

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penemuan Superkonduktor

Superkonduktor pertama kali ditemukan oleh seorang fisikawan Belanda, Heike Kamerlingh Onnes, dari Universitas Leiden pada tahun 1911. Sebelumnya, pada tanggal 10 Juli 1908, Onnes berhasil mencairkan helium dengan cara mendinginkan hingga 4 K atau 269°C . Kemudian pada tahun 1911, Onnes mulai mempelajari sifat-sifat listrik dari logam pada suhu yang sangat dingin. Pada waktu itu telah diketahui bahwa hambatan suatu logam akan turun ketika didinginkan dibawah suhu ruang, akan tetapi belum ada yang dapat mengetahui berapa batas bawah hambatan yang dicapai ketika temperatur logam mendekati 0 K atau nol mutlak (Yulianti, 2002).

Beberapa ilmuwan seperti William Kelvin memperkirakan bahwa elektron yang mengalir dalam konduktor akan berhenti ketika suhu mencapai nol mutlak. Sedangkan Onnes memperkirakan bahwa hambatan akan menghilang pada keadaan tersebut. Onnes mengalirkan arus pada kawat merkuri yang sangat murni dan kemudian mengukur hambatannya sambil menurunkan suhunya. Pada suhu 4,2 K, ternyata hambatannya tiba-tiba menjadi hilang. Arus mengalir melalui kawat merkuri terus menerus. Dengan tidak adanya hambatan, maka arus dapat mengalir tanpa kehilangan energi (Shukor, 2009). Fenomena ini kemudian oleh

Onnes diberi nama superkonduktivitas. Atas penemuannya itu, Onnes dianugerahi Nobel Fisika pada tahun 1911 (Cyrot dan Pavuna, 1992).

Superkonduktivitas dapat terjadi pada berbagai macam material, termasuk unsur sederhana seperti timah, aluminium, dan beberapa keramik berisi bidang atom tembaga dan oksigen. Superkonduktivitas tidak terjadi dalam logam mulia seperti emas dan perak, atau pada beberapa logam ferromagnetik, meskipun ada beberapa material dapat menampilkan sifat superkonduktivitas dan ferromagnetisme. Bahan superkonduktor sudah banyak digunakan dalam berbagai bidang. Efek Meissner dalam superkonduktor digunakan pada bidang transportasi, yaitu pengangkatan magnet oleh superkonduktor (Susanti, 2010). Hal ini diterapkan pada kereta api supercepat di Jepang, ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Aplikasi superkonduktor dalam bidang transportasi, yaitu kereta api (Anonim A, 2012).

B. Sifat Dasar Superkonduktor

Suatu bahan dikatakan superkonduktor apabila mempunyai sifat-sifat berikut:

- Tanpa resistivitas (hambatan nol) untuk semua suhu di bawah suhu kritis.

- Medan magnetik di dalam bahan superkonduktor sama dengan nol (Anonim A, 2012).

Superkonduktivitas suatu bahan akan hilang apabila temperatur bahan lebih tinggi dari suhu kritis, bila bahan berada pada medan magnet yang cukup kuat atau mengalirkan arus dengan kerapatan tinggi. Kekuatan medan magnet kritis (H_c), rapat arus kritis (J_c), dan suhu kritis (T_c), merupakan variabel yang saling bergantung satu sama lainnya. Apabila bahan superkonduktor diberi medan magnet luar yang diperbesar, maka pada suatu nilai medan magnet tertentu, sifat superkonduktor tersebut akan hilang. Nilai atau besar medan magnet pada suatu bahan kehilangan sifat superkonduktornya disebut medan magnet kritis (H_c) (Cadden, 2009).

Superkonduktor sistem Bismuth terdiri atas tiga fase, yaitu T_c -rendah 2201 (10K) dan fase T_c -tinggi 2212 (80K) serta 2223 (110K). Sintesis fase tunggal atau kristal tunggal superkonduktor sistem bismuth, khususnya fase T_c -tinggi (fase 2223) masih sangat susah dalam mendapatkan kualitas sempurna mungkin. Hal ini disebabkan jangkauan suhu pembentukan superkonduktor fase 2223 sangat pendek, yaitu berkisar antara 835°C sampai 857°C (Yulianti, 2002).

Beberapa upaya yang telah dilakukan untuk memperoleh fase tunggal atau kristal tunggal superkonduktor fase 2223, seperti penggunaan doping Pb dan doping Sb, penggunaan fluks (Bi_2O_3 , KCl, dan NaCl). Disamping itu, juga dilakukan dengan mengubah beberapa parameter pemrosesan seperti variasi komposisi awal. Namun semua penelitian tersebut belum mampu menghasilkan sampel sesuai dengan yang diharapkan (Yulianti, 2002).

Berdasarkan nilai resistivitas listriknya, bahan dapat digolongkan dalam empat jenis, seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Empat jenis nilai resistivitas bahan (Anonim A, 2012).

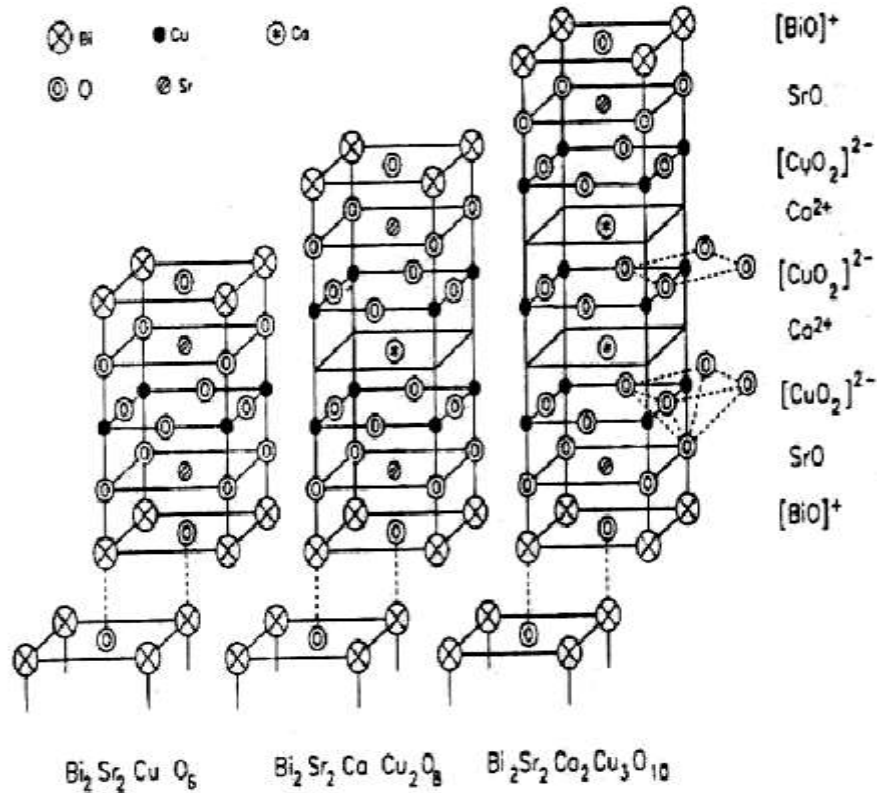
Bahan	Resistivitas (Ωm)	Contoh
Isolator	$10^5 - 10^{17}$	Silika, berlian, kuarsa.
Semikonduktor	$10^{-5} - 10^5$	Germanium, silikon.
Konduktor	$10^{-8} - 10^{-5}$	Emas, perak.
Superkonduktor	0	Plumbum, aluminium, dan berdasarkan kuprum oksida (pada suhu rendah).

Superkonduktor terdiri dari logam dan panduan logam, mempunyai salah satu sifat khusus yaitu tidak mempunyai nilai resistivitas listrik ($\rho \sim 0$) pada temperatur transisi yang cukup rendah, yang disebut temperatur kritis. Dalam teori BCS (Bardeen, Cooper, dan Schrieffer) dikatakan bahwa pada temperatur rendah elektron-elektron dalam superkonduktor selalu dalam keadaan berpasangan-pasangan. Pasangan-pasangan ini disebut pasangan Cooper. Pasangan Cooper tahan terhadap peristiwa hamburan elektron akibat kecacatan atau bahan asing (*impurities*) dan *phonon* (energi getaran kerangka kristal bahan), sehingga bahan superkonduktor tidak mempunyai resistivitas listrik (Kittel, 1996).

C. Superkonduktor BSCCO

BSCCO (Bi-Sr-Ca-Cu-O) merupakan salah satu bahan superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST), karena mempunyai suhu kritis tinggi dan memiliki beberapa keunggulan serta keistimewaan dibandingkan superkonduktor keramik yang lainnya (Siswanto, 2002). Untuk sistem Bi-Sr-Ca-Cu-O, fase-fase superkonduktor T_c tinggi (Bi-2212 dan Bi-2223), fase T_c rendah (Bi-2201) serta senyawa impuritas dapat terbentuk dalam keadaan setimbang sebagai campuran dua fase

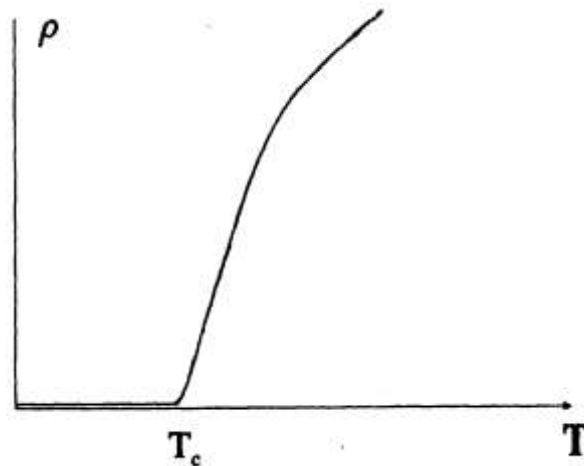
atau lebih (Suprihatin, 2002). Struktur kristal fase-fase tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur kristal sistem BSCCO (Lehndroff, 2001).

D. Suhu Kritis

Suatu bahan dapat berubah dari keadaan normal ke keadaan superkonduktor. Besaran fisis yang berkaitan dengan transisi superkonduktor adalah resistivitas bahan, dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Resistivitas sebagai fungsi suhu (Pikatan, 1989).

Pada suhu $T > T_c$ bahan dikatakan berada dalam keadaan normal. Sedangkan untuk suhu $T < T_c$ bahan berada dalam keadaan superkonduktor. Sifat superkonduktor adalah resistivitasnya nol ($\rho=0$) di bawah suhu tertentu. Suhu tersebut dikenal sebagai suhu kritis (T_c) atau suhu transisi dari keadaan normal ke keadaan superkonduktif (Ningrum, 2006).

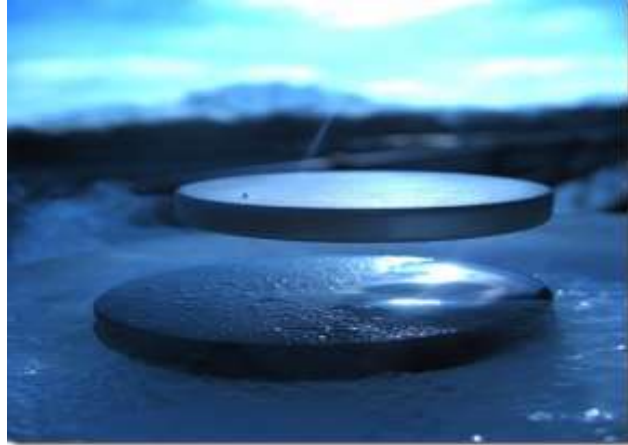
E. Efek Meissner

Sifat kemagnetan superkonduktor diamati oleh *Meissner* dan *Ochsenfeld* pada tahun 1933, ternyata superkonduktor berkelakuan seperti bahan diamagnetik sempurna. Suatu superkonduktor dalam medan magnet pada kesetimbangan termal akan timbul arus permukaan. Medan magnet dari luar yang dikenakan pada bahan superkonduktor akan ditolak oleh medan magnet akibat arus permukaan tersebut. Jadi kerentanan magnetnya (*susceptibility*) $\chi = -1$, apabila dibandingkan dengan konduktor biasa yang $\chi = -10^{-5}$. Fenomena ini disebut efek Meissner. (Pikatan, 1989).

Dalam bahan superkonduktor, medan listrik dan medan magnet sama dengan nol. Akan tetapi pada tahun 1935 London bersaudara melalui penelitian sifat elektrodinamik superkonduktor mendapatkan bahwa intensitas medan magnet masih dapat menembus bahan superkonduktor walaupun hanya sebatas permukaan saja, ordenya hanya beberapa ratus angstrom. Sifat rembesan ini dinyatakan oleh parameter λ yang disebut kedalaman rembesan London (Anonim C, 2012).

Medan magnet ternyata berkurang secara eksponensial terhadap kedalamannya. Apabila medan magnet dapat menembus ke seluruh bagian bahan, maka sifat superkonduktor akan hilang digantikan dengan keadaan normalnya. Teori London ini juga memberikan kesimpulan bahwa dalam bahan superkonduktor arus listrik akan mengalir di bagian permukaannya saja. Hal ini berbeda dengan arus listrik dalam konduktor biasa yang mengalir secara merata di seluruh bagian konduktor (Anonim B, 2012).

Penemuan besar yang telah dilakukan oleh Walther Meissner dan Robert Ochsenfeld dalam memahami gejala superkonduktor, yaitu dapat menunjukkan bahwa suatu bahan ketika didinginkan di bawah temperatur kritis ($T < T_c$) akan menolak medan magnet luar yang mencoba memasuki bahan superkonduktor sehingga induksi magnetik (B) dalam bahan menjadi nol. Fenomena ini disebut efek meissner atau *meissner effect*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Gejala efek meissner (Wanibesak, 2011).

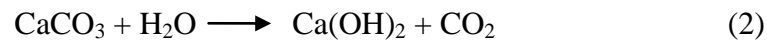
F. CaCO_3 (Kalsium Karbonat)

Kalsium karbonat umumnya berwarna putih dan sering dijumpai pada batu kapur, kalsit, marmer, dan batu gamping. Seperti namanya, kalsium karbonat ini terdiri dari 2 unsur kalsium, 1 unsur karbon dan 3 unsur oksigen. Setiap unsur karbon terikat kuat dengan 3 oksigen, dan ikatannya lebih longgar dari ikatan antara karbon dengan kalsium pada satu senyawa. Kalsium karbonat bila dipanaskan akan pecah dan menjadi serbuk remah yang lunak yang dinamakan kalsium oksida (CaO) (Anonim F, 2012). Hal ini terjadi karena pada reaksi tersebut setiap molekul dari kalsium akan bergabung dengan 1 atom oksigen dan molekul lainnya akan berikatan dengan oksigen menghasilkan CO_2 yang akan terlepas ke udara sebagai gas karbon dioksida, dengan reaksi sebagai berikut:



Reaksi ini akan berlanjut apabila ditambahkan air, reaksinya akan berjalan dengan sangat kuat dan cepat apabila dalam bentuk serbuk. Serbuk kalsium karbonat akan melepaskan kalor. Molekul dari CaCO_3 akan segera mengikat molekul air (H_2O)

yang akan membentuk kalsium hidroksida, zat yang lunak seperti pasta. Sebagaimana ditunjukkan pada reaksi sebagai berikut:



Pembuatan kalsium karbonat dapat dilakukan dengan cara mengeringkan Ca(OH)_2 hingga molekul H_2O dilepaskan ke udara, sedangkan molekul CO_2 diserap dari udara sekitar sehingga Ca(OH)_2 dapat berubah kembali menjadi CaCO_3 . Reaksinya dapat ditunjukkan sebagai berikut:



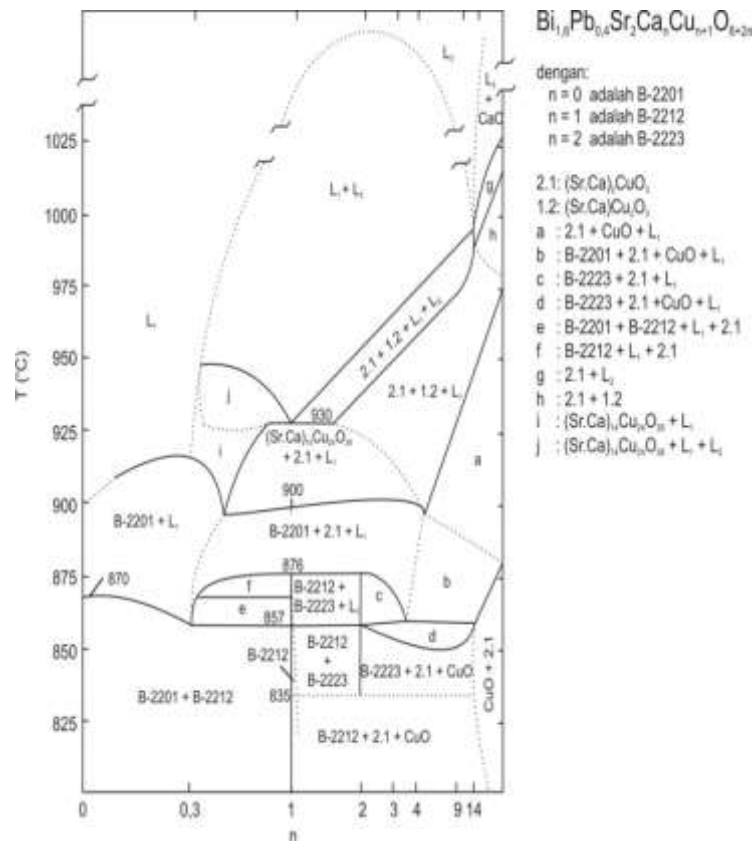
Secara kimia, kalsium karbonat sama saja dengan bahan mentahnya, namun kalsium karbonat yang terbentuk kembali tampak berbeda dari CaCO_3 yang semula sebelum bereaksi, karena kalsium karbonat yang terbentuk kembali tidak terbentuk dalam tekanan yang tinggi di dalam bumi (Anonim F, 2012).

Morfologi partikel CaCO_3 yang terbentuk dapat berupa amorf dan juga polimorf berupa kristal kalsit, aragonit dan vaterit. Kristal kalsit merupakan kristal yang paling banyak dijumpai pada kerak CaCO_3 , dan bersifat menempel kuat di permukaan (*hard scale*). Aragonit dijumpai sebagai kerak CaCO_3 yang mudah terlepas dari dinding (*soft scale*), sedangkan vaterite bersifat tidak stabil dan bertransformasi lanjut menjadi kalsit dengan memakai larutan CaCO_3 dan kuat medan magnet di atas 1 T mendapatkan adanya peningkatan aragonit pada fasa larutan (Nelson dkk, 2006).

G. Pembentukan Fase BSCCO

Superkonduktor sistem BSCCO merupakan sistem multikomponen. Oleh karena itu pembentukan fase kristal bahan superkonduktor menjadi kompleks. Untuk

memahaminya diperlukan diagram fase sebagai panduan dalam pembentukan fase yang diinginkan. Diagram fase superkonduktor BSCCO dapat dilihat pada Gambar 5. Walaupun pada proses sintesis senyawa yang diinginkan merupakan fase dengan komposisi dan struktur tertentu, namun hasil akhir biasanya akan menghadirkan beberapa fase lain (Strobel, 1992).



Gambar 5. Diagram fase superkonduktor BSCCO (Strobel, 1992).

Diagram fase pada Gambar 5 menyatakan hubungan antara suhu dan komposisi pembentukan $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{n+1}\text{O}_{6+2n}$ dengan n berbeda. Dalam diagram fase tersebut terdapat daerah pembentukan fase Bi-2223, yaitu daerah fase Bi-2223 + 2:1 + L1, dan daerah fase Bi-2212 + 2:1 + CuO + L1 (Strobel, 1992).

H. Teori BCS

Teori tentang superkonduktor yang lebih terinci melibatkan mekanika kuantum yang dalam, diajukan oleh *Barden, Cooper* dan *Schrieffer* pada tahun 1957. Sebelumnya, teori ini dikenal sebagai teori BCS yang akhirnya memenangkan hadiah Nobel pada tahun 1972. Dalam teori ini dikatakan bahwa elektron-elektron dalam superkonduktor selalu dalam keadaan berpasang-pasangan dan seluruhnya berada dalam keadaan kuantum yang sama. Pasangan ini disebut pasangan Cooper (Grivel, 1996).

Elektron bergerak sendiri-sendiri dan akan kehilangan sebagian energinya jika ia terhambur oleh kotoran (*impurities*) atau oleh *phonon*. *Phonon* adalah energi kuantum getaran kerangka (*lattice*) kristal bahan. Elektron tersebut akan menimbulkan distorsi terhadap kerangka kristal sehingga menimbulkan daerah tarikan. Tarikan ini dalam superkonduktor pada suhu rendah bisa mengalahkan tolakan Coulomb antar elektron, sehingga dengan tarik-menarik *phonon* antara kedua elektron akan membentuk ikatan menjadi pasangan Cooper (Kovac, 1995). Oleh karena keadaan kuantum semuanya sama, suatu elektron tidak dapat terhambur tanpa mengganggu pasangannya, padahal pada suhu $T < T_c$ getaran kerangka tidak memiliki cukup energi untuk mematahkan ikatan pasangan tersebut. Akibatnya akan tahan terhadap hamburan, jadilah bahan superkonduktor.

I. XRD (*X-Ray Diffraction*)

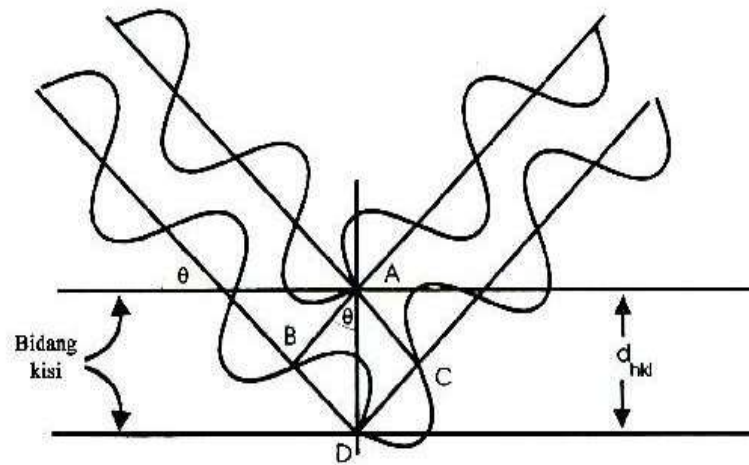
Sinar-X ditemukan pada tahun 1895 oleh seorang ilmuwan bernama Wilhelm Roentgen yang mampu menentukan struktur kristal. Difraksi sinar-X merupakan

suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya fasa kristalin di dalam material dan serbuk, dan untuk menganalisis sifat-sifat struktur (seperti ukuran butir, fasa komposisi orientasi kristal, dan cacat kristal) dari tiap fasa. Metode ini menggunakan sebuah sinar-X yang terdifraksi seperti sinar yang direfleksikan dari setiap bidang, berturut-turut dibentuk oleh atom-atom kristal dari material tersebut. Dengan berbagai sudut hambur, pola difraksi yang terbentuk menyatakan karakteristik dari sampel. Susunan ini diidentifikasi dengan membandingkannya dengan sebuah data *base* internasional (Zakaria, 2003). Sinar-X terjadi jika suatu bahan ditembak oleh elektron dengan kecepatan dan tegangan yang tinggi dalam suatu tabung vakum (Cullity, 1978). Sinar-X merupakan bentuk dari radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang $\lambda = 0,05$ sampai $0,25 \text{ nm}$ ($0,5-2,5 \text{ \AA}$) yang mendekati jarak antar atom kristal (Grant dan Suryanarayana, 1998). Sinar ini merupakan besaran dalam orde dimensi atomik yang cocok untuk analisis kristal, dimana besarnya tergantung target yang digunakan. Pada umumnya, difraksi sinar-X menggunakan target sebagai sumber radiasi diantaranya adalah Cu, Co, Cr, Mo dan Fe (Smith, 1996).

Sistem kerja difraksi sinar-X didasarkan pada hukum Bragg yang menjelaskan tentang pola, intensitas, dan sudut difraksi (2θ) yang berbeda-beda dalam setiap bahan. Interferensi berupa puncak-puncak sebagai hasil difraksi dimana terjadi interaksi antara sinar-X dengan atom-atom pada bidang kristal (Darminto dkk, 1999).

Suatu kristal memiliki susunan atom yang teratur dan berulang, memiliki jarak antar atom yang ordenya sama dengan panjang gelombang sinar-X. Akibatnya,

bila seberkas sinar-X ditembakkan pada suatu material kristalin, maka sinar tersebut akan menghasilkan pola difraksi. Pola difraksi yang dihasilkan sesuai dengan susunan atom pada kristal tersebut. Ketika suatu berkas sinar-X diarahkan pada bidang-bidang kristal tersebut, maka akan timbul pola-pola difraksi ketika sinar-X melewati celah-celah kecil di antara bidang-bidang kristal tersebut (Rahman, 2008), seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 6, sedangkan sisanya akan diteruskan menembus bidang.



Gambar 6. Pemantulan berkas sinar-X monokromatis oleh dua bidang kisi dalam kristal, dengan sudut sebesar θ dan jarak antara bidang kisi sebesar d_{hkl} (George dkk, 2010).

Perumusan secara matematik dapat dikemukakan dengan menghubungkan panjang gelombang sinar-X, jarak antar bidang dalam kristal, dan sudut difraksi:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (1) \quad (4)$$

λ adalah panjang gelombang sinar-X, d adalah jarak antar kisi kristal, θ adalah sudut datang sinar, dan $n = 1, 2, 3$, dan seterusnya adalah orde difraksi. Persamaan Bragg tersebut digunakan untuk menentukan parameter sel kristal (Cullity, 1978). Sedangkan untuk menentukan struktur kristal, dapat dilakukan menggunakan

metoda komputasi kristalografik, data intensitas digunakan untuk menentukan posisi-posisi atomnya (Suryanarayana *and* Norton, 1998).

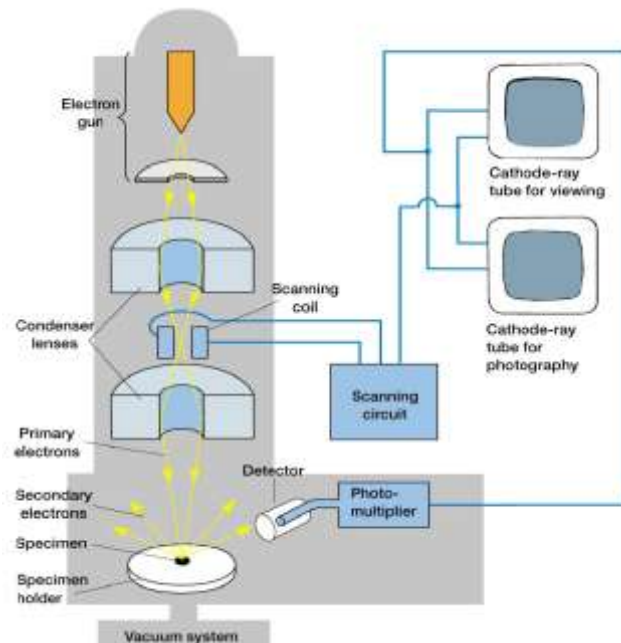
J. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Mikroskop elektron adalah sebuah mikroskop yang mampu untuk melakukan pembesaran objek sampai 2 juta kali, yang menggunakan elektro statik dan elektro magnetik untuk mengontrol pencahayaan dan tampilan gambar serta memiliki kemampuan pembesaran objek serta resolusi yang jauh lebih bagus daripada mikroskop cahaya. Mikroskop elektron ini menggunakan jauh lebih banyak energi dan radiasi elektromagnetik yang lebih pendek dibandingkan mikroskop cahaya. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya (Sukirman, 1991).

Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm. Disamping itu, dengan menggunakan elektron kita juga bisa mendapatkan beberapa jenis pantulan yang berguna untuk keperluan karakterisasi. Jika elektron mengenai suatu benda maka akan timbul dua jenis pantulan yaitu pantulan elastis dan pantulan non elastis (Anonim D, 2012).

Secara sederhana, prinsip kerja SEM hampir sama dengan mikroskopi optik (MO), hanya saja SEM memiliki resolusi dan kedalaman fokus yang sangat tinggi dibandingkan dengan mikroskopi optik, sehingga tekstur, morfologi, topografi serta tampilan permukaan sampel dapat dilihat dalam ukuran mikron. Keunggulan SEM terutama disebabkan oleh beragam sinyal yang dihasilkan oleh interaksi berkas elektron dengan sampel, deteksi dan pengolahan terhadap sinyal yang

beragam itu menghasilkan berbagai data (Wisnuariadi dkk, 2003). Secara lengkap prinsip kerja SEM dijelaskan pada Gambar 7.



Gambar 7. Prinsip kerja SEM (Anonim E, 2012).

Cara kerja SEM adalah gelombang elektron yang terkondensasi di lensa kondensor dan terfokus sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif. *Scanning coil* yang diberi energi menyediakan medan magnetik bagi sinar elektron. Berkas sinar elektron yang mengenai cuplikan menghasilkan elektron sekunder dan kemudian dikumpulkan oleh detektor sekunder atau detektor *backscatter*. Gambar yang dihasilkan terdiri dari ribuan titik berbagai intensitas di permukaan *Cathode Ray Tube* (CRT) sebagai topografi gambar (Kroschwitz, 1990).

Pada sistem ini berkas elektron dikonsentrasikan pada spesimen, bayangannya diperbesar dengan lensa objektif dan diproyeksikan pada layar. Sebuah ruang vakum diperlukan untuk preparasi cuplikan. Cuplikan yang akan dianalisis dalam

kolom SEM perlu dipersiapkan, meskipun ada jenis SEM yang tidak memerlukan pelapisan (*coating*) cuplikan. Terdapat tiga tahap persiapan cuplikan, antara lain (Gedde, 1995):

1. Pelet dipotong menggunakan gergaji intan. Membersihkan seluruh kandungan air, larutan dan semua benda yang dapat menguap apabila divakum.
2. Cuplikan dikeringkan pada 60 °C minimal 1 jam.
3. Cuplikan non logam harus dilapisi dengan emas tipis. Cuplikan logam dapat langsung dimasukkan dalam ruang cuplikan.

Pada sebuah mikroskop elektron (SEM) terdapat beberapa peralatan utama antara lain:

1. Pistol elektron, biasanya berupa filamen yang terbuat dari unsur yang mudah melepaskan elektron misalnya tungsten.
2. Lensa untuk elektron, berupa lensa magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan oleh medan magnet.
3. Sistem vakum, karena elektron sangat kecil dan ringan, maka jika ada molekul udara yang lain, elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpecah oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran sehingga menghilangkan molekul udara menjadi sangat penting.

Selain itu *Scanning Electron Microscopy* (SEM) juga memiliki aplikasinya. Aplikasi dari teknik SEM-EDS sebagai berikut (Sampson, 1996):

1. Topografi : menganalisis permukaan dan tekstur (kekerasan dan reflektivitas).
2. Morfologi : menganalisis bentuk dan ukuran dari benda sampel.

3. Komposisi : menganalisis komposisi dari permukaan benda secara kuantitatif dan kualitatif.

K. Celref

Celref adalah *software* satuan yang lengkap berdasarkan proses *refine* suatu data. *Refine* adalah suatu proses pengukuran parameter sel yang menggunakan program koreksi ulang pada puncak-puncak data hasil difraksi sinar-X yang dilakukan dengan bantuan *software* untuk menganalisis hasil pengukuran XRD. Fungsi dari *software* Celref adalah untuk mengimpor data mentah atau data puncak hasil pengukuran XRD dengan cara perhitungan jumlah garis pada puncak berdasarkan *auto-select* atau *auto-match*. Celref juga memiliki cara kerja yang mudah dalam menetapkan puncak dari data mentah melalui pencarian parameter sel yang paling mungkin dari tabel internasional yang telah baku menurut program (*auto-select* atau *auto-match*). Setelah proses pencarian parameter sel yang paling mungkin, maka akan diperoleh tampilan dari visual grafik yang paling tepat (Laugier dan Bernard, 2001).

Saat proses *refine*, apabila parameter sel yang diukur tidak sebanding dengan jumlah puncak yang berlaku dalam program tersebut, maka akan dicari model yang tepat sehingga sesuai dengan data awal yang diukur. Misalnya untuk struktur kubik akan lebih baik mengukur hanya dalam satu puncak, yaitu pada puncak maksimum sudut *theta* daripada menggunakan banyak puncak. Hal ini diasumsikan bahwa dalam banyak puncak menghasilkan koreksi kesalahan yang lebih kompleks, sehingga diperlukan analisis program yang lebih sederhana (Laugier dan Bernard, 2001).