



JOURNAL OF ENERGY, MATERIAL, AND INSTRUMENTATION TECHNOLOGY

Journal Webpage <https://jemit.fmipa.unila.ac.id/>



Analisis Pertumbuhan Fase Superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 Akibat Variasi Suhu Sintering Menggunakan Metode Pencampuran Basah

Pulung Karo Karo^(a,*), Risky Putra Ramadhan, Suprihatin^(b), dan Yanti Yulianti

Jurusan Fisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35141

Article Information

Article history:

Received October 26th, 2021

Received in revised form

November 5th, 2021

Accepted November 29th, 2021

Keywords:

Superconductors BSCCO-2212, sintering temperature, volume fraction

Abstract

The research was conducted to determine the effect of sintering temperature on the level of purity of the superconducting phase BSCCO-2212 and BPSCCO-2212 using the wet mixing method. Sintering was carried out for 20 hours with variations in sintering temperature: 825, 830, 835 and 840°C. XRD results showed that the phase purity level increased until it reached the optimum point at 835°C sintering temperature and then decreased at 840°C. The highest volume fraction of the BSCCO-2212 sample was obtained at a sintering temperature of 835°C at 71.09% and the highest degree of orientation was obtained at a sintering temperature of 830°C at 26.44%. In the BPSCCO-2212 sample, the highest volume fraction was obtained at a sintering temperature of 835°C at 52.59% and the highest degree of orientation at a sintering temperature of 830°C at 43.49%. The optimum value of the volume fraction of BSCCO-2212 is higher than that of BPSCCO-2212. While the optimum value of the degree of orientation of BPSCCO-2212 is higher than that of BSCCO-2212

Informasi Artikel

Proses artikel:

Diterima 26 Oktober 2021

Diterima dan direvisi dari 5 November 2021

Accepted 29 November 2021

Kata kunci:

Superkonduktor BSCCO-2212 suhu sintering, fraksi volume

Abstrak

Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu sintering terhadap tingkat kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 menggunakan metode pencampuran basah. Sintering dilakukan selama 20 jam dengan variasi suhu sintering: 825, 830, 835 dan 840°C Hasil XRD menunjukkan tingkat kemurnian fase meningkat hingga mencapai titik optimum pada suhu sintering 835°C kemudian mengalami penurunan pada suhu sintering 840°C. Fraksi volume tertinggi sampel BSCCO-2212 didapatkan pada suhu sintering 835°C sebesar 71,09% dan derajat orientasi tertinggi didapatkan pada suhu sintering 830°C sebesar 26,44%. Pada sampel BPSCCO-2212 fraksi volume tertinggi didapatkan pada suhu sintering 835°C sebesar 52,59% dan derajat orientasi tertinggi pada suhu sintering 830°C sebesar 43,49%. Nilai optimum fraksi volume BSCCO-2212 lebih tinggi dari pada BPSCCO-2212. Sedangkan nilai optimum derajat orientasi BPSCCO-2212 lebih tinggi dari pada BSCCO-2212

1. Pendahuluan

Material superkonduktor sangat berperan penting dalam perkembangan teknologi saat ini. Superkonduktor merupakan material dengan resistivitas bernilai nol ketika berada di bawah suhu kritisnya sehingga dapat menghantarkan arus listrik tanpa hambatan. Dalam pembuatan material superkonduktor terdapat empat metode sintesis, diantaranya metode sol gel, metode lelehan, metode padatan, dan metode pencampuran basah.

Salah satu contoh material superkonduktor dengan suhu kritis tinggi yaitu superkonduktor sistem BSCCO. Superkonduktor sistem BSCCO merupakan superkonduktor oksida keramik yang memiliki keunggulan suhu kritis yang tinggi dan tidak mengandung unsur beracun. Sistem BSCCO memiliki 3 fase yaitu Bi-2201 dengan T_c 10°K, Bi-2212 dengan T_c 80°K, Bi-2223 dengan T_c 110°K.

* Corresponding author.

E-mail address: (a)pulungkarokaro@gmail.com; (b)suprihatin_itb@yahoo.com

Dalam pembuatan superkonduktor sistem BSCCO terdapat beberapa faktor yang dapat meningkatkan suhu kritis dan kemurnian fase, misalnya penambahan doping Pb, variasi waktu dan suhu sintering dan variasi kadar Ca. Suhu sintering dapat mempercepat pertumbuhan fase dan pembentukan struktur kristal.

Kemurnian fase juga dapat ditingkatkan dengan penambahan doping Pb. Doping Pb digunakan karena Pb memiliki ukuran atom dan nomor valensi yang mirip dengan unsur Bi sehingga mampu mensubstitusi posisi Bi pada sistem BSCCO. Penambahan doping Pb juga meningkatkan derajat orientasi.

Dari latar belakang tersebut, dilakukan penelitian pengaruh variasi suhu sintering terhadap superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 menggunakan metode pencampuran basah. Aspek yang dipelajari dalam penelitian ini adalah tingkat kemurnian fase yang terbentuk berdasarkan fraksi volume, derajat orientasi dan impuritas. Hasil yang diperoleh kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) selanjutnya dianalisis menggunakan program *highscore plus* (HSP).

2. Metode Penelitian

Penelitian menggunakan bahan Bi₂O₃ (99,9%) dari Strem Chemical; SrCO₃ (99,9%) dari Strem Chemical; CaCO₃ (99,9%) dari Strem Chemical; dan CuO (99,99%) dari Merck, dan PbO (99%) dari Aldrich. Bahan dasar tersebut kemudian ditimbang untuk membuat tiga gram sampel BSCCO-2212 dan tiga BPSCCO-2212 ditunjukkan pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Tabel 1. Komposisi bahan BSCCO-2212

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

Tabel 2. Komposisi bahan BPSCCO-2212

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

Setelah ditimbang, sampel dilarutkan dalam asam nitrat (HNO₃) 68% dan aquades hingga larutan berwarna biru jernih. Selanjutnya sampel dipanaskan menggunakan *hot plate* selama 5 – 6 jam dengan suhu 70°C. Sampel kemudian dikeringkan pada suhu 300, 400 dan 600°C secara bertahap menggunakan *furnace*.

Sampel digerus menggunakan *mortar* dan *pastle* selama ±10 jam sampai terasa halus. Kemudian dilakukan kompaksi menggunakan alat *pressing* dengan kuat tekan 8 ton. Setelah sampel menjadi pelet, selanjutnya di kalsinasi pada suhu 800°C selama 10 jam.

Sampel hasil kalsinasi belum sempurna karena adanya porositas, sehingga harus dilakukan penggerusan ulang. Selanjutnya dilakukan sintering dengan variasi suhu 825, 830, 835 dan 840°C selama 20 jam. Diagram alir penelitian ditampilkan pada **Gambar 1**.

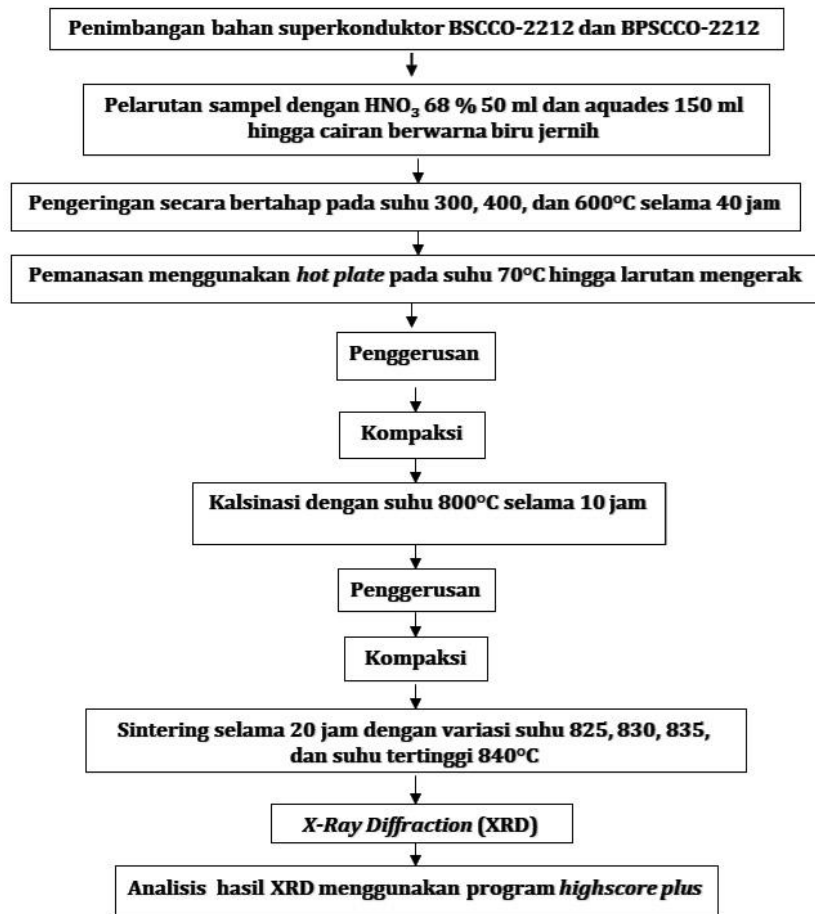
Hasil sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui tingkat kemurnian fase berdasarkan fraksi volume (*Fv*), derajat orientasi (*P*), dan Impuritas (*I*) menggunakan persamaan:

$$Fv = \frac{\sum I(2212)}{\sum I(total)} \times 100\% \quad (1)$$

$$P = \frac{\sum I(00l)}{\sum I(2212)} \times 100\% \quad (2)$$

$$I = 100\% - Fv \quad (3)$$

dengan *I(total)*, *I(2212)*, dan *I(00l)* adalah intensitas total, intensitas fase Bi-2212 dan intensitas fase Bi-2212 dengan *h=k=0* dan *l* bilangan genap.

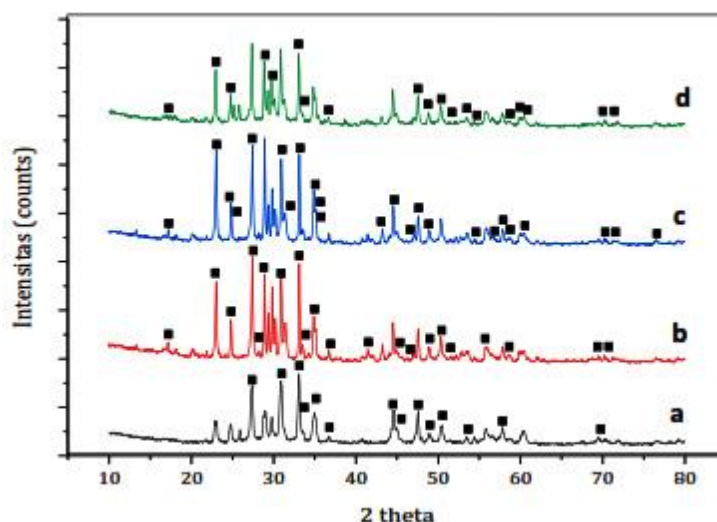


Gambar 1. Diagram alir penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Analisis X-Ray Diffraction (XRD) BSCCO-2212

Karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui tingkat kemurnian fase yang terbentuk dalam sampel dengan menghitung fraksi volume, derajat orientasi dan impuritasnya. Hasil karakterisasi XRD dianalisis menggunakan program *highscore plus* (HSP) untuk mengetahui fase yang terbentuk. Pada sampel BSCCO-2212 menunjukkan terbentuknya fase BSCCO-2212, CaCuO₂, dan CuO₂ sesuai dengan diagram fase superkonduktor Strobel *et al* (1992). Selain itu terbentuk juga fase lain sebagai impuritas. Banyaknya fase yang terbentuk disebabkan karena bahan pembentuk superkonduktor memiliki titik leleh yang berbeda, sehingga menyebabkan berkurangnya beberapa unsur – unsur saat dipanaskan pada suhu tinggi. Hasil analisis XRD sampel BSCCO-2212 ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Hasil analisis XRD sampel BSCCO-2212 menggunakan HSP (■ = fase BSCCO-2212). **a** (BSCCO-2212-825), **b** (BSCCO-2212-830), **c** (BSCCO-2212-835), dan **d** (BSCCO-2212-840).

Hasil perhitungan fraksi volume (F_v), impuritas (I) dan derajat orientasi (P) BSCCO-2212 ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil perhitungan tingkat kemurnian fase BSCCO-2212 akibat variasi suhu sintering

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

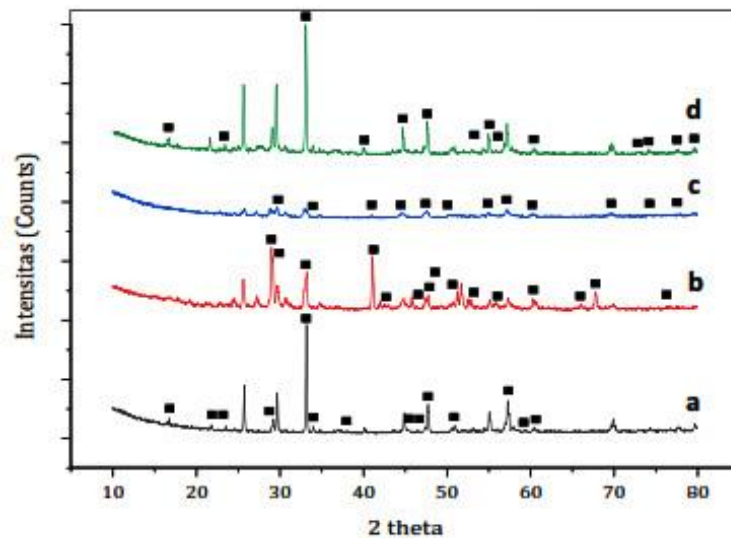
Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh terjadi peningkatan nilai fraksi volume hingga mencapai suhu 835°C kemudian terjadi penurunan pada suhu 840°C seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Pada sampel BSCCO-2212 nilai F_v mencapai titik optimum pada suhu sintering 835°C sebesar 71,09% dan I sebesar 28,91% dengan impuritas merupakan fase $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_x$, CaCuO_2 , CuO , Ca_4O_4 dan $\text{Sr}_2\text{Cu}_2\text{O}_3$. Sedangkan nilai F_v terendah terdapat pada suhu sintering 840°C sebesar 49,68% dan I sebesar 50,32% dengan impuritas merupakan fase CaCuO_2 , CaBi_2O_4 , $\text{Sr}_{8,5}\text{Bi}_6\text{Ca}_{2,5}\text{O}_{22}$ dan $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$. Suhu sintering 825 menghasilkan nilai F_v sebesar 51,91% dan I sebesar 48,09% dengan impuritas merupakan fase $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_x$, CaCuO_2 , CuO_2 , dan Bi . Suhu sintering 830 menghasilkan F_v sebesar 60,33% dan I sebesar 39,67% dengan impuritas merupakan fase CaCuO_2 , CuO , $\text{CaSr}_3\text{Bi}_2\text{O}_{89}$ dan Ca_4O_4 .

Kemudian diperoleh juga hasil perhitungan derajat orientasi berupa nilai puncak $h = k = 0$ dan l merupakan bilangan genap. Hasil perhitungan P menghasilkan nilai P tertinggi pada suhu sintering 830°C sebesar 26,44% didapat dari $2\theta = 17,2083$ dengan $hkl = (006)$, $2\theta = 23,0308$ dengan $hkl = (008)$, $2\theta = 28,9067$ dengan $hkl = (0010)$, $2\theta = 34,8559$ dengan $hkl = (0012)$ dan $2\theta = 36,7189$ dengan $hkl = (002)$. Sedangkan nilai P terendah terdapat pada suhu sintering 825°C didapat dari $2\theta = 21,7089$ dengan $hkl = (006)$, dan $2\theta = 28,978$ dengan $hkl = (008)$. Nilai P pada suhu sintering 835°C sebesar 18,25% didapat dari $2\theta = 17,2051$ dengan $hkl = (006)$, $2\theta = 21,8456$ dengan $hkl = (004)$, $2\theta = 23,0275$ dengan $hkl = (008)$, dan $2\theta = 36,7367$ dengan $hkl = (0010)$. Nilai P pada suhu sintering 840°C sebesar 12,43% didapat dari $2\theta = 17,0988$ dengan $hkl = (006)$, dan $2\theta = 22,9592$ dengan $hkl = (008)$.

3.2 Hasil Analisis X-Ray Diffraction (XRD) BPSCCO-2212

Hasil analisis XRD BPSCCO-2212 menunjukkan banyak fase impuritas yang terbentuk dikarenakan banyaknya unsur yang terurai atau berikatan dengan unsur lain sehingga menyebabkan banyaknya fase yang terbentuk. Hasil analisis XRD BPSCCO-2212 ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Hasil analisis XRD sampel BPSCCO-2212 menggunakan HSP (■ = fase BSCCO-2212). **a** (BPSCCO-2212-825), **b** (BPSCCO-2212-830), **c** (BPSCCO-2212-835), dan **d** (BPSCCO-2212-840).

Hasil perhitungan fraksi volume (F_v), impuritas (I) dan derajat orientasi (P) BPSCCO-2212 ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Perhitungan tingkat kemurnian fase BPSCCO-2212 (doping Pb = 0,2 mol) akibat variasi suhu sintering

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

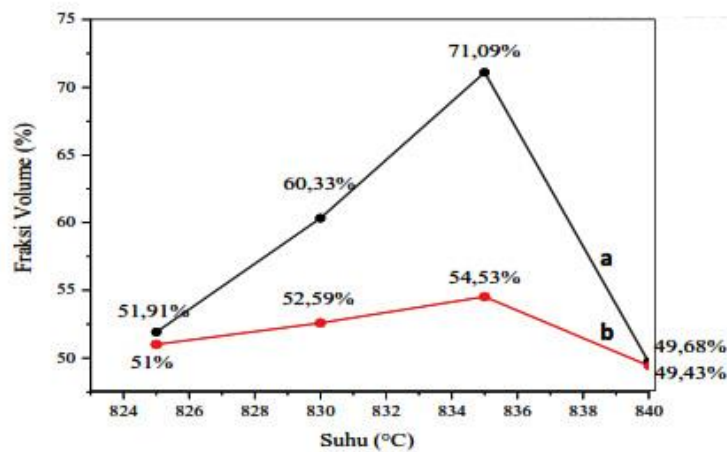
Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh terjadi peningkatan nilai fraksi volume hingga mencapai suhu 835°C kemudian terjadi penurunan pada suhu 840°C seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Pada sampel BPSCCO-2212 nilai F_v mencapai titik optimum pada suhu sintering 835°C sebesar 54,53% dan I sebesar 45,47% dengan impuritas merupakan fase $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_x$, CaCuO_2 , CuO , Ca_4O_4 dan $\text{Sr}_2\text{Cu}_2\text{O}_3$. Sedangkan nilai F_v terendah terdapat pada suhu sintering 840°C sebesar 49,43% dan I sebesar 50,57% dengan impuritas merupakan fase CaCuO_2 , CaBi_2O_4 , $\text{Sr}_{8,5}\text{Bi}_6\text{Ca}_{2,5}\text{O}_{22}$ dan $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$. Suhu sintering 825°C menghasilkan nilai F_v sebesar 51% dan I sebesar 49% dengan impuritas merupakan fase $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_x$, CaCuO_2 , CuO_2 , dan Bi . Suhu sintering 830°C menghasilkan F_v sebesar 52,59% dan I sebesar 45,47% dengan impuritas merupakan fase CaCuO_2 , CuO , $\text{CaSr}_3\text{Bi}_2\text{O}_{39}$ dan Ca_4O_4 .

Kemudian diperoleh juga hasil perhitungan derajat orientasi berupa nilai puncak $h = k = 0$ dan l merupakan bilangan genap. Hasil perhitungan P dari masing – masing sampel menghasilkan nilai P tertinggi pada suhu sintering 830°C sebesar 43,49% didapat dari $2\theta = 29,004$ dengan $hkl = (008)$, $2\theta = 29,1927$ dengan $hkl = (0010)$, $2\theta = 47,3969$ dengan $hkl = (0016)$, dan $2\theta = 60,2959$ dengan $hkl = (0020)$. Sedangkan nilai P terendah terdapat pada suhu sintering 825°C sebesar 9,48% didapat dari $2\theta = 29,2252$ dengan $hkl = (0010)$, dan $2\theta = 47,3761$ dengan $hkl = (0016)$. Nilai P pada suhu sintering 835°C sebesar 23,06% didapat dari $2\theta = 30,6706$ dengan $hkl = (004)$, $2\theta = 34,7827$ dengan $hkl = (0012)$, dan $2\theta = 60,1799$ dengan $hkl = (0020)$. Nilai P pada suhu sintering 840°C sebesar 24,28% didapat dari $2\theta = 21,6496$ dengan $hkl = (006)$, $2\theta = 25,0497$ dengan $hkl = (002)$, $2\theta = 29,0685$ dengan $hkl = (008)$, $2\theta = 36,7202$ dengan $hkl = (0010)$ dan $2\theta = 60,3657$ dengan $hkl = (0020)$.

3.3 Pengaruh Penambahan Doping Pb terhadap Tingkat Kemurnian Fase Bi-2212

Berdasarkan analisis XRD sampel BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212, menunjukkan bahwa penambahan doping Pb 0,2 mol berpengaruh terhadap tingkat kemurnian fase BI-2212. Perbandingan tingkat kemurnian fase superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 diukur berdasarkan fraksi volume, impuritas dan derajat orientasi. Perbandingan fraksi volume superkonduktor BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 ditunjukkan pada **Gambar 4**.

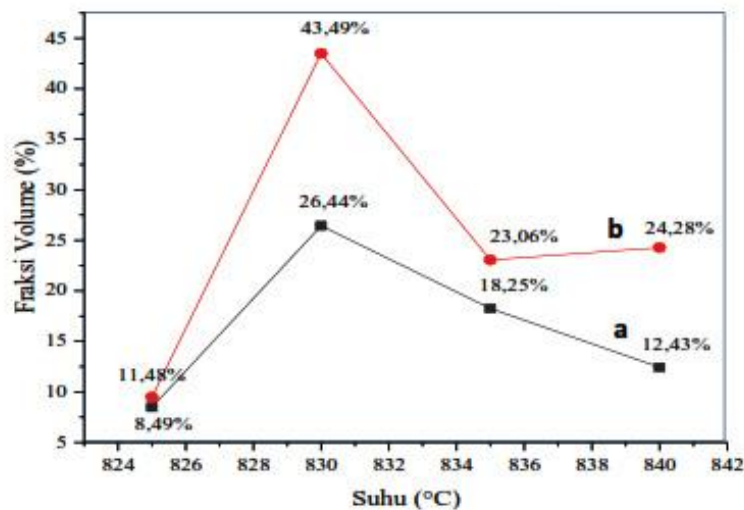


Gambar 4. Perbandingan fraksi volume **a** BSCCO-2212 (tanpa doping) dan **b** BPSCCO-2212 (doping Pb = 0,2 mol) akibat variasi suhu sintering.

Berdasarkan **Gambar 4**, sampel BSCCO-2212 memiliki fraksi volume yang lebih tinggi daripada BPSCCO-2212, dengan suhu optimum pada suhu 835°C. Fraksi volume tertinggi pada BSCCO-2212 sebesar 71,09%, sedangkan pada BPSCCO-2212 sebesar 54,53%.

Rendahnya nilai fraksi volume BPSCCO-2212 daripada BSCCO-2212 menunjukkan bahwa penambahan doping Pb akan menurunkan nilai fraksi volume. Menurut Nurmawati (2011), hal ini disebabkan fase 2212 yang terbentuk dengan bidang selain (001) pada sampel dengan doping Pb lebih banyak dibandingkan sampel tanpa Pb. Penurunan fraksi volume juga disebabkan oleh sifat pelelehan yang inkongruen dari bahan penyusun dan penambahan doping Pb akan menurunkan konsentrasi Cu dan Ca sehingga akan meningkatkan impuritas baik berupa fase superkonduktif maupun nonsuperkonduktif. Hal ini juga sesuai dengan eksperimen yang dilaporkan sebelumnya oleh Kishida *et al* (1995), meskipun dengan metode yang berbeda.

Berdasarkan derajat orientasi, perbandingan tingkat kemurnian fase BSCCO-2212 dan BPSCCO-2212 akibat variasi suhu sintering ditunjukkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Perbandingan derajat orientasi **a** BSCCO-2212 (tanpa doping) dan **b** BPSCCO-2212 (doping Pb = 0,2 mol) akibat variasi suhu sintering

Berdasarkan **Gambar 5**, sampel BPSCCO-2212 memiliki nilai derajat orientasi yang lebih tinggi daripada BSCCO-2212 dengan suhu optimum pada 830°C. Derajat orientasi tertinggi pada BPSCCO-2212 sebesar 43,49%, sedangkan pada BSCCO-2212 sebesar 26,44%.

Nilai derajat orientasi BPSCCO-2212 lebih tinggi daripada BSCCO-2212 menunjukkan bahwa doping Pb dapat membantu pembentukan kristal sehingga memiliki susunan kristal yang lebih terarah dan ruang kosong semakin sedikit.

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

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu seiring peningkatan suhu sintering, F_v superkonduktor BSCCO-2212 meningkat hingga mencapai titik optimum pada suhu sintering 835°C kemudian mengalami penurunan pada suhu sintering 840°C, F_v tertinggi pada suhu 835°C yaitu sebesar 71,09%, F_v terendah pada suhu 840°C sebesar 49,68%. Nilai derajat orientasi superkonduktor BSCCO-2212 memiliki P tertinggi pada suhu 830°C yaitu sebesar 23,38%, P terendah pada suhu 825°C sebesar 11,48%.

Pada superkonduktor sistem BPSCCO-2212, seiring peningkatan suhu sintering, F_v meningkat hingga mencapai titik optimum pada suhu sintering 835°C kemudian mengalami penurunan pada suhu sintering 840°C, F_v tertinggi pada suhu 835°C yaitu sebesar 54,53%, F_v terendah pada suhu 840°C sebesar 49,43%. Pada superkonduktor sistem BPSCCO-2212, memiliki P tertinggi pada suhu 830°C yaitu sebesar 43,49%, P terendah pada suhu 825°C sebesar 9,48%.

Nilai optimum fraksi volume BSCCO-2212 lebih tinggi dari pada BPSCCO-2212. Sedangkan nilai optimum derajat orientasi BPSCCO-2212 lebih tinggi dari pada BSCCO-2212

5. Daftar Pustaka

- W. D. Callister and D. G. Rethwisch, "Materials and engineering 9th edition," New York: Jonh Wiley and Sons Inc, 2014.
- Suprihatin, "Pengaruh Variasi Suhu Sintering dalam Sintesis Superkonduktor Bi-2212 dengan Doping Pb (BPSCCO-2212) pada Suhu Kalsinasi 790°C," *Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknologi-II*, pp. 67-73, 2008.
- H. Fallaharani, B. Saeid, S. Arman, S. Daniela, T. Frances, M. Davide, and R. Nastaran, "The Influence of Head Treatment on the Microstructure, Flux Pinning and Magnetic Properties of Bulk BSCCO Samples Prepared by Sol-Gel Route," *Ceramics International*, vol. 128, no. 12, pp. 1-25, 2017.
- I. Marhaendrajaya, "Eksperimen Pembentukan Kristal BPSCCO-2223 dengan Metode Lelehan," *Berkala Fisika*, vol. 4, no. 2, pp. 33-40, 2001.
- R. M. Fauzi, "Pertumbuhan Fase Superkonduktor Bi-2223 dengan Variasi Doping Pb (BPSCCO-2223) pada Kadar Ca=2,10 dan Suhu Sintering 855°C," Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2017.
- L. Rohmawati and Darminto, "Nanokristalisasi Superkonduktor (Bi,Pb)₂Sr₂CaCu₂O_{8+d} dengan Metode Pencampuran Basah," *Berkala Fisika*, vol. 4, no. 1 & 2, pp. 22-26, 2012.
- Herlyn, "Pengaruh Lama Pemanasan Terhadap Konduktivitas Normal Superkonduktor Overpofed Pb (BiPb)₂Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀ dengan Metode Melt-Textured," Universitas Negeri Medan, Medan, 2008.
- H. Raffy, "BSCCO high-Tc superconducting films," Paris: Woodhead Publishing Limited, 2011.
- I. Shimono, "Preparation of Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O Superconductor by the Citrate Method," *Journal of the Ceramic Society of Japan*, vol. 101, no. 1177, pp. 1044-1050, 1993.
- S. Siswayanti, B. Agung, L. Amirul, M. A. Ikhlusul, Hendrik, and Pius, "Sintesis Pelet Bi-Sr-Ca-Cu-O dengan Suhu Sintering Rendah dan Analisa Sifat Superkonduktivitasnya," *Pros. Sem. Material Metalurgi*, pp. 227-231, 2015.
- D. A. Cardwell and D. S. Ginley, "Handbook of superconductor materials," Florida: CRC Press, 2003.
- Suprihatin, R. Pratiwi, and Syafriadi, "Variasi doping Pb Terhadap Pertumbuhan Fase Bahan Superkonduktor Bi-2212 pada Kadar Ca 1,10 dan Suhu Sintering 830°C," *Jurnal Teori dan Fisika*, vol. 5, no. 2, pp. 187-194, 2017.
- D. B. Curie and A. M. Forest, "Crystal and High Tc Superconductor in the System Gd₁Ba_{2-x}Sr_xCu₃O_{7-x}," *Solid State Communications*, vol. 66, no. 7, pp. 715-718, 1998.
- M. Roumie, S. Marhaba, R. Awad, M. Kork, I. Hasan, and R. Mawassi, "Effect of Fe₂O₃ Nano-Oxide Addition on the Superconducting Properties of the (Bi,Pb)-2223 Phase," *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, vol. 27, no. 1, pp. 143-53, 2014.
- Nurmalita, "Sintesis Kristal Superkonduktor dengan Metode Melt Mextured Growth," Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2002.
- P. Strobel, J. Toledano, D. Morin, J. Schneck, G. Vacquier, O. Monnereau, J. Primot, and T. Fournier, "Phase Diagram of the System Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr₂CuO₆-CaCuO₂ Between 825°C and 1100°C," *Physica C*, vol. 201, pp. 21-42, 1992.
- H. Liu, L. Liu, H. Yu, Y. Zhang, and Z. Jin, "Optimization of the Composition for Synthesizing the High-Tc Phase in Bi(Pb)SrCaCuO System," *Journal of Materials Science*, vol. 34, no. 17, pp. 4329-4332, 1999.

-
- W. Miller, K. Borowko, M. Gazda, S. Stizza, and R. Natali, " Superconducting Properties of BiPbSrCaCuO and BiSrCaCuO Glass-Ceramics," *Acta Physica Polonica A*, vol. 109, no. 4, pp.627-631, 2006.
- S. Kishida, T. Yumoto, S. Nakhasima, H. Tokutaka, K. Fujimura, "Effect of Temperatures and Periods Melting on Growth of Bi₂Sr₂CaCu₂O_y Single Crystal, *Journal of Growth*, 153, pp. 146-150, 1995.