

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengolahan Tempurung Kelapa

Hampir semua bagian dari tanaman kelapa dapat dimanfaatkan sehingga dianggap sebagai tumbuhan serba guna dimulai batang kelapa sebagai pengganti kayu yang digunakan untuk bahan bangunan, perabot rumah tangga, alat perkakas, kerajinan, sumber energi berupa arang. Lidi dapat digunakan sebagai kerajinan anyam dan tenun. Sabut digunakan untuk kerajinan bunga kering. Tempurung dapat digunakan sebagai kerajinan, pelapis mebel, dan arang aktif (Suharto dan Ambarwati, 2013).

Buah kelapa terdiri dari daging kelapa, air kelapa, tempurung kelapa dan sabut kelapa. Tempurung kelapa bagian yang paling keras yang dilapisi sabut kelapa yang memiliki ketebalan 3-5 mm. Tempurung kelapa memiliki berat antara 15-19% berat kelapa. Di daerah pedesaan tempurung kelapa terbuang, dan hanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar baik dalam tempurung kering atau arang. Namun beberapa tahun terakhir ini tempurung kelapa telah dimanfaatkan sebagai alat peraga edukatif di sekolah-sekolah, selain itu tempurung kelapa juga dimanfaatkan untuk pembuatan arang aktif yang berfungsi untuk adsorpsi gas dan uap (Suhartana, 2006).

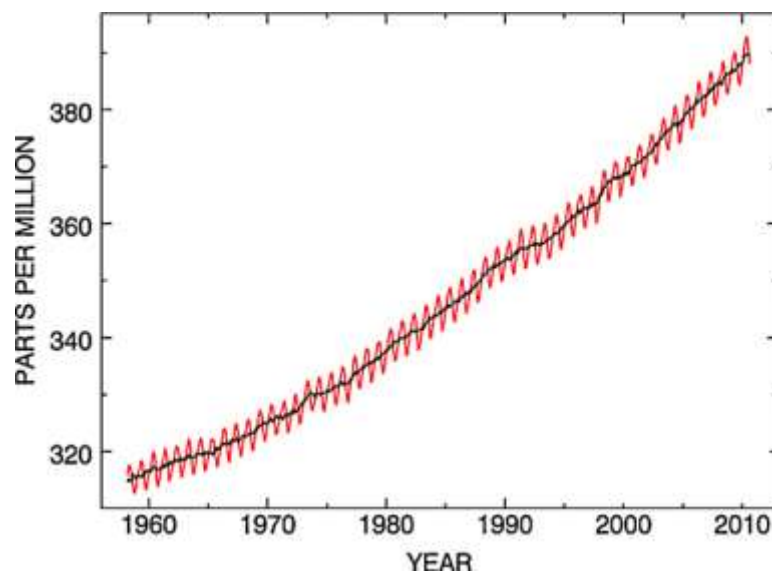
Melalui teknologi pirolisis, tempurung kelapa dapat diolah untuk menghasilkan arang aktif, briket arang, asap cair dan natrium karbonat yang menjadi nilai tambah produk kelapa. Arang aktif sebagai produk yang memiliki daya saing kuat karena memiliki mutu tinggi merupakan jenis karbon yang memiliki luas permukaan yang besar ($500 \text{ m}^2/\text{g}$). Hal ini dicapai melalui proses pengaktifan karbon, baik secara kimia maupun fisika (Hadi, 2011). Produksi arang aktif yang berkualitas dapat diperoleh dengan persyaratan khusus yang wajib dipenuhi seperti arang harus bersih, keras, kadar air 5%, dan tingkat kematangan sempurna dan saat proses pembakaran tidak diakhiri dengan menyiramkan air untuk mematikan api sehingga arang yang dihasilkan tidak memiliki kadar air yang tinggi (15-17%) (Lindayanti, 2006).

B. Emisi dan Adsorpsi Gas CO₂

Emisi gas buang merupakan sisa hasil pembakaran berupa uap air, CO, CO₂ dan senyawa lainnya yang bersifat beracun akibat pembakaran tidak sempurna dan dapat berdampak buruk terhadap lingkungan. Perkembangan pesat populasi global dan industrial di banyak negara juga berdampak terhadap konsumsi energi. Saat ini lebih dari 85% dari total energi global merupakan pembakaran bahan bakar fosil (Rackley, 2010). Ketergantungan akan bahan bakar tersebut sebagai sumber energi didukung oleh ketersediaan yang melimpah dan ketergantungan ekonomi masyarakat modern pada akuisisi dan perdagangan sumber daya tersebut. Bahan bakar fosil akan terus memainkan peranan penting di masa mendatang, terutama dalam pembakaran listrik dan industri manufaktur. Pembakaran bahan bakar fosil akan melepaskan sejumlah besar CO₂ ke atmosfer dan dapat mengganggu

keseimbangan planet yang telah stabil selama ratusan juta tahun. Meskipun emisi CO₂ antropogenik relatif kecil dibandingkan dengan fluks karbon alami, seperti fluks fotosintesis, peningkatan emisi CO₂ berpengaruh pada iklim global yang sangat singkat (Hester dan Harrison, 2010). Selain pembakaran bahan bakar fosil, peningkatan gas CO₂ juga dipengaruhi banyak faktor seperti produksi semen dan perubahan penggunaan lahan (Marland dkk., 2003).

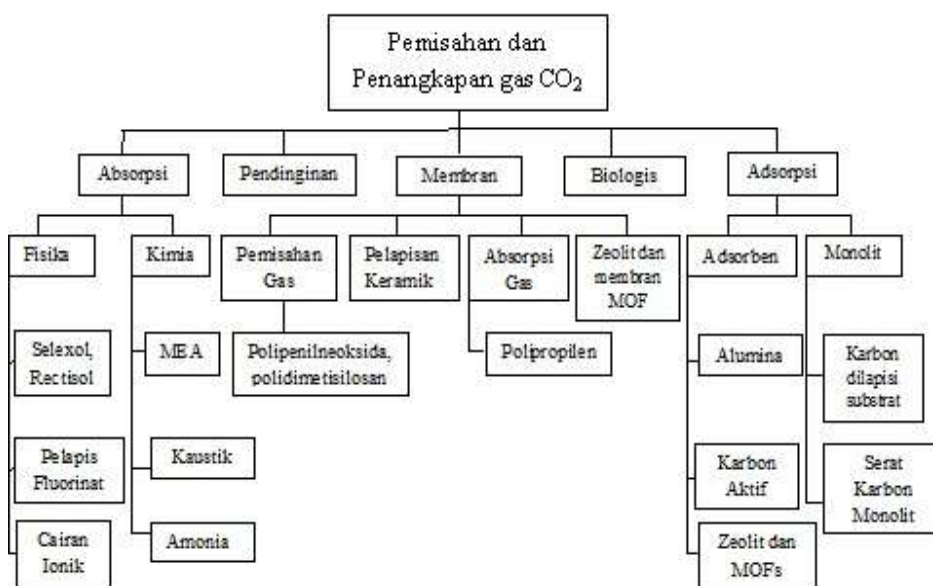
Seiring perkembangan industri konsentrasi gas CO₂ meningkat tajam menjadi 380 ppm dibandingkan sebelum perkembangan industri sebesar 280 ppm, dan sekarang meningkat lebih dari 2 ppm setiap tahun yang juga diikuti peningkatan emisi global CO₂ lebih dari 3,3% pertahun (Canadell, 2007). Peningkatan emisi gas CO₂ di udara hingga tahun 2010 ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konsentrasi CO₂ di atmosfer pada tahun 1960-2010 (Rackley, 2010)

Solusi untuk mengurangi emisi gas CO₂ di udara telah banyak dilakukan dalam penelitian. Tujuan dalam mengurangi emisi gas CO₂ adalah pengembangan teknik

hemat biaya. Penyerapan karbon dioksida dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya menggunakan larutan alkali (Spector dan Dodge, 1946; Tepe dan Dodge, 1943), absorpsi menggunakan larutan (Kazama dkk, 2002), pemisahan *cryogenic* (Pevida dkk., 2008), pemisahan menggunakan membran (Powell dan Qiao, 2006) dan adsorpsi (Harlick dan Tezel, 2004; Chang dkk., 2009). Proses penangkapan dan pemisahan gas CO₂ dari campurannya disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Teknologi penangkapan dan pemisahan gas CO₂ (Thiruvengkatachar, 2009)

Gambar 2 menjelaskan terdapat banyak proses dalam penangkapan dan pemisahan gas CO₂. Menurut Rao dan Rubin (2002), teknologi dalam pemisahan dan penangkapan CO₂ antara lain proses absorpsi, *cryogenic* (pendinginan), proses pelarutan dan difusi menggunakan membran, dan proses adsorpsi. Metode *cryogenic* digunakan pada suhu rendah dan memiliki tekanan parsial CO₂ yang besar, dan biaya yang diperlukan tidak sedikit. Metode ini umumnya digunakan pada aliran gas CO₂ yang sangat besar. Metode membran merupakan metode

pemisahan yang tidak memerlukan zat kimia tambahan dan juga kebutuhan energi minimum. Molekul-molekul dengan ukuran tertentu saja yang dapat melewati membran sedangkan sisanya tertahan pada permukaan membran, sehingga membran dapat bertindak sebagai filter yang sangat spesifik. Namun penggunaannya terbatas pada aliran gas yang sangat murni dan terbebas dari bahan pengotor. Adsorpsi dianggap sebagai salah satu pilihan yang potensial karena kebutuhan energi rendah, biaya relatif murah dan kemudahan penerapan pada suhu dan tekanan (Shafeeyan dkk., 2010). Adsorpsi dibagi menjadi dua bagian yaitu secara fisika disebabkan oleh gaya Van Der Waals yang ada pada permukaan adsorben, dan adsorpsi secara kimia yaitu terjadi reaksi antara zat yang diserap dengan adsorben. Adsorben yang digunakan pada adsorpsi secara fisika dapat berupa adsorben sekam padi, karbon aktif dan zeolit. Adsorben sekam padi digunakan karena memiliki sifat abrasif, memiliki kandungan abu dan karbon yang tinggi, tahan terhadap pelapukan, permukaan luas. Zeolit dapat digunakan dalam memisahkan CO₂ dari campuran gas, namun keberadaan air dapat menghambat kapasitas adsorpsi CO₂ terhadap zeolit (Diaz dkk., 2008). Karbon aktif juga dapat digunakan dalam proses adsorpsi CO₂, dan tahan terhadap kelembaban, kapasitas adsorpsi yang tinggi pada temperatur tertentu serta mudah diperbaharui (Plaza dkk., 2011).

C. Sintesis Na₂CO₃

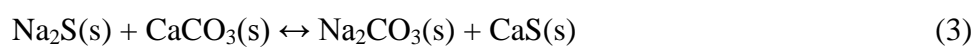
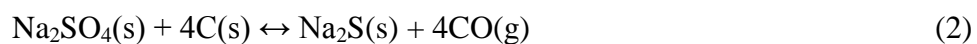
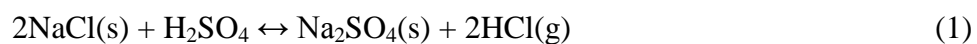
Dalam dunia industri, Na₂CO₃ dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku berbagai material. Salah satu aplikasi penting dari Na₂CO₃ adalah sebagai bahan baku pembuatan gelas. Na₂CO₃ dapat mengurangi viskositas dan bertindak sebagai

agen fluks untuk peleburan kaca, dan sebagai bahan pelunak air sadah. Diketahui sintesis Na_2CO_3 ada dua proses yaitu secara alami dan sintetik. Proses secara sintetik terdiri atas proses *Le blanc* dan proses *Solvay*.

1. Proses *Le blanc*

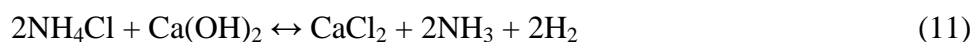
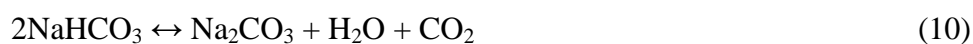
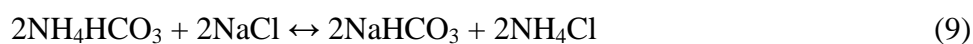
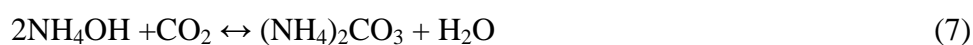
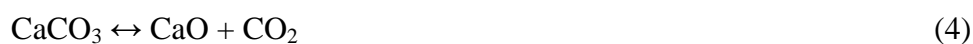
Dalam waktu yang lama, natrium karbonat diekstrak dari rumput laut untuk digunakan dalam produksi kaca dan industri sabun. Pada 1783, permintaan akan natrium karbonat sangat tinggi, sehingga di negara Prancis diadakan kontes untuk pengembangan proses dalam menghasilkan natrium karbonat dari garam laut. Pada 1791, Nicolas Le blanc mengembangkan suatu proses menggunakan asam sulfat, garam, kalsium karbonat, dan karbon sebagai bahan baku. Natrium sulfat dibuat dengan mereaksikan asam sulfat dengan asam klorida. Kemudian, bubuk natrium sulfat dipanaskan dengan karbon untuk menghasilkan natrium sulfida dan karbon oksida. Pada suhu ini reaksi perpindahan natrium sulfida dengan kalsium karbonat terjadi secara termodinamika. Perlu diketahui sebagian kalsium karbonat terurai menjadi kalsium oksida tetapi karbon oksida yang dihasilkan melalui pengurangan karbon dari sulfat mengubah kalsium menjadi kalsium karbonat. Larutan Na_2CO_3 yang dihasilkan kemudian dipekatkan dan dikalsinasi (Keifer, 2002).

Pada proses ini reaksi yang terjadi adalah:



2. Proses Solvay

Pengembangan proses *Le blanc* tampak jelas bahwa pelepasan gas hidrogen klorida secara langsung di udara tidak baik bagi lingkungan. Di sekitar pabrik pengolahan tanaman mati dan pemerintah diminta untuk membuat proses *Le blanc* lebih ramah lingkungan, alih-alih membiarkan hidrogen klorida lepas ke atmosfer. Proses produksi sulfida hidrogen secara hidrolisis juga menjadi masalah karena bau yang tidak sedap. Pada 1860-an, Ernest Solvay mengembangkan proses yang menggunakan karbon dioksida, ammonia, dan garam sebagai bahan baku untuk menghasilkan natrium karbonat. Proses ini dianggap baik karena menghasilkan produk dengan kualitas murni dan tidak memerlukan suhu tinggi. Proses *Solvay* menggunakan reagen murah dan lebih kompleks dari proses *Le blanc* (Glode, 2012). Reaksi-reaksi yang terjadi pada proses Solvay sebagai berikut:



Produk samping proses *Solvay* adalah kalsium klorida, ammonia dan karbon dioksida yang dapat didaur ulang kembali. Dalam proses *Le blanc* klorin dibuang sebagai gas asam klorida (berbahaya), sedangkan dalam proses *Solvay*,

klorin dibuang dalam bentuk padatan (kalsium klorida). Jika kedua proses ini dibandingkan, proses *Solvay* lebih menguntungkan karena proses ini berjalan dalam suhu rendah, reaksi berjalan pada fase cair-gas, dan natrium yang dihasilkan lebih berkualitas. Berikut ini diuraikan mengenai keuntungan dan kerugian proses *Le blanc* dan proses *Solvay* yang dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan aspek teknis dan ekonomis antara proses *Le blanc* dan *Solvay* (Hudi, 2009).

Aspek Teknis	Proses Le blanc	Proses Solvay
a. Proses		
1. Bahan baku	NaCl padat	NaCl jenuh, batu
2. Hasil samping	H ₂ SO ₄ , CaS	Kapur/CaCO ₃ , CaCl ₂
3. Kemurnian produk	96,8%	97%
4. Korosifitas bahan	Tinggi	Sedang
b. Operasi		
1. Suhu	Tinggi	70°C
2. Tekanan	Tinggi	4,5 atm
Aspek dampak lingkungan	Tinggi	Sedang

3. Proses alami

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan Na₂CO₃ secara alami adalah *burkeite crystal* (Na₂CO₃.2Na₂SO₄) yang telah dipisahkan dari bahan pengotor. *Crude burkeite crystal* yang terdiri atas Li₂NaPO₄ dan Na₂CO₃.2Na₂SO₄ dipisahkan dan filtratnya dipekatkan untuk memperoleh Na₂SO₄.10H₂O atau disebut sebagai garam Glauber's. Garam ini disaring agar terpisah dari *mother liquor* yang kaya dengan Na₂CO₃ (Haynes, 1997). Kristal soda murni diperoleh dengan cara didinginkan pada tangki pendinginan, disaring dan dikeringkan. Berikut ini reaksi secara keseluruhan:

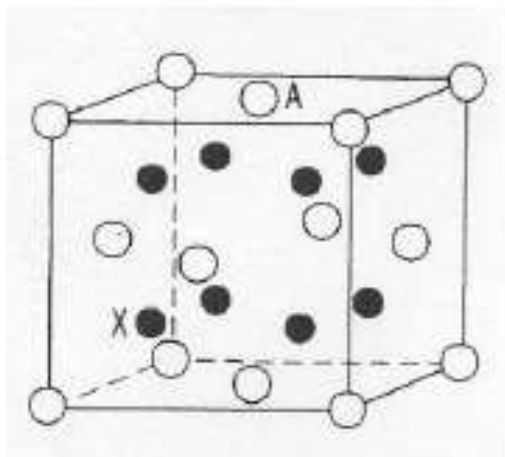


D. Natrium Oksida (Na_2O)

Natrium oksida adalah senyawa kimia dengan rumus Na_2O . Natrium oksida merupakan anhidrida dasar dari natrium hidroksida, sehingga ketika air ditambahkan ke natrium oksida akan terbentuk NaOH .



Oksida logam alkali M_2O ($\text{M} = \text{Li}, \text{Na}, \text{K}, \text{Rb}$) mengkristal dalam struktur antifluorite (FCC) ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur kristal Na_2O

Dalam posisi ini, anion dan kation berbalik dengan struktur CaF_2 (fluorite), pada struktur fluorite perbandingan jumlah kation dan anion adalah 1:2, maka dalam struktur antifluorit perbandingannya adalah 2:1. Posisi kation-kation pada fluorite diganti oleh anion-anion pada antifluorite dan sebaliknya (Zintl, 1934).

Natrium oksida dihasilkan melalui reaksi natrium dengan natrium hidroksida, natrium peroksida, atau natrium nitrit.





Membakar natrium di udara akan menghasilkan Na_2O dan sekitar 20% natrium peroksida, Na_2O_2 . Dalam standar komersial untuk soda abu jika disetarakan dengan natrium oksida, maka 99,5% soda abu setara dengan 58,2% Na_2O (persamaan konversi: $\% \text{Na}_2\text{CO}_3 \times 0,585 = \% \text{Na}_2\text{O}$) (*General Chemical Industrial Products*, 2014). Natrium karbonat dapat dipanaskan sampai 851°C menghasilkan karbon dioksida dan natrium oksida.



Senyawa ini memiliki beberapa karakteristik seperti berwarna putih, tahan panas, tahan api, menunjukkan sifat dasar yang kuat, bereaksi cepat dengan air (membentuk larutan basa), asam, oksida asam dan amfoterik, dan ammonia cair. Karakteristik lain yang dimiliki Na_2O yaitu memiliki densitas sebesar $2,27 \text{ g/cm}^3$, titik didih sebesar 1950°C , dan titik lebur sebesar 1132°C , dan kelarutan dalam air sangat reaktif (Wikipedia, 2014).

Sumber lain untuk mendapatkan natrium oksida adalah bikarbonat, kerak garam, dan natrium nitrat. Natrium oksida umumnya digunakan untuk menurunkan titik lebur bahan-bahan ketika proses peleburan bahan baku dalam pembuatan gelas dan kaca. Secara umum, penggunaan natrium oksida adalah mempercepat pembakaran, menurunkan titik lebur, mempermudah pembersihan gelembung dan mengoksidasi besi. Na_2O juga dapat diperoleh dari jenis batuan seperti feldspar. Feldspar merupakan jenis batuan yang tidak terlalu keras, tersusun dari mineral

alumina silikat. Ada dua jenis feldspar yaitu feldspar kalium (mengandung K_2O) disebut *orthoclase feldspar* dan feldspar natrium (mengandung Na_2O) disebut *plagioclase feldspar*. Feldspar di industri keramik dipakai sebagai sebagai bahan pelebur (merendahkan suhu leleh), glasir, gelas atau kaca.

E. *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

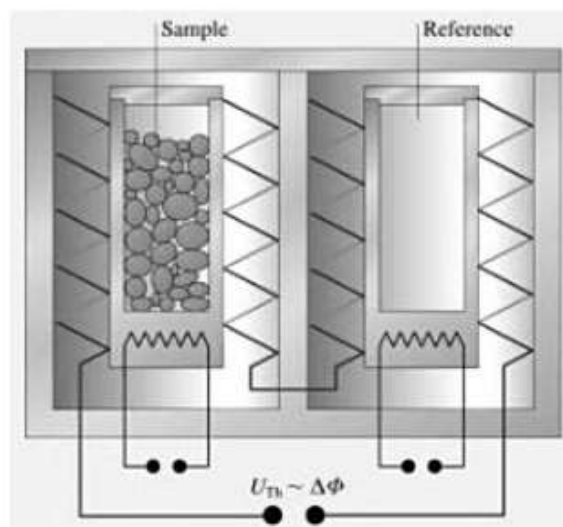
Spektroskopi *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengetahui gugus fungsi suatu material melalui spektrum infra merah. Sistem optik pada FTIR menggunakan radiasi LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) sebagai radiasi yang diinterferensikan dengan radiasi infra merah yang diterima oleh detektor dengan baik, dimana frekuensi dari cahaya spektra infra merah berupa gelombang monokromatis. Spektra infra merah dikumpulkan untuk melihat jumlah energi yang diserap. Teknik karakterisasi dengan infra merah merupakan teknik analisis secara kualitatif dengan cara melihat puncak serapan yang muncul untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan dibandingkan dengan tabel referensi.

Vibrasi terjadi karena energi dari sinar infra merah tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi pada molekul senyawa, dimana besarnya energi vibrasi tiap atom berbeda sesuai atom-atom dan kekuatan ikatan yang menghubungkannya, vibrasi tersebut menghasilkan momen dipol pembentuk puncak spektrum infra merah (Fressenden, 1999). Hasil spektrum mengindikasikan besarnya penyerapan dan transmisi yang mencirikan gugus fungsi yang berbeda menghasilkan spektrum sama, sehingga FTIR merupakan metode analisis yang baik.

F. *Differential Scanning Calorimetry (DSC)*

Analisis termal memiliki beberapa kelompok teknik analisis dimana sifat-sifat material dapat diketahui melalui perubahan suhu, salah satu diantaranya adalah DSC (*Differential Scanning Calorimetry*). Teknik ini memiliki kesamaan dengan teknik analisis termal lainnya, yaitu mengukur perubahan suhu dalam laju aliran kalor/panas terhadap bahan (sampel) dengan bahan referensi. Hasil analisis DSC berupa kurva antara fluks panas (*heat flux*) yang diplotkan dengan waktu atau suhu, yang dapat juga digunakan dalam penentuan entalpi dan kapasitas panas. Sampel pembanding yang umumnya digunakan adalah sampel yang tidak aktif secara termal misalnya Al_2O_3 (Klancnik dkk., 2009).

Secara sederhana, DSC terdiri dari dua wadah (*pan*), yaitu *reference pan* dan *sample pan*. Kedua wadah ini dihubungkan dengan pemanas dan termokopel untuk mendeteksi temperatur. *Sample pan* adalah tempat untuk meletakkan sampel yang akan dianalisis, sedangkan di *reference pan* diletakkan suatu bahan acuan, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skematik *heat flux* menggunakan DSC

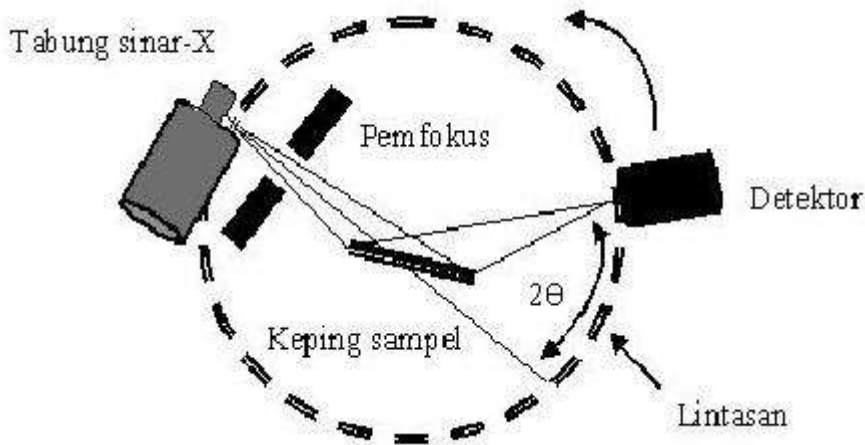
DSC dapat digunakan untuk analisis kapasitas panas dan entalpi suatu bahan logam, paduan logam, dan bahan keramik. Untuk fabrikasi bahan nuklir, DSC difungsikan untuk mengetahui perubahan fasa, temperatur lebur, entalpi. Selain itu, DSC juga dapat digunakan untuk mempelajari fenomena kestabilan panas endotermik atau eksotermik bahan (Ginting dkk., 2005).

G. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik dengan besar energi yang cukup tinggi yaitu sekitar 200 eV sampai 1 MeV, dan panjang gelombang yang pendek yaitu sekitar 10^{-5} A hingga 100 A. Sinar-X terjadi karena interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Panjang gelombang sinar-X memiliki orde yang relatif sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. Ketika gelombang sinar-X mengenai permukaan kristal pada sudut θ , sebagian akan dihamburkan oleh lapisan atom permukaan. Sinar yang tidak dihamburkan akan menembus ke lapisan atom kedua yang nantinya akan dihamburkan kembali dan sisanya akan melewati lapisan ketiga.

Keuntungan utama penggunaan sinar-X dalam karakterisasi material adalah kemampuan penetrasinya, sebab sinar-X memiliki energi sangat tinggi akibat panjang gelombang yang pendek. Teknik analisis XRD digunakan untuk menganalisis padatan kristalin seperti keramik, logam, dan polimer. Material yang dianalisis dapat berupa serbuk, kristal, lapisan tipis serat atau amorf. Untuk menentukan struktur kristal setiap fasa kristalin memiliki pola difraksi sinar-X

yang digunakan sebagai jejak untuk identifikasinya. Pola difraksi berisi informasi mengenai simetri susunan atom, penentuan struktur kristal, orientasi kristal serta pengukuran sifat bahan. Prinsip difraksi sinar-X dapat dilihat pada Gambar 5.

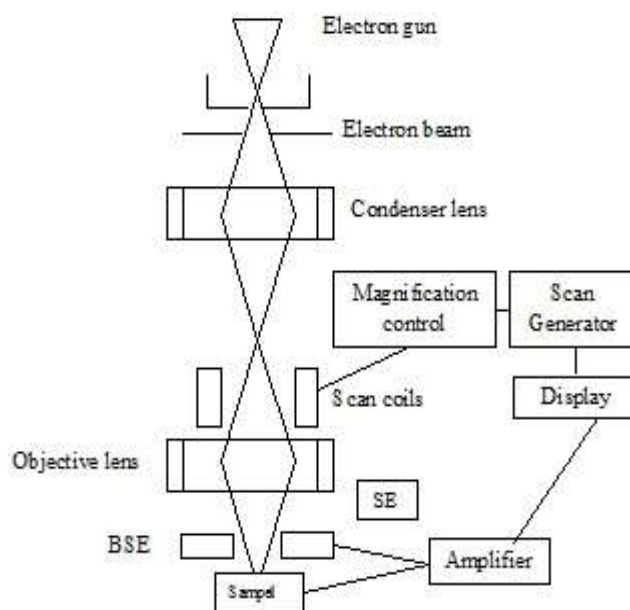


Gambar 5. Skematik difraksi sinar-X

Gambar 5 menjelaskan sinar-X dihasilkan oleh tabung sinar-X, selanjutnya sinar melewati *slit* untuk difokuskan ke sampel. Sinar yang mengenai sampel ada yang dipantulkan dan ada yang diteruskan. Sinar pantul ditangkap oleh detektor untuk diubah menjadi tegangan. Dengan menggunakan perangkat lunak, tegangan yang ditangkap dimasukkan ke difraktogram sebagai fungsi sudut 2θ dan intensitas. Lingkaran pengukur untuk mengukur sudut kemiringan sampel terhadap sinar-X, sehingga setiap kemiringan sampel memiliki intensitas yang berbeda. Sinar datang membentuk sebuah sudut yaitu sudut antara bidang sampel dengan sinar datang, sedangkan sudut hambur 2θ merupakan sudut antara proyeksi sumber sinar-X dengan detektor. Pergerakan sumber sinar-X sebesar θ maka detektor akan bergerak sejauh 2θ (Suryanarayana dan Norton, 1998).

H. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Mikroskop elektron atau SEM adalah suatu teknik analisis yang digunakan untuk menganalisis struktur mikro dan morfologi suatu bahan secara detail. SEM pertama kali didesain di Jerman oleh Knoll dan Ruska pada 1932. Mikroskopi cahaya tidak dapat menembus objek yang lebih kecil dari 2000 Å, sehingga diciptakan mikroskopi dengan pancaran elektron. SEM menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk menghasilkan bayangan. Berkas elektron dihasilkan dengan memanaskan filamen, ditembakkan dengan senapan elektron (*electron gun*) kemudian dikumpulkan oleh lensa kondenser elektromagnetik, dan difokuskan oleh lensa objektif. Skema SEM ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Skematik karakterisasi sampel menggunakan SEM (Schweitzer, 2010)

Scan coils digunakan untuk memindai permukaan sampel yang berfungsi untuk mengontrol perbesaran gambar hasil SEM. *Objective lens* untuk mengambil gambar objek yang diinginkan. Elektron yang menumbuk sampel dan langsung dihamburkan kembali akan ditangkap oleh detektor BSE (*back scattering*)

sedangkan elektron yang masuk ke dalam sampel kemudian dipantulkan ditangkap oleh detektor SE (*secondary electron*). Elektron yang ditangkap oleh masing-masing detektor akan melewati amplifier untuk mengatur tegangan sehingga bisa dipantulkan ke layar.