

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Beton

Beton merupakan merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis (*portland cemen*), agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah (Mulyono, 2004). Agregat kasar berupa kerikil kasar atau batuan hancur seperti batu gamping, atau granit sedangkan agregat halus berupa pasir. Beton adalah batuan-batuan dan bahan lain yang terdiri dari semen, pasir, dan kerikil/split dengan perbandingan tertentu yang bila diaduk dan dicampur dengan air kemudian dimasukan kedalam suatu cetakan akan mengikat, mengering, dan mengeras dengan baik setelah beberapa lama (Adiyono, 2008 dalam Pramana,2009).

Perbedaan antara beton geopolimer dengan beton normal yaitu dalam penggunaan semen *portland*. Pada beton geopolimer tidak menggunakan semen *portland*.

Semen mengandung beberapa unsur kimia yaitu kapur (CaO) sebesar 60-65%, silika (SiO₂) 17-25%, alumina (Al₂O₃) 3-8%, besi (Fe₂O₃) 0.5-6%, magnesia (MgO) 0.5-4% , sulfur (SO₃) 1-2%, soda/potash 0.5-1% (Tjokrodinuljo, 2007). Dari beberapa unsur tersebut membentuk beberapa senyawa. Senyawa yang paling penting dalam pembentukan semen *portland* ada 4 (empat) macam yaitu :

1. Trikalsium silikat (C₃S) atau 3CaO.SiO₂
2. Dikalsium silikat (C₂S) atau 2CaO.SiO₂
3. Trikalsium aluminat (C₃A) atau 3CaO.Al₂O₃
4. Tetrakalsium aluminoforit (C₄AF) atau 4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃

Menurut Mulyono (2004) senyawa-senyawa tersebut membentuk kristal yang saling mengunci ketika menjadi klinker. Komposisi C₃S dan C₂S merupakan bagian yang paling dominan memberikan sifat semen. Senyawa C₃S jika terkena air akan

kecepatan mengeras sebelum hari ke-14. Apabila kandungan C_3S lebih banyak maka akan terbentuk kuat tekan awal yang tinggi dan panas hidrasi yang tinggi. Senyawa C_2S bereaksi lebih lambat dengan air dan hanya berpengaruh dengan semen setelah umur 7 hari. C_2S memberikan ketahanan terhadap serangan kimia dan mempengaruhi susut terhadap pengaruh panas akibat lingkungan. Senyawa C_3A bereaksi secara eksotermik dan bereaksi sangat cepat sehingga menimbulkan kekuatan awal yang sangat cepat pada 24 jam pertama. Semen yang mengandung senyawa C_3A lebih dari 10% maka akan menimbulkan kurang tahan terhadap serangan sulfat. Hal ini dikarenakan karena C_3A bereaksi dengan sulfat yang terdapat dari air atau tanah kemudian menyebabkan beton mengembang dan menimbulkan retakan. Senyawa C_4AF kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen atau beton.

1. Kelebihan dan Kekurangan Beton.

Beton mempunyai segi kelebihan dan kekurangan yang sepatutnya dimengerti oleh para perencana dan konstruktor karena pengertian ini dapat mencegah kesulitan-kesulitan dalam segi perencanaan dan perawatan beton (Tjokrodimuljo, 1996).

Kelebihan beton antara lain adalah :

- a. Beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk apapun dan ukuran sebarang tergantung keinginan.
- b. Beton termasuk bahan yang berkekuatan tekan tinggi, serta mempunyai sifat tahan terhadap korosi oleh kondisi lingkungan.
- c. Kuat tekannya yang tinggi jika dikombinasikan dengan tulangan baja (yang kuat tariknya tinggi) dapat dikatakan mampu untuk struktur berat.
- d. Tahan terhadap temperatur tinggi.
- e. Biaya pemeliharaan beton yang relatif murah.

Kekurangan beton antara lain :

- a. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak.
- b. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian tinggi.
- c. Bentuk yang telah jadi sulit diubah.
- d. Daya pantul suara yang besar.

B. Beton Geopolimer

1. Sejarah Beton Geopolimer

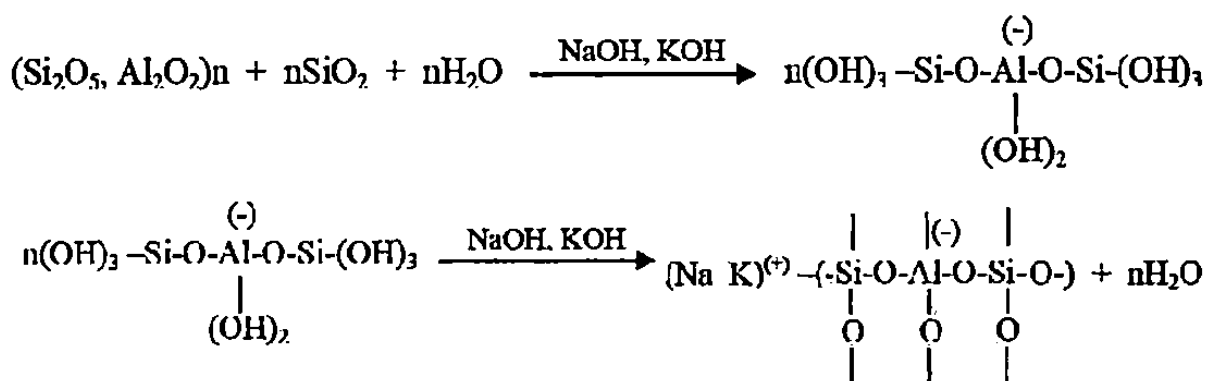
Geopolimer pertama kali diperkenalkan oleh Joseph Davidovits pada tahun 1978. Objek yang pertama kali diteliti adalah tentang struktur mineral dari piramid. Menurut dugaan sebelumnya, piramid dibuat dengan menyusun balok-balok raksasa. Namun, penelitian yang dilakukan oleh Davidovits menunjukkan bahwa piramid dibuat dengan metode re-aglomerasi batuan atau dengan kata lain piramid dibangun seperti dengan cara modern yaitu difabrikasi dengan material seperti "semen" jaman dulu. Menurut penelitian Davidovits, "semen" tersebut dibuat dengan mencampurkan metakaolinit dan larutan alkali, misalnya NaOH, KOH, dll. Material baru tersebut kemudian diperkenalkan oleh Davidovits dengan nama *geopolymer*, yang merupakan suatu polimer alumina-silika anorganik dan terdiri atas sebagian besar unsur silikon (Si) dan aluminium (Al).

2. Definisi Geopolimer.

Geopolimer dapat didefinisikan sebagai material yang dihasilkan dari geosintesis aluminosilikat polimerik dan alkali-silikat yang menghasilkan kerangka polimer SiO_4 dan AlO_4 yang terikat secara tetrahedral (Davidovits, 1994 dalam Septia, 2011). Beton geopolimer merupakan beton yang tidak menggunakan semen *portland* sebagai *binder*. Proses pembentukan beton

silikat dan alumina tinggi yang direaksikan dengan menggunakan alkali aktifator (*polysilicate*) menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al. Dengan ikatan polimer ini maka akan terbentuk padatan berupa *amorf* sampai semi kristal.

Beton geopolimer dihasilkan dengan sepenuhnya mengganti semen dengan material geopolimer. Geopolimerisasi melibatkan reaksi kimia dari aluminium-silikat oksida (Si_2O_5 , Al_2O_2) dengan alkali polisikat yang menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al. Polisikat umumnya berupa natrium atau kalsium silikat yang disuplai oleh industri kimia atau bubuk silika halus. Proses polikondensasi oleh alkali dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses polikondensasi oleh alkali (Sumber : Septia, 2011)

Dari persamaan reaksi tersebut terlihat bahwa pada reaksi kimia pembentukan senyawa geopolimer juga dihasilkan air. Air tersebut dikeluarkan selama proses curing.

C. Material Penyusun Beton Geopolimer

1. Prekursor.

Prekursor merupakan salah satu bahan utama pembentuk geopolimer yang mengandung senyawa alumina dan silika tinggi. *Prekursor* dapat berupa

mineral alami adalah kaolin dan bubuk lumpur lapindo, sedangkan yang berasal dari limbah industri yaitu yaitu *fly ash*, abu sekam padi, dan *slag*.

a. Abu Terbang (*Fly Ash*).

Fly Ash adalah sisa dari pembakaran batu bara yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel melalui semburan asap. Mutu *Fly Ash* tergantung pada kesempurnaan proses pembakarannya. Kandungan *fly ash* sebagian besar terdiri dari silikat dioksida (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), dan kalsium (CaO), serta magnesium, potassium, sodium, titanium, dan sulfur dalam jumlah yang lebih sedikit (Septia, 2011).

Pada beton geopolimer, *fly ash* digunakan sebagai prekursor yang merupakan material dasar dari pasta geopolimer. *fly ash* sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan *alkaline activator*, oksida silica yang dikandung oleh *fly ash* akan bereaksi secara kimia dengan *alkaline activator*. Apabila *fly ash* tidak dimanfaatkan tetapi dibuang begitu saja, maka akan memiliki potensi mencemari lingkungan karena beterbangan dan menjadi debu. Oleh karena itu, pemanfaatan *fly ash* akan mendatangkan manfaat ganda yaitu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sekaligus menggantikan penggunaan semen sebagai bahan utama dalam pembuatan beton (Septia, 2011).

2. Alkali Aktivator

Alkali aktivator dibutuhkan untuk reaksi polimerisasi. Alkali aktivator mengaktifkan prekursor dengan mendisolusikan mereka kedalam monomer $\text{Si}(\text{OH})_4$ dan $\text{Al}(\text{OH})_4$.

Aktivator yang secara umum digunakan adalah kombinasi antara larutan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sandy dan Johannes (2007) aktifator yang digunakan dalam pembuatan beton geopolimer adalah natrium hidroksida dengan sodium silikat.

Natrium hidroksida merupakan senyawa alkali yang sangat reaktif apabila direaksikan dengan air. Natrium hidroksida berbentuk padat seperti serbuk. Fungsi dari natrium hidroksida yaitu mereaksikan Si dan Al sehingga menghasilkan ikatan polimerisasi yang kuat. Campuran antara *fly ash* dan natrium hidroksida membentuk ikatan yang sangat kuat tetapi menghasilkan ikatan yang lebih padat dan tidak ada retakan (Septia, 2011 dalam Cahyati, 2013).

Sodium silikat merupakan salah satu senyawa yang berperan dalam pembuatan beton geopolimer yang berwarna putih berbentuk gel dan apabila dilarutkan dalam air menghasilkan larutan alkali. Sodium silikat berperan penting untuk mempercepat reaksi polimerisasi (Cahyati, 2013).

3. Air

Air merupakan salah satu bahan penting dalam pembuatan karena menentukan mutu dalam campuran beton. Fungsi air pada campuran beton adalah untuk membantu reaksi kimia yang menyebabkan berlangsungnya proses pengikatan serta sebagai pelicin campuran agregat dan semen agar mudah dikerjakan. Air diperlukan sebagai bahan pereaksi pada semen, sehingga semen dapat mengikat agregat. Penggunaan air sangat berpengaruh pada sifat mudah dikerjakan (*workability*) dari adukan beton, kekuatan beton, susut beton dan kawetan betonnya.

Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen hanya sekitar 25% dari berat semen saja, namun dalam kenyataannya apabila nilai faktor air semen yang dipakai kurang dari 0,45 akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaannya. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses

hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton (Mulyono, 2005).

Dalam pemakaian air untuk adukan beton sebaiknya air memenuhi persyaratan menurut PUBI-1982 dalam (Jaya, 2010) sebagai berikut:

- a. Air harus bersih.
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
- c. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.

4. Agregat

Agregat adalah butiran alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat menempati 60 - 70% volume beton.

Dalam pelaksanaannya agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok (Tjokrodimuljo, 1996), yaitu :

- a. Batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm.
- b. Kerikil, untuk besar butiran antara 5 mm – 40 mm.
- c. Pasir, untuk besar butiran antara 0,15 mm – 5 mm.

Pada umumnya campuran beton menggunakan 2 macam agregat yaitu agregat kasar dan agregat halus.

a. Agregat halus

Agregat halus mempunyai ukuran butiran 0,15 mm – 5 mm. Beton pada umumnya menggunakan pasir sebagai agregat halusnya namun terdapat beberapa jenis beton yang tidak menggunakan pasir sebagai agregat halus pada kondisi khusus atau sesuai dengan kebutuhan.

b. Agregat Kasar

Agregat kasar mempunyai ukuran butiran lebih dari 5 mm. beton pada umumnya menggunakan pecahan batu (*Gravel*) sebagai agregat kasarnya. Agregat

Krikil dalam penggunaannya harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Butir-butir keras yang tidak berpori serta bersifat kekal yang artinya tidak pecah karena pengaruh cuaca seperti sinar matahari dan hujan.
2. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila melebihi maka harus dicuci lebih dahulu sebelum menggunakannya.
3. Tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak batuan seperti zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
4. Agregat yang berbutir pipih hanya dapat digunakan apabila jumlahnya tidak melebihi 20% dari berat keseluruhan.

Adapun persyaratan yang ditetapkan dalam pemeriksaan agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir) (Tjokrodinuljo, 2007) adalah sebagai berikut :

1. Menurut SK SNI : 03-1968-1990 mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran agregat halus (pasir) menjadi empat daerah yaitu daerah 1 (kasar), daerah 2 (agak kasar), daerah 3 (agak halus) dan daerah 4 (halus) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Batas-Batas Gradasi Agregat halus

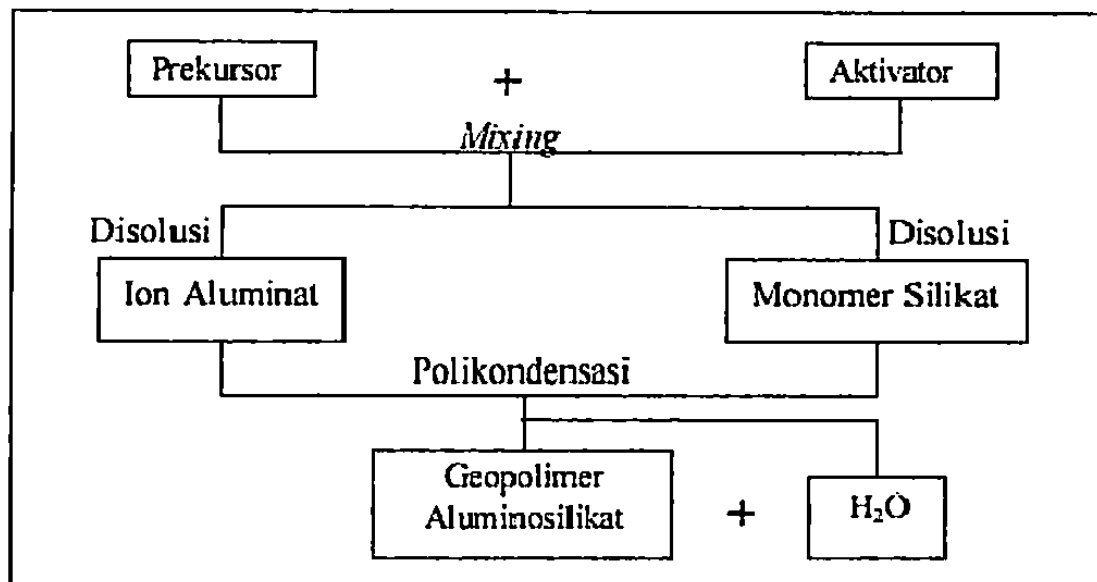
Lubang Ayakan		% Berat Butir Yang Terlewat Ayakan			
Britis (mm)	ASTM (No)	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4
4,75	3/16 inc	90 – 100	90 – 100	90 - 100	95 - 100
2,36	8	60 – 95	75 – 100	85 - 100	95 - 100
1,18	16	30 – 70	55 – 90	75 - 100	90 - 100
0,6	30	15 – 34	35 – 59	60 - 79	80 - 100
0,3	50	5 – 20	8 – 30	12 - 40	15 - 50
0,15	100	0 – 10	0 – 10	0 - 10	0 - 15

2. Syarat untuk agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur lebih dari 5% maka agregat perlu dicuci dahulu sebelum digunakan dalam adukan beton.
3. Syarat untuk pemeriksaan kadar air agregat dalam keadaan jenuh kering maka (SSD) lebih disukai sebagai standar, karena :
 - a) Merupakan keadaan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak akan menambah maupun mengurangi air dari pastinya.
 - b) Kadar air dilapangan lebih banyak yang mendekati keadaan SSD dari pada yang kering tungku (Tjokrodimuljo, 2007)
4. Syarat untuk pemeriksaan berat jenis penyerapan agregat dibagi menjadi 3 yaitu :
 - a) Agregat normal, yaitu agregat yang berat jenisnya 2,5 sampai 2,7. Agregat ini biasanya berasal dari batuan granit, basalt dan kwarsa.
 - b) Agregat berat, yaitu agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 misalnya Magnetik (Fe SO_4), Bangtes (BASO_4) atau serbuk besi.
 - c) Agregat ringan, yaitu agregat yang berat jenisnya kurang dari 2,0 yang biasanya dibuat untuk non struktural.
5. Syarat pemeriksaan keausan agregat kasar dengan persyaratan agregat untuk beton $< 40\%$. (Tjokrodimuljo, 2007)

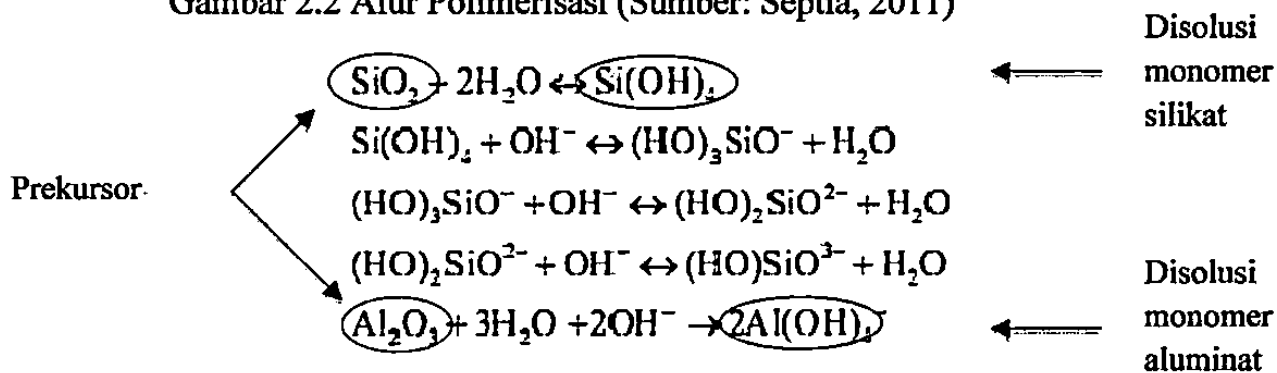
5. Proses Polimerisasi

Proses polimerisasi berlangsung pada waktu pencampuran prekursor dengan aktifator. Sintesis dari prekursor dan aktifator akan membentuk material padat. Proses polimerisasi yang terjadi terdiri dari dua tahap yaitu proses disolusi yang diikuti oleh proses polikondensasi. Diagram alur proses

... .. (Santia, 2011)

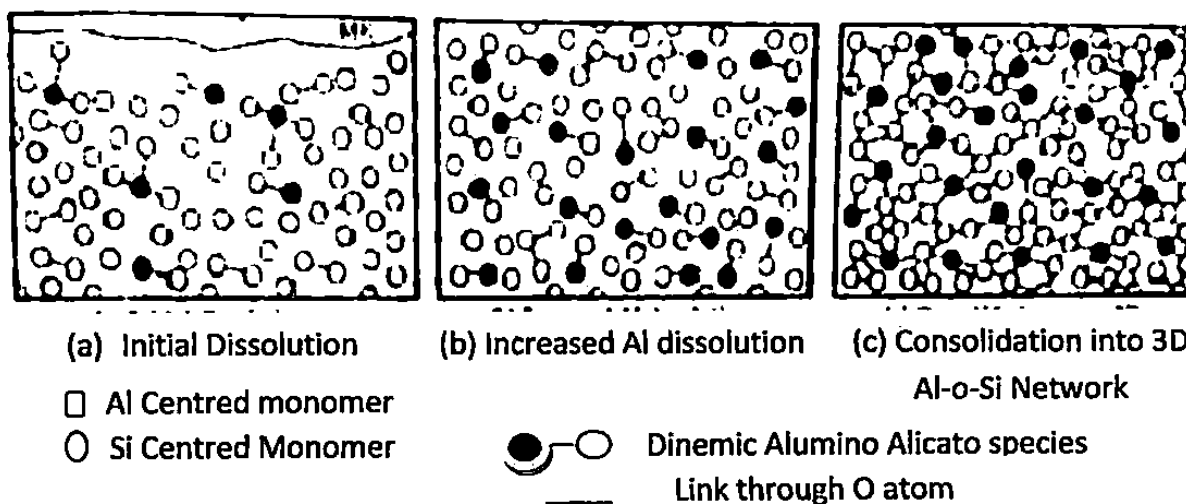


Gambar 2.2 Alur Polimerisasi (Sumber: Septia, 2011)



Gambar 2.3 Disolusi ion aluminat dan monomer silikat

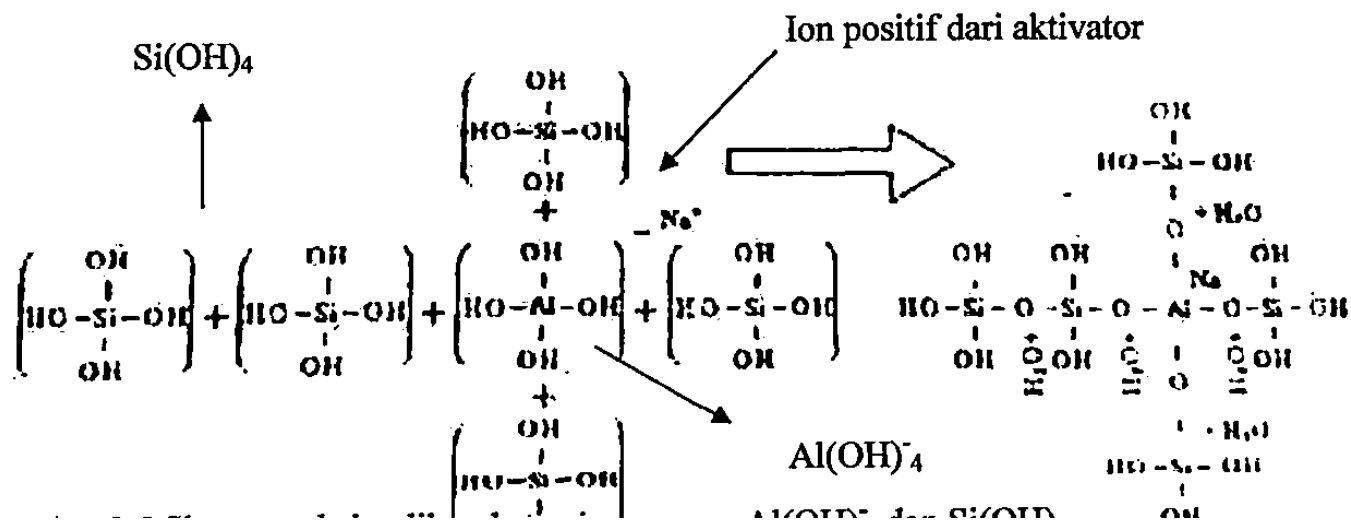
(Sumber: Septia, 2011)

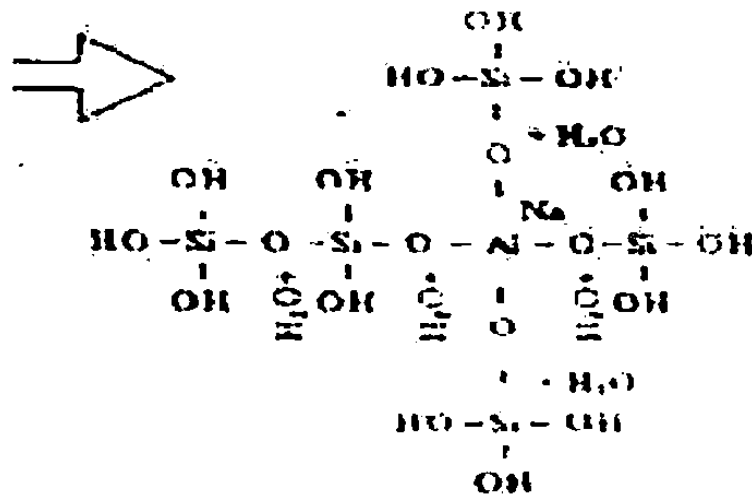


Gambar 2.4 Tahap Disolusi (Sumber: Septia, 2011)

Keterangan Gambar

1. Tahap awal dimana rasio Si/Al tinggi, karena kecepatan pelepasan Al dari prekursor bersifat lambat. Lebih dari satu monomer berinti Si yang berikatan dengan satu anion Aluminat, sehingga hanya terdapat beberapa ikatan.
2. Penambahan disolusi Al menyebabkan pengurangan rasio Si/Al sehingga OH semakin dikonsumsi dan pH campuran akan turun. Hal ini menyebabkan pengurangan monomer berinti -Si dan peningkatan grup hidroksil (OH) yang terikat pada monomer berinti -Si.
3. Peningkatan grup hidroksil (OH) meningkatkan kemungkinan reaksi polikondensasi antara monomer berinti -Si dengan $\text{Al}(\text{OH})_4^-$. Seiring dengan waktu, produk polikondensasi akan terkonsolidasi ke dalam jaringan aluminosilikat yang mengandung rantai -Si-O-Si dan -Si-O-Al.





Gambar 2.6 Struktur kimia geopolimer aluminosilikat (pasta geopolimer)

Pada disolusi alumina, OH dikonsumsi untuk menghidrolisis unsure Al untuk membentuk anion aluminat $\text{Al}(\text{OH})_4$. Maka, untuk mencapai disolusi yang sempurna pada pembentukan monomer aluminat dan silikat dibutuhkan larutan alkali aktivator yang mencukupi.

Proses sintesis terbagi atas proses aktivasi bahan alumina-silika oleh ion alkali dan proses curing untuk mendorong terjadinya polimerisasi dari monomer alumina-silika menjadi struktur jaringan molekul tiga dimensi. Untuk menjaga koordinasi tetrahedral monomer Al yang terdapat pada larutan alkali, rasio ion logam alkali dengan Al haruslah satu. Nilai 1 pada rasio Na:AL memperlihatkan jumlah minimum kation Na yang dibutuhkan untuk menjaga keseimbangan muatan di dalam geopolimer.

6. Perawatan Beton Geopolimer

Perawatan Beton dilakukan setelah beton keluar dari cetakan. Perawatan beton geopolimer dapat dilakukan dengan cara pemanasan beton di dalam oven dengan suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$. Hal ini bertujuan untuk mempercepat proses hidrasi dan

D. Kekurangan dan Kelebihan Beton Geopolimer

Kelebihan beton geopolimer adalah sebagai berikut:

- Beton geopolimer mempunyai nilai susut yang kecil.
- Beton geopolimer lebih hemat energi, karena proses perawatannya hanya menggunakan suhu 60°C.
- Lebih ramah lingkungan, karena dalam pembuatannya tidak menggunakan semen sama sekali.

Kekurangan beton geopolimer adalah sebagai berikut :

- Proses pembuatannya lebih rumit dibandingkan beton konvensional karena material yang digunakan lebih banyak dari beton konvensional.
- Belum adanya *mix design* yang pasti.
- Beton geopolimer mempunyai tingkat pekerjaanya yang lebih susah dibandingkan beton konvensional.

E. Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton Geopolimer

Beberapa faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton geopolimer yaitu perbedaan suhu perawatan, waktu perawatan, jenis perkursor, perbandingan antara natrium hidroksida dengan sodium silikat, dan perbandingan air dengan silikat.

Kuat tekan beton adalah perbandingan beban terhadap luas penampang beton. Kuat tekan silinder beton dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1.

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan : f_c' = Kuat tekan silinder beton (MPa)

P = Beban tekan maksimum (N)

A = Luas bidang tekan (mm^2)

Berdasarkan kuat tekannya beton dapat dibagi beberapa jenis sebagaimana terdapat pada Tabel 2. 1

Tabel 2.2 Jenis beton menurut kuat tekan

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton Sederhana (<i>plain concrete</i>)	0 – 10 MPa
Beton Normal	15 – 30 MPa
Beton pra-tegang	30 – 40 MPa
Beton tinggi	40 – 80 MPa
Beton sangat tinggi	> 80 MPa

Sumber : Tjokrodumuljo, 2007

Menurut Tjokrodumuljo (2007), kuat tekan beton akan bertambah tinggi dengan bertambahnya umur, yang dihitung sejak beton dicetak. Sebagai standar kuat tekan beton (jika tidak disebutkan umur secara khusus) adalah kuat tekan beton pada umur 28 hari.

F. Perbedaan Beton Geopolimer dan Beton Portland

Beton geopolimer memang dapat digunakan sebagai pengganti beton biasa karena memiliki sifat yang sama, seperti bentuk pasta proses pengerasannya namun ada beberapa kesalahpahaman mengenai sifat geopolimer. Perlu dipahami beberapa

1. Perbedaan sifat beton geopolimer dan beton biasa (portland)

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.

2. PH Dari Semen Geopolimer Dan Korosi Baja Tulangan

Walaupun beton geopolimer menggunakan NaOH dan KOH yang memiliki pH yang tinggi yang 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 dalam Pramana, 2013).

3. Karbonisasi Disekeliling 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 penurunan pH, hal ini dapat menyebabkan korosi di sekeliling baja. Sebaliknya, karbonasi beton geopolimer menghasilkan kalsiumkarbonat atau natrium karbonat, dengan pH minimum 10-10,5, merupakan perlindungan kimia terhadap korosi (Davidovits, 2008 dalam Pramana, 2013).

4. Kandungan Alkali

Alkali 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 relatif yang ada pada agregat. Reaksi ini

lembab akan mengembang sehingga menyebabkan kerusakan pada beton, berupa retak sampai lepas sebagian. Oleh karena itu, alkali selalu dihindari dalam pembuatan semen portland. Sedangkan pada beton geopolimer, kandungan alkali tidak menyebabkan reaksi alkali agregat (Davidovits, 2008 dalam Pramana, 2013).

5. Ion Klorida

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 beton geopolimer memiliki ketahanan terhadap ion klorida (Davidovits, 2008 dalam