

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Beton Serat**

Beton serat adalah bahan komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Selain itu serat berfungsi untuk menahan sebagian beban yang diterima oleh beton, baik itu merupakan gaya tarik atau gaya tekan (Kardiyono 1992).

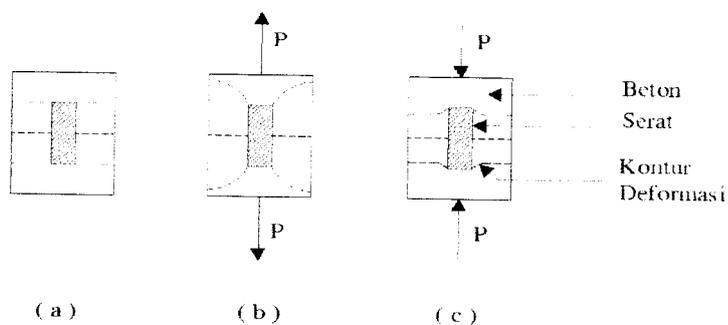
Maksud utama penambahan serat kedalam beton adalah untuk menambah kuat tarik beton, mengingat kuat tarik beton sangat rendah berakibat beton mudah retak yang pada akhirnya mengurangi keawetan beton. Dengan adanya serat, beton menjadi tahan retak dan tahan benturan jika masalah penyerapan energi diperlukan. Perlu diperhatikan bahwa pemberian serat tidak banyak menambah kuat tekan beton, namun hanya menambah daktilitasnya. (Kardiyono Tjokrodimulyo, ME, 1995).

Serat polyethelene baik digunakan sebagai bahan campuran beton, serat ini sudah lama diperkenalkan sebagai pengganti serat asbes dalam beton. Dan serabut jenis ini dapat digunakan sebagai campuran semen untuk meningkatkan daktilitas, tahanan impak, dan kekuatan fatigue (Balaguru dan Shah, 1992).

Interaksi antara serat dengan beton merupakan sifat hal yang pokok, dapat mempengaruhi kinerja dari material komposit beton serat. Pemahaman interaksi ini sangat dibutuhkan untuk mengestimasi kontribusi dari beton serat dan untuk

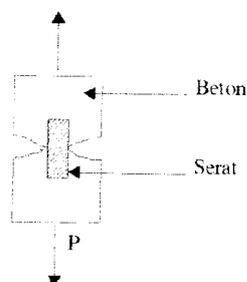
memperkirakan perilaku dari beton serat. Interaksi serat dengan beton yang tidak mengalami retak terjadi hampir pada semua komposit selama awal langkah pembebanan. Dalam kasus tertentu beton akan retak dalam masa pelayanan, walaupun terjadi dalam komposit. Kebanyakan kasus, matrik mengalami retak selama masa pelayanan. Oleh karena itu membatasi Interaksi fiber dengan tidak mengalami retak pada beton sangat penting dalam praktek pengaplikasian. Bagian yang tidak terjadi retak adalah bagian yang mempengaruhi sistem struktur (Balaguru dan Shah, 1992).

Sistem sederhana serat beton terdiri dari serat tunggal yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1. Dalam tahap tanpa beban tegangan dianggap nol (Gambar 3.1-a). Ketika terjadi pembebanan sebagian besar beban dipindahkan sepanjang permukaan serat. Disebabkan perbedaan kekakuan antara serat dan matrik, tegangan geser terjadi sepanjang permukaan serat. Jika serat lebih kaku dibandingkan dengan matrik maka deformasi yang terjadi di sekeliling serat akan lebih kecil, Apabila modulus elastik serat lebih kecil dibandingkan dengan modulus elastik matrik maka deformasi disekitar serat akan semakin besar, kondisi seperti ini terjadi pada beton dengan penambahan serat polymerik dan serat alam, yang ditunjukkan dalam (Gambar 3.1-b dan 3.1-c).



Gambar 3.1. Interaksi Antara Serat dan Beton Tidak Retak : (a) Tanpa Beban;(b) Beban Tarik ;(c) Beban Desak.

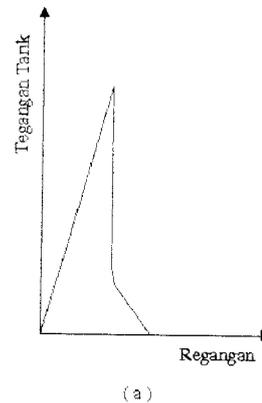
Apabila komposit mengalami pembebanan tarik, maka pada tahap tertentu beton komposit akan mengalami retak yang ditunjukkan dalam (Gambar.3.2). Bila beton retak, maka serat yang menerima beban melewati retakan akan meneruskan beban dari sisi beton ke sisi beton yang lain. Jika serat masih sanggup menyalurkan beban yang melewati retakan, maka retakan yang lebih besar akan terbentuk. Dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Interaksi Antara Serat dan Beton Pada Saat Retak

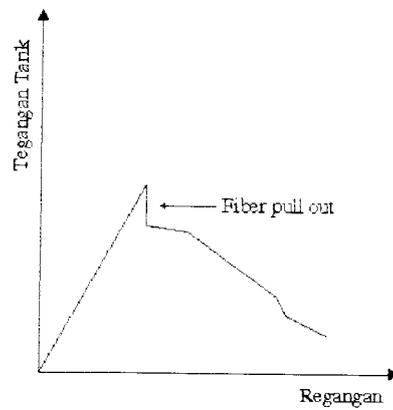
Pengaruh penambahan serat menentukan terjadinya keruntuhan dan retakan yang terjadi pada komposit. Pada komposit dengan kadar serat rendah,

maka komposit akan segera runtuh setelah terjadi retakan pada beton. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Kurva Tegangan-Regangan Beton Serat : Volume Serat Rendah

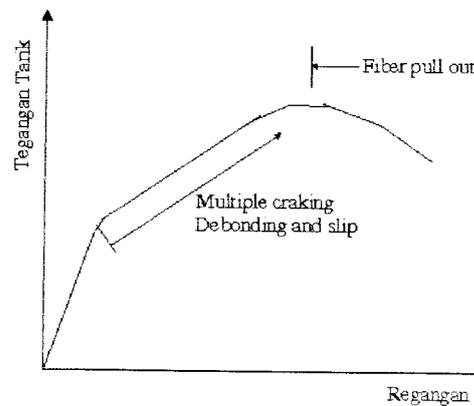
Pada komposit dengan kadar serat yang sedang, maka setelah terjadi keretakan beton, kapasitas komposit menerima pembebanan akan turun tetapi komposit masih dapat menahan beban selama masih dibawah beban puncak. Ketika beton retak, beban diteruskan dari komposit ke serat sepanjang retakan. Saat deformasi meningkat, maka serat tertarik keluar dari beton dan akibatnya kemampuan komposit menerima pembebanan semakin menurun. Keadaan seperti ini tidak meningkatkan kekuatan akan tetapi menghasilkan perilaku yang daktail. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3.4.



(b)

Gambar 3.4. Kurva Tegangan-Regangan Beton Serat : Volume Serat Sedang

Untuk komposit dengan kadar serat tinggi setelah mengalami keretakan pada beton, serat akan menahan peningkatan pembebanan maka komposit dapat menerima penambahan beban yang lebih tinggi dari beban retak. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3.5.



(c)

Gambar 3.5. Kurva Tegangan-Regangan Beton Serat : Volume Serat Tinggi

### 3.2 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur apabila dibebani dengan gaya desak tertentu. Pada umumnya beton yang baik adalah beton yang mempunyai kuat desak yang tinggi. Karena mutu beton hanya ditinjau dari kuat desaknya saja. Umur beton berpengaruh pada kuat desak beton (Kardiyono, 1992).

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor, selain dari perbandingan air-semen dan tingkat pematatannya (Murdock dan Brook, 1986), diantara faktor penting lainnya sebagai berikut :

1. Jenis semen dan kualitasnya, mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.
2. Jenis dan lekuk-lekuk bidang permukaan agregat. Bahwa agregat akan menghasilkan beton, dengan kuat desak maupun kuat tarik yang lebih besar daripada penggunaan krikil halus dari sungai.
3. Efisiensi dari perawatan (curing). Kehilangan kekuatan sampai 40% dapat terjadi bila pengeringan diadakan sebelum waktunya. Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pada pembuatan benda uji.
4. Suhu. Pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu pada titik beku kuat tekan akan tetap rendah untuk waktu yang lama.
5. Umur. Pada keadaan normal kekuatan beton bertambah dengan umur. Kecepatan bertambahnya kekuatan tergantung pada jenis semen.

### 3.2.1 Modulus Elastisitas

Menurut Murdock dan Brook (1999), tolok ukur yang umum dari sifat suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk persatuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan tersebut. Beton adalah bahan yang bukan benar-benar elastis. Modulus elastisitas tidak berkaitan langsung dengan sifat-sifat beton lainnya, meskipun yang lain lebih tinggi biasanya mempunyai harga modulus elastisitas yang lebih tinggi juga. Modulus elastisitas dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

dengan      E : Modulus elastisitas  
                   σ : Tekanan/ gaya yang diberikan  
                   ε : Regangan/ perubahan bentuk per satuan panjang

(Wahyudi dan Rahim, 1997) menetapkan nilai modulus  $E_c$ , ini sebagai nilai variabel yang tergantung dari mutu beton, dan dirumuskan sebagai :

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

### 3.3 Kuat Tarik Beton

Kuat tarik beton berkisar seperdelapan belas kuat desak pada waktu umurnya masih muda, dan berkisar seper duapuluh sesudahnya (Murdock dan Brook, 1986)

Kelebihan beton yang paling utama adalah kemampuannya mendukung tegangan tekan yang cukup tinggi. Meskipun demikian, beton merupakan bahan yang memiliki sifat getas (*brittle*) dan praktis tidak mampu menahan tegangan tarik. Kuat tarik beton hanya berkisar 9%-15% dari kuat tekannya (Dipohusodo,1994).

Kuat tarik didapatkan dari hasil pengujian, dengan uji pembelahan silinder-silinder oleh suatu desakan kearah diameternya. Secara terperinci cara ini diuraikan pada British Standard – 1881 : 1970 (Murdock dan Brook, 1986). kekuatan tarik dapat dihitung sebagai berikut :

$$f_1 = \frac{2P}{\pi ld}$$

dimana,  $f_1$  = Kuat tarik (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  = beban maksimal yang diberikan (N)

$l$  = panjang dari silinder (mm)

$d$  = diameter (mm)

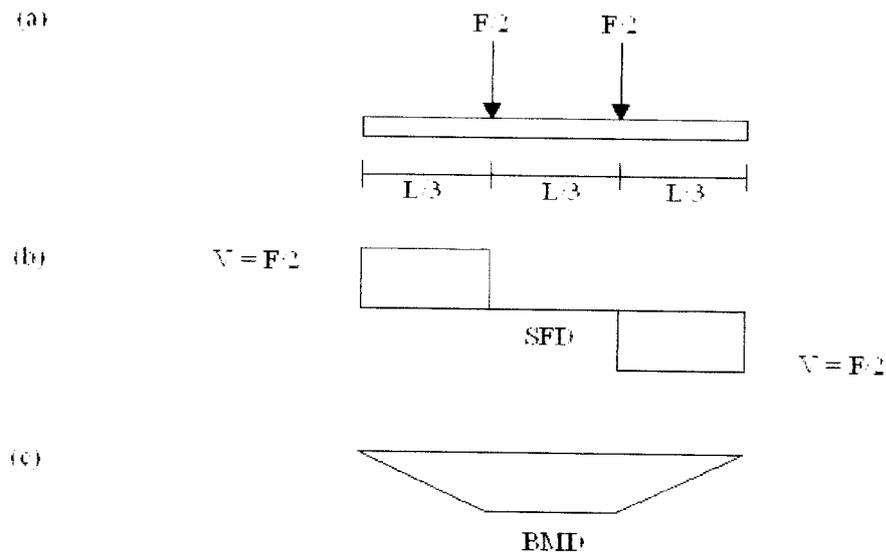
### 3.4 Kuat lentur Beton

Lentur murni adalah suatu lenturan yang berhubungan dengan sebuah balok dibawah suatu momen lentur (“bending moment”) konstan, yang berarti bahwa suatu momen gaya lintang sama dengan nol. Definisi dari lentur dapat di ilustrasikan sebagai berikut :

- a. Sebuah balok sederhana yang dibebani secara sistematis oleh dua buah gaya

$$\frac{F}{2} \text{ (Gambar 3.6 a)}$$

- b. Gaya lintang (V) yang bersangkutan (Gambar 3.6 b)  
 c. Diagram momen lentur (Gambar 3.6 c)



Gambar 3.6. Balok dengan pusat berada dalam keadaan lentur murni

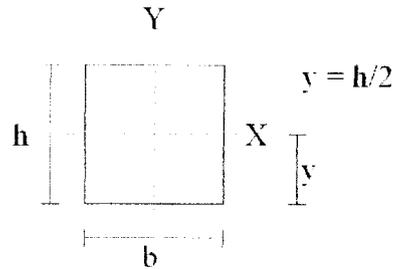
- a. balok dengan dua buah garis simetris  
 b. diagram gaya lintang  
 c. diagram momen

Daerah diantara beban-beban  $F/2$  tidak memiliki gaya lintang dan hanya dikenakan suatu momen lentur konstan yang besarnya :

$$M = \frac{F L}{2 \cdot 3}$$

Karena itu daerah pusat dari balok berada dalam keadaan lentur murni. Daerah-daerah yang panjangnya  $L/3$  didekat ujung-ujung balok berada dalam keadaan lentur tidak merata dikarenakan momen (M) tidaklah konstan dan terdapat gaya-gaya lintang.

Tegangan lentur dalam balok berhubungan dengan momen lentur (M) dan momen inersia (I) dari tampang balok.



Gambar 3.7. Bentuk penampang balok

Dan nilai tegangan lentur dapat dinyatakan dalam rumus :

$$\sigma_{lt} = M \cdot y / I$$

dimana :  $I = (1/12) b \cdot h^3$

dengan substitusi persamaan dan kedalam persamaan didapat :

$$\sigma_{lt} = \frac{(F/2)(L/3)(h/2)}{(1/12)b \cdot h^3}$$

$$\sigma_{lt} = \frac{F \cdot L}{b \cdot h^2}$$

dengan :  $\sigma_{lt}$  = Kuat lentur

F = beban (gaya)

L = jarak antara tumpuan

b = lebar tampang balok

h = tinggi tampang balok

### 3.5 Materi Penyusun Beton

Beton merupakan elemen struktur yang tersusun dari semen, pasir, kerikil (agregat), dan air. Sifat-sifat beton tergantung pada proporsi campuran, kesempurnaan dari adukan bahan-bahan pembentuk campuran. Uraian tentang bahan-bahan pembentuk beton adalah sebagai berikut :

#### 3.5.1. Semen Portland

(Nawy, 1998) Semen Portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat, adapun bahan baku pembentuk semen adalah :

1. kapur ( $\text{CaO}$ ) – dari batu kapur,
2. silica ( $\text{SiO}_2$ ) – dari tanah lempung,
3. alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) – dari lempung

Semen Portland merupakan 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 lain. (SNI 15-2049-1994).

Menurut SNI 15-2049-1994, semen portland diklasifikasikan dalam lima jenis sebagai berikut :

1. Jenis I : Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

2. Jenis II : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalori hidrasi rendah.
5. Jenis V : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

### **3.5.2. Agregat**

Agregat ialah butiran mineral alami yang merupakan bahan pengisi dalam campuran beton. Beton biasanya terdiri dari 60% sampai 80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat. Agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat berukuran besar dan membagi agregat ke dalam dua jenis agregat (Nawy, 1985) yaitu:

#### **1. Agregat kasar**

Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi  $\frac{1}{4}$  in (6 mm). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen. Jenis agregat kasar yang umum adalah: batu pecah alami, kerikil alami, agregat kasar buatan, agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat.

2. Agregat halus (pasir alami dan buatan).

Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran no. 4 dan no. 100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan no. 100, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton.

Kadar air agregat biasanya dinyatakan dalam prosen dan dapat dihitung sebagai berikut (Kardiyono, 1992) :

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\%$$

$w$  = Kadar air

$W_1$  = berat agregat basah

$W_2$  = agregat yang dikeringkan dalam oven pada suhu  $105^0$  C sampai beratnya tetap.

### 3.5.3. Air

Air merupakan bahan dasar yang penting dalam pembuatan beton, diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. (Kardiyono, 1992). Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimia dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya, umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton (Nawy, 1998).

Selain air dibutuhkan untuk reaksi pengikat, dipakai pula sebagai perawatan-sesudah beton dituang, dan keasaman tidak boleh pHnya  $> 6$ , juga tidak boleh terlalu sedikit mengandung kapur (Gideon, Kole dan Sagel, 1993).

Air yang digunakan harus memenuhi persyaratan kualitas air (Kardiyono, 1992) sebagai berikut:

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

#### **3.5.4. Bahan Tambah Serat (*Polyethylene*)**

Serat mempunyai salah satu ciri yang umum yang dimiliki oleh semua jenis serat yaitu ukuran panjangnya yang relatif jauh lebih besar daripada lebarnya. Sifat karakteristik serat semata-mata ditentukan oleh bentuknya, yaitu perbandingan yang besar antara panjang dan lebar dan tidak ditentukan oleh zat-zat pembentuknya.

Serat mempunyai dua jenis yaitu serat alam dan serat buatan (sintetis). Penggunaan serat pada beton akan membuat beban deformasi dari beton dialihkan keseratnya. Serat yang lazim digunakan pada beton serat ada dua kelompok (Felman dan Anton, 1995) yaitu :

- a. Modulus elastisitas rendah, pemanjangan besar

Contoh : polyamida, polypropylene dan polyethelene yang besar daya serap energinya, memberikan sifat daktail serta tahan beban benturan.

- b. Modulus elastisitas besar, kekuatan tinggi

Contoh : baja, gelas asbes, karbon, grafit, menjadikan beton kuat dan kaku, meningkatkan sifat – sifat dinamisnya.

Polyethylene mudah diolah, maka dari itu sering dicetak dengan penekanan, injeksi, ekstrusi peniupan dan dengan hampa udara. Pada temperatur rendah bersifat fleksibel tahan impak dan tahan bahan kimia. Karena dipakai untuk keperluan termasuk untuk pembuatan berbagai wadah, alat dapur, berbagai barang kecil, botol-botol, film, pipa, isolator kabel, serat dan sebagainya.

### **3.6 Faktor Air Semen**

Faktor air semen merupakan perbandingan antara berat air dengan berat semen. Abrams telah menyimpulkan bahwa pada bahan-bahan beton dan keadaan pengujian tertentu, jumlah air campuran gradasi dari agregat yang dipakai menentukan kekuatan beton, selama campuran cukup plastis dan dapat dikerjakan

Dapat disimpulkan bahwa hampir untuk semua tujuan, beton yang mempunyai faktor air/semen minimal dan cukup untuk memberikan workabilitas tertentu yang dibutuhkan untuk pemadatan yang sempurna tanpa pekerjaan pemadatan yang berlebihan, merupakan beton yang terbaik (Murdock dan Brook, 1986).

### **3.7 Slump**

Slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecekan suatu adukan beton., hal ini berkaitan dengan tingkat kemudahan pengerjaan (workability). Makin tinggi nilai slump berarti semakin cair adukan beton tersebut, sehingga adukan beton semakin mudah dikerjakan.

Nilai slump lebih ditentukan oleh jumlah air dalam adukan, sehingga variasi hanya terjadi pada jumlah semen dan agregat saja, bila nilai slump sama akan tetapi nilai fasnya berubah maka beton akan mempunyai kekuatan lebih tinggi (Kardiono Tjokrodimulyo, 1992).

### **3.8 Metode Perencanaan Adukan Beton**

Pada penelitian ini menggunakan metode *American Concrete Institut* (ACI) untuk syarat campuran perancangan beton, dikarenakan cara ACI bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*) (Tri Mulyono, 2004).

The American Concrete Institut (ACI) menyarankan suatu cara perancangan campuran yang memperhatikan nilai ekonomi, bahan yang eersedia, kemudahan pengerjaan, keawetan, serta kekuatan yang diinginkan, dikarenakan cara ACI bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi/kekentalan (slump) adukan itu.

Urutan perencanaan campuran adukan beton menurut standart ACI adalah sebagai berikut :

#### **1. Menentukan kuat tekan rata-rata**

Asumsi yang digunakan dalam perencanaan bahwa kekuatan beton akan terdistribusi normal. Secara umum rumusan mengenai kekuatan tekan beton dengan mempertimbangkan variabilitas, yaitu :

$$f'_{cr} = f'_c + m$$

$$m = k.Sd$$

dengan :  $f'_{cr}$  = kuat tekan rata-rata (MPa)

$f'_c$  = kuat tekan rencana (MPa)

$m$  = nilai margin (MPa)

$Sd$  = nilai standar deviasi (MPa)

$k$  = Konstanta yang diturunkan dari distribusi normal

kekuatan tekan yang diijinkan ACI memberikan nilai sebesar (1,64)

**Tabel 3.1** Nilai Standar Deviasi

Volume pekerjaan ( m <sup>3</sup> )	Mutu pekerjaan		
	Baik sekali	Baik	Cukup
Kecil (< 1000)	4,5<Sd≤5,5	5,5<Sd≤6,5	6,5<Sd≤8,5
Sedang (1000 – 3000)	3,5<Sd≤4,5	4,5<Sd≤5,5	5,5<Sd≤7,5
Besar (>3000)	2,5<Sd≤4,5	3,5<Sd≤4,5	4,5<Sd≤6,5

Sumber : Buku Teknologi Beton, Kardiyono,1996

## 2. Menentukan Faktor air semen.

Tetapkan air semen berdasarkan kuat tekan rata-rata pada umur yang dikehendaki dapat terlihat pada (table 3.2) dan keawetannya berdasarkan jenis struktur dan kondisi lingkungan terlihat pada (table 3.3). dari dua tersebut dipilih yang paling rendah sebagai berikut :

**Tabel 3.2** Hubungan faktor air semen dan kuat tekan rata-rata silinder pada beton umur 28 hari.

Faktor air semen	Perkiraan kuat tekan ( MPa )
0,35	42
0,44	35
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,80	14

Sumber : Buku Teknologi Beton, Kardiyono,1996

**Tabel 3.3** Faktor Air Semen Maksimum

<b>Beton didalam ruang bangunan :</b>	
a. Keadaan keliling non korosif	0,60
b. Keadaan kililing korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	0,52
<b>Beton diluar ruang bangunan :</b>	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
<b>Beton yang masuk kedalam tanah :</b>	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti - gantian	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat al-kali dari tanah atau air tanah	0,52
<b>Beton yang kontinu berhubungan dengan air :</b>	
a. air tawar	0,57
b. air laut	0,52

Sumber : Buku Teknologi Beton, Kardiyono,1996

3. Berdasarkan jenis strukturnya, tetapkan nilai slump dan ukuran maksimum agregatnya dari (Tabel 3.4 dan 3.5)

**Tabel 3.4** Nilai Slump (cm)

Pemakaian jenis elemen	Max (cm)	Min (cm)
Dinding pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan dan struktur bawah pondasi	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom, dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

Sumber : Buku Teknologi Beton, Kardiyono,1996

4. Menetapkan jumlah air yang diperlukan, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump yang diinginkan, dilihat pada (tabel 3.5).

**Tabel 3.5** 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%

Sumber : Buku Teknologi Beton, Kardiyono,1996

5. Menghitung kebutuhan semen berdasarkan hasil langkah (2) dan langkah (4) diatas.

$$W_s = \frac{W_{air}}{FAS}$$

dengan :  $W_s$  = berat semen

$W_{air}$  = berat air

6. Menetapkan volume agregat kasar yang diperlukan per m<sup>3</sup> beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai modulus kehalusan agregat halusnya lihat (tabel 3.6).

**Tabel 3.6** Perkiraan Kebutuhan Agregat Kasar Per m<sup>3</sup> Beton Berdasarkan Ukuran Maksimum Agregat dan Modulus Halus Butir Pasir (m<sup>3</sup>)

Ukuran max agregat (mm)	Modulus halus butir pasir			
	2,4	2,6	2,8	3,0
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	0,84	0,80	0,78
150	0,90	0,88	0,86	0,84

Sumber : Buku Teknologi Beton, Kardiyono, 1996

7. menghitung volume agregat halus yang diperlukan, berdasarkan jumlah air, semen, serta udara yang terperangkap dalam adukan dari (tabel 3.5), dengan cara hitungan volume absolut.

$$V_p = 1 - (V_a + V_s + V_k + V_u)$$

dengan :  $V_p$  = volume absolute pasir

$V_a$  = volume absolute air

$V_s$  = volume absolute semen

$V_k$  = volume absolute krikil

$V_u$  = volume absolute udara