

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Beton

Kata beton dalam bahasa Indonesia berasal dari kata yang sama dalam bahasa Belanda. Kata *concrete* dalam bahasa Inggris berasal dari bahasa Latin *concretus* yang berarti tumbuh bersama atau menggabungkan menjadi satu, (Nugraha, dkk. 2007).

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 (Tjokrodinuljo, 2007). Sementara menurut Wuryati dan Candra (2001), 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.

Sebagai material komposit, sifat beton sangat tergantung pada sifat unsur masing - masing serta interaksinya. Oleh karena itu untuk struktur bangunan, beton selalu dikombinasikan dengan tulangan baja agar memperoleh kinerja yang tinggi. Mengingat beton adalah material yang heterogen, maka kekuatan beton tergantung pada;

- a. Kekuatan agregat, khususnya agregat kasar

- b. Kekuatan pasta semen
- c. Kekuatan ikatan/lekatan antara semen dengan agregat.

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 (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 dan komponen penyusun beton tersebut meliputi:

### **3.1.1 Semen**

Semen akan mengeras pada pencampuran dengan air. Contoh khas adalah semen *portland*. Semen *portland* merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak 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. Untuk menghasilkan semen portland, bahan berkapur dan lempung dibakar sampai meleleh sebagian untuk membentuk klinker yang kemudian dihancurkan, digerus dan ditambah dengan gips dalam jumlah yang sesuai (SNI 15-2049-2004).

Semen *Portland* dibedakan menjadi 5 jenis/tipe, yaitu : (SNI 15-2049-2004)

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. 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 :



Dimana :

$\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  = Unsur dalam semen (kalsium *silikat*)

$\text{H}_2\text{O}$  = Air

$\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$  = *Tobermorite*, hasil reaksi yang keras

$\text{Ca}(\text{OH})_2$  = Kapur bebas, hasil sampingan

### 3.1.2 Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami yang berfungsi sebagai penguat. Agregat menempati sebanyak 70-75% dari volume mortar atau beton. Itu berarti bahwa, kekuatan atau kualitas beton dipengaruhi oleh kualitas agregat. Agregat dibagi menjadi 2 yaitu agregat kasar dan agregat halus. Perbedaan antara agregat kasar dan agregat halus adalah ayakan 5 mm atau 3/16".

#### 1. Agregat halus

Agregat halus merupakan batuan yang mempunyai ukuran butir antara 0,15-5 mm. Agregat halus dapat diperoleh dari dalam tanah, dasar sungai atau pun tepi laut (Tjokrodinuljo, 2007). Jenis-jenis gregat halus menurut gradasinya dibedakan 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

Agregat kasar dibedakan menjadi 3 berdasarkan jenisnya (Tjokrodimuljo, 2007);

a. Agregat normal

Agregat normal diartikan sebagai agregat yang memiliki berat jenis antara 2,5-2,7 gram/cm<sup>3</sup>. Agregat ini biasanya berasal dari granit, basal, kuarsa dan lain sebagainya. Beton yang dihasilkan umumnya memiliki berat 2,3 gram/cm<sup>3</sup> dan biasanya disebut beton normal.

b. Agregat berat

Agregat berat merupakan agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 gram/cm<sup>3</sup>, mislanya *magnetit* (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), *barites* (BaSO<sub>4</sub>) atau serbuk besi. Beton yang dihasilkan mempunyai berat jenis yang tinggi yaitu sampai dengan 5 gram/cm<sup>3</sup> yang digunakan sebagai dinding pelindung atau radiasi sinar X.

c. Agregat ringan

Agregat ringan yaitu agregat yang berat jenisnya kurang dari 2 gram/cm<sup>3</sup> 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.

### 3.1.3 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 (Tjokrodimuljo, 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.

pemakaian air untuk beton sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut:

(Tjokrodimuljo, 2007)

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.

### 3.1.4 Faktor Air Semen (FAS)

Secara umum, semakin tinggi nilai fas maka semakin rendah kekuatan tekan beton. Akan tetapi, nilai fas yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan tekan beton semakin tinggi. Ada beberapa batasan dalam hal ini; nilai fas yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan dan kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan, sehingga menyebabkan penurunan mutu beton. Secara umum, nilai fas campuran beton antara 0,25 – 0,65 (Mulyono, 2005).

### 3.1.5 Bahan Tambah

Bahan tambah dalam beton dapat dibedakan menjadi dua (Mulyono, 2005) yaitu sebagai berikut:

**a.** 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*.

**b.** Bahan tambah kimia (*chemical admixture*)

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

1. Tipe A (*water reducing admixtures*)

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

2. 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.

3. Tipe C (*accelerating admixture*)

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

4. 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.

5. Tipe E (*water reducing and accelerating admixtures*)

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

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

7. 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.

### **3.1.6 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 3.2.

Tabel 3.2. 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, 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 : Tjokrodinuljo, 2007

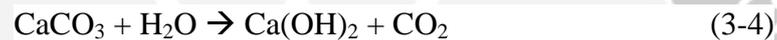
### 3.2 Beton Serbuk Cangkang Telur/ *Eggshell Powder Concrete*

Beton serbuk cangkang telur (ESP) merupakan suatu beton yang dibuat dengan menggantikan sebagian bahan campur beton dengan serbuk cangkang telur, dengan proporsi campuran yang sesuai sehingga menghasilkan beton yang memiliki kekuatan sama atau lebih dari beton normal. *Eggshell powder* (ESP) merupakan butiran dari cangkang telur yang telah dihancurkan hingga halus. Cangkang telur kering mengandung sekitar 95% kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dengan berat 5,5 gram (Butcher dan Miles, 1990). Hunton (2005) melaporkan bahwa cangkang telur terdiri atas 97% kalsium karbonat. Sementara itu, rerata dari cangkang telur mengandung 3% fosfor dan 3% terdiri atas magnesium, kalium, natrium, seng, mangan, besi dan tembaga (Butcher dan Miles, 1990). Serbuk cangkang telur/ *eggshell powder* (ESP) merupakan limbah unggas dengan komposisi kimia hampir sama dengan batu kapur.

Kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang telah menjadi serbuk remah dan lunak disebut kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ). Hal ini terjadi karena selama reaksi, akan dihasilkan  $\text{CO}_2$  yang akan terlepas ke udara, dengan reaksi:



Reaksi akan berlanjut jika ditambahkan dengan air, reaksinya akan berjalan dengan cepat dan sangat kuat apabila dalam bentuk serbuk kalsium karbonat. Selama reaksi, kalsium karbonat akan melepaskan kalor. Molekul  $\text{CaCO}_3$  akan mengikat molekul air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) yang akan membentuk kalsium hidroksida dengan reaksi:



Dimana:

$\text{CaCO}_3$  = Kalsium Karbonat

$\text{H}_2\text{O}$  = Air

$\text{Ca(OH)}_2$  = Kalsium Hidroksida/larutan kapur

$\text{CaO}$  = Kalsium Oksida

### 3.3 Karakterisasi Beton ESP

Beton akan dibuat dari campuran semen, agregat kasar, agregat halus, air, dan serbuk cangkang telur sebagai pengganti sebagian semen. Bahan-bahan tersebut akan dicampurkan, dicetak lalu direndam dengan waktu perendaman yang telah ditetapkan

yaitu selama 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Karakteristik beton yang akan diuji meliputi kuat tekan dan modulus elastisitas, penyerapan air, densitas dan penyusutan.

### 3.3.1 Kuat Tekan

Kuat tekan beton merupakan 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 (Mulyono, 2005).

Rumus yang digunakan untuk mencari kuat tekan beton adalah :

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (3-6)$$

Dimana :

$f_c$  = kuat tekan beton (MPa)

$P$  = beban tekan (N)

$A$  = luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

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 yang dicapai benda uji pada umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan.

### 3.3.2 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan beton. Dengan kata lain, modulus elastisitas adalah perbandingan dari desakan yang diberikan dengan perubahan bentuk per satuan panjang, sebagai akibat dari desakan yang diberikan. Besarnya modulus elastisitas beton ditentukan dengan rumus:

$$E = \frac{f}{\varepsilon} \quad (3-7)$$

Dimana:

$f$  = Tegangan Batas 30%

$\varepsilon$  = Regangan saat tegangan batas 30%

Berdasarkan peraturan SNI 2847-2013, rumus untuk menghitung modulus elastisitas beton normal:

$$E_c = 4700\sqrt{f_c} \quad (3-8)$$

Sedangkan dalam ACI 363-92, modulus elastisitas beton:

$$E_c = 3320\sqrt{f_c} + 6900 \quad (3-9)$$

### 3.3.3 Penyerapan Air

Pengamatan penyerapan air dalam beton dilakukan untuk mengetahui batas air yang dapat diserap pada sampel beton. Untuk mengetahui besarnya penyerapan air

pada beton ESP dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Maryam, 2006).

$$\text{Penyerapan air} = \left( \frac{m_j - m_k}{m_k} \right) \times 100 \% \quad (3-10)$$

Dimana:

$m_j$  = Massa Sampel Jenuh (gram)

$m_k$  = Massa sampel kering (gram)

### 3.3.4 Densitas

Untuk menghitung densitas beton ESP digunakan metode Archimedes, besarnya nilai densitas beton ESP dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Mariam, 2006)

$$\text{Densitas} = \left( \frac{m_s}{m_b - (m_g - m_k)} \right) \times \rho_{\text{air}} \quad (3-11)$$

Dimana:

$m_s$  = Massa sampel kering (gram)

$m_b$  = massa sampel setelah direndam air (gram)

$m_g$  = massa sampel digantung dalam air (gram)

$m_k$  = Massa kawat penggantung (gram)

$\rho_{\text{air}} = 1 \text{ g/cm}^3$

### 3.3.5 Penyusutan

Penyusutan merupakan perubahan volume yang tidak memiliki hubungan dengan pembebanan. Untuk mengetahui besarnya penyusutan dilakukan pengukuran panjang awal ( $L_o$ ) dan panjang setelah mengalami pengerasan ( $L_t$ ) selama 7, 14 dan 28 hari.

Besarnya nilai penyusutan ditentukan dengan persamaan berikut (Maryam, 2006).

$$\text{Penyusutan} = \frac{L_o - L_t}{L_o} \times 100\% \quad (3-12)$$

Dimana:

$L_o$  = Panjang awal sampel (mm)

$L_t$  = Panjang akhir sampel (mm)