

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pengertian Beton Geopolymer

Beton *geopolymer* tersusun dari bahan yang memiliki kandungan silika (Si) dan aluminium (Al) seperti *fly ash*, terak, GGBFS, abu sekam padi dan lain-lain. Dalam proses pembuatan beton *geopolymer* dibutuhkan cairan alkali agar bereaksi dengan silika (Si) dan aluminium (Al). 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 ($\text{K}_2\text{O}_3\text{Si}$). Proses pengikatan dalam beton *geopolymer* terjadi dengan reaksi polimerisasi yang menghasilkan suatu rantai dalam bentuk struktur yang disebut *polysialate* (Si-O-Al-O-Si).

Perbedaan dari beton *geopolymer* dan beton konvensional salah satunya adalah cara perawatan beton tersebut. Jika pada beton konvensional perawatan (*curing*) dilakukan dengan cara merendam beton di dalam air, sedangkan beton *geopolymer* dilakukan dengan cara dibiarkan pada suhu ruang atau pada oven. Suhu dan waktu perawatan (*curing*) menjadi faktor penting yang dapat mempengaruhi kuat tekan beton *geopolymer*.

3.2 Material Penyusun Beton Geopolymer

Material penyusun utama beton *geopolymer* terdiri atas agregat, aktivator, dan prekursor. Aktivator yang digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH) yang berfungsi untuk mereaksikan *binder* dengan senyawa silika (Si) serta aluminium

(Al) yang terdapat banyak dalam *fly ash* dan natrium silikat (Na_2SiO_3) yang berfungsi mempercepat proses polimerisasi. Pembagian komposisi aktivator dan *fly ash* sebesar 20-35%, sedangkan agregat kasar dan agregat halus sebesar 70-75% dari volume total. Berikut penjelasan mengenai bahan-bahan penyusun beton *geopolymer*.

3.2.1 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan besar butir maksimum 4,76 mm yang berasal dari alam atau hasil olahan seperti pecahan batu dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan, atau bisa juga dari terak tanur tinggi (SNI 03-6820-2002). Berdasarkan standar SK SNI S-04-1989-F agregat halus yang digunakan harus 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).
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 diatas endapan agregat halus tidak boleh lebih gelap daripada warna standar/ pembanding.
5. Tidak mengandung pasir laut karena dapat mengakibatkan korosi tulangan.
6. Mempunyai modulus halus butir antara 1,5-3,8 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

Pada *ASTM C 33/03 “Standard Specification for Concrete Aggregates”* terdapat gradasi ideal yang direkomendasikan seperti pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Batas-Batas Gradasi Agregat Halus

Diagram 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)

3.2.2 Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2834-2000 agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu yang memiliki diameter butir antara 4,75 mm sampai 40 mm. Berdasarkan ASTM C 33/03 agregat kasar yang digunakan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Kadar lumpur maksimal 1% dari berat kering.
2. Harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori.
3. Modulus halus butir yaitu berkisar antara 5 sampai 8.
4. Tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton.
5. Presentase agregat yang pipih atau panjang maksimal 20% dari keseluruhan agregat.

Pada ASTM C 33/03 “Standard Specification for Concrete Aggregates” terdapat persyaratan mengenai proporsi gradasi saringan untuk campuran beton yang direkomendasikan seperti pada 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)

3.2.3 Fly Ash

Fly ash (abu terbang) adalah butiran halus hasil sisa pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). *Fly ash* memiliki kadar semen yang tinggi dan sifat pozolan atau sifat bahan dalam keadaan halus yang mampu bereaksi dengan kapur padam (aktif) dan air pada suhu kamar, reaksi ini membentuk senyawa yang padat dan tidak larut dalam air (SK SNI S-15-1990). Berdasarkan SNI 2460:2014 *fly ash* diklasifikasikan menjadi 3 kelas yaitu kelas F, kelas C dan kelas N. Berikut tabel persyaratan mutu *fly ash* dalam SNI 2460:2014 :

Tabel 3.3 Persyaratan Mutu *Fly Ash*

Uraian	Kelas F	Kelas C	Kelas N
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min, %	70	50	70
SO ₃ , maks, %	5	5	4
Kadar air, maks, %	3	3	3
Hilang pijar, maks, %	6	6	10

(Sumber : SNI 2460:2014)

Berikut contoh kandungan *fly ash* menurut penelitian Lianasari, dkk., (2021) seperti pada tabel 3.4 menunjukkan bahwa *fly ash* tersebut memiliki kandungan silika oksida (SiO₂) sebanyak 34,2% dan aluminium oksida (Al₂O₃) sebanyak

10,9%. Berdasarkan kandungan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa *fly ash* termasuk dalam kelas C.

Tabel 3.4 Kandungan pada *Fly Ash* Kelas C

Nama Senyawa	Kandungan dalam Fly Ash (%)
SiO ₂	34,2
Al ₂ O ₃	10,9
Fe ₂ O ₃	18,5
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	63,6
CaO	1,4
Na ₂ O	0,09
K ₂ O	0,5
MgO	1,2
SO ₃	0,3

(Sumber : Lianasari dkk., 2021)

3.2.4 Alkali Aktivator

Larutan alkali aktivator merupakan senyawa yang dapat menyebabkan senyawa lainnya bereaksi secara kimia dan membentuk ikatan polimer. Larutan alkali yang digunakan pada beton *geopolymer* adalah campuran dari natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na₂SiO₃). Natrium hidroksida (NaOH) berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Si dan Al yang banyak terkandung pada *fly ash* sehingga menghasilkan ikatan yang kuat, sedangkan natrium silikat (Na₂SiO₃) berfungsi sebagai katalisator untuk mempercepat reaksi polimerisasi.

3.2.5 Aquades

Aquades merupakan air hasil penyulingan yang menghasilkan air murni atau H₂O. *Aquades* pada beton *geopolymer* berfungsi sebagai pengikat dalam pencairan NaOH yang akan digunakan sebagai alkali aktivator. Penambahan *aquades* pada

NaOH dapat mengurangi kemampuan ikat beton karena semakin rendah molaritas yang dihasilkan.

3.2.6 Bahan Tambah

Dalam penelitian yang penulis lakukan, bahan tambah yang digunakan yaitu sodium glukonat dengan tujuan untuk meningkatkan *workability* dan *setting time* beton. Menurut penelitian Utami, dkk., (2017) penggunaan *superplasticizer* sodium glukonat memiliki nilai *slump flow* terbesar yaitu 555 mm, dengan waktu ikat awal dan ikat akhir berturut-turut 301 menit dan 452 menit.

3.3 Pengujian Beton Geopolymer

3.3.1 *Workability* (Keleccakan)

Workability (keleccakan) adalah kemudahan beton segar untuk dikerjakan dan dipadatkan tanpa ada pemisahan (*segregation*) dan *bleeding*. Beton *geopolymer* yang baik dapat tercapai dengan *workability* beton segar yang baik juga. Namun campuran dengan konsistensi tinggi membuat campuran akan bersifat kaku sehingga pengerjaan, penuangan, dan pemadatan ke cetakan menjadi lebih sulit. Hal tersebut dapat diatasi dengan penggunaan sodium glukonat untuk meningkatkan *workability* pada beton. Berdasarkan SNI 1972:2008 beton dengan nilai slump < 15 mm tidak cukup plastis dan nilai slump > 230 mm tidak cukup kohesif.

3.3.2 *Setting Time*

Setting time adalah waktu yang dibutuhkan untuk pasta semen mengubah sifatnya dari kondisi cair menjadi padat. Secara umum *setting time* dibedakan menjadi 2, yaitu *Initial Setting* dan *Final Time*. *Initial Setting* (Waktu Ikat Awal)

merupakan proses pengerasan beton segar saat hidrasi dan panas hidrasi sudah muncul. Kondisi tersebut ditandai dengan kenaikan suhu dengan cepat dan *workability* beton sudah hilang. ASTM C 403/ C 403 M menetapkan bahwa *initial setting* terjadi apabila penetrasi beton menunjukkan penurunan sebanyak 25 mm. Sedangkan untuk *final time* ditandai dengan tidak adanya penurunan jarum penetrasi.

3.3.3 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton dalam menahan gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton dapat diuji dengan memberikan beban tekan secara bertahap sampai mengalami keruntuhan. Semakin tinggi kekuatan beton dalam menahan beban, maka semakin tinggi mutu beton tersebut.

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 = beban tekan (N)

A = luas penampang benda uji (mm²)

3.3.4 Kuat Tarik Belah

Kuat tarik belah adalah nilai kuat tarik secara tidak langsung dengan melakukan pembebanan silinder beton yang diposisikan mendatar sejajar dengan permukaan mesin uji (Hasanr, dkk., 2013). Berdasarkan SNI 2491:2014, untuk mendapatkan nilai kuat tarik belah dapat diperoleh dengan persamaan 3-2 :

$$f_{ct} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot l \cdot d} \quad (3-2)$$

Keterangan :

f_{ct} = kuat tarik belah (MPa)

P = beban tekan (N)

l = panjang benda uji bagian yang tertekan (mm)

d = diameter benda uji (mm)

3.3.5 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah *stiffness* atau kekerasan suatu bahan yang diperoleh dari perbandingan tekanan dengan perubahan bentuk akibat dari tekanan yang diberikan. Faktor yang mempengaruhi modulus elastisitas adalah kelembapan udara dan agregat penyusun beton. Nilai modulus elastisitas dapat diperoleh dengan persamaan (Wang dan Salmon, 1986) berikut :

$$E_c = \frac{f_p}{\varepsilon_p} \quad (3-3)$$

Keterangan :

E_c = modulus elastisitas (MPa)

f_p = tegangan beton (MPa)

ε_p = regangan beton

3.3.6 Kuat Lentur (*Modulus of Rupture*)

Kuat lentur balok adalah nilai tegangan tarik yang dihasilkan dari momen lentur dibagi dengan momen penahan penampang benda uji. Metode pengujian kuat lentur balok dengan satu titik pembebanan diatur dalam SNI 4154:2014. Kuat lentur untuk keruntuhan dibagian tengah bentang dapat dihitung dengan rumus 3-4 sebagai berikut:

$$R = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (3-4)$$

Keterangan :

R = kuat lentur beton (MPa)

P = beban maksimum (N)

L = jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

b = lebar balok (mm)

h = tinggi balok (mm)

