

BAB II
LANDASAN TEORI
DAN TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Bcton Serat

Beton serat adalah beton yang terbuat dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan sejumlah serat (ACI Commuitee 544). Inti dari beton serat adalah penambahan serat yang disebar merata untuk mencegah retak-retak kecil pada beton dan meningkatkan kemampuan kuat desak beton.

Dengan mengasumsikan bahwa bahan saling melekat sempurna dan letak serat segaris (G. Spadea and F. Bencardino 662), maka persamaannya dapat ditulis sebagai berikut :

$$\sigma_{cr} = \sigma_{mu} \cdot V_m + \sigma_f \cdot V_f \dots \dots \dots (2.1)$$

Apabila lekatan serat dengan pasta semen lebih kecil dari kuat tarik serat, maka kuat lentur beton serat ditentukan oleh kuat lekat serat. Pada keadaan tersebut kuat tarik serat diganti dengan persamaan berikut ini.

$$\sigma_f = 2\gamma \frac{I_f}{d_f} \dots \dots \dots (2.2)$$

Penambahan bahan serat dapat menyebabkan penurunan kelecakan secara cepat sejalan dengan pertambahan konsentrasi serat dan aspek rasio serat (nilai banding panjang dan diameter). Batas maksimal aspek rasio serat yang masih memungkinkan pengadukan secara mudah yaitu $l_f/d_f < 100$.

Agar pencampuran serat dapat tersebar secara merata dapat dilakukan dengan memperkecil ukuran agregat. ACI Commite 544 menyarankan agregat maksimum yang digunakan pada beton berserat yaitu $\frac{3}{4}$ " (19 mm).

2.1.2 Beton Komposit

Beton komposit adalah suatu struktur yang terdiri dari baja dan beton yang keduanya bekerja bersama-sama untuk menahan beban (AISC).

Syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk kolom komposit (AISC LRFD) adalah sebagai berikut :

1. luas dari baja (A_s) > 4 % dari luas seluruhnya,
2. kekuatan beton berkisar antara $3 < f'_c < 8$ ksi,
3. nilai kekuatan baja $f_y < 55$ ksi,
4. tebal pipa menggunakan rumus

$$t \geq D \sqrt{\frac{f_y}{8 E}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Untuk menentukan beban maksimum digunakan rumus berikut ini.

$$\phi_c P_n = 0,85 A_s f_{cr} \dots \dots \dots (2.4)$$

dengan $f_{cr} = e^{-0,419 \lambda_c} f_{my}$ untuk $\lambda_c < 1,5$

$$f_{cr} = 0,877/\lambda c^2 f_{my} \quad \text{untuk } \lambda c > 1,5$$

$$\lambda_c = \frac{k \cdot l}{r_m \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$r_m = \frac{1}{4} \cdot \sqrt{(D^2 + d_1^2)} > 0,3 D$$

$$f_{my} = f_y + 0,85 f_c A_c/A_s$$

$$E_m = E + 0,4 E_c A_c/A_s$$

$$E_c = 145^{1,5} f_c$$

$$A_s = \pi/4 (D^2 - d_1^2)$$

$$A_c = \pi/4 d_1^2$$

Sebagai balok kolom :

1. Apabila : $\frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0,2$

maka : $\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} \right) \leq 1,0$ (2.6)

2. Apabila : $\frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0,2$

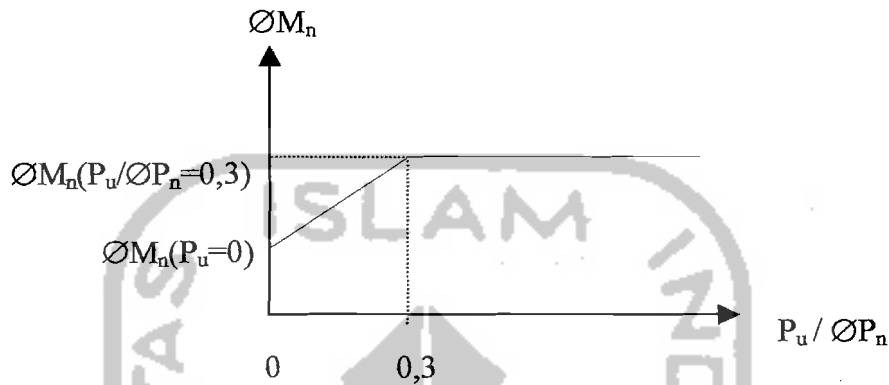
maka : $\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \leq 1,0$ (2.7)

3. Apabila : $\frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0,3$

Maka harus dicari dengan interpolasi $P_u = 0$ dan $P_u/\phi P_n = 0,3$ (lihat gambar 2.1)

$$P_u = 0 \rightarrow M_n = Z \cdot f_y$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = 0,3 \rightarrow M_n = Z f_y + 1/3(h_2 - 2C_r) A_r f_{yr} + \left(\frac{h_2}{2} - \frac{h_w f_y}{1,7 f_c h_1} \right) A_w f_y \dots (2.8)$$



Gambar 2.1 Diagram interpolasi antara $P_u / \phi P_n$ dan ϕM_n

2.1.3 Perencanaan Campuran Adukan Beton

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

Urutan langkah perencanaan dengan cara *American Concrete Institute* (ACI) adalah sebagai berikut ini.

1. Menghitung kuat desak rata-rata berdasarkan kuat desak yang disyaratkan dan nilai margin yang tergantung tingkat pengawasan mutunya (lihat tabel 2.1). Kuat desak rata-rata dihitung dari kuat desak yang disyaratkan ditambah margin.

$$f'_{cr} = f'_c + m \dots \dots \dots (2.9)$$

$m = 1,34 \cdot sd$ (dengan sd adalah deviasi standar yang diambil dari tabel 2.1)

Tabel 2.1 Nilai deviasi standar (kg/cm)

Volume pekerjaan (m ³)		Mutu pelaksanaan		
		Baik sekali	Baik	Cukup
Kecil	< 1000	45 < s < 55	55 < s < 65	65 < s < 85
Sedang	1000 – 3000	35 < s < 45	45 < s < 55	55 < s < 75
Besar	> 3000	35 < s < 35	35 < s < 45	< 65

Apabila data test yang tersedia kurang dari 30 sampel maka campuran percobaan harus didisain dengan kekuatan desak f'_{cr} yang dihitung dari :

$$f'_{cr} = f'_c + 1,34 \text{ sd} \dots\dots\dots(2.10)$$

atau

$$f'_{cr} = f'_c + 2,33 \text{ sd} - (500 \text{ Psi}) \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\text{sd} = \sqrt{\frac{\sum_i^N (f_c - f'_{cr})^2}{N-1}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Harga f'_{cr} yang lebih besar dari persamaan 2.10 dan 2.11 yang dipakai.

Apabila data test yang tersedia kurang dari 30 dan lebih dari 15, harga sd pada persamaan 2.10 dan 2.11 harus dikalikan dengan faktor modifikasi yang tercantum pada tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 Faktor modifikasi deviasi standar jika data test kurang dari 30

Banyaknya test	Faktor modifikasi standar deviasi
Kurang dari 15	Gunakan tabel 2.3
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Tabel 2.3 kekuatan rata-rata yang diperlukan jika tidak tersedia data untuk menentukan standar deviasi

Kuat desak f'_c (Psi)	Kuat desak rata-rata yang diperlukan f'_{cr}
< 3000	$f'_c + (1000 \text{ Psi})$
3000 – 5000	$f'_c + (1200 \text{ Psi})$
>5000	$f'_c + (1400 \text{ Psi})$

2. Menetapkan faktor air semen berdasarkan kuat tekan rata-rata pada umur yang dikehendaki (lihat tabel 2.4) dan keawetannya (berdasarkan jenis struktur dan kondisi lingkungan lihat tabel 2.5). Dari dua hasil tersebut dipilih yang paling rendah.

Tabel 2.4 Hubungan faktor air semen dan kuat tekan silinder pada 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

Tabel 2.5 Faktor air semen maksimum

Kondisi	FAS
<ul style="list-style-type: none"> • Beton didalam ruangan bangunan <ul style="list-style-type: none"> a. keadaan keliling non korosif b. keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif 	 0,60 0,52
<ul style="list-style-type: none"> • Beton diluar ruangan bangunan <ul style="list-style-type: none"> a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung 	 0,60 0,60
<ul style="list-style-type: none"> • Beton yang masuk kedalam tanah <ul style="list-style-type: none"> a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti b. mendapat pengaruh sifat alkali dari tanah atau air tanah 	 0,55 0,52
<ul style="list-style-type: none"> • Beton yang kontinyu berhubungan dengan air <ul style="list-style-type: none"> a. air tawar b. air laut 	 0,57 0,52

3. Menentukan nilai slump dan ukuran maksimum agregat berdasarkan jenis strukturnya (lihat tabel 2.6 dan 2.7).

Tabel 2.6 Nilai slump (cm)

Pemakaian beton	Maks	Min
◆ Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,50	5,00
◆ Pondasi telapak tidak bertulang, kaison 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

Tabel 2.7 Ukuran maksimum agregat (mm)

Dimensi minimum (mm)	Balok / kolom	Plat
62,50	12,50	20,00
150,00	40,00	40,00
300	40,00	80,00
750	80,00	80,00

4. Menentukan jumlah air yang diperlukan, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump (lihat tabel 2.8).

Tabel 2.8 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 hasil langkah (2) dan (4) sebelumnya,
6. Menetapkan volume agregat kasar yang diperlukan per satuan volume beton berdasarkan ukuran maksimum agregat halusya (lihat tabel 2.9).

Tabel 2.9 perkiraan kebutuhan agregat kasar per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai modulus halus pasir

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

7. Menghitung volume agregat halus yang diperlukan, berdasarkan jumlah volume air, semen, dan agregat kasar yang diperlukan serta udara yang terperangkap dalam adukan (dari tabel 2.8), dengan cara hitungan volume absolut dapat ditulis sebagai berikut :

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

2.1.4 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 ini.

$$\text{Kuat desak } f_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$f'_{cr} = \frac{\sum_i^N f_c}{N} \dots \dots \dots (2.14)$$

$$m = k \cdot s_d \dots \dots \dots (2.15)$$

$$f_c = f'_{cr} - m \dots \dots \dots (2.16)$$

Sedangkan untuk jumlah sampel yang kurang dari 15 buah dapat dihitung dengan rumus pada tabel 2.10 di bawah ini.

Tabel 2.10 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

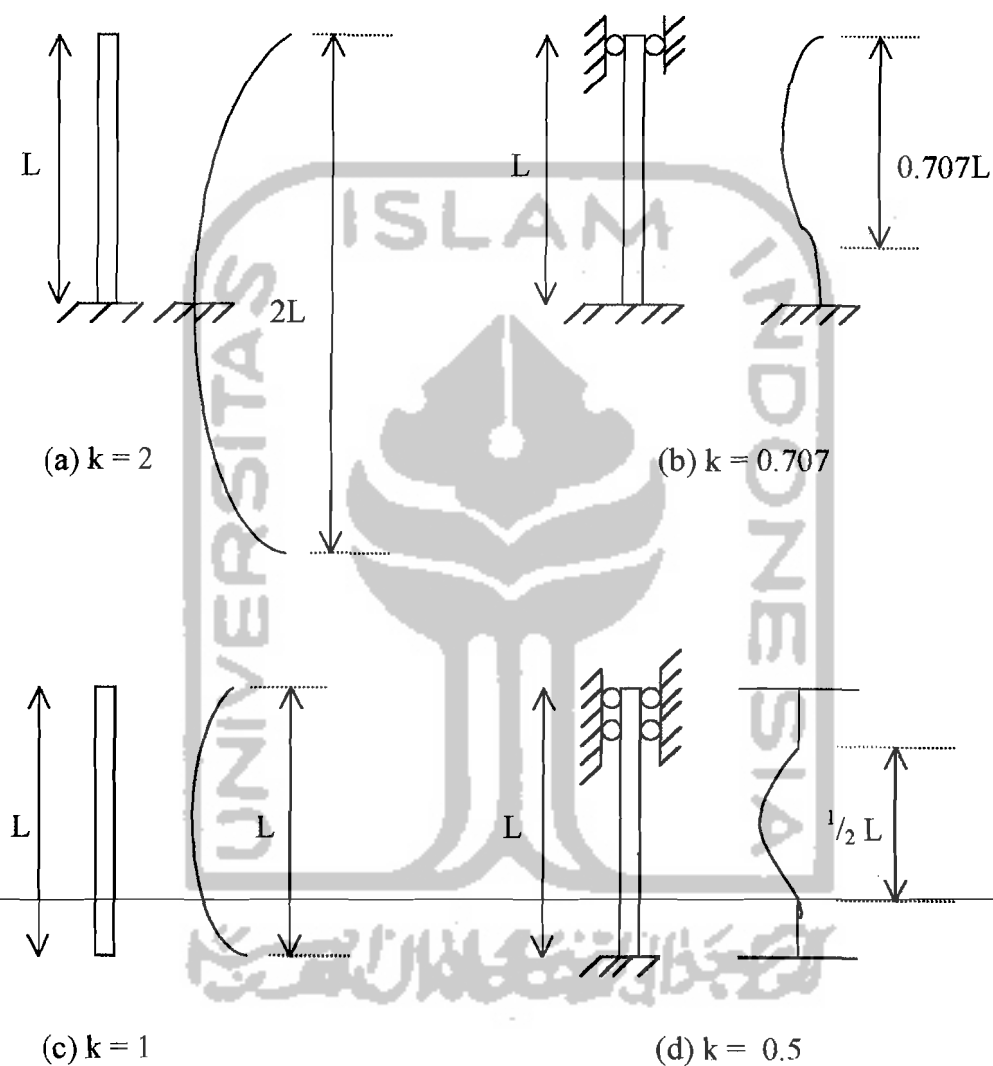
2.1.5 Tekuk Pada Kolom

Akibat pembebanan eksentris (beban tidak tepat pada titik berat penampang) pada kolom, mengakibatkan momen lentur disamping gaya aksial. Momen yang timbul akibat beban eksentris tersebut sebesar M , yang didapat dari beban (P) dikalikan dengan jarak beban ke pusat berat penampang kolom (e). Momen lentur ini dapat bersumbu tunggal (*uniaxial*) seperti kolom eksterior bangunan bertingkat banyak dan kolom bersumbu banyak (*biaxial*) apabila lenturnya terjadi terhadap sumbu X dan sumbu Y seperti kolom yang terletak di pojok bangunan.

Keruntuhan kolom dapat terjadi apabila tulangan bajanya leleh karena tarik atau terjadinya kehancuran pada beton yang tertekan. Selain itu kolom mengalami keruntuhan apabila terjadi kehilangan stabilitas lateral, yaitu terjadi tekuk.

Apabila kolom runtuh karena kegagalan materialnya (yaitu lelehnya baja atau hancurnya beton), kolom ini diklasifikasikan sebagai kolom pendek (*short column*). Apabila panjang kolom bertambah, kemungkinan kolom runtuh karena tekuk semakin besar. Dengan demikian ada suatu transisi dari kolom pendek (runtuh karena material) ke kolom panjang (runtuh karena tekuk) yang terdefinisi dengan menggunakan perbandingan panjang efektif (kl_u) dengan jari-jari girasi (r). Tinggi l_u adalah panjang tak tertumpu (*unsupport length*) kolom, dan k adalah faktor yang tergantung pada kondisi ujung kolom, dan kondisi adalah penahan deformasi lateral atau tidak (untuk lebih jelasnya lihat gambar 2.2 di halaman berikut ini). Sebagai contoh, adalah kolom yang tidak ada penahan lateral (*unbraced column*), apabila angka $kl_u/r \leq 22$, maka kolom tersebut diklasifikasikan sebagai kolom pendek sesuai dengan kriteria ACI dan SNI. Apabila tidak demikian, kolom tersebut

diklasifikasikan sebagai kolom panjang atau lazim disebut kolom langsing. Angka kl_u/r disebut sebagai angka kelangsingan kolom ($r = \sqrt{I_{\min} / F}$).



Gambar 2.2 Panjang tekuk kolom (Beton Tulang, Prof Ir.R. Rooseno, 50)

2.2 Tinjauan Pustaka

ACI 544.1R , 1982, melaporkan bahwa hasil penelitian kuat leleh beton fiber sangat bervariasi. Hal ini disebabkan oleh beragamnya pengkondisian beban, kriteria

kegagalan, proporsi adukan, tipe fiber, dan persentase volume fiber. Hal ini cukup meyakinkan berbagai macam tipe fiber, ialah bahwa peningkatan kekuatan dengan peningkatan persentase fibernya. Dengan menggunakan volume fiber (v_f) = 2%-3% dari berat semen, $l/d = 70-90$, kuat lenturnya meningkat 10%-30%, seperti dilaporkan Batson dkk, 1972 dan Romualdi, 1965 (ACI 544-82).

Penelitian oleh Jean Francois Trottier, Dudley R., Morgan dan Dean Ferguson (1995), penggunaan serat yang ujungnya dibengkokkan atau yang biasa disebut dengan serat berkait menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibanding dengan serat lurus.

Suhendro (1991), penambahan serat kawat baja pada campuran beton akan memberikan penambahan daktilitas yang terbesar diikuti dengan serat kawat bendrat dan kawat biasa. Volume serat yang digunakan 0,7% dari berat semen.

Suhendro (1991), memperkenalkan konsep beton fiber di Indonesia. Dengan menggunakan bahan lokal yang mudah didapat dan relatif murah, berupa potongan kawat bendrat (yang biasanya digunakan untuk mengikat baja tulangan) dan diameternya sekitar 1 mm, panjang sekitar 60 mm.

G. Spadea and F. Bencardino (1997) Penambahan serat pada adukan beton dengan volume fiber (V_f) = 1% - 2% dari berat semen, akan meningkatkan kuat lentur sebesar 20% - 25%.

Heru Anggoro Adi dkk, 1998, menggunakan serat 0% dan 2% dari berat semen, berhasil meningkatkan kuat desak kolom komposit baja silinder dengan beton serat. Serat yang digunakan adalah kawat bendrat dengan diameternya sekitar 1 mm, panjang 60 mm dan kedua ujungnya dibengkokkan.