

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 High Volume Fly Ash Concrete

(Thangaraj dan Thenmozhi, 2012), Beton HVFA merupakan salah satu tipe beton dengan penggunaan 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.

3.2 Beton

Beton merupakan campuran antara semen *portland*, agregat, air, dan terkadang ditambahi dengan variasi bahan tambah mulai dari bahan tambah kimia sampai dengan bahan tambah non – kimia pada perbandingan tertentu (Tjokrodimuljo, 2007). Untuk mendapatkan mutu beton yang sesuai dengan rencana maka dibutuhkan adukan rencana atau yang sering disebut dengan *mix design* agar mendapatkan jumlah kebutuhan material penyusun beton seperti semen, pasir, agregat kasar, agregat kasar dan air. Material penyusun sendiri memiliki fungsi serta peranan untuk menentukan kualitas beton yang dihasilkan. Material penyusun beton tersebut meliputi:

3.2.1 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). 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.

3.2.2 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang memiliki peranan cukup penting yakni bereaksi dengan semen dan menjadi pelumas antara butir agregat agar dapat mudah dikerjakan (Tjokrodinuljo,2007). Air yang digunakan dalam campuran beton minimal memenuhi persyaratan sebagai air minum, tetapi tidak berarti air pencampur beton harus memenuhi persyaratan sebagai air minum.

Menurut Tjokrodimuljo (2007) dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut:

1. tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gr/liter,
2. tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/liter,
3. tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/liter,
4. tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/liter.

3.2.3 Agregat kasar

Agregat merupakan bahan pengisi dalam campuran beton yang diperkirakan menempati 70% volume beton. Agregat kasar berperan sebagai bahan pengisi serta mempengaruhi sifat-sifat beton, sehingga sangat penting dalam pembuatan beton (Tjokrodimuljo,2007)

Dalam praktek agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok:

1. batu, untuk besar butiran lebih dari 40 mm,
2. kerikil, untuk butiran antara 5 – 40 mm,
3. pasir, untuk butiran antara 0,15 – 5 mm.

Gradasi agregat merupakan distribusi ukuran butir agregat yang memiliki peran penting dalam campuran beton. Bila ukuran butir agregat seragam maka akan menyebabkan volume pori yang cukup besar sedangkan bila ukuran butir agregat bervariasi maka akan menyebabkan kemampatan tinggi pada beton dikarenakan butir agregat yang lebih kecil mengisi pori diantara butiran besar (Tjokrodimuljo,2007).

Agregat kasar adalah agregat dengan ukuran lebih besar dari 5 mm. Agregat kasar dapat berupa hasil desintegrasi alam dari batuan-batuan atau berupa batu pecah, yang diperoleh dari pemecahan batu (Nugraha dan Antoni, 2007).

Menurut Nugraha dan Antoni (2007) syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh agregat kasar adalah sebagai berikut:

1. terdiri dari butiran-butiran keras dan tidak berpori,
2. bersifat kekal (tidak mudah hancur atau pecah),
3. tidak mengandung lumpur lebih dari 1%. Apabila kadar lumpur melampaui 1%, maka harus dicuci,
4. tidak mengandung zat yang reaktif alkali (dapat menyebabkan pengembangan beton),
5. tidak boleh dari 20% bentuk butir pipih.

3.2.4 Agregat halus

Agregat halus adalah agregat yang lebih kecil dari ukuran butirnya 5 mm atau $3/16''$. Agregat halus dapat berupa pasir alam, sebagai hasil desintegrasi alami dari batu-batuan, atau berupa pasir pecahan batu (Nugraha dan Antoni, 2007).

Agregat halus yang digunakan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. bersifat kekal (tidak mudah pecah dan hancur) untuk ketahanan terhadap perubahan lingkungan (panas, dingin),
2. tidak mengandung lumpur lebih dari 5% (bagian yang lolos ayakan 0,063 mm). Apabila kadar lumpur melampaui 5%, maka harus dicuci.

3. tidak mengandung bahan-bahan organik karena dapat bereaksi dengan senyawa dari semen *Portland*.
4. tidak mengandung pasir laut karena mengakibatkan korosi pada tulangan.

3.3 Bahan Tambah

Menurut Tjokrodimuljo (2007) bahan tambah adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan yang ditambahkan kedalam adukan beton, bertujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya. Menurut Mulyono (2004) bahan tambah dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut :

3.3.1. Bahan tambah mineral (*additive*)

Pemberian bahan tambah ini bertujuan untuk memperbaiki kinerja beton. Contoh bahan tambah mineral adalah abu terbang batu bara (*fly ash*), *slag* dan *silica fume*.

3.3.2. Bahan tambah kimia (*chemical admixture*)

Bahan tambah kimia bertujuan mengubah beberapa sifat beton. Adapun macam-macam bahan tambah kimia, yaitu :

a. Tipe A (*water reducing admixtures*)

Water reducing admixtures adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

b. Tipe B (*retarding admixture*)

Retarding admixture adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Misalnya karena kondisi cuaca panas dimana tingkat kehilangan sifat pengerjaan beton sangat tinggi.

c. Tipe C (*accelerating admixture*)

Accelerating admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.

d. Tipe D (*water reducing and retarding admixture*)

Water reducing and retarding admixture adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air yang diperlukan campuran beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.

e. Tipe E (*water reducing and acceleratiing admixtures*)

Water reducing and acceleratiing admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

f. Tipe F (*water reducing high range admixtures*)

Water reducing high range admixtures adalah bahan tambah berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih. Pengurangan kadar air dalam bahan ini lebih tinggi, bertujuan agar kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit tetapi tingkat kemudahan pengerjaannya lebih tinggi. Jenis

bahan tambah ini adalah *superplasticizer*, dosis yang disarankan adalah sekitar 1-2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan akan menyebabkan menurunnya kuat tekan beton.

g. Tipe G (*water reducing high range retarding admixtures*)

Water reducing high range retarding admixtures adalah bahan tambah berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang digunakan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton. Jenis bahan tambah ini merupakan gabungan *superplasticizer* dengan penunda waktu pengikatan.

3.4 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 3.1

Tabel 3.1 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 dapat dilihat dalam Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2 Persyaratan Mutu *Fly Ash*

No.	Senyawa	Kadar, %
1	Jumlah oksida SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ 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 ₂ O maksimum	1,5

3.5 Superplasticizer

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

3.6 Baja Tulangan

Menurut SNI 07-2052-2002 Baja tulangan adalah baja berbentuk batang berpenampang bundar yang digunakan untuk penulangan beton, yang diproduksi dan 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.

3.7 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 3.3

Tabel 3.3 Nilai *Slump* Beton Segar

Pemakaian beton (berdasarkan jenis struktur yang dibuat)	Nilai <i>Slump</i> (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5
Fondasi telapak tidak bertulang, kaisan, 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

3.8 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 :

1. *Mobility* adalah kemudahan adukan beton untuk mengalir dalam cetakan.
2. *Stability* adalah kemampuan adukan beton untuk selalu tetap homogen, selalu mengikat (koheren), dan tidak mengalami pemisahan butiran (segregasi dan *bleeding*).
3. *Compactibility* adalah kemudahan adukan beton untuk dipadatkan sehingga rongga-rongga udara dapat berkurang.

4. *Finishability* adalah kemudahan adukan beton untuk mencapai tahap akhir yaitu mengeras dengan kondisi yang baik.

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

1. Jumlah air yang digunakan dalam campuran adukan beton. Semakin banyak air yang digunakan, maka beton segar semakin mudah dikerjakan.
2. Penambahan semen ke dalam campuran juga akan memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena pasti diikuti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai fas tetap.
3. Gradasi campuran pasir dan kerikil. Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan, maka adukan beton akan mudah dikerjakan.
4. Pemakaian butir-butir batuan yang bulat mempermudah cara pengerjaan beton.
5. Pemakaian butir maksimum kerikil yang dipakai juga berpengaruh terhadap tingkat kemudahan dikerjakan.
6. 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)

3.9 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 3.4

Tabel 3.4 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

3.10 Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dimaksudkan untuk mengetahui berapa besar kuat tekan sesuai umur beton. Semakin tinggi kuat tekan betonnya, maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Pada umumnya, beton yang akan diuji kuat

tekannya berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Perhitungan kuat tekan beton sesuai dengan Persamaan berikut :

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

Keterangan : $f'c$ = kuat tekan beton (MPa);
 P = beban tekan aksial (N);
 A = Luas penampang benda uji (mm²).

3.11 Perencanaan Penulangan Geser

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.

Menurut SNI 03 – 2847 -2002, perhitungan gaya geser *ultimate* seperti yang tertera pada persamaan (3-2) berikut:

$$\phi V_n > V_u \quad (3-2)$$

Keterangan :

V_u = Gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau (kN) ;
 V_n = Kekuatan geser nominal (kN) ;
 ϕ = Faktor reduksi kuat bahan (untuk geser 0.75)

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

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

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 (3-4):

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d \quad (3-4)$$

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 (3-5):

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (3-5)$$

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 (3-6):

$$S_{maks} = \frac{3 A_v f_y}{b_w} \quad (3-6)$$

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);

b_w = Lebar balok (mm).

3.12 Perencanaan Penulangan Lentur

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 (3-7):

$$\sigma_l = \frac{PL}{bh^2} \quad (3-7)$$

- 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 (3-8):

$$\sigma_l = \frac{Pa}{bh^2} \quad (3-8)$$

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.

