

II. TINJAUAN PUSTAKA

Teori yang dibahas pada tinjauan pustaka ini adalah tentang keramik, kalsium silikat (CaSiO_3), kalsium oksida (CaO), silika (SiO_2), reaksi padatan, *sintering*, FTIR, SEM, dan XRD, serta pengujian sifat fisis keramik (densitas, porositas, penyusutan, dan resistivitas).

2.1 Keramik

Keramik adalah suatu hasil seni dan teknologi untuk menghasilkan barang dari tanah liat yang dibakar, seperti gerabah, genteng, *porcelain*, dan sebagainya. Saat ini tidak semua keramik berasal dari tanah liat. Pengertian keramik terbaru menyebutkan bahwa keramik merupakan campuran yang terdiri dari unsur logam dan bukan logam (Vlack, 2004). Sama halnya dengan Smith, menurutnya keramik adalah material anorganik non-logam yang terdiri dari unsur logam dan non-logam yang saling berikatan (Smith, 1996).

Sifat keramik sangat ditentukan oleh struktur kristal, komposisi kimia dan mineral bawaannya. Oleh karena itu, sifat keramik juga tergantung pada lingkungan geologi dimana bahan diperoleh. Umumnya, keramik mempunyai sifat rapuh, keras, dan kaku (Aninom B, 2011).

Jenis keramik hasil *sintering*, dan campuran *sintering* dengan logam akan tahan pada suhu tinggi dan isolator yang baik. Sesuai dengan sifat dasarnya, unsur logam dapat melepaskan elektron pada kulit terluar dan memberikan pada atom non-logam yang mengikatnya. Akibatnya, elektron-elektron tersebut tidak dapat bergerak sehingga bahan keramik umumnya isolator listrik dan isolator panas yang baik (Vlack, 2004).

2.1.1 Jenis Keramik

Pada prinsipnya keramik terbagi atas 2 jenis, yaitu keramik tradisional dan keramik modern.

a. Keramik Tradisional

Keramik tradisional yaitu kerajinan keramik yang dalam pembuatannya menggunakan bahan yang berasal dari alam, seperti kuarsa, kaolin, dll. Hasil dari keramik tradisional ini adalah barang pecah belah (*dinner ware*), keperluan rumah tangga (*tile, bricks*), dan untuk industri (*refractory*). Sifat yang umum dan mudah dilihat secara fisik pada kebanyakan jenis keramik adalah *brittle* atau rapuh. Sifat ini dapat dilihat pada keramik jenis tradisional seperti barang pecah belah, gelas, kendi, gerabah dan sebagainya.

b. Keramik Modern

Keramik modern atau yang dikenal dengan keramik halus (*fine ceramics*) sering juga disebut keramik teknik, *advanced ceramics, engineering ceramics, technical ceramics*) merupakan kerajinan keramik yang dibuat dengan menggunakan oksida-oksida logam atau logam, seperti oksida logam (Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO , dll). Pada umumnya digunakan sebagai elemen pemanas, semikonduktor, komponen turbin, dan pada bidang medis (Joelianingsih, 2004).

Pada keramik modern menggunakan proses densifikasi. Proses densifikasi merupakan proses menggunakan panas yang tinggi untuk menjadikan sebuah keramik menjadi produk yang keras dan padat. Setelah dibentuk, keramik dipanaskan pada tungku (*furnace*) dengan temperatur antara 1000°C sampai 1700°C . Pada proses pemanasan, partikel-partikel bubuk menyatu dan memadat. Proses pemadatan ini menyebabkan objek keramik menyusut hingga 20 persen dari ukuran aslinya. Tujuan dari proses pemanasan

ini adalah untuk memaksimalkan kekerasan keramik dengan mendapatkan struktur internal yang tersusun rapi dan sangat padat.

2.1.2 Kegunaan Keramik

Kegunaan keramik beragam disesuaikan dengan kemampuan dan daya tahannya. Keramik dinilai dari sifatnya, keramik dengan sifat elektrik dan magnetik dapat digunakan sebagai insulator, semikonduktor, konduktor dan magnet. Keramik dengan sifat yang berbeda dapat digunakan pada biomedis, konstruksi bangunan, dan industri nuklir.

Beberapa contoh penggunaan keramik modern:

- a. Peralatan yang dibuat dari alumina dan silikon nitrida dapat digunakan sebagai pemotong, pembentuk dan penghancur logam.
- b. Keramik tipe zirconias, silikon nitrida maupun karbida dapat digunakan untuk saluran pada *rotorturbocharger diesel* temperatur tinggi.
- c. Keramik sebagai insulator adalah aluminum oksida (Al_2O_3), kalsium silikat (CaSiO_3). Keramik sebagai semikonduktor adalah barium titanat (BaTiO_3) dan strontium titanat (SrTiO_3). Keramik juga digunakan sebagai superkonduktor adalah senyawa berbasis tembaga oksida.
- d. Keramik dengan campuran semen dan logam digunakan untuk pelapis pelindung panas pada pesawat ulang-alik dan satelit.
- e. Keramik juga digunakan sebagai *coating* (pelapis) untuk mencegah korosi. Keramik yang digunakan adalah jenis enamel. Peralatan rumah tangga yang menggunakan pelapisan enamel ini diantaranya adalah kulkas, kompor gas, mesin cuci, dan mesin pengering (Anonim C, 2011).

2.2 Kalsium Silikat (CaSiO₃)

Kalsium silikat (CaSiO₃) atau dengan nama lain disebut *wollastonite* merupakan salah satu dari kelompok senyawa yang diperoleh dari reaksi kalsium karbonat dan [silika](#) (Jacob, 1976). Kandungan kalsium silikat ini terdiri atas kalsium, silikon dan oksigen. Kalsium silikat (CaSiO₃) ini memiliki komposisi massa teoritis yaitu CaO sebesar 48,28% dan SiO₂ sebesar 51,72% (Collie, 1976). Karakteristik dari kalsium silikat (CaSiO₃) dapat dilihat pada tabel 1.

Table 1. Karakteristik kalsium silikat.

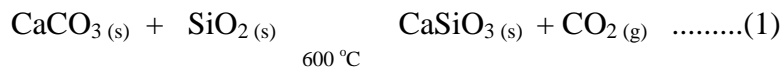
Rumus molekul	CaSiO ₃
Berat molekul (g/mol)	116
Berat jenis (g)	2,8 – 2,9
Titik lebur (°C)	1540
Kristalografi	Acicular
Kekerasan (Mohs)	4 – 7
pH	9-10
Indeks bias	1,63
Densitas (g/cm ³)	2,91
Warna	Putih

Sumber: (New York City Opera, 2011).

Pada tabel 1 terlihat bahwa kalsium silikat (CaSiO₃) merupakan bahan yang tahan terhadap suhu tinggi yaitu sebesar 1540°C. Kalsium silikat merupakan mineral alami yang berwarna putih serta struktur kristalnya berbentuk acicular.

2.2.1 Pembentukan Kalsium Silikat (CaSiO₃) di Alam

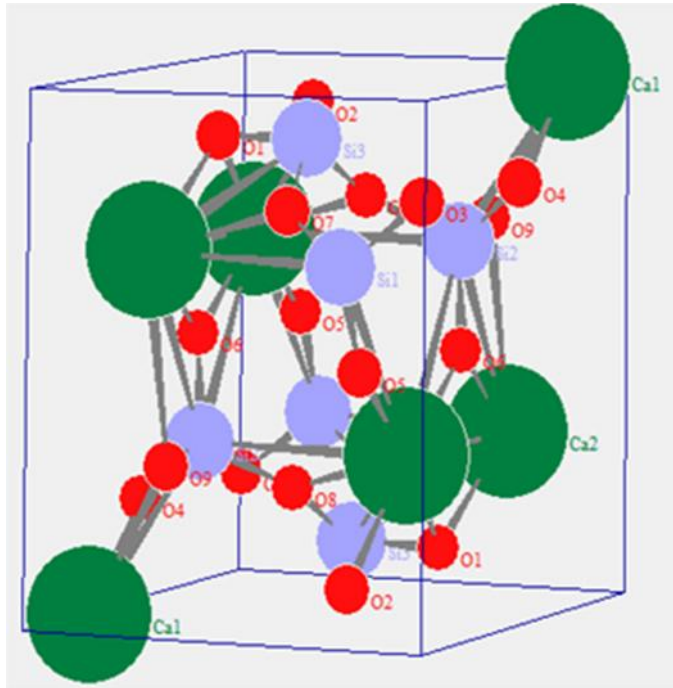
Kalsium silikat dapat dibentuk di alam dalam berbagai cara, namun secara umum pembentukan kalsium silikat melibatkan metamorfosis (panas serta tekanan) dari batu gamping (kalsit). Dalam silika batu gamping, silika dan kalsit bereaksi membentuk kalsium silikat, berikut ini adalah reaksi pembentukan kalsium silikat:



Kalsium silikat juga dapat terbentuk oleh bagian larutan hidrotermal yang mengandung silika. Umumnya mengandung silika hasil dari aktivitas batuan lokal, sehingga perlahan-lahan terbentuk struktur kristal kalsium silikat. Rekristalisasi kalsium silikat terjadi selama periode waktu yang panjang. Peristiwa geologis berikutnya, yang melibatkan panas tambahan, dapat mengakibatkan rekristalisasi dan dapat menyebabkan struktur kristal yang lebih besar. Reaksi sederhana antara silika dan kalsium karbonat untuk membentuk kalsium silikat terjadi kira-kira 600 °C. Suhu yang diperlukan meningkat sebanding dengan tekanan (Demidenko, Podzorova *et al*, 2001).

2.2.2 Struktur Kristal Kalsium Silikat (CaSiO₃)

Struktur kristal kalsium silikat 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 $\gamma=103^\circ$ (American Mineralogist, 2011). Berikut ini merupakan gambar dari struktur kristal kalsium silikat.



Gambar 1. Struktur kristal kalsium silikat pada program PCW (Powder Cell) (Trojer, 1968).

Berdasarkan gambar 1 struktur kristal kalsium silikat (CaSiO_3) memiliki jari – jari ionik Ca^{2+} sebesar 2 \AA , Si^{4+} sebesar $1,15$ dan O^{2-} sebesar $0,73$. Pada struktur kristal kalsium silikat tersebut digunakan *perspective* sebesar $1,00$ dengan *size factor* $0,50$. Pada struktur krista tersebut Ca^{2+} ditunjukkan dengan warna merah, Si^{4+} ditunjukkan dengan warna hijau dan O^{2-} ditunjukkan dengan warna biru (Trojer, 1968).

2.2.3 Kegunaan Kalsium Silikat (CaSiO_3)

Berikut ini merupakan kegunaan dari kalsium silikat:

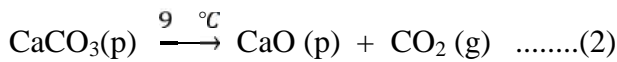
- a. Penggunaan terbesar dari kalsium silikat adalah dalam industri keramik. Kalsium silikat digunakan sebagai bahan utama keramik yang dibutuhkan untuk pembuatan ubin lantai dan dinding.
- b. Kalsium silikat sebagai salah satu bahan baku dalam industri semen.

- c. Kalsium silikat sebagai suatu penyaring pada plastik dan karet yang berdasarkan sifat-sifat listrik maupun dielektrik dan pengaruh hambatan serta modulus listrik (Crooks, 1999).

2.3 Kalsium Oksida (CaO)

Kalsium oksida juga disebut kapur tohor yang memiliki rumus kimia CaO. Kalsium oksida (CaO) merupakan kapur non-hidrolik yang diperoleh dari hasil pembakaran batu alam yang komposisinya sebagian besar berupa kalsium karbonat (CaCO₃). Bahan dasar dari kapur ini adalah batu kapur. Batu kapur tersebut mengandung kalsium karbonat (CaCO₃). Kalsium oksida

(CaO) terbentuk dengan adanya reaksi kalsinasi. Reaksi kalsinasi tersebut menggunakan pemanasan dengan suhu kira - kira 900 °C, akibat proses tersebut karbon dioksida (CO₂) yang terkandung dalam kalsium karbonat (CaCO₃) keluar, dan yang tertinggal hanya kapurnya saja yaitu kalsium oksida (CaO) (Collie, 1976), reaksinya sebagai berikut:



Reaksi diatas bersifat bolak-balik, dan pada suhu kamar reaksi kekiri yang terjadi sangat kuat, terutama bila CO₂ terus-menerus dikeluarkan dari tempat berlangsungnya reaksi. Berkat adanya pembakaran tersebut maka kalsium oksida (CaO) dapat dihasilkan (Petrucci, 1985). Karakteristik dari kalsium oksida dapat dilihat pada tabel 2.

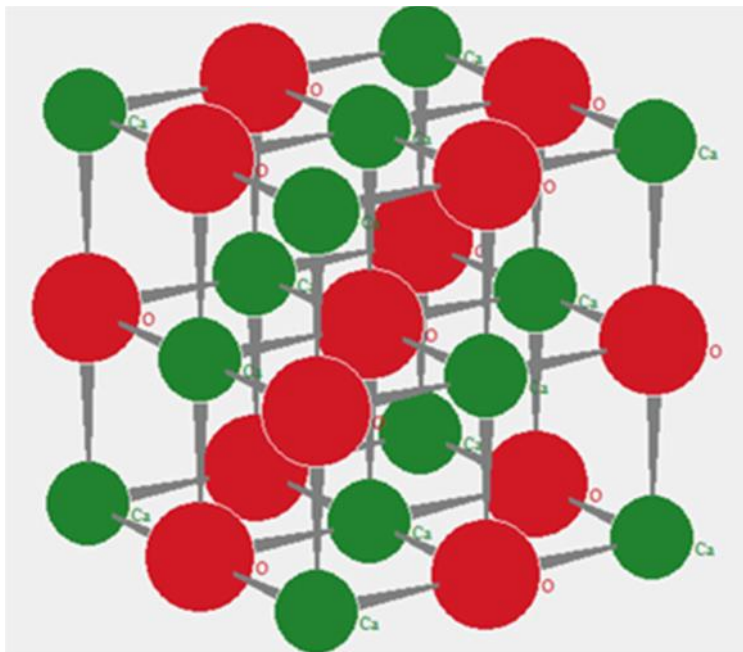
Tabel 2. Karakteristik kalsium oksida.

Nama IUPAC	kalsium Oksida
Rumus molekul	CaO
Berat molekul (g/mol)	56
Densitas (g/cm ³)	3,35
Titik didih (°C)	2850
Titik lebur (°C)	2572

Warna	Putih
Struktur Kristal	Kubik

Sumber: (American Mineralogist, 2011).

Struktur kalsium oksida (CaO) memiliki *space group* Fm3m yakni sebesar 225, dengan nilai a, b, dan c sama yaitu sebesar 4,805 Å, dan nilai $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (American Mineralogist, 2011). Struktur kristal untuk kalsium oksida (CaO) dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Struktur kristal kalsium oksida pada program PCW23 (Powder Cell) (Trojer, 1968).

Berdasarkan gambar di atas yang diperoleh dengan menggunakan PCW23 menunjukkan bahwa struktur kristal kalsium oksida (CaO) yang memiliki jari – jari ionik Ca^{2+} sebesar 1,05 Å, dan O^{2-} sebesar 1,35 Å. Pada struktur kristal kalsium oksida tersebut digunakan *perspective* sebesar 1,00 dengan *size factor* 0,50. Pada struktur kristal ini Ca^{2+} ditunjukkan dengan warna hijau dan O^{2-} ditunjukkan dengan warna merah (Trojer, 1968).

2.4 Silika (SiO₂)

Silika atau silikon dioksida (SiO₂) merupakan salah satu bahan keramik yang memiliki daya tahan terhadap temperatur tinggi, pemuaian termal rendah dan bersifat isolator (Anonim D, 2010). Karakteristik dari silika (SiO₂) dapat dilihat pada tabel 3.

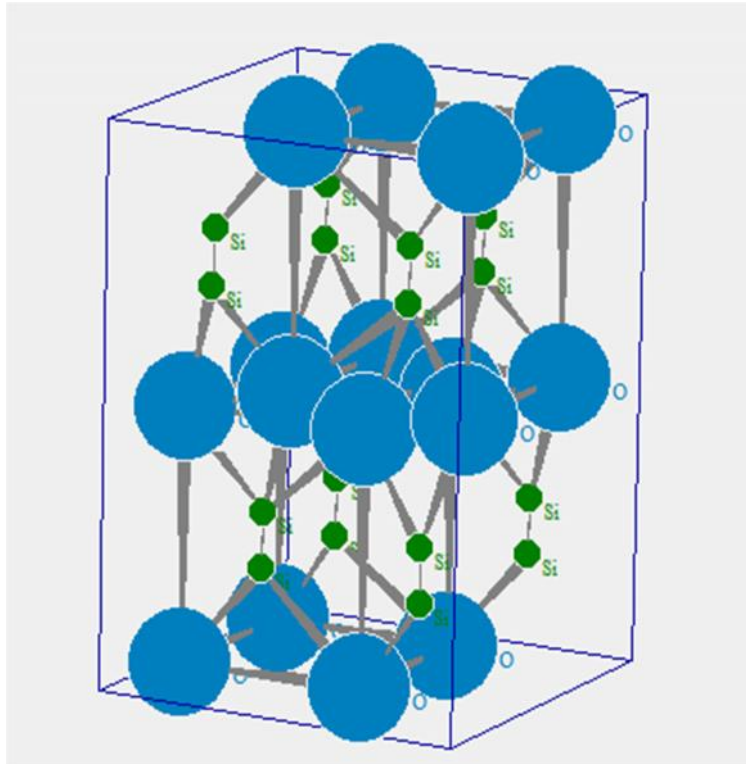
Tabel 3. Karakteristik silika.

Nama IUPAC	Silikon Dioksida
Nama lain	Kuarsa, Silikon Oksida, Silikon
Rumus molekul	SiO ₂
Berat jenis (g/cm ³)	2,6
Bentuk	Padat
Titik lebur (°C)	1600 – 1725
Titik didih (°C)	2230
Resistivitas (Ω m)	>10 ¹⁴
Koordinasi geometri	Tetrahedral

Sumber: Adimasramdhani, 2011.

Pada tabel 3 terlihat bahwa silika memiliki resistivitas yang cukup besar, sehingga silika bisa digunakan sebagai bahan isolator. Silika (SiO₂) banyak dipakai sebagai bahan industri seperti keramik, sebagai bahan anorganik yang bukan logam. Bahan dasar keramik berasal dari tambang (alam) yaitu : SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, dll. Bahan keramik ini banyak dipakai berbagai bidang industri elektronik, bahan bangunan bahkan telah digunakan teknologi nuklir dan ruangan angkasa.

Struktur kristal silika memiliki *space group* Cmc₂m dengan nilai *space group* sebesar 63 dengan jari-jari ionik Si⁴⁺ sebesar 0,4 Å dan O²⁻ sebesar 1,35Å, nilai komposisi atom a = b = 4,9717 Å, c = 6,9223 Å dan nilai sudut = = = 90 ° (Trojer, 1968). Struktur kristal silika dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Struktur kristal silika pada program PCW23 (Powder Cell) (Trojer, 1968).

Gambar 3 menunjukkan struktur kristal silika (SiO_2) yang memiliki jari – jari ionik Si^{4+} sebesar 0,4 dan O^{2-} sebesar 1,35 . Pada struktur kristal silika tersebut digunakan *perspective* sebesar 1,00 dengan *size factor* 0,50. Pada struktur kristal di atas Si^{4+} ditunjukkan dengan warna hijau dan O^{2-} ditunjukkan dengan warna biru (Trojer, 1968).

Silika digunakan terutama dalam produksi kaca atau jendela, gelas, botol minuman, dan banyak kegunaan lainnya. Silika juga merupakan bahan baku utama untuk keramik, porselin, serta industri semen portland (Adimasramdhani, 2011).

2. 5 Metode Reaksi Padatan

Metode reaksi padatan 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 tahapan yang umumnya 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.

Dalam sintesis kalsium silikat (CaSiO_3) dilakukan pencampuran dengan perbandingan stoikiometri yang cocok (perbandingan molar 1 : 1) dan digerus dengan *mortar* dan *pestle*. Penimbangan yang akurat merupakan langkah yang sangat kritis, sebab sekali produk terbentuk, pemurnian sering merupakan hal yang hampir tidak mungkin. Oleh karena itu, perbandingan stoikiometri yang tepat sangat penting. Selanjutnya, pengepresan campuran menjadi *pellet*, memasukkan *pellet* tersebut ke dalam cawan krusibel, dan menempatkannya dalam tungku pada suhu yang tinggi, misalnya 900 °C (Aninom E, 2009).

Langkah-langkah dalam metode reaksi padatan sebagai berikut:

1. Memilih pereaksi yang tepat dengan ciri-ciri:
 - a. Serbuk yang berbutir kecil untuk memaksimalkan luas permukaan.
 - b. Reaktif untuk mempercepat reaksi.
 - c. Komposisi terdefenisi baik.
2. Menimbang pereaksi dengan analitik.
3. Mencampurkan berbagai pereaksi dengan menggunakan *mortar* dan *pastel*.
4. Mengubah campuran reaksi menjadi *pellet* dengan maksud:
 - a. Meningkatkan kontak antarpartikel.

- b. Meminimalkan kontak dengan krusibelnya.
5. Memilih wadah reaksi, dalam memilih wadah reaksi, perlu dipertimbangkan faktor kereaktifan, kekuatan, harga dan kerapuhan wadah, misalnya Al_2O_3 dengan temperatur maksimal 1950°C .
6. Memanaskan campuran yang telah terbentuk, untuk mencegah terjadinya penguapan dan kemungkinan penghamburan pereaksi dari wadah reaksi, dapat dilakukan dengan memanaskan campuran pada temperatur yang lebih rendah pada saat reaksi dimulai.
7. Menggerus dan menganalisis dengan difraksi sinar-X serbuk. Tahap ini merupakan tahap untuk mengecek apakah produk telah terbentuk dan reaksi telah selesai atau belum (Ismunandar, 2006).

2.6 Sintering

Metode yang sering digunakan dalam pembuatan keramik yaitu *sintering*. Pada proses *sintering* dimana kenaikan *adhesi* diantara partikel melalui proses pemanasan. Proses *sintering* ini memerlukan suhu yang tinggi agar partikel-partikel tersebut membentuk padatan sesuai dengan mikrostruktur yang diinginkan.

Pada proses *sintering* terjadi beberapa hal antara lain:

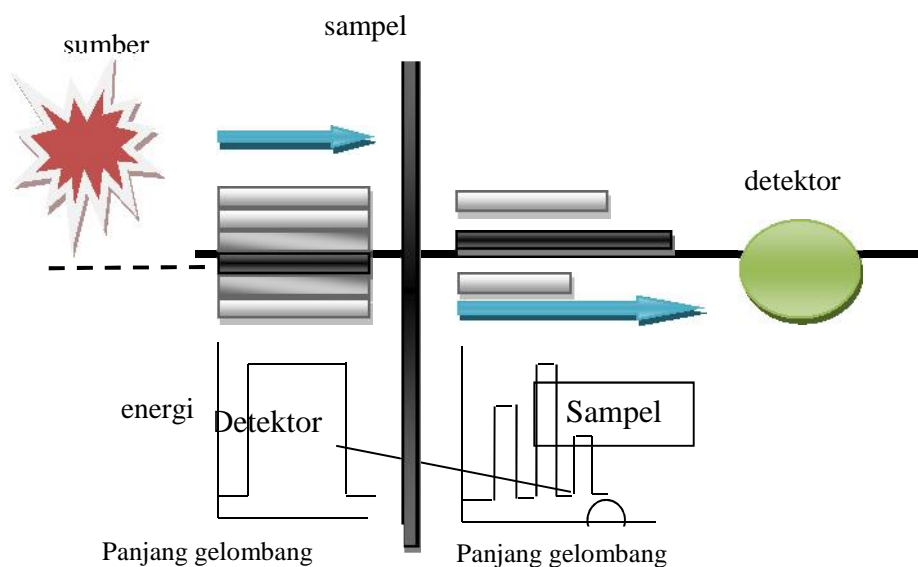
1. Pada tahap ini terjadi pelepasan ikatan, penghilangan cairan yang terkandung dalam sampel seperti air, dan konversi zat aditif seperti *organometallic* atau polimer.
2. Secara tipikal biasanya penahanan temperatur pertama ini dilakukan dalam temperatur yang masih rendah yaitu hanya sekitar beberapa ratus derajat.
3. Terjadinya proses homogenisasi.

Proses *sintering* bertujuan untuk menambah kekuatan dan agar pertumbuhan butir menjadi lebih halus. Proses *sintering* akan membuat keramik bersifat koheren, sehingga densitas akan meningkat, sedangkan porositas akan menurun (Anonim F, 2010).

2.8 Fourier Transform Infra-Red (FTIR)

FTIR merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi material secara kuantitatif maupun kualitatif. Analisa kuantitatif berdasarkan pada gugus fungsi berdasarkan standar yang ada. Sampel yang dianalisis dapat berupa padatan, cair, maupun gas.

Pada sistem optik FTIR digunakan radiasi LASER (*light amplification by stimulated emission of radiation*) yang berfungsi sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi infra merah agar sinyal radiasi infra merah yang diterima oleh detektor secara utuh dan lebih baik. Perangkat dari spektrofotometer FTIR dapat dilihat pada gambar di samping,



Gambar 4. Spektrofotometer FTIR (Anonim G, 2011).

Detektor yang digunakan dalam Spektrofotometer FTIR adalah TGS (*tetra glycerine sulphate*) atau MCT (*mercury cadmium telluride*). Detektor MCT lebih banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan detektor TGS, yaitu memberikan respon yang lebih baik pada frekuensi modulasi tinggi, lebih sensitif, lebih cepat, tidak dipengaruhi oleh temperatur, sangat selektif terhadap energi vibrasi yang diterima dari radiasi infra merah.

Secara keseluruhan, analisis menggunakan spektrofotometer ini memiliki dua kelebihan utama dibandingkan metode konvensional lainnya, yaitu:

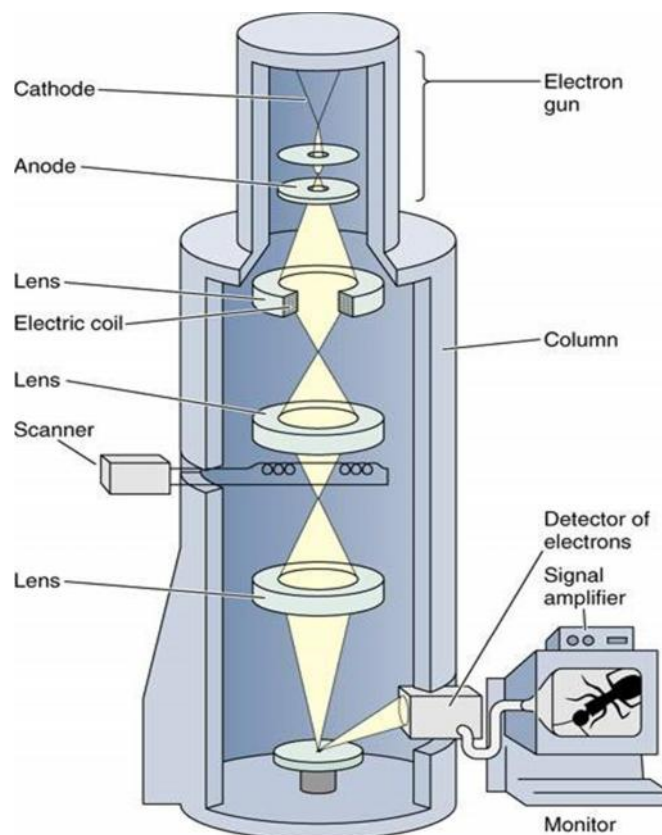
1. Dapat digunakan pada semua frekuensi dari sumber cahaya secara simultan sehingga analisis dapat dilakukan lebih cepat daripada menggunakan cara pemindaian.
2. Sensitifitas dari metode spektrofotometri FTIR lebih besar dari pada cara dispersi, sebab radiasi yang masuk ke sistem detektor lebih banyak karena tanpa harus melalui celah.

2.8 Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM merupakan alat yang digunakan untuk mempelajari mikrostruktur permukaan secara langsung dari bahan atau sampel yang berbentuk padat seperti keramik, logam, dan komposit, yang dapat diamati secara tiga dimensi. Cara terbentuknya gambar pada SEM yaitu gambar dibuat berdasarkan deteksi elektron sekunder atau elektron pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel tersebut dipindai dengan sinar elektron.

Prinsip kerja SEM adalah mendeteksi elektron yang dipancarkan oleh suatu sampel padatan ketika ditembakkan oleh berkas elektron berenergi tinggi secara kontinu yang dipercepat di dalam *electromagnetic coil* yang dihubungkan dengan tabung sinar katoda sehingga dihasilkan suatu informasi mengenai keadaan permukaan suatu sampel senyawa.

Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor CRT (*cathode ray tube*). Di layar CRT inilah gambar struktur obyek yang sudah diperbesar bisa dilihat. Pada proses operasinya, SEM tidak memerlukan sampel yang ditipiskan, sehingga bisa digunakan untuk melihat obyek dari sudut pandang 3 dimensi (Reed, 1993). Diagram skematik dari SEM dapat dilihat pada gambar 5.



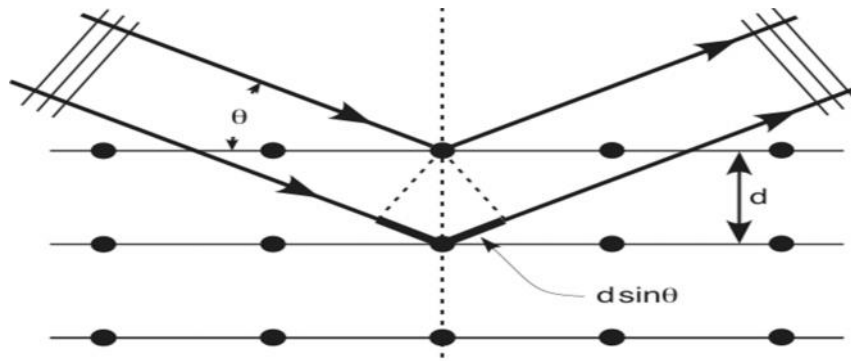
Gambar 5. Diagram skematik SEM (Reed, 1993)

Pada gambar 5 terlihat bahwa informasi yang diperoleh ditangkap oleh detektor dan kemudian akan ditampilkan pada layar monitor. SEM merupakan alat yang mempunyai ketajaman gambar yang sangat tinggi dan mempunyai daya pisah sekitar 0,5 nm dengan perbesaran maksimum sekitar 500.000 kali. Kemampuan daya pisah ini disebabkan karena SEM menggunakan elektron sebagai sumber radiasinya.

2.9 X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar-X atau yang sering dikenal dengan XRD adalah alat yang digunakan untuk menentukan struktur dan pengenalan bahan-bahan baik keramik, gelas maupun komposit. Teknik XRD ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel (Cullity, 1978).

Sifat dari sinar-X menunjukkan bahwa sinar ini bukan merupakan partikel bermuatan (seperti elektron) karena tidak dapat dibelokkan oleh medan listrik atau magnet. Diperkirakan bahwa sinar ini merupakan satu bentuk cahaya tak tampak. Saat ini, sinar-X dikenal sebagai radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang dalam kisaran sekitar 10^{-2} nm sampai 10 nm, kisaran yang bisa langsung dihasilkan dalam tabung sinar-X. Prinsip kerja XRD dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Prinsip kerja XRD.

Difraksi Bragg biasa digunakan untuk analisa bahan dengan menggunakan alat XRD. Dasar dari prinsip pendifraksian sinar-X yaitu 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, dapat dilihat pada persamaan 3.

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

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X dijatuhkan 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.

Pembelokkan cahaya yang terjadi disebabkan karena saat gelombang elektromagnetik mengenai atom sehingga atom bergetar dan memancarkan gelombang elektromagnetik

sekunder yang terpancar sebagai *diffracted rays*. Analisa bahan yang digunakan biasanya bisa untuk mengetahui sifat-sifat bahan seperti lebar kisi kristal, dimensi kristal, volume sel, cacat pada bahan, komposisi bahan, posisi atom dalam sel dan masih banyak lagi.

XRD memiliki kegunaan sebagai berikut:

1. Analisis struktur kristal suatu material.
2. Mengidentifikasi jenis-jenis struktur kubus yang dimiliki oleh suatu material.
3. Pada saat ini XRD 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).

2.10 Pengujian Sifat Fisis Keramik

Pengujian sifat fisis keramik yang dilakukan yaitu densitas, porositas, penyusutan, resistivitas.

2.10.1 Densitas

Densitas merupakan salah satu sifat fisis yang didefinisikan sebagai massa persatuan volume bahan, dan mengalami kenaikan dengan bertambahnya bilangan atom pada setiap sub kelompok. Pengujian densitas suatu bahan bertujuan untuk melihat dan menganalisa kerapatan antar partikel yang satu dengan partikel yang lain dalam bahan. Perlakuan panas seperti *sintering* pada suatu bahan mempengaruhi proses pembentukan dan pendeposisian partikel (butiran). Persamaan yang digunakan dalam pengujian densitas ditunjukkan pada persamaan 4.

\

$$\rho_b = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

ρ_b = Densitas (g/cm³).

m = Massa sampel (g).

v = Volume sampel (cm³).

2.10.2 Porositas

Porositas merupakan satuan yang menyatakan keporositasan suatu material yang dihitung dengan mencari persen (%) berdasarkan densitas perhitungan yang diperoleh terhadap densitas teori pada sampel. Untuk menghitung porositas suatu material menggunakan persamaan berikut.

$$P = 1 - \frac{D_A}{D_T} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

D_A = Densitas pengukuran (g/cm³).

D_T = Densitas teori (g/cm³).

2.10.3 Penyusutan

Penyusutan suatu bahan menggambarkan berkurangnya dimensi (panjang, lebar, dan tinggi), volume dan massa suatu bahan yang telah diberi perlakuan *sintering*.

Penyusutan merupakan persen pengurangan massa ataupun volume sampel sebelum dibakar terhadap sampel setelah dibakar, penyusutan ini terjadi karena proses pengurangan dan pemadatan pori setelah dilakukan pembakaran.

Secara sistematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$S_v = \frac{V_o - V_t}{V_o} \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

S_v = Penyusutan volume (%).

v_o = Volume sebelum dibakar (cm^3).

v_t = Volume sesudah dibakar (cm^3).

2.10.4 Resistivitas

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

Secara sistematis ditunjukkan oleh persamaan 7.

$$\rho = \frac{k\Delta V}{I} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

ρ = Resistivitas bahan ($\Omega \cdot \text{cm}$).

k = Konstanta.

ΔV = Tegangan (Volt).

I = Arus (Ampere).

Resistivitas listrik suatu bahan merupakan ukuran kemampuan bahan tersebut untuk mengirim muatan listrik di bawah pengaruh medan listrik. Standar isolator listrik

tegangan rendah berdasarkan resistivitasnya memiliki resistivitas $> 10^7$ cm, untuk isolator listrik tegangan menengah berdasarkan resistivitasnya memiliki resistivitas $10^9 - 10^{14}$ cm, dan isolator listrik tegangan tinggi maka resistivitasnya harus memiliki resistivitas $> 10^{14}$ cm (Indiani dan Umiati, 2009).