

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pengertian Beton Geopolimer

Beton geopolimer adalah beton yang tidak menggunakan semen *portland* dalam produksinya. Pada proses pembuatannya, beton geopolimer menggunakan cairan alkali agar bereaksi dengan silika (Si) dan aluminium (Al) yang terdapat pada mineral alam seperti kaolin, tanah liat dll. Limbah seperti *fly ash*, terak, abu sekam padi, *red mud* dan lain-lain dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen pada beton geopolimer. Cairan alkali adalah logam alkali larut yang didapat dari pencampuran natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) atau kalium silikat ($\text{K}_2\text{O}_3\text{Si}$).

Menurut Ilmiah R (2017) geopolimer merupakan produk beton yang reaksi pengikatannya adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi ini Aluminium (Al) dan Silika (Si) mempunyai peranan penting dalam ikatan polimerisasi karena reaksi aluminium dan silika dengan alkali akan menghasilkan AlO_4 dan SiO_4 . Proses polimerisasi menghasilkan suatu rantai dalam bentuk struktur yang disebut *polysialate* (Si-O-Al-O-Si). Air dilepaskan selama reaksi kimia terjadi dalam pembentukan senyawa geopolimer. Air ini dikeluarkan selama masa perawatan (*curing*) dan pengeringan.

Menurut Lloyd dan Rangan (2010) pengikat (*binder*) adalah perbedaan utama antara beton geopolimer dan beton konvensional dari pembuatan beton tersebut. Beton konvensional mengandalkan semen *portland* dan air untuk

mengikat agregat kasar dan agregat halus pada pembuatan beton tersebut. Pada beton geopolimer, silika dan alumina pada *fly ash* bereaksi dengan cairan alkali untuk membuat pasta geopolimer yang mengikat agregat kasar, agregat halus dan bahan-bahan lain untuk membuat beton geopolimer. *Binder* akan mengalami proses polimerisasi dan akan mengeras. Salah satu perbedaan dari beton geopolimer dan beton konvensional adalah cara perawatan dari beton tersebut.

Perawatan beton geopolimer adalah perawatan (*curing*) pada suhu ruang atau pada oven. Suhu dan waktu perawatan merupakan faktor penting yang dapat berpengaruh terhadap kuat tekan beton geopolimer.

3.2 Material Penyusun Beton Geopolimer

Komposisi utama beton geopolimer adalah agregat, aktivator, dan prekursor. Total agregat halus dan agregat kasar pada pembuatan beton geopolimer adalah 70-75%, sedangkan untuk total aktivator dan prekursor 20-35%. Aktivator pada beton geopolimer berupa natrium hidroksida (NaOH) yang berguna untuk mereaksikan *binder* dengan senyawa yang terdapat dalam *fly ash* dan natrium silikat (Na_2SiO_3) yang berguna untuk mempercepat proses polimerisasi, sedangkan prekursornya adalah *fly ash*. Berikut uraian mengenai material-material penyusun beton geopolimer.

3.2.1 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai campuran beton. Agregat mempunyai peranan yang penting karena komposisi agregat yang mencapai 70-75% terhadap volume beton. Agregat ini harus bergradasi untuk membuat beton menjadi satu kesatuan yang utuh, homogen, dan rapat. Gradasi

atau distribusi ukuran beton dibuat dengan ukuran yang bervariasi agar volume pori beton menjadi lebih kecil. Hal ini disebabkan butiran yang lebih kecil akan mengisi pori antara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi lebih sedikit dan beton memiliki kepadatan yang lebih tinggi dan dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Secara umum agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Pada penelitian ini digunakan agregat halus berupa pasir dan agregat kasar berupa kerikil.

1. Agregat halus

Agregat halus disebut pasir, berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari pemecahan batu. Pasir beton adalah butiran mineral keras yang bentuknya mendekati bulat dengan ukuran butirnya terletak antara 0,075 – 5 mm, dan kadar bagian yang ukurannya lebih kecil dari 0,063 mm tidak lebih dari 5% (PUBI-1982). Persyaratan mengenai proporsi agregat dengan gradasi ideal yang direkomendasikan terdapat dalam *ASTM C 33/03* “*Standard Specification for Concrete Aggregates*” (lihat tabel 3.1).

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*)

2. Agregat kasar

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

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

Kekerasan butir agregat kasar ditentukan dengan bejana Rudellof atau dengan bejana Los Angeles. Persyaratan tersebut sesuai dengan SII.0052-80 dan dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Persyaratan Kekerasan Butir Agregat Kasar

Kelas dan mutu beton	Kekerasan dengan bejana Rudelloff, bagian hancur menembus ayakan 2mm, persen(%) maksimum.		Kekerasan dengan bejana geser Los Angeles, bagian hancur menembus ayakan 1,2mm, % maks.
	Fraksi butir 9,5-19 mm	Fraksi butir 19-30 mm	
(1)	(2)	(3)	(4)
Beton kelas I dan mutu B0 dan B1	22-30	24-32	40-50
Beton kelas II dan mutu K.125, K175, dan K.225	14-22	16-24	27-40
Beton kelas III dan mutu K>225 atau beton pra-tekan	Kurang dari 14	Kurang dari 16	Kurang dari 27

Persyaratan mengenai proporsi gradasi saringan untuk campuran beton berdasarkan standar yang direkomendasikan *ASTM C 33/03 "Standard Specification for Concrete Aggregates"* (lihat tabel 3.3).

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*)

3.2.2 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Menurut ASTM C618 (ASTM, 1995;304) abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batubara atau bubuk batu bara. Material ini 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 (SK SNI S – 15 -1990 –F). *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 Ekaputri dkk (2014) ditunjukkan seperti pada tabel 3.4

Tabel 3.4 Komposisi Kimia Penyusun *Fly Ash* Kelas F

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

(Sumber : Ekaputri dkk., 2014)

Fly ash kelas F memiliki kandungan silika oksida (SiO₂) sebanyak 52,24% dan aluminium oksida (Al₂O₃) 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 3.5.

Tabel 3.5 Persyaratan Mutu *Fly Ash*

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

(Sumber : SK SNI S -15 – 1990 – F)

3.2.3 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 (Na_2SiO_3). Molaritas yang digunakan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Adi dkk (2018) dan perbandingan sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na_2SiO_3) yang digunakan berdasarkan penelitian Ekaputri dkk (2014).

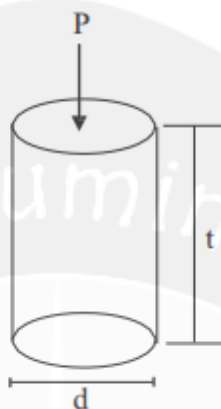
3.2.4 Aquades

Aquades adalah air hasil destilasi atau penyulingan sama dengan air murni atau H_2O . *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*.

3.3 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas seperti tampak pada gambar 3.1 dan persamaan 3.1. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Kuat tekan beton dapat diuji dengan cara memberi beban tekan terhadap benda uji silinder secara bertahap, sampai benda uji mengalami keruntuhan (Hasanr dkk, 2013) . Kuat tekan beton masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f_c') yang

dicapai benda uji pada umur beton 7,14 dan 28 hari akibat beban tekan selama percobaan (Dipohusodo, 1996).



Gambar 3.1 Benda uji silinder

Kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus yang terdapat pada persamaan 3.1.

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

dimana :

f_c' = Kuat tekan (MPa)

P = Beban tekan (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

Benda uji yang akan dipakai dalam penelitian ini adalah beton berbentuk silinder dengan ukuran tinggi 150 mm dan diameter 300mm serta tinggi 200 mm dan diameter 100 mm. Tata cara pengujian yang umum dipakai adalah SNI 1974:2011.

Jika perbandingan panjang (L) terhadap diameter (D) benda uji kurang dari 1,8 , koreksi hasil yang diperoleh dengan mengalikan dengan faktor koreksi yang sesuai SNI 1974:2011, seperti pada tabel 3.6

Tabel 3.6 Faktor koreksi rasio panjang (L) dengan diameter (D)

Diameter D) mm	Tinggi (L) mm	Faktor koreksi
50	100	1.09
75	150	1.06
100	200	1.04
125	250	1.02
150	300	1.00
175	350	0.98
200	400	0.96
250	500	0.93
300	600	0.91

(Sumber : SNI 1974:2011)

Koreksi faktor di atas berlaku untuk beton ringan dengan bobot isi antara 1600 kg/m^3 sampai dengan 1920 kg/m^3 dan untuk beton normal.

3.4 Kuat Tarik Belah

Menurut Hasanr dkk (2013), kuat tarik belah beton benda uji silinder adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang didapat dari pembebanan terhadap silinder yang diposisikan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan. Kuat tarik beton menjadi suatu yang penting dalam menahan retak akibat perubahan kadar air, suhu, dan pembebanan.

Menurut Ferguson (1986), kuat tarik beton bervariasi antara 10% sampai 15% dari kuat tekannya, kadang-kadang 20%. Kuat tarik beton tidak berbanding lurus dengan kuat tekan ultimatnya. Meskipun demikian, kuat tarik ini diperkirakan berbanding lurus terhadap akar kuadrat dari kuat tekan ultimatnya.

Kuat tarik belah dapat dihitung dengan persamaan 3.2 (Hasanr dkk, 2013) :

$$F_{ct} = \frac{2 \times P}{\pi \times I \times d} \quad (3-2)$$

Keterangan :

f_{ct} = kuat tekan (MPa)

P = gaya tekan (N)

I = Panjang benda uji (mm)

d = diameter benda uji (mm)

3.5 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton adalah kemiringan kurva tegangan regangan beton pada kondisi linier atau mendekati linier. Beberapa faktor yang mempengaruhi modulus elastisitas adalah kelembaban udara dan agregat penyusun beton.

Menurut Wang dan Salmon (1986) dapat dihitung dengan persamaan 3.3 :

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

Keterangan :

E_c = modulus elastisitas beton tekan (MPa)

f_{maks} = tegangan beton maksimum (MPa)

ϵ_p = regangan beton

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

3.6 Beton Serat

Beton serat didefinisikan sebagai bagian komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain berupa serat. Pada umumnya serat berupa batang-batang dengan ukuran 5-500 μm dengan panjang sekitar 25 mm sampai 100 mm (Mulyono 2003).

Menurut Adianto dan Joewono (2006), beton serat adalah beton yang terbuat dari semen Portland atau bahan pengikat hidrolis lainnya ditambah agregat

halus dan kasar, air, dan diperkuat oleh serat dan kinerja dari material komposit beton sangat dipengaruhi oleh interaksi antara serat dan matrik beton.

Menurut Suhendro (1998), keuntungan penambahan serat dalam adukan beton yaitu :

1. Daktilitas yang berhubungan dengan penyerapan energi.
2. Ketahanan terhadap beban kejut (*impact resistance*).
3. Ketahanan terhadap gaya tarik dan momen lentur.
4. Ketahanan terhadap kelelahan
5. Ketahanan terhadap susut.
6. Ketahanan penyusutan, fragmentasi, dan *spalling*.

Serat Polypropylene

Polypropylene adalah senyawa hidrokarbon dengan rumus kimia C_3H_6 , dengan wujud berupa filament tunggal atau jaringan serabut tipis berbentuk jala, dengan ukuran panjang berkisar antara 6 mm sampai 50 mm dengan diameter kira-kira 8-90 mikron (Hasanr dkk, 2013)

Serat *Polypropylene* biasanya digunakan untuk bahan dasar pembuatan barang yang terbuat dari plastik. Material ini berbentuk filament-filamen yang akan terurai ketika dicampurkan dalam adukan beton dan serat jenis ini dapat meningkatkan kuat tarik, lentur dan tekan beton (Arde, 2005).

Serat ini memiliki titik leleh sebesar $160^{\circ}C$ dan memiliki batas titik pengapian sebesar $365^{\circ}C$. Mampu tahan terhadap asam dan memiliki sifat resistensi terhadap alkali. Modulus elastisitas dari serat ini berkisar antara 6000

N/mm^2 sampai $9000 N/mm^2$ dan mampu menahan beban tarik sebesar 300 – 440 MPa. (PT.SIKA, 2015)

Menurut Diana (1999), penggunaan serat *Polypropylene* memiliki beberapa keuntungan antara lain :

1. Memperbaiki daya ikat matriks beton.
2. Memperbaiki ketahanan terhadap kikisan.
3. Memperbaiki ketahanan terhadap tumbukan.
4. Memperbaiki ketahanan terhadap tembusan air dan bahan kimia.
5. Memperbaiki keawetan beton

Sedangkan kelemahan penggunaan serat ini adalah (Adianto dan Joewono, 2006) :

1. Mudah terbakar, yang mengakibatkan porositas beton akan bertambah, apabila beton mengalami kebakaran.
2. Lemah terhadap sinar matahari dan oksigen, yang membuat serat mudah lapuk akibat radiasi ultraviolet dari sinar matahari dan oksidasi oleh oksigen di udara.