

## **PENGARUH DOPAN Pb DAN Sb TERHADAP ENERGI AKTIVASI SUPERKONDUKTOR BSCCO-2212**

**Yustinus Purwamargapratala, Patrisius Purwanto**

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)-BATAN

Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan, 15314

E-mail : yustinus\_pratala@yahoo.com

(Naskah diterima : 22-12-2010, diproses : 05-01-2011)

### **ABSTRAK**

**PENGARUH DOPAN Pb DAN Sb TERHADAP ENERGI AKTIFASI SUPERKONDUKTOR BSCCO-2212.** Telah dilakukan penelitian pengaruh dopan Pb dan Sb terhadap energy aktivasi superkonduktor BSCCO-2212. Garam-garam nitrat dari Bismuth, Stronsium, Calsium, dan Copper dicampur pada perbandingan stoikiometri Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2. Campuran dilarutkan dalam garam cair urea dengan pemanasan dan pengadukan pada temperatur 120°C selama 16 jam, kemudian dipirolisis . Hasil pirolisis digerus, dikalsinasi dan disinter dengan temperatur 845 °C selama 10 jam, sintesa diulang dengan penambahan dopan Pb, Sb, dan Pb+Sb dengan fraksi dopan 0,1 terhadap Bi. Hasil sintering diuji efek meissner, mikroskop optik, difraksi sinar-X, dan LCR meter. Pengujian menyimpulkan bahwa terbentuk superkonduktor BSCCO-2212. Penambahan dopan Pb menjadikan konduktifitas tertinggi  $9,37 \times 10^{-3}$  S/cm dan energi aktivasi terendah sebesar 3197,68 eV pada rentang temperatur 80-240 K.

**Kata kunci :** dopan, energi aktivasi, superkonduktor BSCCO-2212

### **ABSTRACT**

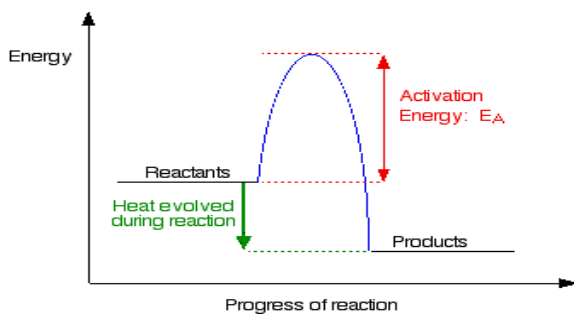
**INFLUENCE OF Pb AND Sb OF BSCCO-2212 SUPERCONDUCTOR CONDUCTIVITY AND ENERGY ACTIVATION.** *The influence of Pb and Sb dopan of BSCCO-2212 superconductor conductivity and activation energy have been done. Nitrate salts of bismuth, strontium, calcium, and copper stoichiometry were mixed in the ratio Bi:Sr:Ca:Cu=2:2:1:2. Mixture were dissolved in a molten salt of urea with heating and stirring at a temperature of 120°C for 16 hours. The pyrolysis were pulverized, calcined, and sintered at themperature of 845 °C for 10 hours, the syntesed was repeated with the addition of Pb, Sb, and Pb+Sb. Dopan with 0.1 dopan fraction of Bi. Sintering result was tested with meissner effect, optical microscopy, X-ray diffraction, and LCR-meters. It is concluded that the formed superconductor BSCCO-2212. Addition of Pb dopan result in a highest conductivity of  $9,37 \times 10^{-3}$  S/cm and the lowest activation energy of 3197.68 eV in the temperature range 80-240 K.*

**Key words :** dopan, activation energy, BSCCO-2212 superconductor

## PENDAHULUAN

Kualitas superkonduktor BSCCO-2212 antara lain dapat ditentukan dengan nilai temperatur kritis dan rapat arus kritisnya. Peningkatan nilai temperatur kritis dan rapat arus kritis dapat dilakukan dengan pemberian suatu dopan, yaitu bahan yang disisipkan pada struktur suatu senyawaan. Bahan dopan mempunyai sifat listrik yang mirip atau lebih baik dari bahan senyawaan utamanya, sehingga dapat memperbaiki sifat listriknya. Dopan juga diharapkan bisa memperbaiki sifat mekanik, seperti keuletan, kekerasan, kekuatan tarik, dan lain-lain [1].

Energi aktivasi dapat digambarkan pada reaksi eksotermal sebagai berikut :



Gambar 1. Energi aktivasi pada reaksi kimia [2]

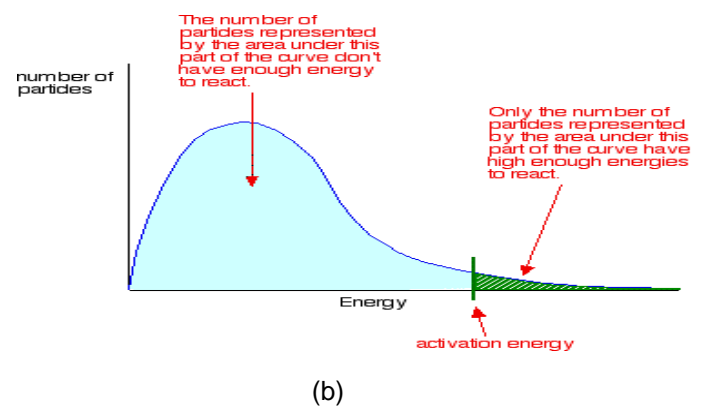
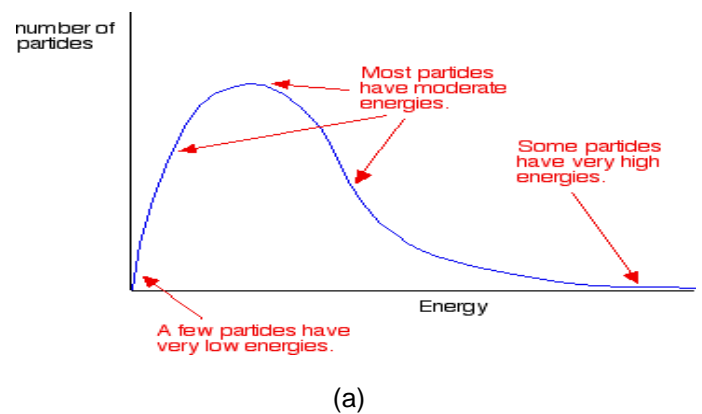
Jika partikel-partikel bertumbukan dengan energi yang lebih rendah dari energi aktivasi, tidak akan terjadi reaksi. Partikel tersebut akan kembali ke keadaan semula. Hanya tumbukan yang memiliki energi sama atau lebih besar dari aktivasi energi yang dapat menghasilkan terjadinya reaksi.

Di dalam reaksi kimia, ikatan-ikatan diceraikan dengan membutuhkan energi dan membentuk ikatan-ikatan baru dengan melepaskan energi. Ikatan-ikatan harus diceraikan sebelum yang baru terbentuk. Energi aktivasi dilibatkan dalam menceraikan beberapa dari ikatan-ikatan tersebut.

Ketika tumbukan-tumbukan tersebut relatif lemah dan tidak cukup energi untuk memulai proses penceraian ikatan maka

mengakibatkan partikel-partikel tersebut tidak bereaksi. Energi aktivasi memegang peranan penting dalam menentukan suatu tumbukan menghasilkan reaksi, hal ini sangat berguna untuk menentukan bagian partikel yang mendapatkan cukup energi ketika mereka bertumbukan.

Keberadaan partikel-partikel akan memiliki berbagai variasi besar energi. Untuk gas, dapat diperlihatkan melalui diagram yang disebut dengan Distribusi Maxwell-Boltzmann dimana setiap kumpulan beberapa partikel memiliki energinya masing-masing. Luas dibawah kurva merupakan ukuran banyaknya partikel berada.



Gambar 2. Energi dan luasan partikel [2]

Ketika reaksi berlangsung, partikel-partikel harus bertumbukan guna memperoleh energi yang sama atau lebih besar daripada aktivasi energi untuk melangsungkan reaksi. Energi aktivasi

berlangsung dapat diketahui dari distribusi Maxwell-Boltzmann. Sebagian besar dari partikel-partikel tidak memiliki energi yang cukup untuk bereaksi ketika mereka bertumbukan. Untuk membuat bereaksi dapat dilakukan dengan mengubah bentuk kurva atau memindahkan aktivasi energi lebih ke kanan <sup>[2]</sup>.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai peranan dopan Pb dan Sb dalam superkonduktor BSCCO-2212, yang menunjukkan bahwa penambahan Pb dan Sb dapat meningkatkan nilai temperatur kritis dan rapat arus kritis <sup>[3-4]</sup>.

Penambahan dopan dapat mempengaruhi juga nilai energi aktivasi suatu senyawa, yaitu suatu nilai ambang batas energi yang harus dicapai agar suatu reaksi dapat terjadi. Penentuan energi aktivasi  $E_a$  dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan Arrhenius :

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(\frac{-E_a}{kT}\right) \quad (1)$$

Keterangan :

- $\sigma$  = konduktifitas (S/ cm)
- $\sigma_0$  = konduktifitas pada saat frekuensi tertentu
- $k$  = konstanta Boltzman
- $T$  = temperatur Kelvin

Pada penelitian ini akan diamati pengaruh penambahan Pb dan Sb terhadap konduktifitas dan energi aktivasi superkonduktor BSCCO-2212 dengan mengolah data hasil pengukuran menggunakan LCR-meter. Diharapkan juga dapat diketahui karakteristik konduktifitas BSCCO-2212 dan BSCCO-2212 dengan dopan Pb, Sb, dan Pb+Sb. Dengan mengetahui nilai energi aktivasi maka dapat dipilih superkonduktor BSCCO-2212 dengan

dopan yang lebih mudah terbentuk.

## TATA KERJA

### 1. Bahan

Bismuth nitrat, stronsium nitrat, calcium nitrat, dan copper nitrat dari MERCK dalam derajat analisis. Sebagai pelarut digunakan urea dari MERCK.

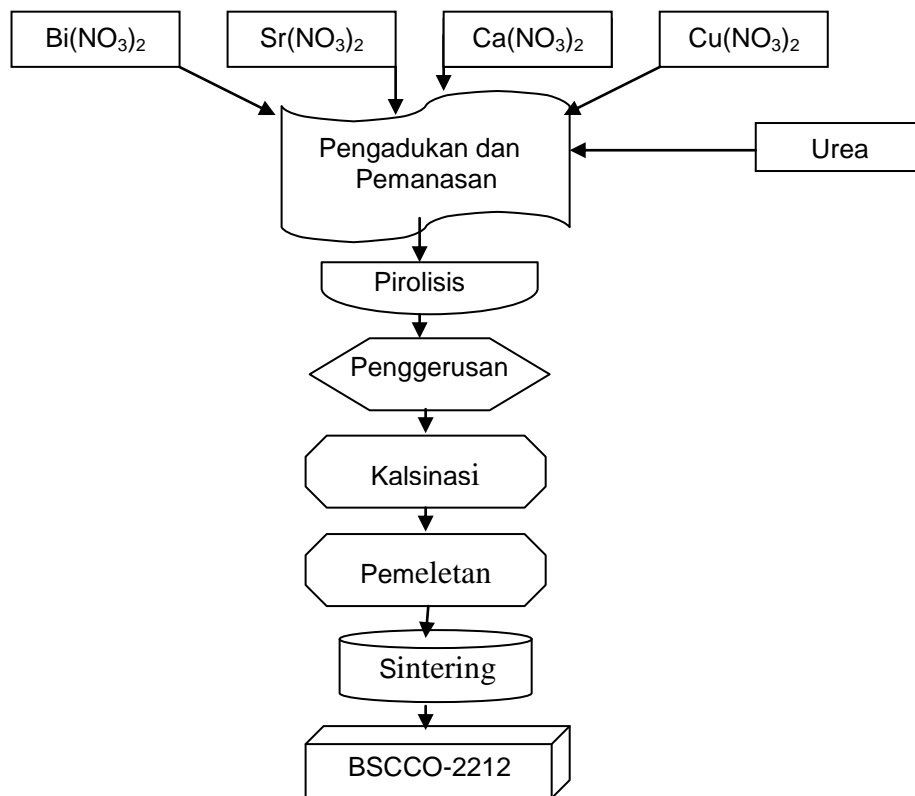
### 2. Alat

Difraksi sinar-X (XRD), LCR-meter, dan magnet permanen Meissner

### 3. Cara Kerja

Bismuth nitrat, stronsium nitrat, calcium nitrat, dan copper nitrat dengan perbandingan stoikiometri Bi:Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 ditambah urea dengan perbandingan 1 : 1. Campuran diaduk dan dipanaskan dalam gelas beaker dan pemanas magnet pada temperatur 120 °C selama 16 jam sehingga campuran melarut dan membeku kembali. Selanjutnya bahan dipirolysis untuk menghilangkan zat-zat *volatile*, dilakukan pendinginan udara dan penggerusan. Hasil penggerusan dikalsinasi pada temperatur 900 °C selama 6 jam, kemudian dibuat pelet dan disinter pada temperature 925 °C selama 10 jam. Pekerjaan ini diulangi terhadap sampel dengan penambahan bahan dopan timbal nitrat, stibium nitrat, dan campuran timbal nitrat+stibium nitrat sesuai perbandingan stoikiometris (Bi+M):Sr:Ca:Cu = 2:2:1:2 dimana M adalah Pb, Sb, dan Pb+Sb, dengan perbandingan mol Bi:M = 1,9:0,1.

Hasil sintering kemudian digerus dan dikarakterisasi menggunakan difraksi sinar-X untuk mengamati struktur mikro dengan kondisi pengukuran 30 kV, arus 30 mA, sudut difraksi 10-70°, kecepatan sapuan 2°/ menit, target CuK $\alpha$  dari Shimadzu. Untuk mengamati konduktivitasnya digunakan *Impedance Conductance and Resistance* (LCR) meter.



Gambar 3. Diagram alir pembuatan BSCCO-2212 dengan dan tanpa dopan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel terdiri empat jenis berdasarkan komposisinya yaitu :

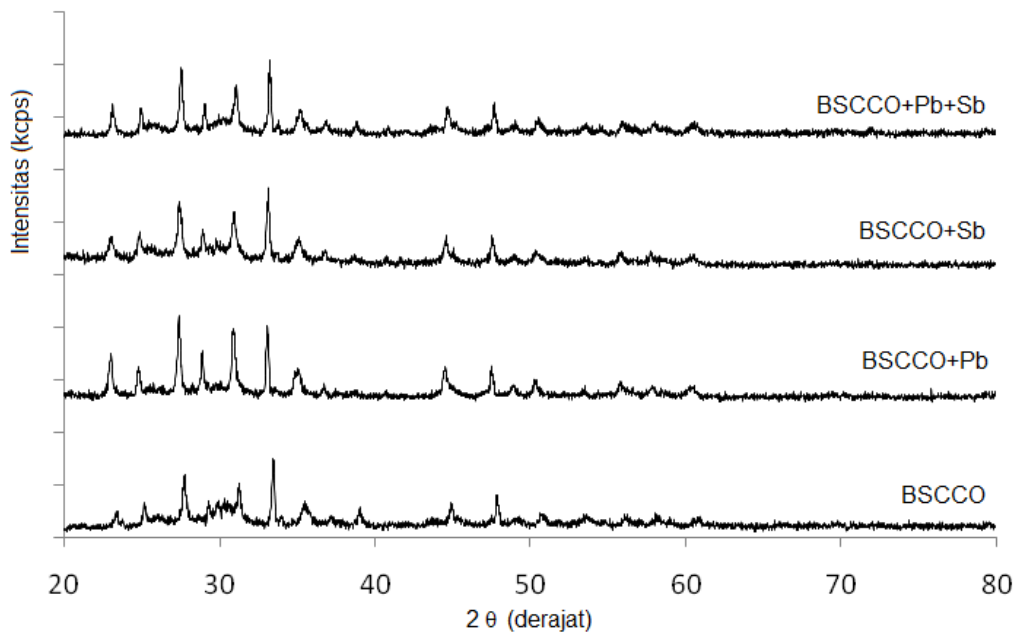
1. BSCCO-2212 (tanpa dopan),
2. BSCCO-Pb (sampel BSCCO-2212 dengan dopanPb).
3. BSCCO-Sb (sampel BSCCO-2212 dengan dopan Sb).
4. BSCCO-Pb-Sb (sampel BSCCO-2212 dengan dopan Pb dan Sb).

Hasil uji levitasi menggunakan magnet permanen efek meissner menunjukkan bahwa ketika sampel dikondisikan pada temperatur kritis, dengan cara mencelupkan dalam nitrogen cair maka semua sampel melayang di atas magnet tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa semua sampel tersebut mempunyai sifat superkonduktif. Seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Sampel superkonduktor pada temperatur kritis melayang di atas magnet permanen.



Gambar 4. Uji efek Meissner.

Hal ini didukung dengan hasil analisis difraksi sinar-X seperti diperlihatkan pada Gambar 5. yang dikonfirmasi dengan JCPDS No.460545, 420415, 031153, 170125, 460576, 340975 menunjukkan bahwa hasil sintering sampel-sampel tersebut merupakan superkonduktor. Penambahan dopan Pb maupun Sb teridentifikasi dengan kemunculan puncak-puncak pada  $2\theta = 23,04^\circ; 24,84^\circ; 27,4^\circ; 28,92^\circ; 30,9^\circ; 33,08^\circ; 35,1^\circ; 44,56^\circ; 47,52^\circ; 50,34^\circ$ .



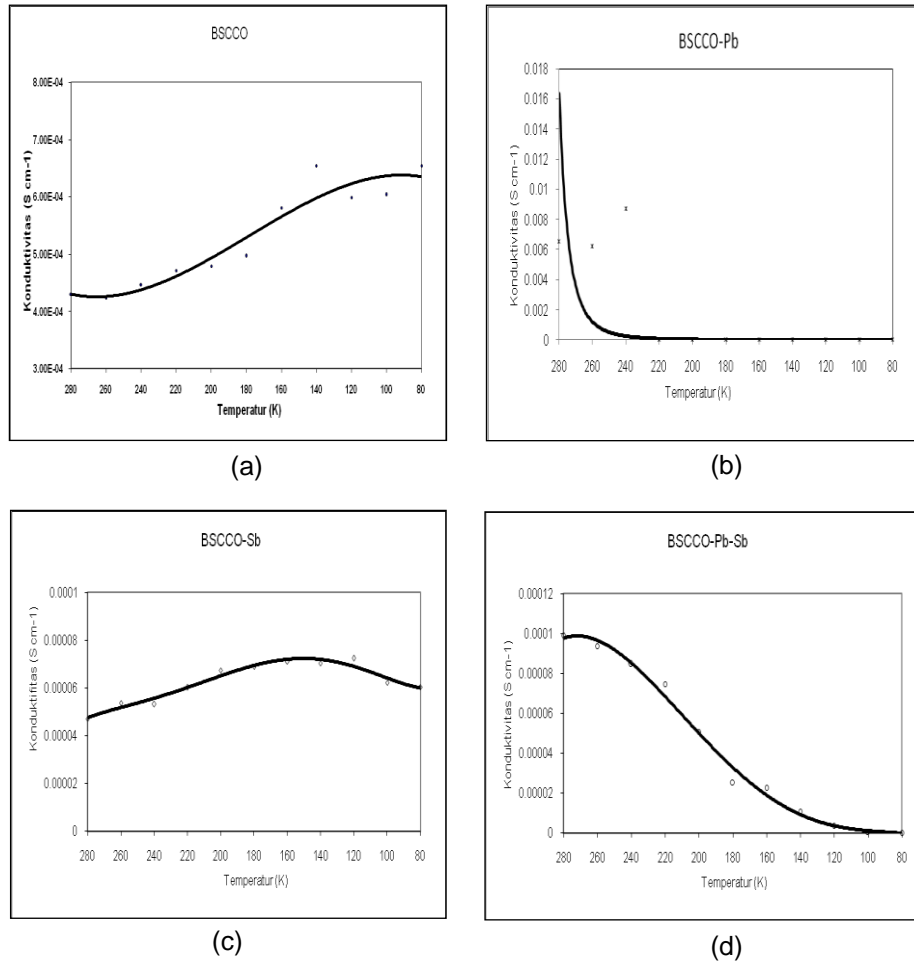
Gambar 5. Pola difraksi sinar-X BSCCO tanpa dopan dan dengan dopan Pb dan Sb

Hasil pengolahan data LCR-meter dan perhitungan nilai konduktifitasnya ditampilkan pada Gambar 6.a) sampai dengan 6.d), yang merupakan karakter perubahan konduktifitas fungsi temperatur. Pada Gambar 6 a). terlihat bahwa nilai konduktifitas superkonduktor BSCCO-2212 pada berbagai frekuensi terdapat kecenderungan bertambah tinggi dengan adanya penurunan temperatur sampel. Untuk seluruh kondisi frekuensi nilai konduktifitas tertinggi teramati pada temperatur 140 K, dengan nilai konduktifitas  $0,0004-0,0007$  S/cm. Semakin tinggi frekuensinya maka nilai konduktifitasnya pun semakin tinggi pada temperatur tersebut. Sedangkan pada BSCCO-Pb nilai konduktifitas akan mengalami penurunan sangat nyata untuk setiap frekuensi pada temperatur 220-280 K, yaitu dari  $8,5 \times 10^{-6}$  -  $5,5 \times 10^{-2}$  S/cm sedangkan pada temperatur 80-220 K nilai konduktifitasnya relatif sama yaitu berkisar  $4,5 \times 10^{-6}$  -  $8,5 \times 10^{-6}$  S/cm, seperti diperlihatkan pada Gambar 6 b).

Menurut Khairul Basar <sup>[4]</sup>, tingginya konduktivitas ionik bahan konduktor superionik

terjadi akibat adanya ketidakteraturan (*disordered*) atau cacat (*defect*) dalam struktur kristal bahan konduktor superionik. Ketidakteraturan posisi atom atau adanya cacat dalam struktur menyebabkan tersedianya posisi kosong pada tempat-tempat tertentu dalam kristal. Posisi yang kosong ini dapat diisi oleh atom lain di sekitarnya dan meninggalkan posisi kosong yang baru, demikian seterusnya sehingga ion dalam kristal tersebut dapat berpindah-pindah. Hal ini menunjukkan bahwa pada temperatur 80-220 K penambahan Pb menyebabkan adanya keteraturan struktur kristal, maka konduktifitasnya lebih kecil dibandingkan pada temperatur 220-280 K.

Pada Gambar 6.c). ditunjukkan bahwa superkonduktor BSCCO-Sb konduktifitas tertinggi  $7 \times 10^{-5}$  S/cm dicapai pada kondisi temperatur 150 K dan konduktifitas akan menurun kembali. Hal ini menunjukkan bahwa struktur kristal BSCCO-Sb akan mengalami keteraturan pada penurunan temperatur 140 - 80 K.



Gambar 6. Konduktifitas superkonduktor pada temperatur dan frekuensi tertentu  
 a. Superkonduktor BSCCO-2212  
 b. Superkonduktor BSCCO-2212+Pbd  
 c. Superkonduktor BSCCO-2212+Sb  
 d. Superkonduktor BSCCO-2212+Pb+Sb

Pada Gambar 6.d). ditunjukkan bahwa pada temperatur sampel BSCCO-Pb-Sb 160-280 K memiliki nilai konduktifitas tertinggi dan stabil berkisar  $10^{-4,8}$ - $10^{-4}$  S/ cm, nilai tersebut akan mengalami penurunan pada temperatur 80-160 K menjadi  $10^{-4,5}$ - $10^{-9,2}$  S/ cm.

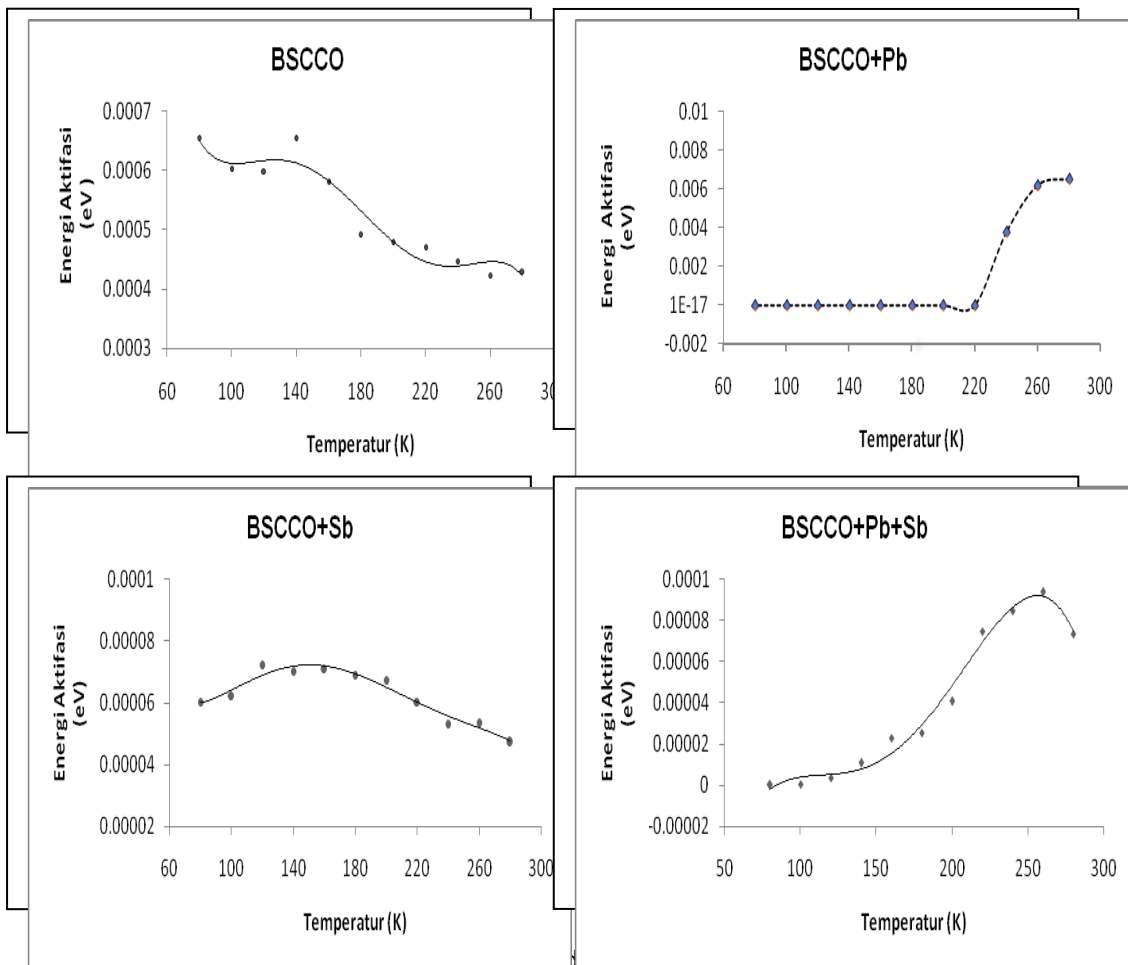
Tabel 4. Konduktifitas rerata sampel superkonduktor pada rentang temperatur tertentu

Sampel	Temperatur ( K )	Konduktifitas S/ cm
BSCCO	80-280	$3,76 \times 10^{-4}$
BSCCO+Pb(1)	80-240	$9,37 \times 10^{-3}$
BSCCO+Pb(2)	240-280	$5,38 \times 10^{-6}$
BSCCO+Sb(1)	80-180	$8,74 \times 10^{-5}$
BSCCO+Sb(2)	180-280	$1,14 \times 10^{-5}$
BSCCO+Pb+Sb(1)	80-100	$2,56 \times 10^{-4}$
BSCCO+Pb+Sb(2)	100-140	$1,45 \times 10^{-5}$
BSCCO+Pb+Sb(3)	140-280	$1,25 \times 10^{-7}$

Hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa BSCCO+Pb pada rentang temperatur 80-240 K memiliki nilai konduktifitas tertinggi yaitu  $9,37 \times 10^{-3}$  S/cm. Nilai konduktifitas tersebut lebih tinggi dari konduktifitas BSCCO, hal ini berarti bahwa dopan Pb dapat meningkatkan konduktifitas bahan BSCCO pada rentang temperatur 80-240 K, sedangkan pada temperatur 240-280 K konduktifitasnya lebih kecil dari BSCCO. Penambahan dopan Sb menyebabkan penurunan nilai konduktifitas BSCCO menjadi  $1,14 \times 10^{-5}$ - $8,74 \times 10^{-5}$  S/cm. Sedangkan pada rentang temperatur 80-100 K terjadi sedikit kenaikan konduktifitas, menjadi  $2,56 \times 10^{-4}$  S/cm dan untuk temperatur yang lebih tinggi. Pada penambahan Pb dan menyebabkan

penurunan konduktifitas.

Gambar 7 menunjukkan bahwa kenaikan temperatur pada sampel BSCCO akan menyebabkan penurunan energi aktivasi. Sedangkan BSCCO dengan dopan Pb pada rentang temperatur 80-220 K memiliki energi aktivasi yang relatif sama dan mengalami kenaikan ketika pada rentang temperatur 220-280 K. Hal ini berbeda dibandingkan BSCCO dengan dopan Sb yang energi aktifasinya meningkat seiring kenaikan temperatur pada rentang 80-160 K dan pada rentang 160-280 K mengalami penurunan nilai energi aktivasi ketika terjadi kenaikan temperatur. Sedangkan pada BSCCO dengan dopan Pb dan Sb akan mengalami penurunan energi aktivasi seiring dengan penurunan temperatur.



Energi aktivasi pada suatu molekul tergantung seberapa kuat ikatan antar atomnya atau seberapa besar deformasi akibat penyisipan atom lain. Pada gambar 7.a) ditunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur BSCCO-2212 maka energi aktifasinya semakin kecil, sedangkan pada BSCCO-2212 dengan dopan Pb memiliki energi aktivasi yang akan membesar mulai pada temperatur 220 K. Hal ini berarti penyisipan atom Pb yang mengakibatkan terjadinya deformasi akan mempengaruhi struktur kristal setelah temperatur 220 K. Sedangkan pada BSCCO-2212 dopan Sb, energi aktivasi akan mengalami kenaikan pada 80-140 K dengan energi maksimum  $7,0 \times 10^{-5}$  eV, pada temperatur yang lebih tinggi menyebabkan penurunan energi aktivasi. Sedangkan energi aktivasi pada BSCCO-2212 dengan dopan Pb dan Sb akan mengalami peningkatan pada kenaikan temperatur, yang menunjukkan bahwa struktur kristal yang terbentuk pada kenaikan temperatur akan semakin rapat sehingga terjadi peningkatan nilai energi aktifasinya.

Tabel 5. Energi aktivasi rerata sampel superkonduktor pada rentang temperatur tertentu.

Sampel	Temperatur	Energi Aktivasi
	( K )	(eV)
BSCCO	80-280	14046.22
BSCCO+Pb(1)	240-280	94494.79
BSCCO+Pb(2)	80-240	3197.68
BSCCO+Sb(1)	180-280	64314.16
BSCCO+Sb(2)	80-180	10688.08
BSCCO+Pb+Sb(1)	140-280	57058.14
BSCCO+PB+Sb(2)	100-140	51377.56
BSCCO+PB+Sb(3)	80-100	41750.59

Pada Tabel 5 diperlihatkan nilai energi aktivasi sampel BSCCO tanpa dopan dan dengan dopan. Nilai energi aktivasi terendah didapat pada sampel BSCCO dengan dopan

Pb yaitu sebesar 3197,68 eV pada rentang temperatur 80-240 K, namun demikian pada rentang temperatur 240-280 K didapatkan nilai energi aktifasi paling tinggi yaitu 94494,79 eV. Energi aktifasi suatu bahan diharapkan sekecil mungkin, hal ini berkaitan dengan reaktivitas bahan tersebut. Bahan dengan energi aktivasi yang kecil akan lebih mudah bereaksi dari pada yang energi aktifasinya besar. Dengan demikian BSCCO dopan Pb adalah sampel terbaik pada rentang temperatur 80-240 K.

## SIMPULAN

Penambahan dopan Pb menjadikan konduktivitas tertinggi dan energi aktivasi terendah pada rentang temperatur 80-240 K, tetapi pada rentang temperatur 240-280 K mengakibatkan energi aktivasi tertinggi dan konduktivitasnya rendah. Penambahan dopan Pb+Sb menyebabkan konduktivitas terendah pada rentang temperatur 140-280 K. Energi aktivasi BSCCO-2212 dopan Pb terendah maka struktur kristalnya lebih mudah terbentuk dibandingkan penggunaan dopan Sb dan Pb+Sb.

## PUSTAKA

- [1]. D.B. CURRIE AND A.M. FOREST, (1988). "Crystal Structure and High Tc Superconductor in The System  $Gd_{1-x}Ba_{2-x}Sr_xCu_3O_{7-x}$ ", Solid State Communications, Vol. 66, No.7, pp.715-718.
- [2]. YUSTINUS P dkk., "Pembuatan Komposit YBCO-123/ Ag Melalui Pelarut Garam Cair Urea," Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar dan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 1996.
- [3]. C.Y. HUANG AND SAPHIRA, (1987). "Magnetic Studies of Superconducting  $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$  at Low Temperature and High Field," Modern Physics Letter, B, No.576.
- [4]. JIM CLARK, (2004). "Teori Tumbukan", Chem-is-try.org.