

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Beton Terkekang**

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat (SK SNI T-15-1991-03).

Beton bertulang merupakan konstruksi yang memiliki kerangka baja dan diisi atau ditutup dengan menggunakan campuran beton. Tulangan pengikat berfungsi mengekang inti beton dan mengikat tulangan memanjang agar tetap berada pada posisi yang stabil serta memperpendek tekuk pada tulangan memanjang akibat beban tekan.

Pada saat tercapainya titik luluh kolom, bagian tepi terluar (selimut beton) pecah/mengelupas, kolom berpengikat sengkang akan segera runtuh tiba-tiba disertai dengan kerusakan beton dan tekuk pada tulangan memanjang di antara sengkang, sedangkan pada kolom berpengikat spiral, beton yang terkekang oleh spiral tersebut masih efektif bertahan ke arah lateral dan masih mampu melaksanakan tugasnya menahan beban aksial (Istimawan, 1994). Kehancuran total terjadi apabila selanjutnya terjadi deformasi yang cukup besar pada kolom (bagian inti) diikuti dengan meluruhnya tulangan spiral.

Park, R telah melakukan berbagai studi tentang kekuatan dan daktilitas kolom beton bertulang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penampang yang diberi tulangan melintang atau transversal, dalam bentuk sengkang ataupun spiral, akan

### 3.2 Bahan-bahan Campuran Beton

Guna membuat beton yang baik diperlukan bahan-bahan dengan persyaratan khusus dan perhitungan yang tepat.

#### 3.2.1 Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI-1982).

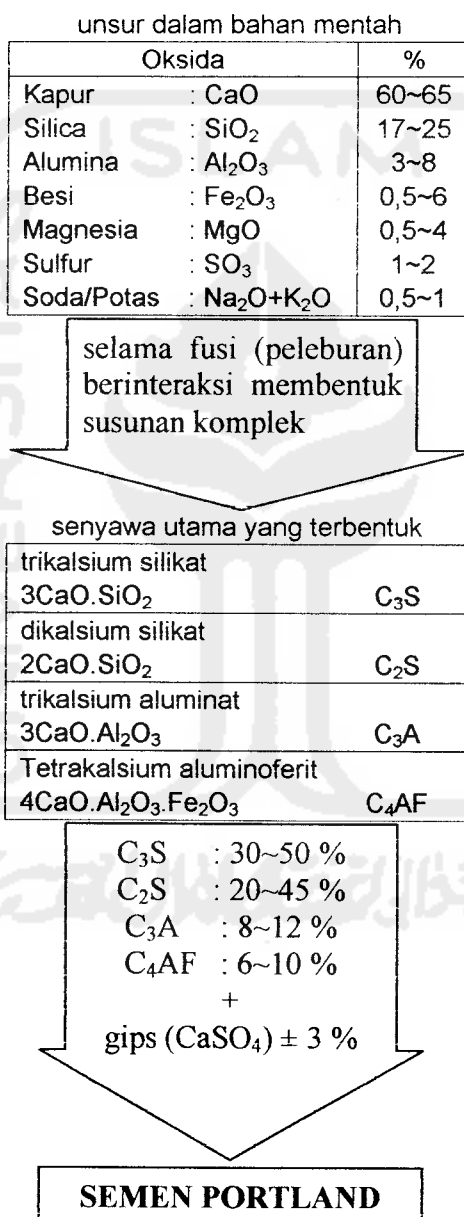
Fungsi semen adalah mengikat butir-butir agregat menjadi satu padat. Semen bila dicampur dengan air membentuk adukan pasta, dicampur dengan pasir dan air menjadi mortar semen.

Semen portland di Indonesia menurut SII 0013-81 dibagi menjadi lima jenis antara lain :

1. jenis I : semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus,
2. jenis II : semen portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang,
3. jenis III : semen portland yang penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi,
4. jenis IV : semen portland yang penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah,
5. jenis V : semen portland yang penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Jenis semen yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis I.

Jenis-jenis semen tersebut didasarkan atas besarnya persentase dari komposisi dan kadar senyawa kimia yang ada di dalam semen portland. Masing-masing jenis semen memiliki kadar yang berbeda-beda. Adapun susunan unsur kimia semen seperti yang terlihat dalam Gambar 3.1



Gambar 3.2 Susunan kimia semen

*Sumber : (Triono, 2001)*

### 3.2.2 Air

Air yang digunakan dalam pembuatan dan rawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam, zat organik dan bahan-bahan lain yang bersifat merusak baja tulangan dan beton itu sendiri. Dalam hal ini sebaiknya digunakan air bersih yang dapat diminum (Istimawan, 1994).

Air dalam campuran beton diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta menjadi pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan.

### 3.2.3 Agregat

Agregat adalah material granular yang dipakai bersama-sama dengan satu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidrolik atau adukan (SK SNI T-15-1991-03, 1991). Agregat merupakan komponen yang paling berperan dan menentukan, biasanya terdapat sekitar 60 %-80 % volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen dan rapat, dengan agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar (Nawy, 1990).

Agregat terbagi atas agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus yang terdiri dari pasir atau partikel-partikel yang lewat saringan # 4 atau 5 mm, dan agregat kasar (kerikil) yang tidak lolos saringan tersebut. Agregat yang digunakan harus memenuhi ketentuan SII 0052-80 dan untuk hal-hal yang tidak tercakup dalam standar tersebut juga harus memenuhi ketentuan ASTM (*American Society for Testing Materials*) C33-86 untuk agregat normal, serta pada ASTM C330-80 untuk agregat ringan (Istimawan, 1994).

### 3.3 Perencanaan Campuran Beton

Perhitungan rencana adukan beton yang digunakan adalah perencanaan menurut ACI (*American Concrete Institute*). Karena ACI menyarankan suatu cara perencanaan campuran yang memperhatikan nilai ekonomis, kemudahan pengerjaan, keawetan, serta kekuatan yang diinginkan.

Secara garis besar urutan langkah perencanaan dengan cara ACI adalah sebagai berikut :

1. menghitung kuat desak rata-rata berdasarkan kuat desak yang disyaratkan dan nilai margin yang tergantung tingkat pengawasan mutunya (lihat Tabel 3.1). Kuat desak rata-rata dihitung dari kuat desak yang disyaratkan ditambah dengan margin,

$$f'_{cr} = f'_c + m \dots \dots \dots (3.1)$$

Dengan :  $f'_{cr}$  = kuat desak rata-rata (MPa)

$f'_c$  = kuat desak yang disyaratkan (MPa)

$m$  = nilai margin (MPa)

$$= 1,64 S_d$$

$S_d$  = deviasi standar (lihat Tabel 3.1)

Tabel 3.1 Nilai deviasi standar ( $\text{kg/cm}^2$ )

Volume Pekerjaan ( $\text{m}^3$ )		Mutu Pelaksanaan		
		Baik Sekali	Baik	Cukup
Kecil	< 1000	$45 < S_d \leq 55$	$55 < S_d \leq 65$	$65 < S_d \leq 85$
Sedang	1000-3000	$35 < S_d \leq 45$	$45 < S_d \leq 55$	$55 < S_d \leq 75$
Besar	> 1000	$25 < S_d \leq 35$	$35 < S_d \leq 45$	$45 < S_d \leq 65$

Sumber : Kardiono (1992)

2. menetapkan faktor air semen berdasarkan kuat desak rata-rata pada umur yang dikehendaki (lihat Tabel 3.2) dan keawetannya (berdasarkan jenis struktur dan kondisi lingkungan, lihat Tabel 3.3). Dari dua hasil tersebut dipilih yang paling rendah,

Tabel 3.2 Hubungan faktor air semen dan kuat desak silinder beton umur 28 hari

Faktor Air Semen	Perkiraan Kuat Desak (MPa)
0,35	42
0,44	35
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,80	14

*Sumber : Kardiono (1992)*

Tabel 3.3 Faktor Air Semen maksimum

Kondisi	FAS
* beton di dalam ruangan bangunan	
a. keadaan keliling non korosif	0,60
b. keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap air	0,52
* beton diluar ruangan bangunan	
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
* beton yang masuk ke dalam tanah	
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. mendapat pengaruh sifat alkali dari tanah atau air tanah	0,52
* beton yang kontinyu berhubungan dengan air	
a. air tawar	0,57
b. air laut	0,52

*Sumber : Kardiono (1992)*

3. menentukan nilai *slump* dan ukuran maksimum agregat berdasarkan jenis strukturnya (lihat Tabel 3.4 dan 3.5),

Tabel 3.4 Nilai *slump* (cm)

Pemakaian Beton	Maks	Min
Dinding, plat, pondasi & pondasi telapak bertulang	12,50	5,00
Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan dan struktur di bawah tanah	9,00	2,50
Plat, balok, kolom dan dinding	15,00	7,50
Pengerasan jalan	7,50	5,00
Pembetonan masal	7,50	2,50

Sumber : Kardiono (1992)

Tabel 3.5 Ukuran maksimum agregat (mm)

Dimensi Minimum	Balok/Kolom	Plat
62,50	12,50	20,00
150,00	40,00	40,00
300,00	40,00	80,00
750,00	80,00	80,00

Sumber : Kardiono (1992)

4. menentukan jumlah air yang diperlukan, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai *slump* (lihat Tabel 3.6),

Tabel 3.6 Perkiraan kebutuhan air berdasarkan nilai *slump* dan ukuran maksimum agregat (liter)

Slump (mm)	Ukuran Maksimum Agregat (mm)		
	10	20	40
25 - 50	206	182	162
75 - 100	226	203	177
150 - 175	240	212	188
Udara terperangkap	3%	2%	1%

5. menghitung semen yang dibutuhkan, berdasarkan langkah (2) dan (4) di atas,
6. menetapkan volume agregat kasar yang diperlukan per satuan volume beton berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai *modulus* kehalusan agregat halusnya (lihat Tabel 3.7),

Tabel 3.7 Perkiraan kebutuhan agregat kasar per meter kubik beton berdasarkan ukuran maksimum agregat dan *modulus* halus pasirnya ( $m^3$ )

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Modulus Halus Butir Pasir			
	2,40	2,60	2,80	3,00
10	0,46	0,44	0,42	0,40
20	0,65	0,63	0,61	0,59
40	0,76	0,74	0,72	0,70
80	0,84	0,82	0,80	0,78
150	0,90	0,88	0,86	0,84

Sumber : Kardiono (1992)

7. menghitung volume agregat halus yang diperlukan, berdasarkan jumlah volume air, semen, dan agregat kasar yang diperlukan serta udara yang terperangkap dalam adukan (Tabel 3.6), dengan cara hitungan volume *absolut* sebagai berikut :

$$\text{Volume agregat halus} = 1 - (V_a + V_k + V_s + V_u) \dots \dots \dots (3.2)$$

Dengan :  $V_a$  = volume air

$V_k$  = volume kerikil

$V_s$  = volume semen

$V_u$  = volume udara



### 3.4 Kuat Desak Beton

Kuat desak beton adalah kemampuan beton untuk menahan beban dibagi dengan luasan permukaan beton yang menerima beban tersebut. Untuk mendapatkan kuat desak beton tersebut dari masing-masing benda uji digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kuat desak } f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$f_{cr} = \frac{\sum_i^N f_c}{N} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (f_{ci} - f_{cr})^2}{N-1}} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$m = k \cdot S_d \dots\dots\dots (3.6)$$

$$f_c = f_{cr} - m \dots\dots\dots (3.7)$$

Sedangkan untuk jumlah sampel yang kurang dari 15 buah dapat dihitung dengan rumus pada Tabel 3.8 di bawah ini

Tabel 3.8 Kuat desak karakteristik beton  $f_c$

Kuat desak rencana (Psi)	Kuat desak karakteristik beton $f_c$
< 3000	$f_{cr} - (1000 \text{ Psi})$
3000 - 5000	$f_{cr} - (1200 \text{ Psi})$
>5000	$f_{cr} - (1400 \text{ Psi})$

1000 Psi = 6,9 MPa

Dengan : P = beban maksimum (N)

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

$f_c$  = kuat desak beton masing-masing benda uji (MPa)

$f_{cr}$  = kuat desak beton rata-rata (MPa)

$N$  = jumlah benda uji

$S_d$  = standar deviasi (MPa)

$m$  = nilai margin (MPa)

$k$  = konstanta 1,64

$f'_c$  = kuat desak karakteristik (MPa)

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan desak beton antara lain (Peraturan Pedoman Beton, 1989) :

- a. faktor air semen (FAS),
- b. kekerasan agregat halus dan kasar,
- c. prosedur pemeriksaan mutu untuk pengecoran dan pengangkutan serta pemadatan di lapangan,
- d. umur beton, dan
- e. sifat-sifat tegangan beton juga dipengaruhi oleh kecepatan pembebanan.

#### 3.4.1 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah hubungan linier antara tegangan dan regangan yang sangat penting dan banyak digunakan. Kemiringan garis yang melalui titik  $0,4 f'_c$  didefinisikan sebagai modulus sekan (*secant modulus*), yang lebih umum diambil sebagai modulus elastisitas beton ( $E_c$ ).

$$\text{Modulus Elastisitas } (E_c) = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots (3.8)$$

Dengan :  $\sigma$  = tegangan pada 0,4 kuat tekan uji ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\varepsilon$  = regangan yang dihasilkan dari tegangan

SK SNI 03-XXX-2002 menetapkan nilai modulus  $E_c$ , ini sebagai nilai variabel yang tergantung dari mutu beton, dan dirumuskan sebagai :

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (\text{MPa}) \dots\dots\dots (3.9)$$

Sedangkan ACI menetapkan rumus untuk menghitung modulus elastisitas dari beton normal dengan berat  $2320 \text{ kg/m}^3$  sebagai berikut :

$$E_c = 15100 \sqrt{f'_c} \quad (\text{kg/cm}^2) \dots\dots\dots (3.10)$$

### 3.4.2 Modulus Kenyal

Luas daerah di bawah garis sebanding dikenal dengan modulus kenyal. Secara matematis dapat ditulis dengan rumus :

$$E_k = \frac{1}{2} \times \sigma \times \varepsilon \dots\dots\dots (3.11)$$

Dengan :  $\sigma$  = tegangan pada 0,4 kuat tekan uji ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\varepsilon$  = regangan yang dihasilkan dari tegangan

### 3.4.3 Kekakuan

Kekakuan beton dapat dicari dengan cara membagi beban pada saat  $\varepsilon$  0,2 % dengan deformasi yang terjadi. Secara matematis dapat ditulis dengan rumus :

$$K = \frac{P}{\Delta L} \dots\dots\dots (3.12)$$

Dengan :  $P$  = beban pada saat  $\varepsilon$  0,2 % (kg)

$\Delta L$  = deformasi (cm)

## 3.5 Tegangan Baja Tulangan

Sifat fisik baja tulangan yang sangat penting diketahui untuk perhitungan struktur beton bertulang selain modulus elastisitas baja  $E_s$  adalah tegangan leleh ( $f_y$ ). Disamping itu, sifat fisik baja tulangan yang juga dapat diketahui adalah tegangan ultimit ( $f_u$ ) dan tegangan putus ( $f_t$ ). Berikut ini adalah rumus mencari  $f_y$ ,  $f_u$ , dan  $f_t$

$$f_y = \frac{P_{leleh}}{A} \dots\dots\dots (3.13)$$

$$f_u = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots (3.14)$$

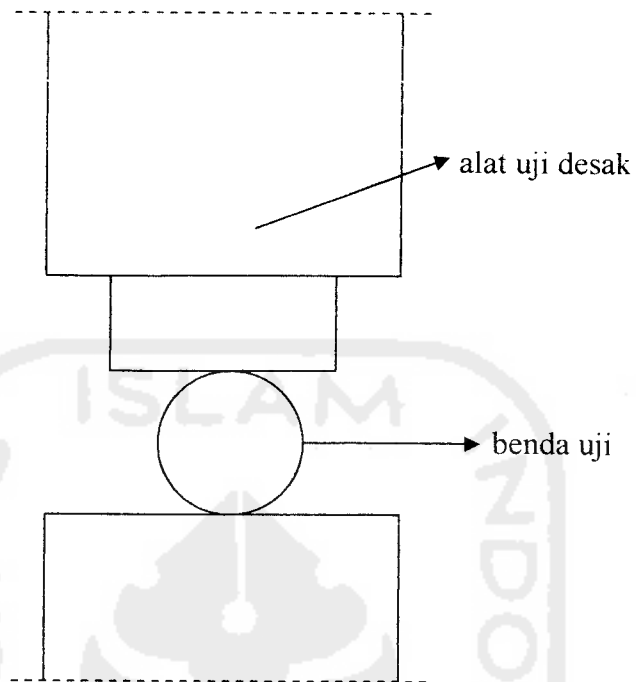
$$f_t = \frac{P_{patah}}{A} \dots\dots\dots (3.15)$$

### 3.6 Kuat Tarik Beton

Kekuatan tarik beton dalam praktek mempengaruhi rambatan terjadinya retak. Kuat tarik beton dapat ditentukan dengan pengujian pecah belah silinder (*Split Cylinder*). Silinder diletakkan pada alat pembebanan dengan posisi rebah. Beban vertikal dikerjakan sepanjang selimut silinder dan secara berangsur-angsur dinaikkan pembebanannya hingga dicapai nilai maksimum dan silinder pecah terbelah oleh gaya tarik horizontal (Gambar 3.2). Kuat tarik beton dapat diketahui dengan membagi beban ultimit yang dicapai dengan luas permukaan bagian yang didesak yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$f_t = \frac{2P}{\pi DL} \dots\dots\dots (3.16)$$

- Dengan :
- $f_t$  = kuat tarik
  - P = beban
  - D = diameter silinder
  - L = panjang silinder



Gambar 3.3 Uji tarik beton

### 3.7 Konversi Umur Beton

Kuat tekan pada umur 28 hari dapat dihitung dari data kuat tekan pada umur lainnya dengan menggunakan angka konversi. SK SNI T-15-1990-03,1991 menetapkan angka konversi umur beton seperti terlihat pada Tabel 3.9

Tabel 3.9 Perbandingan kekuatan tekan beton pada berbagai umur

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen Portland biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen Portland dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,20