

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton Portland untuk Lingkungan Laut

Beton merupakan material yang banyak digunakan untuk struktur suatu bangunan, termasuk pada lingkungan laut yang korosif. Ketahanan (*durability*) merupakan sifat yang sangat penting terkait dengan masa layan bangunan. Secara umum, statistik untuk masa layan rata-rata beton adalah: 30-40 tahun untuk bangunan sipil, 20-30 tahun untuk bangunan industri, 10-20 tahun untuk pelabuhan, dan 10-20 tahun untuk jembatan sebelum perbaikan (Chen Yz, 2004 dalam Kefei Li dkk, 2008).

Bahan utama pada beton adalah semen Portland, dimana pengikat pada semen Portland rentan terhadap serangan ion klorida di lingkungan laut. Untuk menjaga kekuatan beton Portland, difusi ion klorida harus seminimal mungkin. Beberapa penelitian yang telah dilakukan pada bidang beton untuk lingkungan laut, diantaranya:

- Peningkatan mutu beton (*High-Performance Concrete*) yaitu dengan penguat serat dan polimer modifikasi. Beton yang diharapkan adalah peningkatan sifat *ductility* dan *fatigue* (Lohaus dan Anders, 2007). Aplikasinya bisa untuk daerah payau.
- Penggunaan material pelapis yang terbuat dari polimer organik, seperti epoksi. Pelapis akan menghambat air atau udara terdifusi ke dalam beton. Namun polimer organik memiliki kelemahan termal yang rendah dan tidak tahan sinar ultraviolet.
- Meningkatkan kandungan silikat dalam beton, seringkali disebut semen campuran (*blended cement*). Bahan tambahan yang digunakan adalah, abu terbang (*fly ash*), ampas bijih besi (*blast furnace slag*), dan buangan silika (*silica fume*). Bahan tambahan ini bisa mencapai 25 % berat semen. Bahan ini juga berpengaruh permeabilitas beton yang lebih rendah, artinya berton sedikit mengabsorb air (Li Fangxian dkk, 2009). Chalee dan Jaturapitakkul (2009) menyebutkan bahwa semakin tinggi perbandingan air/binder (W/B) dan semakin halus abu terbang, maka difusi klorida juga turun.

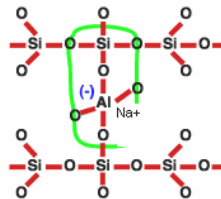
- Penambahan agen hidrofobik yang mampu mengurangi penetrasi air dan ion klorida. Namun kemampuan jumlahnya sangat kecil, antara 11 % - 17%, tergantung dari produk (Medeiros & Helene, 2008).
- Menggunakan elektrokimia untuk mengontrol korosi baja tulangan pada beton. Perawatan beton menggunakan elektrodeposisi mampu mengurangi kadar ion klorida sekitar baja tulangan dalam beton (Ryu & Otsuki, 2002).

Walaupun berbagai penelitian telah dilakukan untuk menurunkan permeabilitas ion klorida, namun belum ada beton Portland yang tahan terhadap klorida. Ketahanan (*durability*) beton konvensional yang rendah terhadap korosi air laut ini perlu digantikan dengan material lain dengan ketahanan yang lebih unggul. Geopolimer mempunyai sifat yang mirip dengan Portland, namun diklaim tahan terhadap korosi klorida pada air laut.

2.2. Geopolimer

2.2.1 Pengertian Geopolimer

Geopolimer merupakan polimer anorganik yang menggunakan bahan mineral aluminosilikat (SiO_2 dan Al_2O_3) untuk menggantikan rantai C. Istilah geopolimer diperkenalkan oleh Davidovits tahun 1976 yang mengacu pada rantai 3D polisialat yang dihasilkan dari hidrosilasi dan polikondensasi pada temperatur dibawah 160°C dari mineral alam, seperti kaolin, dan abu terbang. Pada geopolimer, terjadi polimer jaringan silikon-oksigen-aluminium dengan mengubah tetrahedral silikon dan aluminium sehingga bergabung bersama secara tiga arah dengan pemakaian bersama seluruh atom O (Gambar 2.1). Polimer silikon-okso-aluminat dapat disebut sialat sehingga geopolimer dapat disebut poli(sialat). Bentuknya amorf sampai semi-kristal (Davidovits, 1991).



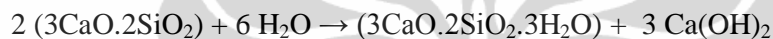
Gambar 2.1 Ikatan yang Terjadi dalam Geopolimer (Davidovits, 2008)

2.2.2 Perbedaan Beton Geopolimer dan Beton Portland

Beton geopolimer memang dapat digunakan sebagai substitusi dari beton Portland karena memiliki sifat yang mirip, seperti bentuk pasta dan proses pengerasannya namun seringkali ada beberapa kesalahpahaman mengenai sifat geopolimer. Perbedaan mendasar antara beton geopolimer dan beton portland ini perlu dipahami.

- Proses pengerasan yang berbeda antara Beton Portland dan Beton Geopolimer.

Kalsium silikat dalam semen yang dicampur air akan terhidrolisa menjadi kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan kalsium silikat hidrat ($3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) pada suhu ruang



Sedangkan beton geopolimer mengeras karena reaksi polikondensasi material aluminosilikat (SiO_2 dan Al_2O_3). Perbedaan kimiawi ini menyebabkan sifat fisika dan kimia dari semen portland dan geopolimer berbeda, meskipun keadaan visual dan pengerasannya sama.

- Beton geopolimer memiliki nilai *creep* yang rendah penyusutan saat pengerasan sangat kecil. Sedangkan Modulus Young, *Poisson's Ratio* dan *tensile strength* yang relatif sama dengan semen Portland. Beton geopolimer mampu mencapai 70% dari kekuatannya pada 4 jam pertamanya, walaupun hal ini juga tergantung dari sifat bahan baku yang digunakan. (Khale & Chaudhary, 2007)

- PH dari semen geopolimer dan korosi baja tulangan.

Beberapa insinyur salah sangka bahwa beton geopolimer memiliki pH yang tinggi, antara 13-14, karena penggunaan NaOH atau KOH yang memiliki pH tinggi, sehingga menyebabkan korosi pada baja tulangan. Pada kenyataannya, pasta geopolimer yang dibuat 5 menit setelah pengadukan memiliki pH yang lebih rendah, antara 11,5-12,5. Bandingkan dengan pasta semen Portland yang memiliki pH antara 12-13. Nilai pH yang relatif sama antara geopolimer dan semen Portland aman dan tidak merusak baja tulangan (Davidovits, 2008).

- Karbonasi di sekeliling baja

Semen Portland memiliki ion hidroksil bebas yang mengalami karbonasi dari $\text{Ca}(\text{OH})_2$ menjadi CaCO_3 . Karbonasi semen Portland dapat menghilangkan ion hidroksil dan menurunkan pH, hal ini dapat menyebabkan korosi di sekeliling baja. Sebaliknya, karbonasi beton geopolimer menghasilkan kalium karbonat atau natrium karbonat, dengan pH minimum 10-10,5, merupakan perlindungan kimia terhadap korosi (Davidovits, 2008).

- Kandungan alkali tidak menyebabkan reaksi alkali-agregat

Alkalin pada beton semen Portland dapat menyebabkan reaksi alkali-agregat yang merusak. Reaksi alkali-agregat adalah serangkaian kimia yang melibatkan alkali hidroksida dari semen dengan silika reaktif yang ada pada agregat. Reaksi ini membutuhkan air dalam pembentukan gel alkali-silika, yang jika berada dalam kondisi lembab akan mengembang sehingga menimbulkan *swelling pressure* yang menyebabkan kerusakan pada beton, berupa retak sampai lepas sebagian. Oleh karena itu, alkali selalu dihindari dalam pembuatan semen Portland. Sedangkan pada geopolimer, kandungan alkali tidak menyebabkan reaksi alkali agregat (Davidovits, 2008).

- Ion klorida tidak mempengaruhi korosi pada beton

Ion klorida dapat menyebabkan korosi dan pengeroposan pada beton Portland karena ion klorida dapat menyerang sistem pengikat kalsium silikat hidrat. Oleh karena itu, beton portland tidak boleh menggunakan air berklorida dan tidak bisa diaplikasikan pada lingkungan yang berklorida tinggi seperti air laut. Sedangkan geopolimer memiliki ketahanan (*durability*) terhadap ion klorida (Davidovits, 2008)

2.2.3 Sifat-sifat Geopolimer

Geopolimer memiliki sifat-sifat yang membedakannya dengan material lain, baik sifat fisik maupun kimia. Sifat fisik merupakan sifat yang dimiliki material tanpa bereaksi dengan bahan lain, termasuk sifat mekanik. Sedangkan

sifat kimia adalah perilaku material apabila bereaksi secara kimia dengan bahan lain.

2.2.3.1 Sifat Fisik Geopolimer

Data di bawah ini merupakan sifat fisik yang umumnya dimiliki geopolimer (Davidovit, 2008)

Semen Geopolimer

- Penyusutan selama setting: $<0.05\%$, tidak dapat diukur
- Kuat tekan (uniaxial): >90 Mpa pada 28 hari (untuk kekuatan awal tinggi mencapai 20 Mpa setelah 4 jam)
- Kuat flexural: 10-15 Mpa pada 28 hari (untuk kekuatan awal tinggi mencapai 10 Mpa setelah 24 jam)
- Modulus young: >2 Gpa
- Freeze-thaw: massa yang hilang $<0.1\%$ (ASTM 4842), kekuatan yang hilang $<5\%$ setelah 180 siklus.
- Wet-dry: massa yang hilang $<0.1\%$ (ASTM 4843)

Binder Geopolimer

- Ekspansi linier: $< 5 \cdot 10^{-6}/K$
- Konduktivitas panas: 0.2 sampai 0.4 W/K.m
- *Specific heat* : 0.7-1.0 KJ/kg
- Densitas *bulk* 1 sampai 1.9 g/mL
- Porositas terbuka 15-30 %
- Penyusutan geopolimerisasi 0.2 – 0.4 %
- D.T.A : endotermik pada 250 °C (air zeolitik)
- Dan lain-lain

2.2.3.2 Sifat Kimia Geopolimer

Data di bawah ini merupakan sifat kimia yang umumnya dimiliki geopolimer (Davidovits, 2008)

- Ketahanan kimia geopolimer

Geopolimer yang direndam asam sulfat 10% hanya mengalami penyusutan massa 0.1 % perhari dan asam klorida 5% hanya menyebabkan penyusutan 1% perhari. Perendaman dengan KOH 50% hanya menyusut 0.02% perhari, larutan sulfat menyebabkan penyusutan 0.02% pada 28 hari, sedangkan larutan amonia tidak menyebabkan penyusutan massa pada geopolimer. Reaksi alkali agregat tidak terjadi pada geopolimer.

- Nilai pH antara 11,5-12,5. Bandingkan dengan pasta semen Portland yang memiliki pH antara 12-13.
- Pelarutan (*leaching*) dalam air, setelah 180 hari: $K_2O < 0.015 \%$
- Absorpsi air: <3%, tidak terkait pada permeabilitas

2.3 Alternatif Prekursor Geopolimer

Bahan baku atau prekursor geopolimer yang mengandung aluminosilikat harus kaya akan silikon (Si) dan aluminium (Al). Bahan dasar biasanya berasal dari mineral alami seperti kaolinit, mikas, andalousit, *spinel*, dan sebagainya. Bahan dasar alternatif lainnya adalah abu terbang, *silica fume*, *slag*, abu sekam, limbah bauksit, dan sebagainya. Pilihan bahan dasar dapat mempengaruhi ketersediaan, biaya, penggunaan dan permintaan pengguna.

2.3.1 Sifat Bahan Baku Geopolimer

Sifat bahan baku geopolimer merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi sifat geopolimer yang dihasilkan. Apabila sifat bahan baku diketahui maka hasil geopolimer dapat diprediksikan. Berbagai jenis abu terbang sebagai bahan geopolimer telah diselidiki oleh Fernandez-Jimenez (2004). Penelitian ini mengklaim bahwa untuk mendapat sifat mengikat (*binding properties*) optimal, maka kandungan CaO harus rendah, memiliki silika reaktif antara 40-50%, Fe_2O_3 tidak melebihi 10%, material tak terbakar (LOI) kurang dari 5 %, dan 80-90 % partikelnya lebih kecil daripada $45\mu m$.

Bahan baku atau orekursor dari geopolimer harus banyak mengandung alumina dan silika. Selain material murni alumino silika seperti lempung kaolin, beberapa limbah industri ada yang kaya akan alumino silika. Limbah industri tersebut diantaranya adalah *blast furnace slag*, abu terbang (*fly ash*), serbuk granit dan lumpur merah (*red mud*).

Ada beberapa bahan baku geopolimer, terutama abu terbang jenis C, yang dapat mengalami pengerasan yang sangat cepat. Pengerasan dalam hitungan menit dapat menyebabkan geopolimer mengeras sebelum dituangkan ke cetakan. Untuk mengetahuinya, bahan baku perlu diuji kadar pH dengan cara merendamnya pada air deionisasi dan mengukur pH setelah 1 menit, 5 menit dan 10 menit. pH antara 8-11 memiliki laju pengerasan yang normal (Davidovit, 2008).

2.3.2 Metakaolin

Metakaolin($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$) adalah material pozolan yang didapatkan dari kalsinasi lempung kaolin pada temperatur antara 500°C sampai 800°C . Sedangkan kaolin merupakan lempung putih dan berbutir halus serta biasanya digunakan dalam industri porselen. Kata meta menunjukkan perubahan sifat, dalam hal ini, perubahan dehidroksilisasi karena pemanasan selama beberapa waktu.(Siddique, 2008)

Metakaolin berbentuk serbuk putih dengan 99,9 % beratnya lebih halus dari $16\mu\text{m}$ dan ukuran partikel rata-ratanya adalah $3\mu\text{m}$. Bulk density antara 0,3-0,4 g/cm^3 . Komposisi utama metakaolin adalah SiO_2 dan Al_2O_3 .

2.3.3 Abu Terbang (*Fly ash*)

Abu terbang merupakan butiran halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang terdapat di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Abu terbang mengandung silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3) serta oksida-oksida lain. Ukuran partikel abu terbang antara 0.5 –100 μm . Faktor kunci yang mempengaruhi reaktifitas dari Abu terbang disebutkan oleh Fernándo- Jimenéz dkk (2004) diantaranya adalah kandungan silikat aktif, kandungan fase gelas dan distribusi ukuran partikel.

Abu terbang diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu jenis F dan jenis C. Abu terbang hasil pembakaran batu bara sub-bituminous disebut abu terbang ASTM jenis C yang tinggi kandungan kapur (lime)nya (lebih dari 10%). Abu terbang dari batu bara bituminous dan antrasit disebut abu terbang ASTM jenis F yang mengandung kurang 10% CaO (Heidrich, 2002). Abu terbang yang dihasilkan di Indonesia umumnya adalah abu terbang jenis C.

2.4 Larutan Alkalin

Larutan alkalin merupakan larutan yang mengandung alkali (golongan IA pada susunan berkala unsur-unsur), misalnya Litium, Natrium, Kalium, dan sebagainya. Larutan alkali bersifat basa atau memiliki pH kurang dari 7.

2.4.1 Natrium Hidroksida (NaOH)

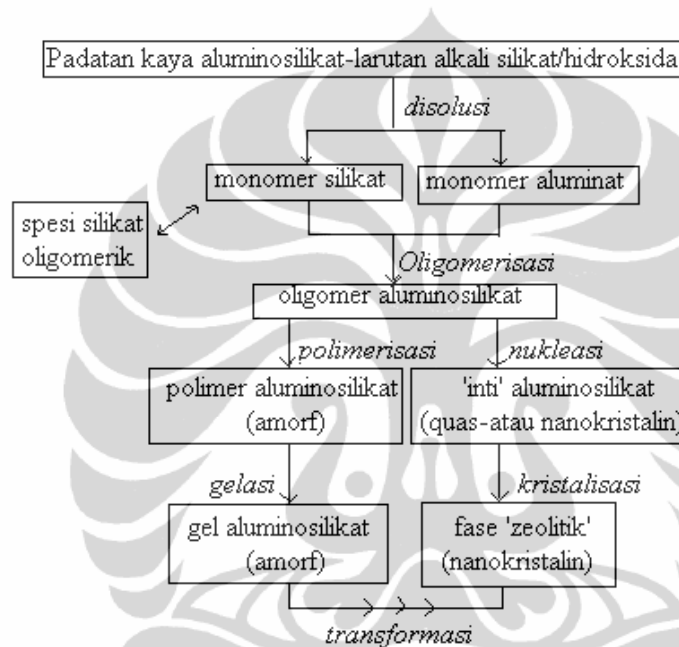
Larutan alkalin yang digunakan dalam pembuatan geopolimer adalah logam alkali yang larut. Logam alkali yang sering digunakan sebagai reagen reaksi geopolimerisasi adalah Natrium (Na) dan Kalium (K). Massa molekul relatif NaOH adalah 40 gram/mol. Natrium hidroksida dapat mengabsorpsi CO₂ dari udara, sangat korosif pada jaringan hewan dan tumbuhan serta logam aluminium. Natrium hidroksida menghasilkan panas (eksotermis) saat dilarutkan dalam air atau ketika dilarutkan dengan asam. NaOH berbentuk pelet dapat mencapai kemurnian 97-98 % (Windholtz, 1976). Menurut A. Palamo (1999), bahan larutan alkalin untuk menghasilkan kuat tekan yang paling baik adalah campuran NaOH dengan natrium silikat dan KOH dengan kalium silikat.

2.4.2 Natrium Silikat (*Waterglass*)

Komposisi natrium silikat (*Waterglass*) saat kering adalah Na₂SiO₃, Na₆SiO₇, Na₂Si₃O₇ dengan komposisi air yang bervariasi. Bentuknya bening sampai putih atau putih keabu-abuan, kristalin atau seperti lem. Natrium silikat juga dapat mengiritasi kulit. Natrium silikat dalam bentuk larutannya adalah alkalin kuat (Windholtz, 1976).

2.5 Sintesis Geopolimer

Proses geopolimerisasi terhadap abu terbang mirip dengan geopolimerisasi pada metakaolinit, namun geopolimerisasi metakaolinit jauh lebih sederhana karena metakaolinit mempunyai komposisi lebih sederhana. Konsep model geopolimerisasi telah diajukan oleh Provis *et al* (2005) dan disusul oleh Van Deventer (2006). Van Deventer menggambarkan geopolimerisasi metakaolin dalam skema Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema Reaksi yang Terlibat dalam Geopolimerisasi (Van Deventer, 2006)

Molekul-molekul alumina $[Al_2O_3]$ dan silikat $[SiO_2]$ direaksikan dengan larutan basa kuat, biasanya alkali hidroksida, sehingga terjadi proses pelarutan yang diikuti dengan kondensasi membentuk rantai $-Si-O-Al-O-$. Pada masa-masa awal pengembangannya dulu, proses geopolimerisasi dilakukan dari bahan-bahan alumina silikat yang murni selanjutnya dilakukan dari mineral-mineral yang sifat-sifat kimia dan fisiknya homogen seperti kaolin dan beberapa mineral aluminosilikat. Abu terbang yang mengandung sedikit CaO tetapi kaya akan alumina dan silikat akhir-akhir ini mulai dipakai sebagai reagen untuk sintesis dari geopolimer itu (Wallah *et al*, 2006 ; Hardjito *et al* , 2005).

Davidovits (1991) menyatakan bahwa geopolimer yang berasal dari abu terbang mengandung rantai Si–O–Al dengan tetrahedra SiO₄ dan AlO₄ yang tersambung secara bergantian dengan menggunakan semua atom oksigennya. Fakta bahwa atom Al memiliki koordinasi 4 dengan atom O, membuat ketidakseimbangan muatan negatif dalam struktur geopolimer. Karena itu kehadiran kation-kation seperti K⁺, Na⁺ dan Ca²⁺ adalah penting untuk tetap mempertahankan kenetralan muatan di dalam matriks geopolimer itu.

Reaksi geopolimerisasi (seperti untuk abu terbang) termasuk salah satu dari reaksi polikondensasi anorganik (seperti untuk zeolit). Atas dasar ini reaksi polimerisasi abu terbang dapat dibandingkan dengan reaksi-reaksi pembentukan zeolit. Dalam sintesis zeolit, umumnya reaksi dilakukan dalam kondisi basa menggunakan gugus OH⁻ sebagai *mineralising agent*. Sintesis ini juga menunjukkan bahwa garam-garam alkali dan atau gugus hidroksida selalu diperlukan untuk terjadinya reaksi pelarutan silika dan alumina, serta diperlukan untuk katalisis terhadap reaksi kondensasinya.

2.6 Perkembangan dan Tantangan Produksi Geopolimer

Perkembangan geopolimer sebagai pengganti semen Portland banyak dibicarakan karena produksi semen Portland menghasilkan karbon dioksida yang berdampak pada efek rumah kaca dan pemanasan global. Produksi 1 ton semen menghasilkan 1 ton karbondioksida, padahal kebutuhan semen terus meningkat. Kesadaran lingkungan inilah yang mendorong penelitian mengenai geopolimer.

Geopolimer juga dapat menjadi beton yang lebih maju dari beton Portland. Geopolimer dapat menghasilkan sifat mekanik (kuat tekan dan kuat lentur) yang relatif sama. Ketahanan (*durability*) geopolimer lebih baik dalam lingkungan korosif, misalnya air laut, asam sulfat, asam klorida. Geopolimer juga tahan temperatur tinggi sampai 1200 °C karena struktur 3D memiliki porositas nano sehingga air terikat secara fisika dan kimia dapat terlepas tanpa merusak struktur geopolimer. Bandingkan dengan semen Portland kualitas tinggi yang meledak pada temperatur 300-400 °C.

Perkembangan penelitian geopolimer juga menemui tantangan mengenai bahan-bahan yang digunakan. Larutan alkalin yang sering digunakan bersifat

korosif dan iritan (penyebab iritasi). Bahkan semen Portland juga bersifat iritan. Karena itu, pelaksanaan aplikasi geopolimer memerlukan pendampingan ahli. Di samping itu, sebaiknya digunakan kondosi alkalin yang lebih 'ramah'. Davidovit (2008) menyarankan untuk menggunakanlah larutan alkalin dengan MR $\text{SiO}_2:\text{M}_2\text{O}$ 1,25 – 2,0 (M adalah Na atau K). Semakin rendah nilai MR tersebut, semakin bersifat korosif. Walaupun begitu, bahan-bahan geopolimer yang telah dicampurkan dan bereaksi memiliki pH yang relatif sama dengan semen Portland.

2.7 Analisa Sifat Mekanik

2.7.1 Analisa Kuat Tekan

Salah satu sifat mekanik yang digunakan sebagai parameter geopolimer adalah kuat tekan (*compressive strength*). Geopolimer berbentuk silinder dengan ukuran tertentu diberi tekanan secara perlahan-lahan hingga mengalami keretakan. Nilai yang teramati adalah gaya perlawanan dari geopolimer.

2.7.2 Analisa Atom yang Larut

. Analisa pelarutan geopolimer biasanya digunakan untuk mengetahui kemampuan imobilisasi geopolimer terhadap logam berat yang dikandungnya. Logam berat yang merusak lingkungan, seperti Pb, Cu, Cd, dan Cr, disimpan pada matriks geopolimer. Logam berat yang larut (*leaching*) kembali dapat dianalisa (Van Jaarsveld & Van Deventer, 1999; Xu dkk, 2006).

Analisa pelarutan (*leaching*) dapat digunakan untuk mengetahui atom atau ion yang terlepas atau terlarut ke dalam perendamnya. Penelitian ini menganalisa derajat kerusakan geopolimer akibat korosi air laut yang mungkin merusak matrik geopolimer. Ion yang larut dalam filtrat dapat dianalisa menggunakan AAS atau ICP.

2.8 Analisa Sifat Kimia

2.8.1 Spektrofotometri Serapan Atom

Spektrofotometri serapan atom (*Atomic Absorption Spectroscopy*, AAS) merupakan metode analisa kimia untuk mengetahui kadar unsur-unsur logam dan

semi logam yang terdapat dalam cuplikan dalam jumlah sangat sedikit (renik). Dasarnya adalah penyerapan energi sinar oleh atom-atom netral dalam fasa gas.

2.8.2. Difraksi Sinar X

Sinar X merupakan gelombang elektromagnetik dengan daerah λ 0,1 -1000Å yang terdiri dari partikel tidak bermuatan. Frekuensi sinar X lebih besar dari sinar UV-VIS dan energinya jauh lebih besar. Ada tiga cara untuk mendapatkan pancaran sinar X, yaitu membombardir logam sasaran dengan berkas elektron yang berenergi tinggi, menyinari bahan dengan berkas primer sinar X, dan dari sumber bahan radioaktif (Prince, 1983).

Apabila sinar monokromatis mengenai cuplikan, ada dua proses yang terjadi.

- a. Bila cuplikan memiliki struktur dengan daerah kristal maka sinar X akan terhambur secara koheren atau proses ini ditentukan sebagai efek difraksi sinar X dan diukur secara difraksi sinar sudut lebar.
- b. Bila cuplikan memiliki struktur dengan daerah kristal dan amorf maka sinar X akan terhambur secara tidak koheren (hamburan Compton). Proses ini terjadi dengan perubahan panjang gelombang dalam fase, dikenal sebagai hamburan dan diukur dengan hamburan sinar sudut sempit (Rabek, 1980).

2.8.4 Analisa XRF

XRF (X-Ray Fluorescence) digunakan secara luas untuk menentukan komposisi unsur dari suatu material, secara kualitatif maupun kuantitatif. Sinar X berenergi dan kecepatan tinggi dari tabung sinar X. Suatu material yang terkena radiasi sinar-X tersebut maka elektron kulit terluarnya akan terpantul dari orbitalnya menuju kulit yang lebih dalam dan menimbulkan kekosongan. kekosongan tersebut menghasilkan keadaan atom yang tidak stabil, sehingga elektron orbital luar akan turun mengisi kekosongan untuk menuju keadaan atom yang lebih stabil. Elektron yang pindah ini akan memancarkan energi karena pindah dari orbital dengan energi yang tinggi menuju orbital dengan energi yang lebih rendah. Energi yang dipancarkan adalah sinar X yang memiliki karakteristik tertentu, yaitu panjang gelombang tertentu sesuai dengan unsur yang

bersangkutan. Proses pemancaran sinar X tersebut disebut dengan fluoresensi sinar X.

Analisis XRF hanya efektif untuk unsur dengan berat molekul tinggi tetapi kurang akurat untuk unsur yang lebih ringan dari kalsium. Kelemahan ini disebabkan jumlah elektron yang tertalu sedikit menyebabkan pancaran energinya lebih rendah dan sulit dideteksi. Kelemahan analisis XRF yang lain adalah tidak bisa mendeteksi unsur yang jumlahnya sangat sedikit. Untuk analisis unsur yang berat molekul ringan dan jumlahnya sangat sedikit biasanya menggunakan analisis lain, misalnya AAS.

