

**PENGARUH SUHU SINTERING TERHADAP PEMBENTUKAN FASE
SUPERKONDUKTOR BSCCO-2223 DENGAN KADAR Ca = 2,10
MENGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH**

(Skripsi)

Oleh

KOMALA DEWI



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

PENGARUH SUHU SINTERING TERHADAP PEMBENTUKAN FASE SUPERKONDUKTOR BSCCO-2223 DENGAN KADAR Ca = 2,10 MENGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH

Oleh

KOMALA DEWI

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu sintering terhadap pembentukan fase superkonduktor BSCCO-2223 dengan kadar Ca = 2,10 menggunakan metode pencampuran basah. Bahan yang digunakan yaitu Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaCO_3 , CuO , HNO_3 dan aquades. Sintesis dilakukan dengan melarutkan bahan menggunakan HNO_3 dan aquades secara perlahan kemudian larutan dikeringkan selama 40 jam dengan suhu 300, 400 dan 600 °C secara bertahap. Sampel dikalsinasi pada suhu 800 °C selama 10 jam dan disintering dengan variasi suhu 850, 855, 860 dan 865 °C selama 20 jam. Hasil XRD menunjukkan bahwa suhu sintering berpengaruh terhadap pembentukan fase superkonduktor BSCCO-2223, dengan nilai fraksi volume yang cenderung meningkat seiring meningkatnya suhu sintering. Fraksi volume tertinggi diperoleh pada sampel BSCCO-2223-865 yaitu 79,49 %. Hasil SEM menunjukkan bahwa semua sampel telah memiliki lapisan-lapisan yang tersusun (terorientasi) dengan ruang kosong antara lempengan (*void*) relatif kecil. Derajat orientasi yang tertinggi diperoleh pada sampel BSCCO-2223-860 yaitu 23,77 %.

Kata kunci: Superkonduktor, BSCCO-2223, sintering, fraksi volume dan derajat orientasi.

ABSTRACT

THE EFFECT OF SINTERING TEMPERATURE ON THE FORMATION OF BSCCO-2223 SUPERCONDUCTOR PHASE WITH LEVELS OF Ca = 2,10 USING THE WET-MIXING METHOD

By

KOMALA DEWI

This study was conducted to determine the effect of sintering temperature on the formation of BSCCO-2223 superconductor phase with levels of Ca = 2,10 using the wet mixing method. The materials used were Bi₂O₃, SrCO₃, CaCO₃, CuO, HNO₃ and aquades. Synthesis is carried out by dissolving the materials using HNO₃ and aquades slowly then the solution is dried for 40 hours at a temperature of 300, 400 and 600 °C gradually. The samples were calcined at 800 °C for 10 hours and each was sintered with temperature variations of 850, 855, 860 and 865 °C for 20 hours. The XRD result shows that the sintering temperature has an effect on the formation of BSCCO-2223 superconductor phase, with volume fraction value which tends to increase with increasing sintering temperature. The highest volume fraction was obtained in the BSCCO-2223-865 sample which is 79,49%. SEM result shows that all samples have arranged layers (oriented) with relatively small empty space between the plaques (void). The highest orientation degree is in the BSCCO-2223-860 sample which is 23,77%.

Keywords: *Superconductor, BSCCO-22223, sintering, volume fraction and orientation degree.*

**PENGARUH SUHU SINTERING TERHADAP PEMBENTUKAN FASE
SUPERKONDUKTOR BSCCO-2223 DENGAN KADAR Ca = 2,10
MENGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH**

Oleh

KOMALA DEWI

Skripsi

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

Pada

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



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

Judul Skripsi

: **PENGARUH SUHU SINTERING TERHADAP
PEMBENTUKAN FASE SUPERKONDUKTOR
BSCCO-2223 DENGAN KADAR CA = 2,10
MENGUNAKAN METODE PENCAMPURAN
BASAH**

Nama Mahasiswa

: **Komala Dewi**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1417041044

Jurusan

: **Fisika**

Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



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

Drs. Syafriadi, M.Si.
NIP. 196108211992031002

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

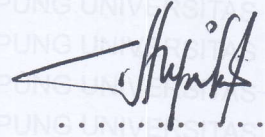
Arif Surtano, M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

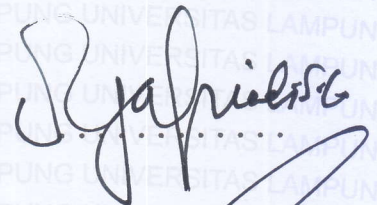
Ketua

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



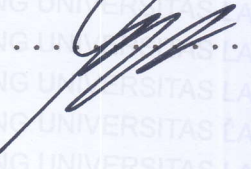
Sekretaris

: Drs. Syafriadi, M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing : Drs. Ediman Ginting, M.Si.

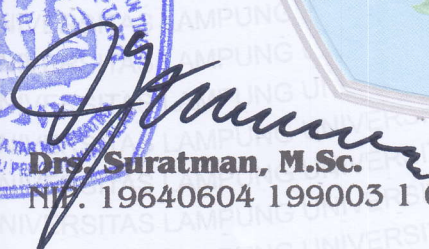


2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Suratman, M.Sc.

NIP. 19640604 199003 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 27 Mei 2019

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebut 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, Mei 2019



Komala Dewi
NPM. 1417041044

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di kota Bandar Lampung tanggal 27 Agustus 1996. Penulis merupakan anak ke-lima dari pasangan Alm. Bapak Ishak Ismail Latief dan Ibu Bairita. Penulis menyelesaikan pendidikan di SD Negeri 1 Pesawahan tahun 2008, SMP Negeri 1 Bandar Lampung pada tahun 2011 dan SMA Negeri 4 Bandar Lampung pada tahun 2014. Selanjutnya pada tahun 2014 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di kegiatan kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Fisika sebagai anggota bidang Sosial dan Masyarakat (SOSMAS) dari tahun 2015-2017. Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Serpong dengan judul “Pengaruh Aditif FeMn terhadap Karakteristik Keramik Berbasis *Glass Bead*”. Kemudian penulis melakukan penelitian berjudul “Pengaruh Suhu Sintering terhadap Pembentukan Fase Superkonduktor BSCCO-2223 dengan Kadar Ca = 2,10 Menggunakan Metode Pencampuran Basah” sebagai tugas akhir di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

MOTTO

“We’re all blessed in different ways. Count your blessings no matter how small they might seem.”

(Edmond Mbiaka)

“You can love anything, but love yourself first.”

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah: 5-6)

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, karya ini kupersembahkan kepada:

Kedua Orang Tuaku,

motivator terbaik dalam hidupku, yang selalu menyayangi dan mendo'akanku,
memberikan pendidikan yang terbaik sehingga mampu menghantarkanku
menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai Sarjana.

Kakak-kakakku serta keluarga besar yang menjadi penyemangatku

Serta Almamater Tercinta
“UNIVERSITAS LAMPUNG”

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi ALLAH SWT karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Suhu Sintering terhadap Pembentukan Fase Superkonduktor BSCCO-2223 dengan Kadar Ca = 2,10 Menggunakan Metode Pencampuran Basah”** yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada Jurusan Fisika, bidang Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Skripsi ini menjelaskan tentang sintesis superkonduktor BSCCO-2223 menggunakan metode pencampuran basah. Pada skripsi ini superkonduktor BSCCO-2223 dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM untuk mengetahui tingkat kemurnian fase dan struktur mikro yang terbentuk. Semoga skripsi ini dapat menjadi rujukan untuk penelitian selanjutnya dan dapat memperkaya ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, Mei 2019
Penulis,

Komala Dewi

SANWACANA

Puji syukur 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 atas kesediannya membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan selalu meluangkan waktunya untuk memberikan ilmu dan nasihatnya kepada penulis dari awal sampai akhir penulisan skripsi.
2. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si., sebagai Pembimbing II yang senantiasa sabar dalam mengoreksi skripsi dan memberikan masukan-masukan terbaik untuk penulisan skripsi.
3. Bapak Drs. Ediman Ginting, M.Si., sebagai Penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi.
4. Bapak Arif Surtono, M.Si., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
5. Bapak Drs. Suratman, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
6. Seluruh dosen Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu pengetahuan, wawasan, motivasi dan pengalaman yang menginspirasi.

7. Kedua orangtuaku, Alm. Bapak Ishak Ismail Latief dan Ibu Bairita serta Kakak-kakakku tercinta yang senantiasa memberikan dukungan, do'a dan semangat sampai penulis menyelesaikan skripsi ini.
8. Sepupuku, Rizka Ari Wandari dan teman terdekatku, Jeri Kuswanto yang telah memberikan semangat dan motivasi luar biasa kepada penulis.
9. Rekan satu tim penelitian, Isnaini Rahayu, Rizki Putri Surahman dan Siti Istiqomah yang telah bekerjasama dan memberi semangat dalam penelitian ini.
10. Sahabat-sahabatku, Putri, Vicar, Cici, Tyas, Nisfu, Tria, An'nisa, Erika dan teman-teman seperjuangan Fisika FMIPA Unila angkatan 2014.
11. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan yang telah diberikan. Aamiin.

Bandar Lampung, Mei 2019

Penulis,

Komala Dewi

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian.....	4
D. Batasan Masalah.....	5
E. Manfaat Penelitian.....	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sejarah Superkonduktor	6
B. Superkonduktor	7
C. Jenis-jenis Superkonduktor	8
D. Superkonduktor BSCCO	10
E. Superkonduktor BSCCO-2223	14
F. Metode Sintesis Superkonduktor BSCCO-2223	15
G. Aplikasi Superkonduktor	17
H. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	17
I. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	23

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	25
B. Alat dan Bahan	25
C. Komposisi Bahan	26
D. Prosedur Penelitian.....	26
E. Diagram Alir Penelitian.....	35

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Karakterisasi XRD	36
B. Hasil Analisis XRD	40
C. Hasil Karakterisasi SEM	42

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	45
B. Saran	45

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Fluks magnet pada jangkauan medan kritis: a. <i>Meissner state</i> ; b. <i>Mixed state</i> ; c. <i>Normal state</i>	10
Gambar 2. Diagram fase superkonduktor BSCCO.....	11
Gambar 3. Struktur kristal sistem BSCCO untuk fase; (a) 2201, (b) 2212, (c) 2223	13
Gambar 4. Skema alat XRD	18
Gambar 5. Pembentukan sinar-X.....	19
Gambar 6. Skema difraksi sinar-X	21
Gambar 7. Interaksi antara berkas elektron dengan sampel pada SEM.	24
Gambar 8. Diagram pengeringan dalam <i>furnace</i>	27
Gambar 9. Diagram kalsinasi	28
Gambar 10. Diagram sintering	28
Gambar 11. Mengonversi file <i>.txt</i> menjadi file <i>.rd</i>	30
Gambar 12. Input data <i>.rd</i>	30
Gambar 13. Memasukkan data <i>.rd</i>	31
Gambar 14. Puncak-puncak yang akan diukur dari spektrum XRD	31
Gambar 15. Inisial parameter sel dengan memilih jenis kristal ortorombik tipe FMMM.....	32
Gambar 16. <i>Calculate</i>	32
Gambar 17. Seleksi puncak dengan pemilihan toleransi berkisar 0,5-0,1	33

Gambar 18. Hasil <i>refine</i> terbaik	33
Gambar 19. Hasil <i>database excel</i> setelah di- <i>refine</i>	34
Gambar 20. Menentukan nilai intensitas	34
Gambar 21. Diagram alir penelitian	35
Gambar 22. Hasil analisis XRD dengan program <i>celref</i> ; (a) BSCCO-2223-850, (b) BSCCO-2223-855,(c) BSCCO-2223-860, dan (d) BSCCO-2223-865 Ket: tanda (●) menunjukkan impuritas BSCCO-2212.	37
Gambar 23. Hubungan antara variasi suhu sintering dengan tingkat kemurnian fase BSCCO-2223. Ket: tanda (☒) menunjukkan nilai <i>Fv</i> , tanda (☑) menunjukkan nilai <i>P</i> dan tanda (■) menunjukkan nilai <i>I</i>	40
Gambar 24. Hasil karakterisasi SEM pada sampel; (a) BSCCO-2223-850, (b) BSCCO-2223-855, (c) BSCCO-2223-860, (d) BSCCO-2223-865 dengan perbesaran 3000x. Ket: tanda panah (↓) menunjukkan lempengan yang telah terorientasi dan tanda (◆) menunjukkan <i>void</i>	43

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Komposisi bahan BSCCO-2223 dengan kadar $\text{CaCO}_3 = 2,10$	26
Tabel 2. Hasil perhitungan tingkat kemurnian fase BSCCO-2223 dengan variasi suhu sintering	40

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Superkonduktor telah banyak digunakan di berbagai bidang, diantaranya bidang transportasi, kesehatan dan kelistrikan seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dewasa ini. Penggunaan superkonduktor di bidang transportasi misalnya kereta supercepat yang dikenal dengan *Magnetic Levitation* (Maglev) (Marlianto, 2008), di bidang kesehatan yaitu alat pencitraan resonansi magnetik (Albiss, dkk, 2010) dan di bidang kelistrikan yaitu kabel daya yang dibuat dengan pita superkonduktor (Masur, dkk, 2001). Penelitian mengenai superkonduktor semakin gencar dilakukan, baik di dalam maupun di luar negeri mengingat manfaatnya yang luar biasa untuk masa sekarang dan mendatang. Penelitian dilakukan dalam skala besar untuk industri maupun skala kecil untuk laboratorium, baik dalam bentuk *bulk* maupun *film* tipis (Sari, 2013).

Superkonduktor merupakan suatu bahan yang mempunyai karakteristik dapat mengalirkan arus listrik tanpa mengalami hambatan, di mana resistivitas menjadi nol dan dapat menolak fluks magnet eksternal yang melewatinya atau mengalami diamagnetisme sempurna (Hcamargo, dkk, 2014). Resistivitas suatu superkonduktor menjadi nol (*superconducting*) yaitu ketika berada di bawah suhu tertentu yang dinamakan dengan suhu kritis. Suhu kritis (T_c) dikenal juga sebagai suhu transisi, yaitu suhu terjadinya transisi dari keadaan normal ke keadaan

superkonduktif. Transisi tersebut bersifat reversibel, artinya apabila dipanaskan akan kembali memiliki resistivitas normal pada T_c . T_c superkonduktor dan sifat fisisnya berkaitan erat dengan struktur kristal bahan yang bersangkutan (Santosa, dkk, 2015).

Superkonduktor dapat dibedakan berdasarkan medan magnet dan T_c -nya. Berdasarkan sifat magnetisnya, superkonduktor ada dua tipe, yaitu superkonduktor tipe I dan II. Superkonduktor tipe I memiliki satu nilai medan magnet kritis, sedangkan superkonduktor tipe II memiliki dua nilai medan magnet kritis. Berdasarkan T_c -nya terdapat dua jenis superkonduktor, yaitu superkonduktor suhu kritis rendah dan tinggi. Superkonduktor suhu kritis rendah merupakan superkonduktor yang memiliki T_c di bawah suhu nitrogen cair (77 K). Superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST) adalah superkonduktor yang memiliki T_c di atas 77 K sehingga nitrogen cair dapat digunakan sebagai pendinginnya (Windartun, 2008).

Salah satu SKST yang banyak dikaji adalah sistem Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO) yang dikenal juga sebagai superkonduktor berbasis Bi (Nurmalita, 2011). Berdasarkan penemuan H. Maeda dan Togano tahun 1988, teridentifikasi bahwa superkonduktor BSCCO memiliki 3 fase yaitu 2201, 2212 dan 2223, dimana T_c dari fase-fase tersebut berturut-turut adalah 10, 80 dan 110 K. BSCCO-2223 adalah fase yang paling potensial untuk aplikasi dibandingkan dengan fase-fase lainnya karena T_c -nya tinggi. Selain itu, BSCCO-2223 mempunyai sifat fisis yang mudah dibentuk, tidak mudah patah dan dapat dikembangkan untuk pembuatan lapisan tipis (Lusiana, 2013).

BSCCO-2223 terbentuk dari proses pengkristalan dan pertumbuhan fase BSCCO-2212. Pertumbuhan fase BSCCO-2223 terjadi pada suhu sintering 840-880 °C dengan selam 100-624 jam (Widodo dan Darminto, 2010). Namun, untuk mendapatkan BSCCO-2223 dengan kemurnian tinggi sangat sulit karena dipengaruhi oleh banyak kondisi persiapan seperti komposisi, waktu *annealing*, suhu, tekanan, atmosfer selama sintering, jenis metode perlakuan panas, kuantitas perlakuan panas, dopan dan prosedur operasional (Shoushtari dan Ghahfarokhi, 2010). Metode yang sering digunakan dalam sintesis superkonduktor BSCCO-2223 adalah metode padatan (*solid state reaction*). Tetapi, metode padatan ini memiliki kelemahan, yaitu tingkat kemurnian atau homogenitas dari superkonduktor yang dihasilkan rendah karena masih ada fase pengotornya (Lusiana, 2013). Sintesis superkonduktor BSCCO-2223 dapat dilakukan menggunakan metode pencampuran basah dengan hasil fraksi volume yang lebih tinggi (Widodo dan Darminto, 2010).

Penelitian tentang superkonduktor BSCCO-2223 terus dilakukan untuk mendapatkan superkonduktor dengan kemurnian tinggi (Subarwanti, 2013). Suhu sintering merupakan salah satu faktor dalam sintesis superkonduktor yang bertujuan untuk mempercepat pertumbuhan fase dan meningkatkan nilai fraksi volumenya. Beberapa sintesis superkonduktor BSCCO-2223 yang dilakukan dengan memvariasikan suhu sintering, diantaranya menggunakan metode padatan dengan variasi suhu sintering 850, 860 dan 870 °C menghasilkan nilai fraksi volume tertinggi sebesar 87 % pada suhu 860 °C (Saleh, 2006), kemudian menggunakan metode pencampuran basah dengan variasi suhu sintering 820, 840, 850 dan 860 °C memperoleh nilai fraksi volume tertinggi sebesar 65,9 % dengan ukuran kristal 81 nm pada suhu sintering 860 °C (Khafifah, dkk, 2011) dan menggunakan metode

padatan dengan variasi suhu sintering pada 840, 845, 850 dan 855 °C menunjukkan hasil fraksi volume tertinggi sebesar 80,43 % pada suhu sintering 855 °C (Subarwanti, 2013).

Pada penelitian ini dilakukan sintesis superkonduktor BSCCO-2223 dengan kadar Ca = 2,10 menggunakan metode pencampuran basah. Variasi suhu sintering yang dilakukan adalah 850, 855, 860 dan 865 °C. Karakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk mengetahui tingkat kemurnian fase yang terbentuk dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui struktur mikro dari sampel. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui suhu sintering terbaik yang dapat menghasilkan superkonduktor BSCCO-2223 dengan tingkat kemurnian tinggi.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh suhu sintering terhadap pembentukan fase superkonduktor BSCCO-2223 dengan kadar Ca = 2,10 menggunakan metode pencampuran basah?
2. Bagaimana struktur mikro dari superkonduktor BSCCO-2223 dengan kadar Ca = 2,10?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi suhu sintering terhadap pembentukan fase superkonduktor BSCCO-2223 dengan kadar Ca = 2,10 menggunakan metode

pencampuran basah.

2. Mengetahui struktur mikro dari superkonduktor BSCCO-2223 dengan kadar Ca = 2,10.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Sintesis superkonduktor BSCCO-2223 dengan kadar Ca = 2,10 menggunakan metode pencampuran basah.
2. Sampel dikalsinasi pada suhu 800 °C selama 10 jam.
3. Sampel disintering selama 20 jam. Variasi suhu sintering yang dilakukan yaitu 850, 855, 860 dan 865 °C.
4. Sampel dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM.
5. Penelitian ini tidak melakukan pengujian efek Meissner, T_c , dan rapat arus kritis (J_c).

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh suhu sintering terhadap pembentukan fase superkonduktor BSCCO-2223 dengan kadar Ca = 2,10 menggunakan metode pencampuran basah.
2. Sebagai bahan acuan untuk melakukan penelitian selanjutnya, terutama untuk superkonduktor BSCCO-2223.
3. Sebagai tambahan referensi di Jurusan Fisika, khususnya bidang Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sejarah Superkonduktor

Superkonduktor pertama kali ditemukan oleh fisikawan Belanda, Heike Kamerlingh Onnes, dari Universitas Leiden. Onnes mulai mempelajari sifat-sifat listrik dari logam pada suhu yang sangat dingin pada tahun 1911. Onnes mengalirkan arus pada kawat merkuri yang sangat murni, kemudian mengukur hambatannya sambil menurunkan suhunya. Hambatan tiba-tiba hilang dan arus mengalir terus-menerus tanpa kehilangan energi pada suhu 4,2 K. Percobaan lain dilakukan dengan mengalirkan arus pada suatu kumparan superkonduktor dalam rangkaian tertutup, lalu mencabut sumber arusnya. Satu tahun kemudian Onnes mengukur arusnya dan arus masih tetap mengalir. Fenomena ini kemudian oleh Onnes diberi nama superkonduktivitas. Atas penemuannya itu, Onnes dianugerahi hadiah Nobel Fisika pada tahun 1913 (Reviana, 2013).

Setelah penemuan Onnes, London dan Shubnikov membuat terobosan penting dalam memahami sifat magnetik superkonduktor pada 1930-an. Mereka menunjukkan perbedaan antara superkonduktor tipe I, di mana arus mengalir hanya di permukaan dan superkonduktivitas dihilangkan oleh medan yang lemah, dengan jenis superkonduktor baru (superkonduktor tipe II) yang mampu membawa arus super besar di medan tinggi (Larbalestier, dkk, 2001). Penemuan intermetalik Nb_3Sn yang menghasilkan rapat arus $J > 10^5 \text{ A cm}^{-2}$ pada 8,8 Tesla dan 4,2 K

menunjukkan bahwa superkonduktivitas memang dapat diaplikasikan pada medan magnet yang sangat tinggi (Kunzler, dkk, 1961).

Fisikawan dari Switzerland, yaitu Alex Muller dan George Bednorz, melakukan penelitian di Laboratorium Riset IBM di Ruschlikon pada tahun 1986. Mereka berhasil membuat suatu keramik yang terdiri dari unsur lanthanum, barium, tembaga, dan oksigen yang memiliki superkonduktivitas pada T_c yaitu 30 K. Penemuan ini menjadi populer karena selama ini keramik dikenal sebagai isolator yang tidak dapat menghantarkan listrik pada suhu ruang (Yuliati, 2010).

Superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO) dengan T_c di atas titik didih nitrogen cair 92 K dan superkonduktor $\text{Hg}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (HBCCO) dengan T_c lebih dari 130 K ditemukan pada awal 1987 (Schilling, dkk, 1993). Bi dan Ti-kuprat oksida dengan $T_c = 110$ dan 125 K telah ditemukan pada tahun 1988 (Sukirman dkk, 2003). Superkonduktor ini disebut sebagai SKST, umumnya mempunyai struktur yang berlapis sehingga bersifat anisotropis (Sembiring, dkk, 2016).

B. Superkonduktor

Superkonduktor adalah suatu bahan yang tidak memiliki hambatan dan bersifat diamagnetis sempurna di bawah suatu nilai suhu tertentu. Pada prinsipnya, bahan ini dapat menghantarkan arus listrik tanpa kehilangan daya sedikitpun dan menghasilkan medan magnet yang berlawanan arah dengan medan magnet luar yang diberikan, sehingga medan magnet luar tersebut tidak dapat menembus superkonduktor. Bahan ini akan terus-menerus menolak medan magnet luar yang

diberikan sampai mencapai medan magnet kritisnya (H_c). Fenomena ini disebut juga efek Meissner (Tinkham, 1996; Rusdi, 2010).

Superkonduktivitas adalah keadaan kesetimbangan termodinamika yang mempengaruhi sifat listrik dan sifat magnetik bahan. Hal ini muncul dari interaksi yang menarik antara pasangan elektron dengan getaran kisi. Fenomena ini ditentukan oleh parameter, yaitu T_c , J_c dan H_c . Karakteristik signifikannya adalah resistivitas bernilai nol di bawah T_c , namun pada keadaan normal, resistivitas superkonduktor sebanding dengan atau lebih tinggi dari resistivitas logam biasa. Superkonduktor memiliki suhu kritis *onset* ($T_{c_{onset}}$) dan suhu kritis *zero* ($T_{c_{zero}}$). $T_{c_{onset}}$ adalah keadaan pada suhu tertentu resistivitas bahan akan turun, sedangkan $T_{c_{zero}}$ adalah keadaan pada suhu tertentu resistivitas bahan bernilai nol (Dewi, 2016).

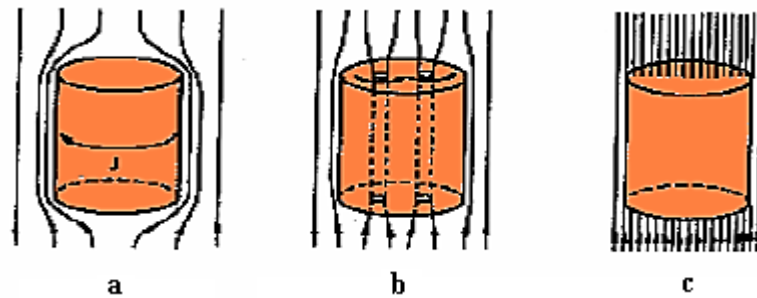
C. Jenis-jenis Superkonduktor

Superkonduktor dapat dibedakan berdasarkan T_c dan medan magnet kritisnya. Berdasarkan T_c -nya, ada dua keadaan superkonduktor, yaitu superkonduktor suhu kritis rendah dan SKST. Superkonduktor suhu kritis rendah merupakan superkonduktor yang memiliki T_c di bawah suhu nitrogen cair. Untuk memunculkan superkonduktivitasnya, helium cair digunakan sebagai pendingin. SKST adalah superkonduktor yang memiliki T_c di atas 77 K sehingga nitrogen cair dapat digunakan sebagai pendinginnya (Windartun, 2008).

Berdasarkan sifat magnetisnya, superkonduktor terdiri dari superkonduktor tipe I dan superkonduktor tipe II. Superkonduktor tipe I menurut teori BCS (Bardeen,

Cooper dan Schrieffer) dijelaskan dengan pasangan elektron (yang sering disebut pasangan Cooper). Ketika pasangan elektron melewati inti atom kisi, elektron yang mendekat akan bergetar dan memancarkan energi fonon. Sedangkan elektron lainnya menyerap energi fonon. Pertukaran energi fonon ini mengakibatkan gaya tarik-menarik antarelektron. Pasangan elektron ini akan melalui kisi tanpa gangguan (tanpa hambatan) dan arus listrik akan bergerak dengan merata sehingga terjadi peristiwa yang disebut sebagai superkonduktivitas. Superkonduktor tipe I hanya memiliki satu nilai H_c , sehingga superkonduktivitasnya akan hilang apabila kuat medannya melebihi batas H_c (Widodo dan Darminto, 2010). Superkonduktor tipe I berupa logam murni, seperti Be, La, Ti, Nb, Ta, Cd, Hg, Al, Tl, Sn dan Pb. Logam murni lain yang dapat menjadi superkonduktor di bawah tekanan tinggi, yaitu Cs, Ba, Y, Ce, Si, Ge, P, As, Sb, Bi, Se, Te dan Lu (Bennemann dan Ketterson, 2008).

Superkonduktor tipe II tidak dapat dijelaskan menggunakan teori BCS, karena tidak terjadi efek Meissner. Superkonduktor tipe II banyak dijumpai dalam bentuk campuran logam (*alloy*), diantaranya NbTi, Nb₃Sn, HgBa₂Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+2}, YBa₂Cu₃O_{7-x}, Bi₂Sr₂Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4}, Tl₂Ba₂Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4} dan FeSe (Nisa, 2016). Superkonduktor tipe II memiliki dua nilai H_c , yaitu medan magnet kritis bawah (H_{c1}) dan medan magnet kritis atas (H_{c2}). Selain itu, superkonduktor tipe II memiliki tiga keadaan seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Fluks magnet pada jangkauan medan kritis: a. *Meissner state*; b. *Mixed state*; c. *Normal state* (Sumber: Widodo dan Darminto, 2010).

Berdasarkan Gambar 1, tiga keadaan pada superkonduktor tipe II adalah:

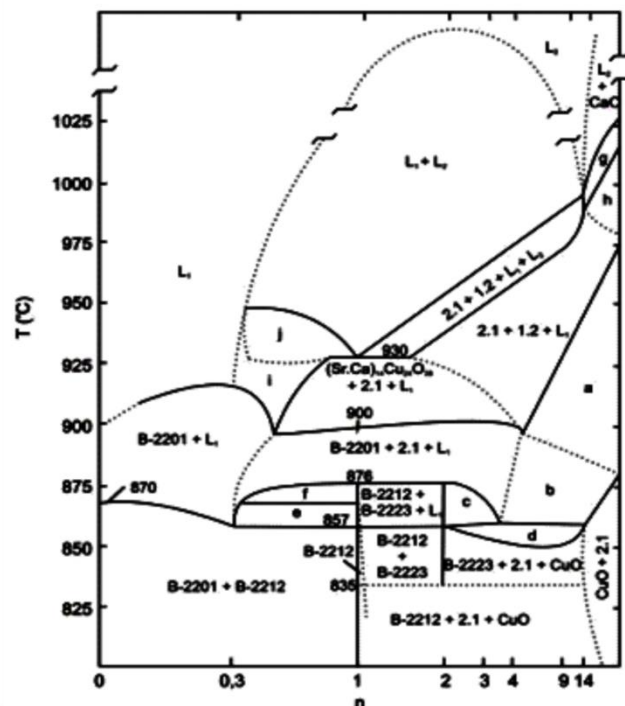
- Apabila nilai medan magnet $H < H_{c1}$, fluks magnetik akan ditolak secara sempurna, keadaan ini disebut dengan *Meissner state*.
- Apabila nilai medan magnet $H_{c1} < H < H_{c2}$, fluks magnet sebagian dapat menembus interior bahan sampai batas medan magnet kritis H_{c2} , keadaan ini disebut *mixed state*.
- Apabila nilai $H > H_{c2}$, bahan akan kehilangan sifat superkonduktivitasnya dan kembali ke keadaan normal (*normal state*) (Santosa, dkk, 2015).

D. Superkonduktor BSCCO

Superkonduktor BSCCO termasuk dalam golongan superkonduktor tipe II dan merupakan superkonduktor oksida keramik yang mempunyai T_c tinggi. Superkonduktor berbasis Bi merupakan superkonduktor yang memiliki struktur kristal berlapis-lapis, terdiri dari lapisan CuO_2 , SrO , BiO dan susunan yang berfase jamak sebagai akibat senyawa multikomponen. Pada semua superkonduktor berbasis keramik atau oksida logam, lapisan kupratnya dalam struktur kristal dipercaya sebagai lapisan paling berperan dalam gejala superkonduktor (Nurmalita, 2016). Senyawa kuprat (CuO) yang multikomponen juga menjadikan

superkonduktor BSCCO bersifat multifase, anisotropis dan koherensi yang pendek (Nurmalita, 2011). Superkonduktor BSCCO cenderung bersifat metalik pada suhu kamar, mudah patah dan sangat rapuh karena struktur kristalnya yang berlapis-lapis (Rahardjo dan Surantoro, 2016).

Pembentukan senyawa bergantung pada komposisi nominal bahan penyusun dan suhu pemrosesannya yang dapat digambarkan oleh diagram fase sistem yang bersangkutan. Diagram fase superkonduktor BSCCO ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram fase superkonduktor BSCCO (Sumber: Strobel, dkk, 1992).

Pada Gambar 2 terlihat hubungan antara suhu dan komposisi pembentukan superkonduktor BSCCO. Fase 2:1 adalah $(\text{Sr.Ca})_2\text{CuO}_3$ dan n menyatakan indeks molar unsur Ca dalam senyawa tersebut. Berdasarkan Gambar 2, terdapat delapan daerah fase pembentukan superkonduktor BSCCO, yaitu:

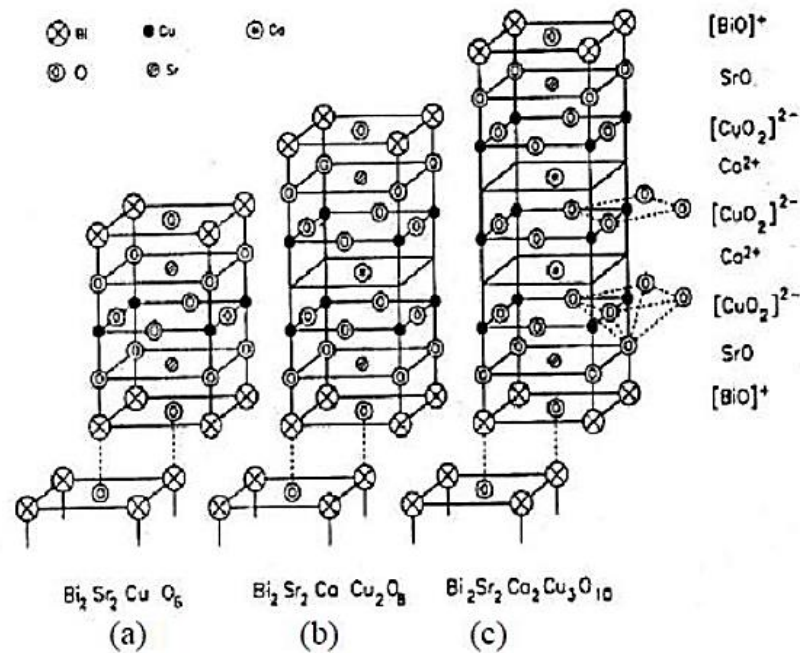
1. Daerah fase Bi-2201 + Bi-2212

2. Daerah fase Bi-2212 murni
3. Daerah fase Bi-2212, $(\text{Sr.Ca})_2\text{CuO}_3$ dan CuO
4. Daerah fase Bi-2212 dan Bi-2223
5. Daerah fase Bi-2223, $(\text{Sr.Ca})_2\text{CuO}_3$ dan CuO
6. Daerah fase Bi-2212, Bi-2223 dan L_1
7. Daerah fase Bi-2201, $(\text{Sr.Ca})_2\text{CuO}_3$ dan L_1
8. Daerah fase Bi-2201 dan L_1

Dari kedelapan daerah fase terdapat tiga daerah yang mengandung cairan dengan komposisi yang belum diketahui, yaitu L_1 . Daerah ini terdapat dalam rentang suhu yang menimbulkan *partial melting*, sedangkan kelima daerah lainnya adalah fase padatan (Nurmalita, 2011).

Dalam superkonduktor BSCCO terdapat tiga fase superkonduktif yang telah diidentifikasi. Fase yang pertama adalah BSCCO-2201 juga disebut sebagai 11905 atau fase Raveau. Fase tersebut memiliki komposisi stoikiometri tanpa Ca, yaitu $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+\alpha}$ dengan $T_c = 24$ K. Fase kedua adalah BSCCO-2212 yang memiliki komposisi stoikiometri $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{8+\alpha}$ dengan $T_c = 92$ K. Fase ketiga adalah BSCCO-2223, yaitu fase yang memiliki komposisi stoikiometri $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\alpha}$ dengan $T_c = 110$ K. Fase-fase superkonduktor merupakan komponen homolog yang dapat ditulis dengan persamaan stoikiometri $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4}$ ($n = 1, 2, 3$) (Nilson, 2009).

Struktur kristal dari fase yang terbentuk dalam superkonduktor akan sangat berpengaruh terhadap T_c -nya. Struktur kristal superkonduktor BSCCO, baik fase 2201, 2212 ataupun 2223, pada umumnya berbentuk ortorombik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur kristal sistem BSCCO untuk fase; (a) 2201, (b) 2212, (c) 2223 (Sumber: Lusiana, 2013).

Gambar 3 (a) menunjukkan BSCCO-2201 yang disusun oleh bidang BiO-SrO-CuO-SrO-BiO dengan parameter kisi $a = b = 5,39 \text{ \AA}$ dan $c = 24,6 \text{ \AA}$. Gambar 3 (b) adalah BSCCO-2212 yang disusun oleh bidang BiO-SrO-CuO-CaO-CuO-SrO-BiO dengan parameter kisi $a = b = 5,4 \text{ \AA}$ dan $c = 30,7 \text{ \AA}$ (Lehndroff, 2001). Gambar 3 (c) merupakan struktur kristal dari BSCCO-2223 yang disusun oleh bidang BiO-SrO-CuO-CaO-CuO-CaO-CuO-SrO-BiO dengan parameter kisi $a = 5,425 \text{ \AA}$, $b = 5,414 \text{ \AA}$, $c = 37,186 \text{ \AA}$ dan sudut $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (Widodo dan Darminto, 2010).

SKST berbasis Bi-Sr-Ca-Cu-O, baik dalam bentuk *bulk* seperti *wires* dan *tapes* atau sebagai komponen komposit yang lebih kompleks, telah menunjukkan kemajuan yang mengesankan dan sangat menjanjikan. Superkonduktor BSCCO memiliki beberapa sifat menguntungkan yang membuat mereka menarik untuk dipertimbangkan pada aplikasi teknik. Selain itu, superkonduktor ini juga memiliki

medan magnet kritis atas H_{c2} yang dapat digunakan pada aplikasi medan magnet tinggi (Albiss, dkk, 2010).

E. Superkonduktor BSCCO-2223

BSCCO-2223 merupakan fase terbaik dari superkonduktor karena memiliki T_c paling tinggi, yaitu 110 K. Superkonduktor BSCCO-2223 merupakan superkonduktor tipe II, di mana pada tipe II selain ada daerah Meissner ($\rho = 0, B = 0$) dan daerah normal ($\rho \neq 0, B \neq 0$) juga terdapat daerah campuran ($\rho = 0, B \neq 0$) sehingga ada sebagian fluks magnet yang menembus superkonduktor. BSCCO-2223 terbentuk dari proses pengkristalan dan pertumbuhan BSCCO-2212. Pertumbuhan BSCCO-2223 terjadi pada suhu sintering 840-880 °C selama 100-624 jam (Widodo dan Darminto, 2010).

BSCCO-2223 adalah salah satu SKST yang sangat menjanjikan yang dapat digunakan pada aplikasi yang luas, tetapi untuk mendapatkan fase tunggal dari BSCCO-2223 sangat sulit. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu:

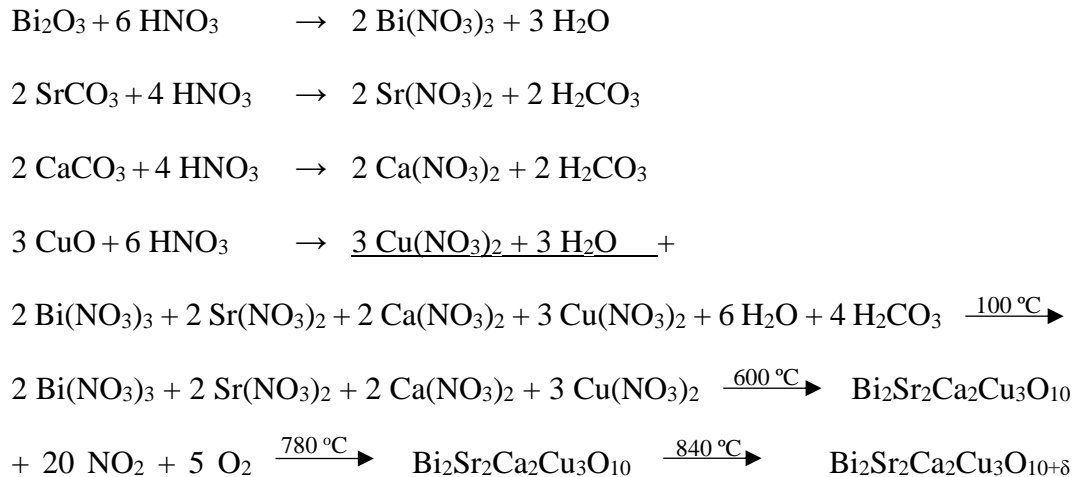
- a. Jangkauan suhu untuk menstabilkan komposisi BSCCO-2223 sangat sempit dengan menggunakan metode-metode sintesis yang berbeda (Majewski, 1997).
- b. BSCCO-2212 stabil pada jangkauan suhu yang lebih luas dari BSCCO-2223 sehingga BSCCO-2212 biasanya menjadi fase pengotor utama.
- c. Kekurangan kadar oksigen pada sampel yang disiapkan dapat menghasilkan fase-fase sekunder (Shalaby, dkk, 2016).

Superkonduktor BSCCO-2223 memiliki sifat fisis, yaitu mudah dibentuk dan tidak mudah patah. BSCCO-2223 adalah fase yang paling potensial untuk aplikasi dibandingkan dengan fase-fase lain (Lusiana, 2013).

F. Metode Sintesis Superkonduktor BSCCO-2223

Metode yang bisa digunakan untuk menyintesis superkonduktor BSCCO-2223 diantaranya, metode lelehan, pencampuran basah, dan padatan. Pada metode lelehan, bahan dasar yang digunakan yaitu Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaCO_3 dan CuO . Bahan-bahan tersebut ditimbang sesuai stoikiometri yang diinginkan. Semua bahan tersebut dicampur dengan aquades dan HNO_3 sebagai pelarut, kemudian diaduk sampai larutan berwarna biru jernih. Apabila seluruh bahan telah larut, selanjutnya dilakukan pemanasan sampai menjadi gumpalan padat. Superkonduktor yang berbentuk gumpalan tersebut kemudian digerus dan dikeringkan di dalam *furnace*. Setelah itu dilakukan penggerusan dan kompaksi. Proses selanjutnya yaitu kalsinasi dan sintering. Untuk memperoleh superkonduktor BSCCO-2223 dilakukan pelelehan pada suhu $863\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 sampai 15 menit, kemudian proses dilanjutkan dengan pemanasan sesuai dengan suhu sintering yang digunakan, yaitu $850\text{ }^\circ\text{C}$ (Marhaendrajaya, 2001).

Sintesis dengan metode pencampuran basah dilakukan menggunakan bahan utama, yaitu Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaCO_3 , CuO dan pelarut. Masing-masing bahan dilarutkan dengan HNO_3 dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sambil dipanaskan pada suhu $70\text{ }^\circ\text{C}$. Larutan hasil reaksi dicampur menjadi satu sampai mengerak lalu dioven pada suhu $100\text{ }^\circ\text{C}$. Kemudian sampel dikeringkan pada suhu $600\text{ }^\circ\text{C}$. Setelah itu sampel dikalsinasi pada suhu $780\text{ }^\circ\text{C}$ dan disintering pada suhu $840\text{ }^\circ\text{C}$ selama 3 jam. Reaksi kimia yang terjadi yaitu:



(Widodo dan Darminto, 2010).

Pada penelitian selanjutnya, pelarut yang digunakan yaitu HNO₃ dan aquades. Prosedur yang dilakukan hampir sama tetapi tidak ada proses pengeringan. Sampel dioven pada suhu 100 °C, selanjutnya dikalsinasi dengan variasi suhu 760, 790 dan 800 °C. Kemudian sampel disintering pada suhu 820, 840, 850 dan 860 °C (Khafifah, dkk, 2011).

Metode padatan merupakan metode yang sering digunakan karena praktis dan murah. Sintesis ini dilakukan menggunakan bahan dasar yang terdiri dari oksida dan karbonat dengan tingkat kemurnian tinggi ($\geq 99,9\%$), yaitu Bi₂O₃, SrCO₃, CaCO₃ dan CuO. Bahan dasar tersebut ditimbang sesuai stoikiometri yang diinginkan kemudian dilakukan penggerusan dan kompaksi. Proses selanjutnya, bahan dikalsinasi lalu dilakukan penggerusan dan kompaksi kembali. Setelah itu sampel disintering menggunakan *furnace* pada suhu 840, 845, 850 dan 855 °C (Reviana, 2013).

G. Aplikasi Superkonduktor

Sejak ditemukannya superkonduktor dengan karakteristik resistivitas bernilai nol, medan magnet bernilai nol dan mengalami efek Meissner, maka para ilmuwan dan teknisi berusaha memanfaatkan sifat-sifat unik superkonduktor tersebut untuk diaplikasikan. SKST yang ditemukan berprospek untuk perkembangan aplikasi energi (Alviani, 2016). Superkonduktor telah diaplikasikan pada berbagai bidang teknologi, baik dalam penerapan secara langsung maupun masih dalam prototipe.

Fenomena levitasi (melayang) sebagai efek Meissner dimanfaatkan dalam pembuatan kereta supercepat, yaitu Maglev. Kereta Maglev adalah sebuah kendaraan transportasi perkeretaapian yang dapat melayang pada magnet superkonduktor. Dengan melayang, maka gesekan antara roda dengan rel dapat dihilangkan dan akibatnya kereta dapat berjalan dengan sangat cepat sekitar 550 km/jam (Marlianto, 2008). Superkonduktor juga digunakan sebagai komponen di berbagai perangkat seperti kabel daya yang dirancang dengan pita superkonduktor BSCCO-2223 untuk Detroit Edison (Masur, dkk, 2001). Aplikasi lainnya, yaitu kawat superkonduktor (Hirosho, dkk, 2006; Kikuchi, dkk, 2008), magnet medan tinggi, sistem pencitraan resonansi magnetik, pembatas arus superkonduktor (SFCL), sensor magnetik (Albiss, dkk, 2010) dan perangkat penyimpan energi magnetik (Jabur, 2012).

H. X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan suatu teknik yang digunakan untuk karakterisasi adanya fase kristalin di dalam suatu bahan baik padatan maupun serbuk, juga untuk

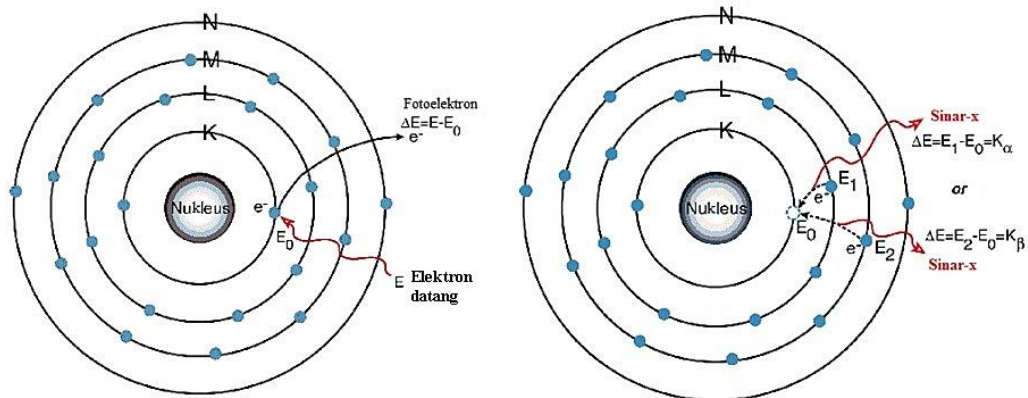
menganalisis sifat-sifat struktur dari setiap fase yang terbentuk. Metode ini menggunakan sinar-X yang terdifraksi seperti sinar yang direfleksikan dari setiap bidang, yang dibentuk oleh atom-atom kristal dari bahan tersebut. Dalam eksperimen digunakan sinar-X yang monokromatis (Callister, 2003) karena akan memberikan data difraksi yang relatif bagus (Suharyana, 2012). Spektrum difraksi yang terbentuk menyatakan karakteristik dari sampel. Susunan ini diidentifikasi dengan membandingkannya pada sebuah *data base* internasional (Groover, 2010). Skema alat XRD dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema alat XRD.

Sinar-X dapat terbentuk dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi apabila berkas elektron berkecepatan tinggi menumbuk suatu atom target. Bila energi berkas elektron tersebut lebih tinggi daripada energi ikat elektron atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitalnya. Dengan demikian orbital atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron di orbital tersebut akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar (tingkat energi lebih tinggi) disertai pelepasan energi yang berupa sinar-X. Sinar-X yang dihasilkan merupakan suatu spektrum berenergi tertentu (*discreet*) yang berasal dari atom

target, dikenal sebagai spektrum sinar-X karakteristik. Peristiwa tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



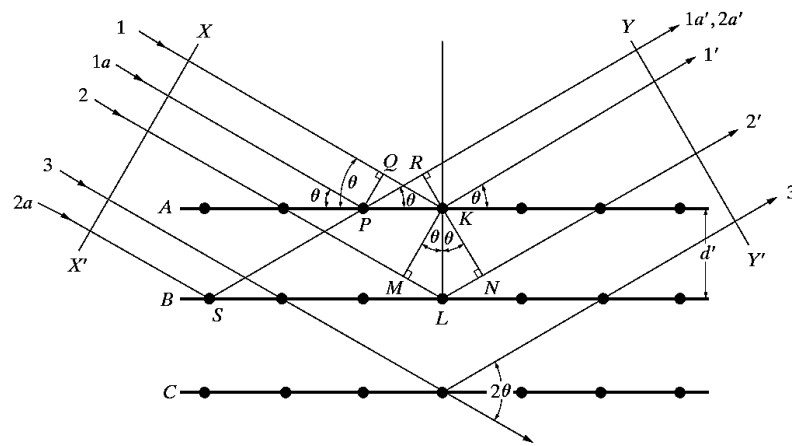
Gambar 5. Pembentukan sinar-X (Kalnicky and Singhvi, 2001).

Komponen-komponen utama pembentuk sinar-X pada tabung sinar-X adalah:

1. Katoda (sumber elektron), katoda ini terbuat dari nikel murni dimana celah antara 2 batang katoda disisipi kawat pijar (filamen) yang menjadi sumber elektron pada tabung sinar-X.
2. Arus yang diberikan pada tabung sinar-X pada kisaran milliampere (mA) berfungsi untuk memijarkan filamen sehingga terbentuk awan elektron pada filamen.
3. Beda potensial dalam kisaran kilovolt (kV) berfungsi untuk memberikan energi kinetik pada elektron-elektron tersebut.
4. Anoda (target), berfungsi sebagai tempat tumbukan elektron.
5. *Focussing cup*, terdapat pada katoda yang berfungsi sebagai alat untuk mengarahkan elektron secara konvergen ke target agar elektron tidak terpancar kemana-mana.
6. *Rotor* atau *stator*, terdapat pada bagian anoda yang berfungsi sebagai alat untuk memutar anoda.

7. *Glass metal envelope (vacuum tube)* adalah tabung yang gunanya membungkus komponen-komponen penghasil sinar-X agar menjadi *vacuum* (ruang hampa udara).
8. *Oil* adalah komponen yang cukup penting karena saat elektron-elektron menabrak target pada anoda, energi kinetik yang berubah menjadi sinar-X hanyalah 1% selebihnya berubah menjadi panas mencapai 2000 °C, jadi peran *oil* ini sebagai pendingin tabung sinar-X.
9. *Window* atau jendela adalah tempat keluarnya sinar-X, *window* ini terletak dibagian bawah tabung. Tabung bagian bawah dibuat lebih tipis dari tabung bagian atas, dikarenakan agar sinar-X dapat keluar tanpa mempengaruhi komponen-komponen lain (Suryaningsih, 2014).

Apabila sinar-X mengenai suatu bahan maka energi sinar-X yang ditransmisikan lebih kecil dari energi sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh bahan. Berkas sinar yang didifraksikan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda, ada juga yang saling menguatkan karena fasenya sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan disebut sebagai berkas difraksi. Berkas tersebut akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Tiap puncak yang muncul pada spektrum XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal memenuhi persamaan hukum Bragg yang menyatakan bahwa perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X harus merupakan kelipatan panjang gelombang (Dewi, 2016). Skema difraksi sinar-X ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema difraksi sinar-X.

Gambar 6 menunjukkan sebuah kristal yang atom-atomnya tersusun pada bidang paralel A, B dan C, masing-masing berjarak d' . Asumsikan bahwa sebuah berkas sinar-X monokromatik dengan panjang gelombang λ mengenai bidang kristal dan membentuk sudut θ . Berkas sinar-X yang datang ini akan didifraksikan oleh atom-atom pada kristal ke semua arah dengan sudut pantul sama dengan sudut datang.

Pada Gambar 6 terlihat sinar 1 dan 2 didifraksikan oleh atom K dan L, panjang lintasan sinar 1 yaitu $1K + K1'$ sedangkan sinar 2 yaitu $2L + L2'$. Lintasan sinar 2 lebih panjang dibandingkan dengan lintasan sinar 1. Perbedaan lintasannya yaitu sebesar d' :

$$d' = (2L + L2') - (1K + K1') \quad (1)$$

Jika dari titik K ditarik garis ke $2L$ dan $L2'$, diberi tanda M dan N, maka $2M = 1K$, $N2' = K1'$ sehingga persamaan 1 menjadi:

$$d' = ML + LN \quad (2)$$

Diketahui bahwa perbedaan lintasan merupakan kelipatan n dari panjang gelombang dan panjang $ML = LN$ yaitu sebesar $d \sin \theta$, maka:

$$n\lambda = 2d' \sin \theta \quad (3)$$

Dengan: $n = 1, 2, 3, \dots$ (orde difraksi);

λ = panjang gelombang sinar-X;

d' = jarak antarbidang (hkl);

θ = sudut difraksi.

Persamaan 3 ini dikenal sebagai persamaan hukum Bragg yang menyatakan kondisi esensial yang harus dipenuhi jika difraksi terjadi (Cullity dan Stock, 2001).

Kristal merupakan susunan atom-atom atau kumpulan atom yang teratur dan berulang dalam ruang tiga dimensi. Keteraturan susunan tersebut disebabkan oleh kondisi geometris yang dipengaruhi oleh ikatan atom yang memiliki arah. Bidang kristal merupakan bidang yang terbentuk dari susunan atom yang berulang dalam sebuah sistem kristal. Jarak yang terdapat antara bidang yang saling berdekatan disebut dengan jarak antarbidang. Jarak antarbidang (d) merupakan hal yang penting untuk diketahui ketika melakukan analisis struktur kristal, diantaranya untuk mengetahui dimensi atau ukuran dari kristal yang terbentuk. Cara yang dapat dilakukan untuk menghitung besarnya nilai d adalah dengan menentukan indeks Miller kemudian nilai yang diperoleh dari hasil indeksing tersebut digunakan dalam rumus untuk masing-masing sistem kristal (kubus, tetrahedral, heksagonal, dll). Indeks Miller menunjukkan posisi atom yang membentuk bidang pada sebuah sistem kristal. Perhitungan nilai d dapat dilakukan dengan memperhatikan sistem kristal yang terbentuk.

- a. Untuk sistem kristal ortogonal, nilai d yang memiliki indeks Miller dengan dimensi a, b, c dimana nilai $a \neq b \neq c$, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (4)$$

- b. Untuk sistem kubus yang memiliki indeks Miller dengan dimensi a, b, c dimana nilai $a = b = c$, penentuan nilai d dapat diturunkan dari persamaan (1) menjadi:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2+l^2}{a^2} \quad (5)$$

- c. Untuk sistem kristal tetragonal yang memiliki indeks Miller dengan dimensi a, b, c dimana nilai $a = b \neq c$, penentuan nilai d dapat diturunkan dari persamaan (1) menjadi:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (6)$$

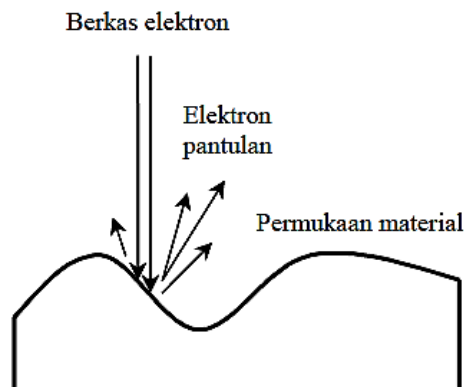
- d. Untuk sistem kristal heksagonal, penentuan nilai d dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4(h^2+hk+k^2)}{3a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (7)$$

Seperti halnya sistem kristal yang diuraikan di atas, sistem kristal yang lain pun memiliki rumus tersendiri untuk menghitung nilai d (Oktaviana, 2009).

I. Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambar profil permukaan benda. Morfologi butir bahan juga dapat dianalisis dengan SEM, meliputi ukuran, bentuk dan tekstur butir (Yulianti, 2004). Prinsip kerja SEM adalah mengenai permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi. Interaksi antara berkas elektron dengan sampel pada SEM diilustrasikan seperti Gambar 7.



Gambar 7. Interaksi antara berkas elektron dengan sampel pada SEM.

Permukaan benda yang dikenai berkas akan memantulkan kembali berkas tersebut dan menghasilkan elektron sekunder ke segala arah, dengan sudut yang tergantung pada profil permukaan bahan. Tetapi ada satu arah di mana berkas dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detektor di dalam SEM mendeteksi elektron yang dipantulkan dan menentukan lokasi berkas yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi.

Pada saat dilakukan pengamatan, lokasi permukaan benda yang dikenai berkas elektron di-*scan* ke seluruh area pengamatan. Kita dapat membatasi lokasi pengamatan dengan melakukan *zoom-in* atau *zoom-out*. Berdasarkan arah pantulan berkas pada berbagai titik pengamatan maka profil permukaan benda dapat dianalisis menggunakan program pengolahan gambar yang ada dalam komputer.

SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada mikroskop optik. Hal ini disebabkan oleh panjang gelombang de Broglie yang dimiliki elektron lebih pendek daripada gelombang optik. Semakin kecil panjang gelombang yang digunakan maka semakin tinggi resolusinya (Abdullah dan Khairurrijal, 2009). SEM mempunyai daya pisah sekitar 0,5 nm dengan perbesaran maksimum sekitar 500.000 kali (Gabriel, 1985).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli sampai dengan November 2018 di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Lampung, Laboratorium Analitik dan Instrumentasi Kimia FMIPA Universitas Lampung, dan SMK-SMTI Bandar Lampung. Karakterisasi dengan XRD dan SEM dilakukan di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Serpong.

B. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari: neraca analitik, *beaker glass*, spatula, *mortar dan pastle*, cetakan (*die*), *hot plate*, *furnace*, alat *pressing*, cawan (*crucible*), XRD dan SEM.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan oksida dan karbonat dengan tingkat kemurnian yang tinggi yaitu: Bi_2O_3 (99,9 %), SrCO_3 (99 %) dan CaCO_3 (99,995 %) dari *Strem Chemical*, CuO (99 %) dari Merck, HNO_3 (68 %) dan aquades.

C. Komposisi Bahan

Komposisi bahan awal untuk membuat 3 gram sampel superkonduktor BSCCO-2223 dengan kadar $\text{CaCO}_3 = 2,10$ fraksi mol dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi bahan BSCCO-2223 dengan kadar $\text{CaCO}_3 = 2,10$

Bahan	Fraksi Mol	Massa Bahan (gram)
Bi_2O_3	2,00	1,1552
SrCO_3	2,00	0,7320
CaCO_3	2,10	0,5211
CuO	3,00	0,5917
Total		3,0000

D. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Sintesis superkonduktor BSCCO-2223

Sintesis dilakukan dengan metode pencampuran basah yang terdiri dari beberapa proses, yaitu:

a. Penimbangan

Bahan dasar yang akan digunakan ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan takaran yang telah ditentukan seperti pada Tabel 1. Semua bahan yang telah ditimbang ditempatkan pada wadah tersendiri.

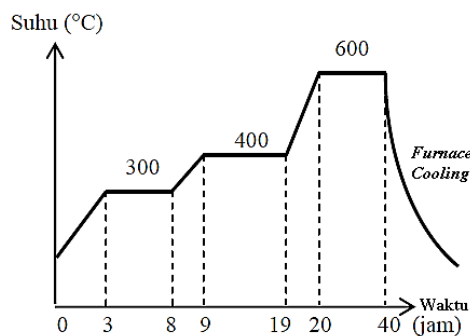
b. Pelarutan

Setelah bahan ditimbang, semua bahan dilarutkan dengan HNO_3 (68 %) sebanyak 50 ml dan aquades sebanyak 150 ml sebagai pelarut pada *beaker glass*. Pelarut diberikan secara sedikit demi sedikit. Kemudian bahan diaduk perlahan sambil dipanaskan pada suhu ± 70 °C sampai larutan tersebut berwarna biru jernih yang

menandakan bahwa larutan tersebut sudah homogen dengan $\text{pH} = 1$, lalu diamkan selama 24 jam sampai mengeras (Khafifah dkk, 2011; Widodo dan Darminto, 2010).

c. Pengeringan dalam *furnace*

Bahan yang mengeras digerus terlebih dahulu dan dimasukkan ke dalam *crucibel* alumina, kemudian dikeringkan di dalam *furnace* pada suhu 300, 400 dan 600 °C secara bertahap (Marhaendrajaya, 2001). Suhu *furnace* dinaikkan secara bertahap seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram pengeringan dalam *furnace*.

d. Penggerusan

Setelah bahan dikeringkan dalam *furnace*, dilakukan penggerusan secara bertahap menggunakan *mortar* dan *pastle* selama ± 10 jam hingga bahan menjadi halus.

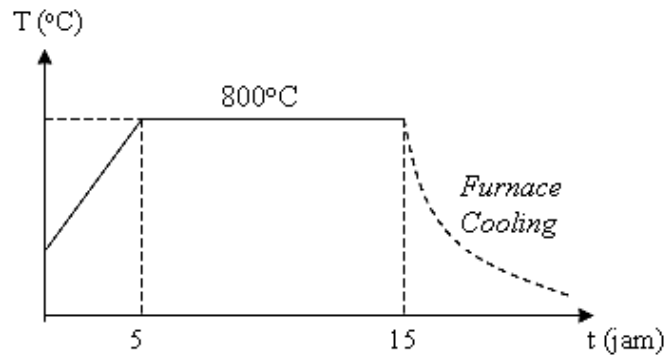
e. Kompaksi

Kompaksi dilakukan menggunakan alat *pressing* dengan kekuatan 8 ton dan *die* yang berdiameter 10 mm.

f. Kalsinasi

Kalsinasi dilakukan pada suhu 800 °C dengan waktu penahanan selama 10 jam.

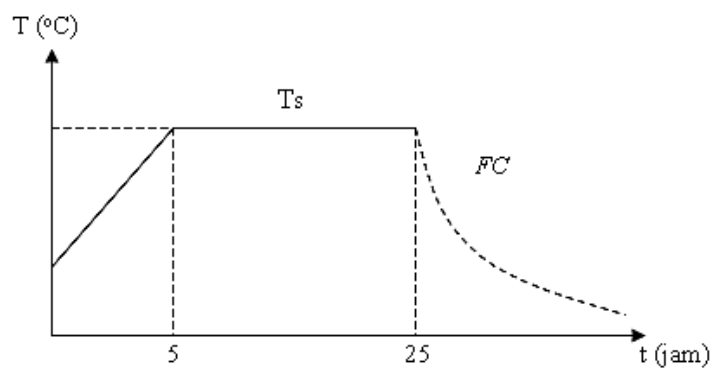
Diagram kalsinasi dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram kalsinasi.

g. Sintering

Sebelum disintering bahan yang telah dikalsinasi, digerus dan dicetak ulang agar permukaan kontak antarpartikel maksimal dan reaksi padatan dapat terjadi dengan mudah karena jarak yang diperdekat. Masing-masing bahan disintering dengan variasi suhu 850 , 855 , 860 dan 865°C selama 20 jam. Diagram sintering dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram sintering. Ket: T_s = suhu sintering dan FC = *furnace cooling*.

2. Karakterisasi

Sampel hasil sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM.

a. XRD

Karakterisasi XRD bertujuan untuk melihat dan mempelajari fase-fase yang terbentuk serta menganalisis tingkat kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2223. Tingkat kemurnian fase dapat diamati dengan menghitung fraksi volume, derajat orientasi, dan impuritas yang terkandung dalam sampel berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$Fv = \frac{\sum I(2223)}{I_{total}} \times 100 \% \quad (8)$$

$$P = \frac{\sum I(00l)}{\sum I(2223)} \times 100 \% \quad (9)$$

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

dengan:

Fv = fraksi volume;

P = derajat orientasi;

I = impuritas;

I_{total} = intensitas total;

$I_{(2223)}$ = intensitas fase 2223;

$I_{(00l)}$ = intensitas saat $h = k = 0$ dan l bilangan genap.

b. SEM

SEM digunakan untuk menganalisis struktur mikro dari superkonduktor tersebut.

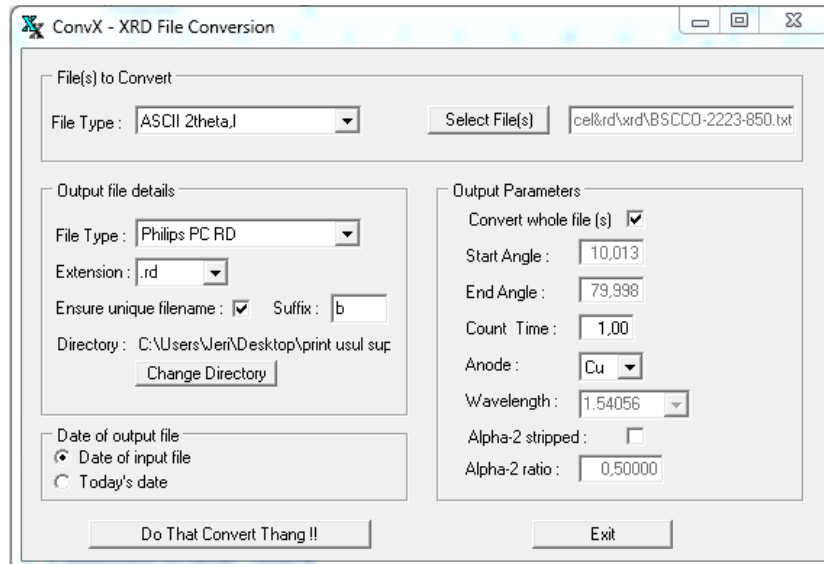
Hal ini dilakukan untuk melihat bentuk *grain* sampel.

3. Analisis spektrum XRD dengan program *celref*

Analisis spektrum XRD dilakukan menggunakan program *celref* versi ke 3

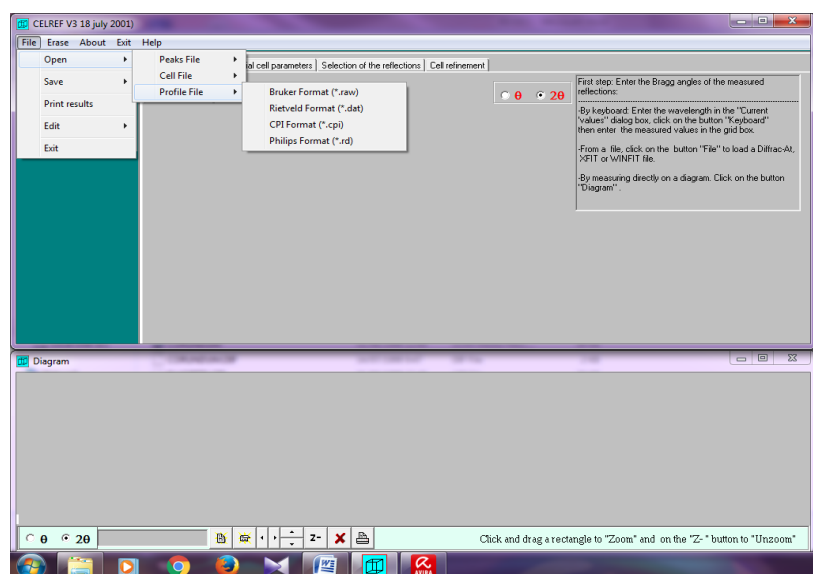
(CELREF V3). Proses analisis data XRD program ini adalah:

- a. Mengonversikan tipe *file* hasil XRD yang berbentuk *excel* ke dalam bentuk *namafile.rd* seperti pada Gambar 11.

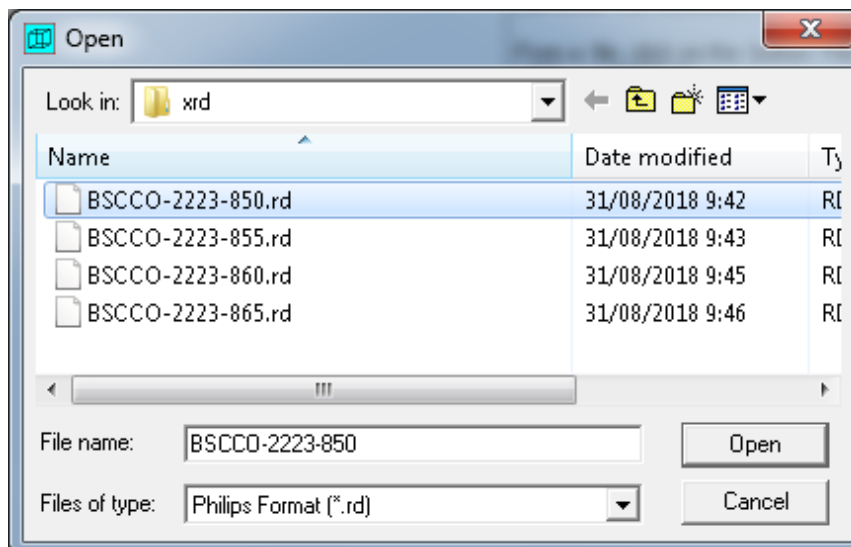


Gambar 11. Mengonversi file *.txt* menjadi file *.rd*.

- b. Membuka program *celref*.
- c. Membuka *file* yang telah dikonversi dengan cara mengklik *file*, pilih *open*, *profile file*, pilih format *Philip format* (*.rd*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12 dan 13.

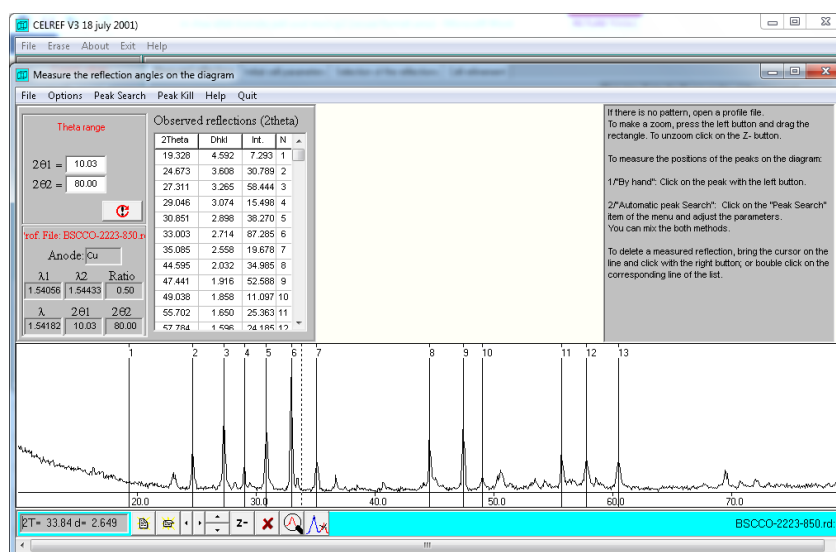


Gambar 12. Input data *.rd*.



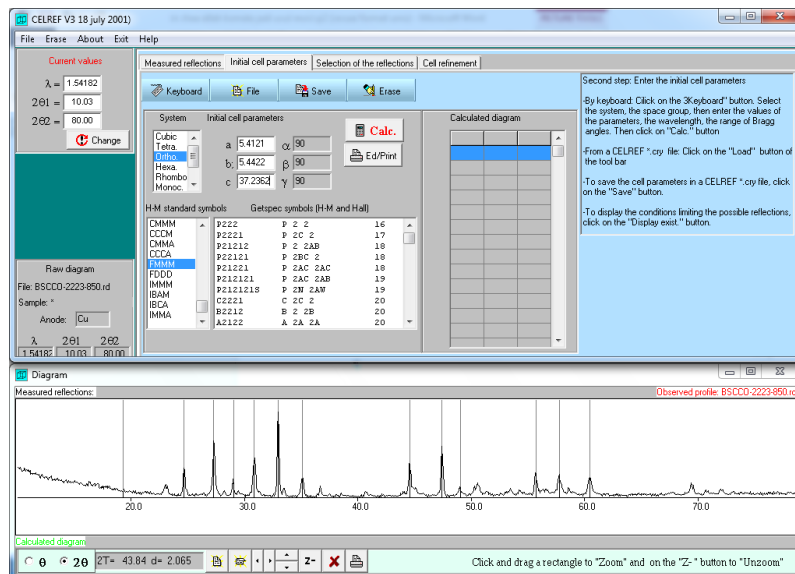
Gambar 13. Memasukkan data *.rd*.

- d. Memilih puncak-puncak yang akan diukur dari spektrum XRD yang ditampilkan oleh *celref* seperti pada Gambar 14.



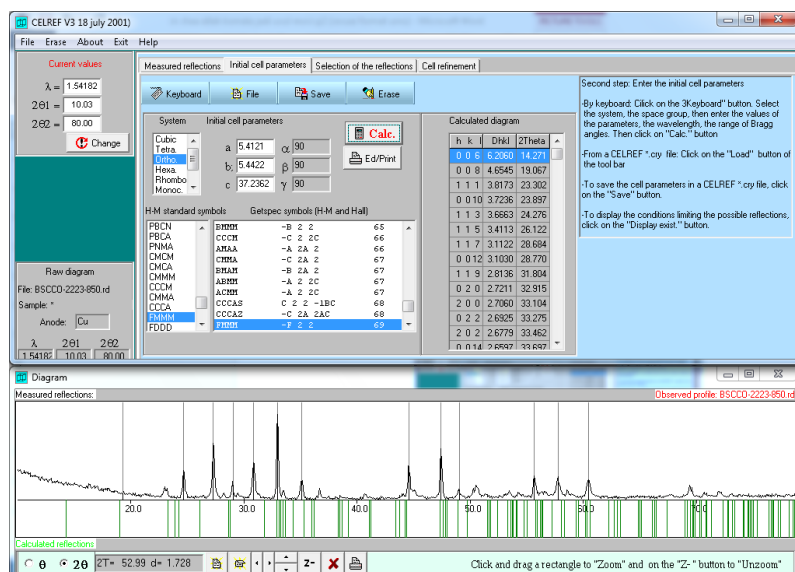
Gambar 14. Puncak-puncak yang akan diukur dari spektrum XRD.

- e. Menentukan inisial parameter sel, yaitu dengan memilih jenis kristal ortorombik tipe FMMM, dan memasukkan nilai awal kisi kristal BSCCO-2223, yaitu $a = 5,4121$; $b = 5,44220$; serta $c = 37,2362$ yang ditunjukkan pada Gambar 15.



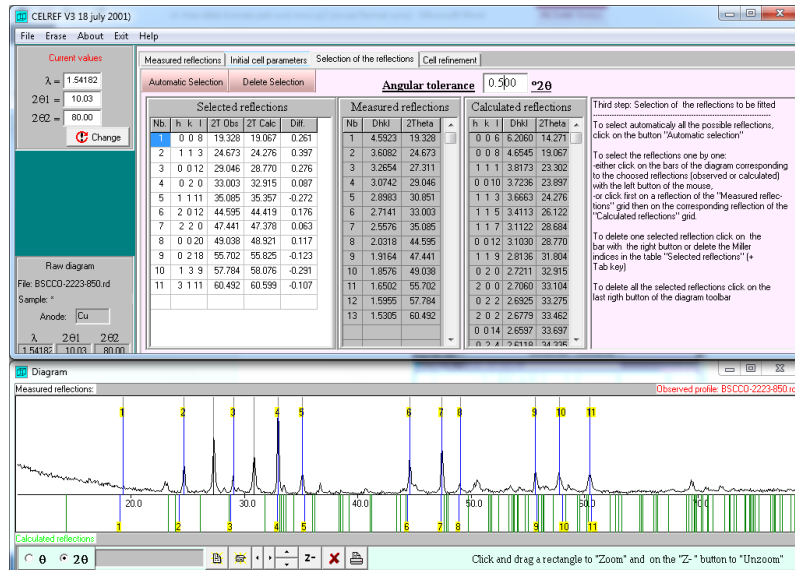
Gambar 15. Inisial parameter sel dengan memilih jenis kristal ortorombik tipe FMMM.

f. Melakukan proses *calculate* pada *celref* seperti pada Gambar 16.



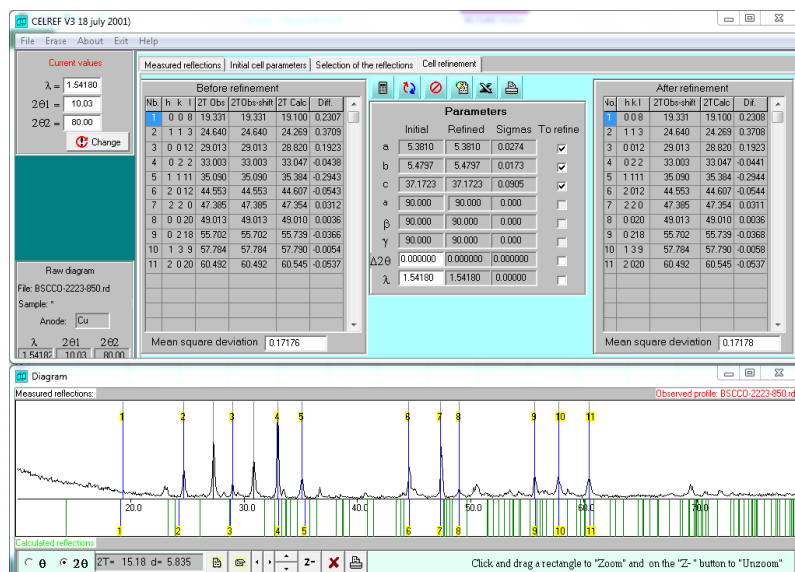
Gambar 16. Calculate.

g. Melakukan seleksi puncak dengan pemilihan toleransi berkisar 0,5 sampai 1,0 seperti pada Gambar 17.



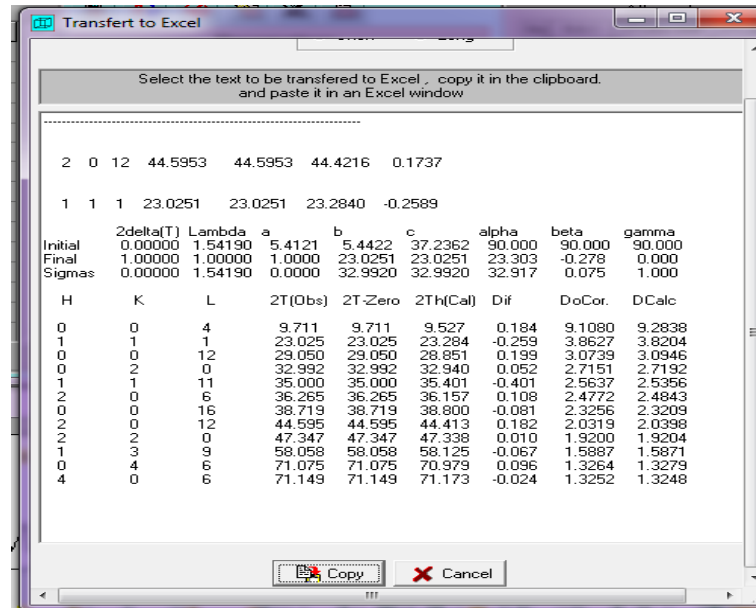
Gambar 17. Seleksi puncak dengan pemilihan toleransi berkisar 0,5 sampai 1,0.

- h. Melakukan *refine* data sampai mendapatkan hasil yang sesuai antara inisial sebelum di-*refine* dan setelah di-*refine* seperti pada Gambar 18.



Gambar 18. Hasil *refine* terbaik.

- i. Membuka *database (excel)* seperti pada Gambar 19.



Gambar 19. Hasil database excel setelah di-refine.

- j. Menentukan intensitas yang diperoleh dengan mencari nilai yang mendekati $2T(\text{Obs})$ di database excel terhadap data asli XRD seperti pada Gambar 20.

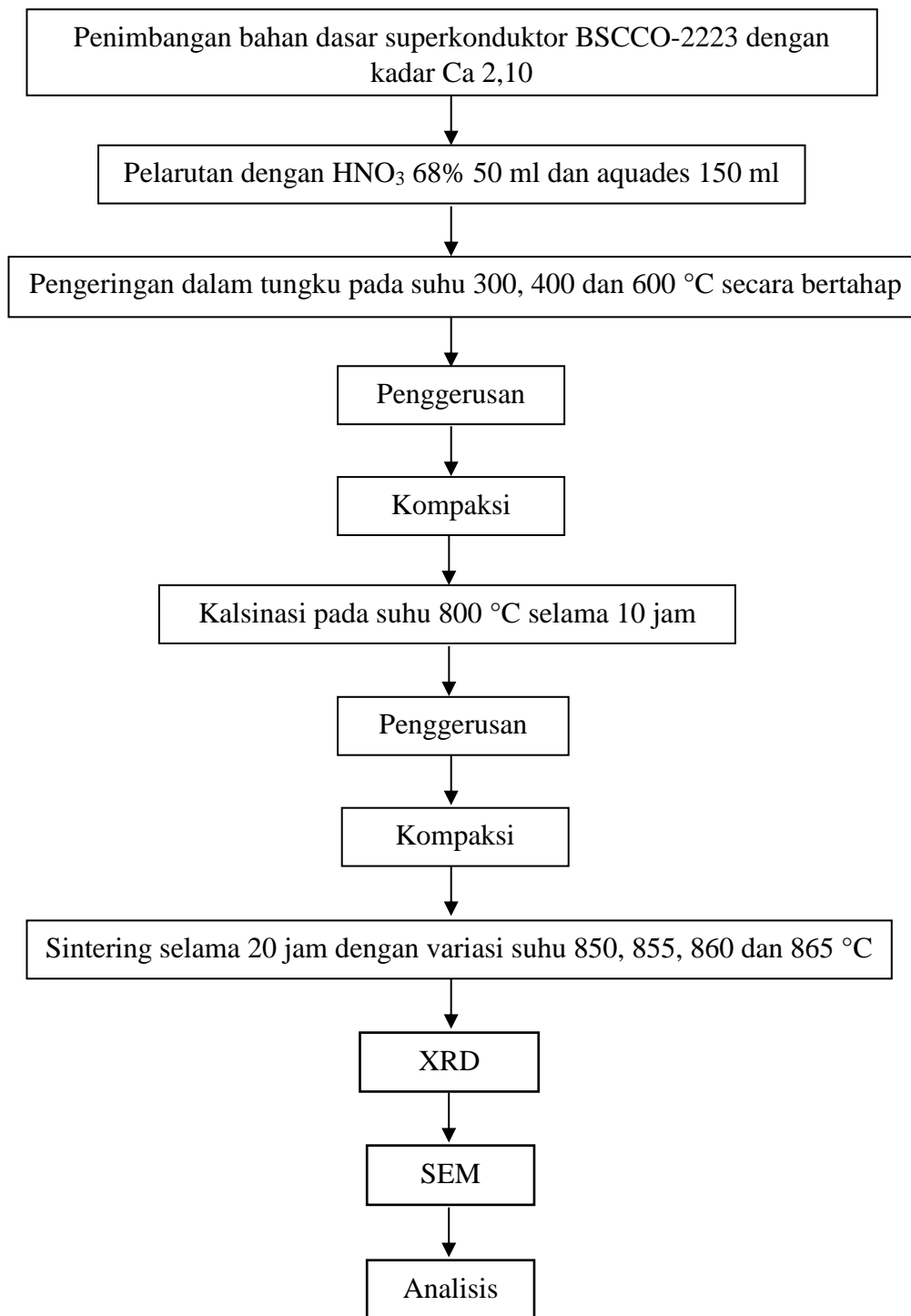
No	H	K	L	2T(Obs)	2T-Zero	2Th(Cal)	Dif	DoCor.	DCalc	Intensitas	
21	1	0	0	4	9.711	9.711	9.507	0.204	91.080	93.029	335
22	2	1	1	1	23.025	23.025	23.352	-0.327	38.627	38.094	550*
23	3	1	1	3	24.736	24.736	24.326	0.410	35.993	36.591	553
24	4	0	0	12	28.975	28.975	28.790	0.185	30.816	31.010	627
25	5	0	2	0	32.992	32.992	32.939	0.053	27.151	27.193	774*
26	6	1	1	11	35.075	35.075	35.405	-0.331	25.585	25.353	662
27	7	0	0	16	38.645	38.645	38.717	-0.072	23.299	23.257	454
28	8	2	0	12	44.595	44.595	44.527	0.068	20.319	20.348	502
29	9	2	2	0	47.422	47.422	47.486	-0.064	19.172	19.147	488
30	10	2	2	4	48.612	48.612	48.544	0.067	18.730	18.754	387*

Jumlah Intensitas Impuritas

Gambar 20. Menentukan nilai intensitas.

E. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Diagram alir penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Suhu sintering berpengaruh terhadap pembentukan fase superkonduktor BSCCO-2223, ditunjukkan dengan nilai F_v yang cenderung meningkat seiring meningkatnya suhu sintering. Nilai F_v tertinggi diperoleh pada sampel BSCCO-2223-865 yaitu 79,49 %.
2. Berdasarkan hasil SEM semua sampel superkonduktor BSCCO-2223 telah terorientasi dengan *void* yang relatif sedikit. Sampel yang memiliki nilai P lebih tinggi mempunyai bentuk kristal yang lebih baik. Hal ini bersesuaian dengan nilai P tertinggi yaitu pada sampel BSCCO-2223-860 = 23,77 %.

B. Saran

Untuk mendapatkan superkonduktor dengan tingkat kemurnian fase dan kualitas kristal yang lebih baik perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memakai suhu sintering yang lain, menggunakan doping serta dapat menggunakan metode *self-flux* atau *flux* lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. dan Khairurrijal. 2009. Karakterisasi nanomaterial. *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*. Vol. 2. No. 1.
- Albiss, B.A., I.M. Obaidat, M. Gharaibeh, H. Ghamlouche, and S.M. Obeidat. 2010. Impact of addition of magnetic nanoparticles on vortex pinning and microstructure properties of Bi-Sr-Ca-Cu-O superconductor. *Solid State Communications*. Pp. 1542-1547.
- Alviani, R.Z. 2016. Kajian material superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ untuk aplikasi rancang bangun siklotron di PSTA-BATAN Yogyakarta. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga. Yogyakarta.
- Bennemann, K.H. and J.B. Ketterson. 2008. *Superconductivity*. Springer. USA.
- Callister, W. D. 2003. *Material Science and Engineering An Introduction*. John Wiley and Sons, Inc. Inggris.
- Cullity, B. D and S. R. Stock. 2001. *Elements of X-Ray Diffraction, 3rd Edition*. Pearson Education, Inc. London.
- Dewi, Y.P. 2016. Pengaruh komposisi pada sifat struktur dan superkonduktivitas Fe(Se,Te) dipreparasi dengan metode metalurgi serbuk. *Skripsi*. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Gabriel, B.L. 1985. *SEM: A User Manual of Material Science*. American Society for Metal. Amerika Serikat. Pp. 37-44.
- Groover, M. P . 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing*. John Wiley & Son, Inc. New York.
- Hcamargo, J.A, D. Espitia, and R. Baquero. 2014. First principles study of electronic structure of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$. *Revista Mexicana de Fisica*. Vol. 6. Pp. 39-45.
- Hirose, M., Y. Yamada, T. Masuda, K. Sato, and R. Hata. 2006. Study on commercialization of high-temperature superconductor. *SEI Technical*. No. 62. Pp.15-23.

- Jabur, A.R. 2012. Bi-2223 High temperature superconductor wires in silver sheath, filament diameter effect on critical temperature and current density. *Energy Procedia*. No. 18. Pp. 254–264.
- Kalnicky, D.J. and R. Singhvi. 2001. Field portable XRF analysis of environmental samples. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 83. Pp. 93-122.
- Khafifah, K., M.A. Baqiya, dan Darminto. 2011. Nanokristalisasi superkonduktor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ dengan variasi kalsinasi dan sinter melalui metode pencampuran basah. *Skripsi*. ITS. Surabaya.
- Kikuchi, M., N. Ayai, T. Ishida, K. Tatamidani, K. Hayashi, S. Kobayashi, E. Ueno, K. Yamazaki, S. Yamade, H. Takaaze, J. Fujikami, and K. Sato. 2008. Development of new types of DI-BSCCO wire. *SEI Technical*. No. 66. Pp. 73-80.
- Kunzler, J.E., Buehler, E., Hsu, L. and Wernick, J. 1961. Superconductivity in Nb_3Sn at high current density in a magnetic field of 88 kgauss. *Physical Review Letters*. Vol. 6. No. 3. Pp. 89–91.
- Larbalestier, D., A. Gurevich, D.M. Feldmann, and A. Polyanskii. 2001. High- T_c superconducting materials for electric power applications. *Nature*. Vol. 414.
- Lehndroff, B. R. 2001. *High- T_c Superconductors for Magnet and Energy Technology*. Springer-Verlag. Berlin.
- Lusiana. 2013. Proses pembuatan material superkonduktor BSCCO dengan metoda padatan. *Majalah Metalurgi*. Vol. 28. Pp. 73-82.
- Majewski, P. 1997. Phase diagram studies in the system Bi-Pb-Sr-Ca-O-Ag. *Superconductor Science and Technology*. Vol. 10. No. 453.
- Marhaendrajaya, I. 2001. Eksperimen pembentukan kristal BPSCCO-2223 dengan metoda lelehan. *Jurnal Berkala Fisika*. Vol. 4. No. 2.
- Marlianto, E. 2008. Studi ultrasonik pada bahan superkonduktor suhu tinggi. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Masur, L., D. Parker, M. Tanner, E. Podtburg, D. Buczek, J. Scudiere, P. Caracino, S. Spreafico, P. Corsaro, and M. Nassi. 2001. Long length manufacturing of high performance BSCCO-2223 tape for the detroit edison power cable project. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. Vol. 11. No. 1.
- Nilson, A. 2009. BSCCO Superconductors processed by the glass ceramic route. *Disertation*. Technische Universität Dresden. Germany.
- Nisa, K. 2016. Sintesis dan karakterisasi $\text{FeTe}_{1-x}\text{S}_x$ dengan metode pepaduan mekanik dan perlakuan panas sebagai material superkonduktor. *Skripsi*.

Universitas Airlangga. Surabaya.

- Nurmalita. 2011. The effect of Pb dopant on the volume fraction of BSCCO-2212 superconducting crystal. *Jurnal Natural*. Vol. 11. No. 2.
- Nurmalita. 2016. The dc electrical resistivity curves of bismuth-2212 ceramic superconductors: evaluation of the hole-carrier concentrations per-Cu ion. *Jurnal of Aceh Physics Society*. Vol. 5. No. 1. Pp. 9-13.
- Nurmalita dan Yufita, E. 2013. Sintesis dan karakterisasi superkonduktor Bi-2223 untuk bahan kabel transmisi daya. *Laporan Penelitian Dosen Muda*. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.
- Oktaviana, A. 2009. *Tugas Makalah Teknologi Penginderaan Mikroskopi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Rahardjo, D.T., dan Surantoro. 2016. Optimasi komposisi molar awal off-stoikiometri pada sintesis superkonduktor sistem Bi-2223. *Berkala Fisika Indonesia*. Vol. 8. No. 1. Pp. 1-9.
- 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.
- Rusdi, A. 2010. *Superkonduktor*. Universitas Udayana. Bali.
- Saleh, S.A. 2006. Studies on sintering effect on the structural and transport properties of (2223) phase. *Physica C*. Vol. 444. Pp. 40-44.
- Sari, M.R. 2013. Variasi suhu sintering dalam sintesis superkonduktor Bi-2212 dengan doping Pb (BPSCCO-2212) pada kadar Ca = 1,10. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Santosa, U., F. Anwar, A. Imaduddin dan D.T. Rahardjo. 2015. efek doping rendah pada superkonduktor sistem BSCCO-2223. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika*. Vol. 5. No. 2.
- Schilling, A., Cantoni, M., Guo, J. D. and Ott, H. R. 1993. Superconductivity above 130 K in the Hg-Ba-Ca-Cu-O system. *Nature*. Vol. 363. Pp. 56-58.
- Sembiring, Sehati W., Motlan dan Abid Hakim S. 2016. Kristalisasi superkonduktor BSCCO (2212) dan pengaruh penambahan doping Pb dengan metode padatan. *Jurnal Einstein*. Vol 4. No 1. Pp. 39-43.
- Shalaby, M.S., H.M. Hashem, T.R. Hammad, and L.A. Wahab. 2016. High critical current density achieved in Bi-2223 high-Tc superconductors. *Journal of Radiation Research and Applied Science*. Elseiver. Pp. 1-7.

- Shoushtari, M.Z. and Ghahfarokhi, M. 2010. A study of the magnetic properties of $\text{Bi}_{1.64-x}\text{Pb}_{0.36}\text{Cd}_x\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ superconductor. *J Supercond Nov Magn.* Vol. 24. Pp. 1505-1511.
- Strobel, P., Toledano, J.C., Morin, D., Schneck, J., Vaquir, G., Monnereau, O., Primot, J. and Fournier, T. 1992. Phase diagram of the system $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{n+1}\text{O}_{6+n}$ between 825 °C and 1100 °C. *Journal Physic C 201: Superconductivity.* Pp. 27-42.
- Subarwanti, Y. 2013. Sintesis superkonduktor Bi-2223 tanpa doping Pb (BPSCCO-2223) dengan kadar Ca = 2.10 pada berbagai suhu sintering. *Skripsi.* Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Suharyana. 2012. *Dasar-dasar dan Pemanfaatan Metode Difraksi Sinar-X.* Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Sukirman, E.W.A., Adi, D.S., Winatapura dan Sulung, B.G.T. 2003. Review kegiatan ligbang superkonduktor Tc tinggi. *Jurnal Sains Materi Indonesia.* Vol. 4. No. 2. Pp. 30-39.
- Suprihatin. 2002. Sintesis Superkonduktor Bi-2212 dengan kehadiran KCl. *Tesis.* Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Suryaningsih, Y. 2014. Penentuan faktor eksposi mesin radiografi konvensional di Laboratorium Fisika Medik Unnes. *Skripsi.* Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Tinkham, M. 1996. *Introduction to Superconductivity (Second Edition).* McGraw-Hill, Inc. Singapore. Pp. 2-3.
- Widodo, H. dan Darminto. 2010. Nanokristalisasi superkonduktor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ dan $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ dengan metode kopresipitasi dan pencampuran basah. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi TELAAH.* Vol. 28. Pp. 6-19.
- Windartun. 2008. *Superkonduktor.* Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Yufita, E. dan Nurmalita. 2016. The effect of sintering time on surface morfology of Pb-doped Bi-2223 oxydes superconductors prepared by the solid state reaction methods at 840 °C. *Journal of Aceh Physics Society.* Vol. 5. No. 1. Pp. 1-5.
- Yuliati, T. 2010. Sintesis superkonduktor BPSCCO/Ag menggunakan metode padatan. *Skripsi.* Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Yulianti, N. 2004. Sintesis dan struktur mikro kristal superkonduktor Bi,Pb-2212 dengan metode self-flux. *Jurnal Ilmu Dasar.* Vol. 5. No. 1. Pp. 8-14.