

Struktur Beton-1

Lentur Pada Balok Persegi

Lentur Pada Balok Persegi

Dalam proses disain suatu balok beton bertulang dengan metode kekuatan (*Strength Design Method*) atau yang dikenal pula dengan metode ultimit, mengambil beberapa asumsi sebagai berikut :

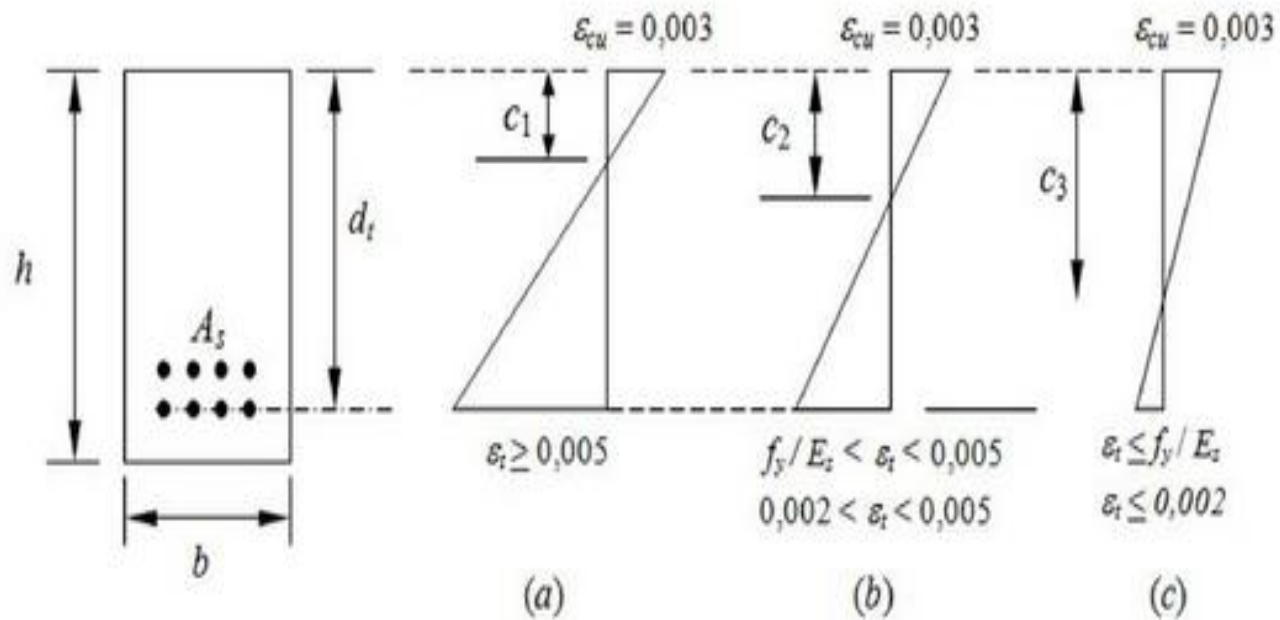
- Regangan yang terjadi pada beton dan tulangan baja adalah sama
- Regangan pada beton berbanding lurus terhadap jaraknya ke sumbu netral penampang
- Modulus Elastisitas, $E_s = 200.000$ MPa, dan tegangan yang timbul pada tulangan baja dalam daerah elastis sama dengan nilai regangan dikalikan dengan E_s
- Penampang datar akan tetap datar setelah terjadi lentur
- Kuat tarik dari beton diabaikan
- Pada kondisi keruntuhan regangan maksimum yang terjadi pada serat tekan beton terluar, besarnya adalah sama dengan $\epsilon_{cu} = 0,003$
- Untuk perhitungan kuat rencana, bentuk dari distribusi tegangan tekan beton diasumsikan berupa persegi empat, sesuai dengan asumsi dalam SNI 2847:2013 pasal 10.2

Ketentuan mengenai perencanaan beton bertulang biasa maupun beton prategang dalam SNI 2847:2013 pasal 10.3, didasarkan pada konsep regangan yang terjadi pada penampang beton dan tulangan baja. Secara umum ada 3 (tiga) macam jenis penampang yang dapat didefinisikan :

- Kondisi regangan seimbang (***balanced strain condition***)
- Penampang dominasi tekan (***compression controlled section***)
- Penampang dominan tarik (***tension controlled section***)

Penampang lain yang berada di antara penampang dominan tekan dan dominan tarik, dinamakan berada pada daerah transisi. Di samping itu ditambahkan pula bahwa regangan tarik, ϵ_t , pada kuat nominal di daerah transisi, tidak boleh kurang dari 0,004 untuk setiap komponen struktur lentur tanpa beban aksial, ataupun bila ada beban aksial tidak melebihi $0,10 \cdot f'_c \cdot A_g$. Dengan A_g adalah luas gross penampang beton.

- **Kondisi regangan seimbang (*balanced strain condition*)**, terjadi pada suatu penampang ketika tulangan baja tarik mencapai regangan luluh, ϵ_y , sedangkan beton yang tertekan mencapai regangan ultimitnya sebesar 0,003. Penampang demikian dinamakan sebagai penampang seimbang
- **Penampang dominasi tekan (*compression controlled section*)**, terjadi apabila regangan tulangan tarik terluar sama atau kurang dari batasan regangan yang diijinkan, sedangkan beton mencapai regangan ultimit sebesar 0,003. Untuk tulangan baja dengan $f_y = 400$ MPa, maka batasan regangan tekan tersebut adalah sama dengan 0,002. Kasus ini pada umumnya terjadi pada komponen struktur kolom yang menerima gaya aksial dan momen lentur
- **Penampang dominan tarik (*tension controlled section*)**, terjadi ketika regangan baja mencapai 0,005 atau lebih, yang terjadi ketika beton mencapai regangan ultimitnya sebesar 0,003



(a) Penampang Dominan Tarik; (b) Penampang Daerah Transisi; (c) Penampang Dominan Tekan

Faktor Reduksi Kekuatan

Kuat nominal dari suatu komponen struktur (baik yang memikul lentur, beban aksial, geser maupun puntir), yang dihitung berdasarkan kaidah – kaidah yang berlaku, harus dikalikan dengan suatu faktor reduksi yang besarnya kurang dari satu.

Dalam SNI 2847:2013, pasal 9.3 digunakan beberapa nilai faktor reduksi kekuatan, ϕ , sebagai berikut :

- untuk penampang dominan tarik $\phi = 0,90$
- untuk penampang dominan tekan
 - dengan tulangan spiral $\phi = 0,75$
 - tulangan non-spiral $\phi = 0,65$
- untuk geser dan puntir $\phi = 0,75$
- untuk tumpu pada beton $\phi = 0,65$

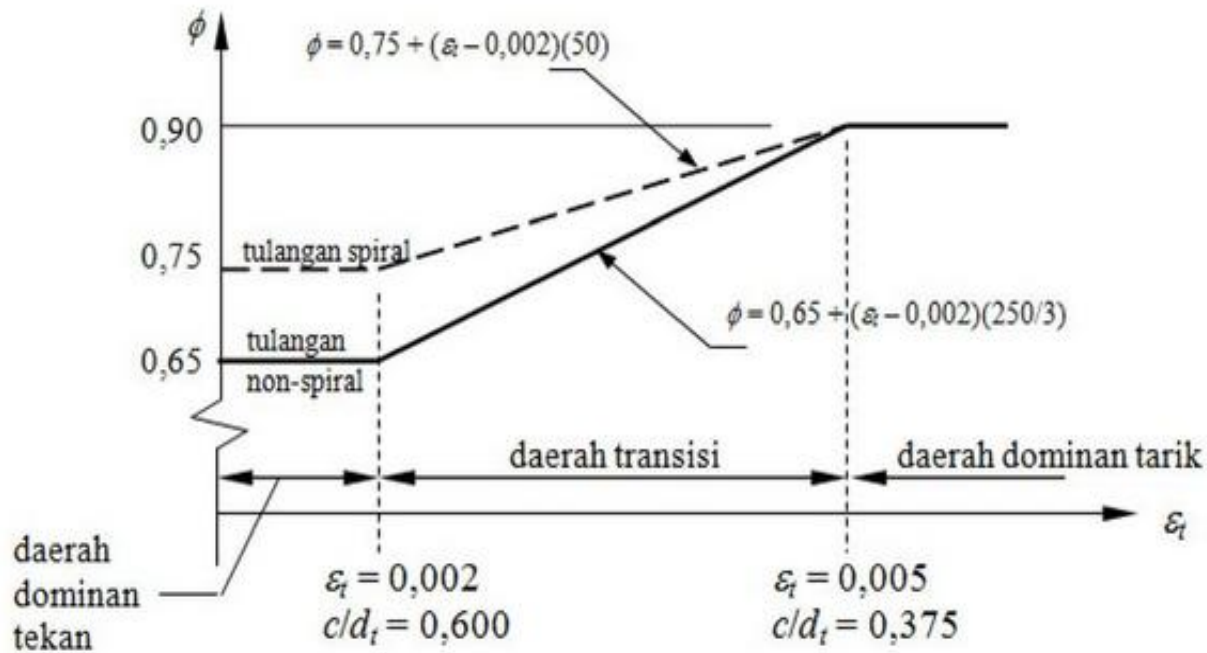
Faktor Reduksi Kekuatan

Nilai ϕ ditentukan berdasarkan regangan tarik pada serat terluar, ε_t (*Net Tensile Strain, NTS*)

Tabel Batasan Nilai Regangan

Jenis Penampang	Regangan Beton	Regangan Tulangan	Untuk $f_y = 400$ MPa
Dominan Tekan	0,003	$\varepsilon_t \leq f_y/E_s$	$\varepsilon_t = 0,002$
Dominan Tarik	0,003	$\varepsilon_t \geq 0,005$	$\varepsilon_t \geq 0,005$
Daerah Transisi	0,003	$f_y/E_s < \varepsilon_t < 0,005$	$0,002 < \varepsilon_t < 0,005$
Regangan Seimbang	0,003	$\varepsilon_t = f_y/E_s$	$\varepsilon_t = 0,002$
Daerah Transisi (lentur)	0,003	$0,004 \leq \varepsilon_t < 0,005$	$0,004 \leq \varepsilon_t < 0,005$

Faktor Reduksi Kekuatan



Untuk komponen struktur lentur beton bertulang, nilai ϵ_t harus sama atau lebih besar daripada 0,004 !

Distribusi Tegangan Tekan Ekuivalen

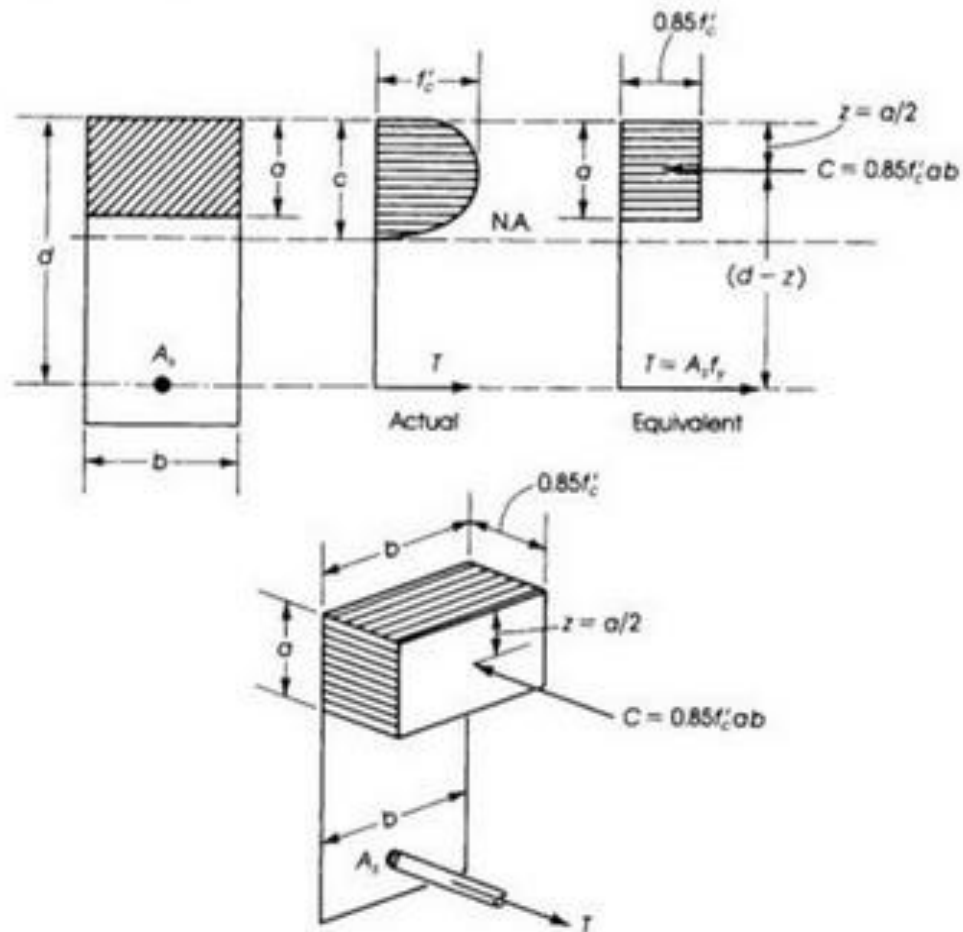
- Hubungan antara tegangan dan regangan tekan beton dapat dihitung berdasarkan kurva pengujian tegangan-regangan, atau dapat diasumsikan berbentuk persegi empat, trapesium, parabola atau bentuk lain yang dapat merepresentasikan kuat lentur dari penampang.
- Guna penyederhanaan dalam analisis maupun disain penampang beton, maka dalam SNI 2847:2013 pasal 10.2.7, diijinkan untuk menggunakan distribusi blok tegangan ekuivalen berbentuk **empat persegi panjang** untuk perhitungan kuat lentur nominal.
- Model blok tegangan tersebut sering juga dikenal sebagai **Blok Tegangan Whitney**, yang pertama kali diperkenalkan dalam jurnal ACI di tahun 1937.

Distribusi Tegangan Tekan Ekuivalen

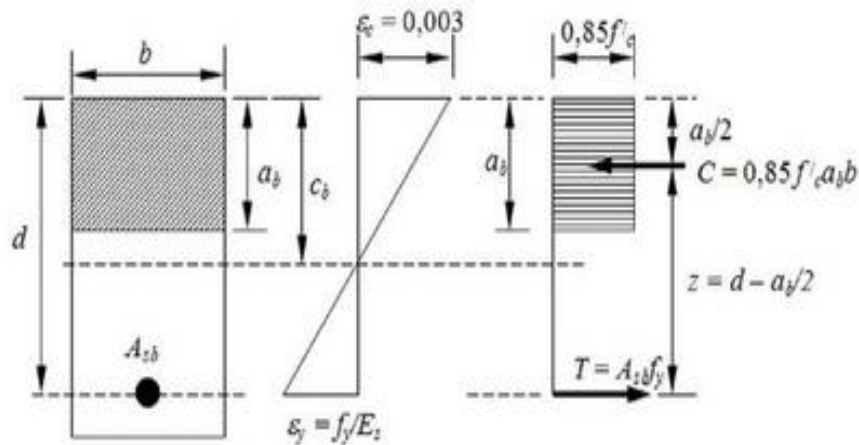
Blok tegangan tersebut didefinisikan sebagai berikut :

- tegangan tekan merata sebesar $0,85f'_c$ diasumsikan terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar sumbu netral sejarak $a = \beta_1 c$ dari serat beton yang mengalami regangan tekan maksimum
- Jarak c dari serat dengan regangan tekan maksimum ke sumbu netral harus diukur tegak lurus sumbu tersebut
- Faktor β_1 dapat dihitung sebagai berikut :
 - untuk kuat tekan beton, $f'_c \leq 28$ Mpa $\beta_1 = 0,85$
 - untuk $28 \text{ MPa} < f'_c < 56 \text{ MPa}$ $\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7}$
 - Untuk f'_c lebih dari 56 Mpa $\beta_1 = 0,65$

Distribusi Tegangan Tekan Ekuivalen



Penampang Persegi Bertulangan Tunggal



$$c_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) d \quad \rho_b = \frac{A_{sb}}{bd}$$

$$a_b = \frac{A_{sb} \cdot f_y}{0,85 f'_c b}$$

$$\rho_b = 0,85 \cdot \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

Penampang Persegi Pada Kondisi Seimbang

$$C = T$$

$$0,85 f'_c a_b b = A_{sb} f_y$$

Momen nominal dari suatu balok persegi bertulangan tunggal dihitung dengan mengalikan nilai C atau T pada Gambar dengan jarak antara kedua gaya

Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

- Momen nominal dari suatu balok persegi bertulangan tunggal dihitung dengan mengalikan nilai C atau T pada Gambar dengan jarak antara kedua gaya

$$M_n = C \cdot z = T \cdot z$$

$$M_n = 0,85 f'_c a \cdot b \left(d - \frac{a}{2} \right) = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

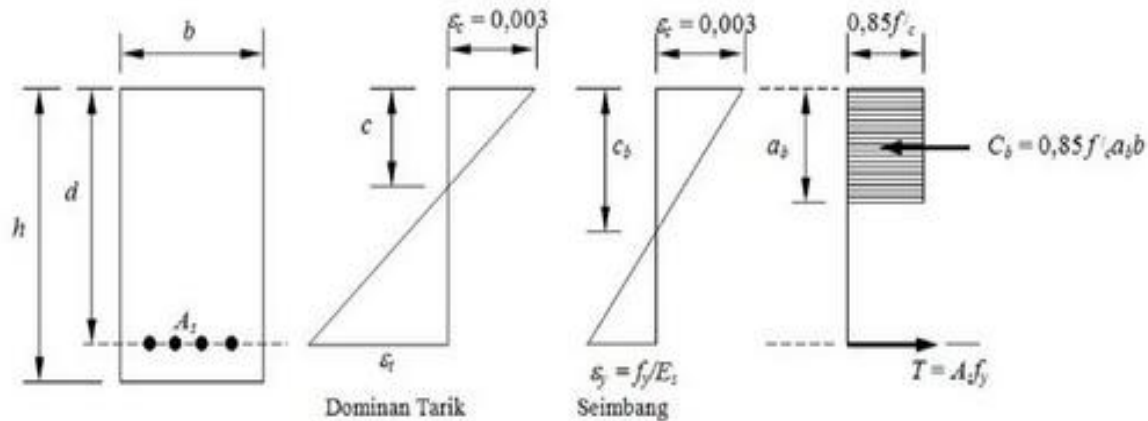
$$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \left(d - \frac{A_s \cdot f_y}{1,7 f'_c \cdot b} \right) = \phi \rho f_y b d^2 \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c} \right)$$

$$\phi M_n = R_u b d^2$$

$$\text{dengan } R_u = \phi \rho f_y \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c} \right)$$

Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

- SNI 2847:2013 pasal 10.3.5 mensyaratkan bahwa nilai ϵ_t pada kondisi kuat lentur nominal harus lebih besar atau sama dengan 0,004.



$$c_b = \frac{a_b}{\beta_1} = \frac{A_{sb} \cdot f_y}{0,85 f'_c \beta_1 b} = \frac{\rho_b f_y d}{0,85 f'_c \beta_1}$$

$$c = \frac{\rho \cdot f_y d}{0,85 f'_c \beta_1}$$

$$\left. \begin{array}{l} c_b = \frac{a_b}{\beta_1} = \frac{A_{sb} \cdot f_y}{0,85 f'_c \beta_1 b} = \frac{\rho_b f_y d}{0,85 f'_c \beta_1} \\ c = \frac{\rho \cdot f_y d}{0,85 f'_c \beta_1} \end{array} \right\} \frac{c}{c_b} = \frac{\rho}{\rho_b} \Rightarrow \frac{c}{d} = \frac{\rho}{\rho_b} \frac{c_b}{d} = \left(\frac{\rho}{\rho_b} \right) \left(\frac{0,003}{0,003 + f_y / E_s} \right)$$

$$\frac{\rho}{\rho_b} = \frac{0,003 + f_y / E_s}{0,003 + \epsilon_t}$$

Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

- Dalam hal desain balok atau komponen struktur lentur lainnya, batas maksimum rasio tulangan dapat diambil dengan menggunakan nilai $\varepsilon_t = 0,005$, sehingga :

$$\rho_{maks} = \left(\frac{0,003 + f_y / E_s}{0,008} \right) \rho_b$$



Jika tulangan baja mempunyai $f_y = 400$ MPa dan $E_s = 200.000$ MPa, maka $\rho_{maks} = 0,625\rho_b$

Tabel Nilai ρ dan $R_u (=M_u/bd^2)$ Untuk Penampang Dominan Tarik, $\varepsilon_t = 0,005$ dan $\phi = 0,90$

f'_c (MPa)	f_y (MPa)	β_1	ρ_b	ρ_{maks}	R_u (MPa)
20	400	0,850	0,0217	0,01355	4,100
25	400	0,850	0,0271	0,01693	5,125
30	400	0,836	0,0320	0,01998	6,065
35	400	0,800	0,0357	0,02231	6,828
40	400	0,764	0,0390	0,02436	7,513

Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

- Pasal 10.3 dari SNI 2847:2013 mensyaratkan nilai ε_t tidak boleh kurang dari 0,004, untuk menjamin tingkat daktilitas serta memperlihatkan tanda – tanda yang nampak secara visual sebelum terjadi keruntuhan.
- Bila nilai ε_t diambil sebesar 0,004, maka :

$$\frac{\rho}{\rho_b} = \frac{0,003 + f_y / E_s}{0,007}$$



Jika tulangan baja mempunyai $f_y = 400$ MPa dan $E_s = 200.000$ MPa, maka $\rho_{maks} = 0,714\rho_b$

- Namun faktor ϕ , tidak dapat diambil sebesar 0,9, karena penampang berada pada daerah transisi

Tabel Nilai ρ dan $R_u (=M_u/bd^2)$ Untuk Penampang Daerah Transisi, $\varepsilon_t = 0,004$ dan $\phi = 0,817$

f'_c (MPa)	f_y (MPa)	β_1	ρ_b	ρ_{maks}	R_u (MPa)
20	400	0,850	0,0217	0,01548	4,138
25	400	0,850	0,0271	0,01935	5,173
30	400	0,836	0,0320	0,02283	6,126
35	400	0,800	0,0357	0,02550	6,905
40	400	0,764	0,0390	0,02784	7,609

Penampang Persegi Bertulangan Tunggal

- Apabila momen terfaktor yang bekerja pada balok cukup kecil, sehingga luas tulangan baja yang dibutuhkan juga sedikit, maka dalam peraturan (SNI 2847:2013 pasal 10.5.1) disyaratkan perlunya memberikan tulangan minimum, yang besarnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$A_{s\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_w \cdot d \geq \frac{1,4}{f_y} b_w \cdot d$$

- Atau dapat dinyatakan dalam bentuk rasio tulangan :

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} \geq \frac{1,4}{f_y}$$