

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pengertian Beton Geopolimer

Beton geopolimer adalah senyawa silikat alumino anorganik tersintesis dari bahan-bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*), *silica fume*, *ground granulated blast-furnace slag* yang banyak mengandung alumina dan silika (Davidovits, 1997).

Beton geopolimer adalah beton geosintetik dengan reaksi polimerisasi sebagai pengikat dan bukan melalui reaksi hidrasi seperti pada beton konvensional (Davidovits, 2005).

Reaksi kimia yang terjadi dalam proses geopolimer yaitu antara alumina-silikat oksida (Si_2O_5 , Al_2O_3) dengan alkali polisilikat dan menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al. Polisilikat umumnya berupa natrium atau kalium silikat dari industri kimia atau bubuk silika halus sebagai produk sampingan proses *ferro-silicon metallurgy*.

Reaksi kimia yang terjadi dalam pembentukan senyawa geopolimer menghasilkan air yang dilakukan selama proses *curing* (Loreido et al, 2007). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Palomo dkk (1999), didapatkan bahwa faktor suhu dan waktu perawatan mempengaruhi kuat tekan material geopolimer. Penggunaan larutan sodium silikat dan sodium hidroksida sebagai larutan alkali menghasilkan kuat tekan paling tinggi.

3.2 Material Penyusun Beton Geopolimer

3.2.1 *Ground granulated blast-furnace slag*

Ground Granulated Blast-Furnace Slag adalah residu pembakaran pada tanur (*furnace*) dari proses pemurnian baja atau produk samping dari pabrik baja seperti terdapat di PT Krakatau Steel (Persero) Tbk. dan anak perusahaannya PT Krakatau Posco yang sudah dihaluskan. GGBFS mengandung kalsium, aluminium dan silika, komposisi ini sama dengan bahan-bahan mineral alami termasuk bahan hidrasi seperti Semen Portland.

Tabel 3.1 Hasil Uji Kandungan *Ground Granulated Blast-Furnace Slag*

Parameter	Oksida	Hasil Uji
Kalium Oksida	CaO	45,2 %
Silikon Oksida	SiO ₂	34,8 %
Aluminium Oksida	Al ₂ O ₃	14,79 %
Sulfur Oksida	SO ₃	1,74 %
Ferri Oksida	Fe ₂ O ₃	1,34%
Magnesium Oksida	MgO	0,99%
Titanium Oksida	TiO ₂	0,55%
Kalium Oksida	K ₂ O	0,38%
Mangan Oksida	MnO	0,25%
Natrium Oksida	Na ₂ O	0,22%
Barium Oksida	BaO	0,08%
Phospor Oksida	P ₂ O ₅	0,05%

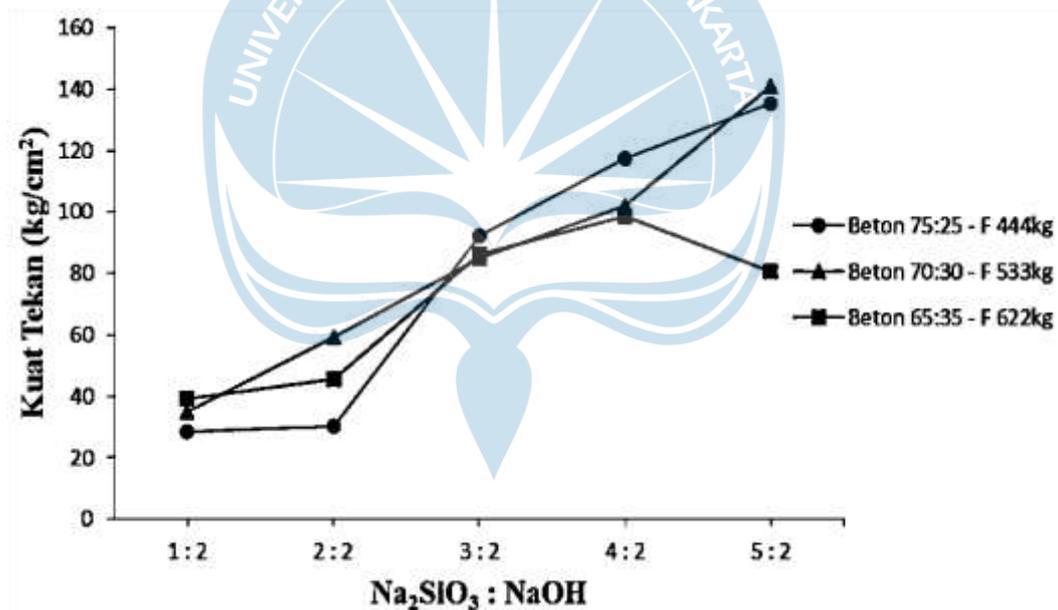
Sumber : Krakatau Semen Indonesia, 2013

Berdasarkan hasil pengujian oleh Krakatau Semen Indonesia, kadar SiO₂ 34,8 % dan Al₂O₃ 14,79 % dapat bereaksi dengan aktivator untuk menghasilkan binder atau bahan pengikat agregat dalam proses pembuatan beton geopolimer.

3.2.2 Alkaline activator

Alkali aktivator merupakan merupakan pengikat oksida silika pada *slag* dan bereaksi secara kimia membentuk ikatan polimer. Bahan penyusun larutan alkali adalah sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3) (Davidovits, 1999).

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi perbandingan aktivator Na_2SiO_3 : NaOH yang digunakan dalam, maka terdapat kecenderungan semakin tingginya kuat tekan yang dihasilkan oleh masing-masing beton (Prasetyo, 2015).



Gambar 3.1 Hubungan antara Perbandingan Aktivator dengan Kuat Tekan Beton Geopolymer.

Berdasarkan penelitian Prasetyo (2015), dilakukan variasi penggunaan agregat dan *binder* (*flyash* dan aktivator) adalah 75%:25%, 70%:30%, 65%:35% dan variasi aktivator 1:2, 2:2, 3:2, 4:2, 5:2. Pengujian dilakukan saat beton umur 28 hari dan didapatkan hasil untuk beton geopolimer 70 : 30, kuat tekan tertinggi

dimiliki oleh beton dengan perbandingan $\text{Na}_2\text{SiO}_3:\text{NaOH} = 5:2$ sebesar 141,037 kg/cm².

Sodium silikat (Na_2SiO_3) berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi pada proses pembuatan beton geopolimer (Sanjaya, 2006) sedangkan sodium hidroksida (NaOH) berfungsi untuk mereaksikan unsur alumina (Al) dan silika (Si) yang terkandung dalam GGBFS sehingga menghasilkan ikatan polimer kuat. Penggunaan NaOH dengan konsentrasi 8M menghasilkan kuat beton yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton menggunakan konsentrasi 10M dan 12M (Hibono, et al, 2008).

3.2.3 Air

Air digunakan dalam proses pembuatan alkalin aktivator untuk melarutkan NaOH dan menentukan tingkat molaritas pada larutan NaOH. Air tidak digunakan dalam proses pembuatan beton geopolimer, semakin sedikit air yang digunakan dalam pembuatan beton geopolimer mengakibatkan meningkatnya kuat tekan beton geopolimer.

3.2.4 Agregat

Dalam pembuatan beton, agregat menempati 70-75% dari volume beton, sehingga mempengaruhi kualitas kekuatan beton. Pemilihan agregat yang baik dapat meningkatkan kemudahan dalam pembuatan beton (*workability*) (Nugraha, et al, 2007).

1 Agregat halus

Agregat halus merupakan agregat dengan ukuran butir maksimum 4,76mm berasal dari alam atau hasil alam, sedangkan agregat halus olahan adalah agregat halus yang dihasilkan dari pecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau cara lainnya dari batuan atau terak tanur tinggi (SNI 03-6820-2002). Syarat-syarat agregat halus yang baik adalah sebagai berikut (SK SNI S-04-1989-F):

- a. Harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras,
- b. Tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan). Jika diuji dengan larutan garam Natrium Sulfat, bagian yang hancur tidak boleh lebih dari 12% sedangkan apabila diuji dengan garam Magnesium Sulfat maksimum 18%,
- c. Tidak mengandung lumpur (butiran halus lolos ayakan 0,06 mm) lebih dari 5%,
- d. Tidak mengandung zat organik terlalu banyak, diuji dengan percobaan warna menggunakan larutan 3% NaOH. Warna cairan diatas endapan agregat halus tidak boleh lebih gelap daripada warna standar/pembanding,
- e. Tidak mengandung pasir laut karena dapat mengakibatkan korosi tulangan,
- f. Mempunyai modulus halus butir antara 1,5-3,8 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

Tabel 3.2 Batas-Batas Gradasi Agregat Halus.

Diameter Saringan (mm)	Persen Lolos (%)	Gradasi Ideal (%)
9,5	100	100
4,75	95-100	97,5
2,36	80-100	90
1,18	50-85	67,5
0,6	25-60	42,5
0,3	5-30	17,5
0,15	0-10	5

Sumber : ASTM C 33/03

2 Agregat kasar

Agregat kasar merupakan batuan yang mempunyai ukuran butir lebih dari 4,8 mm. berikut syarat untuk agregat kasar menurut ASTM C 33/03:

- a. Harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori.
- b. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, tidak pecah dan hancur oleh faktor cuaca.
- c. Tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton.
- d. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%. Jika kadar lumpur melampaui 1%, maka agregat harus dicuci.

Tabel 3.3 Gradasi Saringan Ideal Agregat Kasar

Diameter Saringan (mm)	Persentasi Lolos (%)	Gradasi Ideal (%)
25,00	100	100
19,00	90-100	95
12,50	-	-
9,50	20-55	37,5
4,75	0-10	5
2,36	0-5	2,5

Sumber : ASTM C 33/03

3.3 Curing

Curing atau perawatan pada beton geopolimer dilakukan dengan memberi panas (bukan panas uap air), misalnya menggunakan *oven*. *Curing* dilakukan dengan memasukan beton kedalam *oven* dengan suhu 60°C selama 24 jam. Setelah beton keluar dari *oven*, selanjutnya beton dimasukkan ke dalam plastik dan ditutup rapat guna menahan suhu dari *oven* (Aleem, 2012).

3.4 Pengujian Beton Geopolimer

3.4.1 Kuat tekan beton

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton menerima gaya tekan persatuan luas. Nilai kuat tekan beton didapatkan dengan pengujian standar menggunakan mesin uji. Pemberian beban tekan bertingkat dan kecepatan pada beban tertentu di atas benda uji sampai benda uji hancur. Kuat tekan benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi yang mampu diterima oleh beton sampai beton pecah, beton diuji pada umur 28 hari (Dipohusodo, 1996).

Berdasarkan SNI 03-6429-2000, perhitungan kuat tekan beton adalah sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3-1)$$

Keterangan :
 $f'c$ = kuat tekan beton (MPa)
 P = beton maksimum (N)
 A = luas penampang (mm²)

3.4.2 Tarik belah beton

Metode ini terdiri dari pemberian gaya tekan sepanjang diameter specimen beton silinder pada kisaran laju yang ditentukan sampai batas keruntuhan. Kuat Tarik belah digunakan dalam mendesain elemen struktur beton untuk mengevaluasi ketahanan geser beton dan untuk menentukan Panjang penyaluran dari tulangan (SNI 2491:2014).

$$T = 2P / \pi ld \quad (3-2)$$

Keterangan : T = kekuatan tarik belah (MPa)
 P = beban maksimum pada mesin uji (N)
 l = Panjang (mm)
 d = diameter (mm)

3.4.3 Modulus elastisitas beton

Modulus elastisitas adalah nilai tegangan dibagi regangan beton, dimana tegangan mencapai 40% dari kuat tekan maksimum. Dari pengujian tekan silinder beton 15/30 dihitung besarnya modulus elastisitas beton dengan menggunakan rumus Wang dan Salmon, 1986 sebagai berikut:

$$E_c = \frac{f}{\varepsilon} \quad (3-3)$$

$$f = \frac{P}{A} \quad (3-4)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \quad (3-5)$$

Keterangan : E_c = modulus elastisitas beton (kg/m³)
 f = tegangan pada 25-50% tegangan runtuh (kg)
 P = beban bekerja pada penampang beton (N)
 A = luas penampang beton yang menerima beban (mm²)
 Δl = penurunan pada saat beban diberikan (mm)
 L_0 = panjang mula-mula sebelum diberikan beban (mm)
 ε = regangan

3.4.4 Modulus of rupture

Struktur beton dalam bangunan sipil diharuskan untuk menahan gaya-gaya seperti tekan dan lentur yang diakibatkan oleh energi dari luar seperti angin, gempa, tekanan air, dan sebagainya. Untuk itu struktur beton perlu diperhitungkan kekuatannya supaya tidak mengalami kegagalan, tetap stabil, dan aman (SNI 4431:2011).

Menurut SNI 4431:2011, berikut rumus untuk menghitung kuat lentur :

$$f_{lt} = \frac{PL}{bh^2} \quad (3-6)$$

Keterangan :

- f_{lt} = kuat lentur (MPa)
- P = beban maksimum penyebab keruntuhan balok uji (N)
- L = Panjang bentang tumpuan (mm)
- b = lebar balok rata-rata penampang runtuh (mm)
- h = tinggi balok rata-rata penampang runtuh (mm)

3.4.5 Setting time (waktu ikat awal)

Setting time atau waktu ikat awal merupakan waktu untuk pasta semen mengubah sifatnya dari kondisi cair menjadi padat. Untuk menentukan waktu ikat awal dibutuhkan alat uji berupa *vicat* (SNI 03-6827-2002).

3.4.6 Slump (keleccakan)

Keleccakan merupakan kemudahan dalam proses pembuatan beton meliputi kemudahan dalam penuangan (*placing*) dan dipadatkan (*compacting*) tanpa ada pemisahan (*segregation*) dan *bleeding* (veliyati, 2010). Beton dengan nilai *slump* < 15 mm tidak cukup plastis, sedangkan beton dengan nilai *slump* > 230mm tidak cukup kohesif (SNI 1972:2008). Sehingga untuk menghasilkan beton dengan *workability* tinggi diperlukan nilai *slump* 15-230 mm.