

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Material Penyusun Beton Geopolimer

Menurut Davidovits (1997) beton geopolimer adalah beton yang terbuat dari senyawa silikat alumino anorganik yang disintesis dari bahan – bahan produk sampingan seperti abu terbang (*fly ash*) abu sekam padi (*risk husk ash*) dan lain –lain, yang banyak mengandung silikon dan aluminium. Pada umumnya susunan beton geopolimer terdiri dari agregat, aktivator, dan prekursor. Pembagian komposisi agregat pada pembuatan beton geopolimer adalah 70-75%, sedangkan aktivator dan prekursor 20-35%. Material penyusun dari beton geopolimer adalah agregat kasar, agregat halus, NaOH (natrium hidroksida) dan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) sebagai aktivator sedangkan *fly ash* sebagai prekursor. Uraian mengenai material-material penyusun beton geopolimer adalah sebagai berikut.

##### 3.1.1 Agregat Halus

Menurut SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat besar butir maksimum 4,76 mm 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. Menurut standar SK SNI S-04-1989-F sebaiknya dipilih agregat halus yang memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Harus terdiri dari butir – butir yang tajam dan keras.

2. 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 %.
3. Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 5 %.
4. Tidak mengandung zat organik terlalu banyak, diuji dengan percobaan warna menggunakan larutan 3 % NaOH. Warna cairan di atas endapan agregat halus tidak boleh lebih gelap daripada warna standar / pembanding.
5. Tidak mengandung pasir laut karena dapat mengakibatkan korosi pada tulangan.
6. Mempunyai modulus halus butir antara 1,50 – 3,80 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

Tabel 3.1 Batas-Batas Gradasi Agregat Halus.

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

(Sumber : ASTM C 33/03)

### 3.1.2 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah batuan yang mempunyai ukuran butir lebih dari 4,80 mm. Syarat untuk agregat kasar menurut *ASTM C 33/03* antara lain :

1. Harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak beropori.
2. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca.
3. Tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton.
4. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%. Apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.

Persyaratan mengenai proporsi gradasi saringan untuk campuran beton berdasarkan standar yang direkomendasikan *ASTM C 33/03* “*Standard Specification for Concrete Aggregates*” (cek tabel 3.2).

Tabel 3.2 Gradasi Saringan Ideal Agregat Kasar

Diameter Saringan (mm)	Persentase 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*)

### 3.1.3 Abu Terbang (*Fly ash*)

Menurut *ASTM C.618* (*ASTM,1995:304*), abu terbang (*fly ash*) adalah butiran halus hasil residu pembakaran batubara atau bubuk batu bara. Menurut SK SNI S-15- 1990-F *fly ash* mempunyai kadar semen yang tinggi dan mempunyai

sifat pozolan, yaitu sifat bahan dalam keadaan halus dapat bereaksi dengan kapur padam (aktif) dan air pada suhu kamar, membentuk senyawa yang padat dan tidak larut dalam air. *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* kelas F. Berikut ini merupakan salah satu contoh kandungan unsur senyawa pada abu terbang menurut Risdanareni dkk (2014) ditunjukkan seperti pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Komposisi Kimia Penyusun *Fly ash* Kelas F

Zat Penyusun	% Massa
SiO <sub>2</sub>	52,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38,58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,94
CaO	0,69
Na <sub>2</sub> O	0,52
K <sub>2</sub> O	0,44
TiO <sub>2</sub>	2,42
MgO	0,49
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,13
SO <sub>3</sub>	1,21
SO <sub>2</sub>	-
LOI	1,39

(Sumber : Ekaputri dkk., 2014)

*Fly ash* kelas F memiliki kandungan silika oksida (SiO<sub>2</sub>) sebanyak 52,24% dan aluminium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sebanyak 38,58% yang dapat digunakan sebagai bahan dasar pada pembuatan beton geopolimer. Menurut SK SNI S – 15 – 1990 – F, persyaratan mutu pada abu terbang terdapat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Persyaratan Mutu *Fly ash*

No	Senyawa	Kadar, %
1	Jumlah oksida SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> minimum,	70
2	SO <sub>3</sub> maksimal	5
3	Hilang pijar maksimum	6
4	Kadar air maksimum	3
5	Total alkali dihitung sebagai Na <sub>2</sub> O maksimum	1,2

(Sumber : SK SNI S -15 – 1990 – F)

### 3.1.4 Alkali Aktivator

Alkali aktivator adalah aktivator yang akan mengikat oksida silika pada *fly ash* dan akan bereaksi secara kimia dan membentuk ikatan polimer. Larutan alkali yang banyak digunakan dalam beton geopolimer adalah kombinasi dari sodium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) dan sodium silikat atau kalium silikat.

Sodium hidroksida yang digunakan sebagai alkali aktivator, berfungsi untuk mereaksi unsur-unsur alumina (Al) dan Silika (Si) yang terkandung pada *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Sodium silikat yang digunakan sebagai katalisator yang mempercepat terjadinya reaksi kimia. Dalam pembuatan beton geopolimer katalisator juga digunakan.

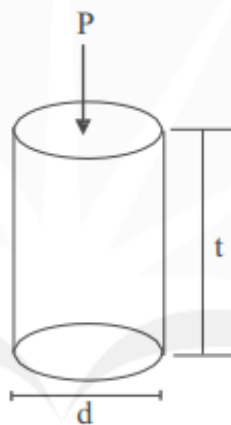
Dalam penelitian ini alkali aktivator yang digunakan adalah kombinasi antara sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Molaritas yang digunakan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Adi dkk (2018) dan perbandingan sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) yang digunakan berdasarkan penelitian Prasetyo dkk (2015).

### 3.1.5 Aquades

*Aquades* adalah air hasil destilasi atau penyulingan sama dengan air murni atau  $\text{H}_2\text{O}$ . *Aquades* dalam beton geopolimer sebagai bahan pengikat dalam pencairan larutan molaritas NaOH. Semakin banyak *aquades* yang ditambahkan pada NaOH, maka semakin rendah molaritas yang dihasilkan dan akan membuat beton kurang mengikat terhadap *fly ash*.

### 3.2 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton sampai hancur. Kuat tekan benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi ( $f_c'$ ) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan (Dipohusodo, 1996).



Gambar 3.1 Benda uji silinder

Untuk menghitung nilai kuat tekan beton dapat dilihat pada persamaan 3.1.

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

Keterangan :

$f_c'$  = Kuat tekan (MPa)

P = Beban tekan (N)

A = Luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

Nilai kuat tekan beton didapat dari hasil pengujian standar dengan benda uji yang biasa digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji pada penelitian ini

adalah tinggi 200 mm dan diameter 100 mm. Tata cara pengujian yang umum dipakai adalah SNI 1974:2011.

### 3.4 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah ukuran kekerasan (*stiffness*) dari suatu bahan tertentu.. Faktor-faktor yang mempengaruhi modulus elastisitas adalah kelembapan udara dan agregat penyusun beton.

Menurut Wang dan Salmon (1986) digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton sebagai berikut:

$$E_c = \frac{f_{maks}}{\epsilon_p} \quad (3-2)$$

Keterangan:

$E_c$  = Modulus elastisitas (MPa)

$f_{maks}$  = Tegangan beton maksimum (MPa)

$\epsilon_p$  = Regangan beton

Biasanya modulus sekan pada 25 sampai 50% dari kekuatan tekan  $f'_c$  diambil sebagai modulus elastisitas (Wang & Salmon, 1986)