

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Komposit

Komposit adalah material hasil kombinasi makroskopik dari dua atau lebih komponen yang berbeda, komposit memiliki sifat fisik dan mekanis yang lebih baik daripada sifat masing-masing komponen penyusunnya (*Sahari et al., 2009*). Dibanding dengan material konvensional keunggulan komposit antara lain yaitu memiliki kekuatan yang dapat diatur (*tailorability*), tahanan lelah (*fatigue resistance*) yang baik, tahan korosi dan memiliki kekakuan jenis (rasio kekuatan terhadap berat jenis) yang tinggi.

Manfaat utama dari penggunaan komposit adalah mendapatkan kombinasi sifat kekuatan serta kekakuan tinggi dengan berat jenis ringan (Hendra, 2002). Komposit didefinisikan sebagai gabungan serat-serat dan resin. Penggabungannya sangat beragam, fiber atau serat ada yang diatur memanjang (*unidirectional composites*), ada yang dipotong-potong kemudian dicampur secara acak (*random fibers*), ada yang dianyam silang lalu dicelupkan dalam resin (*cross-ply laminae*), dan lainnya.

Menurut bentuk material penyusunnya, komposit dapat dibedakan menjadi lima jenis, (Anonim E, 2012) yaitu, komposit serat (fibrous composite), Komposit laminat (laminated composite), Komposit sketal (filled), Komposit serpih (flake), Komposit partikel (particulate composite).

Berdasarkan fungsinya komponen komposit dibedakan menjadi:

1. Penguat (reinforcement), yang mempunyai sifat kurang *ductile* tetapi lebih *rigid* serta lebih kuat, dalam penelitian kali ini penguat komposit yang digunakan yaitu dari serat glass.
2. Matriks, umumnya lebih detail, tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah.

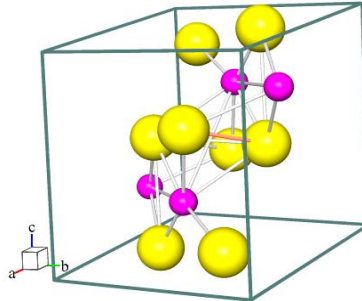
## **B. ZrO<sub>2</sub> (Zirkonia)**

ZrO<sub>2</sub> (Zirkonia) merupakan oksida logam berwarna putih dari unsur zirkonium. Zirkonia memiliki densitas 5,68 g/cm<sup>3</sup> dengan titik leleh sebesar 2715 °C dan titik didih sebesar 4300 °C. ZrO<sub>2</sub> merupakan logam oksida yang memiliki polimorfi yaitu tiga macam struktur kristal antara lain yaitu monoklinik, tetragonal dan kubik.

### **1. Struktur Kristal Monoklinik**

Zirkonia murni pada suhu kamar sampai suhu 950°C akan terbentuk struktur monoklinik jika melebihi suhu 950°C maka akan berubah menjadi struktur tetragonal. Adapun struktur monoklinik mempunyai kerapatan sebesar 5,68 g/cm<sup>3</sup>, titik lebur sebesar 2715°C dan titik didih sebesar 4300°C, serta memiliki sela terlarang sebesar 5-7 eV dan titik maksimal, (Chang, 2001; Lutterotti dan Scardi,

1990). Pada suhu kamar zirkonia murni memiliki struktur kristal monoklinik. Struktur ditunjukkan pada Gambar 2.1.

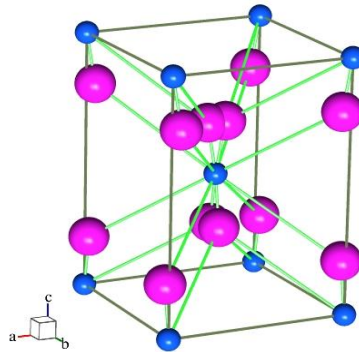


**Gambar 2.1.** Kristal  $\text{ZrO}_2$  monoklinik. Model kristal yang dipakai adalah (Smith dan Newkirk, 1965).  $\text{ZrO}_2$  dengan ion  $\text{Zr}^{4+}$  ditunjukkan dengan bulatan kecil berwarna pink dan ion  $\text{O}^{2-}$  bulatan besar berwarna kuning di mana atom Zr dikelilingi oleh lima atom oksigen. Perangkat lunak yang digunakan untuk membuat pemodelan adalah program Balls & Stick (Ozawa dan Kang, 2004).

Pada Gambar 2.1 Kristal  $\text{ZrO}_2$  monoklinik yang digunakan untuk pemodelan sistem monoklinik dengan nomor grup ruang 14, parameter sel:  $a = 5,1450 \text{ \AA}$ ,  $b = 5,2070 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,3110 \text{ \AA}$ , dan sudut  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\beta = 99,2^\circ$ ,  $\gamma = 90^\circ$ .

## 2. Struktur Kristal Tetragonal

$\text{ZrO}_2$  jika dilakukan pemanasan sampai suhu  $1000\text{-}1100^\circ\text{C}$  akan berubah struktur kristalnya tetragonal, jika didinginkan kembali pada suhu ruang akan berubah kembali menjadi monoklinik. Jadi monoklinik dan tetragonal tergolong memiliki sifat tidak stabil (Chang, 2001; Lutterotti dan Scardi, 1990). Struktur dilihat seperti Gambar 2.2.



**Gambar 2.2.** Kristal  $\text{ZrO}_2$  tetragonal. Model kristal yang dipakai adalah Balls & Stick (Lutterotti dan Scardi, 1990). Dapat kita lihat pada gambar di atas dimana  $\text{ZrO}_2$  dengan ion  $\text{Zr}^{4+}$  ditunjukkan dengan bulatan besar berwarna pink dan ion  $\text{O}^{2-}$  ditunjukkan dengan bulatan kecil berwarna biru di mana atom Zr dikelilingi oleh lima atom oksigen. Perangkat lunak yang digunakan untuk membuat pemodelan adalah program Balls & Stick (Ozawa dan Kang, 2004).

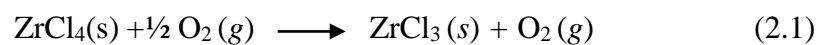
Untuk kristal  $\text{ZrO}_2$  tetragonal pemodelan sistem monoklinik dengan nomor grup ruang 137, parameter sel:  $a = 3,5960 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,5960 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,1770 \text{ \AA}$ , dan sudut  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\beta = 90^\circ$ ,  $\gamma = 90^\circ$ .

### 3. Struktur Kristal Kubik

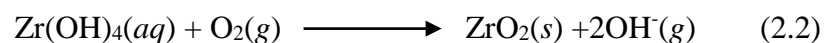
Zirkonia yang paling stabil adalah dengan struktur kristal kubik, fasa kubik dapat terbentuk pada suhu yang sangat tinggi yaitu sekitar  $2680^\circ\text{C}$ . Kelemahan  $\text{ZrO}_2$  hanya dimiliki pada struktur kristal monoklinik dan tetragonal saja bila terkena pemanasan samapi  $1100^\circ\text{C}$  karena terjadi transformasi fasa. Oleh karena itu  $\text{ZrO}_2$  untuk struktur Kristal monoklinik dan tetragonal hanya diaplikasikan untuk suhu rendah dan suhu ruang, akan tetapi struktur Kristal monoklinik dan tetragonal memiliki kekuatan mekanik lebih tinggi dibandingkan dengan struktur kristal kubik. Pada struktur kristal kubik merupakan fasa yang paling stabil terhadap

perubahan suhu (Awan, 2008). Fase kubik zirkonia mempunyai daya hantar listrik dan ionik yang lebih baik daripada fase zirkonia yang lain.

Dalam sifat elektrokramik, zirkonia dapat digunakan sebagai bahan fotoanoda untuk reaksi redoks (Veda dkk, 2004). Zirkonia juga digunakan untuk memproduksi berbagai macam garam, logam alkosida termasuk larutan logam alkosida zirkonium yang mudah didapatkan dengan reaksi hidrolisis dengan air. Reaksi tersebut diperlukan pelarut alkohol dan asam yang berguna untuk menghilangkan kadar air yang ada pada zirkonia. Adapun persamaan reaksi hidrolisis  $ZrCl_4$  adalah:



Dengan melihat hasil reaksi hidrolisis  $ZrCl_4$ , dapat kita lihat  $ZrCl_4$  diuapkan dengan menggunakan udara untuk menghilangkan  $Cl_2$  (Abbott, 1980), karena  $ZrCl_4$  sangat mudah menguap di udara bebas. Zirkonia dapat terbentuk melalui bubuk  $ZrCl_4$  melalui metode sol-gel. Dengan reaksi seperti:



Pada reaksi diatas dapat kita lihat bahwa zirkonia sol tidak dapat ikut menguap sebab dapat kita ketahui bahwa zirkonia memiliki titik didih yang sangat tinggi yakni 4300 °C. Pada kenyataannya sifat alam zirkonia sol memiliki kandungan  $H_2O$  yang terdapat di dalamnya.

Dengan kenyataan sifat zirkonia sol ini memiliki makna yakni, kandungan air  $2H_2O$  terjebak di dalamnya sehingga dibutuhkan temperatur kalsinasi untuk menghilangkannya.

### C. Karakteristik ZrO<sub>2</sub> (Zirkonia)

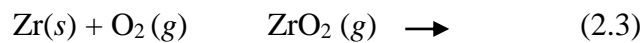
Zirkonia atau zirkonium adalah logam yang berwarna putih abu-abu, dengan bentuk struktur kristal yang tidak teratur, lunak, dan bila bahannya murni dapat tahan terhadap udara bahkan api. Logam yang ditemukan oleh M.H. Kalaproth pada tahun 1788 dalam bentuk mineral zircon ini tidak ditemukan di alam dalam bentuk bebas tetapi sebagai oksida atau silikat dalam kerak bumi dan bebatuan dalam kadar kecil. Logam ini memiliki lambang Zr dengan nomor massa 91,224.

Unsur zirkonium termasuk didalam golongan IVB pada sistem periodik. Unsur dalam golongan ini disebut juga unsur transisi yaitu unsur blok d yang konfigurasi elektronnya diakhiri oleh sub kulit d. Selain zirkonium, unsur titanium, hafnium, serta rutherfordium juga tergolong dalam golongan IV B. Sifat- sifat unsur pada golongan ini memiliki konfigurasi elektron terluar adalah (n-1). Bilangan oksidasi yang sering dijumpai adalah +2, +3 dan +4, namun khusus untuk unsur Zr bilangan oksidasinya yaitu +1. Bilangan oksidasi +4 dikatakan lebih stabil dari yang lainnya. Hal ini dikarenakan bilangan oksidasi yang lebih rendah mengalami reaksi redoks.

Zirkonium melimpah keberadaanya di alam seperti zircon (hyacianth) dan zirkonia (baddeleyit). Baddeleyit merupakan oksida zirkonium yang tahan terhadap suhu yang sangat tinggi sehingga dapat digunakan untuk pelapis tanur tinggi. Zirkonium terjadi secara alami, terdapat 4 isotop yang stabil dan dari 1 radioisotop yang mempunyai waktu hidup yang sangat panjang. Radioisotop kedua yang paling stabil adalah <sup>93</sup>Zr (Anonim B, 2012). Pada saat zirkonium di bawah keadaan normal maka zirkonium tersebut tidak dapat bereaksi dengan air.

Namun zirkonium dapat bereaksi dengan udara sehingga dapat menghasilkan  $ZrO_2$ .

Adapun reaksi zirkonium dengan udara yaitu sebagai berikut:



Zirkonia oksida merupakan senyawa bentukan dari zirkonium dengan udara. Dewasa ini penggunaan zirkonium oksida dalam pemenuhan kebutuhan sehari-hari adalah sebagai pengeluaran emisi gas dari kendaraan bermotor. Adapun penggunaan zirkonium oksida yaitu mencapai suhu sampai  $2400^\circ\text{C}$ , dengan kepadatan tinggi, konduktivitas termalnya rendah, kimia inertness, logam, ionik konduksi listrik, ketahanan aus, ketangguhan perpatahan tinggi dan kekerasan tinggi.

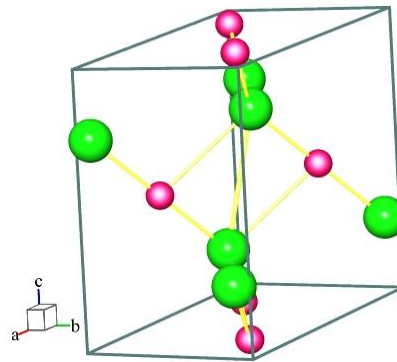
#### **D. Sifat-sifat $ZrO_2$ (Zirkonia)**

Adapun sifat-sifat zirkonia adalah daya tahan kimia yang kuat, tahan abrasi, tahan korosi, tidak menghantarkan listrik, konduktivitas termal rendah, kekuatan termal lebih baik dari pada alumina dan sebagai dental material zirkonia memiliki sifat fisik, mekanis, kimia, dan biologis yang sangat baik (Anonim B, 2012).

#### **E. $CuO$ (Tembaga Oksida) atau Tenorit**

Tembaga oksida ( $CuO$ ) adalah oksida tembaga yang lebih tinggi nomor pengoksidaannya. Ia merupakan satu pepejal hitam dengan struktur ionik yang melebur pada suhu melebihi  $1200^\circ\text{C}$  sambil kehilangan beberapa oksigennya. Adapun tembaga oksida ini berwarna kehitaman terutama dalam bentuk bubuk

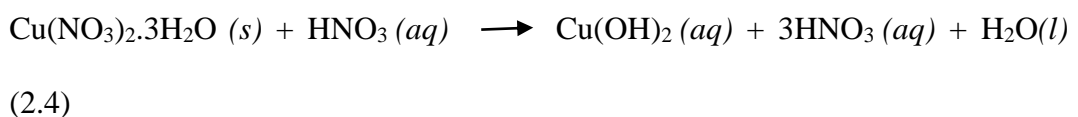
yang mempunyai densitas  $6,09 \text{ g/cm}^3$  dan memiliki struktur kristal monoklinik. Struktur kristal CuO ditunjukkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Kristal CuO dengan ion  $\text{Cu}^{2+}$ . Model yang dipakai adalah perangkat lunak Balls & Stick (Tunell *et. al*, 1935). Ditunjukkan dengan bulatan kecil berwarna merah dan ion  $\text{O}^{2-}$  bulatan besar berwarna hijau di mana atom Cu dikelilingi oleh empat atom oksigen. Perangkat lunak yang digunakan untuk membuat pemodelan adalah program yang Balls & Stick (Ozawa dan Kang, 2004).

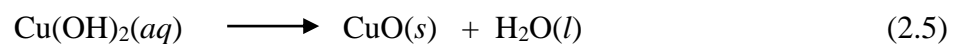
Pemodelan sistem tetragonal dengan nomor grup ruang 15, parameter sel:  $a = 4,653 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,4106 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,108 \text{ \AA}$ , dan sudut  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\beta = 99,48^\circ$ ,  $\gamma = 90^\circ$ .

Tembaga oksida juga digunakan untuk memproduksi berbagai macam tembaga diantaranya tembaga nitrat yang mudah didapatkan dengan reaksi oksida basa dengan asam, yang mana basa berupa tembaga oksida dan asam berupa asam nitrat. Reaksi tersebut dapat bersifat bolak-balik yang artinya garam tembaga nitrat dapat kembali lagi menjadi tembaga oksida melalui reaksi hidrolisis. Adapun persamaan reaksi hidrolisis  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  dituliskan pada persamaan berikut.





Dengan melihat hasil reaksi hidrolisis  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  dengan asam nitrat  $\text{HNO}_3$  merupakan larutan yang mudah hilang ketika dipanaskan dan larutan  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  yang akan bereaksi menjadi tembaga oksida ( $\text{CuO}$ ) dan terdapat air di dalamnya. Adapun reaksi tersebut dapat dituliskan pada persamaan 2.5.



Terlihat jelas bahwa, air terikat pada tembaga oksida sehingga diperlukan temperatur kalsinasi agar kadar air yang terjebak dalam tembaga oksida menghilang tetapi untuk  $\text{CuO}$  sendiri tidak ikut menguap sebab  $\text{CuO}$  memiliki titik didih  $2000^\circ\text{C}$  (Forsyth dan Hull, 1991).

#### **F. Sistem Pembuatan $\text{ZrO}_2$ - $\text{CuO}$**

Pada penelitian Simbolon dkk (2000), pembuatan  $\text{ZrO}_2$  dari  $\text{ZrOCl}_2$  yang direaksikan dengan ammonium hidroksida atau asam oksalat dan dikalsinasi pada suhu  $900^\circ\text{C}$  selama 4 jam, maka terbentuklah zirkonium dioksida. Perubahan berat endapan  $\text{Zr}(\text{OH})_2$  dan  $\text{Zr}(\text{C}_2\text{O}_4)$  setelah pemanasan akhirnya menjadi senyawa zirkonium dioksida. Adapun pengaruh aditif  $\text{CaO}$  dan suhu sintering terhadap mikrostruktur keramik (*partially stabilized zirconia*) PSZ dari hasil XRD menunjukkan bahan keramik tanpa menggunakan aditif hanya fase monoklinik. Zirkonium dioksida berbahan dasar  $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{CaO}$  yang menggunakan bahan  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , kemudian 8,64 % mol  $\text{CaO}$  yang ada di dalam serbuk  $\text{ZrO}_2$  dilakukan dengan metode kopresipitasi yaitu pencampuran bahan serbuk  $\text{CaO}$

dengan serbuk  $ZrO_2$ . Jadi pembuatan keramik Ca-PSZ pada suhu sintering 1500 °C menimbulkan fase kubik dan fasa monoklinik.

### **G. Proses Sol-Gel**

Metode sol-gel dikenal sebagai salah satu metode sintesis yang cukup sederhana dan mudah. Metode ini merupakan salah satu metode basah karena pada prosesnya melibatkan larutan sebagai medianya. Pada metode sol-gel, sesuai dengan namanya larutan mengalami perubahan fase menjadi sol (koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya) dan kemudian menjadi gel (koloid tetapi mempunyai fraksi padatan yang lebih besar daripada sol (Rahaman, 1995).

Proses sol-gel memiliki kemurnian dan kekuatan yang tinggi serta temperatur yang rendah sehingga sangat mudah dilakukan jika dibandingkan dengan proses dan metode yang lainnya yaitu seperti metode pengabuan dan pelelehan yang harus memakai temperatur yang sangat tinggi sehingga membutuhkan biaya yang mahal (Petrovic, 2001). Kemurnian sol-gel yang diperoleh sangat tinggi karena pada proses ini membutuhkan logam alkosida yang mudah bereaksi dengan air atau alkohol yang dapat menguapkan molekul-molekul lain ketika proses sol terjadi. Adapun logam alkosida ini mempunyai rumus umum  $M(OR)_z$ , di mana  $M$  adalah logam seperti Zn, Be, B, Al, Si, Zr, Ti, Nb, Nd, Y, dan Yb dengan  $z$  adalah valensi dan  $R$  adalah suatu grup alkosida. Dengan melihat molekul tersebut, ternyata terdapat suatu rantai karbon ( $R$ ) yang dapat mudah diputuskan. Selain itu, logam alkosida ini berguna sebagai bahan prekursor yang merupakan bahan awal yang bereaksi dengan air atau alkohol menjadi air yang terjebak dalam mineral

dan alkohol atau air yang terjebak dalam mineral alkohol. Hasil dari reaksi dari air dan alkohol tersebut disebut sol. Reaksi yang menggunakan air sebagai pelarutnya disebut hidrolisis dan yang menggunakan alkohol disebut dengan alkoholisis. Sol tersebut diperlukan proses penuaan (*aging*) agar sol menjadi homogen (Indayaningsih dkk., 1999).

Dengan melihat sol yang telah diperoleh, ternyata air yang berada dalam mineral tersebut dapat menjadi larutan katalis dan dapat berupa asam agar dapat mengeluarkan kadar air tersebut dan diberi pengaruh temperatur kalsinasi. Ketika pemberian asam tersebut ke fasa cair sol, wujud sol akan membentuk suatu jaringan yang kontiniu, sehingga terbentuk gel. Reaksi pemberian asam tersebut kepada fasa zat cair disebut sebagai proses *gelasi*. Adapun gel tersebut masih mengandung air sehingga diperlukan proses penuaan dan pengeringan dengan titik didih air. Setelah mendapatkan gel yang kering, gel tersebut kemudian diproses menjadi padatan untuk membentuk pelet. Dengan demikian, proses sol-gel bisa dibagi menjadi beberapa tahap yakni, pembentukan larutan (sol), penuaan, pembentukan gel, penuaan pengeringan dan pemadatan. Pada proses sol-gel, dapat dilakukan pengukuran porositas. Demikian pula pada proses tersebut, membran tersebut dapat memiliki porositas seragam akibat proses sol-gel nanofiltrasi.

Adapun aplikasi fisika yang digunakan dalam proses sol-gel, sebagai contohnya adalah pengukuran porositas suatu membran hibrid (gel basah dan gel kering) (Zulfikar dkk, 2006). Membran hibrid biasa didapatkan bahan prekursor dari tetra etil orto silika (TEOS) dan polimetilmetakrilat (PMMA).

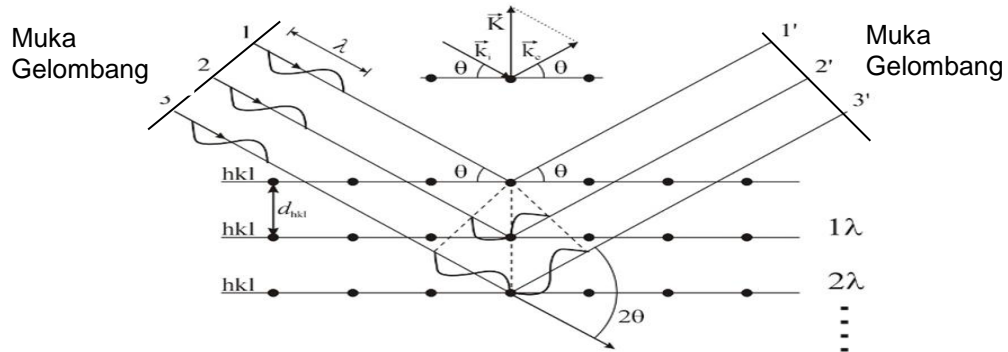
## H. Karakterisasi komposit ZrO<sub>2</sub>-CuO

### 1. Difraksi Sinar-X

Prinsip terjadinya difraksi sinar-X (XRD) sangat berbeda dengan difraksi yang dikenal pada umumnya (difraksi cahaya). Perbedaan tersebut dapat dilihat pada teori dan kegunaannya. Pada teori dan kegunaannya, XRD menggunakan foton dengan rentang panjang gelombang ( $\lambda$ ) dalam rentang 0,5-2,5 Å dan digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal logam, keramik, polimer dan komposit (Hassan dan Chan, 1992). Sedangkan pada difraksi digunakan cahaya tampak (monokromatik dan polikromatik) dengan kegunaannya sebagai bidang keoptikan. Sebelumnya, XRD telah dihipotesiskan oleh Von Loe yang mengatakan bahwa, kristal tersusun atas atom-atom dalam ruang teratur sehingga kristal dapat berperan sebagai pusat-pusat penghamburan sinar-X. Kristal-kristal yang tersusun tersebut diketahui memiliki celah yang sebanding dengan panjang gelombang sinar-X sehingga dapat menimbulkan difraksi. Inilah yang disebut dengan syarat difraksi. Hamburan sinar-X itulah yang akan ditangkap oleh detektor berupa intensitas pada arah difraksinya.

Sistem kerja difraktometer sinar-X didasarkan pada hukum Bragg yang menjelaskan tentang pola, intensitas dan sudut difraksi ( $2\theta$ ) yang berbeda-beda pada tiap bahan. Jika seberkas sinar-X dengan panjang gelombang  $\lambda$  diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut  $\theta$ , maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang atom kristal dan akan menghasilkan puncak difraksi. Besar sudut tergantung pada panjang gelombang  $\lambda$  berkas sinar-X dan jarak antar bidang

penghamburan (d). Skema difraksi sinar-X oleh atom-atom kristal dapat dilihat seperti pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.4.** Skema difraksi sinar-X oleh atom-atom kristal.

Kemudian diturunkan melalui hukum Bragg untuk difraksi, yang secara matematis dapat dituliskan dengan:

$$\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.6)$$

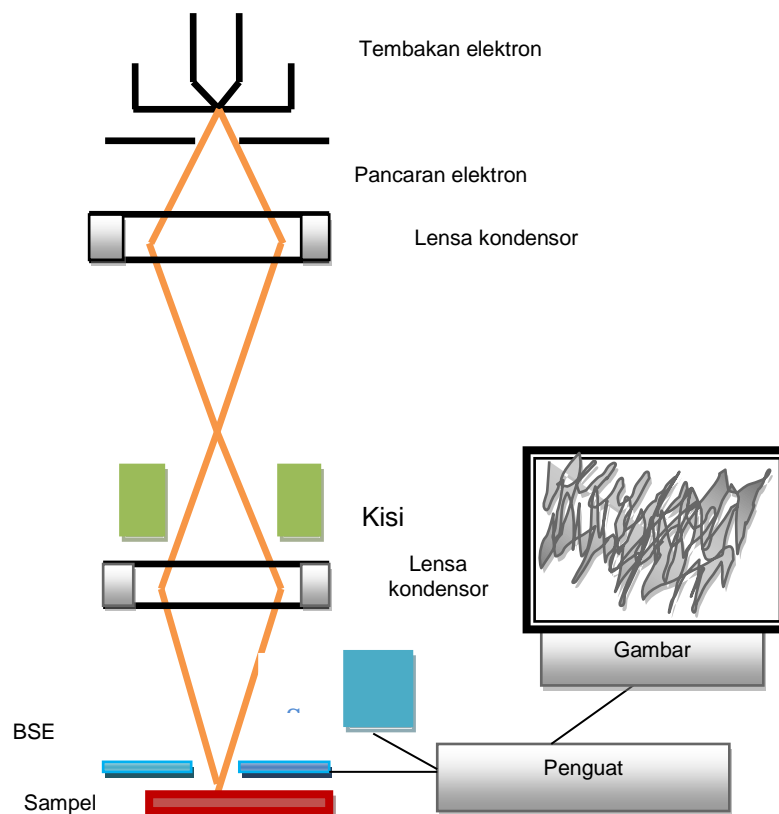
dengan  $\lambda$  = panjang gelombang sinar-X ( $\text{\AA}$ ),  $d$  adalah jarak antara bidang, dan  $\theta$  adalah sudut difraksi (Cullity, 1978).

## 2. Scanning Electron Microscopy

Scanning Electron Microscopy (SEM) pertama sekali dikembangkan pada tahun 1942 dengan instrumen terdiri dari penembak elektron (*electron gun*), tiga lensa elektrostatik dan kumparan pengulas elektromagnetik yang terletak antara lensa kedua dan ketiga, serta tabung foto multiplier untuk mendeteksi cahaya pada layar fosfor. Berkas elektron dihasilkan dengan memanaskan filamen, lalu diberikan tegangan tinggi antara anoda dan katoda. Tujuannya untuk mempercepat elektron

hingga mencapai kecepatan yang kira-kira  $1/3$  kali kecepatan cahaya. Kemudian berkas elektron dikumpulkan oleh lensa kondenser elektromagnetik, dan difokuskan oleh lensa objektif. Berkas elektron menumbuk sampel menghasilkan elektron sekunder yang dipantulkan dari sampel kemudian dideteksi dan dikuatkan oleh tabung multiplier.

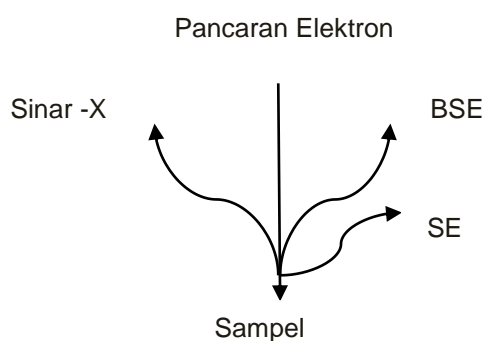
SEM adalah suatu jenis mikroskop elektron yang dapat menggambarkan permukaan sampel dengan ukuran butiran dalam skala mikrometer dan nanometer. Mikroskop ini bekerja dengan mengandalkan tembakan elektron yang dihasilkan dari filamen. Selanjutnya elektron primer difokuskan berinteraksi dengan atom pada sampel seperti pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5.** Skema yang pada SEM (Reed, 1993).

Pada Gambar 2.5 terlihat bahwa elektron yang keluar dari pancaran elektron-elektron primer dengan energi yang sangat besar secara langsung tepat menumbuk atom sampel yang telah ditargetkan akibat pengaruh lensa kondensor dan kisi. Pada saat terjadinya interaksi antara elektron primer dan elektron terluar dari sampel, misalnya kulit K, pada saat itu juga terjadi sebuah hamburan elektron yang mengakibatkan elektron di kulit K terpental (tereksitasi) keluar karena energinya lebih kecil daripada energi elektron primer.

Dengan kenyataan tersebut, atom yang bereaksi mengakibatkan elektron yang baru datang tersebut dapat memberikan sisa energinya pada elektron-elektron di kulit K, L, M, N dan seterusnya dengan cara menjatuhkan diri hingga menuju kulit yang terdekat dengan inti dan elektron-elektron kulit-kulit di atasnya akan kelebihan energi dari sebelumnya sehingga secara beraturan elektron-elektron tersebut masing-masing akan naik menuju ke kulit terluar. Pada saat elektron kelebihan energi dan pindah ke kulit atasnya itulah akan timbul sinar-X. Dengan melihat kejadian-kejadian tersebut, mikroskop elektron tidak menggunakan sinar-X tetapi menggunakan elektron yang tereksitasi. Elektron yang tereksitasi tersebut pada umumnya akan memiliki dua sebutan akibat energinya yang terdeteksi pada posisi tertentu oleh detektor-detektor yang didekatnya. Dua sebutan itu dapat ditunjukkan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6.** Sinyal hasil interaksi berkas elektron dengan sampel (Reed, 1993).

Data atau tampilan gambar dari topologi permukaan atau lapisan yang tebalnya sekitar 20  $\mu\text{m}$  yang berupa tonjolan dapat diperoleh dari penangkapan elektron (hamburan inelastis) yang keluar dari kulit atom yang terluar dengan *secondary electron detector* (SE). Kemudian diolah dalam bentuk tegangan-tegangan menjadi digital dan ditampilkan pada layar CRT (TV). Hal yang berbeda pada elektron terhambur balik *backscattered electron* (BE) yang mana akan menghasilkan suatu gambar berupa komposisi (gambar yang termaksimumkan) akibat penangkapan energi elektron yang keluar dari kulit atom yang terluar (hamburan elastis) (Smith, 1990).