

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Kelapa

Kelapa (*Cocos nucifera L.*) termasuk ke dalam famili *Palmae*, ordo *Aracules*, salah satu anggota terpenting dari kelas *Monocotyledone*, Genus *Cocos* adalah *monotypic* yang hanya mempunyai satu-satunya spesies yaitu *Cocos nucifera L.* (Woodroof, 1979). Kelapa merupakan tanaman tropika yang dapat tumbuh dengan baik pada kondisi suhu rata-rata diantara 24-29 °C, suhu minimum tidak kurang dari 20 °C, dengan curah hujan yang merata sepanjang tahun antara 1700-2000 mm dan tidak kurang dari 1200 mm.

Tanaman kelapa menghendaki intensitas sinar matahari yang tinggi dengan jumlah penyinaran tidak kurang dari 2000 jam per tahun. Kelapa dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah. Syarat-syarat tanah yang baik untuk pertumbuhan kelapa adalah struktur baik, peresapan air dan tata udara baik, permukaan air tanah letaknya cukup dalam (minimal 1 meter dari permukaan tanah) dan keadaan air tanah hendaknya dalam keadaan bergerak (tidak menggenang) dengan pH tanah optimal 6,0 – 8,0 (Setyamidjaja, 1984).

Tanaman kelapa memiliki buah yang berbentuk bulat panjang terdiri dari lima bagian, yaitu *esokarp* (kulit luar), *mesokarp* (sabut), *endokarp* (tempurung),

daging buah dan air kelapa. Buah kelapa disusun oleh 25% *esokarp* dan *mesokarp*, 12% *endokarp*, 28% daging buah dan 25% air kelapa (Woodroof, 1979). Daging buah kelapa sendiri mengandung 52% air, 34% minyak, 3% protein, karbohidrat 1,5% dan 1% abu (Setyamidjaja, 1982).

B. Tempurung Kelapa

1. Komposisi Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa merupakan bagian buah kelapa yang fungsinya secara biologis adalah pelindung inti buah dan terletak di bagian sebelah dalam sabut dengan ketebalan berkisar antara 3–6 mm. Tempurung kelapa dikategorikan sebagai kayu keras tetapi mempunyai kadar lignin yang lebih tinggi dan kadar selulosa lebih rendah dengan kadar air sekitar 6-9 % (dihitung berdasarkan berat kering) dan terutama tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselulosa (Tilman,1981). Komposisi kimia dalam tempurung kelapa dapat dilihat lebih rinci pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komponen Kimia Tempurung Kelapa

Komponen	Persentase
Selulosa	26,60%
Hemiselulosa	27,70%
Lignin	29,40%
Abu	0,60%
Komponen ekstraktif	4,20%
Uronat anhidrat	3,50%
Nitrogen	0,10%
Air	8,00%

(Sumber: Suhardiyono, 1988).

2. Karbonisasi Tempurung Kelapa

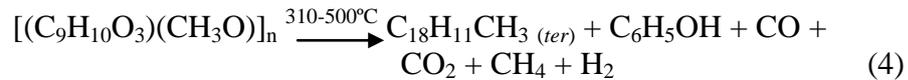
Tempurung kelapa memiliki sifat difusi termal yang baik yang diakibatkan oleh tingginya kandungan selulosa dan lignin yang terdapat di dalam tempurung. Tempurung kelapa yang akan dijadikan briket harus tempurung yang berasal dari kelapa yang sudah tua, kering dan bersih dari pengotor seperti serabut, tanah ataupun pasir yang menempel pada tempurung karena akan berpengaruh pada saat proses karbonisasi dan pada mutu briket yang dihasilkan. Tempurung yang basah akan menimbulkan banyak asap pada saat dilakukan karbonisasi. Proses karbonisasi dilakukan dengan sistem suplai udara terbatas dengan tujuan agar tidak terjadi pembakaran lebih lanjut pada tempurung kelapa sehingga rendemen arang yang diperoleh tinggi karena terbentuk arang secara sempurna dan hanya menyisakan sedikit abu.

Pada proses karbonisasi terjadi penguraian bahan-bahan organik yang terkandung di dalam tempurung kelapa. Pada suhu 100-120°C terjadi penguapan air, pada suhu 270-310°C terjadi penguraian selulosa menjadi larutan piroglinat, gas kayu dan sedikit *ter*, pada suhu 310-500°C terjadi penguraian lignin dihasilkan lebih banyak *ter* sedangkan larutan piroglinat dan gas CO₂ menurun sedangkan gas CH₄, CO dan H₂ meningkat dan pada suhu 500-1000°C merupakan tahap pemurnian arang atau peningkatan kadar karbon. Adapun reaksi yang terjadi pada proses karbonisasi yaitu:

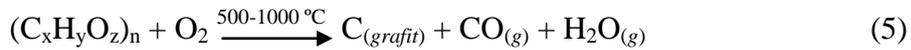
1. Reaksi penguraian selulosa



2. Reaksi penguraian lignin



3. Reaksi umum pembentukan karbon



(Maryono *et al.*, 2013).

C. Metode Penangkapan (*Capture*) Gas CO₂

1. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses dimana molekul gas atau fluida mengalami kontak dan melekat pada permukaan suatu material padat. Molekul fluida atau gas yang dihisap tetapi tidak terakumulasi atau melekat ke permukaan adsorben disebut adsorptive, sedangkan yang terakumulasi disebut adsorbat. Dalam proses adsorpsi ini, sejumlah zat padat dengan pori daerah permukaan yang luas mampu menyerap sejumlah besar gas per satuan volume.

Adsorpsi fisik ini disebabkan oleh gaya van der Waals dan gaya elektrostatik antara molekul adsorbat dan atom-atom yang membentuk adsorben. Gaya van der Waals merupakan gaya tarik-menarik antar molekul-molekul polar yang relatif lemah, sehingga mudah untuk terlepas kembali. Ketika adsorben mengalami kontak fluida dengan komposisi yang tepat maka akan terjadi adsorpsi dan setelah cukup lama, adsorben dan fluida akan mencapai kesetimbangan (Suzuki, 1990).

Adsorpsi ini relatif berlangsung cepat dan bersifat reversibel. Karena berlangsung di bawah temperatur kritis adsorbat yang relatif lemah, maka panas adsorpsi yang

dilepaskan juga rendah. Adsorbat yang terikat secara lemah pada permukaan adsorben dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lain. Peristiwa adsorpsi fisika ini menyebabkan molekul-molekul gas yang teradsorpsi mengalami kondensasi. Besarnya panas yang dilepaskan dalam proses adsorpsi adalah kalor kondensasi. Proses adsorpsi fisik ini terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi, sehingga proses tersebut membentuk lapisan jamak (*multilayer*) pada permukaan adsorben. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi dapat diputuskan dengan mudah yakni dengan cara *degassing* atau pemanasan pada temperatur 140-200 °C selama 2-3 jam (Suzuki, 1990).

Adsorben yang merupakan material yang memiliki kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan cairan atau gas didalamnya harus mempunyai luas permukaan besar, memiliki aktifitas terhadap komponen yang diadsorpsi, daya tahan baik, tidak ada perubahan volume yang berarti dan memiliki pori-pori yang besar (Suzuki, 1990). Adsorben arang aktif dan ekstraksi sekam padi dapat digunakan untuk menghilangkan gas beracun dari udara yang dihirup (Nasruddin, 2005). Untuk aplikasi yang melibatkan pemisahan CO₂ dari gas buang pembangkit listrik, adsorben alumina, molekul zeolit (aluminosilikat alam atau sintesis), dan karbon aktif merupakan yang paling baik (Riemer *et al.*, 1993).

2. Absorpsi

Absorpsi merupakan peristiwa yang terjadi saat molekul-molekul gas dikontakkan dengan molekul cair dan akan terbentuk endapan. Absorpsi terjadi karena adanya reaksi kimia antara molekul-molekul yang terakumulasi dengan permukaan

absorben. Absorpsi ini sifatnya tidak reversibel hanya membentuk satu lapisan tunggal (*monolayer*). Umumnya terjadi pada temperatur diatas temperatur kritis molekul yang terakumulasi (Suryawan, 2004).

Mulyanto *et al.* (2009) telah mengembangkan teknologi dalam penangkapan gas karbondioksida di daerah perkotaan oleh larutan natrium hidroksida yakni dengan teknik absorpsi. Sebelumnya penelitian absorpsi gas CO₂ oleh larutan NaOH ini telah dilakukan setengah abad yang lalu oleh Tepe dan Dodge (1943) dan dilanjutkan oleh peneliti-peneliti lainnya dimana gas CO₂ diabsorpsi oleh larutan NaOH dan Ca(OH)₂ dengan meninggalkan ion karbonat.

3. Pemisahan Kriogenik

Pemisahan kriogenik melibatkan tekanan dan pendinginan campuran gas di beberapa tahapan untuk mendorong perubahan fasa pada CO₂ dan gas lainnya, yang memungkinkan gas CO₂ dan gas lainnya untuk dipisahkan. Proses ini paling efektif bila gas mengandung komponen dengan titik didih yang sangat berbeda (Herzog *et al.*, 1997). Dalam prakteknya, proses ini diperumit oleh pencemar. Uap air, misalnya, dapat menyebabkan pembentukan CO₂ dan formasi es (disebut hidrat klatrat). Selain uap air, ada gas-gas lain (misalnya, SO₂ dan NO_x) yang dapat mengganggu proses kriogenik. Selanjutnya perilaku fase CO₂ sangat rumit dan dapat menyebabkan pembentukan endapan di peralatan dan mengurangi tingkat perpindahan panas. Proses kriogenik memerlukan energi intensif karena membutuhkan tekanan dan pendinginan yang konstan (Anderson dan Newell, 2003).

4. Pemisahan Membran

Membran pemisahan gas juga dapat digunakan untuk menangkap CO₂. Di sini, keberhasilan pemisahan ditentukan oleh permeabilitas dan selektivitas membran. Permeabilitas gas melalui membran didefinisikan sebagai laju aliran melalui membran, mengingat perbedaan tekanan yang melewati membran. Selektivitas membran merupakan permeabilitas relatif dari komponen gas yaitu, kemampuan satu gas untuk menyerap lebih cepat daripada yang lain. Dalam kasus yang ideal, pemisahan CO₂ akan melibatkan aliran sumber CO₂ terkonsentrasi dengan beberapa gas pencemar, dikombinasikan dengan membran permeabel yang sangat selektif terhadap CO₂.

Namun dalam prakteknya, sumber aliran umumnya memiliki tekanan rendah, konsentrasi rendah CO₂, dan banyak gas komponen (misalnya, NO_x, SO_x, dan uap air). Selanjutnya, membran dengan selektivitas tinggi sulit didapatkan peningkatan permeabilitas satu gas dan sering melibatkan peningkatan permeabilitas gas lainnya, sehingga mengurangi proses selektivitas secara optimal.

Secara umum, sebagian selektivitas membran tidak cukup untuk mencapai kemurnian yang diinginkan dalam satu langkah saja. Dengan demikian, diperlukan proses yang melibatkan multi tahap campuran daur ulang. Jumlah yang lebih besar dari membran menyebabkan peningkatan biaya tekanan dan modal. Beberapa membran pemisah gas yang tersedia seperti membran polimer, membran paladium, membran transportasi telah digunakan hanya dalam skala laboratorium saja. (Riemer *et al.*, 1993).

Membran penyerapan gas berfungsi sebagai perangkat untuk menghubungkan antara campuran gas (misalnya gas buang) dan penyerap cairan (misal pelarut MEA), meningkatkan efisiensi penyerapan fisika dan kimia. Di sini, fungsi membran adalah untuk menjaga gas dan cairan mengalir terpisah, meminimalkan jebakan, banjir, menyalurkan, dan pembusaan. Selain itu, peralatan di membran penyerapan gas cenderung lebih ringkas daripada membran konvensional, mengurangi biaya modal (Miesen dan Shuai, 1997). Salah satu keterbatasan menggunakan membran dalam pengaturan ini adalah bahwa cairan penyerapan dan aliran gas harus memiliki tingkat tekanan yang sama.

5. Hidrat Klatrat

Meskipun hidrat klatrat dapat menghambat proses kriogenik, pembentukan hidrat klatrat juga dapat digunakan untuk CO₂ terpisah dari campuran gas. Ketika CO₂ dan air digabungkan dengan berbagai kombinasi tekanan tinggi dan suhu rendah, mereka membentuk hidrat klatrat CO₂ (yaitu, es kristal yang mengandung molekul gas CO₂ dalam struktur kristal). Dalam kasus pemisahan CO₂ dari hidrogen, CO₂ akan membentuk hidrat klatrat tapi H₂ tidak akan, yang memungkinkan dua gas yang akan dipisahkan. Setelah CO₂ ditangkap, hidrat klatrat dapat diangkut sebagai bubur dalam pipa dingin pada tekanan jauh lebih rendah dari yang dibutuhkan untuk CO₂ murni (mengurangi biaya tekanan) dan disuntikkan langsung ke lokasi penyimpanan yang sesuai (Chargin dan Socolow, 1997).

D. Natrium Hidroksida

Natrium hidroksida (NaOH) merupakan zat padat higroskopik berwarna putih dan mudah larut dalam air dan gliserol, sedikit tembus cahaya, dan bertekstur serat. NaOH merupakan elektrolit dan basa kuat yang dapat diperoleh dengan cara dalam laboratorium dengan reaksi Na, Na₂O atau Na₂O₂ dengan air. Dengan elektrolisis NaCl dengan menggunakan katoda raksa atau dengan sel diafragma. Dalam sel Castner-Keilner, natrium dibebaskan pada katoda raksa sehingga akan bereaksi dengan air membentuk NaOH dan H₂.

Melalui proses Gossage, yakni Na₂CO₃ 20% diberi Ca(OH)₂ berlebih pada 85°C (Arsyad, 2001). Natrium hidroksida mudah larut dalam air disertai dengan panas. Larutan ini memiliki nuansa sabun dan sangat korosif. Hal ini digunakan untuk menyerap gas-gas asam, seperti karbondioksida (CO₂) dan sulfur (IV) oksida (SO₄). Secara industri digunakan dalam sabun dan kertas pembuatan dan dalam pemurnian bauksit (Daintith, 2005).

1. Sifat Fisis dan Kimia NaOH

Natrium hidroksida pada keadaan padatan bersuhu 20 °C pada 1013 hPa, warna putih, tidak berbau, memiliki densitas 2,13 kg/m³ pada 20 °C, titik lebur 323 °C pada tekanan 1013 hPa, titik didih 1388 °C pada tekanan 1013 hPa. Titik didih sekitar 145 °C, titik beku sekitar 14 °C, pH 14, berat jenis 1,52 g/ml pada suhu 20 °C, tidak mudah terbakar, tidak meledak, tidak ada temperatur pembakaran diri relatif, tidak mengoksidasi, berat mol 40,0 g/mol, sangat larut dalam air (Arkema, 2013).

Stabilitas kimianya baik, kondisi yang dihindari kontak dengan material yang tidak cocok dan asam, tidak kompatibel dengan bahan lain, bereaksi dengan asam mineral membentuk garam, bereaksi dengan asam lemah gas seperti hidrogen sulfida, sulfur dioksida, dan karbon dioksida (CO_2), menyatu ketika kontak dengan *cinnamaldehyde* atau seng, dan bereaksi eksplosif dengan campuran kloroform dan metana. Merusak logam-logam seperti aluminium, timah, dan seng serta paduan seperti baja, dan dapat menyebabkan pembentukan gas hidrogen yang mudah terbakar. Produk penguraian yang berbahaya asap beracun dari natrium oksida, asap natrium peroksida (Material Safety Data Sheet, 2007).

2. Aplikasi NaOH

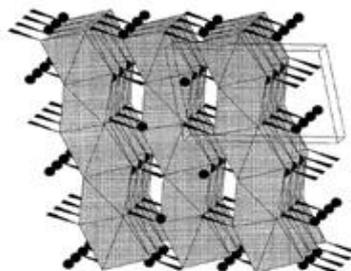
Natrium hidroksida digunakan dalam bidang manufaktur kimia; bahan pembuatan peledak, digunakan dalam air boiler dan sebagai bahan reaksi laboratorium. Natrium hidroksida digunakan juga sebagai pengontrol pH dalam industri tekstil, kertas, dan industri kimia. Sangat berperan juga dalam pembuatan serat sintesis dan plastik, dalam pembuatan pulp dan kertas; pulp proses Kraft dan pembuatan isolasi papan. Digunakan dalam pengolahan logam dan pemurnian; dalam minyak bumi pemurnian untuk menghilangkan senyawa sulfur; sebagai bahan reaksi pengapung dan dalam pembuatan sabun dan deterjen. Selain itu natrium hidroksida sangat berperan sebagai absorben karena dapat menyerap gas-gas asam, seperti karbondioksida (CO_2) dan sulfur (IV) oksida SO_4 (Daintith, 2005; Mulyanto *et al.*, 2009). Serta digunakan dalam pengolahan makanan untuk mengupas buah dan sayuran, proses minyak zaitun, dan memperbaiki minyak nabati (Uni Soviet Department Health and Human Services, 1978).

E. Natrium Karbonat (Na_2CO_3)

Natrium karbonat (*soda ash*) berbentuk bubuk kristal higroskopis dengan kemurnian $> 99,5\%$ diperhitungkan pada bentuk anhidrat yang berwarna putih. Ada dua bentuk natrium karbonat yang tersedia, soda ringan dan soda padat. Ketidakmurnian natrium karbonat dapat mencakup natrium klorida, natrium sulfat, kalsium karbonat, magnesium karbonat, natrium bikarbonat dan besi. Profil pengotor tergantung pada proses produksi dan komposisi bahan baku (Johnson dan Swanson, 1987).

1. Struktur kristal Na_2CO_3

Natrium karbonat memiliki berat molekul 106 gr/mol, memiliki dimensi unit sel $a = 8,905 \text{ \AA}$, $b = 5,237 \text{ \AA}$, $c = 6,045 \text{ \AA}$, *space group* $C2/m:4$ dengan volume unit selnya 276,4. Struktur kristal dari Na_2CO_3 dibentuk oleh ion Na oktoedral, struktur dari Na_2CO_3 ini dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur Kristal Na_2CO_3 (Zubkova *et al.*, 2002).

2. Sifat Fisis dan Kimia Na_2CO_3

Densitas natrium karbonat ini adalah $2,532 \text{ kg/m}^3$ pada suhu $20 \text{ }^\circ\text{C}$ dan kelarutan air 71 g/l air pada suhu 0°C , 215 g/l air pada suhu $20 \text{ }^\circ\text{C}$ dan 455 g/l air pada suhu

100 °C (CRC Handbook, 1986). Penentuan koefisien partisi oktanol air ($\log P_{ow}$) dan tekanan uap tidak berlaku. Rata-rata diameter ukuran partikel natrium karbonat ringan adalah dalam kisaran 90 sampai 120 μm dan padatnya sodium karbonat adalah di kisaran 250-400 μm . Natrium karbonat adalah senyawa alkali yang kuat dengan pH 11.6 untuk larutan 0,1 M encer. pK_b dari CO_3^{2-} adalah 3,75 yang berarti bahwa pada pH 10,25 baik karbonat dan bikarbonat yang hadir dalam jumlah yang sama (Binas, 1986; The Merck Index, 1983; Johnson dan Swanson, 1987).

3. Sifat Termal Na_2CO_3

Natrium karbonat memiliki titik leleh 851 °C (CRC Handbook, 1986; The Merck Index, 1983). Natrium karbonat merupakan senyawa anorganik terionisasi yang memiliki titik lebur di atas 360 °C dan titik didih tidak dapat diukur karena terjadi penguraian oleh sebab itu titik didih tidak dapat ditentukan (The Merck Index, 1983; Johnson dan Swanson, 1987).

4. Sintesis Na_2CO_3

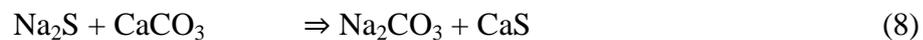
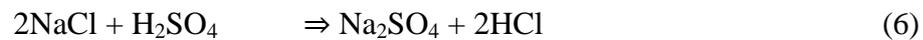
Natrium karbonat (*soda ash*) ini mudah diproduksi baik dari endapan alam atau trona atau dengan cara sintesis. Berikut ini metode produksi natrium karbonat dalam urutan sejarah:

- a. Proses Le Blanc (sintesis *soda ash*)
- b. Proses Solvay (sintesis *soda ash*)
- c. DUAL dan NA Proses (sintesis *soda ash*)
- d. Proses *Monohidrat*
- e. Proses *Sesquicarbonate*

- f. Proses Karbonasi
- g. Proses Ekstraksi Alkali

a. Proses Le Blanc

Dalam proses ini, natrium klorida bereaksi dengan asam sulfat untuk menghasilkan natrium sulfat dan asam klorida. Ini natrium sulfat kemudian bakar dengan batu kapur dan batu bara dan campuran natrium-karbonat-kalsium-sulfida yang dihasilkan (abu hitam) dicuci dengan air untuk mengekstrak natrium karbonat. Perekonomian yang buruk dan polusi yang berlebihan yang disebabkan oleh asam klorida dan kalsium sulfida oleh produknya menyebabkan kematian sehingga berakhir proses Le Blanc ini. Proses Leblanc kini hanyalah sejarah yang menarik, berdasarkan pada persamaan berikut:



b. Proses Solvay

Natrium karbonat diproduksi di sejumlah wilayah yang berbeda di seluruh dunia dan ada sekitar 12 tempat produksi di Eropa. Natrium karbonat dapat diproduksi dari mineral yang mengandung natrium karbonat. Hal ini hadir dalam endapan yang besar di Afrika dan Amerika Serikat baik sebagai karbonat atau trona, bijih campuran dalam jumlah molar yang sama dari karbonat dan bikarbonat. Namun, sekitar 70% dari kapasitas produksi dunia natrium karbonat diproduksi oleh Solvay (soda amonia) proses, dimana amonia ditambahkan ke dalam larutan natrium klorida. Karbondioksida kemudian dialirkan untuk mengendapkan

bikarbonat, NaHCO_3 . Natrium bikarbonat ini mengalami dekomposisi karena panas memproduksi natrium karbonat. Proses Solvay tradisional digunakan di sebagian besar dunia, kecuali Amerika Serikat, di mana semua produksi didasarkan pada mineral yang mengandung natrium karbonat. Kualitas yang berbeda dari natrium karbonat diproduksi berdasarkan penggunaan akhir dari substansi (Morris, 2000; Clayton, 1993).

Solvay *soda ash* dibuat dengan penjuhan yang dimurnikan garam NaCl dengan gas amonia dan kemudian mengontakkan larutan dengan gas karbondioksida untuk membentuk endapan natrium bikarbonat. Natrium bikarbonat ini kemudian kembali ke fase cair. Cairan ini direaksikan dengan air kapur untuk memulihkan amonia dan menghasilkan produk sampingan kalsium klorida. Batu kapur dan batu arang yang diperlukan untuk membuat air kapur. Pelepasan dari aliran limbah yang mengandung konsentrasi tinggi kalsium klorida dan natrium klorida merupakan masalah utama bagi semua pabrik Solvay *soda ash*. Reaksi kimia keseluruhan adalah sebagai berikut:



(Örgül, 2003).

c. Proses DUAL dan NA

Ada banyak variannya dari proses Solvay. Proses DUAL dikembangkan dan dioperasikan di Jepang. Proses ini menggabungkan produksi soda ash dengan produksi amonium klorida. Pentingnya proses di Jepang adalah karena tingginya biaya batu garam impor dan penggunaan amonium klorida sebagai pupuk. Dalam

proses ganda, amonia diserap oleh larutan induk bikarbonat, dan padat natrium klorida ditambahkan. Pada pendinginan, amonium klorida yang dipisahkan diperoleh kembali dalam sentrifus, dan kemudian dikeringkan dalam pengering putar dengan udara pada 150 °C. Larutan induk didaur ulang ke tower karbonasi di mana natrium bikarbonat diendapkan.

d. Proses Monohidrat

Soda ash umumnya dihasilkan dari trona dengan proses monohidrat yang menghasilkan hanya padatan ash soda. Pertama pabrik FMC Wyoming Perusahaan menggunakan proses ini mulai beroperasi pada akhir 1972. Dalam proses ini, bijih tambang trona pertama dikonversi ke soda ash mentah dengan kalsinasi dan semua operasi berikutnya dilakukan pada larutan karbonat yang dihasilkan. Hancuran trona yang dikalsinasi dalam tanur pereduksi untuk memisahkan bijih tambang dan mengeluarkan karbon dioksida dan air dengan reaksi sebagai berikut:



Bahan yang dikalsinasi dikombinasikan dengan air untuk melarutkan soda ash dan memungkinkan pemisahan untuk membuang bahan yang tidak larut seperti serpih atau shortite dengan pengendapan dan atau filtrasi. Cairan bening yang dihasilkan terkonsentrasi seperlunya oleh tiga jenis efek evaporator, dan soda ash dilarutkan endapan sebagai kristal natrium karbonat monohidrat, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Ketidakmurnian terlarut lainnya, seperti natrium klorida atau natrium sulfat, tetap dalam larutan. Kristal dan cairan dipisahkan dengan sentrifugasi. Kristal

monohidrat natrium karbonat dikalsinasi untuk kedua kalinya untuk menghilangkan air dari kristalisasi (Örgül, 2003).

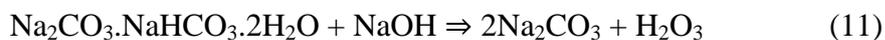
e. Proses *Sesquicarbonate*

Sebuah metode alternatif produksi soda ash dari trona adalah proses *sesquicarbonate*. Proses ini merupakan proses asli yang dikembangkan oleh FMC Wyoming Corporation dan ditempatkan di operasi pada tahun 1953, untuk memproduksi soda ash murni dari Wyoming trona. Bijih Trona yang tercuci dalam cairan induk daur ulang pada suhu setinggi suhu mungkin untuk memaksimalkan jumlah pemisahan. Larutan tersebut kemudian diklarifikasi, disaring dan dikirim ke serangkaian pengkristal, pendinginan, dan penguapan dimana natrium sesquicarbonate ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dikristalisasi. Karbon ditambahkan ke filter untuk mengendalikan kristal berubah ke bahan organik. Kristal sesquicarbonate yang dimurnikan dapat dikalsinasi untuk menghasilkan produk soda ash yang ringan. Dalam proses berbeda, bijih trona dilarutkan dalam air panas dan *centrate* dikembalikan ke alat penguap pengkristal (Haynes, 1997). Soda yang diproduksi ini adalah abu soda ringan. Densitas mirip dengan *soda ash* monohidrat, kemudian memanaskan bahan sampai sekitar 350 °C atau soda ash dapat dikonversi ke monohidrat dan kemudian dikalsinasi..

f. Proses Ekstraksi Alkali

Proses ekstraksi alkali terutama untuk melarutkan trona mentah dalam larutan natrium hidroksida berair. Dalam proses ini, trona dilarutkan dalam natrium hidroksida berair untuk mendapatkan larutan mengandung natrium karbonat.

Metode ini umumnya digunakan untuk konten bikarbonat yang larut menjadi selaras terdiri dalam trona. Larutan diencerkan memiliki komposisi 2-7% soda kaustik. Reaksi pelarutan diberikan sebagai berikut:



Larutan pada 30°C kemudian disaring dan larutan mengandung karbonat dipanaskan, cukup air menguap untuk membentuk bubuk kristal natrium karbonat monohidrat dan natrium karbonat cair. Bubur disaring dan larutan induk didaur ulang untuk melarutkan mineral mentah. Regenerasi ini dilakukan dengan menambahkan natrium hidroksida untuk larutan induk. Kristal monohidrat dikeringkan dan dikalsinasi. Parameter yang paling penting dalam proses ekstraksi alkali adalah; suhu pelarutan, konsentrasi natrium hidroksida dan suhu kristalisasi penguapan. Suhu yang tepat untuk pelarutan dan penguapan kristalisasi adalah 30 °C dan 100 °C masing-masing.

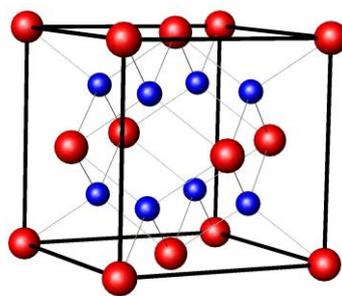
4. Aplikasi Na_2CO_3

Penggunaan utama natrium karbonat adalah dalam industri kaca yang digunakan 51% dari permintaan dunia pada tahun 1999 (Morrin, 2000). Sekitar 10% dari permintaan dunia, natrium karbonat digunakan untuk deterjen. Natrium karbonat (*soda ash*) digunakan sebagai bahan dasar dalam bubuk deterjen dan tablet untuk pelunakan air dalam proses pencucian. Natrium karbonat juga digunakan dalam zat aditif *laundry*, produk mesin pencuci piring, pembersih permukaan, pembersih toilet dan produk pembersih rumah tangga lainnya. Untuk sebagian produk umumnya kandungan natrium karbonat kurang dari 30%, namun konsentrasi maksimum dapat lebih tinggi (hingga 90%). Produk natrium karbonat juga

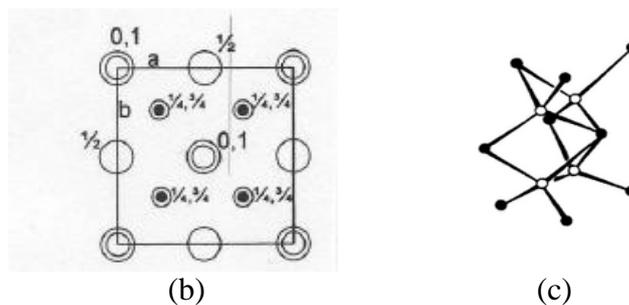
tersedia untuk konsumen. Larutan natrium karbonat dalam air telah digunakan di waktu lampau untuk merendam pakaian, mencuci piring, mencuci lantai, operasi menghilangkan lemak dan perawatan pribadi dan aplikasi domestik lainnya. Jumlah natrium karbonat yang digunakan dalam produk pembersih rumah tangga di Eropa diperkirakan 550.000 ton pada tahun 1999. Perkiraan ini diberikan oleh SBU Soda Ash Solvay yang merupakan produsen natrium karbonat. Angka ini telah dikonfirmasi oleh perusahaan perumus (produsen produk pembersih rumah tangga) (Schaefer dan Redelmeier, 1996; Einhorn *et al.*, 1989; Lally, 2001).

F. Struktur Natrium Oksida (Na_2O)

Natrium oksida (*sodium oxide*) atau dikenal dengan nama lain *disodium oxide*, *sodium(I) oxide* dengan rumus molekul Na_2O memiliki bentuk fisik berwarna putih berupa bubuk, dapat juga berupa *pellet*, tablet, dan serbuk nano (American Elements, 2014; Saderson 1960; Mellor, 1937). Natrium oksida merupakan senyawa yang berasal dari peruraian natrium karbonat akibat proses sintering (Zhu *et al.*, 2004). Secara umum, natrium oksida mempunyai struktur kristal antifluorite dengan *crystal class cubic*, *space group* $\text{Fd}\bar{3}\text{m}:1$, parameter kisi 5,55 Å, dan koordinasi geometri tetrahedral (Na^+); *cubic* (O^{2-}) (Zintl *et al.*, 1934). Unit *cell* dan koordinasi ion dalam natrium oksida dapat dilihat pada Gambar 2.2.



(a)



Gambar 2.2 (a) Unit *cell* Natrium Oksida (Zintl *et al.*, 1934) (b) Struktur Anion dan Kation Natrium Oksida, Lingkaran Tertutup Untuk Kation dan Lingkaran Terbuka Untuk Anion (c) Koordinasi Ion dalam Na_2O (West, 1984).

1. Sifat Fisis dan Kimia Na_2O

Natrium oksida memiliki massa molar natrium oksida adalah 61,979 gr/mol dan densitasnya adalah $22,70 \text{ gr/cm}^3$. Natrium oksida bersifat stabil namun apabila bereaksi hebat dengan NaOH, air, asam dan larut bila bereaksi dengan etanol (Wells, 1984; Greenwood *et al.*, 1997). Persentase unsur Na dan O dalam Na_2O masing-masing adalah 74,19% dan 25,81% (Macintyre, 1992).

2. Sifat Termal

Natrium oksida memiliki titik leleh pada suhu $1132 \text{ }^\circ\text{C}$, titik didih pada suhu $1950 \text{ }^\circ\text{C}$ dan mengalami sublimasi pada suhu $1275 \text{ }^\circ\text{C}$ (Wells, 1984; Greenwood *et al.*, 1997).

3. Sintesis Na_2O

Natrium oksida diperoleh dari peruraian dari perlakuan termal bahan bakunya. Zhu *et al.*(2004) membuat sintesis natrium oksida dengan bahan baku natrium nitrat (NaNO_3) dan natrium karbonat (Na_2CO_3), dari hasil penelitiannya natrium

oksida dari bahan baku Na_2CO_3 mempunyai kestabilan termal lebih baik dibandingkan dengan bahan baku NaNO_3 , yakni pada suhu 750-800 °C. Kim *et al.* (2001) melaporkan Na_2O juga dapat diperoleh dengan mencampur bahan baku Na_2CO_3 dengan SiO_2 yang dilakukan sintering pada suhu 770 °C. Pada suhu tersebut proses dekomposisi mulai terjadi. Terlihat sangat jelas bahwa sifat dari dekomposisi Na_2CO_3 memiliki banyak perbedaan tergantung dengan bahan yang dicampurkan. Sedangkan dekomposisi Na_2CO_3 yang murni itu sendiri terjadi pada suhu 851-854 °C (Human Environmental Risk Assessment, 2005; Örgül, 2003).

4. Aplikasi Na_2O

Dalam dunia industri, natrium oksida memiliki peranan penting karena dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku berbagai material. Natrium oksida dipadukan dengan senyawa lain akan memberikan berbagai macam aplikasi. Aplikasi yang penting adalah dalam pembuatan gelas yakni dengan memadukannya dengan berbagai senyawa lain seperti Al_2O_3 dan B_2O_3 . Na_2O digabungkan dengan Al_2O_3 dan B_2O_3 dan untuk membentuk AlO_4 tetrahedra dan BO_4 tetrahedra yang selanjutnya akan membentuk properti gelas $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3$ (Doweidar *et al.*, 2001). Selain itu Volzone *et al.* (2013) membuat biogelas dengan penggabungan senyawa $\text{P}_2\text{O}_5-\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ dengan perlakuan suhu tinggi 1250 °C untuk membentuk gelas.

Pada penelitian Guloyan (2013) Na_2O dapat dipadukan dengan SiO_2 membentuk formasi gelas-sodium metasilicate ($\text{Na}_2\text{O}.\text{SiO}_2$), dalam penelitiannya bahan baku Na_2CO_3 dicampur dengan SiO_2 dan dilakukan sintering sampai dengan titik lebur

1050 °C, selama proses formasi gelas $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ tersebut dilaporkan bahwa terjadi penguapan CO_2 .

Natrium oksida juga memiliki peranan penting dalam pembuatan gelas-keramik yakni memadukannya dengan Al_2O_3 , Li_2O , Ti_2O dan SiO_2 (Gavrilovski *et al.*, 2002). Gelas-keramik $\text{Li}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Ti}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ ini mempunyai stabilitas termal yang tinggi, mempunyai kemampuan kerja pada temperatur yang tinggi dengan mengandalkan komposisi dan strukturnya (Pevzner, 1973; Dzhavukytsyan, 1989).

Dalam aplikasi yang sama, Adams *et al.* (2013) menggabungkan Na_2O dalam komposisi bioaktif gelas keramik $\text{SiO}_2-\text{CaO}-\text{Na}_2\text{O}-\text{P}_2\text{O}_5$ dengan sumber silika dan natrium oksida dari sodium metasilicate (Na_2SiO_3). Pembuatan bioaktif keramik gelas ini dengan menggunakan metode solgel

Aplikasi lain dari Na_2O adalah dalam bidang optik. Pellegri *et al.* (1998) memadukan natrium oksida dengan senyawa Si_2O dan B_2O_3 , hasilnya komposisi dari lembaran $\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}$ multilayer ini memiliki kualitas yang tinggi dalam kehomogenitasan dan tidak ada keretakan. Komposisi ini mempunyai kelebihan dalam proses pembuatannya yakni hanya menggunakan temperatur yang rendah.

Na_2O tidak hanya dapat diaplikasikan dalam bidang gelas, keramik dan optik saja. Dalam bidang elektrolit Na_2O juga digunakan untuk membuat keramik sebagai komponen elektrolit padat dengan bahan bakunya beta alumina ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$), material dari perpaduan natrium oksida dengan alumina ini memiliki kelebihan yaitu konduktivitas listriknya cukup tinggi, memiliki konduktivitas ion 30 Sm^{-1} pada suhu $300 \text{ }^\circ\text{C}$ sehingga cocok dipakai sebagai bahan elektrolit pada baterai

padat (Ramlan, 2010). Selain itu natrium oksida juga memiliki peranan penting dalam pembuatan *furnance*, dengan menambahkan natrium oksida dalam pembuatan sehingga *furnance* memiliki sifat mekanik yang baik (Allahverdi *et al.*, 2010).

G. Sintering

Sintering merupakan proses perlakuan panas terhadap material yang dapat mengakibatkan perubahan struktur mikro, seperti pengukuran ukuran dan jumlah pori (Stenat dan Wahlfarth, 1952; Restic, 1989), pertumbuhan butir, peningkatan densitas dan penyusutan (Restic, 1989). Perubahan struktur mikro ini dipengaruhi oleh laju pemanasan, penahanan dalam suhu tertentu, laju pendinginan serta beberapa faktor lain seperti jenis bahan, ukuran partikel, komposisi, dan zat pengotornya (Vlack, 1994). Menurut Schneider (1991) sintering merupakan proses pemadatan serbuk pada suhu tinggi mendekati titik leburnya hingga terjadi perubahan struktur mikro seperti pengurangan jumlah dan ukuran butir, pembentukan butiran, peningkatan densitas dan penyusutan. Beberapa tahapan dalam proses sintering antara lain:

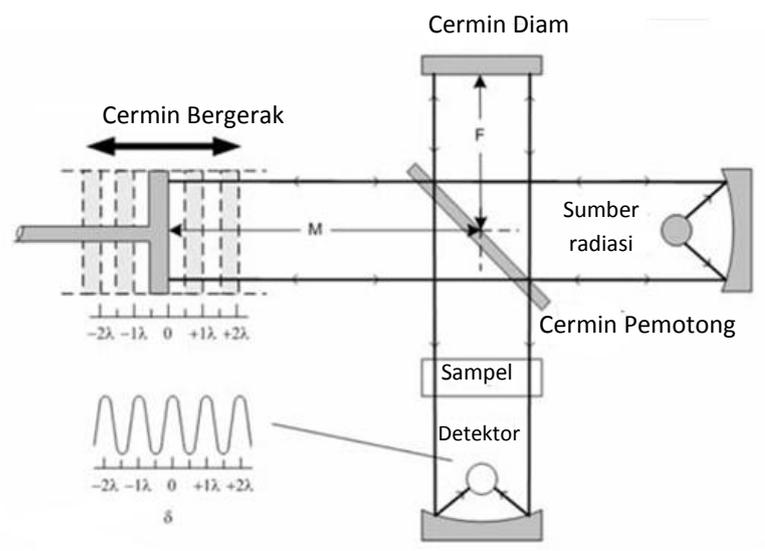
1. Tahap awal; pada tahap ini partikel-partikel sampel akan saling kontak setelah proses pencetakan
2. Tahap pembentukan ikatan (tahap awal sintering); sintering mulai berlangsung dan permukaan kontak kedua partikel semakin lebar namun belum terlihat adanya perubahan ukuran butiran dan pori
3. Tahap pertengahan; pada tahap ini terjadi pembentukan batas butir

4. Tahap akhir sintering; pada tahap ini terjadi densifikasi dan eliminasi pori sepanjang batas butir, yaitu terjadi perbesaran ukuran butiran sampai pori-pori tertutup dan sekaligus terjadi penyusutan butiran dan terbentuk fasa baru.

H. Karakterisasi

1. *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Spektroskopi FTIR adalah teknik pengukuran untuk mengumpulkan spektrum inframerah. Energi yang diserap sampel pada berbagai frekuensi sinar inframerah direkam, kemudian diteruskan ke inteferometer. Sinar pengukuran sampel diubah menjadi interferogram. Perhitungan secara matematika *Fourier Transform* untuk sinyal tersebut akan menghasilkan spektrum yang identik pada spektroskopi inframerah. Prinsip kerja FTIR dapat dilihat pada Gambar 2.3.



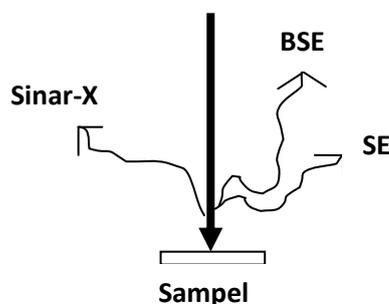
Gambar 2.3 Prinsip Kerja FTIR (Tanda (M) menunjukan cermin bergerak, tanda (F) menunjukan cermin diam) (Giwangkara, 2007).

Prinsip kerja alat FTIR dimulai dari sinar yang datang dari sumber sinar akan diteruskan, dan kemudian akan diperoleh oleh cermin pemotong menjadi dua bagian sinar yang saling tegak lurus. Sinar ini kemudian dipantulkan oleh dua cermin yaitu cermin diam dan cermin bergerak. Sinar hasil pantulan kedua cermin akan dipantulkan kembali menuju pemecah sinar untuk saling berinteraksi. Dari pemecah sinar, sebagian sinar akan diarahkan menuju cuplikan dan sebagian menuju sumber. Gerakan cermin yang maju mundur akan menyebabkan sinar yang sampai pada detektor akan berfluktuasi. Sinar akan saling menguatkan ketika kedua cermin memiliki jarak yang sama terhadap detektor, dan akan saling melemahkan jika kedua cermin memiliki jarak yang berbeda. Fluktuasi yang sampai pada detektor ini akan menghasilkan sinyal pada detektor yang disebut interferogram. Interferogram ini akan diubah menjadi spektra IR dengan bantuan komputer berdasarkan operasi matematika (Tahid, 1994).

2. *Scanning Electron Microscopy (SEM/EDS)*

Mikroskop elektron yang dikenal dengan SEM adalah suatu teknik analisis yang telah banyak digunakan untuk menganalisis struktur mikro dan morfologi suatu bahan secara detail. SEM pertama sekali dikembangkan pada tahun 1942 dengan instrumen terdiri dari penembak elektron (*electron gun*), tiga lensa elektrostatik dan kumparan pengulas elektromagnetik yang terletak antara lensa kedua dan ketiga, serta tabung foto multiplier untuk mendeteksi cahaya pada layar fosfor. SEM menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk menghasilkan bayangan. Berkas elektron dihasilkan dengan memanaskan filamen, kemudian dikumpulkan oleh lensa kondenser elektromagnetik, dan difokuskan oleh lensa

objektif. Berkas elektron menumbuk sampel menghasilkan elektron sekunder yang dipantulkan dari sampel kemudian dideteksi dan dikuatkan oleh tabung multiplier. SEM juga menggunakan hamburan balik elektron-elektron sekunder yang dipantulkan dari 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 dalam sampel. Intensitas elektron yang dihamburkan balik juga peka terhadap orientasi berkas sinar datang relatif terhadap kristal. Efek ini mengakibatkan perbedaan orientasi antara butir satu dengan butir yang lain adalah suatu sampel kristal, yang juga memberikan informasi kristallografi. Interaksi antara pancaran elektron dengan sampel ditunjukkan seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema Interaksi Antara Pancaran Elektron dan Sampel (Reed, 1993).

Pada prinsipnya SEM terdiri dari beberapa komponen yaitu kolom elektron (*electron column*), ruang sampel (*specimen chamber*), sistem pompa vakum (*vacuum pumping system*), kontrol elektronik dan sistem bayangan (Goldstein *et*

al, 1981). Kolom elektron terdiri dari *electron gun* dan beberapa lensa. Bagian dari *electron gun* adalah katoda, yaitu filamen berbentuk V yang dibuat dari bahan tungsten atau Lanthanum Hexaboride (LaB_6), dan plat anoda. *Electron gun* berfungsi sebagai sumber untuk menghasilkan berkas elektron/elektron primer yang dipancarkan dari katoda dan digunakan untuk menganalisis bahan. Berkas elektron tersebut dipercepat oleh medan listrik dan difokuskan pada gambar pertama dari sumber, yaitu sebuah lensa magnetik yang terdiri dari dua buah lensa kondensor, sehingga bentuk dan ukuran sampel terlihat dalam bentuk sinar bayangan (*imaging beam*). Faktor yang menentukan penampilan dan resolusi dari SEM adalah arus dan berkas pemercepat (Sampson, 1996).

SEM yang dilengkapi dengan sistem EDS merupakan seperangkat alat instrumen yang membantu untuk mengetahui karakteristik mikrostruktur dari bahan padat seperti logam, keramik, polimer, dan komposit. Alat ini dilengkapi dengan daya pisah sekitar 0,5 nm dengan perbesaran maksimum hingga 500.000 kali (Griffin dan Riessen, 1991).

2. *X-Ray Diffraction* (XRD)

Difraksi sinar-X (*X-ray diffraction*) merupakan salah satu metode karakterisasi material yang paling tua dan sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel (Ratnasari, 2009). Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar X dihasilkan oleh interaksi

antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum Sinar X memiliki panjang gelombang $10^{-5} - 10$ nm, berfrekuensi $10^{17} - 10^{20}$ Hz dan memiliki energi 103-106 eV. Panjang gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal (Ory, 2009).

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. Penguatan sinar yang terpancarkan menjadi kuantitatif hanya jika memenuhi Hukum Bragg. Skema dari berkas sinar-X dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5. Hukum Bragg didefinisikan sebagai (Hayati, 2007):

$$n\lambda = 2 d \sin \theta ; n = 1,2,\dots, \quad (12)$$

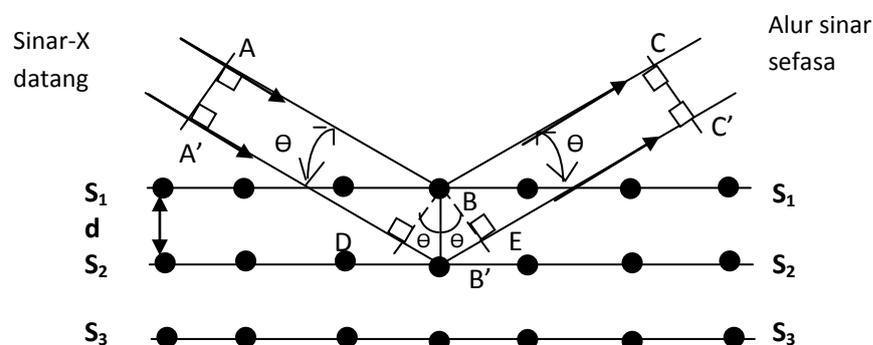
Keterangan :

λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan,

d adalah jarak antara dua bidang kisi,

θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan

n adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan.



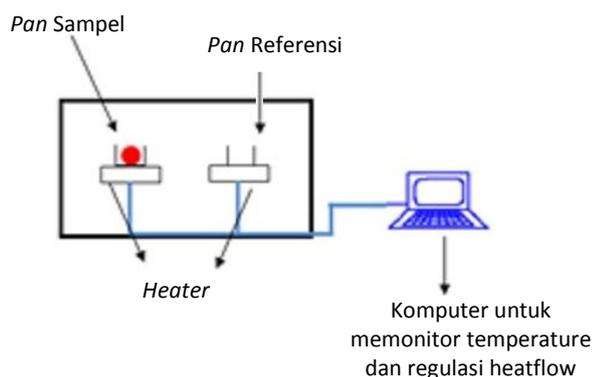
Gambar 2.5 Skema dari Berkas Sinar X yang Memantulkan dari Sinar Kristal dengan Mengikuti Hukum Bragg (Hayati, 2007)

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. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi (Ory, 2009). Puncak yang didapatkan dari data pengukuran kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material. Standar ini disebut JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) (Ratnasari, 2009). Beberapa informasi yang dapat diperoleh dari difraksi sinar X (*X-ray diffraction*) adalah sebagai berikut (Ginting *et al.*, 2005):

- a. Posisi puncak difraksi memberikan gambaran tentang parameter kisi (a), jarak antar bidang (d_{hkl}), struktur kristal dan orientasi dari sel satuan.
- b. Intensitas relatif puncak difraksi memberikan gambaran tentang posisi atom dalam sel satuan.
- c. Bentuk puncak difraksi memberikan gambaran tentang ukuran kristalit dan ketidaksempurnaan kisi.

4. *Differential Scanning Analysis* (DSC-TGA)

Differential Scanning Calorimetry (DSC) merupakan suatu teknik analisis termal dimana perbedaan pada aliran panas atau daya panas pada sampel dan standar (referensi) dipantau terhadap waktu atau temperatur, sedangkan pada sampel dengan atmosfer telah diprogram (Simon dan Cibulkova, 1999). Skema DSC dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.6 Skema Sederhana DSC (Polymer Science Learning Center, 2005).

Prinsip kerjanya sangat sederhana dimana satu *pan* diisi dengan sampel uji, sedangkan *pan* yang lain diisi dengan material referensi (Polymer Science Learning Center, 2005). Kedua *pan* berada diatas *heater*. Kemudian dengan memberikan perintah melalui komputer, *heater* akan dinyalakan dan sekaligus menentukan *specific heat* yang diinginkan. Melalui pemograman komputer, kecepatan panas akan dikendalikan yang tentu saja panas yang ada dideteksi dengan sensor temperatur yang kemudian sinyalnya diterima oleh komputer dan komputer akan memberi perintah pada *heater* untuk mempertahankan *specific heat*-nya.

Pada dasarnya DSC (*Differential Scanning Calorimetri*) ini digunakan untuk mengetahui perubahan fasa kristalin yang terjadi dan perubahan termal dengan mengukur perbedaan kalor yang masuk dalam sampel Na_2CO_3 maka dilakukan analisis dengan menggunakan. Alat ini juga dapat digunakan sebagai referensi fungsi temperatur DSC ini dilengkapi oleh TGA (*Termogravimetry Analysis*) untuk mengetahui perubahan massa sampel (Haines, 2002; Pungor, 1995; Riefvan, 2013).