

PEMBENTUKAN VALENSI Cu TERCAMPUR DALAM $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

Engkir Sukirman

Pusat Penelitian Sains Materi - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PEMBENTUKAN VALENSI CU TERCAMPUR DALAM $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. Telah dipelajari melalui pendekatan eksperimental. Dua jenis data hasil eksperimen, yakni struktur kristal dan sifat superkonduktivitas cuplikan, dikorelasikan. Hasilnya menunjukkan bahwa pembentukan valensi Cu tercampur (yakni Cu^{2+} dan Cu^{3+}) berkaitan erat dengan fenomena superkonduktivitas bahan $YBa_2Cu_3O_{7-x}$.

ABSTRACT

THE VALENCE FORMATION OF MIXED COPPER IN $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. Compound has been studied through the experimental approach. Two kinds of experimental data, i.e. crystal structure and superconductivity behavior of the samples, were correlated. The result shows that the formation of mixed copper valence (Cu^{2+} and Cu^{3+}) is closely related to the $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ superconductivity.

PENDAHULUAN

Mekanisme yang menerangkan fenomena superkonduktivitas dalam superkonduktor keramik masih belum dipahami, kendatipun berbagai penelitian telah dilakukan oleh para ahli di seluruh dunia sejak ditemukannya superkonduktor keramik $Ba_xLa_{5-x}Cu_5O_{5(3-y)}$ oleh J.G. Bednorz dan K.A. Muller^[1]. Pada umumnya para peneliti meyakini bahwa yang mendasari mekanisme superkonduktivitas listrik dalam $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ adalah keteraturan distribusi kekosongan oksigen dan keadaan muatan formal Cu dalam struktur kristalnya, dimana kedua hal tersebut saling berkaitan^[2].

Kesimpulan ini didasarkan fakta bahwa dalam struktur kristal $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ terdapat dua titik tempat (site) Cu yang berbeda, yang disebut Cu(1) dan Cu(2). Cu(1) terletak di antara dua lapisan BaO sedangkan Cu(2) berada di antara lapisan BaO dan lapisan Yo (o adalah simbol untuk kekosongan oksigen)^[3]. Ketika rantai-rantai Cu(1)-O teratur ke arah salah satu sumbu ekuivalen $\langle 100 \rangle$, senyawa $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ memiliki struktur ortorombik-superkonduktif. Namun jika rantai-rantai Cu(1)-O tersebut rusak akibat menyusutnya jumlah kandungan oksigen, maka struktur bahan menjadi tetragonal-semikonduktif. Cu(2) membentuk rantai Cu-O dua dimensi baik dalam fasa ortorombik maupun tetragonal.

Muller dan Bednorz^[4] mengajukan konsep bahwa fenomena superkonduktivitas terjadi akibat adanya atom Cu dalam keadaan valensi tercampur, yakni Cu^{2+} dan Cu^{3+} . Konsep terse-

but telah dikonformasi oleh peneliti lain^[5] dan disimpulkan bahwa penyusutan/kenaikan suhu transisi kritis T_c berkaitan dengan penurunan/peningkatan harga perbandingan Cu^{3+}/Cu^{2+} .

Tujuan penelitian ini adalah ingin mendapatkan bukti melalui pendekatan eksperimental tentang bagaimana valensi Cu^{3+} dan Cu^{2+} terbentuk dalam senyawa $YBa_2Cu_3O_{7-x}$.

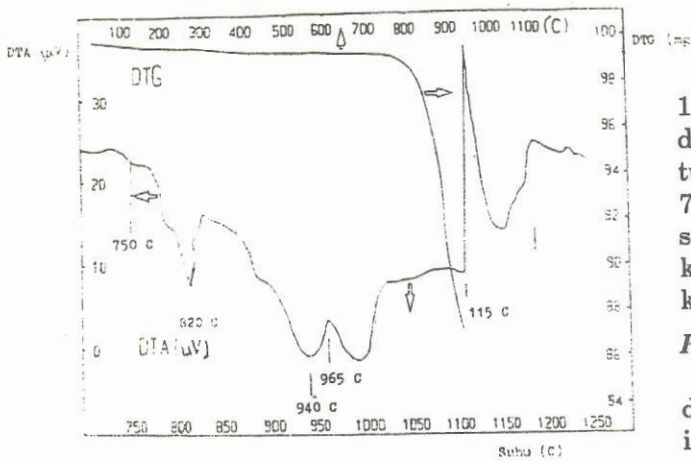
TATA KERJA DAN PERCOBAAN

Penyiapan Cuplikan

Proses sintesis superkonduktor keramik sistem $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (fasa 123) dilakukan berdasarkan metode reaksi padatan (solid state reaction). Pada dasarnya metode ini terdiri dari dua tahap perlakuan panas yang disebut proses kalsinasi dan sintering. Kalsinasi dimaksudkan agar diperoleh cuplikan serbuk dengan bentuk dan ukuran butiran yang baru, untuk digerus sedemikian sehingga diperoleh cuplikan serbuk yang homogen.

Jika cuplikan serbuk itu kemudian ditekan dan selanjutnya dipanaskan (sintering) di bawah titik lelehnya, maka akan terjadi proses difusi atom-atom unsur penyusun membentuk fasa baru. Suhu sintering biasanya lebih tinggi daripada kalsinasi dan lebih rendah dari suhu lelehnya (melting point).

Untuk menentukan suhu kalsinasi dan suhu sintering, terlebih dahulu dibuat kurva DTA (Differential Thermal Analysis)/DTG (Differential Thermal Gravimetry) sistem senyawa $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (Gambar 1).



Gambar 1. Kurva DTA (Differential Thermal Analysis) dan DTG (Differential Thermal Gravimetry) sistem $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ dengan perbandingan persen berat unsur penyusun Y_2O_3 : $BaCO_3$: CuO = 15,13 : 52,89 : 31, 98.

Tampak pada Gambar 1, bahwa reaksi pembentukan fasa 123 mulai terjadi pada suhu $750^\circ C$. Lembah endotermis yang paling dalam dijumpai pada suhu $940^\circ C$, ini menunjukkan bahwa seluruh reaksi padatan pembentukan fasa baru (fasa 123) sempurna terbentuk pada suhu tersebut. Tidak ada kehilangan berat yang berarti sebelum $700^\circ C$ dan laju kehilangan berat maksimum terjadi pada suhu kira-kira $800^\circ C$ hingga $900^\circ C$, hal ini akibat penguraian $BaCO_3$.

Dalam penelitian ini dibuat dua jenis senyawa $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ dari campuran serbuk Y_2O_3 , $BaCO_3$ dan CuO . Yang membedakan kedua jenis senyawa tersebut adalah proses pembuatannya, yakni perlakuan panas yang diberikan berbeda.

Untuk mensintesis senyawa $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ diperlukan bahan baku: $1/2$ mol Y_2O_3 , 2 mol $BaCO_3$ dan 3 mol CuO . Bahan tersebut dicampurkan kemudian digerus dengan mesin penggerus selama kurang lebih 3 jam.

Campuran serbuk dikalsinasi pada suhu $900^\circ C$ selama 4 jam dalam aliran udara biasa dan panas dijaga tetap pada $750^\circ C$ selama 1 jam sebelum dinaikkan ke suhu kalsinasi tersebut. Pendinginan dilakukan dengan cara membiarkan cuplikan di dalam tungku pemanas selama 16 jam terhitung sejak saat tungku dimatikan.

Agar campuran homogen, senyawa ini digilas lagi dengan mesin penggerus. Cuplikan serbuk dibagi menjadi dua bagian, berturut-turut disebut Cuplikan I dan Cuplikan II. Kemudian kedua cuplikan dibentuk menjadi pelet.

Selanjutnya Cuplikan I dan Cuplikan II dipanaskan (disinter) pada suhu $940^\circ C$ selama

10 jam, dalam aliran udara biasa. Cuplikan I didinginkan secara perlahan-lahan di dalam tungku pemanas dan suhu dijaga tetap pada $750^\circ C$ selama 1 jam sebelum turun mencapai suhu kamar. Sedangkan Cuplikan II didinginkan secara mendadak dengan cara mencelupkan ke nitrogen cair dari suhu $940^\circ C$.

Pengukuran Hambatan Listrik

Pengukuran hambatan listrik dilakukan dengan metode *probe* empat titik sebagai berikut:

- Disiapkan masing-masing satu pelet Cuplikan I dan Cuplikan II, kemudian bagian tengah pelet-pelet tersebut dipotong selebar kira-kira 3 mm.
- Permukaan pelet tersebut digosok dengan ampelas agar rata dan halus. Potongan pelet setelah digosok berturut-turut untuk Cuplikan I, Cuplikan II memiliki ukuran (panjang x lebar x tebal) : $18,5 \times 2,4 \times 1,8$ mm dan $15,5 \times 3,1 \times 1,7$ mm.
- Langkah selanjutnya sama dengan yang diuraikan pada makalah kami yang lain^[6].

Pengukuran Pola Difraksi Neutron

Pola difraksi cuplikan diukur dengan Difraktometer Neutron JICA, di RSG-BATAN, Serpong. Pengukuran pola difraksi neutron dilakukan secara otomatis dengan bantuan komputer. Posisi awal cuplikan terhadap detektor disetel sesuai dengan yang dikehendaki, yakni $5,0^\circ$, $4,0^\circ$ berturut-turut untuk Cuplikan I dan Cuplikan II. Pengukuran dilakukan secara langkah demi langkah sejalan dengan berubahnya kedudukan detektor (2θ) dan posisi cuplikan (θ), dimana θ dan 2θ berubah dengan perbandingan 1:2. Lebar langkah (step-width) disetel pada $\Delta(2\theta) = 0,1^\circ$ dan pengukuran diprogramkan agar detektor berhenti pada posisi : 66° dan 100° berturut-turut untuk Cuplikan I dan Cuplikan II.

Pengolahan data Difraksi Neutron

Data difraksi neutron diolah dengan bantuan program komputer analisis Rietveld. Program ini memerlukan dua macam data masukan, yakni pasangan data intensitas hasil pengamatan terhadap sudut hamburan dan parameter kuadrat terkecil, antara lain: parameter kisi, koordinat fraksi atom dan faktor hunian atom.

Prinsip dasar analisis Rietveld adalah pencocokan (fitting) profil pola difraksi hasil perhitungan terhadap profil pola difraksi pengamatan. Ukuran yang menunjukkan sampai seberapa jauh tingkat kecocokan itu dicapai,

dinyatakan dengan faktor R , yang didefinisikan sebagai berikut:

$$R_{wp} = \left\{ \sum_i w_i [y_i(o) - y_i(c)]^2 \right\}^{1/2} / \left\{ \sum_i w_i [y_i(o)]^2 \right\}^{1/2}$$

$$R_p = \left\{ \sum_i |y_i(o) - y_i(c)| \right\} / \left\{ \sum_i y_i(o) \right\}$$

$$R_I = \left\{ \sum_k |I_k(o) - I_k(c)| \right\} / \left\{ \sum_k I_k(o) \right\}$$

$$R_F = \left\{ \sum_k [I_k(o)]^{1/2} - [I_k(c)]^{1/2} \right\} / \left\{ \sum_k [I_k(o)]^{1/2} \right\}$$

$y_i(o)$ = harga intensitas hasil pengamatan pada posisi ke- i ; $y_i(c)$ = harga intensitas hasil perhitungan pada posisi ke- i ; $I_k(o)$ = intensitas terintegrasi puncak ke- k hasil pengamatan; $I_k(c)$ = intensitas terintegrasi puncak ke- k hasil perhitungan; w_i = faktor bobot.

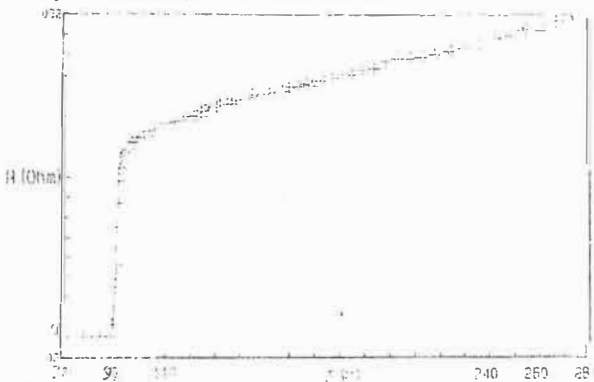
Semakin kecil harga faktor R , semakin baik tingkat kecocokannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada waktu pengujian efek Meissner terlihat, bahwa cuplikan I melayang di atas magnet permanen SmCo, sedangkan cuplikan II tetap menempel pada permukaan magnet tersebut. Jadi cuplikan I memiliki perilaku superkonduktif pada suhu nitrogen cair dan cuplikan II tidak superkonduktif pada suhu tersebut.

Cuplikan I

Dari suhu ruang harga hambatan listrik bahan turun secara linier sejalan dengan turunnya suhu hingga mencapai kira-kira 100°K. Pada pendinginan selanjutnya, hambatan listrik turun secara tiba-tiba hingga dicapai suhu transisi kritis superkonduksi, yakni suhu dimana hambatan listrik bahan nol. Titik mulai terjadi transisi kritis (onset point), titik tengah transisi (mid point) dan titik nol hambatan listrik terjadi berturut-turut pada suhu 103,6°K, 90,7°K dan 88,7°K (Gambar 2).



Gambar 2. Kurva hambatan listrik terhadap suhu pada senyawa $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Cuplikan I.

Dari data yang diperoleh tampak jelas bahwa bahan menampilkan sifat logam sebelum ter-

jadi transisi kritis dan fasa superkonduktif homogen terbentuk pada suhu $T \leq 88,7^\circ K$.

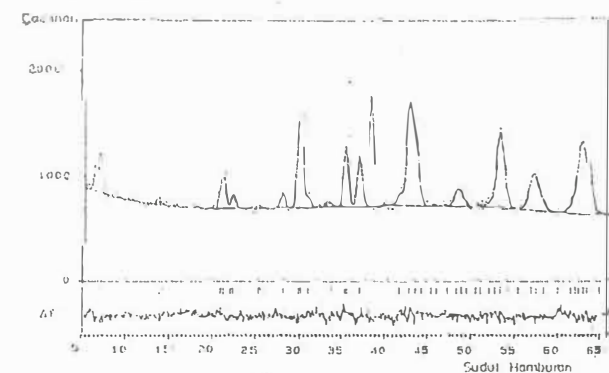
Data intensitas difraksi sebanyak 609 titik dianalisis dengan metode Rietveld. Koordinat fraksi dan faktor hunian atom hasil analisis ditabelkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Koordinat fraksi dan faktor hunian atom Y, Ba, Cu dan O hasil analisis pada senyawa Cuplikan I.

Atom	Posisi	Koordinat fraksi	Faktor hunian
Y	1 h	(1/2, 1/2, 1/2)	1,0
Ba	2 t	(1/2, 1/2, ± 0,183(2))	1,0
Cu(1)	1 a	(0, 0, 0)	1,0
Cu(2)	2 q	(0, 0, ± 0,356(2))	1,0
O(1)	1 b	(1/2, 0, 0)	0,9(1)
O(2)	1 e	(0, 1/2, 0)	0,1(1)
O(3)	2 q	(0, 0 ± 0,161(3))	1,0
O(4)	2 r	(0, 1/2, ± 0,381(5))	0,87(5)
O(5)	2 s	(1/2, 0, ± 0,380(4))	1,0

Cuplikan I memiliki struktur kristal ortorombik, komposisi kimia $YBa_2Cu_3O_{6,91}$, parameter kisi :a= 3,886(1)Å, b= 3,825(1)Å dan c= 11,667(7)Å dengan faktor-R: $R_{WF}=4,13$; $R_p=3,25$; $R_I=5,34$ dan $R_F=4,42$. Angka di dalam kurung adalah deviasi standar untuk angka terakhir di belakang koma.

Gambar 3 adalah profil pola difraksi hasil analisis dengan metode Rietveld. Garis malar (solid line) mewakili liku teoritis/hasil perhitungan, sedangkan liku eksperimental ditunjukkan dengan titik-titik. ΔY adalah selisih antara harga cacahan hasil pengamatan dan hasil perhitungan. Garis-garis pendek vertikal menandakan posisi puncak-puncak Bragg, jumlahnya ada 70 buah.



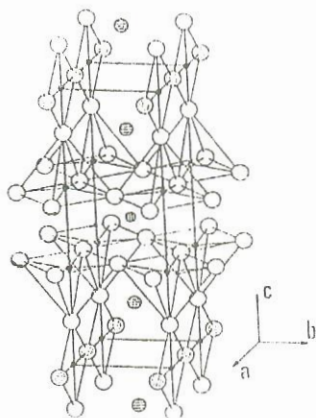
Gambar 3. Profil pola difraksi neutron hasil analisis dengan metode Rietveld pada senyawa $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Cuplikan I.

Berdasarkan harga parameter kisi dan data Tabel 1, dihitung jarak antar atom di dalam sel satuan, hasilnya dituliskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Jarak antara atom-atom $r/\text{Å}$ pada senyawa $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,91}$.

Ikatan	$r/\text{Å}$	Multiplisitas
Ba - O(1)	2,8733	2
Ba - O(2)	2,8938	2
Ba - O(3)	2,7387	4
Ba - O(4)	3,0187	2
Ba - O(5)	2,9909	2
Y - O(4)	2,3828	4
Y - O(5)	2,3640	4
Cu(1) - O(1)	1,9432	2
Cu(1) - O(2)	1,9125	2
Cu(1) - O(3)	1,8854	2
Cu(2) - O(3)	2,2751	1
Cu(2) - O(4)	1,9349	2
Cu(2) - O(5)	1,9637	2

Struktur kristal cuplikan I digambar berdasarkan data-data tersebut (Gambar 4).



Gambar 4. Struktur kristal $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,91}$.

Keterangan:

⊕ = Ba, ⊙ = Y, ● = Cu, ⊖ = O(1) dan ○ = O(3), O(4), O(5) (O(2) tidak digambar, karena faktor hunian atom O(2) sangat kecil).

Tampak jelas pada Tabel 1, titik tempat atom oksigen pada posisi 1b (1/2,0,0) hampir terisi penuh ($\approx 90\%$) dan posisi 1e (0,1/2,0) hanya terisi sebagian ($\approx 10\%$). Kecilnya prosentase

pengisian atom oksigen pada posisi 1e menyebabkan konstanta kisi $b < a$, sehingga sel satuan kristal berbentuk ortorombik. Tampak bahwa kekosongan oksigen secara dominan menempati titik tempat 1e (0,1/2,0).

Cu(2) membangun lima ikatan Cu-O, yakni dua ikatan pendek: Cu(2)-O(4) ($r=1,93 \text{ Å}$), Cu(2)-O(5) ($r= 1,96 \text{ Å}$) dan satu ikatan Cu(2)-O(3) yang lebih panjang ($r= 2,27 \text{ Å}$) sejajar [001]. Jadi atom Cu(2) memiliki koordinasi (4+1) membentuk piramida. Karena faktor hunian atom O₂) kecil, Cu(1) membentuk empat ikatan Cu-O, yakni dua ikatan Cu(1)-O(3) ($r= 1,88 \text{ Å}$) dan dua ikatan Cu(1)- O(1) ($r= 1,94 \text{ Å}$). Jadi Cu(1) memiliki bilangan koordinasi (4+0) membentuk segi empat.

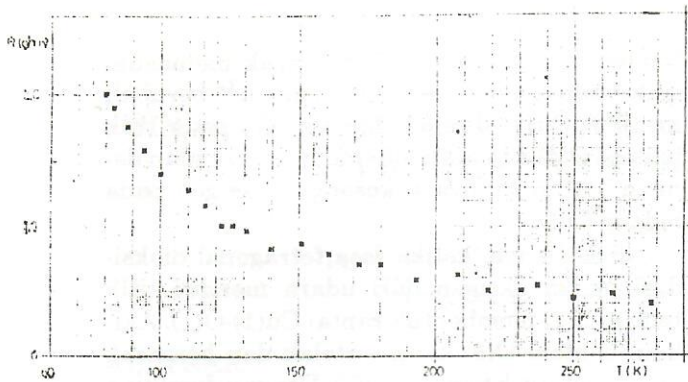
Harga valensi rata-rata Cu dalam $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ adalah +2,27, bilangan ini diperoleh berdasarkan ketentuan bahwa dalam suatu senyawa jumlah valensi harus sama dengan nol. Jelaslah bahwa valensi Cu lebih kecil +3 dan lebih besar +2. Ini berarti valensi Cu berosilasi antara Cu^{3+} dan Cu^{2+} . Dilihat dari harga valensi rata-rata, secara dominan atom-atom Cu berada dalam keadaan Cu^{2+} dan hanya sebagian kecil dengan bilangan oksidasi +3. Atom-atom Cu dengan bilangan oksidasi +3 kemungkinan besar berada pada titik tempat Cu(2). Hal ini sangat mungkin karena bilangan koordinasi Cu(2) lebih besar jika dibandingkan dengan bilangan koordinasi Cu(1). Sedangkan atom-atom yang memiliki bilangan oksidasi yang lebih tinggi cenderung dikelilingi oleh lebih banyak ion negatif.

Cuplikan II

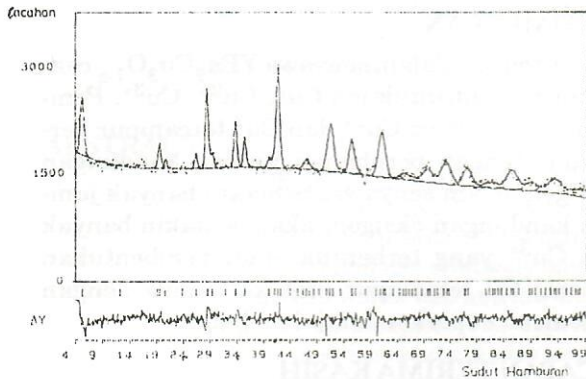
Cuplikan II memiliki perilaku semi-konduktif, hal ini dapat dilihat pada data hasil pengukuran hambatan listrik terhadap suhu (Gambar 5) : hambatan listrik bertambah besar sejalan dengan berkurangnya suhu.

Data difraksi neutron dianalisis menggunakan metode Rietveld. Koordinat fraksi dan faktor hunian atom Y, Ba, Cu dan O hasil penghalusan ditabelkan pada Tabel 3. Struktur kristal tetragonal, komposisi kimia $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,17}$, parameter kisi: $a=b=3,857(1) \text{ Å}$, $c= 11,764(7) \text{ Å}$, faktor $R: R_{WP}= 4,06$, $R_p= 2,84$, $R_I= 5,62$ dan $R_F= 3,84$. Terdapat 111 refleksi Bragg, seperti ditunjukkan pada Gambar 6: profil pola difraksi hasil perhitungan dan hasil pengamatan yang ditampilkan secara simultan.

Jarak antar atom dihitung dari data pada Tabel 3, hasilnya dituliskan pada Tabel 4.

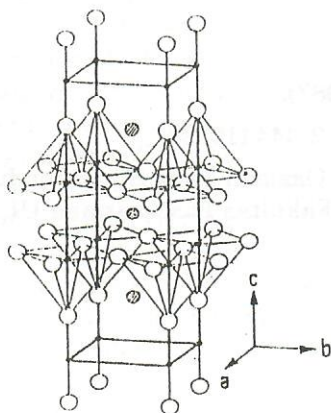


Gambar 5. Kurva hambatan listrik terhadap suhu pada senyawa $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. Cuplikan II.



Gambar 6. Profil pola difraksi neutron hasil analisis dengan metode Rietveld pada senyawa $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. Cuplikan II.

Berdasarkan data tersebut, struktur kristal cuplikan II digambarkan (Gambar 7).



Gambar 7. Struktur kristal $YBa_2Cu_3O_{17}$.

Keterangan:

⊗ = Ba, ⊙ = Y, • = Cu, ○ = O(2) dan O(3), atom O(1) tidak digambarkan, karena faktor hunian atom ini sangat kecil).

Tabel 3. Koordinat fraksi dan faktor hunian atom Y, Ba, Cu dan O hasil analisis pada senyawa Cuplikan II.

Atom	Posisi	Koordinat fraksi	Faktor hunian
Y	1 d	(1/2, 1/2, 1/2)	1,0
Ba	2 h	(1/2, 1/2, ± 0,191(2))	1,0
Cu(1)	1 a	(0, 0, 0)	1,0
Cu(2)	2 g	(0, 0, ± 0,360(2))	1,0
O(1)	2f	(0, 1/2, 0) (1/2, 0, 0)	0,08(1)
O(2)	2g	(0, 0 ± 0,156(3))	1,0
O(3)	4i	(0, 1/2, ± 0,377(2)) (1/2, 0, ± 0,377(2))	1,0

Tabel 4. Jarak antara atom-atom $r(\text{Å})$ pada senyawa $YBa_2Cu_3O_{6,17}$.

Ikatan	$r/\text{Å}$	Multiplisitas
Ba - O(1)	2,9704	4
Ba - O(2)	2,7606	4
Ba - O(3)	2,9082	4
Y - O(3)	2,4114	8
Cu(1) - O(1)	1,9289	4
Cu(1) - O(2)	1,8353	2
Cu(2) - O(2)	2,4000	1
Cu(2) - O(3)	1,9392	4

Tampak pada Tabel 3 bahwa atom-atom oksigen pada bidang CuO (bidang $z=0$) yakni pada posisi (1/2,0,0) dan (0,1/2,0) hanya diisi 8%.

Dalam struktur tetragonal posisi (1/2,0,0) dan (0,1/2,0) adalah ekuivalen, oleh karena itu kedua posisi tersebut memiliki kemungkinan yang sama diisi atom oksigen. Jadi atom-atom oksigen pada bidang CuO terdistribusi secara acak, sehingga konstanta kisi $b=a$ dan sel satuan kristal berbentuk tetragonal.

Cu(2) membangun lima ikatan Cu-O, yakni empat ikatan pendek Cu(2)-(3) ($r= 1,94 \text{ Å}$) dan satu ikatan Cu(2)-O(2) yang lebih panjang ($r= 2,40 \text{ Å}$) sejajar [001]. Jadi Cu(2) memiliki koordinasi (4+1) berbentuk piramida. Karena kecilnya faktor hunian O(1), Cu(1) dapat dianggap memiliki bilangan koordinasi 2, membentuk rantai O(2)-Cu(1)-O(2) sejajar [001].

Harga valensi rata-rata Cu dalam $YBa_2Cu_3O_{6,17}$ adalah +1,78. Ini berarti valensi Cu berisolasi antara Cu^{2+} dan Cu^+ . Tampak bahwa sebagian besar atom Cu berada dalam keadaan Cu^{2+} dan sebagian kecil atom Cu^+ . Atom Cu dengan valensi +2 adalah Cu(2), hal ini

sangat mungkin karena bilangan koordinasi Cu(2) lebih besar jika dibandingkan dengan bilangan koordinasi Cu(1) dan Cu(1) oleh karenanya yang bervalensi +1.

Mekanisme Pembentukan Valensi Cu^{2+} Dan Cu^{3+}

Rushan Han¹⁷ menyimpulkan bahwa :

- a. Pembawa muatan yang menimbulkan fenomena superkonduktivitas adalah lubang-lubang (O^{\cdot}) di titik tempat O(4) dan O(5) pada bidang CuO_2 .
- b. Setiap terbentuk satu kekosongan oksigen pada rantai Cu(1)- O(1) pada bidang CuO , satu lubang lenyap dari bidang CuO_2 dan satu ion Cu^{2+} pada titik tempat Cu(1) berubah menjadi Cu^+ .

Dari data hasil analisis terlihat bahwa hilangnya superkonduktivitas bahan berkaitan dengan pertambahan panjang rantai Cu(2)-O(3) dalam fasa ortorombik sama dengan O(2) dalam fasa tetragonal. Meningkatnya panjang rantai Cu(2)-O(3) adalah :

- a. Akibat menyusutnya jumlah kandungan oksigen pada rantai Cu(1)- O(1), sehingga gaya tolak menolak antara O(3) dan O(1) menjadi kecil, juga
- b. Disebabkan hilangnya ion-ion Cu^{3+} pada titik tempat Cu(2) senyawa tetragonal.

Dengan demikian O(3) lebih kuat terikat ke Cu(1) daripada Cu(2). Karena melemahnya ikatan Cu(2)-O(3), maka lubang dari titik

tempat O(4) dan/atau O(5) bergerak memasuki titik tempat Cu(2), sehingga ion Cu^{3+} berubah menjadi Cu^{2+} . Jumlah lubang (O^{\cdot}) pada titik tempat O(4) dan/atau O(5) menyusut sejalan dengan bertambahnya kekosongan oksigen pada bidang CuO .

Sebaliknya, ketika fasa tetragonal dioksidasi, maka oksigen dari udara mengisi titik tempat O(1) membentuk rantai Cu(1)-O(1). Akibatnya atom O(3) akan tertolak dan bergerak mendekati titik tempat Cu(2). Dengan demikian ion Cu^{2+} di titik tempat Cu(2) terurai menjadi Cu^{3+} disertai dengan terbentuknya lubang (O^{\cdot}) pada tempat O(4) dan/atau O(5).

KESIMPULAN

Atom Cu dalam senyawa $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ cenderung membentuk ion Cu^+ , Cu^{2+} , Cu^{3+} . Pembentukan valensi Cu^{2+} dan Cu^{3+} tercampur berkaitan dengan perubahan jumlah kandungan oksigen dalam senyawa. Semakin banyak jumlah kandungan oksigen, akan semakin banyak ion Cu^{3+} yang terbentuk. Jadi pembentukan valensi Cu tercampur erat kaitannya dengan fenomena superkonduktivitas bahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Dr. Anung Kusnowo, Drs. H. K. Sudjono MSc., Ir. Mulyadi dan Hantoro atas bantuannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. BEDNORZ J. G. and Muller K. A., Z. Phys. B 64, 189 (1986).
2. SODERHOLM L. et al., Nature 328, 908 (1987).
3. IZUMI F. et al., Jpn. J. Appl. Phys. 26, L1193 (1987).
4. MULLER K. A. and BEDNORZ J. G., Science 237, 1133 (1987).
5. KLAUS YVON and MICHEL FRANCOIS, Z. Phys. B 76, 413-444 (1989).
6. ENKIR SUKIRMAN, "Pengaruh Distribusi Kekosongan Oksigen Pada Superkonduktivitas $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ", Tesis S2-Program Studi Materials Science, Fakultas Pascasarjana UI, Jakarta (1991).
7. RUSHAN HAN et al., Phys. Rev. B 41, 6683 (1990).