

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Beton Mutu Tinggi**

Beton mutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan beton normal biasa. Menurut PD T-04-2004-C tentang Tata Cara Pembuatan dan Pelaksanaan Beton Berkekuatan Tinggi, yang tergolong beton bermutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan antara 40 – 80 MPa. Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) yang tercantum dalam SNI 03-6468-2000 didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 41,4 MPa.

Beton mutu tinggi bermanfaat pada pracetak dan pratekan. Pada bangunan tinggi mengurangi beban mati. Kelemahannya adalah kegetasannya. Produksi beton mutu tinggi memerlukan pemasok untuk mengoptimalkan 3 aspek yang mempengaruhi kekuatan beton : pasta semen, agregat, dan lekatan semen-agregat. Ini perlu perhatian pada semua aspek produksi, yaitu pemilihan material, *mix design*, penanganan dan penuangan. Kontrol kualitas adalah bagian yang penting dan memerlukan kerja sama penuh antara pemasok, perencana dan kontraktor. (Paul Nugraha & Antoni, 2007)

**Tabel 3.1 Berbagai Beton Mutu Tinggi**

<b>Jenis</b>	<b>Faktor air semen</b>	<b>Kuat 28 hari (MPa)</b>	<b>Catatan</b>
Konsistensi normal	0.35-0.40	35-80	<i>Slump</i> 50-100 mm, semen >
<i>No-slump</i>	0.30-0.45	35-50	<i>Slump</i> < 25mm
w/c rendah	0.20-0.35	110-170	Pakai admixtures
<i>Compacted</i>	0.05-0.30	70-240	Tekanan > 70 MPa

Sumber: Paul Nugraha & Antoni, 2007

### **3.2 Material Penyusun Beton Mutu Tinggi**

Material penyusun pada beton mutu tinggi dengan campuran *silica fume*, *fly ash*, dan *viscocrete-10* ini tidak berbeda dengan material penyusun beton pada umumnya, yaitu terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, dan air. Semua bahan-bahan diatas mempunyai karakteristik yang berbeda. Berikut karaterisitik dari setiap bahan yang akan digunakan.

#### **3.2.1. Semen Portland**

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.

### **3.2.2 Silica Fume**

Menurut standar *Spesification for Silica Fume for Use in Hydaulic Cemen Concrete and Mortar* (ASTM-C618-86), *silica fume* merupakan bahan yang mengandung  $\text{SiO}_2$  lebih besar dari 85% dan merupakan bahan yang sangat halus berbentuk bulat dan berdiameter 1/100 diameter semen (Kusumo, 2013). Menurut

Subakti, *silica fume* mempunyai peranan penting terhadap pengaruh sifat kimia dan mekanik beton. Ditinjau dari sifat kimianya, secara geometris *silica fume* mengisi rongga-rongga diantara bahan semen, dan mengakibatkan diameter pori mengecil serta total volume pori juga berkurang. Sedangkan dari sifat mekaniknya, *silica fume* memiliki reaksi yang bersifat pozzolan yang bereaksi terhadap batu kapur yang dilepas semen (Kusumo, 2013). Karena kandungan  $\text{SiO}_2$  yang cukup tinggi, hidrasi air dan semen akan menghasilkan  $\text{Ca(OH)}_2$  yaitu bahan yang mudah larut dalam air. Kalsium hidroksida  $\text{Ca(OH)}_2$  ini bereaksi dengan silika oksida ( $\text{SiO}_2$ ) membentuk kalsium silikat hidrat, dimana C-S-H ini mempengaruhi kekerasan beton.

Keuntungan dalam penggunaan *silica fume* dapat ditinjau pada dua kondisi:

1. Saat beton dalam proses pengikatan :
  - a. Memudahkan pengerjaan (*workability*)
  - b. Mengurangi perembesan air dan beton (*bleeding*), dan
  - c. Memberikan waktu pengikatan (*setting time*) yang lama.
2. Saat beton dalam kondisi keras :
  - a. Meningkatkan kuat tarik
  - b. Meningkatkan kuat lentur
  - c. Memperkecil susut dan rangkak
  - d. Meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dan dari lingkungan agresif
  - e. Sebagai penetrasi klorida
  - f. Permeabilitas lebih kecil, dan

g. Ketahanan terhadap keausan tinggi.

Keuntungan fisik yang diperoleh dari partikel *silica fume* yang halus untuk menempati ruang yang sangat rapat dengan partikel agregat dengan adonan semen yang merupakan daerah kelemahan dari beton yang merupakan alasan timbulnya efek dinding yang mencegah bersatunya semen Portland dengan permukaan agregat. Bagian ini yang nantinya akan diisi oleh partikel dari *silica fume* yang sangat halus sehingga air tidak terperangkap didalam partikel padat sehingga sifat menyerap dari daerah bidang pemisah agregat lebih kecil dibanding dengan tanpa *silica fume*.

Menurut Neville, penggunaan *silica fume* dengan jumlah yang rendah (dibawah 5% dari berat semen) tidak menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dari beton karena jumlah *silica fume* tidak akan mencukupi untuk menutupi permukaan seluruh partikel dari agregat kasar, namun penggunaan *silica fume* yang menguntungkan juga terbatas tidak lebih dari 10% dari berat semen yang digunakan, hal ini disebabkan oleh penggunaan *silica fume* yang berlebih tidak akan dapat menutupi permukaan agregat ( Kusumo, 2013).

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

Abu terbang (*fly ash*) diperoleh dari hasil residu PLTU. Material ini berupa butiran halus ringan, bundar, tidak porous, mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air. Menurut ACI

Manual of Concrete Practice 1993 Part 1 226.3R-3, *fly ash* dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Kelas C.

*Fly ash* yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batubara (batubara muda).

- a. Kadar  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 50\%$ .
- b. Kadar CaO mencapai 10%.

Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 35% dari berat binder.

2. Kelas F.

*Fly ash* yang mengandung CaO lebih kecil dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batubara.

- a. Kadar  $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) > 70\%$ .
- b. Kadar CaO  $< 5\%$ .

Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 25% dari berat binder.

3. Kelas N.

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic*, *opaline chert*, *shales*, *tuff* dan abu vulkanik, yang mana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat pozzolan yang baik (Kusumo, 2013).

### 3.2.3.1 Kelebihan dan Kelemahan *Fly Ash* (Abu Terbang)

#### a. Kelebihan

1. Pada beton segar :

- a. Memperbaiki sifat pengerjaan.

- b. Mengurangi terjadinya *bleeding* dan segregasi.
- c. Mengurangi jumlah panas hidrasi yang terjadi
- d. Mengurangi jumlah air campuran.

2. Pada beton keras :

- a. Meningkatkan kerapatan pada beton.
- b. Menambah daya tahan beton terhadap serangan agresif (sulfat).
- c. Meningkatkan kekuatan beton pada jangka panjang

#### **b. Kelemahan**

1. Pemakaian abu terbang kurang baik untuk pengerjaan beton yang memerlukan waktu pengerasan dan kekuatan awal yang tinggi karena proses pengerasan dan penambahan kekuatan betonnya agak lambat yang disebabkan karena terjadinya reaksi pozzoland.
2. Pengendalian mutu harus sering dilakukan karena mutu abu terbang sangat tergantung pada proses (suhu pembakaran) serta jenis abu batubaranya (Kusumo, 2013).

#### **3.2.4 Sika Vicocrete-10**

Sika *Viscocrete-10* merupakan *superplastizicer* berwarna putih kecoklatan yang sangat kuat bekerja dengan berbagai mekanisme yang berbeda. *Superplastizicer* ini cocok digunakan untuk campuran beton yang membutuhkan waktu transportasi lama dan kelecakan (*workability*) lama. Kebutuhan

pengurangan air yang sangat tinggi dan kemudahan mengalir (*flowability*) yang sangat baik. (PT. Sika Indonesia)

#### 3.2.4.1 Aplikasi dan kelebihan Sika *Vicocrete-10* :

##### a. Aplikasi Sika *Vicocrete-10*

1. Beton dengan kebutuhan pengurangan air dalam jumlah besar (hingga 30 %)
2. Beton dengan kemampuan tinggi.
3. Beton dalam cuaca panas yang membutuhkan waktu transportasi dan kelecakan dalam waktu panjang.
4. Beton kedap air (*Watertight Concrete*).
5. Beton *Readymix* (Beton siap pakai).
6. Beton Memadat Sendiri (*Self Compacting Concrete/SCC*).
7. Beton berkekuatan tinggi.
8. Beton dengan volume besar (*Mass Concrete*) .

##### b. Kelebihan Sika *Vicocrete-10*

1. Pengurangan air dalam jumlah besar menghasilkan kepadatan beton yang tinggi, beton mutu tinggi dan mengurangi permeabilitas.
2. Efek *plastizing* (pengurangan air) yang sangat baik menghasilkan kelecakan yang lebih baik, kemudahan pengecoran dan pepadatan. Sehingga sangat cocok di gunakan untuk beton yang memadat dengan sendirinya (*self compacting concrete*).

3. Mengurangi penyusutan dan keretakan.
4. Mengurangi karbonasi.
5. Meningkatkan sifat kedap air.

### 3.3 Self Compacting Concrete

Menurut Ludwig, H-M et.al, beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete* atau *SCC*) adalah beton yang mampu mengalir sendiri yang dapat di cetak pada bekisting dengan tingkat penggunaan alat pemadat yang sangat sedikit atau bahkan tidak di padatkan sama sekali. Beton ini di campur memnfatkan pengaturan ukuran agregat, porsi agregat dan *van admixture superplastiziser* untuk mencapai kekentalan khusus yang memungkinkannya mengalir sendiri tanpa bantuan alat pemadat. Sekali di tuang kedalam cetakan, beton ini akan mengalir sendiri mengisi semua ruang mengikuti prinsip – prinsip gravitasi, termasuk pada pengecoran beton dengan tulangan pembesian yang sangat rapat. Beton ini akan mengalir ke semua celah di tempat pengecoran dengan memanfaatkan berat sendiri campuran beton. Menurut Hela dan Hubertova, kemampuan mengalir dengan tingkat ketahanan terhadap segregasi yang tinggi pada beton memadat mandiri di sebabkan oleh dua hal yaitu (1) Penggunaan *superplastiziser* yang memadai dengan sangat ketat mengatur komposisi agregat pada campuran. (2) Rasio air semen (*w/c – ratio*) yang rendah dengan mengendalikan volume agregat yang di kombinasikan dengan agregat pengisi 0.125 mm menyebabkan campuran beton ini tidak mudah mengalami segregasi (Kusumo, 2013).

Pada campuran beton perbedaan utama beton memadat mandiri dengan beton konvensional adalah penggunaan porsi bahan pengisi yang cukup besar, sekitar 40 % dari volume total campuran beton. Bahan pengisi ini adalah pasir butiran halus dengan ukuran butiran maksimum ( $d_{max}$ )  $\leq 0,125$  mm. Porsi besar bahan pengisi ini menyebabkan campuran beton cenderung berperilaku sebagai pasta. Penggunaan *superplasticizer* yang memadai, biasanya berbahan polycarboxylate, memungkinkan penggunaan air pada campuran dapat di kurangi, namun pengurangan pengerjaan (*workability*) dan kemampuan pengaliran (*flowability*) campuran beton dapat di jaga.

### 3.3.1 Kelebihan SCC

1. Segi Durabilitas
  - a. Meningkatkan homogenitas dari beton
  - b. Dapat membungkus tulangan dengan baik
  - c. Tingkat porositas yang rendah
2. Segi Produktivitas
  - a. Pengecoran yang cepat
  - b. Pemompaan yang mudah
  - c. Pekerjaan pemadatan tidak perlu di lakukan lagi
3. Segi Tenaga Kerja
  - a. *Human error* akibat pemadatan yang kurang sempurna dapat di hilangkan
  - b. Angka kecelakaan tenaga kerja dapat di perkecil
  - c. Tidak adanya polusi suara akibat *vibrator*. (Kusumo, 2013)

### 3.4 Slump

Nilai *slump* digunakan untuk pengukuran terhadap tingkat kelecikan 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 3.1 (Tjokrodimuljo, 1992).

**Tabel 3.2 Penetapan nilai *slump* adukan beton**

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 stuktur dibawah tanah	9	2,5
Plat, balok, kolom, dinding	15	7,5
Perkerasan jalan	7,5	5
Pembetonan massal (beton massa)	7,5	2,5

Sumber : Trokrodimuljo, 1992

### 3.5 Kuat Tekan Beton

Menurut Mulyono, kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Kusumo, 2013).

Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 300 mm, diameter 150 mm. Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39-86. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi ( $f_c'$ ) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan (Dipohusodo, 1996).

Rumus yang digunakan pada persamaan (3-1) untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton berdasarkan percobaan di laboratorium adalah sebagai berikut (Antono, 1995)

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

Keterangan:

$f_c'$  = kuat tekan (MPa)

$P$  = beban tekan (N)

$A$  = luas penampang benda uji ( $\text{mm}^2$ )

Beton akan mempunyai kuat tekan yang tinggi jika tersusun dari bahan lokal yang berkualitas baik. Bahan penyusun beton yang perlu mendapat perhatian adalah agregat, karena agregat mencapai 70-75% volume beton (Dipohusodo, 1996). Oleh karena kekuatan agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton, maka hal-hal yang perlu diperhatikan pada agregat adalah:

- a. permukaan dan bentuk agregat,
- b. gradasi agregat, dan
- c. ukuran maksimum agregat.

### 3.6 Modulus Elastisitas Beton

Menurut Murdock dan Brook, tolak ukur yang umum dari sifat elastis suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari desakan yang diberikan dengan perubahan bentuk per-satuan panjang, sebagai akibat dari desakan yang diberikan itu (Kusumo, 2013). Menurut Wang & Salmon, berbeda dengan baja, maka modulus elastisitas beton adalah berubah-ubah menurut kekuatan. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji (Kusumo, 2013).

Untuk menghitung modulus elastisitas ada beberapa cara yang dapat digunakan, diantaranya dengan menggunakan rumus pada SNI 03-2847-2002 untuk modulus elastisitas pada beton mutu tinggi, yaitu:

$$E_c = 0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \quad \text{untuk } 1500 < w_c < 2500 \text{ kg/m}^3 \quad (3-2)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad \text{untuk beton normal} \quad (3-3)$$

Keterangan:

$E_c$  = Modulus elastisitas beton (MPa)

$w_c$  = Berat volume beton (kg/m<sup>3</sup>)

$f'_c$  = Kuat tekan beton (MPa)

Dalam penelitian ini nilai modulus elastisitas didapat dengan melakukan pengujian langsung di laboratorium dengan mengamati perubahan panjang dengan *compressometer*. Untuk memperoleh nilai modulus elastisitas beton digunakan perhitungan secara umum yang dapat dituliskan pada persamaan 3-4, 3-5, dan 3-6 sebagai berikut :

$$E = \frac{f}{\varepsilon} \quad (3-4)$$

$$f = \frac{P_{maks}}{A_0} \quad (3-5)$$

$$\varepsilon = \frac{0,5 \times \Delta P}{P_0} \quad (3-6)$$

Keterangan :

E	= modulus elastisitas beton tekan (MPa)
f	= tegangan (MPa)
$\varepsilon$	= regangan
$P_{maks}$	= Beban maksimum benda uji (N)
$P_0$	= Panjang awal benda uji (mm)
$A_0$	= luas tampang benda uji (mm <sup>2</sup> )
$\Delta P$	= perubahan panjang benda uji (mm)

### 3.7 Daya Serap Air

Daya serap air adalah kemampuan beton untuk menyerap air ketika direndam dalam air hingga memiliki massa jenuh, artinya hingga beton tidak mampu menyerap lagi karena sudah penuh. Untuk mengetahui penyerapan air beton dapat dihitung dengan rumus yang berlaku seperti berikut :

$$\text{Resapan beton (\%)} = ((W2 - W1) / W1) \times 100\% \quad (3-7)$$

Keterangan :

$W1$  = Berat beton Oven (kg)

$W2$  = Berat beton kering permukaan – SSD ( kg )

Menurut SNI 03-2914-1990 , beton kedap air harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

1. Beton kedap air normal bila diuji dengan cara perendaman dengan air selama 10+0,5 menit , resapan maksimum 2,5% terhadap berat air

beton kering oven. Selama perendaman 24 jam, resapan maksimum 6,5% terhadap berat beton kering oven.

2. Beton kedap air agresif, bila diuji dengan tekanan air, maka tembusnya air kedalam beton tidak melampaui batas berikut ini :
  - a. Agresif sedang : 50 mm.
  - b. Agresif kuat : 30 mm.

