

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Superkonduktor

Sifat superkonduktivitas bahan ditemukan pertama kali oleh Heike Kammerlingh Onnes pada tahun 1911. Pada saat itu, dia sedang mencoba mengamati hambatan jenis (*resistivity*) logam merkuri (Hg) ketika didinginkan sampai suhu helium cair. Ternyata dia mendapatkan hambatan jenis merkuri tiba-tiba turun drastis mendekati nol pada suhu 4,2 K. 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.

Beberapa ilmuwan pada waktu itu seperti William Kelvin memperkirakan bahwa elektron yang mengalir dalam konduktor akan berhenti ketika suhu mencapai nol mutlak. Dilain pihak, ilmuwan yang lain termasuk Onnes memperkirakan bahwa hambatan akan menghilang pada keadaan tersebut. Untuk mengetahui yang sebenarnya terjadi, Onnes mengalirkan arus pada kawat merkuri yang sangat murni, kemudian mengukur hambatannya sambil menurunkan suhunya. Pada suhu

4,2 K, Onnes mendapatkan hambatannya tiba-tiba menjadi hilang. Arus mengalir melalui kawat merkuri terus-menerus. Dengan tidak adanya hambatan, maka arus dapat mengalir tanpa kehilangan energi. Fenomena konduktivitas sempurna inilah yang disebut superkonduktivitas, dan bahan yang mempunyai sifat superkonduktif ini dinamakan bahan superkonduktor.

Superkonduktor merupakan bahan yang dapat menghantarkan arus listrik tanpa hambatan di bawah nilai temperatur tertentu (Darminto dkk, 1999). Suhu ketika suatu bahan superkonduktor mulai mempunyai sifat superkonduktif disebut suhu kritis ( $T_c$ ) (Cyrot dan Pavuna, 1992). Suatu superkonduktor dapat saja berupa suatu konduktor, semikonduktor ataupun suatu insulator pada keadaan ruang (Ismunandar, 2002). Pada prinsipnya, superkonduktor dapat mengalirkan arus listrik tanpa kehilangan energi. Namun secara praktek, superkonduktor ideal sangat sulit untuk dihasilkan (Aruku, 2009).

Seiring dengan kemajuan teknologi, kini ditemukan bahan superkonduktor suhu kritis tinggi (SKST), yang umumnya berupa senyawa multikomponen, mempunyai multiphase, memiliki sifat anisotropis yang berhubungan dengan struktur yang berlapis dan efek fluktuasi termal. Salah satu bahan SKST yang penting adalah sistem BSCCO, karena suhu kritisnya yang relatif tinggi (Yulianti, 2002).

## **B. Sifat Dasar Superkonduktor**

Suatu material dapat dikatakan bersifat superkonduktor jika menunjukkan dua sifat khusus, yaitu: (1) tanpa resistivitas (*zero resistivity*) atau  $\rho = 0$  pada

temperatur  $T \leq T_c$  dan (2) diamagnetik sempurna (*perfect diamagnetism*) dengan  $B = 0$  pada temperatur  $T \leq T_c$  dan medan magnet  $B \leq B_c$  (Cyrot and Pavuna, 1992).

### **1. Konduktivitas Sempurna Bahan Superkonduktor**

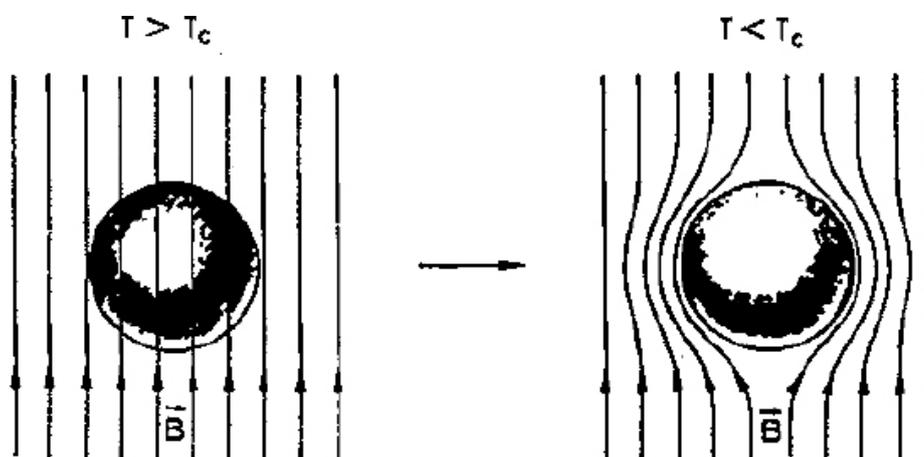
Pada suhu rendah, bahan superkonduktor memiliki resistivitas sama dengan nol ( $\rho = 0$ ). Material yang didinginkan di dalam nitrogen cair atau helium cair, resistivitas material ini akan turun seiring dengan penurunan suhu. Pada suhu tertentu, resistivitas material akan turun secara drastis menjadi nol. Suhu dimana resistivitas material turun drastis menjadi nol ini disebut dengan suhu kritis ( $T_c$ ), yaitu terjadinya transisi dari keadaan normal ke keadaan superkonduktor (Pikatan, 1989).

Pada tahun 1957, tiga orang fisikawan yaitu Barden, Cooper dan Schrieffer mengajukan teori tentang superkonduktor yang kemudian dikenal dengan nama teori BCS. Dalam teori ini dikatakan bahwa elektron-elektron dalam superkonduktor selalu dalam keadaan berpasang-pasangan dan seluruhnya berada dalam keadaan kuantum yang sama, pasangan-pasangan ini disebut pasangan *Cooper*. Kita bandingkan dengan elektron konduksi dalam konduktor biasa. Di sini elektron bergerak sendiri-sendiri dan akan kehilangan sebagian energinya jika ia terhambur oleh kotoran (*impurities*) atau oleh *phonon*. *Phonon* adalah kuantum energi 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 tukar menukar *phonon* dua

elektron justru akan membentuk ikatan menjadi pasangan *Cooper*. Oleh karena keadaan kuantum mereka 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 mereka tahan terhadap hamburan, jadilah bahan tersebut superkonduktor (Pikatan, 1989).

## 2. Sifat Magnetik Superkonduktor (Efek Meissner)

Pada tahun 1933 Meissner dan Ochsenfeld menemukan suatu fenomena unik, yaitu jika suatu bahan superkonduktor ditempatkan pada suatu medan magnet eksternal ( $B$ ) dan bahan tersebut didinginkan di bawah suhu kritisnya, maka akan terjadi eksklusi fluks magnetik (penolakan garis-garis gaya magnet) (Salmah, 2001). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Eksklusi fluks magnetik saat  $T < T_c$  (Kittel, 1996).

Sifat magnetik superkonduktor tersebut dapat dilihat dengan pengujian efek Meissner seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Efek Meissner pada superkonduktor yang memberikan gejala penolakan medan magnet luar (Wanibesak, 2011).

Efek Meissner ini sedemikian kuatnya sehingga sebuah magnet dapat melayang karena ditolak oleh bahan superkonduktor. Medan magnet ini juga tidak boleh terlalu besar. Apabila medan magnetnya terlalu besar, maka efek Meissner ini akan hilang dan material akan kehilangan sifat superkonduktivitasnya. Ketika bahan superkonduktor didinginkan di bawah temperatur kritis, bahan tersebut akan menolak medan magnet luar yang mencoba untuk memasuki bahan, sehingga induksi magnet ( $B$ ) dalam bahan menjadi nol. Fenomena ini disebut Efek Meissner (Shukor, 2009).

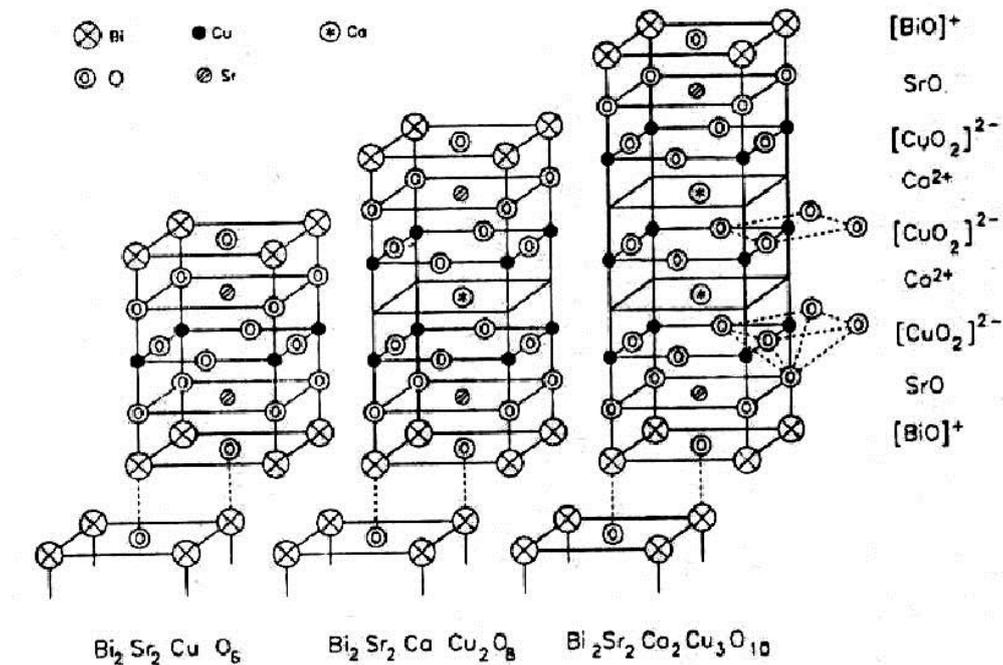
### **C. Superkonduktor Sistem BSCCO**

Superkonduktor sistem BSCCO merupakan superkonduktor oksida keramik yang mempunyai struktur berlapis-lapis sehingga menyebabkan bahan superkonduktor sistem BSCCO sangat rapuh dan mudah patah. Selain itu, superkonduktor sistem

BSCCO memiliki sifat anisotropi superkonduktivitas yang tinggi dan panjang koherensi yang pendek (Herlyn, 2008).

Superkonduktor sistem BSCCO memiliki beberapa keunggulan dan keistimewaan dibandingkan superkonduktor keramik yang lainnya karena suhu kritisnya ( $T_c$ ) relatif tinggi. Dalam superkonduktor sistem BSCCO dikenal 3 fase superkonduktif yaitu fase 2201 dengan komposisi  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}$  memiliki suhu kritis ( $T_c$ ) sebesar 10 K, fase 2212 dengan komposisi  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}$  memiliki suhu kritis ( $T_c$ ) sebesar 80 K dan fase 2223 dengan komposisi  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}$  memiliki suhu kritis ( $T_c$ ) sebesar 110 K (Siswanto, 1999). Superkonduktor sistem Bi-2212 memiliki parameter kisi  $a = 5,4 \text{ \AA}$  ;  $b = 5,4 \text{ \AA}$  dan  $c = 30,89 \text{ \AA}$ . Sistem Bi-2212 mempunyai lapisan  $\text{CuO}_2$  ganda, dua lapisan semikonduktor BiO dan lapisan isolator SrO (Darminto dan Rahmawati, 2008).

Struktur kristal sistem BSCCO merupakan sistem struktur tetragonal, yang sering disebut struktur *perovskite* berbentuk lapisan (*plate like*) dengan lapisan Cu-O merupakan lapisan superkonduksi. Bentuk strukturnya sangat kompleks dengan lapisan interlaksi Bi-O diantara lapisan konduksi  $\text{CuO}_2$  yang berperan sebagai muatan *reservoir* yang penting untuk menyediakan pembawa muatan (*carrier*) dalam lapisan Cu-O (Hu, 1996), seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.

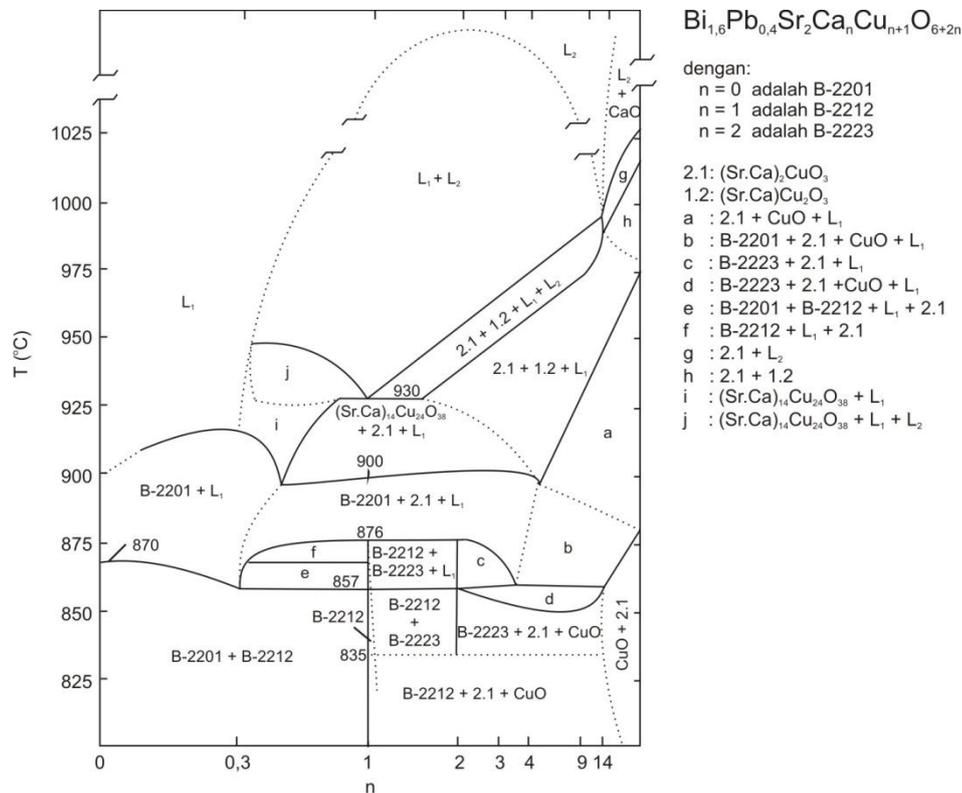


**Gambar 3.** Struktur kristal ketiga fase superkonduktor BSCCO (Lehndroff, 2001).

#### D. Diagram Fase Sistem BSCCO

Untuk merancang dan mengendalikan eksperimen, sintesis suatu bahan akan menuju kepada pembentukan fase dan kristal dengan komposisi dan struktur khusus. Tetapi proses sintesis yang dipergunakan umumnya akan menghadirkan beberapa fase lain dan melibatkan reaksi peralihan antara fase yang berbeda. Oleh karena itu, untuk mencapai sasaran yang tepat diperlukan adanya pedoman atau peta jalan (*roadmaps*), yang dikenal sebagai diagram fase dari sistem yang bersangkutan. Dengan bantuan diagram fase, komposisi bahan dan suhu pada setiap tahap proses sintesis secara menyeluruh dapat dirancang secara cermat (Nurmalita, 2002).

Diagram fase yang digunakan untuk sintesis superkonduktor  $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{n+1}\text{O}_{6-2n}$ , dengan  $n$  menyatakan indeks molar unsur Ca seperti terlihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Diagram fase superkonduktor BPSCCO (Strobel *et al.*, 1992).

Untuk bahan sistem Bi-Sr-Ca-Cu-O terdapat 3 fase superkonduktif yaitu fase Bi-2201, Bi-2212 dan Bi-2223. Daerah-daerah fase tersebut dapat digambarkan dalam satu diagram fase tertentu, yang khas dan sangat bergantung pada komposisi unsur penyusunnya (Diantoro, 1997). Sedangkan pada sistem multikomponen, diagram fase tersebut umumnya terbagi dalam sejumlah daerah fase yang rumit seperti terlihat pada Gambar 4 yang telah dibuat untuk sistem BPSCCO, yaitu sistem BSCCO dengan substitusi parsial Bi dengan Pb (Strobel *et al.*, 1992).

### **E. Peranan Dopan Pb**

Dopan berperan penting dalam pembentukan superkonduktor  $T_c$  tinggi. Dopan dapat berupa substitusi artinya mengganti atom asli di dalam superkonduktor dengan atom dopan yang ukurannya tidak jauh berbeda dengan ukuran atom aslinya. Dopan juga dapat berupa penambahan artinya menambahkan atom-atom dopan ke dalam atom-atom asli superkonduktor. Penambahan doping Pb pada Bi-2212 akan meningkatkan derajat orientasi kristal yang terbentuk (Nurmalita, 2002). Dari hasil yang dilaporkan, penggunaan dopan Pb dalam sintesis polikristal sistem Bi selain memudahkan pembentukan senyawa bersangkutan, juga mempengaruhi sifat-sifat senyawa yang dihasilkan. Karena kemiripan ukuran ion dan persyaratan valensi dari atom Pb maka telah diyakini bahwa penambahan Pb sebagai dopan menghasilkan substitusi atom Bi oleh atom Pb pada lapisan ganda Bi-O.

Superkonduktor BPSCCO-2212 memiliki sifat karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan BSCCO-2212. Hal ini karena ikatan jaringan antar butir pada BSCCO-2212 sangat lemah. Hubungan yang buruk pada kristalinitas menunjukkan sangat tingginya resistivitas pada keadaan normal, koefisien temperatur resistivitas ( Miller *et al.*, 2005).

### **F. Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )**

Kalsium karbonat adalah sebuah senyawa kimia dengan rumus kimia  $\text{CaCO}_3$ . Material ini biasa digunakan dalam bidang kedokteran sebagai tambahan kalsium atau sebagai *antasid*. Kalsium karbonat merupakan unsur aktif dalam kapur

pertanian dan merupakan suatu zat yang biasa ditemukan sebagai batuan di seluruh penjuru dunia, serta merupakan komponen utama dari kerang laut dan kulit keong atau siput. Kalsium karbonat umumnya berwarna putih dan umumnya sering dijumpai pada batu kapur, kalsit, marmer dan batu gamping. Selain itu kalsium karbonat juga banyak dijumpai pada stalaktit dan stalagmit yang terdapat di sekitar pegunungan. Karbonat yang terdapat pada stalaktit dan stalagmit berasal dari tetesan air tanah selama ribuan bahkan jutaan tahun. Seperti namanya, kalsium karbonat ini terdiri dari 1 unsur kalsium dan 1 unsur karbon dan 3 unsur oksigen. Setiap unsur karbon terikat kuat dengan 3 oksigen, tetapi ikatannya lebih longgar dari ikatan antara karbon dengan kalsium pada satu senyawa. Kalsium karbonat bila dipanaskan akan pecah menjadi serbuk remah yang lunak yang dinamakan kalsium oksida (CaO) (Anonim A, 2009). 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<sub>2</sub> yang akan terlepas ke udara sebagai gas karbon dioksida dengan reaksi sebagai berikut:

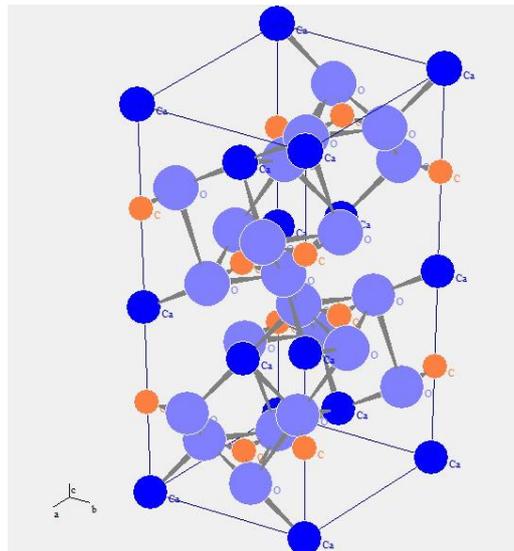


Kalsium karbonat memiliki sifat kimia yang sama dengan karbonat-karbonat yang lain, yaitu jika kalsium karbonat bereaksi dengan asam kuat, maka akan melepaskan karbon dioksida, seperti persamaan berikut:



Pada Gambar 5 ditunjukkan struktur kristal dari kalsium karbonat atau yang dikenal dengan rumus kimia CaCO<sub>3</sub> yang terdiri dari atom-atom Ca (kalsium), C (karbon), dan O (oksigen) yang memiliki *space group* R-3c dengan nilai *space*

*group* yaitu 161 dengan jari-jari ionik  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{C}^{4+}$  dan  $\text{O}^{2-}$  secara berturut-turut yaitu 1.05 Å, 0.77 Å, 1.35 Å dan *perspective* 1.00 dan *size factor* 0.50 kemudian dengan nilai komposisi atom  $a = 5.0492$  Å,  $b = 5.0492$  Å,  $c = 17.3430$  Å dan nilai sudut  $\alpha = \beta = 90^\circ$  dan  $\gamma = 120^\circ$  (Antao and Hasan, 2009).



**Gambar 5.** Struktur kristal kalsium karbonat (Antao and Hasan, 2009).

### G. Kalsinasi

Kalsinasi merupakan proses pembakaran tahap awal yang berupa reaksi dekomposisi secara endotermik. Kalsinasi berfungsi melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat atau hidroksida, sehingga menghasilkan bahan dalam bentuk oksida. Kalsinasi juga menghilangkan zat-zat yang tidak dibutuhkan seperti  $\text{H}_2\text{O}$ , air kristal (dalam bentuk OH) dan gas ( $\text{CO}_2$ ).

Kalsinasi merupakan perlakuan panas terhadap campuran serbuk yang sudah dipelet pada suhu tertentu, tergantung pada jenis bahan. Peristiwa yang terjadi selama proses kalsinasi antara lain:

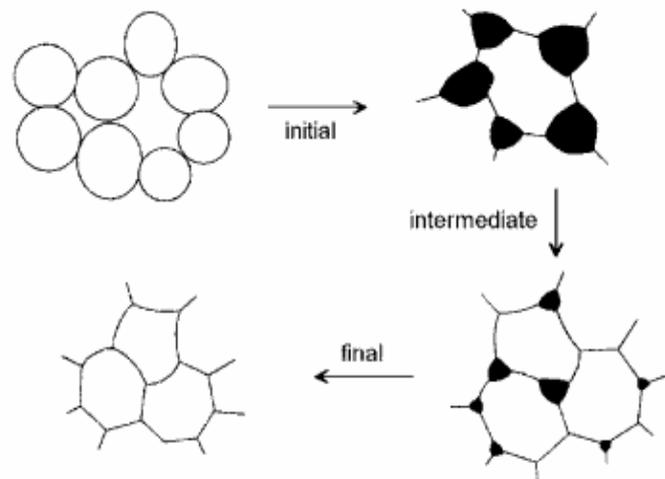
- a) Pelepasan air bebas ( $H_2O$ ) dan terikat ( $OH$ ) berlangsung sekitar suhu  $100^{\circ}C$  hingga  $300^{\circ}C$ .
- b) Pelepasan gas-gas seperti:  $CO_2$  berlangsung sekitar suhu  $600^{\circ}C$  dan pada tahap ini disertai terjadinya pengurangan berat yang cukup berarti.
- c) Pada suhu lebih tinggi, sekitar  $800^{\circ}C$  struktur kristalnya sudah terbentuk, dimana pada kondisi ini ikatan diantara partikel serbuk belum kuat dan mudah lepas (James S.R, 1988).

## H. Sintering

Sintering adalah suatu proses pemanasan pada suhu dan waktu tertentu. Pada proses ini terjadi perubahan struktur mikro seperti perubahan ukuran pori, pertumbuhan butir (*grain growth*), peningkatan densitas, dan penyusutan massa. Proses sintering dimulai dengan partikel halus yang beraglomerasi menjadi bubuk yang dikehendaki, dilanjutkan dengan pembakaran yang dapat mengikat partikel. Sintering memerlukan suhu tinggi agar partikel halus dapat beraglomerasi menjadi bahan padat. Sintering menyebabkan butiran-butiran partikel saling mendekat sehingga menyebabkan transformasi padatan berpori menjadi padat (Smith, 1990). Faktor-faktor yang menentukan proses sintering antara lain adalah jenis bahan, komposisi, bahan pengotornya, dan ukuran partikel. Proses sintering berlangsung apabila terjadi transfer materi diantara butiran (difusi) dan terdapat sumber energi untuk mengaktifkan transfer materi (menggerakkan butiran sehingga terjadi kontak dan ikatan yang sempurna) (Ristic, 1989).

Gambar 6 menunjukkan proses sintering dalam suatu sampel. Proses sintering dibagi menjadi tiga tahap yaitu: tahap awal, tahap medium (pertengahan), dan

tahap akhir. Selama tahap awal, kontak titik antar partikel terus meningkat hingga membentuk pertumbuhan leher (*neck growth*). Pada tahap pertengahan, penggabungan antar butir terus terjadi sehingga membentuk saluran pori yang kontinu, rongga mulai hilang dari saluran silinder. Pada tahap akhir, saluran pori yang kontinu menghilang dan berubah bentuk menjadi pori-pori individu (Barsoum, 1997).



**Gambar 6.** Tahapan terbentuknya pertumbuhan leher (*neck growth*) dalam proses sintering (Barsoum, 1997).

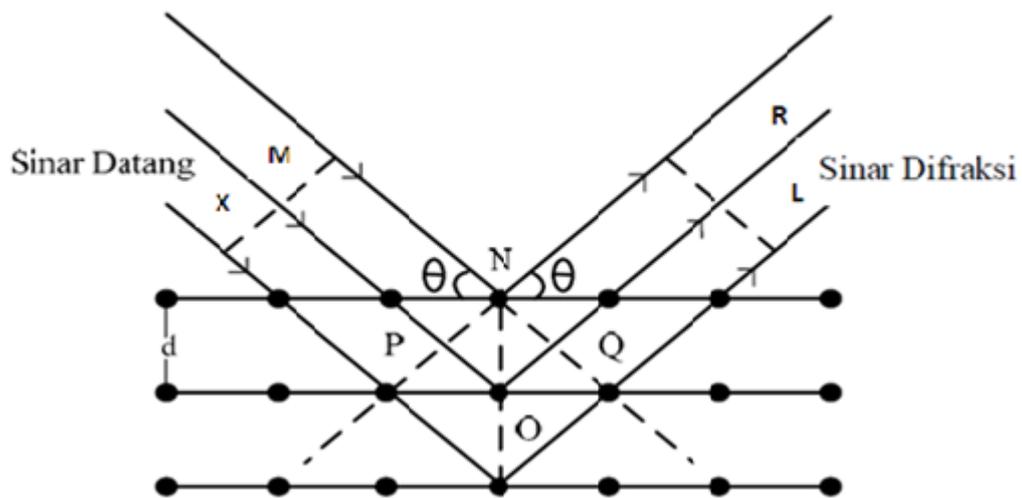
Proses sintering melalui fasa padat (*solid state sintering*) terjadi karena energi penggeraknya adalah perbedaan energi bebas atau potensial kimia antara permukaan partikel-partikel yang berdekatan, sehingga partikel-partikel tersebut akan saling menempel dan berdifusi satu sama lain. Proses difusi ini juga melibatkan perpindahan atom-atom yang kosong di sepanjang permukaan bahan atau antara batas butir. Akibatnya, ukuran pori-porinya mengecil sehingga dapat mengakibatkan penyusutan volume yang dibarengi dengan peningkatan kekuatan mekanik bahan tersebut (Kingery *et al.*, 1976).

## **I. X-Ray Diffraction (XRD)**

Suatu material dapat dipelajari kisi-kisi ruang dari intensitasnya secara cepat dan akurat menggunakan difraksi sinar-X (Brindley dan Brown, 1980). Sinar-X ditemukan pertama kali oleh Wilhelm Rontgen pada tahun 1895, ketika elektron yang dipercepat dengan tegangan yang tinggi dalam tabung vakum mengenai target yang berupa logam atau gelas, dan kemudian dihamburkan oleh target tersebut (Giancoli, 1984).

Prinsip terjadinya difraksi sinar-X sangat berbeda dengan difraksi yang dikenal pada umumnya (difraksi cahaya). Perbedaan tersebut dapat dilihat pada teori dan kegunaannya. Menurut Cullity (1978), sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang sekitar 0,5-2,5 Å. Bila seberkas sinar-X dengan panjang gelombang  $\lambda$  diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut datang  $\theta$ , maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang atom kristal dan menghasilkan puncak-puncak difraksi yang dapat diamati dengan peralatan difraktometer (Cullity, 1978).

Sistem kerja difraktometer sinar-X didasarkan pada Hukum Bragg. Pola difraksi, intensitas dan sudut difraksi  $2\theta$  berbeda-beda untuk setiap bahan. Interferensi berupa puncak-puncak intensitas diperoleh sebagai hasil proses difraksi dimana terjadi interaksi antara sinar-X dengan atom-atom pada bidang kristal (Vlack, 1994). Gambar 7 menunjukkan hamburan sinar-X oleh elektron-elektron di dalam atom suatu material.



**Gambar 7.** Sinar-X yang dihamburkan oleh atom-atom kristal yang berjarak  $d$  (Richman, 1967).

Dari Gambar 7 terlihat bahwa gelombang pertama memiliki panjang yang sama yaitu  $MN + NR$ , begitu pula dengan gelombang kedua yaitu  $XO + OL$ . Gelombang kedua berjalan lebih jauh dari gelombang pertama, dan selisihnya dimisalkan sebagai  $\Delta$ .

$$\text{Dimana nilai } \Delta = (XO + OL) - (MN + NR) \quad (3)$$

Jika dari titik  $N$  ditarik garis ke  $XO$  dan  $OL$ , diberi tanda  $P$  dan  $Q$ , maka:

$$XP = MN, QL = NR \quad (4)$$

Perbedaan antara dua gelombang tersebut adalah:

$$\Delta = PO + OQ \quad (5)$$

Diketahui bahwa  $PO$  dan  $OQ$  merupakan  $\lambda$  (panjang gelombang) dan panjang  $PO$  sama dengan panjang  $OQ$  yaitu sebesar  $d \sin \theta$ , sehingga hubungan interferensi dari sinar dengan sudut datang  $\theta$  akan memenuhi persamaan Bragg sebagai berikut:

$$n \lambda = 2 d \sin \theta ; n = 1,2,3,\dots \quad (6)$$

dengan:  $\lambda$  = panjang gelombang (Å)

$d$  = jarak antar kisi (Å)

$\theta$  = sudut difraksi

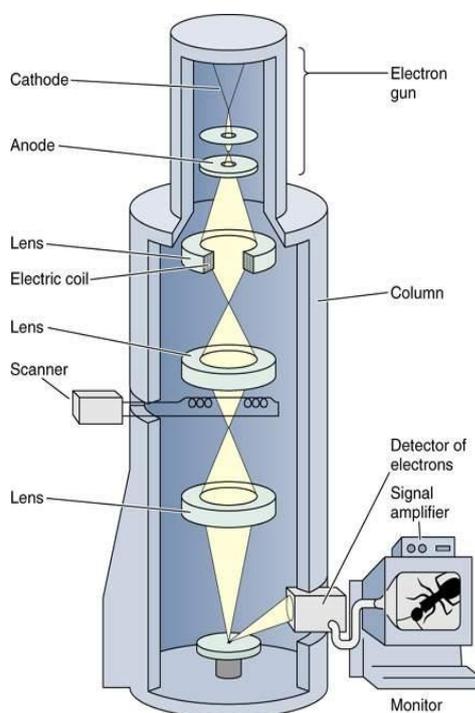
### **J. Scanning Electron Microscopy (SEM)**

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk mengamati dan menganalisis karakteristik mikrostruktur dari bahan padat seperti logam, keramik, polimer dan komposit. SEM memiliki resolusi (daya pisah) dan ketajaman gambar yang tinggi. Selain itu cara analisis SEM tidak akan merusak bahan. SEM mempunyai daya pisah sekitar 0,5 nm dengan perbesaran maksimum sekitar 500.000 kali (Griffin dan Riessen, 1991).

SEM merupakan mikroskop yang menggunakan pancaran sinar yang timbul akibat eksitasi elektron untuk melihat partikel berukuran mikron. Sejak tahun 1950 SEM dikembangkan dan banyak digunakan dalam bidang medis maupun dalam pengembangan ilmu pengetahuan. SEM telah banyak digunakan oleh para peneliti untuk menguji dan menemukan berbagai spesimen.

Pada prinsipnya SEM terdiri dari beberapa komponen yaitu kolom elektron (*electron column*), ruang sampel (*specimen chamber*), sistem pompa vakum (*vacuum pumping system*), kontrol elektronik dan sistem bayangan (Goldstein *et al.*, 1981). Kolom elektron terdiri dari *electron gun* dan beberapa lensa. Bagian dari *electron gun* adalah katoda, yaitu filamen berbentuk V yang dibuat dari bahan tungsten atau *Lanthanum Hexaboride* (LaB<sub>6</sub>), dan plat anoda. *Electron gun* berfungsi sebagai sumber untuk menghasilkan berkas elektron atau elektron

primer yang dipancarkan dari katoda dan digunakan untuk menganalisis bahan. Berkas elektron tersebut dipercepat oleh medan listrik dan difokuskan pada gambar pertama dari sumber, yaitu sebuah lensa magnetik yang terdiri dari dua buah lensa kondensor, sehingga bentuk dan ukuran sampel terlihat dalam bentuk sinar bayangan (*imaging beam*). Faktor yang menentukan penampilan dan resolusi dari SEM adalah arus dan berkas pemercepat (Sampson, 1996). Skematik alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) ditunjukkan pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Skematik alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (Smallman dan Bishop, 1995).

### K. Celref

Celref merupakan salah satu *software* sel satuan yang lengkap berdasarkan proses *refine* suatu data. *Refine* adalah proses pengukuran parameter sel menggunakan program koreksi ulang puncak-puncak data hasil difraksi sinar-X yaitu dengan

bantuan *software* untuk menganalisis hasil pengukuran XRD. Fungsi dari *software* Celref yaitu untuk mengimpor data mentah atau data puncak hasil pengukuran XRD dengan cara perhitungan jumlah garis puncak berdasarkan *auto-select/auto-match*. Celref memiliki 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/auto-match*). Setelah proses pencarian parameter sel yang paling mungkin maka akan diperoleh tampilan dari visual grafik yang paling tepat (Laugier dan Bochu, 2001).

Pada proses *refine* jika parameter sel yang diukur tidak sebanding dengan jumlah puncak yang berlaku dalam program itu, 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* dari pada menggunakan banyak puncak. Hal ini diasumsikan bahwa dalam banyak puncak menghasilkan koreksi kesalahan lebih kompleks sehingga diperlukan analisis program yang lebih sederhana (Laugier dan Bochu, 2001).