

**SINTESIS SUPERKONDUKTOR BSCCO-2223 DENGAN VARIASI
WAKTU SINTERING PADA KADAR Ca=2,10 MENGGUNAKAN
METODE PENCAMPURAN BASAH**

(Skripsi)

Oleh

SITI ISTIKOMAH



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

ABSTRAK

SINTESIS SUPERKONDUKTOR BSCCO-2223 DENGAN VARIASI WAKTU SINTERING PADA KADAR Ca=2,10 MENGGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH

Oleh

Siti Istikomah

BSCCO-2223 telah berhasil disintesis menggunakan metode pencampuran basah, kemudian sampel dilarutkan dengan HNO₃ dan aquades secara perlahan, kemudian dilakukan pengeringan pada suhu 300, 400, dan 600 °C secara bertahap. Sampel dikalsinasi selama 10 jam pada suhu 800 °C dan disintering dengan variasi waktu 10, 20, 30, dan 40 jam pada suhu 865 °C. Variasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu sintering terhadap kemurnian fase superkonduktor. Hasil analisis XRD menunjukkan waktu sintering cukup berpengaruh terhadap nilai fraksi volume BSCCO-2223. Fraksi volume tertinggi diperoleh pada waktu sintering 30 jam sebesar 79,17 % dengan nilai derajat orientasi sebesar 37,94 %, sedangkan terendah diperoleh pada waktu sintering selama 10 jam dengan fraksi volume sebesar 38,47 % dengan derajat orientasi sebesar 15,27 %. Hasil analisis SEM menunjukkan bahwa semua sampel telah terorientasi serta memiliki ruang kosong antar lempengan (*void*) yang relatif sedikit.

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

ABSTRACT

SYNTHESIS OF SUPERCONDUCTOR BSCCO-22223 WITH VARIATIONS IN SINTERING TIME AT Ca 2,10 LEVEL USING WET-MIXING METHODE

By

Siti Istikomah

BSCCO-2223 has been successfully synthesized using wet-mixing methode which are then sample dissolved is slowly with HNO_3 and aquades, then drying gradually temperature of 300, 400, 600 °C. The sample was calcined for 10 hours at 800 °C and sintered using variations of time 10, 20, 30, and 40 hours at 865 °C. Variations were carried out to determine the effect of sintering time on the purification of the superconductor. XRD results show that sintering time has an effect on the volume fraction value of BSCCO-2223. Volume fraction that is relatively high at 30 hours sintering time is 79.17 % with an orientation degree value of 37.94 %. While the lowest was obtained at the time of sintering for 10 hours with the volume fraction of 38.47 % with a degree of orientation of 15.27 %. The SEM results show that all samples have layers oriented and have relatively little space between the plates (voids).

Keywords: *Superconductor, BSCCO-2223, sintering, volume fraction, orientation degree.*

**SINTESIS SUPERKONDUKTOR BSCCO-2223 DENGAN VARIASI
WAKTU SINTERING PADA KADAR Ca=2,10 MENGGUNAKAN
METODE PENCAMPURAN BASAH**

Oleh

SITI ISTIKOMAH

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 : **SINTESIS SUPERKONDUKTOR BSCCO-2223 DENGAN VARIASI WAKTU SINTERING PADA KADAR Ca=2,10 MENGGUNAKAN METODE PENCAMPURAN BASAH**

Nama Mahasiswa : **Siti Istikomah**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1417041084**

Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



Pembimbing I

Pembimbing II

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

Agus Riyanto, S.Si., M.Sc.
NIP.198608222015041002

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

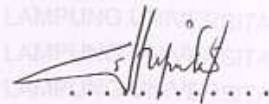
Arif Surtono, M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

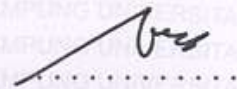
Ketua

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



Sekretaris

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



Penguji

Bukan Pembimbing

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



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Drs. Suratman, M.Sc.

NIP. 196406041990031002

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, kecuali yang tertulis disebut dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, 27 Mei 2019



Siti Istikomah
NPM. 1417041084

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Siti Istikomah, dilahirkan pada tanggal 14 Mei 1996 di Desa Tegal Rejo, Kec. Menggala, Kab. Tulang Bawang. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Gunarto dan Ibu Sri Lidiyatin. Penulis menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar Negeri (SDN) 01 Tegal Rejo pada tahun 2008, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 03 Tulang Bawang Tengah pada tahun 2011, dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 02 Tulang Bawang Tengah pada tahun 2014. Pada tahun 2014, penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Penulis memilih bidang keilmuan fisika material sebagai bidang yang ditekuni.

Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2MM-LIPI) Serpong-Tangerang Selatan pada tahun 2017, yang berjudul “Pelapisan Electroless Ni-P pada Stainless Steel 420”. Pada tahun 2018 penulis melakukan penelitian skripsi di Laboratorium Fisika Material Unila dengan judul “Sintesis Superkonduktor BSCCO- 2223 dengan Variasi Waktu Sintering pada Kadar Ca=2,10 Menggunakan Metode Pencampuran Basah”.

PERSEMBAHAN

**Dengan segala rasa syukur kepada Allah SWT,
Saya persembahkan karya kecil ini kepada:**

**Kedua orang tuaku Bapak Gunarto dan Ibu Sri Lidiyatin yang telah
membesarkan, mendidik, dan mendoakanku. Serta, adik kecilku Dian
Pratiwi yang telah memberikan doa dan semangatnya**

MOTTO

**“Hal terpenting dalam mencapai keberhasilan adalah berani untuk
memulai”**

dan

“Siapa yang berusaha maka dia pantas untuk mendapatkan keinginannya”

KATA PENGANTAR

Puji syukur bagi Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Sintesis Superkonduktor BSCCCO-2223 dengan Variasi Waktu Sintering pada Kadar Ca=2,10 Menggunakan Metode Pencampuran Basah**”. Shalawat serta salam tercurahlan kepada Rosulullah SAW, keluarga dan sahabatnya.

Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah mendukung dan membimbing penulis, baik berupa dukungan moril maupun materil. Penulis yakin tanpa bantuan dan dukunga tersebut, sulit rasanya bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam menyusun skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun guna sempurnanya skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca. *Aamiin Yaa Rabbal ‘Alamin.*

Bandar lampung, Mei 2019
Penulis

Siti Istikomah

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah mendorong dan membimbing penulis. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis menghaturkan terima kasih kepada:

1. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan ilmu, bimbingan serta masukannya dalam melakukan penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Bapak Agus Riyanto, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan ilmu dan sarannya dalam melakukan penelitian dan penulisan skripsi ini.
3. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si. selaku Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Penguji atas segala masukan dan koreksinya sehingga penulisan skripsi ini dapat lebih baik.
4. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Unila.
5. Bapak Drs. Suratman, M.Sc. selaku Dekan FMIPA Unila.

6. Kedua Orangtuaku Bapak Gunarto dan Ibu Sri Lidiyatin serta adikku Dian Pratiwi yang selalu memberikan doa, motivasi, dan dukungan yang luar biasa dalam hidupku
7. Rekan penelitian kami, Isnaini Rahayu, Rizki Putri Surahman, dan Komala Dewi atas kerjasama dan semangat yang diberikan selama melakukan penelitian.
8. Sahabat-sahabat: Aprilia Witari Anggiyani, Diana Rahayu, Ayu Murdianingsih, Setyaningsih, An'nisa Irnanda Abidin, Salsabila Asy-Syifa, Ketrin Chintia R, Megawati, Nina Nurmala, Mey Puji A, dan Latifah Kamalia.
9. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak bias penulis sebutkan satu-satu.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
MOTTO	ix
KATA PENGANTAR.....	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvi

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Batasan Masalah.....	4

D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sejarah Superkonduktor	6
B. Superkonduktor	7
C. Aplikasi Superkonduktor	9
D. Superkonduktor BSCCO	10
E. Superkonduktor BSCCO-2223	13
F. Pengaruh Waktu Sintering	14
G. Metode Sintesis Superkonduktor BSCCO	15
H. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	17
I. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	19

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	21
B. Alat dan Bahan	21
C. Komposisi Bahan Dasar	22
D. Preparasi Sampel	22
E. Diagram Alir	25
F. Karakterisasi	26

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran Spektrum Difraksi Sinar-X (XRD)	28
B. Hasil Uji <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	34

V. KESIMPULAN DAN SARAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Fluks magnet pada jangkauan medan kritis.....	8
2. Magnetisasi bahan superkonduktor terhadap kuat medan.....	10
3. Diagram fase superkonduktor BSCCO	11
4. Struktur kristal sistem BSCCO untuk fase; (a) 2201, (b) 2212, (c) 2223	12
5. Skema difraksi sinar-X oleh atom dalam kristal	18
6. Skema SEM	20
7. Diagram pengeringan	23
8. Diagram kalsinasi	24
9. Diagram sintering	24
10. Diagram alir penelitian	25
11. Hasil analisis XRD pada BSCCO-2223 dengan variasi waktu sintering. (a) BSCCO-2223-10, (b) BSCCO-2223-20, (c) BSCCO-2223-30, dan (d) BSCCO-2223-40.....	29
12. Hubungan antara variasi waktu sintering dengan kemurnian fase BSCCO-2223.....	34
13. Hasil perekaman foto SEM pada sampel (a) BSCCO-2223-10 (b) BSCCO-2223-20 (c) BSCCO-2223-30 (d) BSCCO-2223-40 dengan perbesaran masing-masing 500x	35

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi bahan BSCCO-2223 dengan kadar $\text{CaCO}_3 = 2,10$	22
2. Hasil perhitungan fase BSCCO-2223 dengan variasi waktu sintering	32

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Superkonduktor pertama kali ditemukan oleh fisikawan Belanda Heike Kamerlingh Onnes pada tahun 1911. Pada tahun selanjutnya ditemukan beberapa elemen logam yang menunjukkan perilaku superkonduktivitas pada temperatur yang sangat rendah (Qureshi *et al.*, 2010). Teknologi superkonduktor mulai berkembang sejak ditemukan superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST) pada tahun 1986. SKST adalah bahan oksida atau keramik yang berinduk pada senyawa kuprat (Cu-O) dengan komposisi kimiawi yang multi komponen, sehingga bersifat multifase, struktur kristalnya berlapis, derajat anisotropinya tinggi dan panjang koherensinya yang pendek (Nurmalita, 2011).

SKST yang banyak dikaji adalah sistem BSCCO atau bahan superkonduktor berbasis bismut. Dalam sistem BSCCO dikenal 3 fase superkonduktif yang berbeda yaitu fase 2201, fase 2212 dan fase 2223 (Nurmalita, 2011), dengan suhu kritis berturut-turut adalah 10 K, 80 K, dan 110 K (Sembiring, dkk., 2016). Kelebihan dari superkonduktor sistem BSCCO adalah suhu kritisnya tinggi, mudah dibentuk, tidak mudah patah, tidak beracun, dan dapat dikembangkan sebagai lapisan tipis (Darminto, dkk., 1999).

Sintesis untuk mendapatkan fase tunggal atau kristal tunggal superkonduktor sistem bismut, khususnya fase suhu tinggi, dengan suhu kritis sekitar 110 K atau fase 2223 mungkin sangat susah. Hal ini disebabkan jangkauan suhu pembentukan superkonduktor fase 2223 sangat pendek. Fase 2223 memiliki suhu kritis paling tinggi daripada fase 2201 dan 2212, sehingga banyak penelitian dilakukan untuk mendapatkan fase 2223 yang murni (Widodo dan Darminto, 2010). Pada sintesis superkonduktor BSCCO-2223 juga dapat memunculkan fase-fase lain yang masih dalam sistem Bi, yaitu fase BSCCO-2212 atau fase 2201. Sintesis superkonduktor BSCCO-2223 umumnya terdapat fraksi impuritas sebagai hasil reaksi padatan yang tidak terbentuk secara merata dan sempurna (Rahardjo dan Surantoro, 2016).

Sintesis superkonduktor BSCCO dapat ditempuh melalui beberapa metode, antara lain metode padatan (Suprihatin, dkk., 2014; Rahardjo dan Surantoro, 2016), metode *self flux* (Yulianti, 2004), metode *melt-textured* (Afriyanti, 2009), dan metode *travelling solvent floating zone* (TSFZ) (Benseman, dkk., 2007). Umumnya metode-metode tersebut menghasilkan serbuk dengan ukuran kristal >100 nm dan memerlukan waktu pemanasan relatif lama (Rohmawati dan Darminto, 2012). Sedangkan untuk metode pencampuran basah menghasilkan serbuk yang homogen dengan bantuan asam nitrat (Widodo dan Darminto, 2010) dan memperoleh ukuran kristal ≤ 100 nm (Rohmawati dan Darminto, 2012). Reduksi ukuran dalam nano ini dapat terjadi dengan menjaga derajat keasaman, temperatur dan kecepatan pengadukan (Widodo dan Darminto, 2010).

Kadar CaCO_3 dapat mempengaruhi pembentukan fase superkonduktor BSCCO-2223. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Handayani (2012) dengan variasi kadar CaCO_3 sebesar 1,95, 2,00, 2,05 dan 2,10. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel dengan kadar CaCO_3 sebesar 2,10 memiliki nilai fraksi volume tertinggi ($F_v = 78,17\%$) dengan impuritas rendah ($I = 21,83\%$).

Suhu kalsinasi dan sintering juga merupakan faktor penting dalam sintesis superkonduktor yang dapat mempengaruhi keadaan mikrostruktur dan sifat bahan superkonduktor (Suprihatin, dkk., 2014). Diketahui bahwa peningkatan suhu sintering efektif dalam mengontrol butiran morfologi dan *grains coupling* untuk meningkatkan sifat superkonduktor seperti suhu kritis, dan kerapatan arus kritis (Sharma, *et al.*, 2013).

Lama waktu sintering juga sangat berpengaruh pada pembentukan fase 2223 (Yufita dan Nurmalita, 2016). Lama waktu sintering berpengaruh terhadap pertumbuhan fase yang diidentifikasi dengan meningkatnya fraksi volume dan kualitas kristal yang dihasilkan semakin baik (Afriyanti, 2009), serta porositas juga berkurang sehingga berpeluang untuk meningkatkan nilai rapat arus kritis bahan (Yufita dan Nurmalita, 2016).

Pada penelitian ini dilakukan variasi waktu sintering untuk mendapatkan waktu sintering terbaik dalam pembentukan fase bahan superkonduktor BSCCO-2223 menggunakan metode pencampuran basah. Variasi waktu sintering yang digunakan yaitu 10, 20, 30, dan 40 jam pada suhu $865\text{ }^\circ\text{C}$ dan kalsinasi $800\text{ }^\circ\text{C}$ selama 10 jam. Hasil yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui tingkat kemurnian fase yang terbentuk dan

Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk mengetahui struktur mikro dari sampel.

B. Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana tingkat kemurnian fase bahan superkonduktor BSCCO-2223 pada variasi waktu sintering dengan menghitung fraksi volume (F_v), derajat orientasi (P) dan impuritas (I)?
2. Bagaimana struktur mikro dari superkonduktor BSCCO-2223?

C. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Sintesis superkonduktor BSCCO-2223 dilakukan dengan metode pencampuran basah.
2. Bahan baku yang digunakan Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaCO_3 dan CuO .
3. Kadar Ca yang digunakan 2,10.
4. Sampel dikalsinasi pada suhu $800\text{ }^\circ\text{C}$ selama 10 jam.
5. Sampel disintering pada suhu $865\text{ }^\circ\text{C}$.
6. Variasi waktu sintering yang dilakukan yaitu 10, 20, 30 dan 40 jam.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui tingkat kemurnian fase bahan superkonduktor BSCCO-2223 yang terbentuk dengan menghitung nilai fraksi volume, derajat orientasi dan impuritas.
2. Mengetahui struktur mikro bahan superkonduktor BSCCO-2223.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Memberikan informasi waktu sintering yang relatif paling baik pada sintesis superkonduktor BSCCO-2223 dengan metode pencampuran basah pada kadar $\text{Ca}=2,10$.
2. Sebagai bahan acuan untuk melakukan penelitian selanjutnya, terutama untuk bahan superkonduktor BSCCO-2223.
3. Sebagai referensi di Jurusan Fisika, khususnya bidang Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sejarah Superkonduktor

Pada tahun 1911 fisikawan Belanda Heike Kamerlingh Onnes, menemukan bahwa suatu resistivitas *direct current* dari merkuri terjadi penurunan menjadi nol ketika sampel didinginkan dibawah suhu 4,2 K yang merupakan titik didih dari helium cair. Fenomena ini disebut dengan superkonduktivitas. Pada tahun selanjutnya ditemukan beberapa elemen logam yang menunjukkan perilaku superkonduktivitas pada temperatur yang sangat rendah (Qureshi *et al.*, 2010).

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

Pada tahun 1988, telah ditemukan bahan superkonduktor Bi dan Ti- kuprat oksida dengan $T_c = 110$ K dan 125 K. Bahan-bahan superkonduktor ini disebut sebagai superkonduktor suhu kritis tinggi. Superkonduktor sistem BSCCO memiliki sifat

Anisotropi superkonduktivitas yang tinggi dan panjang koherensi yang pendek. Bahan superkonduktor suhu kritis tinggi umumnya mempunyai struktur yang berlapis sehingga bersifat anisotropis (Sembiring, dkk., 2016).

B. Superkonduktor

Superkonduktor merupakan bahan yang memiliki hambatan listrik yang bernilai nol pada suhu yang sangat rendah, sehingga dapat menghantarkan arus listrik tanpa kehilangan daya (Sihombing dan Nurhayati, 2017) dan dapat menolak medan magnet luar yang mengenainya (Buckel dan Kleiner, 2004; Abetti dan Haldar, 2009). Dengan sifat tersebut, superkonduktor dapat diterapkan sebagai bahan penghantar arus listrik tanpa kehilangan energi, pembangkit medan magnet super tinggi dalam *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), sebagai penyusun kumparan levitasi magnet (Maglev) untuk kereta api berkecepatan tinggi dan sebagainya (Buckel dan Kleiner, 2004; Abetti dan Haldar, 2009). Superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST) merupakan bahan oksida atau keramik yang berinduk pada senyawa kuprat (Cu-O) dengan komposisi kimiawi yang multi komponen, sehingga bersifat multifase, struktur kristal berlapis, derajat anisotropisnya tinggi dan panjang koherennya pendek (Sihombing dan Nurhayati, 2017).

Berdasarkan sifat magnetiknya, superkonduktor dibedakan menjadi 2 tipe, yaitu

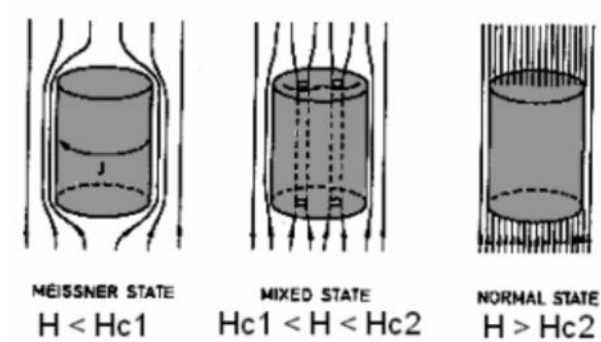
1. Superkonduktor tipe I

Superkonduktor tipe I adalah superkonduktor yang secara fisik ditandai dengan efek Meissner, yaitu gejala penolakan medan magnet luar (gejala levitasi) oleh superkonduktor. Sifat superkonduktor akan hilang apabila kuat

medan melebihi batas medan magnet kritis (H_c), sehingga pada superkonduktor tipe I akan terus-menerus menolak medan magnet yang diberikan sampai mencapai medan magnet kritis. Kemudian dengan tiba-tiba bahan akan berubah kembali ke keadaan normal (Windartun, 2008).

2. Superkonduktor tipe II

Superkonduktor tipe II mempunyai dua medan magnet kritis yaitu H_{c1} dan H_{c2} . Superkonduktor tipe II memiliki tiga keadaan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Fluks magnet pada jangkauan medan kritis (Widodo dan Darminto, 2010).

Di bawah H_{c1} fluks magnetik ditolak secara sempurna hingga medan magnet kritis H_{c1} , dengan resistivitas adalah nol dan induksi magnetik adalah nol. Di atas H_{c1} fluks magnet sebagian dapat menembus spesimen superkonduktor dalam bentuk filamen mikroskopik yang disebut *vortices* (*vortex*) sampai batas medan kritis H_{c2} . Diantara H_{c1} dan H_{c2} superkonduktor berada dalam keadaan campuran (*mixed state*). Di atas H_{c2} bahan akan kehilangan sifat superkonduktivitasnya (Saxena, 2010).

C. Aplikasi Superkonduktor

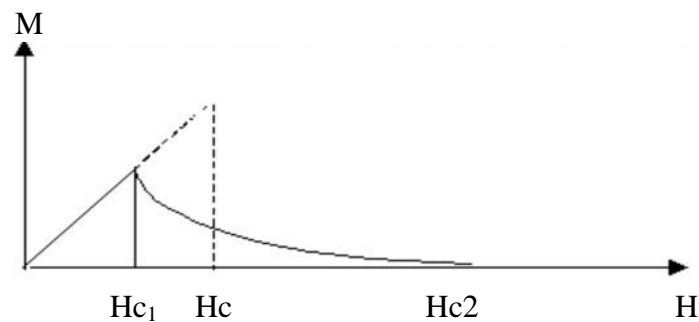
SKST pada tahun 1988 (Sembiring, dkk., 2016), superkonduktor telah cukup banyak diaplikasikan pada berbagai bidang teknologi, baik dalam penerapan secara langsung maupun masih dalam prototipe. Salah satu aplikasi superkonduktor yang menjanjikan pada bidang energi yakni kawat superkonduktor pada jaringan distribusi tenaga listrik (Sharma, *et al.*, 2013). Dalam pembuatan kawat superkonduktor perlu dilakukan pembuatan serbuk superkonduktor sebagai prekursor bahan pada kawat superkonduktor, sehingga dihasilkan kawat yang dapat memiliki hambatan listrik bernilai nol pada suhu di bawah suhu kritisnya (Imaduddin, dkk., 2014).

Bahan superkonduktor mempunyai kemampuan menolak fluks magnet yang mengenainya pada suhu di bawah suhu kritisnya, sehingga dapat dimanfaatkan untuk kereta api magnet (Rahardjo dan Surantoro, 2016). Kereta api melayang di atas rel kereta api yang dilengkapi magnet superkonduktor dengan memanfaatkan efek meissner. Dimana kereta api melayang dengan ketinggian ± 10 cm dari landasan yang dikenal sebagai *Maglev Train (Magnetic Levitation Train)* dan kereta api ini dapat bergerak dengan kecepatan 581 km/jam (Marlianto, 2008).

Beberapa aplikasi lain dari superkonduktor antara lain kawat superkonduktor (Imaduddin, dkk., 2014) dan berpotensi sebagai piranti elektronik, transmisi daya berkapasitas besar, peralatan yang menggunakan medan magnet berkekuatan tinggi, sampai dengan berbagai peralatan teknik yang mengandalkan levitasi magnetik (Nurmalita, dkk., 2013).

D. Superkonduktor Sistem BSCCO

Superkonduktor sistem BSCCO adalah superkonduktor tipe II dan merupakan oksida keramik yang mempunyai suhu tinggi. Dalam superkonduktor tipe II terdapat dua medan kritis, yaitu: medan kritis bawah H_{c1} dan medan kritis atas H_{c2} (Rahardjo dan Surantoro, 2016). Di bawah H_{c1} fluk magnet ditolak secara sempurna dan di atas H_{c1} fluk magnet sebagian dapat menembus bahan sampai batas medan kritis H_{c2} . Di atas H_{c2} bahan akan kehilangan superkonduktivitasnya. Hubungan medan kritis dengan T_c seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2** (Santoso, dkk., 2015).



Gambar 2. Magnetisasi bahan superkonduktor terhadap kuat medan (Santoso, dkk., 2015).

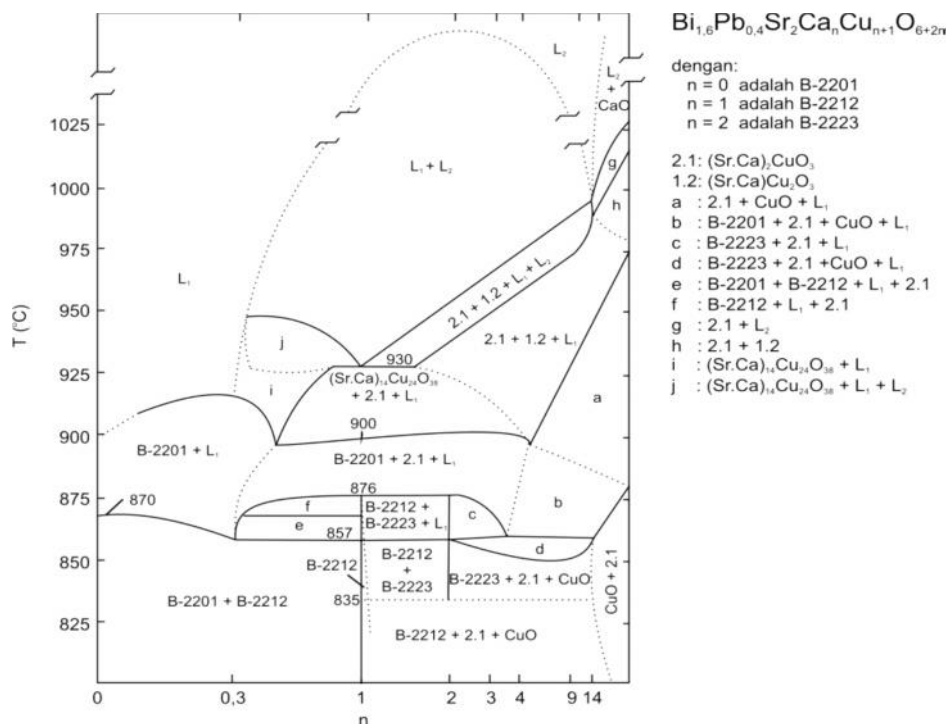
Medan magnet yang diperlukan untuk menghilangkan superkonduktivitas atau memulihkan resistivitas normal disebut medan kritis (H_c). Hubungan H_c dengan T_c ditunjukkan pada Persamaan (1)

$$H_c(T) = H(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Dengan H_c merupakan medan kritis, T_c merupakan suhu kritis dan $H(0)$ merupakan medan kritis pada $T = 0$ K

Superkonduktor sistem BSCCO merupakan salah satu bahan suhu kritis tinggi (SKST) yang ditemukan pada tahun 1988 oleh H. Maeda. Dari penemuan tersebut, teridentifikasi bahwa BSCCO memiliki tiga fase, yaitu fase 2201, fase 2212, dan fase 2223 (Syahfina, dkk., 2017), Temperatur kritis (T_c) dari fase tersebut berturut-turut sebesar 10 K, 80 K, dan 110 K (Lusiana, 2013). Sejak ketiga fase tersebut ditemukan, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengetahui efek penambahan maupun substitusi berbagai elemen pada sistem BSCCO terhadap fase, kerapatan butir dan morfologi (Syahfina, dkk., 2017).

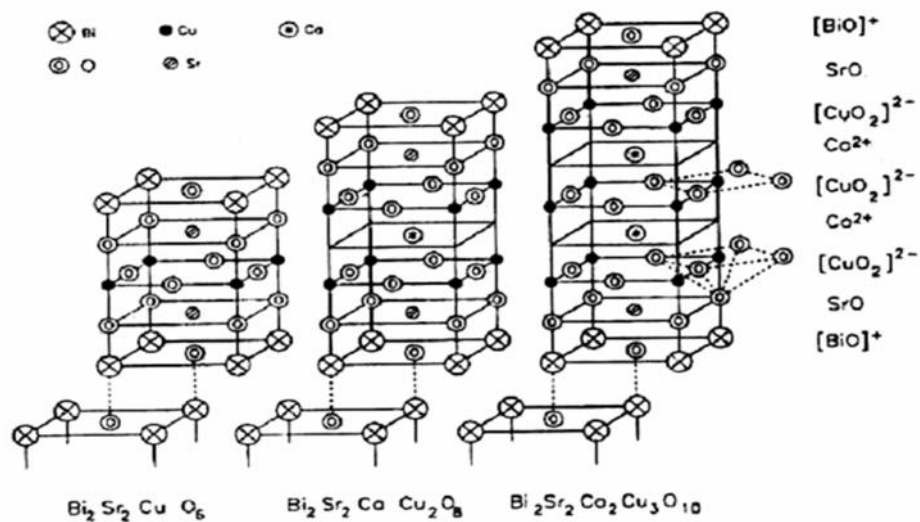
Struktur kristal dari fase yang terbentuk dalam bahan superkonduktor akan sangat berpengaruh terhadap temperatur kritisnya (T_c). Diagram fase superkonduktor BSCCO ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Diagram fase superkonduktor BSCCO (Lusiana, 2013).

Derajat ketidakteraturan struktur fase yang tinggi sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah suhu sintering dan lama waktu sintering. Pemilihan

temperatur sintering diperoleh dari diagram fase BSCCO yang ditunjukkan pada **Gambar 3**. Gambar tersebut menunjukkan pada suhu di bawah $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ adalah fase 2201, Ca_2CuO_3 , dan CuO , pada suhu $650\text{-}840\text{ }^{\circ}\text{C}$ adalah fase BSCCO-2212, Ca_2CuO_3 , dan CuO , dan pada suhu $840\text{-}880\text{ }^{\circ}\text{C}$ diperoleh fase BSCCO-2212 dan BSCCO-2223 (Lusiana, 2013). Struktur kristal sistem BSCCO ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Struktur kristal sistem BSCCO untuk fase: (a) 2201, (b) 2212, (c) 2223 (Lusiana, 2013)

Pada **Gambar 4(a)** menunjukkan fase BSCCO-2201 yang disusun oleh bidang $\text{BiO}/\text{SrO}/\text{CuO}/\text{SrO}/\text{BiO}$ dimana piramida Cu berada diantara dua bidang SrO. BSCCO-2201 memiliki parameter kisi $a = b = 5,39\text{ \AA}$ dan $c = 24,6\text{ \AA}$. Bidang BiO berada pada bagian ujung struktur dan atom Cu dihubungkan dengan 6 atom oksigen dalam struktur oktahedral. Pada **Gambar 4(b)** menunjukkan fase BSCCO-2212 disusun oleh bidang senyawa $\text{BiO}/\text{SrO}/\text{CuO}/\text{CaO}/\text{CuO}/\text{SrO}/\text{BiO}$ piramida atom Cu dipisahkan oleh adanya bidang Ca. Struktur kristal berbentuk tetragonal ini memiliki parameter kisi $a = b = 5,4\text{ \AA}$ dan $c = 30,7\text{ \AA}$.

Sedangkan **Gambar 4(c)** menunjukkan fase BSCCO-2223. Fase ini membentuk struktur orthorombik. Dimana rantai Sr–Sr memiliki ikatan yang paling lemah, sedangkan atom Cu(1) sebagai kation yang paling tidak stabil, memiliki tiga rantai ikatan yaitu Cu(1)-Ca, Cu(1)-O(1) dan Cu(1)-Cu(2). Rantai ikatan Cu(1)-O(1) merupakan ikatan yang paling kuat ($r = 1,916 \text{ \AA}$). Atom oksigen O(3) hanya memiliki satu rantai ikatan dengan atom Bi yang memiliki panjang ikatan sebesar $2,231 \text{ \AA}$. Hal ini terjadi karena struktur kristalnya tidak stabil, akibat adanya derajat ketidakteraturan yang tinggi antara lapisan bidang-bidang CuO, SrO, BiO, dan CaO. Ketidakteraturan itu terjadi karena reaksi pembentukan fase berlangsung pada temperatur mendekati titik leleh senyawa ($870 \text{ }^\circ\text{C}$), disaat mobilitas ion penyusun sangat tinggi (Lusiana, 2013).

E. Superkonduktor BSCCO-2223

BSCCO-2223 merupakan superkonduktor oksida keramik yang mempunyai struktur berlapis-lapis, dengan ciri khas sisipan lapisan CuO₂ yang menyebabkan sistem tersebut mempunyai kecenderungan bersifat metalik pada suhu kamar. Karena struktur sistem BSCCO-2223 mempunyai sifat fisik yang berlapis-lapis sehingga menyebabkan bahan mudah patah dan sangat rapuh. Oleh karena itu, sistem BSCCO-2223 sulit untuk diterapkan pada pembuatan kabel aliran listrik (Santoso, dkk., 2015).

BSCCO-2223 memiliki ciri-ciri yaitu, memiliki temperatur tinggi di atas nitrogen cair 78 K , dan bahan kompleks yang terbentuk dari prekursor Bi₂O₃, SrCO₃, CaCO₃, dan CuO. Struktur kristal dari fase BSCCO-2223 membentuk struktur

orthorombik (Widodo dan Darminto, 2009). Fase 2223 terbentuk melalui proses pengintian dan penumbuhan fase 2212 dan pada lapisan tipis senyawa BSCCO fase 2212 tumbuh dari fase 2201 melalui mekanisme pengintian dan penumbuhan. Transformasi antara kedua fase tersebut berlangsung secara reversibel. Penumbuhan fase 2223 terjadi pada suhu sintering 840 °C hingga 880 °C dengan periode antara 100-624 jam (Sukirman, dkk., 2003).

F. Pengaruh Waktu Sintering

Beberapa penelitian mengemukakan bahwa waktu sintering memiliki pengaruh yang kuat pada pembentukan fase 2223 (Syahfina, dkk., 2017; Yufita dan Nurmalita, 2016). Waktu sintering merupakan salah satu parameter yang penting dalam pembuatan superkonduktor BSCCO-2223 karena formasi fase 2223 terjadi melalui pembentukan fase 2212 terlebih dahulu dan memerlukan waktu sintering yang cukup lama karena laju reaksinya sangat lambat, sehingga sangat mempengaruhi pembentukan komposisi superkonduktor BSCCO-2223 (Khafifah, 2010)

Beberapa hal pengaruh dari lama waktu sintering pada perubahan fase bahan superkonduktor BSCCO-2223 sebagai berikut:

1. Peningkatan fraksi volume BSCCO-2223, menunjukkan bahwa BSCCO-2223 semakin murni.
2. Peningkatan temperatur kritis (T_c) superkonduktor BSCCO 2223, berarti jumlah atau fraksi superkonduktor BSCCO-2223 semakin banyak.
3. Parameter kisi fase 2223 tidak mengalami perubahan secara signifikan.

4. Kualitas kristal yang dihasilkan semakin baik.
5. Menurunkan resistivitas normal dari BSCCO-2223 (Afriyanti, 2009).
6. Porositas berkurang, yang ditunjukkan dengan menurunnya jumlah lubang yang terdapat di antara butir sehingga berpeluang untuk meningkatkan nilai rapat arus kritis listrik.
7. Konektivitas antar *grain* meningkat, dimana lempeng-lempengan tersebut saling merapat satu sama lain membentuk tekstur yang lebih padat (Yufita dan Nurmalita, 2016).

G. Metode Sintesis Superkonduktor BSCCO

Beberapa metode penelitian telah dilakukan dalam mensintesis superkonduktor BSCCO seperti menggunakan metode padatan (Suprihatin, dkk., 2014), *melt-textured* (Nurmalita, 2011), metode *self flux* (Nurmalita, dkk., 2013) dan metode pencampuran basah (Rohmawati dan Darminto, 2012).

Pada metode padatan, bahan dasar yang digunakan terdiri dari bahan oksida dan karbonat dengan tingkat kemurnian yang tinggi, yaitu Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaCO_3 dan CuO . Bahan tersebut dicampurkan sesuai dengan stoikiometri. Selanjutnya dilakukan penggerusan menggunakan *mortar* dan *pestle* secara manual dilanjutkan dengan peletisasi dengan ukuran tertentu menggunakan alat *pressing*. Sampel yang telah menjadi pelet dikalsinasi. Setelah dikalsinasi sampel digerus dan dipelet kembali, kemudian disintering sesuai dengan diagram fase (Suprihatin, dkk., 2014).

Pada metode *melt-textured*, bahan-bahan awal berupa serbuk Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaCO_3 , dan CuO . Semua bahan tersebut ditimbang sesuai stoikiometri. Pada tahap pertama bahan Bi, Sr, dan Cu dicampurkan dengan HNO_3 dan aquades serta diaduk rata sampai menjadi larutan yang benar-benar homogen. Selanjutnya larutan dipanaskan untuk menguapkan HNO_3 dari campuran sehingga diperoleh gumpalan berwarna biru kehitaman. Untuk memastikan HNO_3 benar-benar hilang perlu dilakukan pengeringan di dalam *furnace*. Setelah itu dilakukan penggerusan secara manual sampai benar benar halus. kemudian dicetak menjadi pelet dan dikalsinasi. Lalu dihancurkan dan digerus ulang kembali sampai halus selama sekitar 2 jam.

Tahap kedua mencampur bahan tersebut dengan serbuk CaO . Pencampuran dilakukan dengan bantuan aseton sampai benar-benar diperoleh larutan homogen. Selanjutnya aseton diuapkan sampai campuran bahan benar-benar bebas aseton. Kembali bahan tersebut digerus halus dan dicetak berbentuk pelet. Kemudian sampel berupa pelet tersebut dilelehkan dalam *furnace* pada suhu $930\text{ }^\circ\text{C}$ dan akhirnya mengalami *slow cooling* hingga mencapai suhu ruang (Nurmalita, 2011).

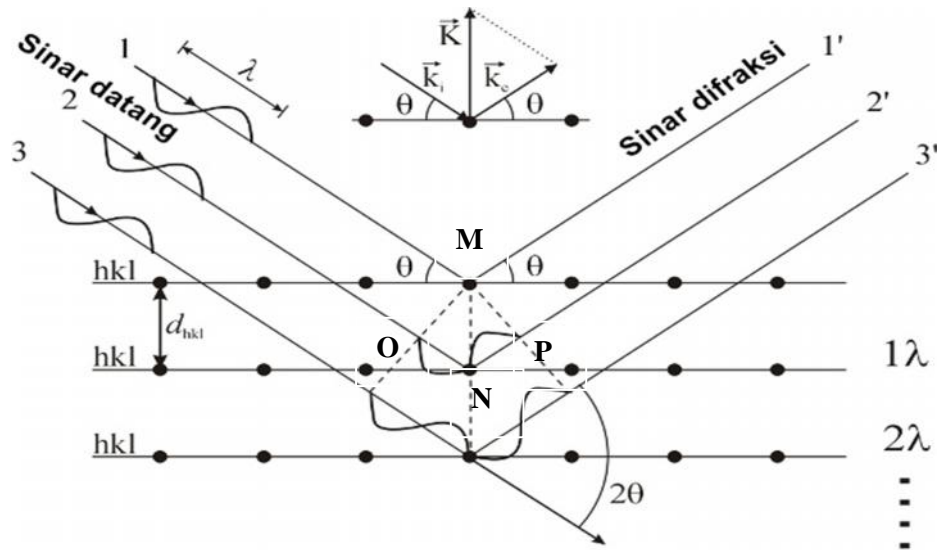
Pada metode *self flux*, bahan yang diperlukan yaitu Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaCO_3 dan CuO . Massa masing-masing bahan disesuaikan dengan stoikiometri. Untuk memperoleh sampel yang lebih homogen, bahan tersebut dicampur dengan cara basah yaitu semua bahan awal berupa serbuk dilarutkan menggunakan campuran aquades dan HNO_3 . Selanjutnya, larutan dikeringkan dalam tungku dan kemudian sampel digerus menggunakan alat mortar sampai halus. Proses selanjutnya kalsinasi untuk menghilangkan karbon. Untuk meningkatkan reaksi padatan maka

sampel selanjutnya perlu dibuat dalam bentuk pelet, yakni dengan mengepres menggunakan alat pengepres. Selanjutnya sampel disintering dalam tungku hingga terjadi lelehan kemudian ditahan selama waktu tertentu, dan selanjutnya suhu diturunkan dengan laju 1 °C/jam sampai suhu akhir 820 °C kemudian sampel didinginkan dalam *furnace* (Nurmalita, dkk., 2013).

Pada metode pencampuran basah, bahan yang digunakan yaitu Bi₂O₃, SrCO₃, CaCO₃, CuO, HNO₃, dan aquades. Semua bahan tersebut ditimbang sesuai stoikiometri. Kemudian bahan dicampur dan dilarutkan dengan HNO₃ dan aquades. Kemudian sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 400, 500, dan 600 °C secara bertahap. Setelah itu sampel dikalsinasi dan sintering (Rohmawati dan Darminto, 2012).

H. X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan alat yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi beragam bahan, seperti logam, mineral, polimer, katalis, plastik, farmasi, protein, lapisan tipis, keramik dan semikonduktor (Mc Mahon, 2007). Analisis pola XRD dapat mengungkap struktur kristal suatu bahan superkonduktor dan menghasilkan informasi rinci mengenai: jumlah fase dan kristalinitas fase dalam sampel, ukuran (parameter kisi) dan bentuk sel satuan kristal masing-masing fase, grup ruang (simetri penyusunan atom-atom), serta posisi atom-atom dalam sel satuan (Rahardjo, 2010). Skema difraksi sinar-X dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Skema difraksi sinar-X oleh atom dalam kristal (Cullity, 1992).

Berdasarkan hasil eksperimen Van Lue dan dua ahli fisika Inggris W. H. Bragg dan W. L. Bragg menyatakan bahwa perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X harus merupakan kelipatan panjang gelombang. Berdasarkan **Gambar 5** persamaan difraksi sinar-X ditunjukkan pada Persamaan (2), (3), (4), (5), (6) dan (7) :

$$n\lambda = ON + NP \quad (2)$$

dengan:

$$\sin \theta = \frac{ON}{MN} = \frac{NP}{MN} \quad (3)$$

$$MN = d \quad (4)$$

$$ON = NP = d \sin \theta \quad (5)$$

sehingga

$$n\lambda = d \sin \theta + d \sin \theta = 2d \sin \theta \quad (6)$$

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

dengan n adalah bidang, λ adalah panjang gelombang sinar-X (\AA), d adalah jarak antar kisi (\AA) dan θ adalah sudut difraksi

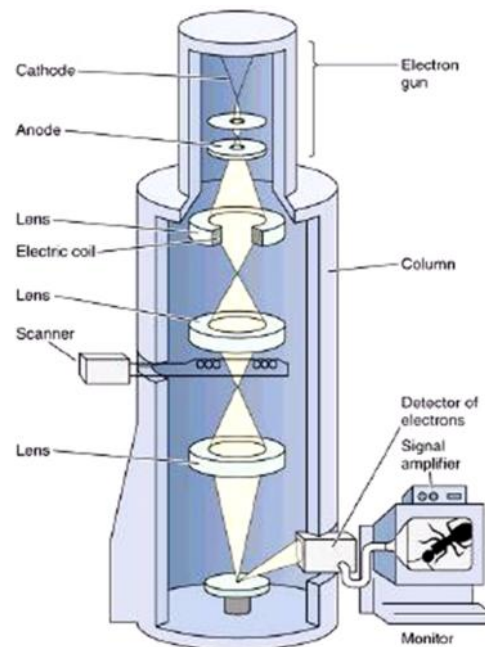
Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material (Zakaria, 2003; Suryanarayana, 1998).

I. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah alat untuk menganalisis struktur mikro dan morfologi pada bidang material sains, kedokteran, dan biologi. SEM dapat membentuk bayangan permukaan spesimen secara mikroskopik dan mempunyai daya pisah sekitar 0,5 nm dengan perbesaran maksimum sekitar 500.000 kali (Gabriel, 1985) serta memiliki kemampuan analisis yang lebih baik dibandingkan mikroskop optik (Sutiani, 2009).

Identifikasi struktur mikro lapisan oksida menggunakan SEM tidaklah sekedar pengambilan gambar dan fotografi, tetapi harus dilakukan dengan teknik dan metode operasi yang benar, mengingat proses pembentukan *image* merupakan pembentukan antara elektron sumber dengan atom pada sampel. SEM harus dioperasikan dengan pengaturan parameter elektron seperti *high voltage*, *spot size*, *bias* dan *beam current* juga parameter optik seperti kontras, fokus dan astigmatismus yang tepat sehingga diperoleh hasil gambar yang optimal secara ilmiah dan tidak memberikan interpretasi ganda (Sujatno, dkk., 2015).

Pada prinsipnya, SEM terdiri dari beberapa komponen, yaitu sumber elektron (*electron gun*), sistem lensa, sistem deteksi, sistem *scanning*, dan sistem *vacuum* (Sembiring dan Simanjuntak, 2015). Skema SEM ditunjukkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Skema SEM (Smallman dan Bishop, 1995).

Prinsip kerja SEM adalah menembak permukaan sampel dengan berkas elektron berenergi tinggi yang dihasilkan *electron gun*. Elektron ditembakkan ke arah sampel yang melalui anoda dan *magnetic lens*, kemudian dipantulkan kembali oleh permukaan sampel. Berkas elektron (elektron sekunder) yang dipantulkan oleh sampel akan diterima oleh detektor. Elektron sekunder yang terdeteksi diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam pola gelap terang pada layar monitor. Pada monitor ini gambar struktur sampel diperbesar dan bisa dilihat (Smallman dan Bishop, 1995).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2018 sampai Februari 2019 di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Lampung, Laboratorium Analitik dan Instrumentasi Kimia FMIPA Universitas Lampung, SMK-SMTI Bandar Lampung, Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro dan Laboratorium FMIPA Universitas Negeri Padang.

B. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari: neraca sartorius digital, pipet, spatula, *mortal pastle*, cetakan sampel (*die*), tungku (*furnace*), alat *pressing*, *crucible*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, dan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Sedangkan bahan dasar yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan oksida dan karbonat dengan tingkat kemurnian yang tinggi yaitu: Bi_2O_3 (99,9%) dari Strem Chemical, SrCO_3 (99,9%) dari Strem Chemical, CaCO_3 (99,95%) dari Strem Chemical, dan CuO (99,999%) dari Merck, HNO_3 dan aquades (ditunjukkan pada Lampiran 4).

C. Komposisi Bahan Dasar

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 awal	Fraksi	Massa hitung untuk setiap 3 gram sampel
Bi_2O_3	2,00	1,1552
SrCO_3	2,00	0,7320
CaCO_3	2,10	0,5211
CuO	3,00	0,5916
Total		3,0000

D. Preparasi Sampel

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

1. Penimbangan

Bahan dasar yang digunakan dalam penelitian ini terlebih dahulu ditimbang sesuai dengan takaran yang telah ditentukan. Semua bahan yang telah ditimbang ditempatkan pada wadah tersendiri.

2. Pelarutan

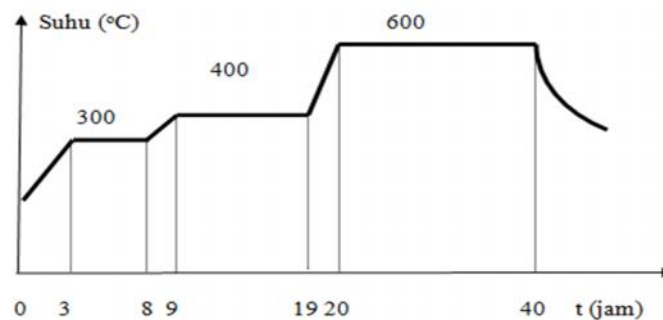
Setelah ditimbang, bahan dicampur dan dilarutkan dengan HNO_3 dan aquades secara bertahap. Pelarutan bertujuan agar bahan memiliki homogenitas yang tinggi dengan bahan yang lain dan tercampur dengan maksimal

3. Pemanasan

Setelah bahan larut, kemudian dilakukan pemanasan menggunakan *hot plate* pada suhu sekitar 70 °C pada pH 1 selama 24 jam sampai bahan menjadi kering. Pemanasan ini bertujuan untuk menguapkan bahan pelarut.

4. Pengeringan

Setelah dilakukan pemanasan, kemudian dilakukan pengeringan pada suhu 300, 400, dan 600°C secara bertahap sampai bahan benar-benar kering berdasarkan diagram yang ditunjukkan pada **Gambar 7**.



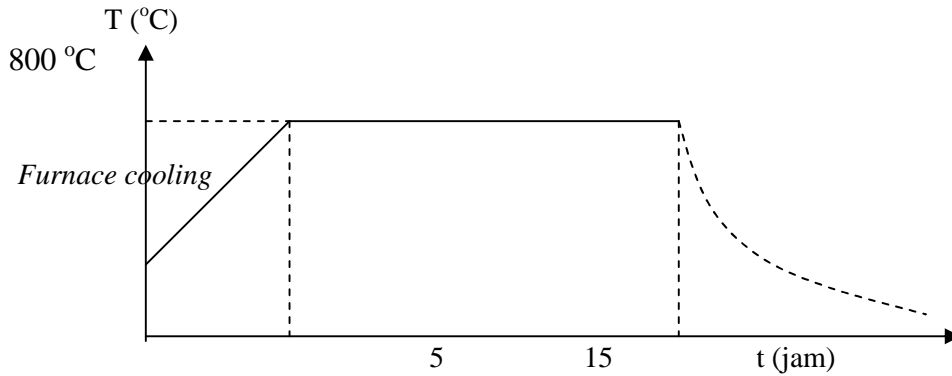
Gambar 7. Diagram pengeringan

5. Kompaksi

Metode pencampuran basah bahan superkonduktor BSCCO-2223 akan lebih mudah berlangsung jika bahan berukuran kecil dan jaraknya relatif berdekatan satu dengan yang lain. Dengan demikian agar reaksi padatan lebih optimal, maka dilakukan kompaksi yaitu proses pemadatan serbuk menjadi pelet dengan alat *pressing*. Pada penelitian ini sampel dikompaksi dengan kekuatan 8 ton dengan ukuran diameter 10 mm.

6. Kalsinasi

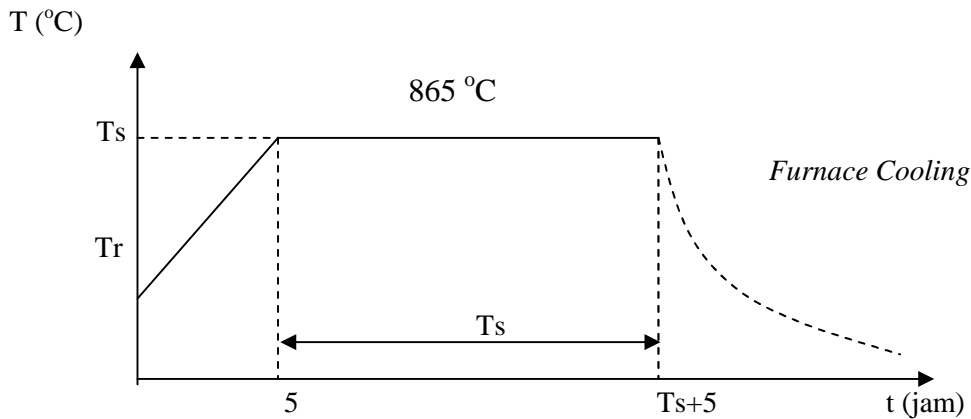
Sampel dikalsinasi pada suhu 800 °C selama 10 jam. Setelah dikalsinasi sampel digerus selama ± 10 jam dan dikompaksi kembali. Tujuan kalsinasi adalah untuk menghilangkan senyawa-senyawa karbonat yang tidak diperlukan. Diagram kalsinasi dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Diagram Kalsinasi

7. Sintering

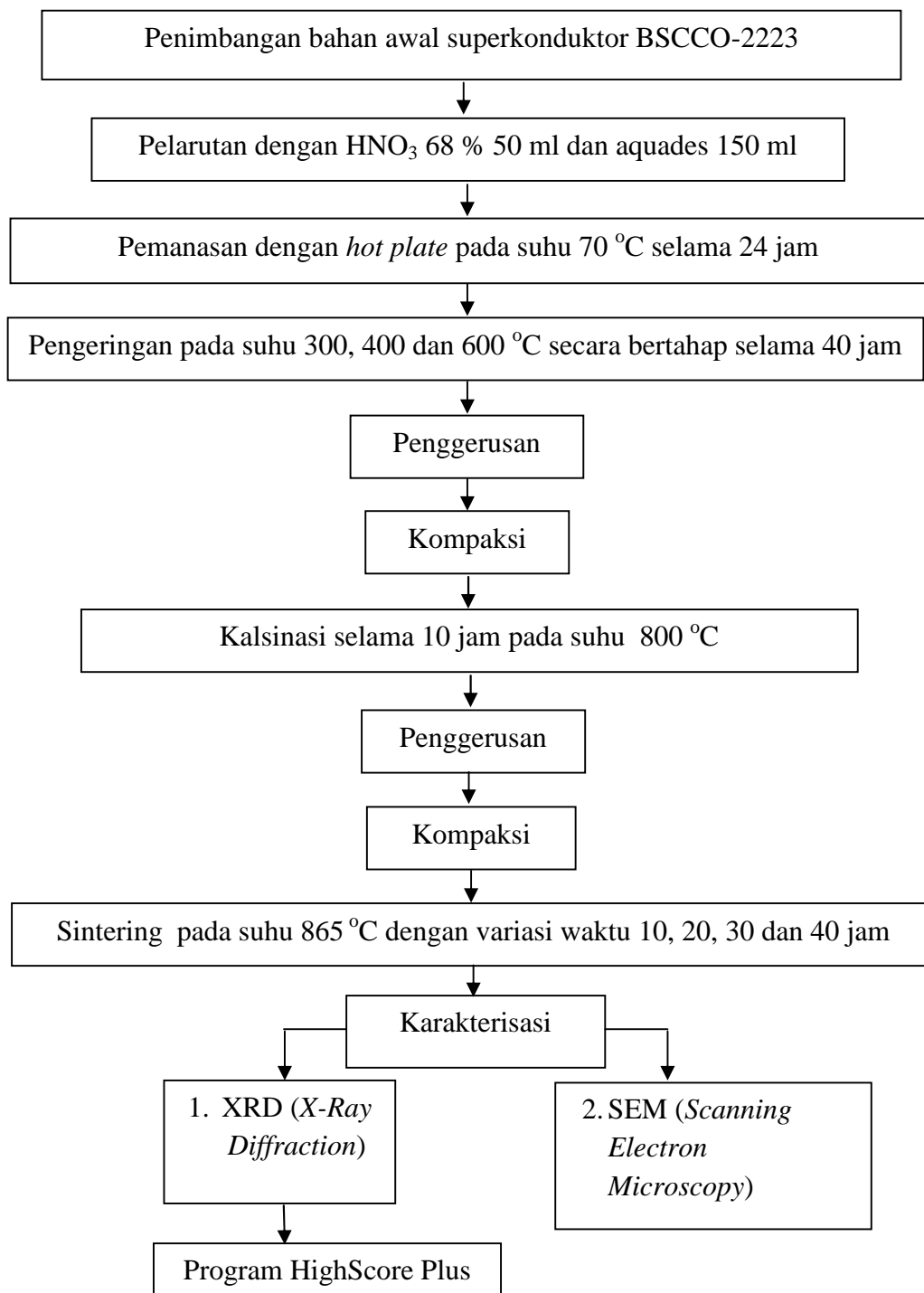
Sampel hasil kalsinasi belum sempurna, karena adanya porositas, penangkapan gas sekitar, dan kecilnya luas permukaan kontak. Untuk menghasilkan komposisi dengan fase tertentu, sampel digerus ulang dan dikompaksi kembali. Sampel disintering pada suhu 865°C dengan variasi waktu sintering selama 10, 20, 30 dan 40 jam (Lampiran 5 dan 6). Diagram sintering dapat dilihat pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Diagram sintering

E. Diagram Alir

Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Diagram alir penelitian

F. Karakterisasi

Sampel yang telah disintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM.

1. X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui fase yang terbentuk pada sampel, serta menganalisis kemurnian fase (fraksi volume dan impuritas). Pola difraksi sampel diperoleh dengan menembak sampel menggunakan sumber sinar-X dari Cu-K α yang mempunyai panjang gelombang 1,54 Å. Data diambil dalam rentang $2\theta = 5^\circ$ sampai 60° , dengan modus *scanning continue* dan *step size* sebesar $2\theta = 0,05$ serta waktu 2 detik *per step*.

Spektrum XRD memberi informasi mengenai puncak-puncak intensitas pada sudut 2θ tertentu. Fase BSCCO-2223 yang terbentuk dapat diperoleh dengan menghitung fraksi volume (F_v) pada Persamaan (8), derajat orientasi (P) pada Persamaan (9) dan impuritas (I) yang terkandung pada sampel.

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

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

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

Dengan

F_v = Fraksi volume fase BSCCO-2223

P = Derajat orientasi

I = Impuritas

$I_{(00l)}$ = Intensitas fase $h=k=0$ dan l bilangan genap

$I_{(\text{total})}$ = Intensitas total

$I_{(2223)}$ = Intensitas fase 2223 (Suprihatin, dkk., 2014)

2. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

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

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

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

1. Tingkat kemurnian fase bahan superkonduktor BSCCO-2223 terbaik diperoleh pada waktu sintering selama 30 jam dengan fraksi volume sebesar 79,17 % dengan nilai derajat orientasi sebesar 37,94 %. Sedangkan terendah diperoleh pada waktu sintering selama 10 jam dengan fraksi volume sebesar 38,47 % dan derajat orientasi sebesar 15,27 %
2. Berdasarkan hasil karakterisasi SEM, struktur permukaan mikro bahan superkonduktor BSCCO-2223 telah terorientasi serta memiliki ruang kosong antar lempengan (*void*) yang relatif sedikit.

B. Saran

Untuk memperoleh bahan superkonduktor dengan tingkat kemurnian fase yang lebih baik perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memvariasi kadar Ca atau dengan penambahan doping.

DAFTAR PUSTAKA

- Abetti, P. A. dan Haldar, P. 2009. One hundred years of superconductivity: science, technology, products, profits and industry structure. *International Jurnal Technology Management*. Vol. 4 No. 48. Hal 423-447.
- Afriyanti, H. 2009. Pengaruh lama pemanasan terhadap pembentukan fase, resistivitas normal, dan suhu kritis pada superkonduktor overdoped Pb (BiPb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀) dengan metode melt-textured. *Skripsi*. Universitas Negeri Malang. Malang.
- Benseman, T.M., Cooper, J. R., and Balakrishnan, G. 2007. In-plane oxygen diffusion in single crystals of Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ}. *Physica C* 468. Hal 81-87.
- Buckel, W. dan Kleiner, R. 2004. *Superconductivity: Fundamental and Applications*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA. Weinheim.
- Cullity, B. D. 1992. Elements of x-ray diffraction. Departement of Metallurgical Engeneering and Materials Science. *Addison-Wesley Publication Company*. Hal 84-102.
- Darminto, Nugroho, A. A., Rusydi, A., Menovsky, A. A. dan Loeksmanto, W. 1999. Variasi tekanan oksigen dalam penumbuhan kristal tunggal superkonduktor Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8-x} dan pengaruhnya. *Prosiding ITB*. Vol. 31. No. 3. Hal 121-127.
- Diantoro, M. 1997. Studi kinetika pembentukan superkonduktor sistem Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr₂Ca₂Cu₃O_{10+δ} (2223) melalui prekursor fase (Bi,Pb)-2212. *Tesis*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Gabriel, B.L. 1985. *SEM: A User Manual of Material Science*. American Society for Metal. Amerika Serikat. USA. Hal 37-44.
- Garnier, V., Monot-Laffez, I., Desgardin, G. 2001. Optimization of sintering condition on the Bi-2223 formation and grain size. *Materials Science and Engineering B83*. Hal 48-54.

- Handayani, H. 2012. Sintesis bahan superkonduktor Bi-2223 tanpa doping Pb dengan berbagai kadar CaCO_3 . *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Imaduddin, A., Sigit, D.Y., Bintoro, S. dan Hendrik. 2014. Pergeseran suhu kritis superkonduktor BiPbSrCaCuO pada medan magnet tinggi. *Majalah Metalurgi*. Vol. 29 No. 3. Hal 229-234.
- Khafifah, K. 2010. Nanokristalisasi superkonduktor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$ dengan variasi kalsinasi dan sinter melalui metode pencampuran basah. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Lusiana. 2013. Proses pembuatan material superkonduktor dengan metode padatan. *Majalah Metalurgi*. Vol. 28. Hal 73-82.
- Marlianto, E. 2008. Studi ultrasonik pada superkonduktorsuhu tinggi. *Skripsi*. Universitas Sumatra Utara. Medan.
- Mc Mahon, G. 2007. *Analytical instrumentation: a guide to laboratory, portable and miniaturized instruments*. John Wiley and Sons Ltd. England.
- 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.
- Nurmalita, Nailul, A. dan Fauzi. 2013. XRD analysis of Bi-2212 superconductors: prepares by the self-flux method. *Jurnal Natural*. Vol. 13 No. 1. Hal 23-27.
- Parikin, Prasuad, W., Gunawan. 1996. Penelitian pengaruh waktu sintering terhadap pertumbuhan fase 2223 superkonduktor Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O dengan metode rietveld. *Prosiding Pertemuan dan Persentasi Ilmiah*. ISSN 0216-3128.
- Qureshi, A. H., Nazar, H., Shahid, K. D., Hasan, W. and Muhammad, A. 2010. Microstructural development of superconducting phases in Pb-BSCCO system derived from sol-gel technique. *J.Chem.Sok.Pak*. Vol. 32 No. 6. Hal 761-766.
- Rahardjo, D. T. 2010. Refinement struktur kristal superkonduktor BSCCO-2212 dengan substitusi Pb. *Jurnal Material dan Pembelajaran Fisika (JMPF)*. Vol. 1 No. 1. Hal 63-67.
- 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. Hal 1-9.

- Rohmawati, L. dan Darminto. 2012. Nanokristalin superkonduktor $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ dengan metode pencampuran basah. *Berkala Fisika Indonesia*. Vol. 4 No. 1. Hal 22-26.
- Santoso, U., Fuad, A., Agung, I., dan Dwi, T. R. 2015. Efek doping Pb rendah pada superkonduktor sistem BSCCO-2223. *Jurnal Material dan Pembelajaran Fisika (JMPF)*. Vol. 5 No. 2. Hal 1-4.
- Saxena, A. K. 2010. *High Temperature Superconductors*. Springer-Verlag. Berlin.
- Sembiring, S. W., Motlan dan Abid, H. S. 2016. Kristalisasi superkonduktor BSCCO (2212) dan pengaruh penambahan doping Pb dengan metode padatan. *Jurnal Einstein*. Vol. 4. No. 1. Hal 39-43.
- Sharma, D., Kumar, R. and Awana, V. P. S. 2013. DC and AC susceptibility study of sol gel synthesized $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ superconductor. *Ceramic International*. Vol. 39. Hal 1143-1152.
- Sihombing, E dan Nurhayati, P. 2017. Karakteristik superkonduktor bahan BSCCO didoping MgO. *Jurnal Einstein*. Vol 5 No.1. Hal 32-35.
- Smallman, R. . dan Bishop, R. E. 1995. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Erlangga. Jakarta.
- Sujatno, A., Rohmad, S., Bandriyana dan Arbi, D. 2015. Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk karakterisasi proses oksidasi paduan zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*. Vol. 9 No. 2. Hal 44-50.
- Sukirman, E., Adi, W. A., Winatapura, D. S. dan Sulungbudi, G. C. 2003. Review kegiatan litbang superkonduktor Tc tinggi di P3IB-BATAN. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Vol. 4 No. 2. Hal 30-39.
- Suprihatin, Ediman, G. S. dan Yunita S. 2014. Sintesis superkonduktor Bi-2223 tanpa doping Pb (BSCCO-2223) dengan kadar Ca = 2,10 pada berbagai suhu sintering. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 2 No. 1. Hal 1-6.
- Suryanarayana. 1998. *X-Ray Diffraction a Pratical Approach*. Plenum Press. New York.
- Sutiani, A. 2009. Metode karakterisasi bahan polimer. *Jurnal Kurtular*. Vol 10. No. 1. Hal 1-6.
- Syahfina, R., Bintoro S., Sigit, D. Y., Agung I., Nurul S., Fauzana A., dan Mukti H. H. 2017. Studi awal sintesis dan karakterisasi Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O dengan penambahan carbon nanotube dan TiO_2 menggunakan metode reaksi padatan dan proses sintering berulang. *Metalurgi*. Vol. 3. Hal 137-142.

- Van Vlack, L. H. 1991. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)* Edisi ke-5. Erlangga. Jakarta.
- Widodo, H. dan Darminto. 2010. Nanokristalisasi superkonduktor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+}$ dan $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+}$ dengan metode kopresipitasi dan pencampuran basah. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi TELAAH*. Vol. 28. Hal 6-9.
- 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 oxides superkonduktors prepared by the solid state reaction methods at 840 °C. *Journal of Aceh Physics Society*. Vol. 5 No. 1. Hal 1-5.
- Yulianti, N. 2004. Sintesis dan struktur mikro kristal superkonduktor Bi,Pb-2212 dengan metode *self-flux*. *Jurnal Ilmu Dasar*. Vol. 5. Hal 8-14.
- Yuliati, T. 2010. Sintesis superkonduktor BPSCCO/Ag menggunakan metode padatan. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Zakaria. 2003. Analisis kandungan mineral magnetik pada bahan baku dari daerah Istimewa Yogyakarta dengan metode XRD. *Skripsi*. Universitas Haluoleo. Kendari.