan BSCCO-2212 dikarenakan penambahan doping Pb dapat meningkatkan keteraturan struktur kristal. Nilai derajat orientasi tertinggi terdapat pada sampel BPSCCO variasi suhu 830 °C, dengan nilai 43,49%

B. Saran

Untuk memperoleh superkonduktor dengan tingkat kemurnian fase yang lebih baik perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang penambahan doping Pb, variasi waktu sintering, dan jenis doping yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, M. M., Abbas, L. K dan Bahedh, H. S. 2015. Superconducting properties of $\text{Bi}_2\text{Sb}_x\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_{1,9}\text{Ba}_{0,1}\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+d}$ compounds. *Journal of Applied Science Research*. Vol. 11 No. 22 Hal. 164-172.
- Amri, F., Siswayanto, B., Yudayanto, SD., Imaduddin, A., Suhada, N., Syahfina, R. dan Sihombing, E. 2018. Pengaruh sintering berulang terhadap struktur kristal dan morfologi permukaan Bi, Pb-Sr-Ca-Cu-O yang didoping Mg. *Widyariset*. Vol. 4. No. 2. Hal. 197-204.
- Boussouf, N., Mosbah, M. F., Guerfi, T., Bouaicha, F., Chamekh, S., dan Amira, A. 2009. The effects of Ag, Mg, and Pr doping on the superconductivity and structure of BSCCO. *Physics Procedia*. Vol. 2 No. 3 Hal 1153-1157.
- Budihartono, S. 2012. Pengaruh pressureless sintering terhadap fracture toughness komposit kaolin-zirconia. *Traksi*. Vol. 12 No. 1 Hal. 16-27.
- Cardwell, D.A., dan Ginley, D.S. 2003. *Handbook of Superconductor Materials*. CRC Press. Florida.
- Callister, W. D., dan Rethwisch, D. G. 2014. *Materials and Engineering 9th edition*. John Wiley and Sons, inc. New York.
- Cruz, M. M., Molina, K. L., Salvador, A. A. dan Sarmago, R. V. 2000. Growth of superconducting $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$ single crystals form a $(\text{KCl}-\text{Bi}_2\text{O}_3)$ flux. *Physica C* Vol. 341. No 1 Hal 539-540.
- Chu, S., dan McHenry, M. C. 1998. Growth and characterization of $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ single crystal. *Journal of Material Research*. Vol. 13. No. 3. Hal. 589-595.
- Cullity, B. D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction Second Edition*. Addison-Wesley Publishing Company. Reading.
- Currie, D. B. dan Forest, A. M. 1998. Crystal and high Tc superconductor in the system $\text{Gd}_1\text{Ba}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. *Solid State Communications*. Vol. 66. No. 7. Hal. 715-718.

- Darminto dan Rahmawati, L. 2008. Nanokristalisasi superkonduktor $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$ dengan metode pencampuran basah. *Berkala Fisika Indonesia*. Vol . 4 No 1-2 Hal. 22-26.
- Darsono, N., Imanudin, A., Raju, K., dan Yoon, D. H. 2015. Synthesis and characterization of $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ superconducting oxide by high-energy milling. *Journal of Superconductivity*. Vol. 28. No. 8.Hal 2259-2266.
- Escuredo, E., Chavira., dan Rios-Jara D. 1989. Effect of Sb and Pb doping on the high to phase formation in Bi-Sr-Ca-Cu-O superconductors. *Journal Appl. Physics Left*. Vol. 54 Hal. 1576-1578.
- Fallaharani, H., Saeid, B., Arman, S., Daniela, S., Frances, T., Davide, M., dan Nastaran, R. 2017. The influence of head treatment on the microstructure, flux pinning and magnetic properties of bulk BSCCO samples prepared by sol-gel route. *Ceramics International*. Vol. 128. No. 12. Hal. 1-25.
- Fauzi, R. M. 2017. Pertumbuhan fase superkonduktor Bi-2223 dengan variasi doping Pb (BPSCCO-2223) pada kadar Ca= 2,10 dan suhu sintering 855 °C. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Fujimoto, H., Kamijo, H., Higuchi, T., Nakamura, Y., Nagashima, K., Murakami, M., dan Sang-Im Yoo. 2000. Preliminary study of a superconducting bulk magnet for the maglev train. *Physica C*. Vol. 341 No. 4 Hal. 2529-2530.
- Ghofur, M. 2007. Pengaruh doping Pb terhadap pertumbuhan fase bahan superkonduktor BPSCCO-2212. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Gupta, L.,C., dan Multani, M. S. 1992. *Selected Topics in Superconductivity*. World Science Publishing Co. Farrer
- Harnova, D. 2005. Pengaruh sistem sintesis dan waktu sintering terhadap pembentukan fase Bi-2212 bahan superkonduktor. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Herlyn. 2008. Pengaruh lama pemanasan terhadap konduktivitas normal superkonduktor overfoped Pb $(\text{BiPb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ dengan metode melt-textured. (*Skripsi*). Universitas Negeri Medan. Medan.
- Iksantoso, A. A. 2014. Pengaruh suhu sintering terhadap sintesis superkonduktor BSCCO dengan menggunakan meode reaksi padatan. (*Skripsi*). Universitas Negeri Sebelas Maret. Semarang.
- Indriati, M., Nuryanto, R., dan Suyati, L. 2013. Pengaruh suhu kalsinasi terhadap konduktivitas dan kristalinitas elektrolit padat $\text{NaMn}_{2-x}\text{Mg}_x\text{O}_4$. *Journal of Scientific and Applied Chemistry*. Vol. 16. No. 2. Hal. 46-49.

- Ismunandar dan Cun, S. 2002. *Mengenal Superkonduktor*. <http://www.fisikanet.lipi.go.id/utama.cgi?cetakartikel&1100396563>. Diakses pada tanggal Juni pukul 23.20 WIB.
- Istikomah, S., Suprihatin, dan Riyanto, A. 2019. Sintesis superkonduktor BSCCO-2223 dengan variasi waktu sintering pada kadar Ca=2,10 menggunakan metode pencampuran basah. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 7. No 2. Hal 139-145.
- Khurana, A. 1989. Electron superconductors challenge theories, start a new race. *Physics Today*. Vol. 42 No 4 Hal 17-19.
- Kittel, C. 1986. *Introduction to Solid State Physics (6th ed)*. John Wiley & Sons. New York.
- Lehndroff, B. R. 2001. *High-Tc Superconductors for Magnet and Energi Technology*. Springer-Verlag. Berlin.
- Liu, H., Liu, L., Yu, H., Zhang, Y., dan Jin, Z. 1999. Optimization of the composition for synthesing the high-Tc phase in (BiPb)SrCaCuO system. *Journal of Materials Science*. Vol. 34. No.1. Hal. 4329-4332.
- Lusiana. 2014. Proses pembuatan material superkonduktor BSCCO dengan metode padatan. *Majalah Metalurgi*. Vol. 29 No. 1 Hal. 1-8.
- Marhaendrajaya, I. 2001. Eksperimen pembentukan kristal BSCCO-2223 dengan metode lelehan. *Berkala Fisika*. Vol. 4. No. 2. Hal. 33-40.
- McNaught, A. D. dan Wilkinson, A. 1997. *IUPAC. Compendium of Chemical Terminology 2nd edition*. Blackwell Scientific Publication. Oxford.
- Miller, W., Borowko, K., Gazda, M., Stizza, S., dan Natali R. 2006. Superconducting properties of BiPbSrCaCuO and BiSrCaCuO glass-ceramics. *Acta Physica Polonica A*. Vol. 109 No. 4 Hal. 627-631.
- Miyanami, K. 2006. *Mixing in Powder Technology Handbook 3nd*. CRC Press. Cleveland.
- Nilson, A. 2009. BSCCO superconductors processed by the glass-ceramic route. (*Disertasion*). Technical University of Dresden. Dresden.
- Nurmalita. 2002. Sintesis kristal superkonduktor dengan metode melt textured growth. (*Tesis*). Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Nurmalita. 2011. The effect of Pb dopant on the volume fraction of BSCCO-2212 superconducting crystal. *Jurnal Natural*. Vol. 11, No. 2, Hal. 52-57.

- Pikatan, S. 1989. *Mengenal Superkonduktor*. <http://geocities.com/dmipa/articles/sp/konduktor.pdf>. Diakses 27 Februari 2020.
- Pinna, F. 1998. Supported metal catalyst preparation. *Catalysts Today*. Vol. 41. No. 1 Pp. 129-137.
- Raffy, H. 2011. *BSCCO high-Tc Superconducting Films*. Woodhead Publishing Limited. Paris.
- Rahardjo, D. T. 2011. Refinement struktur kristal superkonduktor BSCCO-2212 dengan substitusi Pb. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika*. Vol. 1 No. 1. Hal. 63-67.
- Rahmah, K., Suprihatin., dan Karo, K. 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, Material, and Instrumentation Technology*. Vol 1. No. 1. Hal 7-11.
- Ratnasari, Hermanihadi, Indriyanto, Fathony, Devi, Agung dan Rais. 2009. *X-Ray Diffraction (XRD)*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Reed, J., S. 1988. *Introduction to The Principles of Ceramics Processing*. John Wiley&Son. Inc. New York.
- Reviana, F. 2013. Pembentukan fase bahan superkonduktor Bi-2223 dengan doping Pb (BPSCCO-2223) pada kadar Ca = 2,10 dengan variasi suhu sintering. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Rohmawati, L., dan Darminto. 2012. Nanokristalisasi superkonduktor $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$ dengan metode pencampuran basah. *Berkala Fisika Indonesia*. Vol. 4. No. 1 dan 2. Hal. 22-26.
- Roumie, M., Marhaba, S., Awad R., Kork, M., Hassan, I., dan Mawassi, R. 2014. Effect of Fe_2O_3 nano-oxide addition on the superconducting properties of the (Bi,Pb)-2223 phase. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*. Vol. 27 No.1 Hal. 143-153.
- Salmah. 2001. Sintesis superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ dengan proses pelelehan dan karakterisasinya. (*Skripsi*). Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sari, M. R. 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. 2 No. 1 Hal. 67-73.
- Shan, C., Fong, H., dan Risbud, S. 1995. Crystallization and superconductivity in Hg doped $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ glass-ceramics. *Physica C*. Vol. 242 No. 3 Hal. 209-215.

- Shimono, I. 1993. Preparation of Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O superconductor by the citrate method. *Journal of the Ceramic Society of Japan*. Vol. 101 No. 1177 Hal. 1044-1050.
- Shukor. 2009. *High Temperature Superconductors : Materials, Mechanisms, And Applications*. Academy of Sciences Malaysia. Malaysia.
- Siswayanti, S., Agung, B., Amirul, L., Ikhlasul, M. A., Hendrik, dan Pius. 2015. Sintesis Pelet Bi-Sr-Ca-Cu-O dengan Suhu Sintering Rendah dan Analisa Sifat Superkonduktivitasnya. *Prosiding Seminar Material Metalurgi*. Hal. 227-231.
- Siswanto. 1999. Sintesis superkonduktor keramik BSCCO fase tc tinggi (2223) melalui route sol-gel sitrat. (*Skripsi*). Universitas Airlangga. Surabaya.
- Sitorus, Z. Y., Imaduddin, A., Sinuhaji, P., dan Sebleku, P. 2018. Comparison of the using of silver and stainless steel 316 tubes on fabricating (Bi,Pb)-Sr-Ca-Cu-O superconducting wires by pit method. *International Journal of Scientific Research in Science*. Vol. 4. No. 4. Hal 1166 – 1171.
- Smith, J. F. 1990. *Principles of Materials Science and Engineering. Second Edition*. Mc Grawhill Book Co. New York.
- Subarwati, Y. 2013. Sintesis superkonduktor Bi-2223 dengan dopan Pb (BPSCCO-2223) pada kadar Ca= 2,10 pada berbagai suhu sintering. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Strobel, P., Toledano, J., Morin, D., Schneck, J., Vacquier, G., Monnereau, O., Primot, J., dan 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 and 1100°C. *Physica C*. Vol. 201. Hal. 27-42.
- Suprihatin, 2008, Pengaruh variasi suhu sintering dalam sintesis superkonduktor Bi-2221 Dengan Doping Pb (BPSCCO-2212) pada suhu kalsinasi 790°C. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008*. Universitas Lampung.
- Suprihatin., Pratiwi, R., dan Syafriadi. 2017. Variasi doping Pb terhadap pertumbuhan fase bahan superkonduktor Bi-2212 pada kadar Ca 1,10 dan suhu sintering 830°C. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 05. No. 02. Hal. 187-194.
- Surahman, R. P., Suprihatin, dan Riyanto, A. 2019. Pengaruh suhu sintering terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BPSCCO-2223 pada kadar Ca 2,10 menggunakan metode pencampuran basah. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Universitas Lampung. Lampung.

- Suryanaraya, Norton, C., dan Grant, M. 1998. *X-Ray Diffraction A Practical Approach*. Springer Science. New York.
- Suryani, D. 2016. Sintesis bahan piezoelektrik ramah lingkungan berbasis $\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{Ti}_{3-y}$ menggunakan metode solid state reaction dengan penambahan dopan Ta_2O_5 . (Skripsi). Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Tinkham, M. 1996. *Introduction to Superconductivity Second Edition*. McFraw-Hill Book Co. New York.
- Tipler, P. 1991. *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.
- Vlack, V. L. H. 2001. *Elemen-Elemen Rekayasa Bahan*. Erlangga. Jakarta. Hal. 30-33.
- Watanabe, T., Fuiji, T dan Matsuda A. 2003. Structural study of inhomogenous charge distribution of inequivalent CuO_2 planes in $\text{Bi}_{2,1}\text{Sr}_{1,9}\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+d}$ single crystal. *Journal of The Physics Society of Japan*. Vol 72. No. 11. Hal. 2924-2929.
- Widodo, H. dan Darminto. 2010. Nanokristalisasi superkonduktor $\text{Bi}_2\text{SrCa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$ dan $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+6}$ dengan metode presipitasi dan pencampuran Basah. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*. Vol. 28. No. 1. Hal. 6-9.
- Yulianti, N. 2002. Pengaruh kadar fluks CaCO_3 dan CuO pada pembentukan kristal superkonduktor Bi-2212. *Jurnal Ilmu Dasar*. Vol. 3. No. 1. Hal. 8-14.