

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. High Volume Fly Ash Concrete

Fly ash adalah produk dari sisa pembakaran batubara yang biasa dikenal sebagai material pozzoland yang dapat digunakan sebagai campuran bahan tambah pada beton. Perkembangan teknologi pada *fly ash* telah mencapai inovasi baru tentang *High Volume Fly Ash Concrete* (HVFAC) yang menggunakan kadar *fly ash* yang cukup tinggi yakni di atas 50% sebagai material bahan penyusunnya serta memiliki nilai fas sekitar 0,4 dan penggunaan akan semen lebih rendah dibandingkan beton normal (Thangaraj dan Thenmozhi, 2012).

3.2. Beton

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang telah umum digunakan untuk dunia konstruksi baik digunakan untuk gedung, jembatan, bendungan, dan lain-lain. Beton merupakan satu kesatuan yang homogen. Terdiri dari campuran agregat halus dan agregat kasar (pasir, kerikil, batu pecah, atau jenis agregat lain), dengan semen, yang dipersatukan oleh air dalam perbandingan tertentu (Wuryati S.& Candra R, 2001).

Saat keadaan mengeras, beton merupakan wujud yang keras dengan kekuatan yang tinggi. Dalam keadaan segar atau adukan, beton dapat dibuat bermacam – macam bentuk, sehingga dapat digunakan untuk membentuk apa saja yang umumnya berasal dari arsitek untuk keindahan maupun tujuan dekoratif.

Beton mempunyai nilai kuat tekan yang besar namun beton tidak kuat terhadap kuat tarik. Beton segar yang baik ialah beton segar yang dapat diaduk, dapat diangkut, dapat dituang, dapat dipadatkan, tidak ada kecenderungan untuk terjadi pemisahan kerikil dari adukan maupun pemisahan air dan semen dari adukan. Beton keras yang baik adalah beton yang kuat, tahan lama, kedap air, tahan aus, dan kembang susutnya kecil (Tjokrodimulyo 1996).

3.3. Baja Tulangan

Menurut SNI 07-2052-2002 Baja tulangan adalah baja berbentuk batang berpenampang bundar yang digunakan untuk penulangan beton, yang diproduksi dari bahan baku billet dengan cara canai panas (*hot rolling*). Baja tulangan terdiri dari 2 jenis yakni baja tulangan beton polos dan baja tulangan beton sirip. Baja tulangan beton polos adalah baja tulangan beton berpenampang bundar dengan permukaan rata tapi tidak bersirip, disingkat BjTP. Sedangkan baja tulangan beton sirip adalah baja tulangan beton dengan bentuk khusus yang permukaannya memiliki sirip melintang dan rusuk memanjang yang dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat dan guna menahan gerakan membujur dari batang secara relatif terhadap beton, disingkat BjTS.

3.4. Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan material komposit yang terdiri dari beton dan baja tulangan yang ditanam didalam beton. Sifat utama beton adalah sangat kuat di dalam menahan beban tekan (kuat tekan tinggi) tetapi lemah dalam menahan gaya

tarik oleh sebab itu baja tulangan di dalam beton berfungsi menahan gaya tarik yang bekerja.

3.5. Material Penyusun Beton

Secara umum beton merupakan bahan konstruksi yang terdiri dari beberapa unsur seperti agregat kasar (*split*) dan agregat halus (pasir) yang diikat oleh semen yang bereaksi dengan air. Berikut adalah uraian bahan penyusun beton:

3.5.1. Semen *Portland*

Semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang terdiri atas kalsium *silikat* yang bersifat *hidrolis* dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lainnya. (SNI- 15-2049-2004).

Semen merupakan bahan ikat yang penting dalam campuran adukan beton, karena berfungsi untuk mengikat agregat kasar dan agregat halus sehingga menyatu dan mengeras seperti batuan. Akan tetapi, semen akan berfungsi sebagai pasta jika direaksikan dengan air. Oleh karena itu, dalam campuran adukan beton dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok aktif dan kelompok pasif. Kelompok aktif yaitu semen dan air, sedangkan kelompok pasif yaitu agregat kasar dan agregat halus.

Menurut SNI 15-2049-2004 semen Portland dibedakan menjadi 5 jenis/tipe, yaitu :

1. Semen *Portland* tipe I, yaitu semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Semen *Portland* tipe II, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap *sulfat* atau kalor *hidrasi* sedang.
3. Semen *Portland* tipe III, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Semen *Portland* tipe IV, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya membutuhkan kalor *hidrasi* rendah.
5. Semen *Portland* tipe V, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap *sulfat*.

Semen tidak dapat bereaksi tanpa adanya air sebagai pereaksinya. Menurut Tjokrodimuljo (2003), semen dan air termasuk dalam bahan perekat dimana setelah dicampurkan mengalami reaksi kimia menjadi pasta dan dalam beberapa jam mulai merekat dan dalam beberapa hari menjadi keras. Reaksi kimia antara semen dan air dapat ditulis sebagai berikut :



Keterangan :

$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	= Unsur dalam semen (kalsium <i>silikat</i>)
H_2O	= Air
$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	= <i>Tobermorite</i> , hasil reaksi yang keras
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	= Kapur bebas, hasil sampingan

3.5.2. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% dari volume mortar atau beton. Agregat dibagi menjadi 2 yaitu agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat halus

Menurut Tjokrodimuljo (2007), agregat halus adalah batuan yang mempunyai ukuran butir antara 0,15 mm-5 mm. Agregat halus dapat diperoleh dari dalam tanah, dasar sungai atau tepi laut. Agregat halus menurut gradasinya dibedakan gradasinya sesuai pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Batas-batas Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat butir yang lewat ayakan dalam persen			
	Kasar	Agak Kasar	Agak Halus	Halus
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : Tjokrodimuljo, 2007

2. Agregat kasar

Menurut Tjokrodimuljo (2007) agregat kasar dibedakan menjadi 3 berdasarkan jenisnya, yaitu sebagai berikut :

a. Agregat normal

Agregat normal adalah agregat yang memiliki berat jenis antara 2,5-2,7 gram/cm³. Agregat ini biasanya berasal dari granit, basal,

kuarsa dan lain sebagainya. Beton yang dihasilkan umumnya memiliki berat $2,3 \text{ gram/cm}^3$ dan biasanya disebut beton normal.

b. Agregat berat

Agregat berat adalah agregat yang berat jenisnya lebih dari $2,8 \text{ gram/cm}^3$, misalnya *magnetit* (Fe_3O_4), *barites* (BaSO_4) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis yang tinggi yaitu sampai dengan 5 gram/cm^3 yang digunakan sebagai dinding pelindung atau radiasi sinar X.

c. Agregat ringan

Agregat ringan adalah agregat yang berat jenisnya kurang dari 2 gram/cm^3 misalnya tanah bakar (*bloated clay*), abu terbang (*fly ash*), busa terak tanur tinggi (*foamed blast furnace slag*). Agregat ini biasanya digunakan untuk beton ringan yang biasanya dipakai untuk elemen non-struktural.

3.5.3. Air

Air adalah bahan yang diperlukan pada campuran beton agar bereaksi dengan semen, dan menjadi pelumas agregat sehingga mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang dibutuhkan untuk mereaksikan semen hanya sekitar 30% dari berat semen (Tjokodimuljo, 1996).

3.6. Fly ash

Menurut ASTM C618 (ASTM, 1995:304) abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batubara atau bubuk batu bara. Banyaknya hasil material, hanya abu terbang dan slag telah terbukti menjadi sumber material yang dapat membuat *geopolimer*. Abu terbang dianggap menguntungkan karena reaktivitas partikelnya lebih halus daripada *slag*. Kandungan karbon yang terdapat dalam abu terbang harus sedikit sedangkan untuk kandungan silika yang terkandung harus tinggi. Kandungan unsur-unsur pada *fly ash* ditunjukkan seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Komposisi *Fly Ash* Tipe F Berdasarkan Tes XRF

Komponen	Persen (%)	Komponen	Persen (%)
SiO ₂	52,2	K ₂ O	0,4
Al ₂ O ₃	38,6	MgO	0,5
Fe ₂ O ₃	2,9	SO ₃	1,2
CaO	0,7	SO ₂	-
Na ₂ O	0,5	LOI	1,4

Sumber : Januardi & Triwulan, 2011

Terdapat beberapa zat senyawa kimia pada *fly ash* yaitu : *silika dioksida* (SiO₂), *aluminium oksida* (Al₂O₃), karbon dalam bentuk batu bara, besi 15 oksida (Fe₂O₃), *sulfur trioksida* (SO₃), dan lain – lain. Menurut SNI 06-6867- 2002, persyaratan mutu pada abu terbang sebagai pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Persyaratan Mutu *Fly ash*

No.	Senyawa	Kadar, %
1	Jumlah oksida $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ minimum	30
2	SO_3 maksimum	5
3	Hilang pijar maksimum	6
4	Kadar air maksimum	3
5	Total alkali dihitung sebagai Na_2O maksimum	1,5

Sumber : SNI 06-6867- 2002

3.7. Superplasticizer

Superplasticizer berfungsi untuk mengontrol dan menghasilkan nilai *slump* yang optimal pada beton segar, sehingga dapat dihasilkan kinerja pengecoran beton yang baik. Berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan kadar *superplasticizer* akan optimum digunakan pada kadar 2% dari berat semen (Pujianto, 2010).

3.8. Nilai Slump

Nilai *slump* digunakan untuk pengukuran terhadap tingkat kelecekan suatu adukan beton, yang berpengaruh pada tingkat pengerjaan beton (*workability*). Semakin besar nilai *slump* maka beton semakin encer dan semakin mudah untuk dikerjakan, sebaliknya semakin kecil nilai *slump*, maka beton akan semakin kental dan semakin sulit untuk dikerjakan. Penetapan nilai *slump* untuk berbagai pengerjaan beton dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Penetapan Nilai Slump Adukan Beton

Pemakaian beton (berdasarkan jenis struktur yang dibuat)	Nilai Slump (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan struktur bawah tanah	9	2,5
Pelat, balok, kolom, dinding	15	7,5
Perkerasan jalan	7,5	5
Pembetonan masal (beton massa)	7,5	2,5

Sumber : Tjokrodimulyo, 2007

3.9. Workability

Salah satu sifat beton sebelum mengeras (beton segar) adalah kemudahan pengerjaan (*workability*). *Workability* adalah tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam mencampur, mengaduk, menuang dalam cetakan dan pemadatan tanpa *homogenitas* beton berkurang dan beton tidak mengalami *bleeding* (pemisahan) yang berlebihan untuk mencapai kekuatan beton yang diinginkan.

Adapun sifat sifat *workability* sebagai berikut :

- a. *Mobility* adalah kemudahan adukan beton untuk mengalir dalam cetakan.
- b. *Stability* adalah kemampuan adukan beton untuk selalu tetap homogen, selalu mengikat (koheren), dan tidak mengalami pemisahan butiran (segregasi dan bleeding).

- c. *Compactibility* adalah kemudahan adukan beton untuk dipadatkan sehingga rongga-rongga udara dapat berkurang.
- d. *Finishibility* adalah kemudahan adukan beton untuk mencapai tahap akhir yaitu mengeras dengan kondisi yang baik.

Adapun unsur-unsur yang mempengaruhi *workability* antara lain :

- a. Jumlah air yang digunakan dalam campuran adukan beton. Semakin banyak air yang digunakan, maka beton segar semakin mudah dikerjakan.
- b. Penambahan semen ke dalam campuran juga akan memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena pasti diikuti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai fas tetap.
- c. Gradasi campuran pasir dan kerikil. Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan, maka adukan beton akan mudah dikerjakan.
- d. Pemakaian butir-butir batuan yang bulat mempermudah cara pengerjaan beton.
- e. Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan dikerjakan.
- f. Cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda. Bila cara pemadatan dilakukan dengan alat getar maka diperlukan tingkat kelecakan yang berbeda, sehingga diperlukan jumlah air yang lebih sedikit daripada jika dipadatkan dengan tangan (Tjokrodimuljo, 2007).

3.10. Umur Beton

Menurut Tjokrodimuljo (2007), kuat tekan beton akan bertambah tinggi dengan bertambahnya umur. Yang dimaksud umur disini adalah dihitung sejak beton dicetak. Laju kenaikan kuat tekan beton mula-mula cepat, lama-lama laju kenaikan itu akan semakin lambat dan laju kenaikan itu akan menjadi relatif sangat kecil setelah berumur 28 hari. Sebagai standar kuat tekan beton (jika tidak disebutkan umur secara khusus) adalah kuat tekan beton pada umur 28 hari.

Laju kenaikan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis semen portland, suhu keliling beton, faktor air-semen dan faktor lain yang sama dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton. Sedangkan untuk beton *geopolimer*, kuat tekan yang dihasilkan sangat tergantung pada perbandingan aktivator, jenis *precursor* yang digunakan, dan proses *curing* (suhu dan waktu). Hubungan antara umur dan kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel 3.5

Tabel 3.5 Rasio Kuat Tekan Beton pada Berbagai Umur

Umur beton	3	7	14	21	28	90	365
Semen portland biasa	0,4	0,65	0,88	0,95	1	1,2	1,35

Sumber : PBI 1971, NI-2, dalam Tjokrodimuljo, 2007

3.11. Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, Tri, 2004).

Rumus yang digunakan untuk mencari kuat tekan beton adalah :

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

Keterangan :

f_c' = kuat tekan beton (MPa)
 P = beban tekan (N)
 A = luas penampang benda uji (mm²)

Benda uji yang digunakan untuk pengujian nilai kuat tekan beton adalah beton berbentuk silinder. Dimensi silinder yang dipakai adalah tinggi = 300 mm dan diameter = 150 mm. Acuan ASTM C39-86 dipakai untuk standar pengujian. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi (f_c') yang dicapai benda uji pada umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan (Dipohusodo, 1996).

3.12. Kuat Geser Balok

McCormac (2001), menyatakan keruntuhan balok beton bertulang dalam geser sangat berbeda dengan keruntuhan dalam lentur. Keruntuhan geser terjadi tiba-tiba dengan peringatan kecil atau tanpa peringatan sebelumnya.

Dipohusodo (1996), menyatakan untuk menentukan seberapa besar tegangan geser yang terjadi, umumnya peraturan-peraturan yang ada memberikan rekomendasi untuk menggunakan pedoman perencanaan berdasarkan nilai tegangan geser rata-rata nominal menurut persamaan (3-4) :

$$v = \frac{V}{\phi b d} \quad (3-4)$$

Keterangan :

V = Gaya geser (kg) ;

v = Tegangan geser (kg/cm^2) ;

b = Lebar balok (cm) ;

d = Tinggi balok (cm) ; dan

\emptyset = Faktor reduksi kuat bahan (untuk geser 0.60)

Menurut McCormac (2001), kekuatan geser nominal (V_n) sebagai jumlah dari kekuatan yang diberikan oleh beton dan tulangan menurut persamaan (3-5):

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-5)$$

Keterangan :

V_n = Kekuatan geser nominal (kg) ;

V_c = Kekuatan geser akibat beton (kg) ;

V_s = Kekuatan geser akibat tegangan geser (kg).

Kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk menahan gaya geser dapat dihitung menurut persamaan (3-6):

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d \quad (3-6)$$

Keterangan :

V_c = Kapasitas geser beton (N) ;

f'_c = Kuat tekan beton (MPa) ;

b_w = Lebar balok (mm) ; dan

d = Tinggi efektif penampang beton (mm).

Menurut Dipohusodo (1996), untuk tulangan geser, V_s dapat dihitung menurut persamaan (3-7):

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (3-7)$$

Keterangan :

V_s = Gaya geser nominal yang disediakan oleh tulangan sengkang (N);

A_v = Luas penampang tulangan sengkang (mm^2);

f_y = Kuat luluh tulangan geser (MPa);

d = Tinggi efektif penampang balok beton bertulang (mm); dan

s = Jarak pusat ke pusat batang tulangan geser ke arah sejajar tulangan pokok memanjang (mm).

Menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.5 ayat 5 jarak maksimum tulangan geser lihat persamaan (3-8):

$$S_{maks} = \frac{3 A_v f_y}{bw} \quad (3-8)$$

Keterangan :

S_{maks} = Jarak pusat ke pusat batang tulangan geser ke arah sejajar tulangan pokok memanjang (mm);

A_v = Luas penampang tulangan sengkang (mm^2);

f_y = Kuat luluh tulangan geser (MPa);

bw = Lebar balok (mm).

3.13. Kuat Lentur Balok

Komposisi tegangan-tegangan tersebut di suatu tempat akan menyesuaikan diri secara alami dengan membentuk keseimbangan tegangan geser dan tegangan normal maksimum dalam suatu bidang yang membentuk sudut kemiringan terhadap sumbu balok. Dengan menggunakan lingkaran Mohr dapat ditunjukkan bahwa tegangan normal maksimum dan minimum akan bekerja pada dua bidang yang saling tegak lurus satu sama lainnya.

Rumus-rumus perhitungan yang digunakan dalam metode pengujian kuat lentur balok beton adalah sebagai berikut :

- a. Pengujian dimana patahnya benda uji ada di daerah pusat ($1/3$ jarak titik perletakan) di bagian tarik dari beton, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan (3-9):

$$\sigma_t = \frac{PL}{bh^2} \quad (3-9)$$

- b. Pengujian dimana patahnya benda uji ada di luar pusat (diluar daerah 1/3 jarak titik perletakan) di bagian tarik beton, dan jarak antara titik pusat dan titik patah kurang dari 5% dari panjang titik perletakan, maka kuat lentur beton dihitung menurut persamaan (3-10):

$$\sigma_l = \frac{Pa}{bh^2} \quad (3-10)$$

Keterangan :

- σ_l = Kuat lentur balok beton (MPa)
 P = Beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (pembacaan dalam ton sampai 3 angka di belakang koma)
 l = Jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)
 b = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)
 h = Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)
 a = Jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sisi titik dari bentang (mm).

- c. Untuk benda uji yang patahnya di luar 1/3 lebar pusat pada bagian tarik beton dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah lebih dari 5% bentang, hasil pengujian tidak dipergunakan.

3.14. Keruntuhan pada Balok

Keruntuhan dapat dibagi menjadi 3 yaitu :

- a. Keruntuhan Lentur

Pada daerah yang mengalami keruntuhan lentur, retak utama terjadi pada tengah bentang dan tegak lurus pada arah tegangan utama. Retak ini disebabkan oleh tegangan geser yang sangat kecil dan tegangan lentur sangat dominan.

b. Keruntuhan Geser

Keruntuhan ini ditandai dengan retak-retak halus vertikal di tengah bentang, dan tidak terus menjalar karena kehilangan lekatan antara tulangan dengan beton di sekitarnya pada daerah perletakan.

c. Keruntuhan Lentur Geser (Tarik Diagonal)

Pada keruntuhan ini, retak halus mulai terjadi di tengah bentang berarah vertikal yang diakibatkan oleh lentur.

