

PENDAHULUAN

Di dalam modul ini Anda akan mempelajari Aplikasi Superkonduktor yang mencakup: Teknologi Superkomputer dan Teknologi Transmisi Daya Listrik serta Teknologi Kereta Api Berkecepatan Tinggi. Oleh karena itu, sebelum mempelajari modul ini Anda terlebih dahulu harus mempelajari modul nomor 8 Fisika Zat Padat tentang superkonduktor yang bersuhu kritis tinggi

Pengetahuan yang akan Anda peroleh dari modul ini akan bermanfaat untuk memperdalam pengetahuan anda tentang superkonduktor dan aplikasinya.

Setelah mempelajari modul ini Anda diharapkan dapat mencapai beberapa tujuan instruksional khusus, sebagai berikut:

Anda harus dapat

1. menjelaskan aplikasi superkonduktor dalam teknologi superkomputer.
2. menjelaskan aplikasi superkonduktor dalam teknologi kereta api berkecepatan tinggi.
3. menjelaskan aplikasi superkonduktor dalam teknologi transmisi daya listrik.

Materi kuliah dalam modul ini akan disajikan dalam urutan sebagai berikut:

1. KB. 1 Aplikasi Superkonduktor Dalam Transmisi Daya Listrik Dan Teknologi Superkomputer. Di dalam KB. 1 ini Anda akan mempelajari sub-pokok bahasan: Teknologi Transmisi Daya Listrik dan Teknologi Superkomputer.
2. KB. 2 Teknologi Kereta Api Berkecepatan Tinggi. Dalam KB. 2 ini Anda akan mempelajari sub-pokok bahasan: Sifat-sifat magnetik superkonduktor dan jenis-jenis superkonduktor.

Agar Anda dapat mempelajari modul ini dengan baik, ikutilah petunjuk belajar berikut ini.

1. Bacalah tujuan instruksional khusus untuk modul ini.
2. Baca dan pelajari dengan seksama uraian setiap kegiatan belajar.
3. Salinlah konsep dasar dan persamaan-persamaan penting ke dalam buku latihan Anda.
4. Perhatikan dan pelajari dengan baik contoh-contoh soal/masalah dalam setiap kegiatan belajar.

Kerjakan semua soal latihan dan usahakan tanpa melihat kunci jawaban terlebih dahulu.

KB. 1 Aplikasi Superkonduktor Dalam Transmisi Daya Listrik Dan Teknologi Superkomputer

Perkembangan ilmu pengetahuan mendorong dunia industri untuk memanfaatkan temuan-temuan baru. Salah satu contoh adalah perkembangan ilmu pengetahuan dalam bidang Fisika Zat Padat, khususnya dalam bidang superkonduktor. Banyak sekali temuan-temuan baru dalam bidang superkonduktor, baik secara teoritis maupun secara eksperimen. Begitu pula temuan mengenai berbagai bahan superkonduktor itu sendiri banyak sekali macamnya.

Superkonduktor yang dimaksud disini adalah superkonduktor arus listrik. Jika kita mengelompokkan zat padat ditinjau dari daya hantar listrik, kita akan mengenal 5 kelompok zat padat, yaitu diurut dari daya hantar arus listrik mulai dari yang terjelek sampai terbaik sebagai berikut

- *Isolator*
- *Semikonduktor*
- *konduktor*
- *konduktor bagus (good conductor)*
- *Superkonduktor.*

Tiga kelompok pertama pada umumnya sudah dikenal masyarakat dengan baik. Isolator, misalnya, banyak sekali diketahui masyarakat sebagai pelindung kabel listrik dirumah-rumah. Semikonduktor, meskipun baru dikenal dikalangan masyarakat akademik, tetapi aplikasinya sudah mencapai hampir seluruh lapisan masyarakat. Sebagai contoh, banyak sekali peralatan rumah tangga yang sesungguhnya mengandung teknologi semikonduktor, seperti pesawat

penerima radio, televisi, mesin cuci, lemari pendingin, sampai komputer. Dan bahkan kita dapat mengatakan bahwa dari kelima kelompok zat padat di atas, kelompok semikonduktor adalah kelompok zat padat yang paling banyak aplikasinya, mulai dari teknologi sederhana sampai teknologi tinggi, semikonduktor tidak pernah ketinggalan.

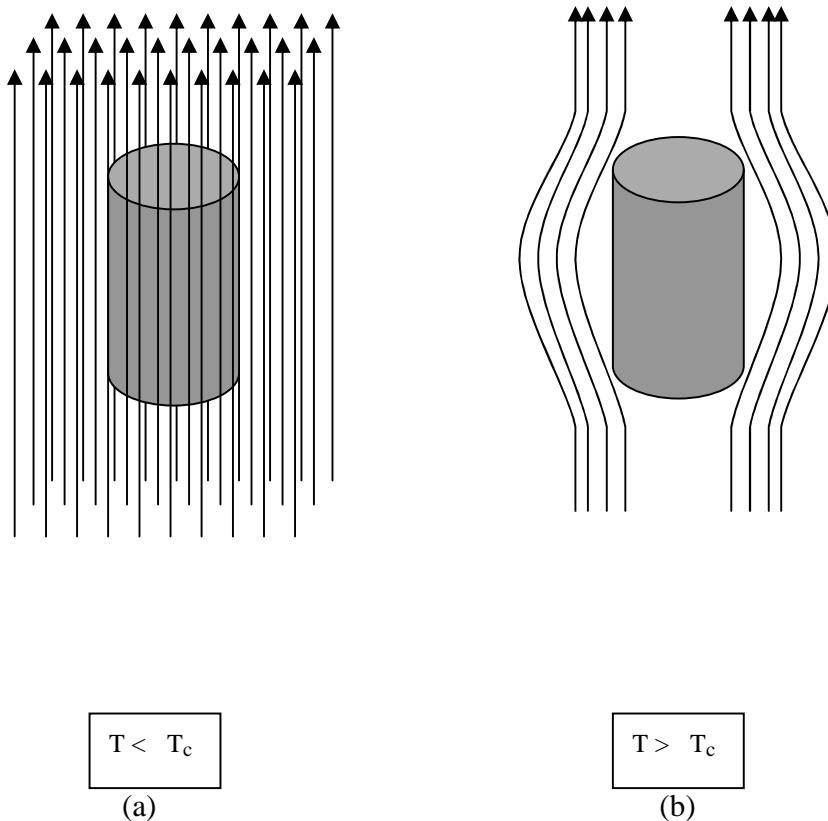
Sebaliknya, dua kelompok terakhir masih sangat jarang diketahui oleh masyarakat umum. Dalam masyarakat akademik pun hanya beberapa kelompok orang saja yang mengenal dan memahaminya baik secara teoritis, eksperimen, maupun aplikasinya. Dalam modul ini kita akan konsentrasi pada aplikasi superkonduktor.

Perbedaan dan persamaan antara konduktor bagus dengan superkonduktor adalah dalam hal resistivitas (ρ) dan efek Meissner. Persamaannya adalah bahwa kedua kelompok bahan ini memiliki resistivitas nol ($\rho = 0$), sehingga nilai hambatan (R) listriknya pun nol. Perbedaannya adalah bahwa konduktor bagus tidak memiliki efek Meissner, sedangkan superkonduktor memiliki efek Meissner. Efek Meissner, seperti yang sudah dijelaskan dalam modul Fisika Zat Padat, adalah suatu gejala dimana bahan superkonduktor dapat menolak (melawan) medan magnet luar, sehingga medan magnet luar tidak dapat menembus bahan superkonduktor. Atau dengan kata lain susceptibilitas magnetnya adalah bertanda negatif (bersifat diamagnetik). Untuk membantu ingatan Anda apa yang dimaksud dengan efek Meissner, coba perhatikan gambar di bawah ini.

Jadi karakteristik inilah (yaitu resistivitas nol dan efek Meissner) yang dapat diambil manfaatnya untuk kehidupan manusia. Sebagai contoh, jika kita akan mentransmisikan energi listrik dari satu tempat ke tempat lain, seperti dari pembangkit tenaga listrik ke rumah-rumah, dengan menggunakan konduktor biasa yang resistivitasnya tidak nol, maka kita akan mengalami

kerugian karena adanya energi listrik yang hilang menjadi panas pada kabel konduktor itu.

Sebaliknya, jika kita menggunakan kabel superkonduktor



Gambar 1. Efek Meissner. Pada Gambar 1 (a) suhu bahan masih di atas suhu kritis superkonduktor, sehingga pada saat ini bahan ini belum menjadi superkonduktor dan medan magnet luar (yang ditunjukkan oleh anak panah ke atas) masih dapat menembus bahan itu. Sedangkan pada Gambar 1 (b) bahan sudah menjadi superkonduktor ($T < T_c$) sehingga medan magnet luar ditolak oleh superkonduktor itu. T_c adalah suhu kritis bahan untuk menjadi superkonduktor.

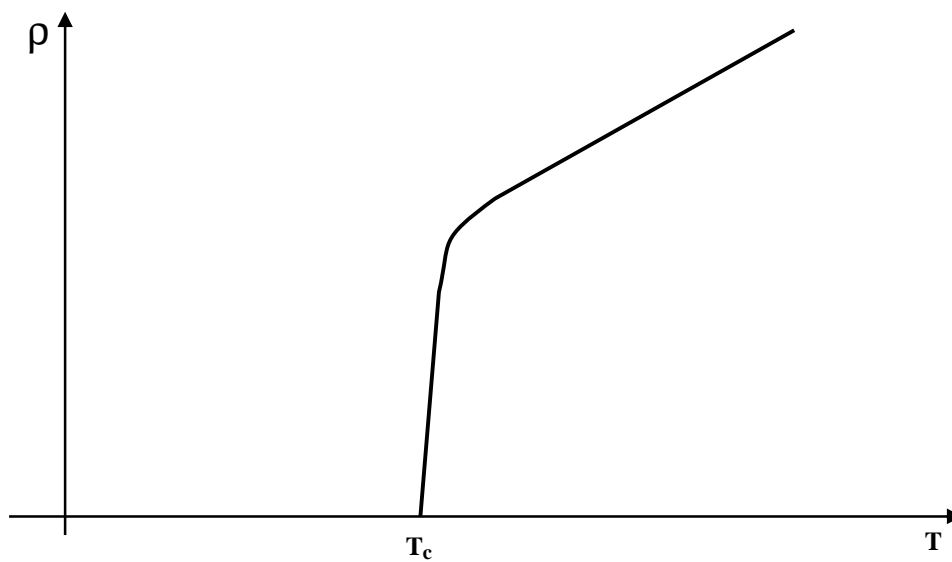
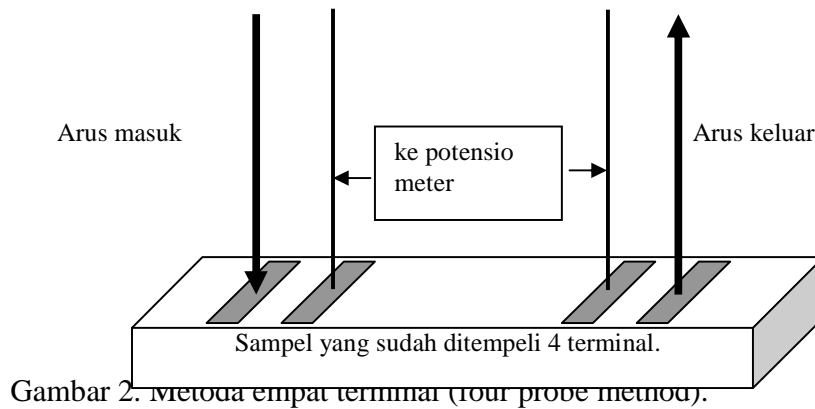
yang resistivitasnya nol, maka kita tidak akan kehilangan energi listrik. Dengan demikian efisiensi transmisi menjadi sangat baik, dan bahkan secara teoritis dapat mencapai 100 %. Apa dan bagaimana sesungguhnya superkonduktivitas itu terjadi sehingga dapat dimanfaatkan dalam

kehidupan kita sehari-hari. Berikut ini akan dibahas prosedur pembuatan superkonduktor dan berbagai karakteristiknya.

Seperti Anda ketahui Di dalam modul nomor 9 Fisika Zat Padat bahwa untuk membuat bahan itu menjadi superkonduktor, bahan tersebut (yang ada saat ini) harus didinginkan sampai suhu bahan itu lebih kecil atau sama dengan suhu kritis (T_c). Berarti, suatu bahan tidak akan menjadi superkonduktor sampai *suhu* bahan itu lebih kecil atau sama dengan suhu kritisnya. Salah satu cara mengidentifikasi suatu bahan apakah ia sudah menjadi superkonduktor atau belum adalah dengan cara mengukur resistivitasnya. Metoda yang biasa digunakan untuk mengukur resistivitas ini adalah metoda 4 terminal (Four Probes method). Sampel yang akan diukur resistivitasnya itu ditempeli dulu oleh empat buah terminal (probe) yang terbuat dari bahan indium. Proses penempelan keempat terminal itu harus dilakukan dengan teknik penguapan (evaporasi) logam indium dalam ruang yang relatif hampa udara. Setelah keempat terminal itu menempel pada salah satu muka sampel, kemudian sampel itu dihubungkan dengan sumber arus searah melalui kedua terminal yang paling ujung, dan dihubungkan ke potensiometer (untuk mengukur beda potensial) melalui dua terminal yang ditengah. Untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 2 di bawah ini.

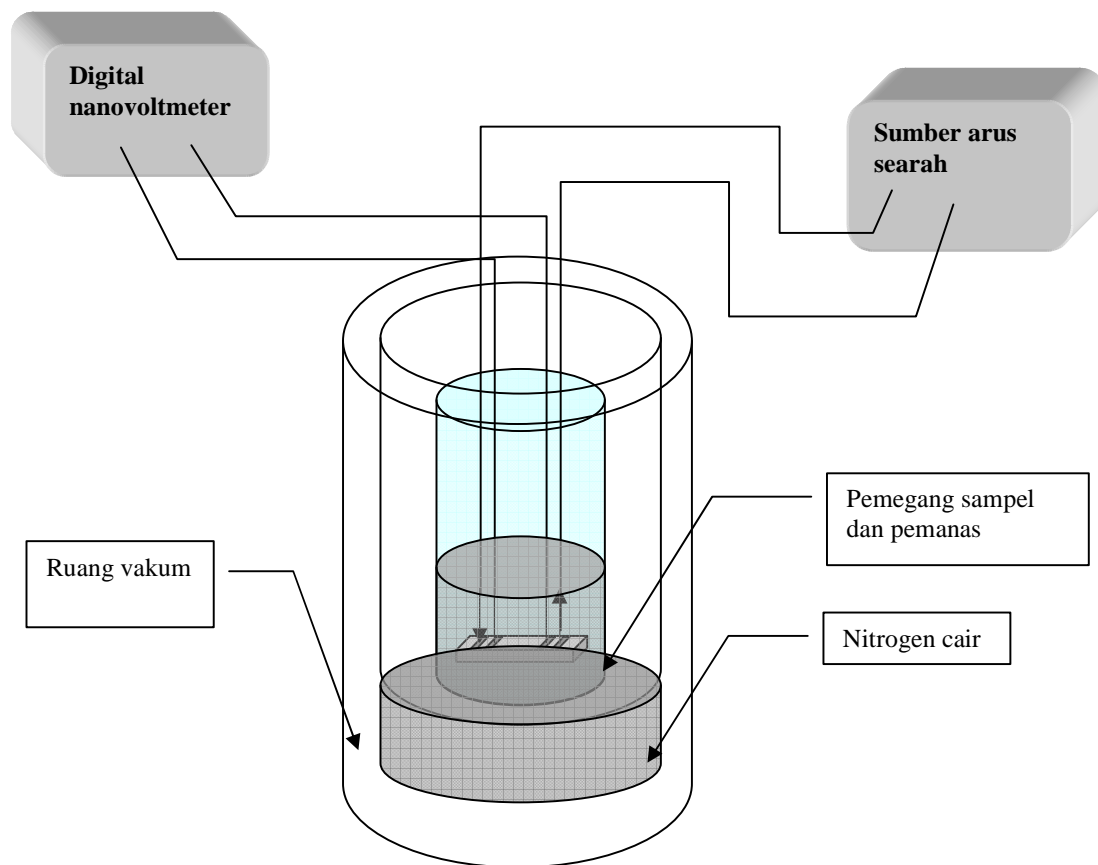
Variabel yang diukur adalah resistivitas atau hambatan sebagai fungsi suhu. Teknik pengukuran resistivitas sebagai fungsi suhu biasanya dilakukan dengan cara menurunkan suhu sampel dari suhu kamar sampai di bawah suhu kritis sehingga kita dapat memperoleh kurva resistivitas sebagai fungsi suhu. Dari kurva inilah suhu kritis biasanya ditentukan. Pendinginan sampel biasanya dilakukan dengan cara menggunakan Nitrogen (Ni) cair, jika suhu kritisnya di atas 78 K karena titik didih Nitrogen adalah 78 K, sedangkan jika suhu kritisnya di atas 4 K

biasanya digunakan Helium (He) cair, karena titik didih He adalah 4 K. Contoh kurva resistivitas sebagai fungsi suhu untuk sebuah superkonduktor dapat Anda lihat pada Gambar 3 di bawah.



Gambar 3. Resistivitas sebagai fungsi suhu untuk sebuah superkonduktor.

Pada saat suhu sampel menjelang suhu kritis (T_c) nilai resistivitas sampel turun drastis dan akhirnya mencapai nilai nol tepat pada saat suhu sampel sama dengan T_c dan terus sama dengan nol untuk $T < T_c$. Dan pada saat ini sampel dikatakan berada pada fase (keadaan) superkonduktor. Gambar bagan rangkaian alat-alat untuk mengukur resistivitas sebagai fungsi suhu dapat Anda lihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagan rangkaian sederhana untuk mengukur resistivitas sampel superkonduktor.

Sampai saat ini, suhu kritis (sering juga disebut *titik kritis*) tertinggi yang dapat dicapai dan stabil adalah 92 K, yaitu untuk bahan (sampel) yang terbuat dari bahan campuran Y_2O_3 , $BaCO_3$, dan CuO sedemikian rupa sehingga menghasilkan sampel dengan komposisi $YBa_2Cu_3O_{7-d}$ dimana nilai d adalah antara 0 dan 0,5 atau $0 \leq d \leq 0,5$ sehingga campuran itu dapat memiliki O sebanyak 6,5 sampai 7. Dan campuran terbaik adalah campuran yang memiliki nilai O sama dengan 7 atau $d = 0$, sehingga rumus kimianya adalah $YBa_2Cu_3O_7$. Variasi nilai O ini sangat bergantung pada proses pembuatan sampel itu sendiri dan pada proses pemanasan ulang (*annealing*).

Proses pembuatan sampel $YBa_2Cu_3O_{7-d}$ dapat diterangkan sebagai berikut. Bahan CuO , Y_2O_3 , $BaCO_3$ dicampur dengan rasio mol sebagai berikut:

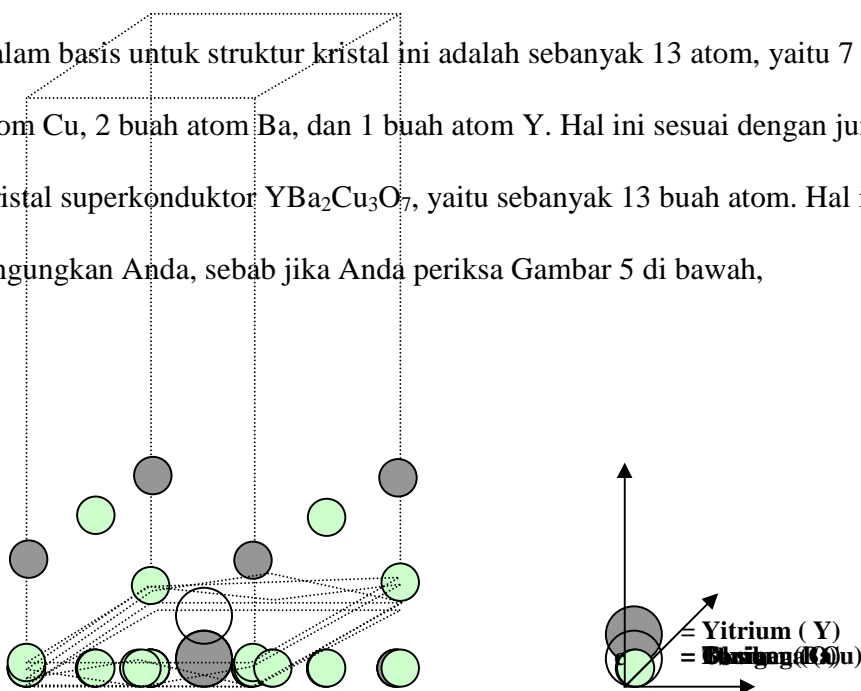


Campuran untuk sampel ini kemudian dimasukkan ke dalam cawan yang terbuat dari gelas quarsa (quartz) atau bahan alumina. Kemudian sampel itu dipanaskan secara perlahan-lahan (dalam udara bebas) dalam sebuah tungku sampai suhunya mencapai 920 °C selama 18 jam. Proses pendinginan sampel di dalam tungku dilakukan secara pelan pula. Hasilnya adalah sebuah bahan yang berwarna hitam dan berupa keramik. Karena sampel yang diperoleh ini masih belum memiliki kandungan oksigen yang cukup (lihat persamaan kimia di atas), maka sampel ini kemudian dibentuk menjadi tablet dan dipanaskan ulang dalam aliran O_2 sebanyak 0,006 liter/menit pada suhu 920 °C selama 18 jam juga. Proses pemanasan ulang ini sering disebut proses *annealing*. Kemudian sampel itu didinginkan sampai suhu kamar dengan laju 50 °C/jam.

Setelah itu sampel tersebut dibentuk menjadi balok dan selanjutnya ditempleli 4 buah terminal (probe) indium pada salah satu sisinya untuk pengukuran resistivitas (lihat gambar 2 di atas).

Selanjutnya kita tempelkan empat buah kawat konduktor kepada keempat terminal itu dengan cara menyoldernya dengan menggunakan solder indium. Keempat kawat ini adalah sebagai sarana untuk mengalirkan arus listrik ke dalam sampel dan untuk mengukur beda potensial diantara ujung-ujung sampel. Selanjutnya, bagan rangkaian listrik untuk mengukur resistivitas sampel sebagai fungsi suhu dapat dilihat pada gambar 4 di atas.

Untuk memahami lebih jauh tentang superkonduktor jenis ini, yaitu $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, kita akan bahas struktur kristalnya. Salah satu cara untuk memahami fenomena superkonduktivitas suatu bahan adalah dengan cara mempelajari struktur kristalnya. Dengan menggunakan berbagai teknik difraksi sinar-x oleh kristal, akhirnya para peneliti berhasil dan sepakat untuk menetapkan struktur kristal superkonduktor jenis ini. Strukturnya adalah berupa ortorombik (Orthorhombic). Contoh struktur kristal untuk satu sel primitif dari $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ dapat Anda lihat pada Gambar 5 di bawah. Perhatikan bahwa pada Gambar 5 di bawah kita melihat ada dua bidang CuO, yaitu bidang alas dan bidang atas. Dalam hal ini, jarak antara kedua bidang CuO ini adalah sama dengan panjang sumbu primitif c. Oleh karena itu, salah satu bidang CuO ini bukan milik sel primitif yang digambarkan ini. Dari Gambar 5 di bawah kita dapat memahami bahwa jumlah atom dalam basis untuk struktur kristal ini adalah sebanyak 13 atom, yaitu 7 buah atom O, 3 buah atom Cu, 2 buah atom Ba, dan 1 buah atom Y. Hal ini sesuai dengan jumlah atom di dalam basis kristal superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, yaitu sebanyak 13 buah atom. Hal ini mungkin membingungkan Anda, sebab jika Anda periksa Gambar 5 di bawah,



Gambar 5. Struktur kristal $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. Struktur kristal ini berbentuk ortorombik dengan sumbu sumbu kristal a, b, dan c seperti ditunjukkan pada Gambar. Dalam hal ini $a \neq b \neq c$, dan sudut-sudut antara sumbu-sumbu tersebut adalah 90° .

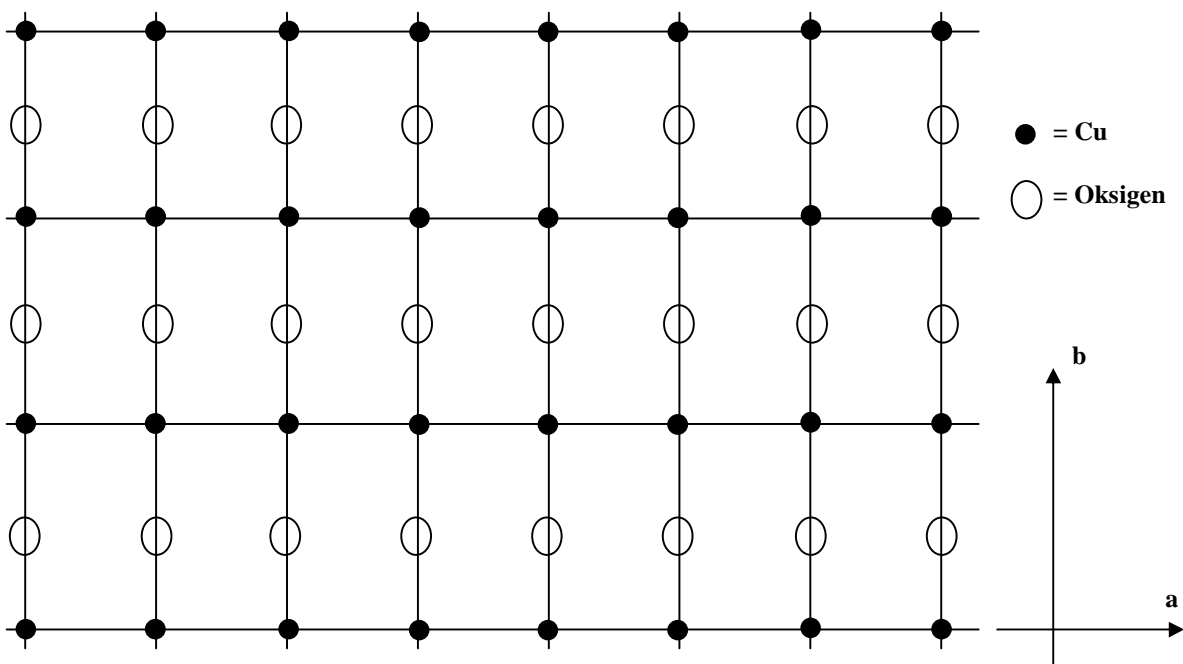
Anda melihat bahwa jumlah atom tersebut lebih dari 13 buah. Nah ! jika Anda memang masih bingung, coba pelajari kembali modul-5 Pengantar Fisika Zat Padat tentang cara menghitung jumlah titik kisi dan jumlah atom untuk setiap sel primitif.

Apabila jumlah atom oksigen di dalam superkonduktor ini hanya sebanyak 6,5 ($d = 0,5$), maka sampel ini tidak memiliki sifat superkonduktivitas, tetapi ia bahkan hanya bersifat sebagai semikonduktor, dan struktur kristalnya pun bukan ortorombik, tetapi tetragonal. Perbedaan antara struktur kristal ortorombik dengan tetragonal adalah terletak pada panjang sumbu-sumbu primitifnya, yaitu untuk ortorombik $a \neq b \neq c$, sedangkan tetragonal $a = b \neq c$. Perbedaan ini timbul akibat adanya perbedaan kandungan oksigen. Jadi kandungan oksigen di dalam campuran ini sangat menentukan sifat superkonduktivitas listriknya.

Seperti dapat Anda lihat pada Gambar 5 di atas, jumlah bidang CuO ada dua buah, yaitu bidang alas dan bidang atas. Pada saat suhu sampel ini tepat sama dengan atau sekitar suhu kritisnya, maka kedua bidang ini sangat bertanggung jawab atas proses superkonduktivitas. Artinya, *superkonduktivitas hanya terjadi dalam bidang-bidang CuO saja dan hanya terjadi dalam arah sumbu-b saja*. Tetapi pada saat suhu sampel jauh di bawah suhu kritisnya, superkonduktivitas terjadi dalam arah tiga dimensi. Biasanya para ahli peneliti akan sangat tertarik pada tingkah laku sampel pada saat suhunya disekitar suhu kritisnya, yaitu pada saat sampel berada pada fase transisi dari logam biasa menjadi logam superkonduktor. Dan mereka selalu mencoba memahami apa yang terjadi pada saat suatu sampel berubah dari fase konduktor biasa menjadi fase superkonduktor. Pengetahuan ini biasanya digunakan untuk mencari bahan baru yang lebih baik, misalnya dalam hal suhu kritisnya mereka akan berusaha mencari bahan

yang memiliki suhu kritis yang lebih tinggi. Oleh karena itu, perhatian kita sekarang adalah pada tingkah laku sampel pada saat suhunya disekitar suhu kritisnya.

Jika Anda gambarkan bidang CuO dalam dua dimensi, maka Anda akan memperoleh gambar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Bidang CuO dalam dua dimensi dari 21 buah sel primitif (Pada Gambar 5 di lihat dari atas).

Seperti dapat Anda lihat bahwa pada struktur kristal ortorombik, bidang CuO hanya memiliki oksigen dalam arah sumbu b saja. Dan dalam arah sumbu inilah superkonduktivitas terjadi pada saat suhu sampel disekitar suhu kritisnya.

Hal lain yang menarik dari tingkah laku superkonduktor disekitar suhu kritisnya adalah adanya sifat non-ohmik, yaitu sifat yang tidak memenuhi persamaan Ohm. Persamaan Ohm

menyatakan bahwa kenaikan kuat arus (i) adalah sebanding dengan kenaikan beda potensial (V).

Hal ini tidak berlaku pada bahan superkonduktor pada saat suhunya disekitar suhu kritisnya.

Pada suhu ini, hubungan antara kuat arus dan beda potensial untuk superkonduktor yang berupa polikristal dapat dinyatakan oleh persamaan:

$$V \cong c i^{a(T)} \quad (1)$$

dimana c dan $a(T)$ adalah parameter-parameter yang bergantung pada suhu. Nilai $a(T)$ adalah antara 1 dan 3 bergantung pada suhu sampel atau

$$1 \leq a(T) \leq 3.$$

untuk suhu sampel antara 84 K sampai 80 K. Pada suhu 84 K nilai $a(T) = 1$. Jadi pada $T = 84$ K tingkah laku sampel memenuhi persamaan Ohm. Sedangkan untuk suhu di bawah 84 K sampai 80 K nilai $a(T)$ bertambah besar dan mencapai nilai 3 pada suhu 80 K. Jadi tingkah laku non-ohmik ini terjadi untuk suhu

$$80 \leq T < 84 \text{ K}.$$

Hal ini terjadi karena untuk sampel yang berupa keramik (polikristal) memiliki suhu transisi yang sangat lebar, sehingga meskipun suhu kritisnya 92 K, tetapi resistivitas sampel ini akan sama dengan nol (menjadi superkonduktor) baru pada suhu 80 K.

Pada saat suhu sampel lebih kecil dari 80 K maka semua bahan sudah menjadi superkonduktor murni yang sangat baik dan kuat.

Rangkuman.

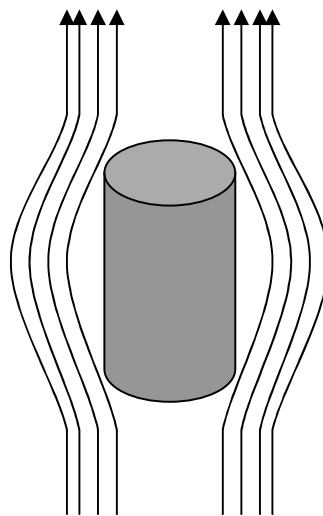
1. Ditinjau dari daya hantar listrik, kita akan mengenal 5 kelompok zat padat, yaitu diurut dari daya hantar arus listrik yang terjelek sampai yang terbaik sebagai berikut

- *Isolator*
- *Semikonduktor*
- *konduktor*
- *konduktor bagus (good conductor)*
- *Superkonduktor.*

2. Perbedaan dan persamaan antara konduktor bagus dengan superkonduktor adalah dalam hal resistivitas (ρ) dan efek Meissner. Persamaannya adalah bahwa kedua kelompok bahan ini memiliki resistivitas nol ($\rho = 0$), sehingga nilai hambatan (R) listriknya pun nol.

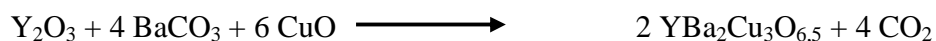
Perbedaannya adalah bahwa konduktor bagus tidak memiliki efek Meissner, sedangkan superkonduktor memiliki efek Meissner.

3. Efek Meissner adalah suatu gejala dimana bahan superkonduktor dapat menolak (melawan) medan magnet luar, sehingga medan magnet luar tidak dapat menembus



bahan superkonduktor. Atau dengan kata lain susceptibilitas magnetnya adalah bertanda negatif (bersifat diamagnetik).

4. Suhu kritis adalah suhu yang memisahkan antara superkonduktor dengan konduktor biasa, atau suhu dimana suatu bahan akan berubah dari konduktor biasa menjadi superkonduktor.
5. Dua hal yang dapat diambil manfaatnya dari superkonduktor adalah resistivitasnya sama dengan nol dan efek Meissner.
6. Metoda yang biasa digunakan untuk mengukur resistivitas suatu bahan adalah metoda empat terminal (four probes method).
7. Dua zat pendingin yang biasa digunakan untuk menurunkan suhu suatu sampel adalah Nitrogen cair dengan titik didih sekitar 78 K, dan Helium cair dengan titik didih sekitar 4 K.
8. Suhu kritis superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ adalah 92 K.
9. Superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$ dibuat dari campuran bahan kimia CuO , Y_2O_3 , BaCO_3 dengan rasio mol sebagai berikut:



10. Nilai d pada rumus kimia $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$ adalah antara 0 sampai 0,5.
11. Superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$ yang baik adalah superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (atau $d = 0$).
12. Jika nilai $d = 0,5$ maka sampel $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,5}$ bersifat sebagai semikonduktor.
13. Struktur kristal $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ adalah ortorombik.
14. Struktur kristal $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,5}$ adalah tetragonal.
15. Struktur kristal ortorombik didefinisikan oleh sumbu-sumbu primitif berikut:
 $a \neq b \neq c$ dan sudut-sudut antara sumbu-sumbu tersebut adalah 90 derajat.

16. Struktur kristal tetragonal didefinisikan oleh sumbu-sumbu primitif berikut:
 $a = b \neq c$ dan sudut-sudut antara sumbu-sumbu tersebut adalah 90 derajat.
17. Pada saat suhu bahan superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ tepat sama dengan suhu kritisnya, superkonduktivitas terjadi hanya pada bidang CuO.
18. Pada saat suhu bahan superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ tepat sama dengan suhu kritisnya, superkonduktivitas terjadi hanya dalam arah sumbu b.
19. Satu sel primitif superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ memiliki atom sebanyak 13 buah, yaitu : 7 buah atom O, 3 buah atom Cu, dua buah atom Ba, dan satu buah atom Y.
20. Sifat non-ohmik terjadi antara suhu
 $80 \text{ K} \leq T < 84 \text{ K}$.
21. Sifat non-ohmik dapat dinyatakan oleh persamaan $V = c I^{a(T)}$,
22. Nilai $a(T)$ adalah: $1 \leq a(T) < 3$ untuk suhu $80 \leq T \leq 84 \text{ K}$.

Tes Formatif-1.

Petunjuk: Jawablah soal-soal/pertanyaan di bawah ini dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf di depan jawaban yang benar pada lembar jawaban yang disediakan.

1. Urutan hambatan jenis (resistivitas) listrik dari yang terkecil sampai yang terbesar adalah:
 - a. insulator ==> semikonduktor ==> konduktor ==> superkonduktor.
 - b. superkonduktor ==> konduktor ==> semikonduktor ==> isolator.
 - c. insulator ==> semikonduktor ==> konduktor ==> konduktor bagus.
 - d. konduktor bagus ==> semikonduktor ==> konduktor ==> superkonduktor.
2. Efek Meissner adalah suatu gejala dimana zat superkonduktor dapat:
 - a. menarik medan magnet dengan kuat.
 - b. menarik medan magnet dengan lemah.
 - c. menolak medan magnet.
 - d. menyebabkan susceptibilitas magnet bernilai positif.
3. Persamaan sifat antara konduktor bagus dengan superkonduktor adalah:
 - a. resistivitas kedua bahan adalah nol.
 - b. kedua bahan dapat menimbulkan efek Meissner.
 - c. konduktivitas kedua bahan adalah nol.
 - d. resistivitas kedua bahan adalah tak terhingga.
4. Keistimewaan zat superkonduktor yang dapat digunakan untuk mentransmisikan daya listrik dari satu tempat ke tempat lain adalah:
 - a. resistivitasnya yang sama dengan nol .
 - b. efek Meissner.
 - c. konduktivitasnya yang sama dengan nol.

- d. suhu kritisnya yang rendah.
5. Keistimewaan zat superkonduktor yang dapat digunakan untuk membuat kereta api berkecepatan tinggi adalah:
- resistivitasnya yang sama dengan nol .
 - efek Meissner.
 - konduktivitasnya yang sama dengan nol.
 - suhu kritisnya yang rendah.
6. Bahan dasar superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ dibuat dari campuran CuO , Y_2O_3 , BaCO_3 dengan perbandingan mol masing-masing adalah sebagai berikut:
- 1 : 2 : 3.
 - 1 : 2 : 4
 - 1 : 4 : 4
 - 1 : 4 : 6
7. Struktur kristal superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ adalah :
- kubus.
 - tetragonal.
 - triklinik.
 - ortorombik.
8. Struktur kristal yang didefinisikan oleh sumbu-sumbu primitif $a \neq b \neq c$, dan sudut $\alpha = \beta = \gamma = 90$ adalah struktur kristal:
- monoklin.
 - tetragonal.
 - triklinik.

d. ortorombik.

9. Pada saat suhu superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ sama dengan suhu kritisnya, maka superkonduktivitas hanya terjadi dalam:

a. arah sumbu b

b. arah sumbu c

c. bidang CuO_2 .

d. bidang BaO.

10. Pada saat suhu superkonduktor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ sama dengan 84 K, maka hubungan antara kuat arus dan beda potensial dapat dinyatakan oleh persamaan berikut:

a. $V = c I$.

b. $V = c I^2$.

c. $V = c I^3$.

d. $V = RI$.

Tindak Lanjut (Balikan):

Cocokkanlah jawaban Anda dengan kunci jawaban tes formatif 1 pada akhir modul ini, dan berilah skor (nilai) sesuai dengan bobot nilai setiap soal yang dijawab dengan benar. Kemudian jumlahkan skor yang Anda peroleh lalu gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan (TP) Anda terhadap materi KB-1 ini.

$$\text{Rumus (TP)} = (\text{jumlah skor yang diperoleh/skor total}) \times 100 \%$$

Arti TP yang Anda peroleh adalah sebagai berikut :

90 % - 100 % = baik sekali.

80 % - 89 % = baik

70 % - 79 % = cukup

< 70 % = rendah.

Apabila TP Anda $\geq 80 \%$, maka Anda boleh melanjutkan pada materi KB 2, dan Selamat !!,

Tetapi jika TP Anda $< 80 \%$, Anda harus mengulang materi KB-1 di atas terutama bagian-bagian yang belum Anda kuasai.