

PENGUNAAN DOPAN Pb , Ba DALAM SINTESIS BAHAN SUPERKONDUKTOR Bi-Sr-Ca-Cu-O FASA 1223 MELALUI METODE PENCAMPURAN BASAH

M Shohib Anwar, dan Darminto
Jurusan Fisika FMIPA ITS
Kampus ITS Suklilo, Surabaya 60111
Email : Shohib@physics.its.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan sintesis bahan superkonduktor dengan basis Bi dan senyawa kuprat sebagai lapis pemisah tunggal $\text{BiSr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (Bi-1223). Fasa Bi-1223 disintesis dengan mereaksikan bahan-bahan dasar dengan nitrat, kemudian dikalsinasi untuk menghilangkan nitrat dan disintering pada suhu 940°C sampai terbentuk fasa $\text{BiSr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui lebih jelas tentang pembentukan fasa superkonduktor dengan metode pencampuran basah. Berdasarkan hasil XRD dapat diketahui fasa-fasa yang terbentuk, sedangkan untuk melihat fasa Bi-1223 sendiri dilakukan dengan menggunakan 4 model yaitu (1) dengan mengganti TI pada fasa TI-1223 dengan Bi, (2) gabungan fasa Bi-1212 dengan Bi-2223, (3) 2 model dari memecah struktur Bi-2223 menjadi Bi-1223. Dari hasil XRD, masih banyak impuritas yang terbentuk. Fasa Bi-1223 pada tahapan sintering dicocokkan dengan model dengan memakai Retic. Model dengan memecah Bi-2223 menjadi Bi-1223 merupakan model yang hampir sama dengan mengganti TI pada fasa TI-1223 dengan Bi hanya berbeda parameter kisi, keduanya mempunyai kecocokan lebih besar, ini ditunjukkan dengan nilai R_b yang lebih kecil. Penambahan doping memperbesar pembentukan fasa Bi-1223 ini ditunjukkan nilai R_b . Dalam sintesis ini masih banyak terdapat impuritas yang merupakan paduan dari bahan-bahan dasar.

Kata kunci: superkonduktor, Bi-1223.

1. Pendahuluan

Gejala superkonduktor pertama kali ditemukan fisikawan Belanda, Heike Kamerling Onnes pada tahun 1911. Dalam risetnya di laboratorium Leiden, ia menemukan bahwa resistifitas dari merkuri tiba-tiba menurun drastis menuju nol dalam suhu dibawah $4,2\text{ K}$ (titik leleh dari helium cair). Penelitian terus dilakukan untuk menemukan superkonduktor dengan suhu kritis (T_c) yang lebih tinggi. Pada tahun 1930 ditemukan sifat superkonduktor pada niobium yang memiliki suhu kritis $9,2\text{ K}$, ini adalah temperatur kritis paling tinggi diantara semua bahan logam. Pada awal tahun 1986 Bednorz dan Muller berhasil menemukan sifat superkonduktor dengan suhu kritis 30 K pada La-Ba-Ca-O yang merupakan bahan keramik. Penemuan ini menarik, karena sifat superkonduktor ditemukan tidak pada logam yang merupakan konduktor pada suhu kamar. Tahun 1987 peneliti di Alabama dan Houston menemukan bahan superkonduktor berbasis keramik $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ $T_c = 92\text{ K}$ yang merupakan titik leleh nitrogen cair 78 K dan lebih mudah didapatkan dari pada helium cair. Diawal tahun 1988, Bi dan TI- kuprat oksida ditemukan dengan $T_c = 110\text{ K}$ dan 125 K . Bahan-bahan superkonduktor ini disebut sebagai superkonduktor suhu tinggi (SKST) (Mourachkine, 2004).

Bahan superkonduktor oksida suhu tinggi yang telah ditemukan sebagian besar mengandung senyawa kuprat. Banyaknya bidang kuprat

mempengaruhi T_c superkonduktor. Kelompok superkonduktor dengan dua bidang kuprat tiap unit sel selalu memiliki temperatur kritis lebih tinggi daripada yang mempunyai satu bidang kuprat dalam satu unit sel. Kuprat dengan tiga bidang tiap unit sel mempunyai T_c lebih tinggi daripada yang mempunyai dua bidang dalam satu unit sel, sehingga bila berhasil di bentuk Bi-1223 diharapkan akan mempunyai T_c yang tinggi. Keunggulan lain yang diharapkan adalah Bi tidak bersifat racun seperti TI dan Hg.

2. Metode yang diterapkan

Prosedur kerja yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari 2 langkah yaitu penyiapan bahan dasar dan sintesis $\text{BiSr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{9.5}$. Bahan dasar pembuatan $\text{BiSr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{9.5}$ adalah bahan-bahan yang masih berbentuk senyawa Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaCO_3 , CuO , PbO_2 , dan BaCO_3 . Dari senyawa tersebut di dipersiapkan massa Bi, Sr, Ca, Cu sesuai dengan perbandingan stokiometri untuk membuat $\text{BiSr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{9.5}$. Sintesis $\text{BiSr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{9.5}$ dilakukan dengan mereaksikan bahan dasar dengan nitrat dan H_2O sebagai media pelarut. Sintesis ini menggunakan metode pencampuran basah. Langkah-langkah sintesis $\text{BiSr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{9.5}$ ini meliputi pembentukan kerak hasil reaksi bahan-bahan dasar dengan nitrat dilanjutkan pengeringan, kalsinasi dan sintering. Dalam penelitian ini Bi_2O_3 , SrCO_3 , CaCO_3 dan CuO dan asam nitrat ditimbang. Selanjutnya nitrat dilarutkan dengan aquades sampai

mencapai volume 150 ml lalu dicampur dengan Bi₂O₃, SrCO₃, CaCO₃, dan CuO. Campuran tersebut diaduk dengan magnetik stiller sampai larut dengan suhu 70°C. Proses ini dilanjutkan sampai semua cairan menguap sehingga terbentuk kerak pada bejana.

Padatan (kerak) kemudian dipanaskan secara bertahap yaitu pada suhu 100°C selama 1 jam, 400°C selama 2, 600°C selama 2 jam, 780°C selama 3 jam, langkah ini adalah untuk menghilangkan kandungan nitrat. Kemudian dilanjutkan dengan sintering pada suhu 940°C, untuk menumbuhkan fasa BiSr₂Ca₂Cu₃O_{9.5}. Suhu sintier hampir sama dengan suhu sintier untuk menumbuhkan fasa (Tl_{0.95}Bi_{0.2})(Sr_{0.8}Ba_{0.2})₂Ca₂Cu₃O_x yang dilakukan L Ji, dkk, (2007) yaitu 930°C. Sebelum disinter padatan terlebih dahulu dibentuk menjadi pelet dengan maksud untuk: (1) untuk meningkatkan kontak partikel (2) meminimkan kontak dengan krusibel (Ismunandar,2004).

Analisis struktur kristal BiSr₂Ca₂Cu₃O_{9.5} hasil sintesis dilakukan dengan menggunakan teknik difraksi sinar-X dengan menggunakan difraktometer sinar-X merek Philips Expert. Data yang diperoleh berupa jarak antar bidang, intensitas dan sudut (2θ) yang kemudian dianalisis dengan membandingkan pola difraktogram sampel dengan pola difraktogram standar pada *Software X-pert Graphic and Identify*, sehingga mineral dalam sampel dapat diidentifikasi. Untuk mencocokkan model struktur dengan sampel digunakan program rietica dengan melihat nilai *Derived Bragg R-Factor* (R_B). Nilai R_B menyatakan kecocokan antara model struktur dengan sampel.

Nilai RB memberikan nilai kecocokan setiap fasa yang dicocokkan, apabila ada dua fasa maka akan ada dua nilai RB.

$$R_B = \frac{\sum |I_{ko} - I_{kc}|}{\sum I_{ko}} \dots\dots\dots(1)$$

Sumber: Howard dan Hunter,1997

dengan :

R_B = kecocokan pola difraksi antara model dan sampel

I_{ko} = intensitas terintegrasi "model" terhadap refleksi k

I_{kc} = intensitas terintegrasi "sampel" terhadap refleksi k

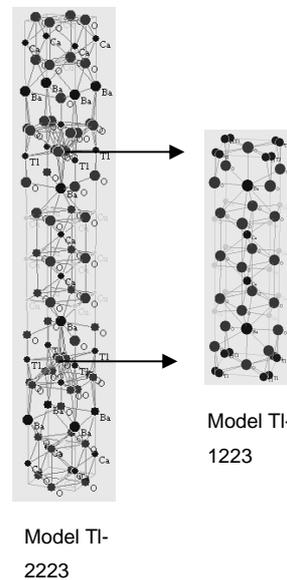
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Model Struktur Fasa Bi₁Sr₂Ca₂Cu₃O_{9.5}

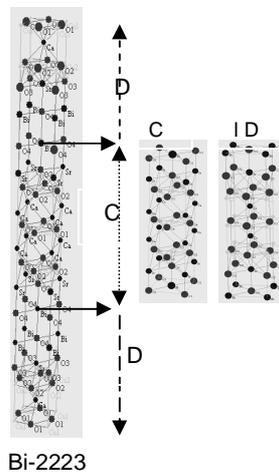
Langkah pertama yang dilakukan adalah penyiapan model struktur Bi-1223, hal ini dilakukan karena belum ada model struktur Bi-1223 yang pernah berhasil dibuat yang dapat dipakai sebagai acuan. Pembuatan model struktur Bi-1223 berdasarkan pada kemiripan atau kesesuaian dengan model struktur terkait yang telah berhasil dibuat, Struktur Bi-1223 yang telah dibuat akan dicocokkan dengan pola difraksi sinar-X sampel hasil sintesis. Secara umum, apabila model struktur sudah pernah

dibuat maka pencocokan dapat dilakukan dengan memakai PDF menggunakan program *search-match*. Analisa semacam ini dikenal sebagai analisis kualitatif. Bila proses analisis kualitatif berhasil dan semua fasa dalam sampel telah teridentifikasi, maka dilanjutkan dengan program RIETICA untuk analisis kuantitatif, yaitu menentukan prosentase fasa yang teridentifikasi. Selain itu, analisis ini dapat mengetahui parameter-parameter struktur. Karena Bi-1223 belum mempunyai PDF, maka untuk mencari kesesuaian pola difraksi model struktur dan hasil sintesis dilakukan dengan cara manual yaitu melihat kesesuaian letak puncak (2θ) antara model dengan sampel hasil sintesis.

Model struktur Bi-1223 sudah pernah dibuat yaitu mengganti atom Tl dengan Bi dari fasa TI-1223. Fasa TI-1223 yang digunakan adalah hasil percobaan yang telah dilakukan oleh Hurr, dkk, (1995) yang memakai doping Bi pada TI dan Ba pada Sr yaitu (Tl_{0.8}Bi_{0.2})(Sr_{1.6}Ba_{0.4})Ca₂Cu₃O_{9.5} (Fitriah,2007) . Cara yang lain pembentukan model Bi-1223 dibuat dengan mengikuti perubahan model Tl₂Ba₂Ca₂Cu₃O_x (TI-2223) menjadi TlBa₂Ca₂Cu₃O_{9.5} (TI-1223) dengan mengganti atom Ba dengan Sr. Pada Gambar 1 struktur TI-1223 mempunyai persamaan dengan sebagian struktur TI-2223, 3 lapisan Cu-O serta atom Tl yang terdekat semua yang merupakan struktur TI-1223 sama dengan bagian yang ada pada TI-2223.



Gambar 1. Pebandingan Model TI-2223 dan TI-1223.



Bi-2223

Gambar 2. Pemecahan model struktur Bi-2223 menjadi dua model struktur Bi-1223.

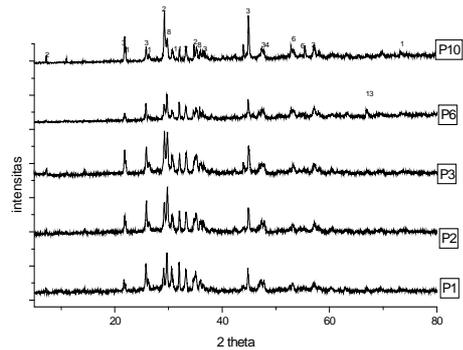
Model Bi-1223 dapat dibuat dengan melakukan perubahan yang terjadi pada TI-2223 (ICSD kode 68398,1991) menjadi TI-1223. Apabila Bi-2223 (ICSD kode 66051,1991) di pecah menjadi Bi-1223 maka didapatkan dua model struktur yang mungkin yaitu model C dan D seperti pada Gambar 2. Model C merupakan bagian tengah Gambar 2. yang berada diantara 2 atom Bi, sedangkan model D merupakan gabungan dari bagian atas dan bawah. Dalam pemodelan ini parameter model struktur Bi-1223 dibuat sama dengan yang ada pada model struktur Bi-2223.

3.2 Pola Difraksi Sampel Bi-1223

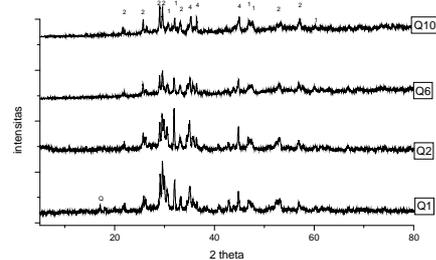
Setelah disintering untuk mengidentifikasi fasa-fasa yang terbentuk pada sampel diuji dengan XRD difraktometer Philips. Puncak-puncak yang muncul dalam pola difraksi merupakan kristal yang ada di dalam sampel. Dalam pola difraksi XRD juga terdapat puncak-puncak dari impuritas. Impuritas yang terbentuk adalah senyawa yang terbentuk dari kombinasi unsur pembentuk Bi-1223. *Searchmatch* bertujuan untuk mencari adanya kemungkinan puncak baru yang tidak teridentifikasi. Puncak yang tidak teridentifikasi ini nantinya akan dicocokkan dengan model yang dibuat, apabila puncak tadi cocok dengan yang ada di model maka puncak tersebut merupakan puncak dari fasa baru yang disintesis.

Pola difraksi sampel Bi-1223 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3a telah menggunakan metode pecampuran basah. Sampel Bi-2223 pada *sintering* 940°C dengan variasi periode *sintering* 10 jam(P1), 20 jam(P2), 30 jam(P3), 40 jam(P4), 60 jam(P5) dan 100 jam(P6) secara berturut-turut. Pada *sintering* P1(10 jam) menunjukkan adanya *peak* pada sudut Bragg 22°2θ, 25°2θ, 45°2θ merupakan fasa Bi₂Sr₂CuO_x(3), sedangkan pada *peak* 29°2θ, 37°2θ merupakan fasa Bi_{2.3}Sr_{1.7}CuO_{6.23}(2) dan pada puncak yang lain diketahui merupakan fasa

Ca_{0.4}Sr_{0.6}Cu₂O_{2x}, Bi₁₄Ca₅O₂₆, CaBi₂O₅, CuBi₂O₃, CaBi₂O₄. Untuk fasa Bi-1223 yang dicari ternyata pada sampel yang telah diuji XRD tidak muncul bahkan dengan periode pemanasan yang lebih lama 20 jam(P2), 30 jam(P3), 60 jam(P6) hingga 100 jam(P10) *sintering* tidak menunjukkan adanya fasa Bi-1223.



Gambar 3a Pola difraksi XRD sampel Bi-1223 tanpa doping.

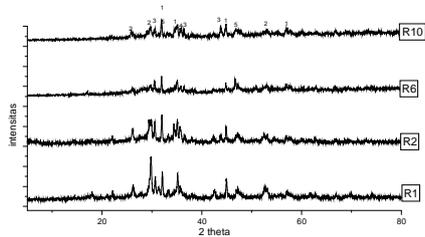


Gambar 3b. Pola difraksi XRD sampel Bi(Sr_{1.6}Ba_{0.4})Ca₂Cu₃O_{9.5}

Pada Gambar 3b merupakan pola difraksi sampel BiSr_{1.6}Ba_{0.4}Ca₂Cu₃O_x dengan metode pencampuran basah dan variasi periode *sintering* 10 jam(Q1), 20 jam(Q2), 60 jam(Q6), 100 jam(Q10). Dari hasil analisa kualitatif *searchmatch* diketahui sampel BiSr_{1.6}Ba_{0.4}Ca₂Cu₃O_x muncul fasa-fasa *impuritas* seperti fasa Bi_{2.3}Sr_{1.7}CuO_{6.23}(2) pada sudut Bragg 22°2θ, 25°2θ, 29°2θ, 30°2θ kemudian fasa Ca_{0.4}Sr_{0.6}Cu₂O_{2x}(1) pada sudut Bragg 31°2θ, 33°2θ, 48°2θ, 49°2θ dan fasa Sr₂Bi₂CuO_x(3) yang muncul 3 puncak pada sudut Bragg 35°2θ, 37°2θ dan 45°2θ. Sedangkan fasa BiSr_{1.6}Ba_{0.4}Ca₂Cu₃O_x yang diinginkan terbentuk pada sampel, tidak menunjukkan adanya pertumbuhan fasa meskipun dengan periode *sintering* yang lebih lama dari 10 jam meningkat hingga 100 jam.

Untuk sampel Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_{1.6}Ba_{0.4}Ca₂Cu₃O_x seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5c dengan metode pencampuran basah juga tidak menunjukkan pertumbuhan fasa Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_{1.6}Ba_{0.4}Ca₂Cu₃O_x. Seperti halnya kedua sampel diatas, pada sampel ini hanya muncul puncak impuritas seperti fasa Ca_{0.4}Sr_{0.6}Cu₂O_{2x}(1), Cu₂Sr₂Bi₂O_{7.24}(2),

C₂H₂PbO₄(3), CuO(4), Ba₂PbO₄(5),
Bi₂SrCa₂Cu₂O₈(6) dapat dilihat pada Gambar 3c.



Gambar 3c. Pola difraksi sinar X sampel
(Bi_{0,6}Pb_{0,4})(Sr_{1,6}Ba_{0,4})Ca₂Cu₃O_{9-δ}

Dari hasil analisa *searchmatch* ketiga sampel diatas tidak menunjukkan pertumbuhan fasa Bi-1223 dengan doping Ba maupun Pb. Metode proses pencampuran basah dengan *sintering* 940°C terjadi *solid state reaction* (reaksi zat padat). Pada reaksi zat padat ini atom-atom dari prekursor (Bi₂O₃, SrCO₃, CaCO₃, CuO, PbO, BaO) yang mendapat pasokan energi termal dari *sintering* 940°C terjadi *mobilisasi* atomik yang bebas untuk teroksidasi dengan atom yang lain dan membentuk fasa-fasa impuritas, sedangkan untuk terjadi ikatan fasa Bi-1223 sangat sulit terjadi bahkan sama sekali tidak muncul fasanya. Fasa Bi-1223 merupakan salah satu jenis SKST yang diadopsi dari fasa 2223 dengan tujuan lebih isotropik. Dengan dimensi kisi a ≈ b dan c yang lebih rendah dibanding familinya 2223. Fasa Bi-1223 memerlukan *treatment* tertentu, mulai dari pencampuran secara kimiawi dari prekursornya yang harus bisa larut secara sempurna, kemudian pada kalsinasi yang bertujuan menghilangkan nitrat dan proses *sintering* yang diharapkan terjadi oksidasi pada sampel untuk mengikat oksigen berlebih sehingga bisa terjadi ikatan antar atom prekursor yang membentuk ikatan ionik maupun campuran (ikatan ionik + ikatan kovalen).

3.3 Kecocokan pola difraksi model struktur terhadap sampel Bi-1223

Setelah dilakukan *searchmatch* ternyata semua puncak dapat teridentifikasi dengan menggunakan kombinasi senyawa yang mungkin terbentuk dari penggabungan Bi, Sr, Ca, Cu, O untuk sampel tanpa doping, Bi, Sr, Ca, Cu, Ba, O untuk sampel dengan doping Ba pada Sr, dan Bi, Sr, Ca, Cu, Pb, Ba, O untuk sampel dengan doping Pb pada Bi serta Ba pada Sr. Karena semua puncak dapat teridentifikasi kita tidak dapat menentukan puncak-puncak mana saja yang merupakan fasa Bi-1223, sehingga kita belum bisa menentukan model mana yang paling sesuai.

Untuk mencari kecocokan model terhadap hasil sintesis dapat memakai program *RIETICA*. Pada hasil *refinement* dengan program *RIETICA* terdapat nilai *Derived Bragg R-Factor* (R_B) yang menyatakan kecocokan antara model yang

dipakai dengan sampel hasil sintesis. Nilai *Derived Bragg R-Factor* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1a Nilai *Derived Bragg R-Factor*

Pemanasan (x10 jam)	B		
	S	T	U
1	14.28	14.03	11.42
2	14.34	10.97	10.56
3	15.38	3.59	3.82
6	15.23	13.08	10.22
10	24.17	14.41	20.53

Tabel 1b Nilai *Derived Bragg R-Factor*

Pemanasan (x10 jam)	C		
	S	T	U
1	13.99	14.64	11.42
2	16.60	14.34	10.56
6	22.66	18.20	15.84
10	29.62	25.82	15.53

Tabel 1c Nilai *Derived Bragg R-Factor*.

Pemanasan (x10 jam)	D		
	S	T	U
1	12.63	16.95	22.59
2	16.20	16.12	13.00
6	21.13	14.48	17.78
10	29.80	23.35	13.45

Ket :

B : Penggantian Atom TI dengan Bi pada fasa TI-1223

C : Memecah model Bi-2223 menjadi Bi-1223 bagian C (gambar 4.2)

D : Memecah model Bi-2223 menjadi Bi-1223 bagian D (gambar 4.2)

S : BiSr₂Ca₂Cu₃O_{9-δ}

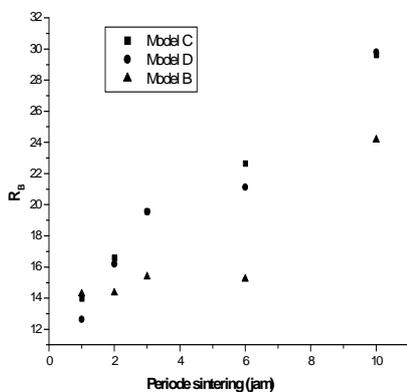
T : Bi(Sr_{1,6}Ba_{0,4})Ca₂Cu₃O_{9-δ}

U : (Bi_{0,6}Pb_{0,4})(Sr_{1,6}Ba_{0,4})Ca₂Cu₃O_{9-δ}

Dari Tabel 1. nilai R_B untuk semua sampel masih tergolong besar. Hal ini menunjukkan bahwa sampel hasil sintesis belum sesuai dengan model yang ada. Ketidakcocokan ini disebabkan karena adanya fasa lain, sehingga ketika dihaluskan dengan satu fasa tidak sesuai. Dari hasil *searchmatch*, menunjukkan banyak impuritas yang terbentuk.

Perubahan nilai R_B terhadap lama pemanasan menunjukkan pola yang menarik seperti pada Gambar 4. Berdasarkan nilai R_B model truktur B, C dan D memiliki kecenderungan yang sama, jadi ketiga model tersebut mempunyai kemungkinan untuk dipakai dalam identifikasi Bi-1223. Kurva pada Gambar 4 menunjukkan kecenderungan

pola dari model fasa Bi-1223 yang meningkat nilai R_B -nya dengan semakin lamanya periode pemanasan. Nilai R_B sendiri menunjukkan kecocokan model dengan sampel yang artinya dengan nilai R_B yang kecil maka sampel tersebut bisa dikatakan *acceptable* terhadap model. Sedangkan dari hasil pemodelan Bi-1223 yang telah dibuat nilai R_B cenderung membesar sehingga tidak terbentuk fasa Bi-1223. Dari hasil analisa dapat dihipotesiskan bahwa ada kemungkinan yang menyebabkan tidak terbentuknya fasa Bi-1223 yakni pada saat sintering terjadi evaporasi pada prekursor dan kemungkinan juga sejak awal sintesis secara kimiawi prekursor sulit berikatan.



Gambar 4. Kurva periode *sintering* pada model struktur P v nilai R_B .

3.4 Pengaruh Doping Ba, Pb-Ba Terhadap Sampel Bi-1223

Sampel Bi-1223 sulit terbentuk dalam kondisi murni sehingga diperlukan doping atom tertentu. Fasa TI-1223 memerlukan doping Ba pada atom Sr sehingga meningkatkan fraksi volume fasa TI-1223 begitu juga sampel Bi-2223 yang didoping atom Pb. Untuk fasa Bi-1223 sendiri dengan mengadopsi kedua familinya diatas juga didoping dengan Ba pada atom Sr (sampel Q) dan didoping Pb pada atom Bi serta Ba pada atom Sr (sampel R). Dari hasil analisa kuantitatif untuk sampel-sampel Bi murni, doping Ba, doping Ba-Pb didapatkan nilai R_B -nya pada *sintering* 10 jam dengan model struktur C pada Tabel 1. yaitu 29,62, 25,82, 15,53 secara berturut-turut. Nilai R_B ini cenderung menurun dengan penambahan doping, hasil ini juga sama dengan model struktur

yang lain. Hal ini mengindikasikan bahwa sampel Bi-1223 ada kemungkinan untuk bisa terbentuk dengan fariasi penambahan doping.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Model struktur penggantian atom TI dengan Bi pada TI-1223 menunjukkan kecocokan lebih besar dibandingkan dengan yang lain
2. Fasa Bi-1223 terindikasi terbentuk ditunjukkan dari nilai R_B cenderung menurun dengan penambahan doping.

5. Pustaka

- Fitriah, (2007). *Konstruksi struktur kristal dan pola difraksi superkonduktor fasa Bi-Sr-Ca-Cu-o 1223* Surabaya: Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Howard, C.J. dan Hunter, B.A. (1997), *A Computer Program for Rietveld Analysis of X-Ray and Neutron Powder Diffraction Patterns*, Lucas Heights Research Laboratories, AUSTRALIA
- Hur, N.H., Chakoumakos, B.C., Paranthaman, M., Thomson, J.R., Cristen, D.K. (1995). *Structure and superconducting properties of $(Tl_{0.8}Bi_{0.2})(Sr_{1.6}Ba_{0.4})Ca_2Cu_3O_{9.5}$* . Department of Physics, University of Tennessee, Knoxville, TN 37996-1200, USA.
- Ismunandar, (2004), *Padatan Oksida logam: Struktur, Sintesis dan Sifat-Sifatnya*, Bandung: Jurusan Kimia, Fakultas Matematika Ilmupengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung.
- Ji, L., Yan, S.L., Xie, Q.L., You, S.T., Zhou, T.G., He, M., Zou, T., Zhang, X., Li, J.L., Zao, X.J. dan Fang, L. (2007). *An improved technique for the growth of $(Tl_{0.95}Bi_{0.2})(Sr_{0.8}Ba_{0.2})_2Ca_2Cu_3O_x$ superconducting thin films in oxygen and argon*. Department of Electronics, Nankai University, China.
- Mourachkine, A. (2004). *Room-temperature superconductivity*. Cambridge: Cambridge Internasional science publishing.