

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab II menjelaskan tentang beberapa konsep dasar teori yang mendukung topic penelitian. Pembahasan dimulai dengan penjelasan mengenai keramik, kalsium silikat, silika sekam padi, kalsium oksida, reaksi padatan dan *sintering*. Agar tidak mengalami kesulitan dalam pelaksanaan penelitian, pembahasan dilanjutkan dengan prinsip kerja dari *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* dan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Pembahasan pun dilanjutkan dengan evaluasi sifat fisis keramik meliputi densitas, porositas, resistivitas dan penyusutan (*shrinkage*).

### 2.1 Keramik

Material keramik adalah material anorganik, non logam yang terdiri dari unsur-unsur logam dan non logam yang berikatan secara bersama-sama melalui ikatan ionik, dan/atau ikatan kovalen (Smith, 1996). Keramik memiliki karakteristik yang memungkinkannya digunakan untuk berbagai aplikasi yaitu termasuk kapasitas panas yang baik dan konduktivitas panas yang rendah, tahan terhadap korosi, sifat listriknya dapat bersifat insulator, semikonduktor, konduktor bahkan superkonduktor, dapat bersifat magnetik dan non-magnetik, serta keras dan kuat namun rapuh.

Bahan keramik dapat dibedakan menjadi dua kelas : kristalin dan amorf (non kristalin). Dalam material kristalin terdapat keteraturan jarak dekat maupun jarak jauh, sedang dalam material amorf mungkin keteraturan jarak pendeknya ada, namun pada jarak jauh keteraturannya tidak ada. Beberapa keramik dapat berada dalam kedua bentuk tersebut, misalnya  $\text{SiO}_2$ .

Sifat termal yang penting dalam bahan keramik adalah kapasitas panas, koefisien ekspansi termal, dan konduktivitas termal. Kapasitas panas bahan adalah kemampuan bahan untuk mengabsorpsi panas dari lingkungan. Panas yang diserap disimpan oleh padatan antara lain dalam bentuk vibrasi (getaran) atom atau ion penyusun padatan tersebut. Hantaran panas dalam padatan melibatkan transfer energi antar atom-atom yang bervibrasi. Vibrasi atom akan mempengaruhi gerakan atom-atom lain di tetangganya dan hasilnya adalah gelombang yang bergerak dengan kecepatan cahaya yakni fonon. Fonon bergerak dalam bahan sampai terhambur baik oleh interaksi fonon-fonon maupun cacat kristal. Keramik *amorf* yang mengandung banyak cacat kristal menyebabkan fonon selalu terhambur sehingga keramik merupakan konduktor panas yang buruk. Mekanisme hantaran panas oleh elektron, yang dominan pada logam, tidak dominan di keramik karena elektron di keramik sebagian besar terlokalisasi (Anonim B, 2011).

## 2.2 Kalsium Silikat

Kalsium silikat ( $\text{CaSiO}_3$ ) atau biasanya dikenal dengan nama *wollastonite* merupakan senyawa yang diperoleh dengan mereaksikan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dan silika ( $\text{SiO}_2$ ). Kalsium silikat merupakan mineral alami yang

berwarna putih kekuningan. Kalsium silikat ini mengandung kalsium (Ca), silicon (Si) dan oksigen (O<sub>2</sub>). Kalsium silikat (CaSiO<sub>3</sub>) atau *wollastonite* memiliki komposisi teoritis yaitu CaO 48,28% dan SiO<sub>2</sub> 51,72% (Anonim C, 2011).

### 2.2.1 Karakteristik kalsium silikat (CaSiO<sub>3</sub>)

Kalsium silikat atau *wollastonite* ini memiliki beberapa karakteristik seperti yang tertera pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Karakteristik kalsium silikat (CaSiO<sub>3</sub>).

Rumus molekul	CaSiO <sub>3</sub>
Berat molekul (g / mol)	116
Kepadatan (lbs. / galon padat)	24,4
Berat jenis dari padat	2,87 – 3,09
Titik leleh (°C)	1540
Kristalografi	<i>Acicular</i>
Kekerasan	4,5
pH	8-10
Indeks bias	1,63
Kerapatan	24,2
Warna	Putih Kekuningan
Daya larut dalam air (g/100cc)	0,0095
Koefisien Ekspansi( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	6,5

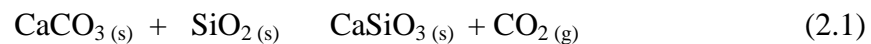
Sumber : NYCO dan Anonim C, 2011.

Tabel 1 memperlihatkan bahwa kalsium silikat memiliki koefisien ekspansi yang rendah serta tahan pada temperatur 1540 °C. Berdasarkan karakteristik tersebut kalsium silikat sangat baik digunakan sebagai bahan baku dalam industri semen. Selain itu kalsium silikat juga dapat mengikat minyak dan senyawa-senyawa non polar lainnya.

### 2.2.2 Pembentukan kalsium silikat (CaSiO<sub>3</sub>)

Kalsium silikat dapat terbentuk secara alami dan sintetis. Pembentukan kalsium silikat di alam secara umum melibatkan metamorfosis (panas dan tekanan) dari batu kapur. Proses pembentukan kalsium silikat di alam memerlukan waktu yang cukup lama. Kalsium silikat juga dapat terbentuk oleh bagian larutan hidrotermal yang mengandung silika. Umumnya mengandung silika hasil dari aktivitas batuan lokal.

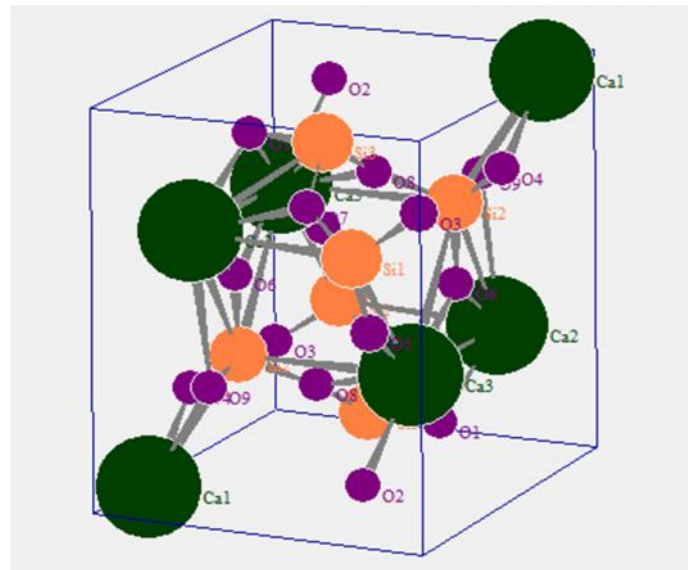
Pembentukan kalsium silikat secara sintetis dilakukan dengan mereaksikan CaCO<sub>3</sub> dengan SiO<sub>2</sub> (silika dioksida). Reaksi sederhana antara silika dan kalsium karbonat untuk membentuk kalsium silikat terjadi kira-kira 600 °C dalam bentuk amorf. Suhu yang diperlukan meningkat sebanding dengan tekanan (NYCO, 2011). Reaksi pembentukannya sebagai berikut:



Reaksi pembentukan kalsium silikat juga dapat dilihat di bawah ini dengan menggunakan bahan dasar kalsium oksida (CaO). Reaksinya :



Berikut ini adalah struktur kristal kalsium silikat (CaSiO<sub>3</sub>) yang disajikan dalam gambar 4 di bawah ini:



Gambar 1 . Struktur Kristal  $\text{CaSiO}_3$  yang didapatkan dari program PCW (Trojer, 1968).

Gambar 1 di atas merupakan bentuk kristalografi dari kalsium silikat yang didapatkan melalui program PCW23. Kalsium silikat dalam gambar di atas memiliki *space group* P-1 yakni sebesar 2, dengan nilai  $a = 7,9258 \text{ \AA}$ ,  $b = 7,3202 \text{ \AA}$ , dan  $c = 7,0653 \text{ \AA}$  serta nilai  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\beta = 95^\circ$ , dan  $\gamma = 103^\circ$ .

### 2.2.3 Aplikasi kalsium silikat

Kalsium silikat memiliki beberapa keunggulan sehingga dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari. Beberapa kegunaan dari kalsium silikat tersebut adalah sebagai berikut:

#### a. Keramik

Terutama dinding ubin dan *dinnerware*. Kalsium silikat mempunyai warna putih yang tetap dan mempunyai keuntungan terhadap kaolin, *talc*, dan lain-lain seperti : meningkatkan ikatan melalui pengeringan dan tekanan, kekuatan tinggi pada tahap penghijauan dan pembakaran,

mengurangi waktu pembakaran, berbentuk khusus untuk insulator listrik seperti busi yang dapat dihasilkan baik pada tekanan kering maupun tekanan basah.

b. Plastik

Kalsium silikat berguna sebagai suatu penyaring pada plastik dan karet yang berdasarkan sifat-sifat listrik maupun dielektrik dan pengaruh hambatan serta modulus listrik.

Selain aplikasi yang disajikan di atas, kalsium silikat memiliki kegunaan lain yaitu kalsium silikat dapat mengurangi nilai bahan baku dengan tidak merugikan pengaruh pada hasil akhir pada aplikasi berikut :

- a. Poliester
- b. Penyusun resin epoksi
- c. Aspal dan lantai ubin
- d. Pengganti fosfor sebagai bahan lapisan dalam industri pupuk
- e. Pengganti selulosa alfa dan tepung kayu dalam pembuatan kayu lapis  
(Crooks, 1999).

### 2.3 Silika Sekam Padi

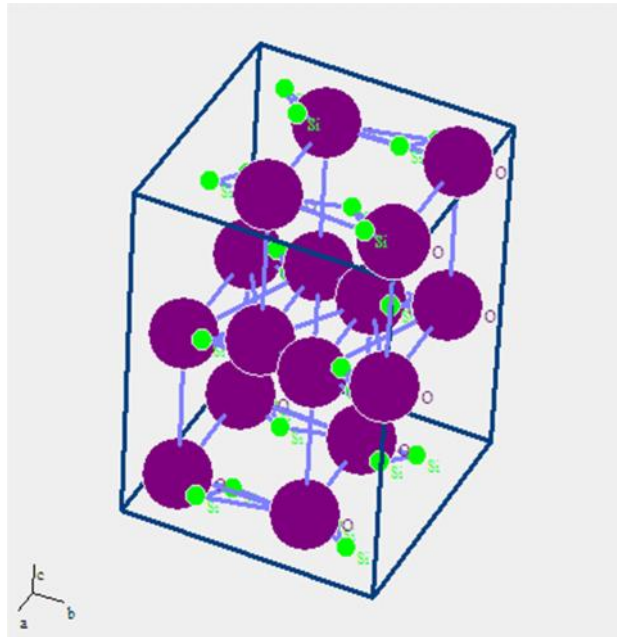
Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi *kariopsis* yang terdiri dari dua belahan yang disebut *lemma* dan *palea* yang saling bertautan. Pada proses penggilingan beras, sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri,

pakan ternak dan energi atau bahan bakar. Komposisi kimia sekam padi meliputi, karbon (zat arang) : 1,33%, hidrogen : 1,54%, oksigen : 33,64%, dan silika : 16,98% (Anonim D, 2011).

Saat ini dengan perkembangan teknologi penggunaan silika pada industri semakin meningkat terutama dalam penggunaan silika pada ukuran partikel yang kecil sampai skala mikron atau bahkan nanosilika. Biasanya silika dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti dalam industri ban, karet, gelas, semen, beton, tekstil, kertas, kosmetik, elektronik, cat, film, pasta gigi, dan keramik dengan ukuran yang sesuai dengan keperluan. Pada pembuatan keramik kalsium silikat ini sumber silika yang digunakan adalah silika sekam padi yang berasal dari abu sekam padi. Abu sekam padi (*Rice Husk Ash*) mengandung 60% silika salah satu bahan baku terbesar penghasil produk silika (Kalapathy *et al*, 2002).

Menurut Nayak dan Bera (2009) bahwa 25 wt % silika serbuk (dari total massa sekam padi) dari 95% silika murni dapat dihasilkan setelah diperlakukan pembakaran pada suhu 700 °C selama 6 jam. Silika yang dihasilkan merupakan silika amorph dengan suhu di bawah 800 °C. Silika amorph mempunyai stabilitas rendah sehingga mudah bereaksi (*ponzolane*) dengan pereaksi lain. Kereaktifan silika dipengaruhi temperatur pengabuan dengan keraktifan optimum ketika sekam padi di bakar pada temperatur 550-700°C (Kalapathy *et al*, 2000).

Silika secara umum memiliki struktur kristal seperti pada gambar 2 di bawah in:



Gambar 2. Struktur Kristal  $\text{SiO}_2$  dengan Program PCW.

Gambar 2 di atas menunjukkan struktur silika secara umum melalui program PCW23 yang menghasilkan struktur tetrahedral. Silika yang dihasilkan memiliki space group  $P3121$  yaitu sebesar 152 dengan nilai  $a=b= 4,913 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,405 \text{ \AA}$  serta nilai  $\alpha = 90^\circ$  dan  $\beta = 120^\circ$ .

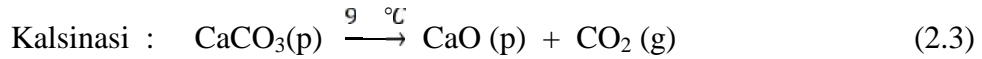
## 2.4 Kalsium Oksida

Kalsium Oksida ( $\text{CaO}$ ) adalah satu senyawa padat yang terdiri dari kristal putih dengan titik leleh dari  $2572 \text{ }^\circ\text{C}$ . Kalsium oksida terbuat dari hasil pemanasan batu gamping, karang, kulit laut, atau kapur yang komposisinya sebagian besar berupa kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) (Anonim E, 2011).

Kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) terbentuk dengan adanya reaksi kalsinasi. Reaksi kalsinasi tersebut menggunakan pemanasan dengan suhu kira - kira  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ . Akibat proses tersebut karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang terkandung dalam kalsium

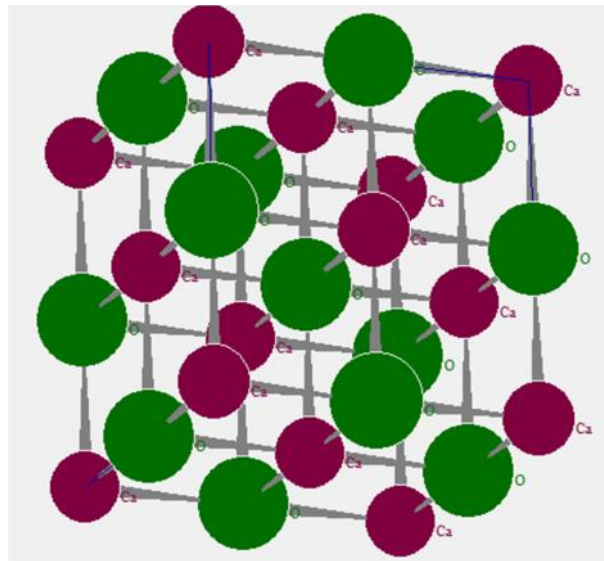


karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) keluar, dan yang tertinggal hanya kapurnya saja yaitu kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ). Reaksinya sebagai berikut:



Reaksi diatas bersifat bolak-balik dan pada suhu kamar reaksi ke kiri yang terjadi sangat kuat, terutama bila  $\text{CO}_2(\text{g})$  terus menerus dikeluarkan dari tanur tempat berlangsungnya reaksi. Berkat adanya pembakaran tersebut maka  $\text{CaO}$  dapat dihasilkan (Petrucci, 1985).

Struktur kristal kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) ditunjukkan pada gambar 3 berikut ini:



Gambar 3. Struktur Kristal  $\text{CaO}$  dengan program PCW (Trojer, 1968).

Gambar di atas didapatkan dengan PCW23 dan memiliki *space group*  $\text{FM}\overline{3}\text{M}$  yakni sebesar 225, dengan nilai  $a=b=c = 4,8050 \text{ \AA}$ , dan nilai  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ . Di mana  $\text{Ca}^{2+}$  dengan jari-jari sebesar  $1,05 \text{ \AA}$  ditunjukkan dengan warna ungu dan  $\text{O}^{2-}$  dengan jari-jari sebesar  $1,35 \text{ \AA}$  ditunjukkan dengan warna hijau.

## 2.5 Reaksi Padatan

Metode reaksi padat adalah cara yang dilakukan dengan mereaksikan padatan dengan padatan tertentu pada suhu tinggi. Metode ini merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk sintesis bahan anorganik dengan mengikuti rute yang hampir universal, yakni melibatkan pemanasan berbagai komponen pada temperatur tinggi selama periode yang relatif lama. Reaksi ini melibatkan pemanasan campuran dua atau lebih padatan untuk membentuk produk yang juga berupa padatan. Tidak seperti pada fasa cairan atau gas, faktor pembatas dalam reaksi kimia padat biasanya adalah difusi (Ismunandar, 2006).

Laju reaksi pada metode ini ditentukan oleh tiga faktor yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Intensitas kontak padatan pereaksi

Untuk memaksimalkan reaksi harus digunakan pereaksi yang memiliki luas permukaan besar. Selain itu, memaksimalkan intensitas kontak dapat dilakukan dengan membuat pelet dari campuran berbagai reaksi.

2. Laju difusi

Untuk meningkatkan laju difusi dapat dilakukan dengan menaikkan temperatur reaksi dan memasukkan defek. Defek dapat dimasukkan dengan memulai reaksi dengan reagen yang terdekomposisi dulu sebelum atau selama bereaksi, misalnya nitrat atau karbonat.

### 3. Laju nukleasi fasa produk

Untuk meningkatkan laju nukleasi produk dapat digunakan reaktan yang memiliki struktur kristal mirip dengan struktur kristal produk (Anonim F, 2011).

## 2.6 Sintering

*Sintering* adalah suatu proses pemadatan dari sekumpulan serbuk pada suhu tinggi hingga melebihi titik leburnya. Proses *sintering* merupakan proses perubahan struktur mikro seperti perubahan ukuran pori, pertumbuhan butir (*grain growth*), peningkatan densitas, dan penyusutan massa (Ristic, 1989; Kang, 2005). Proses ini umumnya dilakukan pada temperatur konstan dengan waktu yang bervariasi. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan hasil tertentu, sehingga tahapan *sintering* dikaitkan dengan waktunya (Hirschhorn, 1976). Proses dimulai dengan partikel yang halus kemudian beraglomerasi menjadi bentuk yang dikehendaki, dilanjutkan dengan pembakaran yang dapat mengikat partikel. Suhu tinggi dalam prosesnya dimaksudkan agar partikel halus dapat beraglomerasi menjadi bahan padat.

Faktor – faktor yang menentukan proses dan mekanisme *sintering* antara lain adalah jenis bahan, komposisi, bahan pengotor, dan ukuran partikel. Proses *sintering* dapat berlangsung apabila terjadi transfer materi diantara butiran yang disebut proses difusi dan terdapat sumber energi yang dapat mengaktifkan transfer materi. Energi tersebut digunakan untuk menggerakkan butiran sehingga terjadi kontak dan ikatan yang sempurna (Ristic, 1989; Randall, 1991).

Proses *sintering* meliputi tiga tahapan yaitu: tahap awal, tahap pertengahan, dan tahap akhir *sintering*. Tahap awal, pada tahap ini permukaan kontak antarpartikel-partikel mulai melebar dan perubahan ukuran butiran dan pori belum terjadi. Tahap pertengahan, dalam tahap ini pori-pori pada batas butir saling menyatu dan terjadi pembentukan kanal-kanal pori dan ukuran butir mulai membesar. Tahap akhir, merupakan tahap dimana batas butir bergerak dan terjadi pembesaran partikel sampai kanal-kanal pori tertutup dan sekaligus terjadi penyusutan (Ristic, 1989; Kang, 2005).

## **2.7 Karakterisasi Keramik**

### **2.7.1 *Fourier Transform Infra Red Spectroscopy (FTIR)***

FTIR merupakan teknik spektroskopi yang dapat mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam sampel, baik organik maupun anorganik. Pada sistem optik FTIR dipakai radiasi LASER ( *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* ) yang berguna sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi IR agar sinyal radiasi IR diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik. Detektor yang digunakan sebagai detektor didalam FTIR adalah TGS ( *Tri Glycine Sulfat* ) atau MCT ( *Mercury Cadmium Telluride* ). MCT lebih banyak dipakai dibandingkan TGS sebab memberikan tanggapan yang lebih baik pada frekuensi modulasi tinggi, lebih sensitif, lebih cepat dan tidak dipengaruhi temperatur. MCT yang terpenting bersifat sangat selektif terhadap energi vibrasi yang diterima dari radiasi IR (Anonim G, 2005).

a. Jenis Vibrasi Molekul

Atom-atom di dalam molekul tidak dalam keadaan diam, tetapi biasanya terjadi peristiwa vibrasi. Hal ini bergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan yang menghubungkannya. Vibrasi molekul sangat khas untuk suatu molekul tertentu dan biasanya disebut vibrasi finger print. Vibrasi molekul dapat digolongkan atas dua golongan besar, yaitu : vibrasi regangan (*Stretching*) dan vibrasi bengkokan (*Bending*).

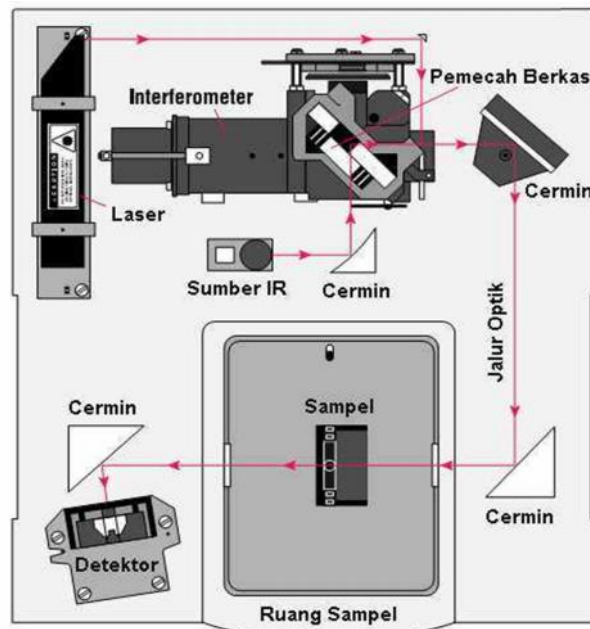
b. Daerah Identifikasi

Vibrasi yang digunakan untuk identifikasi adalah vibrasi tekuk, khususnya goyangan (*rocking*), yaitu yang berada di daerah bilangan gelombang 2000 – 400  $\text{cm}^{-1}$ . Karena di daerah antara 4000 – 2000  $\text{cm}^{-1}$  merupakan daerah yang khusus yang berguna untuk identifikasi gugus fungsional. Daerah ini menunjukkan absorpsi yang disebabkan oleh vibrasi regangan. Sedangkan daerah antara 2000 – 400  $\text{cm}^{-1}$  seringkali sangat rumit, karena vibrasi regangan maupun bengkokan mengakibatkan absorpsi pada daerah tersebut.

Dalam daerah 2000 – 400  $\text{cm}^{-1}$  tiap senyawa organik mempunyai absorpsi yang unik, sehingga daerah tersebut sering juga disebut sebagai daerah sidik jari (*fingerprint region*). Meskipun pada daerah 4000 – 2000  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan absorpsi yang sama, pada daerah 2000 – 400  $\text{cm}^{-1}$  juga harus menunjukkan pola yang sama sehingga dapat disimpulkan bahwa dua senyawa adalah sama.

c. Proses analisis sampel

*Spectroscopy* FTIR menggunakan sistem yang disebut dengan interferometer untuk mengumpulkan spektrum. Interferometer terdiri dari sumber radiasi, pemisah berkas, cermin, dan detektor. Skema lengkap dari instrumentasi FTIR ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan gambar tersebut cara kerja dari FTIR adalah energi inframerah diemisikan dari sumber bergerak melalui celah sempit untuk mengontrol jumlah energi yang akan diberikan ke sampel. Di sisi lain, berkas laser memasuki interferometer dan kemudian terjadi pengkodean sampel menghasilkan sinyal interferogram yang kemudian keluar dari interferogram. Berkas laser kemudian memasuki ruang sampel, berkas akan diteruskan atau dipantulkan oleh permukaan sampel tergantung dari energinya, yang mana merupakan karakteristik dari sampel. Berkas akhirnya sampai ke detektor.

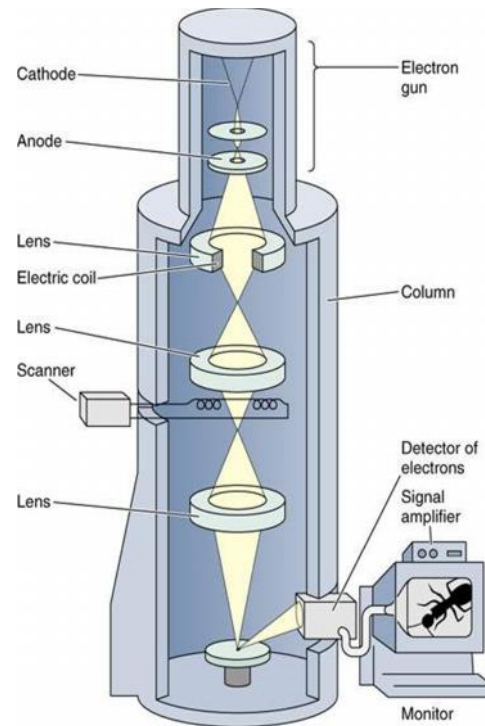


Gambar 5. Skematik proses FTIR.

### 2.7.2 *Scanning Microscopy Electron (SEM)*

*Scanning electron microscopy (SEM)* adalah suatu jenis mikroskop elektron yang menggambarkan permukaan sampel. Pembesaran dari pemindaian gambar adalah sama dengan perbandingan ukuran gambar yang ditampilkan oleh pengguna ketika dipindai oleh penyorot pada *specimen*. Pembesaran minimum adalah sudut maksimum yang dibentuk penyorot yang terdefleksi dan bergantung dengan jarak yang dikerjakan. Pembesaran minimum kira-kira 10, dengan area pemindai berorde  $1 \text{ cm}^2$ . Pembesaran dapat ditambahkan dengan mereduksi amplitudo dari gelombang yang digunakan untuk memindai. Penggunaan maksimumnya tentu bergantung dengan resolusi, dan untuk yang paling dimaksud berada pada batas  $10^4$  sampai  $10^6$ , berdasarkan tipe gambar spesimennya dan kondisi operasi (Reed, 2005).

Scanning Microscopy Electron (SEM) terdiri dari penembak elektron (*electron gun*), tiga lensa elektrostatik, dan kumparan scan elektromagnetik yang terletak antara lensa kedua dan ketiga, serta tabung amplifier untuk mendeteksi cahaya pada layar. SEM menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk menghasilkan bayangan. Diagram skematik dari SEM ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6. Diagram skematik SEM (Smallman dan Bishop, 1995).

Prinsip kerja dari SEM adalah berkas elektron dihasilkan dengan memanaskan filament, kemudian dikumpulkan melalui lensa kondensor elektromagnetik dan difokuskan oleh lensa objektif. Ketika arus dialirkan pada filament maka terjadi perbedaan potensial antara kutub katoda dan anoda yang akhirnya akan menghasilkan elektron. Elektron yang dihasilkan akan melewati celah pelindung pada anoda dan lensa magnetik serta lensa objektif. Berkas elektron tersebut dipercepat oleh medan listrik dan menumbuk sampel pada stage melalui scanning coil menghasilkan electron sekunder (*secondary electron*). Elektron hambur balik (BSE) yang dipantulkan dari sampel kemudian dideteksi dan dikuatkan oleh tabung multiplier yang kemudian ditransmisikan ke *scanner to TV* (Goldstein *et al*, 1981) sehingga bentuk dan ukuran sampel terlihat dalam bentuk sinaran.



SEM juga menggunakan hamburan balik elektron-elektron sekunder yang dipantulkan oleh sampel. Elektron-elektron sekunder mempunyai energi yang rendah maka elektron-elektron tersebut dapat dibelokkan membentuk sudut dan menimbulkan bayangan topografi. Elektron-elektron yang dihamburkan balik amat peka terhadap jumlah atom, sehingga itu penting untuk menunjukkan perbedaan pada perubahan komposisi kimia pada sampel. Efek ini mengakibatkan perbedaan orientasi antara butir satu dengan yang lainnya. Yang dapat memberikan informasi kristallografi (Smallman dan Bishop, 1995).

### **2.7.3 X-Ray Diffraction (XRD)**

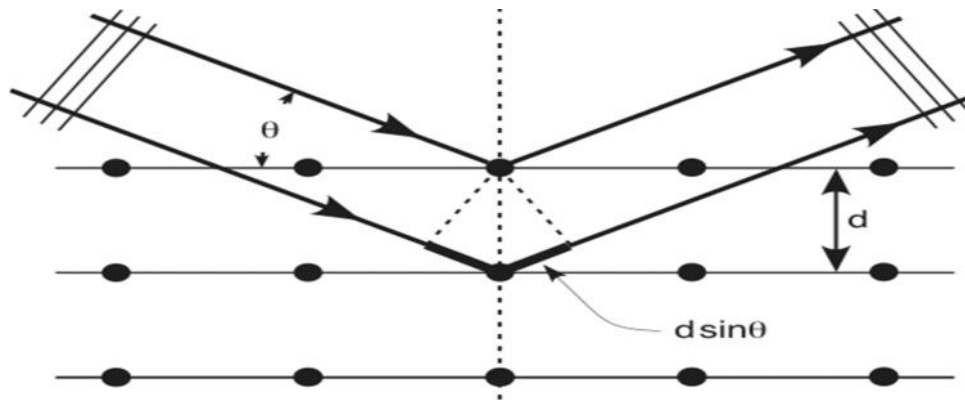
Sinar-X adalah sebuah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang elektromagnetik sekitar  $0,5 - 2,5 \text{ \AA}$ . Proses sinar-X dihamburkan yaitu bila seberkas sinar-X dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut datang ( $\theta$ ), maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang atom kristal dan menghasilkan puncak-puncak difraksi yang dapat diamati dengan peralatan difraktometer. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg :

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta \quad ; n = 1, 2, \dots \quad (2.4)$$

Dengan  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan,  $d$  adalah jarak antara dua bidang kisi,  $\theta$  adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan  $n$  adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan.

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material.

Pola difraksi, intensitas dan sudut difraksi  $2\theta$  berbeda-beda untuk setiap bahan. Interferensi merupakan puncak-puncak intensitas yang diperoleh sebagai hasil proses difraksi dimana terjadi interaksi antara sinar-X dengan atom-atom pada bidang kristal (Widhyastuti dkk, 2009).



Gambar 7. Sinar-X yang dihamburkan oleh atom-atom kristal.

*X-Ray Diffraction* (XRD) ini memiliki beberapa manfaat yaitu:

1. Menganalisis struktur kristal suatu material
2. Mengidentifikasi jenis-jenis struktur kubus yang dimiliki oleh suatu material.
3. Dapat menangani berbagai masalah, seperti material bangunan, pertambangan dan mineral, riset serta pengembangan plastik dan polimer, lingkungan, obat-obatan (*pharmaceutical*), semikonduktor dan film tipis, nanoteknologi dan material baru, analisis struktural untuk riset material dan kristalografi (Giancolli, 1998).

## 2.8 Evaluasi Sifat Fisis Keramik

### 2.8.1 Densitas

Densitas merupakan salah satu sifat fisis yang didefinisikan sebagai massa per satuan volume bahan, dan mengalami kenaikan dengan bertambahnya bilangan atom pada setiap sub kelompok. Pengujian ini bertujuan untuk melihat dan menganalisa kerapatan antar partikel yang lain dalam bahan.

Perlakuan panas seperti *sintering* pada suatu bahan dapat mempengaruhi proses pembentukan dan pendeposisian partikel (butiran). Hubungan antara *sintering* dengan densitas adalah densitas suatu bahan akan semakin bertambah berbanding lurus dengan penambahan waktu *sintering*. Ukuran butiran akan tersusun teratur yang mengakibatkan jumlah pori (porositas) bahan akan semakin kecil.

Densitas dirumuskan dengan persamaan:

$$\rho_b = \frac{M}{V} \quad (2.5)$$

Keterangan:

$\rho_b$  = *bulk density* (g/cm<sup>3</sup>)

M = massa sampel (gram)

V = volume sampel (cm<sup>3</sup>)

(Anonim H, 2011)

### 2.8.2 Porositas

Porositas suatu bahan menggambarkan pori-pori pada bahan. Porositas merupakan salah satu sifat fisis yang didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dengan volume total bahan. Nilai porositas biasanya dinyatakan dalam persen atau desimal. Beberapa material memiliki porositas secara alamiah, sebagai contoh *cast metal*, *sprays coating* atau keramik.

Persamaan untuk mengetahui nilai porositas adalah sebagai berikut:

$$\text{Porositas} = \left(1 - \frac{D_A}{D_T}\right) \times 100\% \quad (2.6)$$

Keterangan:

$D_A$  = Densitas yang didapat ( $\text{g/cm}^3$ )

$D_T$  = Densitas teoritis ( $\text{g/cm}^3$ )

### 2.8.3 Resistivitas

Resistivitas adalah besarnya tegangan yang diberikan terhadap luas penampang suatu bahan tertentu dibagi besarnya arus yang mengalir dari sepanjang bahan tersebut.

Resistivitas dapat dicari dengan persamaan:

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2.7)$$

Keterangan:

$\rho$  = resistivitas bahan (  $\Omega \cdot \text{cm}$  ).

$k$  = konstanta

$\Delta V$  = hambatan (  $\Omega$  ).

$I$  = Arus (  $\text{A}$  ).

### 2.8.4 Penyusutan (*Shrinkage*)

Penyusutan (*shrinkage*) adalah presentase pengurangan volume dari padatan sebelum disintering ( $V_0$ ) terhadap produk padatan sesudah disintering ( $V$ ), penyusutan ( $S$ ) terjadi karena proses pengurangan pori-pori padatan tersebut akibat proses *sintering*. Selain pengurangan terhadap pori-pori, penyusutan juga dapat mempengaruhi dimensi panjang, lebar, tebal, volume dan massa

padatan tersebut. Dengan demikian padatan yang disintering akan mengalami penyusutan. Besarnya penyusutan dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$S_V = \frac{V_o - V}{V_o} \times 100 \% \quad (2.8)$$

Dimana:

$$S_V = \text{Shrinkage } (\%)$$

$$V_o = \text{Volume awal } (m^3)$$

$$V = \text{Volume akhir } (m^3)$$