

BAB III

ANALISIS BALOK BETON BERTULANG

III.1. Tinjauan Umum

Beton diperoleh dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen dan air sebagai bahan pembantu yang berguna untuk reaksi kimia, selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung.

Nilai kuat tekan beton relatif tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya. Beton merupakan bahan bersifat getas, nilai kuat tariknya hanya berkisar 9% - 15% saja dari kuat tekannya. Pada penggunaan sebagai komponen struktural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerjasama dan mampu membantu kelemahannya, terutama pada bagian yang menahan gaya tarik. Dengan demikian tersusun pembagian tugas, dimana tulangan baja bertugas memperkuat dan menahan gaya tarik, sedangkan beton menahan gaya tekan. Komponen struktur beton seperti itu disebut beton bertulang.

III.2. Asumsi dan Persyaratan

Perhitungan dan perencanaan beton lebih diutamakan serta diarahkan untuk menggunakan metode kekuatan (ultimit).

Asumsi yang digunakan pada metode kekuatan (Dipohusodo,1994)

1. Kekuatan elemen struktur harus dihitung berdasarkan hitungan yang memenuhi syarat keseimbangan dan kompasibilitas regangan.

2. Bidang penampang rata sebelum terjadi lenturan akan tetap rata setelah terjadi lenturan dan tetap tegak lurus sumbu longitudinal batang (prinsip Bernoulli).
3. Nilai regangan tampang elemen struktur akan terdistribusi berbanding lurus terhadap jarak ke garis netral tampang (prinsip Navier).
4. Regangan ekstrim beton tekan pada serat terluar tampang sebesar 0,003
5. Dalam perhitungan kapasitas momen ultimit, kuat tarik beton diabaikan dan seluruh gaya tarik dilimpahkan kepada tulangan baja tarik

III.3. Pola Keruntuhan Balok

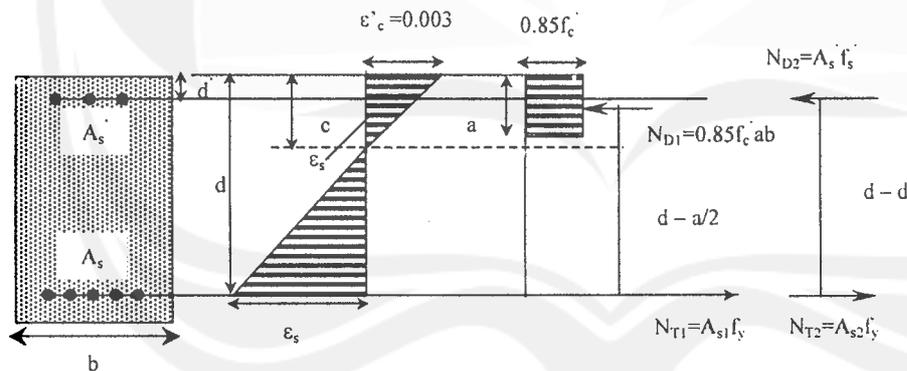
Berdasarkan jenis keruntuhan yang dialami, sifat penampang balok dibedakan menjadi

1. Tampang seimbang (*balanced*), pada keadaan ini tulangan tarik baja mulai luluh pada saat regangan beton tekan pada serat terluar mencapai nilai ekstrimnya. Besarnya regangan baja sama dengan regangan luluhnya.
2. Tampang tulangan lebih (*over-reinforced*), pada awal keruntuhan nilai regangan baja tarik masih dibawah regangan luluhnya sedangkan regangan beton tekan pada serat terluar sudah mencapai nilai ekstrimnya. Kondisi ini terjadi bila tulangan baja tarik yang digunakan lebih besar daripada tulangan baja tarik yang diperlukan pada kondisi seimbang. Keruntuhan pada kondisi ini bersifat getas (*brittle failure*), ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan sehingga dalam perencanaan, kondisi seperti ini selalu dihindari.

3. Tampang tulangan kurang (*under-reinforced*), keruntuhan terjadi diawali dengan luluhnya tulangan baja tarik sedangkan regangan beton tekan pada serat terluar belum mencapai nilai ekstrimnya. Kondisi ini terjadi bila tulangan baja tarik yang diperlukan berada pada kondisi seimbang. Keruntuhan pada kondisi ini bersifat daktail (*ductile failure*), ditandai dengan timbulnya retak-retak pada beton sehingga dalam perencanaan selalu digunakan.

III.4. Balok Beton Bertulangan Rangkap

Balok beton betulang dengan tulangan tarik dan desak sebagaimana tampak pada gambar 3.1 disebut juga balok beton bertulangan rangkap.



Gambar 3.1 Distribusi tegangan regangan balok tulangan rangkap

$$c = a / \beta_1 \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana c adalah jarak serat tekan terluar ke garis netral, a adalah tinggi blok tegangan beton dan β_1 adalah konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton.

III.4.1 Perhitungan β_1

Untuk alasan praktis maka hubungan antara distribusi tegangan dan regangan beton pada saat tercapainya kekuatan nominal dapat diambil sebagai distribusi tegangan persegi ekuivalen, dimana diambil intensitas tegangan beton rata-rata ditentukan sebesar $0,85.f_c'$ dan dianggap bekerja pada daerah tekan dari penampang balok selebar b dan sedalam a (Dipohusodo,1994), yang mana besarnya adalah sebagai berikut

$$a = \beta_1 \cdot c \dots\dots\dots(3.2)$$

Sesuai dengan standar SK SNI T – 15 – 1991 – 03 (DPU,1991) harga koefisien β_1 dan kuat tekan beton f_c' (Mpa) dapat dinyatakan sebagai berikut

$$f_c' \leq 30 \text{ Mpa}, \text{ maka } \beta_1 = 0,85 \dots\dots\dots(3.3)$$

$$f_c' \geq 30 \text{ Mpa}, \text{ maka } \beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) \geq 0,65 \dots\dots\dots(3.4)$$

III.4.2. Kompabilitas regangan

Dari diagram regangan pada gambar 3.1 dengan menggunakan hubungan dua buah segitiga yang sebangun, diperoleh persamaan sebagai berikut

$$\varepsilon_s = 0,003 \cdot \frac{d - c}{c} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$\varepsilon_s' = 0,003 \cdot \frac{c - d'}{c} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots(3.7)$$

Dimana ε_s adalah regangan tulangan baja tarik, ε_s' adalah regangan tulangan baja tekan, ε_y adalah regangan luluh baja, f_y adalah tegangan luluh baja, d adalah tinggi

efektif, yaitu jarak dari serat tepi tekan terluar beton terhadap titik berat tulangan tarik, d' adalah jarak dari serat tepi tekan terluar beton terhadap titik berat tulangan desak, dan E_s adalah modulus elastisitas baja.

III.4.3. Analisis balok tulangan rangkap

Balok tulangan rangkap dianalisis berdasarkan dua kondisi yaitu

1. Kondisi 1, tulangan baja desak mencapai regangan luluh sebelum beton desak mencapai regangan ekstrimnya. Pada kondisi ini tulangan tarik mencapai regangan luluh.
2. Kondisi 2, tulangan baja desak mencapai regangan luluh pada saat beton desak mencapai regangan ekstrimnya. Pada kondisi ini tulangan tarik mencapai regangan luluh.

Pada mulanya diasumsikan bahwa tulangan baja tarik dan desak dalam kondisi seimbang, sehingga gaya-gaya yang ada pada gambar 3.1 dapat dinyatakan sebagai berikut

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \dots\dots\dots (3.8)$$

$$C_s = A_s' \cdot f_y \dots\dots\dots (3.9)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (3.10)$$

Dimana C_c adalah resultante gaya desak dalam yang ditahan oleh beton, b adalah lebar penampang melintang beton, C_s adalah resultante gaya desak dalam yang ditahan oleh tulangan baja desak, A_s' adalah Luas tulangan baja desak, T_s adalah resultante gaya tarik dalam yang ditahan oleh tulangan baja tarik, dan A_s luas tulangan baja tarik. Persamaan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal $\Sigma H = 0$

$$C_c + C_s = T_s \dots\dots\dots (3.11)$$

Substitusikan persamaan (3.8), (3.9), (3.10) ke persamaan (3.11), diperoleh

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \dots\dots\dots (3.12)$$

Jarak serat beton tekan terluar ke pusat tulangan desak adalah sebagai berikut

$$d' = \text{selimut beton} + \phi \text{ sengkang} + 0,5 \cdot \phi \text{ tulangan desak} \dots\dots\dots (3.13)$$

ϕ sengkang = diameter tulangan sengkang

ϕ tulangan desak = diameter tulangan desak

Jarak serat beton tarik terluar ke pusat tulangan tarik adalah sebagai berikut

$$ds_2 = \text{selimut beton} + \phi \text{ sengkang} + 0,5 \cdot \phi \text{ tulangan tarik} \dots\dots\dots (3.14)$$

ϕ tulangan tarik = diameter tulangan tarik

Persamaan untuk mencari tinggi efektif penampang melintang beton adalah

$$d = H - ds_2 \dots\dots\dots (3.15)$$

H = Tinggi penampang melintang beton

Kemudian kontrol terhadap tulangan baja desak dan tulangan baja tarik .

Tulangan baja tarik diasumsikan berada pada kondisi *under-reinforced*, bila

$$\epsilon_s \geq \epsilon_y, \text{ maka } f_s = f_y \dots\dots\dots (3.16)$$

Tulangan baja desak diasumsikan berada pada dua kondisi seperti yang telah disebutkan diatas yaitu

Kondisi 1, bila

$$\epsilon_s' \geq \epsilon_y, \text{ maka } f_s' = f_y \dots\dots\dots (3.17)$$

$$Mn = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot a) + A_s' \cdot f_y (d - d') \dots\dots\dots (3.18)$$

Mn = kapasitas momen

Kondisi 2, bila

$$\epsilon_s' \leq \epsilon_y, \text{ maka } f_s' \leq f_y \dots\dots\dots (3.19)$$

Pada kondisi ini tulangan baja desak belum luluh sehingga harus dicari garis netral baru yang diperoleh dengan mengembangkan rumus ABC sebagai berikut

$$A = \frac{(600 \cdot As') - (As \cdot fy)}{1,7 \cdot fc \cdot b} \dots\dots\dots(3.20)$$

$$B = \frac{600 \cdot As' \cdot \beta \cdot d'}{0,85 \cdot fc \cdot b} \dots\dots\dots(3.21)$$

$$X_{1,2} = -B \pm \sqrt{B^2 + C} \dots\dots\dots(3.22)$$

$$fs' = 0,003 \cdot Es \cdot \frac{X - (\beta - d')}{X} \dots\dots\dots(3.23)$$

$$Mn = 0,85 \cdot fc' \cdot X \cdot b \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot X) + As' \cdot fs (d - d') \dots\dots\dots(3.24)$$

$$Mu = 0,8 \cdot Mn \dots\dots\dots(3.25)$$

Mu = kapasitas momen ultimit

III.4.4. Rasio tulangan minimum dan maksimum

Untuk menghindari kehancuran yang diawali hancurnya beton tekan terjadi secara mendadak tanpa memberikan peringatan, maka standar SK SNI T-15-1991-03 menetapkan pembatasan penulangan yang perlu diperhatikan (Dipohusodo,1994). Pada pasal 3.3.3 ditetapkan bahwa jumlah tulangan baja tarik tidak boleh lebih dari 0,75 jumlah baja tarik yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, yang dinyatakan sebagai berikut

$$As \leq 0,75 \cdot Asb \dots\dots\dots(3.26)$$

$$\rho = \frac{As}{b \cdot d} \dots\dots\dots(3.27)$$

Apabila pembatasan diberlakukan maka rasio penulangan maksimum yang diizinkan juga dibatasi dengan 0,75 kali rasio penulangan keadaan seimbang (ρ_b), (Dipohusodo,1994) yang dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b \dots \dots \dots (3.28)$$

Batas minimum penulangan juga perlu dibatasi, hal ini untuk menjamin tidak terjadinya hancur secara tiba-tiba (Dipohusodo,1994) dan besarnya adalah

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots \dots \dots (3.29)$$

III.4.5. Faktor beban

Beban rencana atau beban terfaktor diperoleh dari mengalikan beban kerja dengan faktor beban. Untuk beban mati dan beban hidup SK SNI T-15- 1991-03 pasal 3.2.2 ayat 1(DPU,1991) menetapkan bahwa beban rencana, gaya geser rencana dan momen rencana ditetapkan hubungannya dengan beban kerja melalui persamaan

$$U = 1,2 D + 1,6 L \dots \dots \dots (3.30)$$

U = kuat rencana

D = beban mati

L = beban hidup

Ketentuan faktor beban untuk jenis pembebanan lainnya tergantung kombinasi pembebannya seperti terdapat dalam SK SNI T-15- 1991-03 pasal 3.2.2 ayat 2, 3 dan 4 (DPU,1991). Untuk memperhitungkan berat struktur, berat satuan beton bertulang rata-rata menurut SK SNI T-15-1991-03 (DPU,1991) ditetapkan sebesar $2400 \text{ kg/m}^3 \approx 24 \text{ KN/ m}^3$.

III.4.6. Faktor reduksi kekuatan (ϕ)

Pemakaian faktor reduksi dimaksudkan untuk memperhitungkan kemungkinan penyimpangan terhadap kekuatan bahan, pengerjaan, dan ketidaktepatan ukuran. Standar SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.3 ayat 2 (DPU,1991)) dan ditulis kembali pada Tabel 3.1 memberikan faktor reduksi kekuatan ϕ untuk berbagai mekanisme, antara lain :

Tabel 3.1 Faktor Reduksi Kekuatan

Sifat Beban	ϕ
Lenturan tanpa beban aksial	0,80
Geser dan puntir	0,60
Tarik aksial, tanpa dan dengan lentur	0,80
Tarik aksial, tanpa dan dengan lentur (sengkang)	0,65
Tarik aksial, tanpa dan dengan lentur (spiral)	0,70
Tumpuan pada beton	0,70

III.4.7. Kuat tekan dan tegangan leleh baja

Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum f_c' dengan satuan N/mm^2 atau MPa (Mega Pascal). Untuk struktur beton bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17-30 MPa.

Tegangan leleh kuat baja ditentukan melalui prosedur pengujian standar sesuai SII 0136-84 dengan ketentuan bahwa tegangan leleh adalah tegangan baja pada saat meningkatnya tegangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya (Dipohusodo, 1994).

Dalam perencanaan struktur beton bertulang, keamanan akan terpenuhi apabila keadaan batas diperhitungkan dan memenuhi syarat yang telah ditentukan.

Besarnya nilai f_c' dan f_y seperti Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Kuat Tekan Beton

Mutu Beton	f_c' (MPa)
15	15
20	20
25	25
30	30
35	35

Tabel 3.3 Kuat Tarik Baja

Mutu Baja	f_y (MPa)
240	240
300	300
400	400

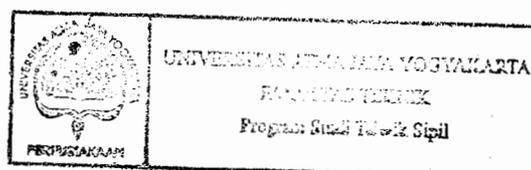
III.4.8. Modulus elastisitas

Nilai modulus elastisitas beton dan baja tulangan ditentukan berdasarkan kemiringan awal kurva tegangan dan regangan. Standar SK SNI T-15-1991-03 (DPU,1991) menetapkan besarnya nilai modulus elastisitas adalah sebagai berikut

1. $E_s = 200.000$ MPa untuk tulangan non praktekan
2. Untuk $1500 \text{ kg/m}^3 \leq W_c \leq 2500 \text{ kg/m}^3$ maka $E_c = (W_c)^{1,5} \cdot 0,043 \cdot \sqrt{f_c'}$

Untuk beton normal, $E_c = 4700 \cdot \sqrt{f_c'}$

Modulus elastisitas beton (E_c) dapat dilihat pada tabel 3.4



Tabel 3.4 Modulus Elastisitas Beton

f_c' (MPa)	E_c (MPa)
17	19500
20	21000
25	23500
30	25700
35	27800
40	29700

