II. TINJAUAN PUSTAKA

Teori yang dibahas pada Tinjauan Pustaka ini terdiri dari beberapa konsep dasar yang mendukung topik penelitian. Pembahasan dimulai dengan penjelasan mengenai keramik, kalsium silikat, cangkang telur, kalsium karbonat, silika, reaksi padatan, sintering, XRD, SEM, FTIR serta uji fisis.

2.1 Keramik

2.1.1 Definisi Keramik

Keramik pada awalnya berasal dari bahasa Yunani *keramikos* yang artinya suatu bentuk dari tanah liat yang telah mengalami proses pembakaran, sedangkan kamus dan ensiklopedia tahun 1950-an mendefinisikan keramik sebagai suatu hasil seni dan teknologi untuk menghasilkan barang dari tanah liat yang dibakar, seperti gerabah, genteng, porselin, dan sebagainya (Anonim C, 2011). Berbeda dengan Smith, menurutnya 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).

2.1.2 Klasifikasi Keramik

Pada prinsipnya keramik terbagi atas keramik tradisional dan keramik halus. Keramik tradisional adalah keramik yang dibuat dengan menggunakan bahan

alam, seperti kuarsa, kaolin, dan lain-lain. Contoh dari keramik ini yaitu barang pecah belah (*dinnerware*), keperluan rumah tangga (*tile, bricks*), dan untuk industri (*refractory*). Sedangkan keramik halus (*fine ceramics*) adalah keramik yang dibuat dengan menggunakan oksida-oksida logam atau logam, seperti oksida logam Al_2O_3, ZrO_2, MgO,dan lain-lain (Nurhakim, 2008).

2.2 Kalsium Silikat

2.2.1 Sifat-sifat Kalsium Silikat

Kalsium silikat adalah senyawa silikat yang dihasilkan dari reaksi antara kalsium karbonat dan silika. Kalsium silikat ini memiliki karakteristik seperti ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Karakteristik Kalsium Silikat.

Karakteristik kalsium silikat	Nilai
Warna	Putih
Bentuk	Acicular
Berat Molekul	116
Gravitasi Spesifik	2.9
Indeks Bias	1.63
pH	9.9
Kelarutan Air (g/100cc)	0.0095
Bulking Value	0.0413
Kekerasan (Kg/mm^2)	4.5
Koefisien Ekspansi($x10^{-6}/^oC$)	6.5
Titik Lebur (^oC)	1540
Rumus Molekul	$CaSiO_3$

Sumber: (NYCO, 2011).

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa kalsium silikat memiliki koefisien ekspansi yang rendah, tahan pada temperatur 1540 ^oC. Berdasarkan karakteristik termal ini kalsium silikat ini 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 Pembentukkan Kalsium Silikat di Alam

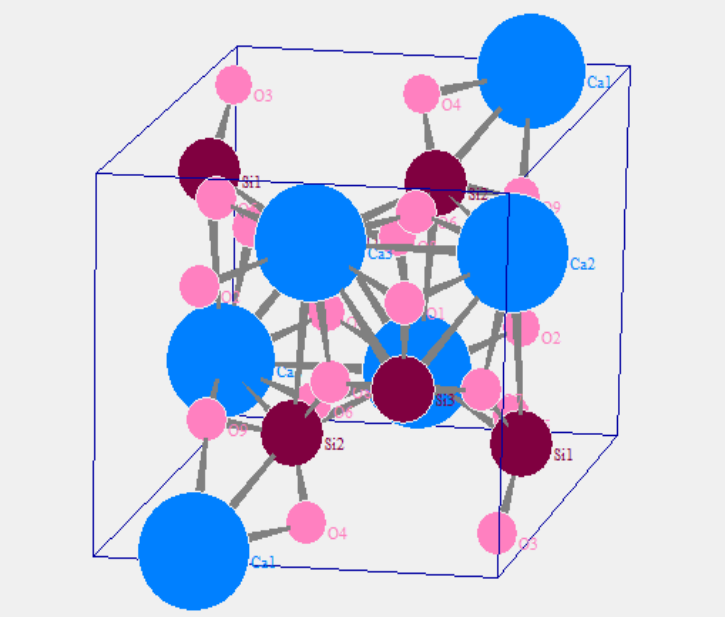
Kalsium silikat dapat dibentuk dengan dua metode pembentukan, dimana keduanya melibatkan metamorfosis (panas dan tekanan) dari batu kapur. Pertama terjadi ketika silika dan batu kapur meningkat mencapai temperatur 400 ^{o}C – 450 ^{o}C, baik dalam penguburan atau yang sedang dipanggang karena kedekatan mereka dengan batuan beku yang membentuk kalsium silikat dan menghasilkan karbon dioksida, dengan reaksi sebagai berikut:

$$SiO_2 + CaCO_3 \longrightarrow CaSiO_3 + CO_2 \qquad (2.1)$$

Kedua kalsium silikat terbentuk secara langsung dari pengkristalan magma yang luar biasa tinggi kandungan karbonnya (Copeland and Santini, 1994).

2.2.3 Struktur Kristal Kalsium Silikat

Gambar 1 berikut menunjukkan struktur kristal dari kalsium silikat ($CaSiO_3$) yang terdiri dari atom-atom Ca (kalsium), Si (silikon), dan O (oksigen) yang didapatkan dari program PCW dimana memiliki *space group* P-1 dengan nilai *space group* yaitu 2 dengan jari-jari ionik Ca^{2+}, Si^{4+} dan O^{2-} secara berturut-turut yaitu 2 Å, 1.15 Å, 0.73 Å dan *perspective* 1.00 dan *size factor* 0.50 kemudian dengan nilai komposisi atom a = 7.9400 Å, b=7.3200 Å, c = 7.0700 Å dan nilai sudut α = 90.0300 ^{o}, β = 95.3700 ^{o} dan γ = 103.4300 ^{o} (Trojer, 1968).



Gambar 1. Struktur kristal kalsium silikat yang didapatkan dari program PCW *(Powder Cell)* (Trojer, 1968).

2.2.4 Aplikasi Kalsium Silikat

Sampai akhir tahun 1970-an, kalsium silikat secara umum hanya digunakan sebagai batu hias. Sejak awal tahun 1980-an, kalsium silikat telah dikembangkan dalam produk asbestos termasuk isolasi papan dan panel-panel, cat, plastik, atap genteng, dan pada perangkat gesekan seperti rem dan kuku-kuku (Copeland and Santini, 1994).

Kalsium silikat juga memiliki berbagai kegunaan lainnya, antara lain:

1. Keramik

Terutama dinding ubin dan *dinnerware.* Kalsium silikat mempunyai warna putih yang tetap dan mempunyai keuntungan terhadap kaolin, *talc,* dan lain-lain seperti:

a. Meningkatkan ikatan melalui pengeringan dan tekanan.

b. Kekuatan tinggi pada tahap penghijauan dan pembakaran.

c. Mengurangi waktu pembakaran.
d. Berbentuk khusus untuk insulator listrik seperti busi yang dapat dihasilkan baik pada tekanan kering maupun tekanan basah.

2. Plastik

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

3. Kegunaan lain

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 Cangkang Telur

Cangkang telur merupakan sumber terkaya yang mengandung kalsium dan merupakan 11% dari total berat telur dan mengandung 94% kalsium karbonat, 1% kalsium fosfat, 4% bahan organik, dan 1% magnesium karbonat (Dasgupta *et al,* 2004).

Cangkang telur juga mempunyai banyak pori yang penting untuk pertukaran udara, dimana di dalam cangkang terdapat selaput tipis di salah satu ujung telur, selaput tidak menempel pada cangkang sehingga membentuk rongga udara (Pastry, 2010).

Cangkang telur memiliki banyak manfaat, salah satunya yaitu peneliti dari University of Calcutta, India menunjukkan bahwa membran yang melapisi cangkang telur dapat menyerap gas rumah kaca karbon dioksida dari atmosfer, bahkan hampir tujuh kali lipat dari berat telur itu sendiri (Rohmat,2009). Selain itu manfaat cangkang telur juga dapat digunakan untuk mempercepat pembekuan darah (Anonim D, 2009).

2.4 Kalsium Karbonat

2.4.1 Sifat-Sifat Kalsium Karbonat

Kalsium karbonat umumnya bewarna putih dan umumnya sering djumpai pada batu kapur, kalsit, marmer, dan batu gamping. Selain itu kalsium karbonat juga banyak dijumpai pada skalaktit dan stalagmit yang terdapat di sekitar pegunungan. Karbonat yang terdapat pada skalaktit 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, dan ikatan ini ikatannya lebih longgar dari ikatan antara karbon dengan kalsium pada satu senyawa. Kalsium karbonat bila dipanaskan akan pecah dan menjadi serbuk remah yang lunak yang dinamakan kalsium oksida (CaO). Hal ini terjadi karena pada reaksi tersebut

setiap molekul dari kalsium akan bergabung dengan 1 atom oksigen dan molekul lainnya akan berikatan dengan oksigen menghasilkan CO_2 yang akan terlepas ke udara sebagai gas karbon dioksida, dengan reaksi sebagai berikut:

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \quad (2.2)$$

Reaksi ini akan berlanjut apabila ditambahkan air, reaksinya akan berjalan dengan sangat kuat dan cepat apabila dalam bentuk serbuk, serbuk kalsium karbonat akan melepaskan kalor. Molekul dari $CaCO_3$ akan segera mengikat molekul air (H_2O) yang akan membentuk kalsium hidroksida, zat yang lunak seperti pasta (Ena, 2009).

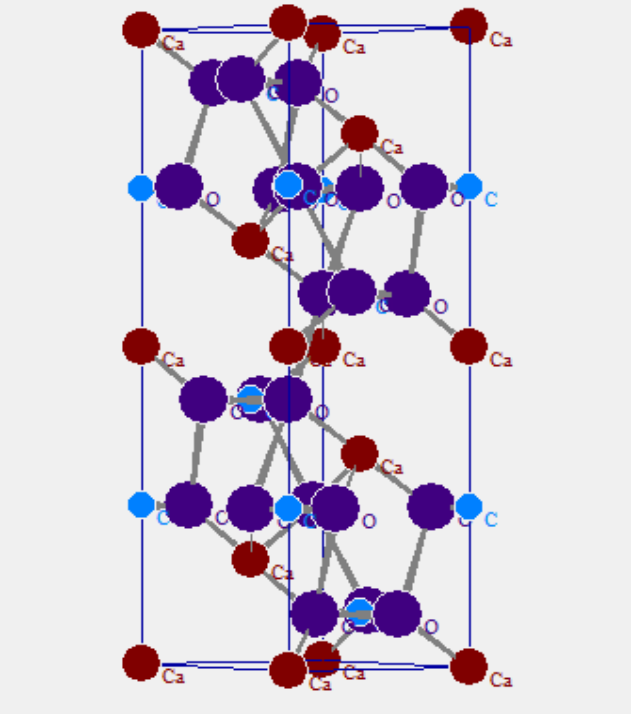
2.4.2 Proses Pembentukan Kalsium Karbonat

Batu kapur merupakan sumber utama kalsium karbonat. Di pasaran, kalsium karbonat dijual dalam dua jenis yang berbeda. Perbedaan dari kedua jenis produk tersebut terletak pada tingkat kemurnian produk kalsium karbonat di dalamnya. Kedua jenis produk kalsium karbonat atau $CaCO_3$ yang dimaksud adalah *heavy* dan *light type*. Kalsium karbonat *heavy type* diproduksi dengan cara menghancurkan batu kapur hasil penambangan menjadi *powder* halus, lalu disaring sampai diperoleh ukuran *powder* yang diinginkan. Selanjutnya tepung kalsium karbonat hasil penyaringan disimpan dalam silo-silo atau tempat penyimpanan yang berukuran besar sebelum dikemas. Sedangkan kalsium karbonat *light type* diperoleh setelah melalui proses produksi yang agak rumit, dibandingkan dengan *heavy type.* Pertama-tama batu kapur dibakar dalam tungku berukuran raksasa, untuk mengubah $CaCO_3$ menjadi CaO (kalsium oksida) dan gas karbon dioksida (CO_2). Proses selanjutnya CaO yang terbentuk kemudian

dicampur dengan air dan diaduk. Maka terbentuklah senyawa kalsium hidroksida $Ca(OH)_2$. Kalsium hidroksida yang terbentuk kemudian direaksikan dengan CO_2 untuk membentuk $CaCO_3$ dan air (Anonim E, 2009).

2.4.3 Struktur Kristal Kalsium Karbonat

Gambar 2 berikut menunjukkan struktur kristal dari kalsium karbonat ($CaCO_3$) 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 Ca^{2+}, C^{4+} dan 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 $\alpha = \beta = 90^{o}$ dan $\gamma = 120^{o}$ (Antao and Hasan, 2009).



Gambar 2. Struktur kristal kalsium karbonat yang didapatkan dari program PCW *(Powder Cell)* (Antao dan Hasan, 2009).

2.5. Silika

2.5.1 Sifat-Sifat Silika

Senyawa kimia silikon dioksida yang dikenal dengan nama silika merupakan oksida silikon dengan rumus kimia SiO_2. Silika merupakan senyawa logam oksida yang banyak terdapat di alam, namun keberadaannya di alam tidak dalam kondisi bebas, melainkan terikat dengan senyawa lain baik secara fisik maupun secara kimia. Penggunaan silika banyak dalam industri-industri, dikarenakan sifat dan morfologinya yang unik, diantaranya: luas permukaan dan volume porinya yang besar, dan kemampuan untuk menyerap berbagai zat seperti air, oli dan bahan radioaktif. Pada umumnya silika bisa bersifat *hidrofobik* ataupun *hidrofilik* sesuai dengan struktur dan morfologinya . Selain itu silika juga bersifat non konduktor, memiliki ketahanan terhadap oksidasi dan degredasi termal yang baik, jika dipadukan dengan karet alam, maka akan membentuk komposit karet alam-silika yang akan menunjukkan kemampuannya untuk memperbaiki kinerja sebuah komposit baik sifat mekanik, optik, listrik maupun ketahanannya terhadap korosi jika dibandingkan dengan komposit berpenguat lainnya. Kinerja yang lebih baik tersebut terbentuk disebabkan adanya ikatan *interface* antara SiO_2 dengan karet alam (Hildayati dkk, 2009). Karakteristik silika dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

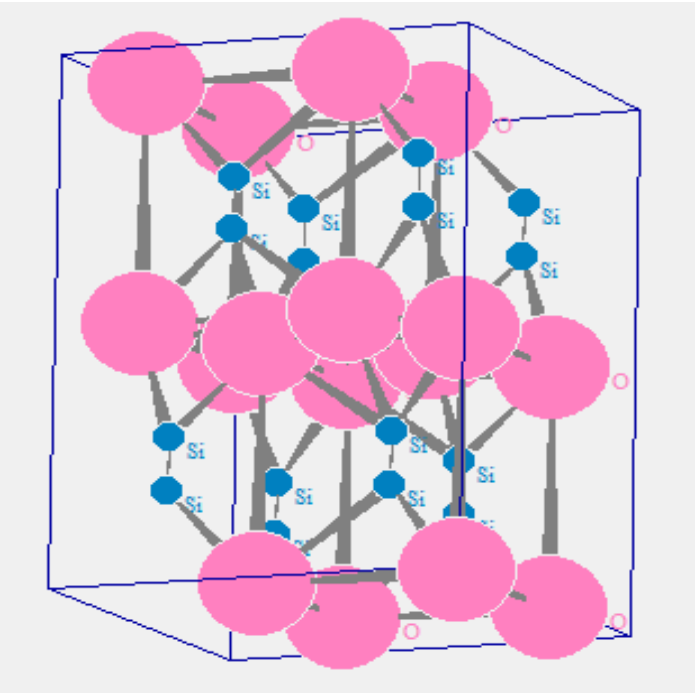
Tabel 2. Karakteristik Silika .

Karakteristik Silika	Nilai
Nama lain	Silikon dioksida
Rumus molekul	SiO_2
Berat jenis (g/cm^3)	2,6
Bentuk	Padat
Daya larut dalam air	Tidak larut
Titik cair (^oC)	1610
Titik didih (^oC)	2230
Kekerasan (Kg/mm^2)	650
Kekuatan tekuk (Mpa)	70
Kekuatan tarik (Mpa)	110
Modulus Elastisitas (Gpa)	73-75
Resistivitas (Ωm)	$>10^{14}$
Koordinasi geometri	Tetrahedral
Struktur kristal	Kristobalit, tridimit, kuarsa

Sumber : (Surdia, 1999).

2.5.2 Struktur Kristal Silika

Atom silikon, seperti halnya atom karbon dapat membentuk empat ikatan secara serentak tersusun secara tetrahedral. Unsur Si mengkristal dengan struktur kubus berpusat muka. Dalam silika (SiO_2) setiap atom Si terikat pada empat atom O dan tiap atom O terikat pada dua atom Si. Penyusunan struktur tersebut meluas menjadi jaringan yang sangat besar (Petrucci,1987). Gambar 3 menunjukkan struktur silika.



Gambar 3. Struktur kristal silika yang didapatkan dari program PCW *(Powder Cell)* (Boisen, 1994).

Gambar 3 diatas menunjukkan struktur kristal dari silika (SiO_2) yang terdiri dari atom-atom Si (silikon) dan O (oksigen) yang didapatkan dari program *Powder Cell* (PCW) dimana memiliki *space group* Cmcm dengan nilai *space group* yaitu 63 dengan jari-jari ionik Si^{4+} dan O^{2-}secara berturut-turut yaitu 0.4 Å dan 1.35Å dan dengan *perspective* 1.00 dan *size factor* 0.50 kemudian dengan nilai komposisi atom a = b = 4.9717 Å, c = 6.9223 Å dan nilai sudut $\alpha = \beta = \gamma = 90^{o}$ (Boisen, 1994).

2.6 Reaksi Padatan

Menurut paradigma lama reaksi padatan adalah reaksi yang hanya melibatkan antar zat padat, sedangkan menurut paradigma baru reaksi padatan adalah reaksi

yang melibatkan zat padat, termasuk didalamnya yaitu reaksi padat-padat, reaksi padat-cair, reaksi padat-gas (adsorpsi dan dekomposisi), interkalasi.

Metode yang termasuk dalam reaksi fasa padat adalah metode keramik (*shake and bake)* yaitu suatu reaksi antar padatan yang secara langsung menghasilkan produk akhir (Anonim F, 2010).

Langkah-langkah lebih detailnya dalam sintesis kimia padat adalah sebagai berikut:

1. Memilih pereaksi yang tepat dengan ciri-ciri:
   (a) Serbuk yang berbutir kecil untuk memaksimalkan luas permukaan.
   (b) Reaktif yang mempercepat reaksi.
   (c) Komposisinya terdefinisi baik.
2. Menimbang pereaksi dengan neraca analitik.
3. Mencampurkan berbagai pereaksi dengan menggunakan:
   (a) *Agate mortar* dan *pastle* (pelarut organik sebagai pembasah)
   (b) *Ball mill* (khususnya untuk preparasi dalam jumlah besar, lebih dari 20g).
4. Mengubah campuran reaksi menjadi *pellet* dengan maksud meningkatkan kontak antarpartikel dan meminimalkan kontak dengan *crucible*nya.
5. Memilih wadah reaksi.
6. Memanaskan campuran yang telah terbentuk.
7. Menggerus dan menganalisis dengan difraksi sinar-X serbuk.
8. Bila reaksi belum lengkap, kembali ke langkah 4 dan diulangi lagi (Ismunandar, 2006).

2.7 Sintering

Sintering adalah proses pemanasan di bawah suhu leleh dan dalam bentuk padat (*solid state*) untuk membentuk fasa tertentu dan mengompakkan komposisi fasa yang diinginkan (Staab *et al*, 1998).

Teknik sintering digunakan untuk meningkatkan kerapatan keramik sesuai dengan mikrostruktur dan komposisi fasa yang diinginkan. Metode ini meliputi manipulasi rencana sintering (sintering *schedules*) dan dalam beberapa kasus digunakan tekanan. Kontrol dari atmosfer sintering (sintering dalam udara bebas) termasuk hal yang penting. Pada banyak kasus dengan kontrol yang tepat dalam mengatur tekanan penggunaan oksigen dan nitrogen sebagai fungsi temperatur terkadang dapat memberikan keuntungan atau bahkan merupakan hal yang sangat penting. *Insoluble* gas yang terjebak di dalam pori-pori yang tertutup dapat menghambat proses densifikasi akhir atau membawa pada pertambahan densifikasi dan dalam kasus ini menunjukkan adanya perubahan atmosfer sintering atau vakum sintering (sintering dalam keadaan non-oksida). Praktek sintering meliputi kontrol dari karakteristik partikel, struktur padatan muda, dan perkiraan struktur kimia yang terbentuk sebagai fungsi dari kondisi selama proses sintering berlangsung. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses sintering dan hal-hal yang terjadi dalam proses sintering dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Meningkatkan terjadinya proses homogenisasi kimia atau terjadinya reaksi pada komponen serbuk.
2. Peningkatan temperatur untuk menuju keadaan isotermal sintering (proses sintering dalam temperatur yang sama).

3. Isotermal sintering, dalam proses ini terjadi densifikasi utama dan pengembangan mikrostruktur yang kemudian diikuti oleh pendinginan secara lambat.
4. Penahan temperatur untuk pendinginan akhir dari tahap pendinginan selanjutnya.
5. Mengurangi *internal stress* atau memberikan kesempatan pada *presipitasi* (penyisipan) atau reaksi yang lainnya (Rahman, 2006).

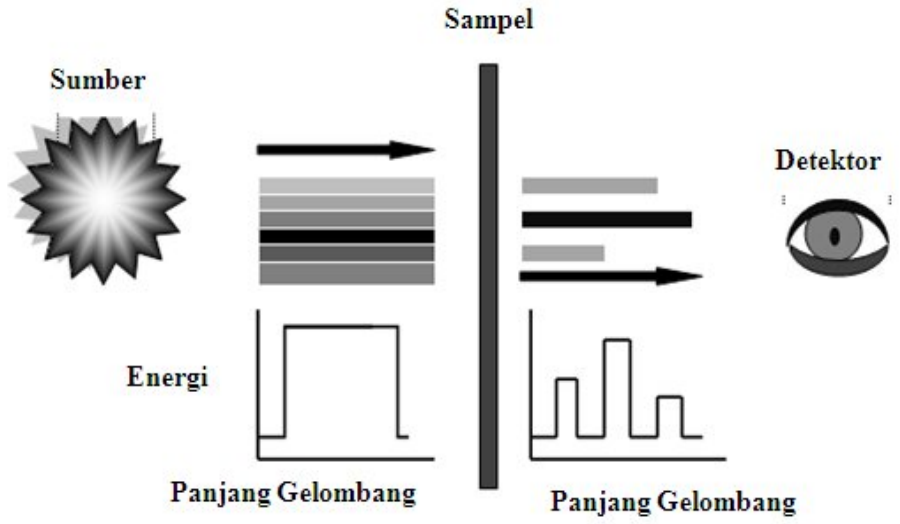
2.8. *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

2.8.1 Definisi FTIR

FTIR atau *fourier transform infrared* lebih dikenal dengan metode spektrofotometer. Pada metode spektrofotometer, radiasi *infrared* dilewatkan melalui suatu sampel. Beberapa radiasi *infrared* diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan. Spektroskopi *infrared* telah menjadi teknik pekerja keras untuk analisis bahan di laboratorium selama lebih dari tujuh tahun. Suatu spektrum *infrared* merupakan sidik jari suatu sampel dengan puncak serapan yang sesuai dengan frekuensi getaran ikatan atom yang membentuk suatu bahan, karena setiap bahan yang berbeda merupakan kombinasi dari dua atom maka tidak ada dua senyawa yang menghasilkan spektrum *infrared* yang sama. Oleh karena itu, spektroskopi *infrared* dapat menghasilkan identifikasi yang positif (analisis kualitatif) dari setiap jenis bahan yang berbeda. Selain itu, ukuran puncak pada spektrum merupakan indikasi langsung dari jumlah material yang ada.

2.8.2 Prinsip Kerja FTIR

Gambar 4 menunjukkan prinsip kerja FTIR yaitu sumber yang berupa *infrared* dilewatkan melalui celah ke sampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel. Kemudian beberapa *infrared* diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar *infrared* lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer.



Gambar 4. Skematik prinsip kerja FTIR (ThermoNicolet, 2001).

2.8.3 Aplikasi FTIR

Spektroskopi infrared memiliki beberapa kegunaan antara lain sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi material organik dan anorganik yang tidak diketahui, terkadang campuran atau terkadang mikroskopik.
2. Kuantifikasi dari O dan H dalam Si, dan H dalam SiN.

3. Mengkarakterisasi dari total sisa non volatil atau volatil yang menguap (Evans, 2009).

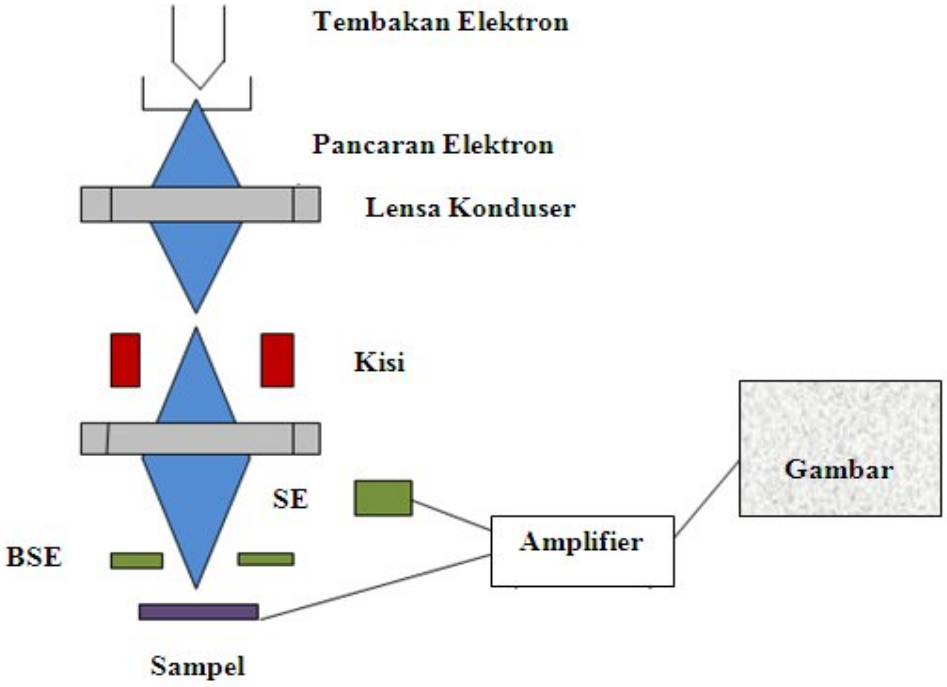
2.9 *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

2.9.1 Definisi SEM

Mikroskop elektron atau yang dikenal dengan SEM merupakan suatu teknik analisis yang sangat berguna untuk memberikan informasi struktural melalui berbagai pembesaran. Pada SEM dilengkapi dengan mikroskop optik yang digunakan untuk mempelajari tekstur, topografi, dan sifat permukaan bubuk atau padatan dan karena ketajaman fokus dari alat SEM sehingga gambar yang dihasilkan memiliki kualitas tiga dimensi yang pasti (West, 1999).

2.9.2 Prinsip Kerja SEM

Gambar 5 menunjukkan prinsip kerja SEM yaitu sumber elektron yang berasal dari filamen katoda ditembakkan menuju sampel. Berkas elektron tersebut kemudian difokuskan oleh lensa magnetik sebelum sampai pada permukaan sampel. Lensa magnetik memiliki lensa kondenser yang berfungsi memfokuskan sinar elektron. Berkas elektron kemudian menghasilkan *Backscattered Electron* (BSE) dan *Secondary Electron* (SE) menuju sampel, dimana SE akan terhubung dengan *amplifier* yang kemudian dihasilkan gambar pada monitor (Reed,1993).



Gambar 5. Skematik prinsip kerja SEM.

2.9.3 Aplikasi SEM

SEM dapat digunakan untuk menghasilkan gambar dengan resolusi yang tinggi sehingga dapat mengindentifikasi logam-logam dan material, mengklasifikasi material. Selain itu SEM umumnya dipakai untuk aplikasi yang cukup bervariasi pada permasalahan eksplorasi dan produksi migas, termasuk didalamnya: evaluasi kualitas batuan reservoir melalui studi diagnosa yang meliputi identifikasi dan interpretasi keberadaan mineral dan distribusinya pada sistem porositas batuan. Investigasi permasalahan produksi migas seperti efek dari *clay minerals*, *steamfloods* dan *chemical treatments* yang terjadi pada peralatan pemboran, *gravelpacks* dan pada reservoir. Identifikasi dari mikrofosil untuk penentuan umur dan lingkungan pengendapan (Mifta, 2011).

2.10. *X-Ray Diffraction* (XRD)

2.10.1 Definisi Sinar – X

Sewaktu bekerja dengan tabung sinar katoda pada tahun 1895, W. Rontgen menemukan bahwa sinar dari tabung dapat menembus bahan yang tak tembus cahaya dan mengaktifkan layar pendar atau film foto. Sinar ini berasal dari titik dimana elektron dalam tabung mengenai sasaran di dalam tabung tersebut atau tabung kacanya sendiri . Rontgen tidak dapat menyimpangkan sinar-sinar ini di dalam medan magnetik, sebagaimana yang diharapkan jika sinar tersebut berupa partikel bermuatan, tidak juga dapat mengamati difraksi atau interferensi, sebagaimana yang diharapkan jika sinar tersebut berupa gelombang. Rontgen memberi nama sinar tersebut yaitu sinar-X. Ia menyelidiki sinar ini secara intensif dan menemukan bahwa semua bahan tertembus oleh sinar tersebut dalam derajat tertentu dan bahwa derajat ketertembusan berkurang dengan meningkatnya densitas bahannya (Tipler, 1996).

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:

$$n.\lambda = 2.d.\sin\theta \; ; \; n = 1,2,... \qquad (2.3)$$

dimana:

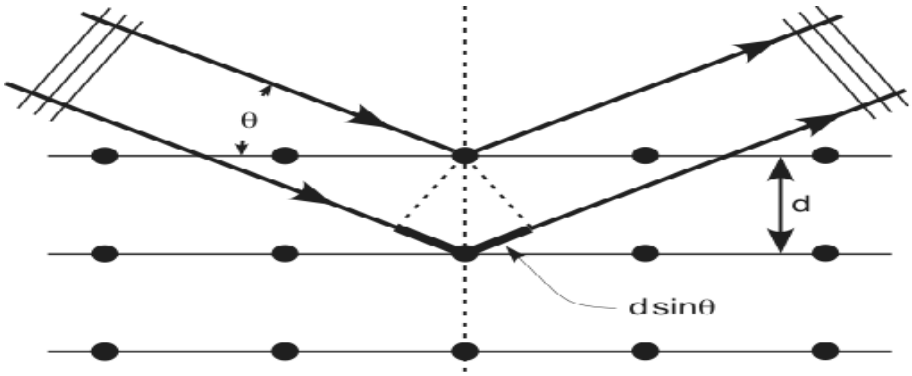
d = jarak antar bidang kisi (Å)

θ = sudut difraksi

λ = panjang gelombang (Å)

n = orde (1,2,3……n)

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 (Dina dkk,2009).



Gambar 6. Skematik dasar perhitungan Bragg.

2.10.2 Prinsip Kerja XRD

Prinsip kerja XRD secara umum yaitu XRD terdiri dari tiga bagian utama, yaitu tabung sinar-X, tempat objek yang diteliti, dan detektor sinar-X. Sinar-X

dihasilkan di tabung sinar-X yang berisi katoda untuk memanaskan filamen, sehingga menghasilkan elektron. Perbedaan tegangan menyebabkan percepatan elektron akan menembaki objek. Ketika elektron mempunyai tingkat energi yang tinggi dan menabrak elektron dalam objek sehingga dihasilkan pancaran sinar-X. Objek dan detektor berputar untuk menangkap dan merekam intensitas refleksi sinar-X. Detektor merekam dan memproses sinyal sinar-X dan mengolahnya dalam bentuk grafik (Dina dkk, 2009).

2.10.3 Aplikasi XRD

Sinar-X memiliki beberapa kegunaan dalam berbagai bidang antara lain:

1. Perobatan

Sinar-X lembut digunakan untuk mengambil gambar foto yang dikenal sebagai radiograf. Sinar-X boleh menembusi badan manusia tetapi diserap oleh bagian yang lebih tumpat seperti tulang. Gambar foto sinar-X digunakan untuk men*scan* kecacatan tulang, men*scan* tulang yang patah dan menyiasat keadaan organ-organ dalam tubuh, sedangkan sinar-X keras digunakan untuk memusnahkan sel-sel kanker. Istilah ini dikenal sebagai radioterapi.

2. Perindustrian

Dalam bidang perindustrian, sinar-X dapat digunakan untuk:

a. Men*scan* kecacatan dalam struktur binaan atau bagian-bagian dalam mesin.
b. Menyelidiki struktur hablur dan jarak pemisahan antara atom-atom dalam suatu bahan hablur.

c. Memeriksa retakan dalam struktur plastik dan getah.

2.11 Pengujian Sifat Fisis Keramik

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

2.11.1 Densitas

Densitas merupakan suatu ukuran massa per unit volume dan dinyatakan dalam gram per centimeter kubik (g/cm^3) atau pound per inch kuadrat (lb/in^2). Pengukuran densitas yang dilakukan adalah jenis densitas ruah (*bulk density*). Persamaan untuk menghitung densitas ruah diberikan pada persamaan (2.4).

$$= - \qquad (2.4)$$

dimana:

ρ_b = *bulk density* (g/cm^3)

m = massa (gram)

2.11.2 Porositas

Berdasarkan asal-usulnya porositas dibagi menjadi dua yaitu *original (primary) porosity* dan *induced (secondary) porosity. Original (primary) porosity* merupakan porositas yang terbentuk ketika proses pengendapan batuan (deposisi) tanpa ada faktor lain. Pada umumnya terjadi pada porositas antar butiran pada batu pasir, antar kristal pada batu kapur, atau porositas *oolitic* pada batu kapur. Sedangkan *induced (secondary) porosity* merupakan porositas yang terbentuk setelah proses deposisi batuan karena beberapa proses geologi yang terjadi pada

batuan tersebut, seperti proses *intrusi*, *fault*, retakan, dan sebagainya. Proses tersebut akan mengakibatkan lapisan yang sebelumnya *non-porosity/permeabelitas* menjadi lapisan berporositas. Contohnya retakan pada *shale* dan batu kapur, dan *vugs* atau lubang-lubang akibat pelarutan pada batu kapur (Anonim G, 2011). Porositas suatu bahan dapat didefinisikan dengan persamaan (2.5) berikut:

$$\text{Porositas} = 1 - \frac{\quad}{\quad} \quad 100\% \qquad (2.5)$$

dimana:

D_A = densitas pengukuran (g/cm^3)

D_T = densitas teori (2,91 g/cm^3)

2.11.3 Penyusutan (*shrinkage*)

Penyusutan (*shrinkage*) menggambarkan perubahan berat bahan sebelum pembakaran dan setelah pembakaran karena menguapnya air pembentuk dan air selaput pada badan dan permukaan keramik (Anonim H, 2009).

Penyusutan (*shrinkage*) dapat dihitung dengan rumus seperti pada persamaan (2.6).

$$= \frac{\quad}{\quad} \quad 100\% \qquad (2.6)$$

dimana:

Sv = Penyusutan volume

V = Volume setelah pembakaran

V_0 = Volume sebelum pembakaran

2.11.4 Resistivitas

Resistivitas memiliki pengertian yang berbeda dengan resistansi (hambatan), dimana resistansi tidak hanya bergantung pada bahan tetapi juga bergantung pada faktor geometri atau bentuk bahan tersebut, sedangkan resistivitas tidak bergantung pada faktor geometri. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik, begitu pula sebaliknya (Anonim I, 2011). Resistivitas suatu bahan dapat didefinisikan seperti pada persamaan (2.7).

$$\rho = \frac{\Delta}{} \tag{2.7}$$

dimana:

ρ = resistivitas bahan (Ωcm)

l = arus (A)

ΔV = tegangan (Volt)

k = konstanta ($2\pi a$)