

Ir. Lilis Indriani, S.T., M.T., IPM., ASEAN ENG.

BAHAN AJAR

STRUKTUR BETON BERTULANG I



litrus.

BAHAN AJAR

STRUKTUR BETON BERTULANG I

Ir. Lilis Indriani, S.T., M.T., IPM., ASEAN ENG.

BAHAN AJAR
STRUKTUR BETON BERTULANG I

Ditulis oleh :
Ir. Lilis Indriani, S.T., M.T., IPM., ASEAN ENG.

Diterbitkan, dicetak, dan didistribusikan oleh
PT. Literasi Nusantara Abadi Grup
Perumahan Puncak Joyo Agung Residence Kav. B11 Merjosari
Kecamatan Lowokwaru Kota Malang 65144
Telp : +6285887254603, +6285841411519
Email: literasinusantaraofficial@gmail.com
Web: www.penerbitlitnus.co.id
Anggota IKAPI No. 340/JTI/2022



Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang mengutip
atau memperbanyak baik sebagian ataupun keseluruhan isi buku
dengan cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

Cetakan I, Januari 2024

Perancang sampul: Noufal Fahriza
Penata letak: Noufal Fahriza

ISBN : 978-623-114-466-9
viii + 102 hlm. ; 15,5x23 cm.

©Januari 2024

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang atas segala rahmat dan hidayah-Nya, hingga penyusun dapat menyelesaikan Buku ini.

Buku ini berjudul Bahan Ajar Struktur Beton Bertulang I. Penyusunan Buku ini merupakan salah satu syarat untuk Modul Pembelajaran.

Pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayah, bunda, anak dan suami yang selalu mendukung dalam menyelesaikan Buku ini.
2. Teman – teman Dosen di Politeknik Sampit yang banyak memberikan motivasi dalam menyelesaikan Buku Ini.

Menyadari adanya keterbatasan pengetahuan, referensi dan pengalaman, penyusun mengharapkan saran dan masukan demi lebih baiknya skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga buku ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Sampit, November 2023

Penyusun

DAFTAR ISI

Kata Pengantar.....	iii
Daftar Isi.....	v

MODUL I

MATERIAL BETON BERTULANG (ANALISIS TEGANGAN-REGANGAN DAN KONSEP DASAR PENULANGAN)	1
Kurva Beton f_c - ϵ Tekan.....	1
Kekuatan Tarik Beton	3
Modulus Elastisitas Beton	4
Konversi Kuat Tekan Beton Kubus vs Silinder.....	4
Kurva Tegangan-Regangan Tulangan Baja.....	5
Karakter Leleh Tulangan Baja.....	6
Baja Tulangan.....	7
Spesifikasi Baja Tulangan	7
Konsep Beton Bertulang	8
Kombinasi Beton dan Baja Tulangan	8
Konsep Dasar Penempatan Penulangan Balok Lentur	9
Umpan Balik Modul 1	11

MODUL 2

METODE PERHITUNGAN BETON

(BERDASARKAN SK.SNI.T-15-1991-03).....13

Konsep Perhitungan Beton 13

Diagram Tegangan Regangan Baja 14

Diagram Regangan Blok Tegangan Ekuivalen Beton 15

Keamanan Struktur 15

Nilai Beban Mati..... 17

Nilai Beban Hidup..... 18

Nilai Beban Angin..... 18

Umpan Balik Modul 2 19

MODUL 3

LENTUR PADA BALOK PERSEGI (TULANGAN

TUNGGAL).....21

Asumsi Dasar Dalam Perencanaan21

Diagram Tegangan Regangan Baja22

Diagram Regangan Blok Tegangan Ekuivalen Beton22

Keseimbangan Gaya.....23

Desain Penulangan Lentur Balok Persegi Bertulangan `

Tunggal33

Desain Penampang Balok Persegi Bertulangan ` Tunggal.....34

Umpan Balik Modul 337

MODUL 4

LENTUR PADA BALOK PERSEGI (TULANGAN

RANGKAP) 39

Desain Balok Segiempat Bertulangan Rangkap (Doubly
Reinforced Section).....39

Analisis Balok Segiempat Bertulangan Rangkap.....46

Analisis Balok Persegi Bertulangan Rangkap Simetris ($A_s = A_s'$)	48
Analisis Diagram Regangan pada Tulangan Tekan.....	50
Umpan Balik Modul 4	59

MODUL 5

LENTUR PADA BALOK T DAN L (TULANGAN TUNGGAL)	61
Desain Analisis Balok T dan Balok L	61
Desain Penulangan Lentur Penampang Balok T	73
UMPAN BALIK MODUL 5	78

MODUL 6

GESER PADA BALOK.....	79
Pendahuluan	79
Kombinasi dari Tegangan Geser dan Tegangan Lentur.....	80
Gaya Geser V_u	92
Perencanaan Tulangan Geser	97
Umpan Balik Modul 6	100



MODUL I

MATERIAL BETON BERTULANG (ANALISIS TEGANGAN- REGANGAN DAN KONSEP DASAR PENULANGAN)

Kurva Beton f - ε Tekan

Umumnya perilaku dari material beton digambarkan sebagai responnya terhadap beban uniaxial tekan dari test kuat silinder umur 28 hari. Diperlukan mesin tekan yang kuat (kaku) untuk mendapat kurva yang lengkap (kurva setelah melampaui titik puncak).

$$f_c = \frac{P}{A} \text{ atau} \quad (1.1)$$

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta l}{l} \quad (1.2)$$

dimana

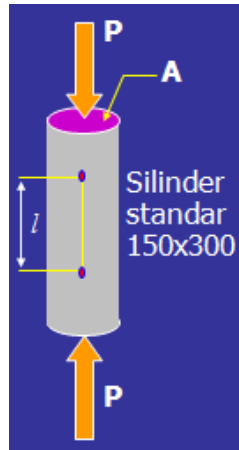
f_c = kuat tekan beton (N/mm^2)

P = beban uniaxial (N)

A = luas permukaan benda uji (mm^2)

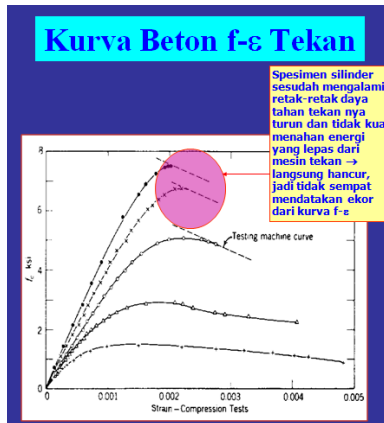
- ε_c = regangan beton
- Al = perpendekan benda uji (mm)
- l = tinggi benda uji (mm)

Gambar 1.1 menunjukkan proses pembebanan tekan pada material beton dengan benda uji berbentuk silinder.



Gambar 1.1 Uji Kuat Tekan Beton Silinder

Kurva tegangan regangan beton untuk benda uji silinder seperti pada Gambar 1.2



Gambar 1.2 Kurva Tegangan – Regangan Beton Silinder

Secara umum bentuk tegangan –regangan beton menurut Hognestad seperti Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Kurva Tegangan Regangan Beton Empiris

Kurva pendekatan empiris ini banyak digunakan dalam riset untuk kondisi beban uniaxial tekan.

Kekuatan Tarik Beton

Kuat tarik beton jauh lebih rendah dari kuat tekannya, salah satu cara untuk mencari data dengan split cylinder test. Dari test didapat hubungan (approximate) dari modulus of rupture beton.

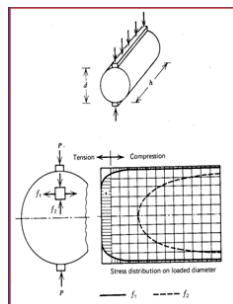
$$f_r = K \cdot \sqrt{f'_c} \tag{1.3}$$

dimana

f_r = kuat tekan beton rupture (MPa)

K = koefisien (0,7)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)



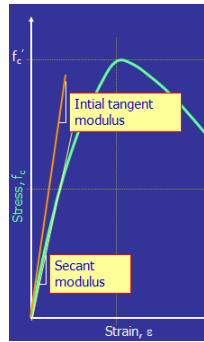
Gambar 1.4 Uji Kuat Tarik Beton

Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton selalu berubah tergantung kuat tekannya, nilainya juga tergantung dengan umur beton. Biasanya yang dianggap cukup mewakili adalah secant modulus untuk 25 s/d 50%. f'_c . SNI 1991 menentukan nilai modulus elastisitas untuk beton normal adalah:

$$E = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (1.4)$$

SNI 1991 juga menetapkan nilai ϵ_c adalah 0,003. Gambar 1.5 menunjukkan modulus elastisitas beton pada kurva tegangan – regangan.



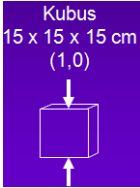
Gambar 1.5 Kurva Modulus Elastisitas Beton

Konversi Kuat Tekan Beton Kubus vs Silinder

Konversi kuat tekan beton untuk model silinder terhadap model kubus.

Tabel 1.1 Konversi Kuat Tekan Beton

Benda Uji	Kokoh Tekan Beton
<p>Silinder 15 x 30 cm (0,83)</p>	$f'_c = 15, 20, 25, 30, 35, \dots$ (MPa)

 <p>Kubus 15 x 15 x 15 cm (1.0)</p>	K-175, 225, 300 (kg/cm ²)
--	---------------------------------------

Sedangkan konversi kuat tekan kubus vs silinder seperti Tabel 1.2

Tabel 1.2 Konversi Kuat Tekan Kubus vs Silinder

Benda Uji Kubus (150 mm x 150 mm x 150 mm) (MPa)	Benda Uji Silinder (150 mm x 300 mm) (MPa)
15	12
20	16
25	20
30	25
35	30
40	35
45	40
50	45
55	50

Persamaan yang digunakan untuk konversi dari kg/cm² dan MPa adalah:

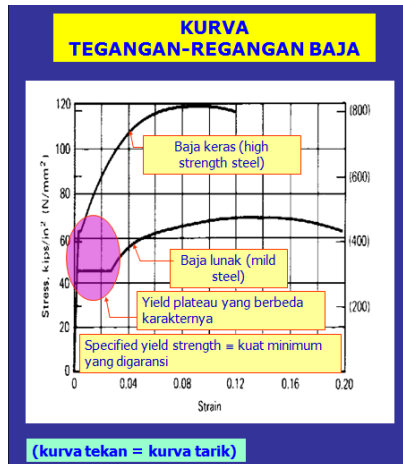
$$f'_c = \left[0,75 + 0,2 \cdot 10 \log \left(\frac{\sigma'_{bk}}{15} \right) \right] \sigma'_{bk} \quad (1.5)$$

dimana

σ'_{bk} = kuat tekan beton dalam kg/cm²

Kurva Tegangan-Regangan Tulangan Baja

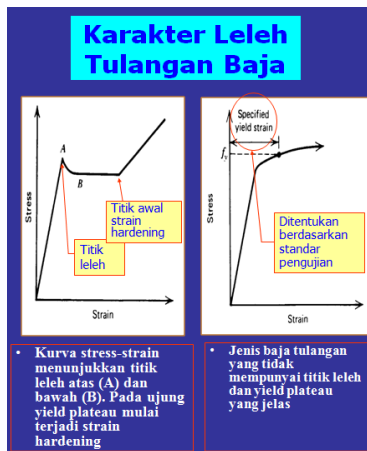
Kurva tegangan regangan baja dapat dilihat pada Gambar 1.6 sebagai berikut:



Gambar 1.6 Kurva Tegangan Regangan Baja

Karakter Leleh Tulangan Baja

Karakter leleh tulangan baja sangat tergantung dengan mutu baja tulangan. Pada Gambar 1.7 dijelaskan perbedaan karakter leleh tulangan baja.



Gambar 1.6 Karakter Leleh Tulangan Baja

Baja Tulangan

Jenis baja tulangan ada yang berbentuk tulangan polos dan tulangan spiral (uniform).

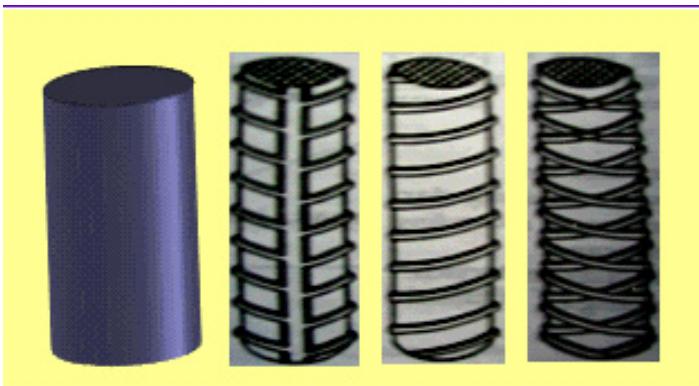
Tabel 1.3 Jenis dan Notasi Tulangan Baja

Jenis	Notasi
BjTP 24 Baja Tulangan Polos dengan $f_y = 240$ MPa	ϕ 5 ϕ 6, Balok, Kolom ϕ 10-50,..... Pelat
BjTP 40 Baja Tulangan Uniform dengan $f_y = 400$ MPa	D 5D6, Balok, Kolom D10-50,..... Pelat

Dalam praktek mungkin masih dijumpai istilah:

U24 = f_y 240 MPa untuk mutu 2400 kg/cm²

U39 = f_y 390 MPa untuk mutu 3900 kg/cm²



Gambar 1.7 Jenis Tulangan Baja

Spesifikasi Baja Tulangan

Spesifikasi baja tulangan untuk jenis polos dan jenis uniform adalah sebagai berikut:

Tabel 1.4 Spesifikasi Baja Tulangan

Jenis Baja Tulangan	Diameter nominal (mm)	Luas nominal (mm ²)	Tegangan Leleh, f_y (MPa)	Kuat tarik, f_u (MPa)	
BjTP-24	ϕ 6	6	28.30	Minimum 240	Minimum 390
	ϕ 8	8	50.30		
	ϕ 10	10	78.50		
	ϕ 12	12	113.00		
	ϕ 16	16	201.00		
	ϕ 19	19	284.00		
	ϕ 22	22	230.00		
	ϕ 25	25	491.00		
BjTD-40	D 10	10	78.50	Minimum 400	Minimum 570
	D 13	13	133.00		
	D 16	16	201.00		
	D 19	19	284.00		
	D 22	22	380.00		
	D 25	25	491.00		
	D 29	29	661.00		
	D 32	32	804.00		

Konsep Beton Bertulang

Konsep beton bertulang merupakan gabungan antara kekuatan tekan tetapi kurang terhadap kekuatan tarik. Jadi, fungsi tarik dari beton digantikan oleh tulangan baja.

Kombinasi Beton dan Baja Tulangan

Kombinasi beton dan baja tulangan dapat bekerja dengan baik karena:

1. Lekatan yang kuat antara baja tulangan dengan beton yang menyelimutinya mencegah terjadinya slip, beton memiliki impermeabilitas tinggi melindungi baja tulangan dari karat.
2. Koefisien muai akibat temperatur hampir sama antara beton dan baja.

Konsep Dasar Penempatan Penulangan Balok Lentur

Daerah tekan pada balok beton berada pada bagian atas sedangkan daerah tarik berada pada bagian tulan.



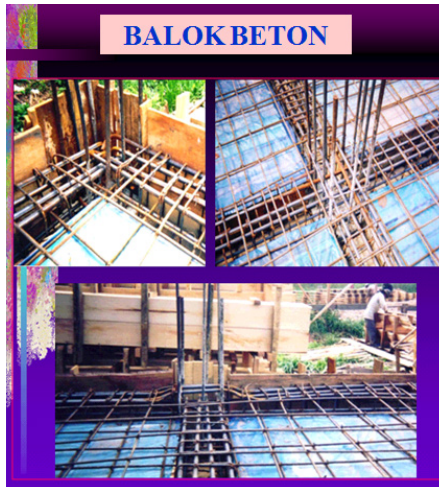
Gambar 1.8 Konsep Dasar Penempatan Penulangan Balok Lentur

Beberapa contoh penulangan pada beton:

1. Kolom



2. Balok



3. Pelat Lantai



4. Pondasi



Umpan Balik Modul 1

Soal 1

Sebutkan keuntungan dan kerugian penggunaan material beton sebagai bahan bangunan

Soal 2

Mengapa beton dapat dikombinasikan dengan tulangan baja dan mengapa beton memerlukan tulangan baja sebagai tulangan tarik

Soal 3

Jelaskan perbedaan kuat tekan karakteristik kubus dan kuat tekan karakteristik silinder

Soal 4

Hitung nilai kuat tekan karakteristik silinder (f_c') jika nilai kuat tekan karakteristik kubus 375 kg/cm^2 .



MODUL 2

METODE PERHITUNGAN BETON (BERDASARKAN SK.SNI.T-15-1991-03)

Konsep Perhitungan Beton

Parameter yang digunakan dalam perhitungan beton adalah

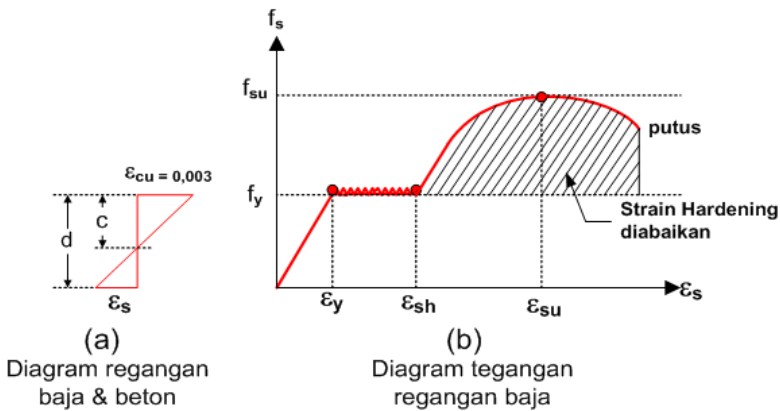
1. Analisis keseimbangan dalam perencanaan ada 2 yaitu:
 - a. Keseimbangan statis
 - b. Kompatibilitas dari tegangan
2. Asumsi perhitungan Momen Lentur Nominal (M_n) adalah:
 - a. Regangan baja (ϵ_s) dan regangan beton (ϵ_c) dianggap berbanding lurus dengan jarak terhadap garis netral (c).
 - b. Regangan beton pada serat tekan (ϵ_{cu}) adalah 0,003
3. Penambahan akibat strain hardening baja diabaikan:
 - a. $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow f_s = E_s \cdot \epsilon_s$
 - b. $\epsilon_s \geq \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y$

- c. $\epsilon_s < \epsilon_v \rightarrow T = A_s \cdot f_s = A_s \cdot E_s \cdot \epsilon_s$
 d. $\epsilon_s \geq \epsilon_y \rightarrow T = A_s \cdot f_y$
4. Modulus elastisitas baja $E_s E_s = 200000$ MPa.
 5. Kekuatan tarik beton diabaikan

Diagram Tegangan Regangan Baja

Diagram tegangan regangan baja membentuk empat daerah yaitu

1. Daerah elastic yaitu daerah dimana bentuk material masih dapat kembali setelah mengalami regangan.
2. Daerah strain hardening adalah daerah garis lurus dimana regangan mengalami penambahan sementara tegangan tetap.
3. Daerah plastis yaitu daerah dimana peningkatan regangan bersamaan dengan peningkatan tegangan.
4. Daerah rupture yaitu daerah dimana tegangan akan mengalami penurunan sedangkan regangan bertambah sampai kondisi material hancur.



Gambar 2.1 Diagram Tegangan Regangan Baja

Diagram Regangan Blok Tegangan Ekuivalen Beton

Menurut SK.SNI T-15-1991-03 Pasal 3.3.2 butir 7.(3), nilai reduksi (β_1) = 0,08 untuk setiap kenaikan 10 MPa dari (f'_c) = 30 MPa. Ketentuan ini dirumuskan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Koefisien Blok Beton

Koefisien Blok Strees β_1	Mutu Beton (f'_c) MPa
$\beta_1 = 0,85$	$0 \leq f'_c \leq 30$
$\beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (f'_c - 30)$	$30 \leq f'_c \leq 55$
$\beta_1 \beta_1 = 0,65$	$f'_c \geq 55$

Sedangkan hubungan antara f'_c dan β_1 seperti pada Tabel 2.2 berikut ini:

Tabel 2.2 Nilai f'_c dan β_1

f'_c		β_1
psi	MPa	SNI-91
3000	21	0,85
4000	28	0,85
5000	34	0,81
6000	42	0,76
7000	48	0,70

Keamanan Struktur

Kuat desain (*Desain Strength*) diperoleh dari perkalian beban kerja (Q) dengan faktor beban (λ) yang memperhitungkan kelebihan beban. ($\lambda > 1,0$). Kuat perlu (*Required Strenght*) merupakan produk perkalian Nominal Strenght (R) dan faktor reduksi kekuatan (ϕ) yang memperhitungkan kekurang sempurnaan dalam pelaksanaan. Makin jelek mutu pelaksanaan di lapangan akan makin kecil ϕ ini.

1. Faktor kemungkinan pelampauan beban

$$U = 1,2 D + 1,6 L$$

$$U = 0,75 (1,2 D + 1,6 L + 1,6 W)$$

$$U = 0,90 D + 1,30 W$$

$$U = 1,05 (D + L_r + E)$$

$$U = 0,90 (D + E)$$

$$U = 0,75 (1,2 D + 1,2 T + 1,6 L)$$

$$U = 1,20 (D + T)$$

Keterangan:

U = beban ultimit

D = beban mati

L = beban hidup

W = beban angin

E = beban gempa

L_r = beban hidup yang telah tereduksi

H = beban horisontal tanah

T = beban akibat perubahan suhu

2. Faktor reduksi kekuatan

Faktor reduksi kekuatan beton tergantung dengan jenis kekuatan yang ditinjau, pada Tabel 2.3 terlihat faktor reduksi dari berbagai peraturan.

Tabel 2.3 Faktor Reduksi Kekuatan

No	Jenis Kekuatan	Faktor Reduksi Kekuatan (f)		
		SNI 91	ACI 318-83	Usul Mac.G
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1.	Lentur murni	0,80	0,90	0,85
2.	Aksial tarik, aksial tarik dan lentur	0,80	0,90	0,70
3.	Aksial tekan, aksial tekan dan lentur			
	a. dgn tulanga spiral	0,70	0,75	0,70
	b. dgn tulangan sengkang	0,65	0,70	0,65
4.	Geser dan torsi	0,60	0,85	0,70
5.	Tumpuan pada beton	0,70	0,70	0,60

3. Alasan perlunya keamanan

Alasan perlunya ketahanan atau kekuatan adalah:

- a. Variabilitas ketahanan atau kekuatan
 - 1) Variabilitas kekuatan beton dan baja tulangan
 - 2) Dimensi aktual tidak sama dengan dimensi rencana
 - 3) Simplifikasi asumsi
- b. Variabilitas pembebanan
- c. Konsekuensi keruntuhan
 - 1) Korban jiwa
 - 2) Kerugian waktu, biaya
 - 3) Biaya pembongkaran dan biaya pembangunan kembali

Nilai Beban Mati

Unit masa dari bahan bangunan yang sering dijumpai dalam perancangan adalah sebagai berikut:

4. Baja	=	7850	kg/cm ³
5. Beton tak bertulang	=	2200	kg/cm ³
6. Beton bertulang	=	2400	kg/cm ³
7. Kayu	=	1000	kg/cm ³
8. Kaca	=	2500	kg/cm ³
9. Pasir	=	1800	kg/cm ³
10. Tanah	=	2000	kg/cm ³
11. Air	=	1000	kg/cm ³

Sedangkan untuk bahan bangunan lain adalah:

1. Penggantung langit – langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,80 m: 7 kg/m²
2. Adukan dari semen: 21 kg/m²
3. Adukan dari kapur, tras atau semen merah: 17 kg/m²
4. Dinding batu bata (satu bata): kg/m²
5. Dinding batu bata (setengan batu): 250 kg/m²

6. Aspal, bahan mineral penambah, per-cm tebal: 14 kg/m^2
7. Penutup atap genting dengan reng dan usuk atau kaso per m^2 bidang atap: 50 kg/m^2
8. Penutup atap sirap dengan reng dan usuk atau kaso m^2 bidang atap: 40 kg/m^2
9. Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gording: 10 kg/m^2

Nilai Beban Hidup

Beban hidup untuk beberapa jenis konstruksi adalah:

1. Lantai dan tangga rumah tinggal: 200 kg/m^2
2. Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang – gudang yang tidak penting dan bukan took atau ruang kerja 150 kg/m^2
3. Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, took, restaurant, hotel dan asrama 250 kg/m^2
4. Lantai ruang olahraga, balkon dalam ruang – ruang pertemuan, seperti mesjid, gereja, ruang konser, ruang pertunjukan, bioskop,, ruang rapat dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap: 400 kg/m^2
5. Tangga, bordes tangga 300 kg/m^2
6. Lantai ruang dansa dan panggung penonton temat berdiri atau tempat duduk dengan tidak tetap: 500 kg/m^2
7. Balkon – balkon yang menjorok bebas keluar 300 kg/m^2

Nilai Beban Angin

Beban angin untuk bebara kondisi bangunan adalah:

1. Tekanan tiup angin minimum: 25 kg/m^2
2. Tekanan tiup angin minimum dilaut dan tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai: 40 kg/m^2

3. Untuk daerah dekat laut, dan daerah daerah lain tertentu, dimana kecepatan angin (V) (m/dtk) memungkinkan tekanan angin (p) yang lebih besar, $P = \frac{V^2}{16}$ (kg/m²)

Umpan Balik Modul 2

Soal 1

Jelaskan asumsi diagram tegangan – regangan beton yang digunakan pada SNI

Soal 2

Jelaskan asumsi diagram tegangan – regangan baja yang digunakan pada SNI

Soal 3

Jelaskan makna dari faktor reduksi kekuatan untuk desain lentur, geser dan aksial.

Soal 4

Jelaskan mengenai penggunaan konsep desain SNI untuk beton mutu tinggi



MODUL 3

LENTUR PADA BALOK PERSEGI (TULANGAN TUNGGAL)

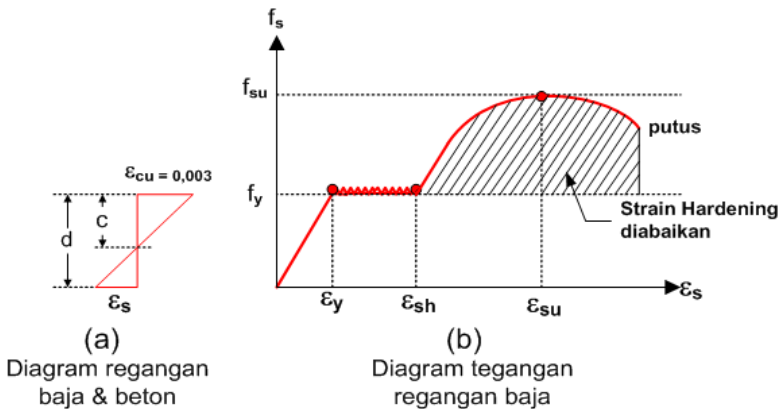
Asumsi Dasar Dalam Perencanaan

1. Analisis keseimbangan dalam perencanaan ada 2 yaitu:
 - a. Keseimbangan statis
 - b. Kompatibilitas dari tegangan
2. Asumsi perhitungan Momen Lentur Nominal (M_n) adalah:
 - a. Regangan baja (ε_s) dan regangan beton (ε_c) dianggap berbanding lurus dengan jarak terhadap garis netral (c).
 - b. Regangan beton pada serat tekan (ε_{cu}) adalah 0,003
3. Penambahan akibat strain hardening baja diabaikan:
 - a. $\varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow f_s = E_s \cdot \varepsilon_s$
 - b. $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y \rightarrow f_s = f_y$
 - c. $\varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow T = A_s \cdot f_s = A_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_s$
 - d. $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y \rightarrow T = A_s \cdot f_y$
4. Modulus elastisitas baja $E_s = 200000$ MPa.
5. Kekuatan tarik beton diabaikan

Diagram Tegangan Regangan Baja

Diagram tegangan regangan baja membentuk empat daerah yaitu

1. Daerah elastic yaitu daerah dimana bentuk material masih dapat kembali setelah mengalami regangan.
2. Daerah strain hardening adalah daerah garis lurus dimana regangan mengalami penambahan sementara tegangan tetap.
3. Daerah plastis yaitu daerah dimana peningkatan regangan bersamaan dengan peningkatan tegangan.
4. Daerah rupture yaitu daerah dimana tegangan akan mengalami penurunan sedangkan regangan bertambah sampai kondisi material hancur.



Gambar 2.1 Diagram Tegangan Regangan Baja

Diagram Regangan Blok Tegangan Ekuivalen Beton

Menurut SK.SNI T-15-1991-03 Pasal 3.3.2 butir 7.(3), nilai reduksi (β_1) = 0,08 untuk setiap kenaikan 10 MPa dari (f'_c) = 30 MPa. Ketentuan ini dirumuskan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Koefisien Blok Beton

Koefisien Blok Strees β_1	Mutu Beton (f'_c) MPa
$\beta_1 = 0,85$	$0 \leq f'_c \leq 30$
$\beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (f'_c - 30)$	$30 \leq f'_c \leq 55$
$\beta_1 = 0,65$	$f'_c \geq 55$

Sedangkan hubungan antara f'_c dan β_1 seperti pada Tabel 2.2 berikut ini:

Tabel 2.2 Nilai f'_c dan β_1

(f'_c, f'_c)		β_1
psi	MPa	SNI-91
3000	21	0,85
4000	28	0,85
5000	34	0,81
6000	42	0,76
7000	48	0,70

Keseimbangan Gaya

Persamaan keseimbangan gaya adalah:

$$k = \frac{f_s}{0,85 \cdot f'_c} \cdot \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{f_s}{0,85 \cdot f'_c} \cdot \rho \quad ; \quad \rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$a = k \cdot d = \frac{f_s}{0,85 \cdot f'_c} \cdot \rho \cdot d$$

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

Momen Nominal Penampang Balok:

$$M_n = C_c \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot a) = T \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot a)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot k \cdot d \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot k \cdot d)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d^2 \cdot k \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$

$$M_n = A_s \cdot f_s \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot k \cdot d)$$

$$M_n = A_s \cdot f_s \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$

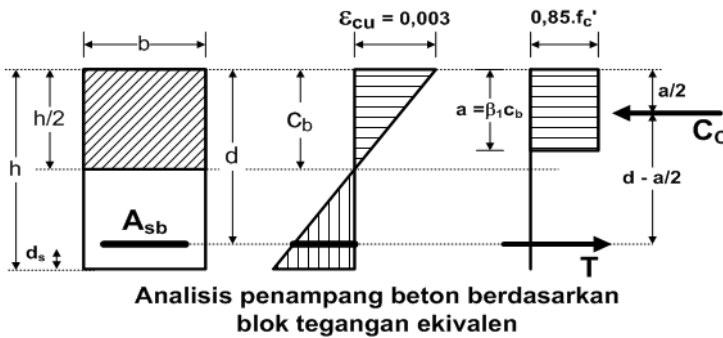
Tergantung nilai f_s , ada 3 keruntuhan yang mungkin terjadi, yaitu:

- Keruntuhan seimbang (balance failure)
 - Balanced reinforced
- Keruntuhan tarik (tension failure)
 - Under reinforced
- Keruntuhan tekan (compression failure)
 - Over reinforced

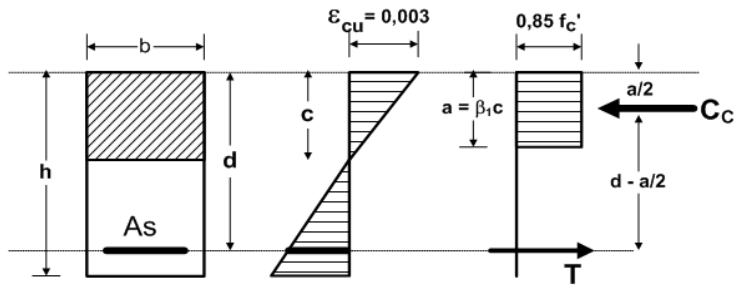
1. ANALISIS BALOK SEGIEMPAT BERTULANGAN TUNGGAL PADA KERUNTUHAN SEIMBANG

Baja tulangan mulai meleleh sedangkan daerah tekan beton mencapai regangan tekan maksimum

- $e_s = e_y \rightarrow f_s = f_y$ dengan $e_y = f_y / E_s$
- $e_c = e_{cu} = 0,003$
- $r = r_b$



Gambar 3.1 Analisis Penampang berdasarkan Blok Tegangan Ekuivalen



Syarat: $e_s = e_y \rightarrow f_s = f_y$

$e_{cu} = 0,003$; $r < r_b$

$$\frac{c}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{200000}} = \frac{600}{600 + f_y}$$

$$a = \beta_1 \cdot c = k \cdot d \quad ; \quad \frac{c}{d} = \frac{k}{\beta_1} = \frac{600}{600 + f_y} \quad ; \quad k = \beta_1 \cdot$$

Keseimbangan gaya :

$$C_c = T$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a = A_s \cdot f_y \quad \left| \times \frac{1}{b \cdot d} \right.$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot \frac{a}{d} = \frac{A_s}{b \cdot d} \cdot f_y \quad ; \quad 0,85 \cdot f_c' \cdot k = \rho \cdot f_y$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot k \quad ; \quad \rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$k = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \cdot \rho \quad \text{atau} \quad k = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \cdot \left(\frac{A_s}{b \cdot d} \right)$$

$$k = \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d}$$

Momen Nominal Balok:

$$M_n = C_c \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot a_b) = C_c \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot k_b \cdot d)$$

$$M_n = C_c \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k_b)$$

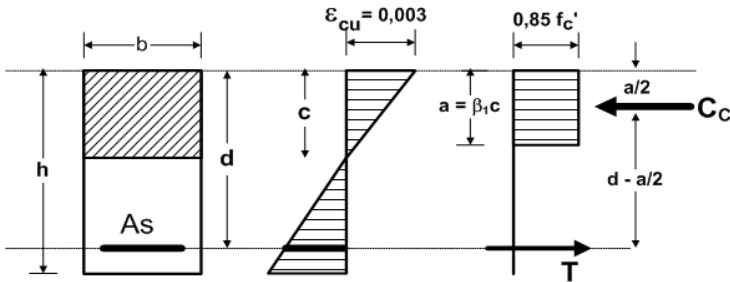
$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k_b \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k_b)$$

$$M_n = T \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot a_b) = T \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k_b)$$

$$M_n = A_{sb} \cdot f_y \cdot d \cdot (1 - k_b/d)$$

2. ANALISIS BALOK PERSEGI EMPAT BERTULANGAN TUNGGAL PADA KERUNTUHAN TARIK

- Tanda-tanda keruntuhan:
Lelehnya tulangan tarik diikuti lendutan yang besar
- Sifat sifat keruntuhan tarik:
Terjadi secara bertahap
Tidak mendadak/getas
Penampang daktail



Syarat: $e_s = e_y \rightarrow f_s = f_y$

$$e_{cu} = 0,003 ; r < r_b$$

$$\frac{c}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{f_y}{200000}} = \frac{600}{600 + f_y}$$

$$a = \beta_1 \cdot c = k \cdot d \quad ; \quad \frac{c}{d} = \frac{k}{\beta_1} = \frac{600}{600 + f_y} \quad ; \quad k = \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

Keseimbangan gaya :

$$C_c = T$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a = A_s \cdot f_y \quad \left| \times \frac{1}{b \cdot d} \right.$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot \frac{a}{d} = \frac{A_s}{b \cdot d} \cdot f_y \quad ; \quad 0,85 \cdot f_c' \cdot k = \rho \cdot f_y$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot k}{f_y} \quad ; \quad \rho = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$$

$$k = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \cdot \rho \quad \text{atau} \quad k = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \cdot \left(\frac{A_s}{b \cdot d} \right)$$

$$k = \frac{T}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d}$$

Momen Nominal Balok:

$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k) \quad \text{atau}$$

$$M_n = C_c \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k) \quad \text{atau}$$

$$M_n = T \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$

Syarat penampang balok daktail:

Agar tidak terjadi keruntuhan getas, maka rasio tulangan baja (r) harus ada pembatasan minimum & maximum dgn harga r:

$$r_{\min} = 1,4 / f_y - f_y \quad \text{dalam MPa}$$

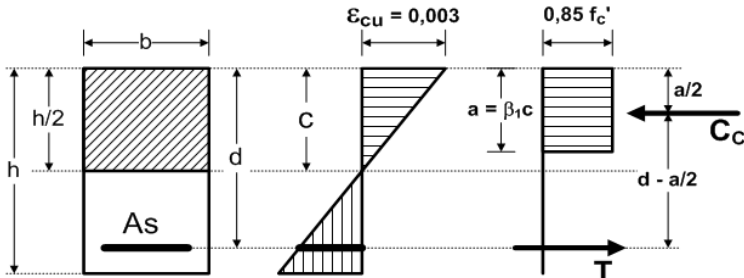
$$r_{\max} = 0,75 \cdot r_b$$

3. ANALISIS BALOK PERSEGI EMPAT BERTULANGAN TUNGGAL PADA KERUNTUHAN TEKAN

Keruntuhan diawali dengan hancurnya beton dan saat itu tegangan baja belum mencapai tegangan lelehnya.

$$\rho > \rho_b \quad \text{dan} \quad \varepsilon_c = \varepsilon_{cu} = 0,003, \quad \varepsilon_s < \varepsilon_y$$

- Tidak terlihat tanda-tanda awal seperti terjadinya lendutan.
- Keruntuhan total terjadi secara mendadak dan dinamakan *keruntuhan getas (brittle)*.



Analisis penampang beton berdasarkan blok tegangan ekuivalen

Berdasarkan diagram tegangan-regangan beton diatas didapat:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_a \cdot \left(\frac{d-c}{c} \right) , c = \frac{k \cdot d}{\beta_1}$$

$$\varepsilon_s = 0,003 \cdot d \cdot \left(\frac{1-c/d}{c} \right) ; \varepsilon_s = 0,003 \cdot \left(\frac{1-k/\beta_1}{k/\beta_1} \right) = 0,003 \cdot \left(\frac{\beta_1 - k}{k} \right)$$

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow f_s = E_s \cdot \varepsilon_y = E \cdot 0,003 \cdot \left(\frac{\beta_1 - k}{k} \right)$$

Keseimbangan gaya :

$$C_c = T$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d \cdot k = A_s \cdot f_s = A_s \cdot E_s \cdot 0,003 \cdot \left(\frac{\beta_1 - k}{k} \right) \quad | \times k$$

$$0,85 f_c' \cdot b \cdot d \cdot k^2 + A_s \cdot E_s \cdot 0,003 \cdot k - A_s \cdot E_s \cdot 0,003 \cdot b_1 = 0$$

(A)

(B)

(C)

$$A \cdot k^2 + B \cdot k - C ; k = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} ; a = k \cdot d$$

Momen Nominal Balok:

$$M_n = C_c \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot a)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$

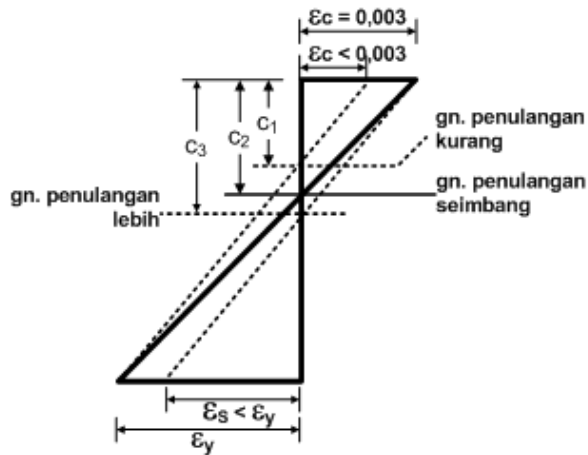
$$M_n = T \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot a)$$

$$M_n = A_s \cdot f_s \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$

Kesimpulan:

- Regangan Tekan Beton Ultimit ($\epsilon_{cu} = 0,003$)
- Regangan tulangan baja:
 - Under Reinforced: $\epsilon_s < \epsilon_y$ diambil $\epsilon_s = \epsilon_y$ (leleh)
 - Balanced: $\epsilon_s = \epsilon_y$ (leleh)
 - Over Reinforced: $\epsilon_s < \epsilon_y$ (belum leleh)
- Tegangan tulangan baja:
 - Under Reinforced: $f_s = f_y$ (leleh)
 - Balanced: $f_s = f_y$ (leleh)
 - Over Reinforced: $f_s = E_s \cdot \epsilon_y$ (belum leleh)

Posisi garis netral (c) untuk beberapa kondisi penulangan



Lanjutan Kesimpulan:

- Garis netral:
 - $c_1 < c_2 < c_3$

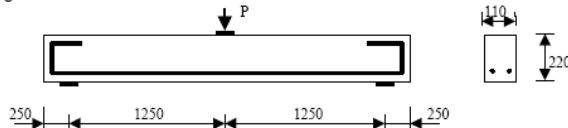
- Rasio tulangan:
 Under Reinforced: $r < r_b$
 Balanced: $r = r_b$
 Over Reinforced: $r > r_b$

Peraturan SK.SNI'91 telah membatasi rasio penulangan sbb.:

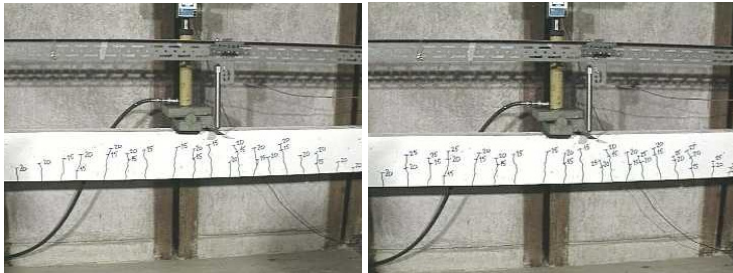
- Under Reinforced: $r < 0,75.r_b$
- Balanced: $r = 0,75.r_b$
- Over Reinforced: $r > 0,75.r_b$

Kondisi Penulangan Kurang (Under Reinforced)

Beam design and dimensions

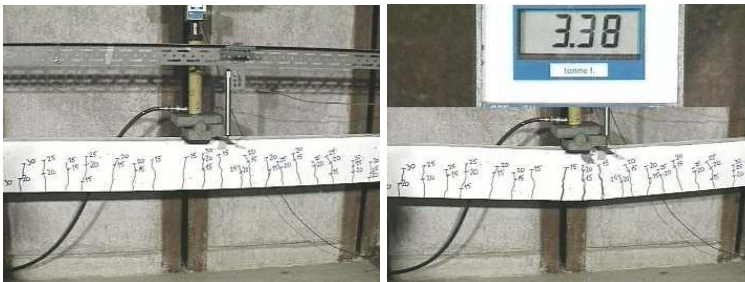


Concrete cube strength $f_{cu} = 51.0\text{N/mm}^2$, tensile strength $f_t = 5.49\text{N/mm}^2$. Bottom reinforcement is 2 T12 bars. Cover is 25mm. Young's Modulus $E_s = 200,000\text{N/mm}^2$ for the steel and $E_c = 30,000\text{N/mm}^2$ for the concrete.



Pola Retak beban 20 kN

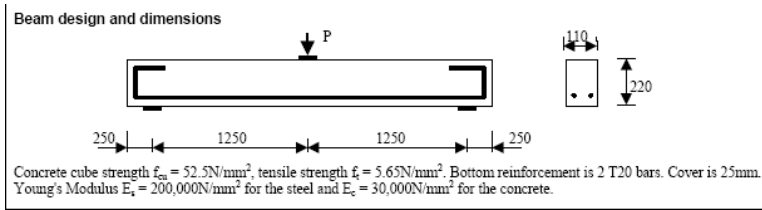
Pola Retak beban 25 kN



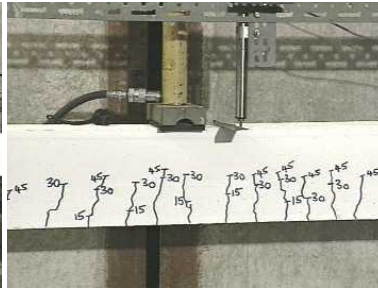
Pola Retak beban 30 kN

Pola Retak beban Ultimit 33,8 kN

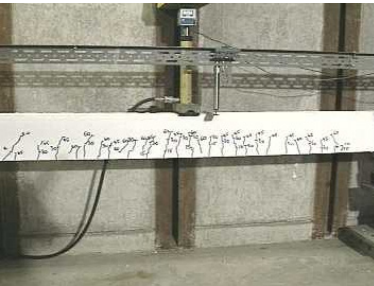
Kondisi Penulangan Lebih (Over Reinforced)



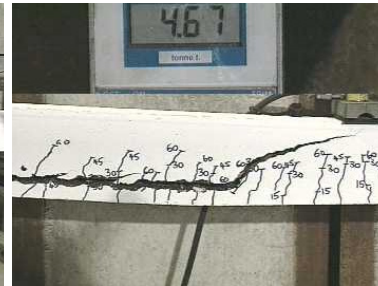
Pola Retak beban 30 kN



Pola Retak Beban 45 kN



Pola Retak beban 60 kN



Pola Retak Beban Ultimit

Contoh soal 1:

Sebuah balok segiempat dengan ukuran lebar (b) = 250 mm, tinggi (h) = 500 mm,

selimut beton $d_s = 50$ mm, mutu baja $f_y = 400$ MPa, mutu beton $f_c' = 20$ MPa, dan modulus elastisitas (E_s) = 2.10^5 MPa.

Hitung Momen Nominal untuk kondisi:

$$r = 0,5 r_b$$

$$r = 0,75 r_b$$

$$r = r_b$$

$$r = 1,25 r_b$$

Solusi

$$f'_c = 20 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa} \Rightarrow \beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 20}{400} \cdot 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02168 = 2,168\%$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

- Rumus untuk kasus 1–3

$$T = A_s \cdot f_y \Rightarrow k = \frac{T}{0,85 f'_c \cdot b \cdot d} ; j = (1 - 1/2k) ; M_n = T \cdot d \cdot j$$

- Rumus untuk kasus 4

$$A = 0,85 f'_c \cdot b \cdot d ; B = A_s \cdot E_s \cdot 0,003 ; C = A_s \cdot E_s \cdot 0,003 \cdot \beta_1 = B \cdot \beta_1$$

$$k = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} ; j = (1 - 1/2k) ; C_c = 0,85 f'_c \cdot b \cdot d \cdot k$$

$$M_n = C_c \cdot d \cdot j$$

Tabel Hasil Perhitungan

r	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 3	Kasus 4
	0,50.r _b	r _{max} =0,75.r _b	r _b	1,25.r _b
A _s (mm ²)	1.219,219	1.828,828	2.438,438	3.048,047
r (%)	1,084	1,626	2,168	2,709
T = C _c (N)	487.687,50	731.531,25	975.375,00	1.037.288,22
k	0,255	0,383	0,510	0,542
j	0,873	0,809	0,745	0,729
M _n (kN.m)	191,478	266,232	326,994	340,195
M _n /M _b	0,59	0,81	1,00	1,04

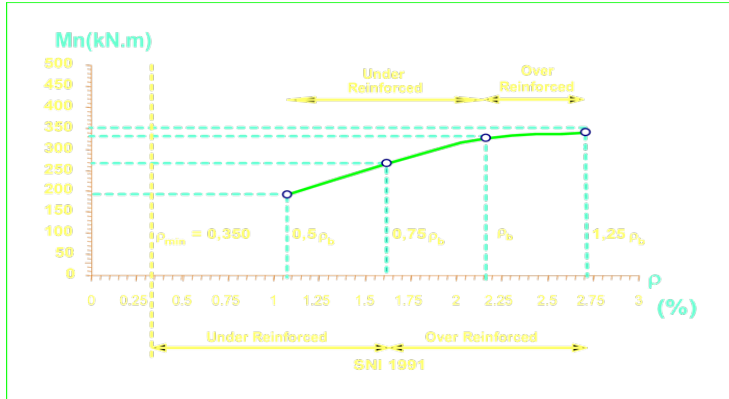
- Kasus 4:

$$A = 1912500 \text{ N}, B = 1828828 \text{ N}, C = 1554504 \text{ N}$$

$$C_c = 0,85 f'_c \cdot b \cdot d \cdot k = 1037288,22 \text{ N}$$

$$M_n = C_c \cdot d \cdot j = 340,195 \text{ KN.m}$$

$$k = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} = 0,542$$



Desain Penulangan Lentur Balok Persegi Bertulangan ` Tunggal

Diketahui: M_d, b, d, f'_c, f_y

Ditanya: $A_s = ?$

Prosedur Desain:

- Menghitung Momen Nominal (M_n): $M_n = M_d / \phi$
- Menentukan nilai k_{perlu}

$$M_n = 0,85 f'_c \cdot b \cdot d^2 \cdot k \left(1 - \frac{k}{2}\right) \quad | \times 2$$

$$\frac{2 \cdot M_n}{0,85 f'_c \cdot b \cdot d^2} = 2k - k^2 \quad ; \quad k^2 - 2k = \frac{2 \cdot M_n}{0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d^2}$$

$$(k - 1)^2 = 1 - \frac{2 \cdot M_n}{0,85 f'_c \cdot b \cdot d^2} \quad \Rightarrow \quad k = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_n}{0,85 f'_c \cdot b \cdot d^2}}$$

3. Menentukan nilai A_s yang diperlukan

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} k) \Rightarrow A_s = \frac{M_n}{f_y \cdot d \cdot \left(1 - \frac{k}{2}\right)}$$

4. Pilih tulangan dengan syarat: $A_{st} \geq A_s$
 5. Kontrol kapasitas momen, syarat: $M_{nt} \geq M_n$

$$M_{nt} = A_{st} \cdot f_y \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} k)$$

$$k_t = \frac{A_{st}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \rho_t \cdot \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

Desain Penampang Balok Persegi Bertulang Tunggal

1. Menentukan ukuran penampang

$$b \cdot d^2 = \frac{M_n}{0,85 f_c' \cdot k_{maks} \cdot \left(1 - \frac{k_{maks}}{2}\right)}$$

Tentukan nilai lebar (b)

$$b/d = \frac{1}{2} \text{ à } d = 2 \cdot b$$

Keterangan:

ACI 95 / SNI 91	: $k_{maks} \leq 0,75 \cdot k_b$
UBC/Gempa	: $k_{maks} \leq 0,50 \cdot k_b$
Pengalaman	: $k_{maks} \leq 0,30 \cdot k_b$

$$k_b = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \cdot \rho_b \quad \rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot k_b$$

2. Menentukan nilai k_{perlu}

$$k = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_n}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2}}$$

3. Menentukan Luas Tulangan Perlu $A_{s\text{perlu}}$

$$A_{s\text{perlu}} = \frac{M_n}{f_y \cdot d \cdot \left(1 - \frac{k}{2}\right)}$$

Check tulangan yang dipakai:

$A_{st} \geq A_{s\text{perlu}}$ dan $A_{s\text{min}} \leq A_{st} \leq A_{s\text{maks}}$

4. Kontrol Kapasitas Momen Nominal:

$$k_t = \frac{A_{st}}{b \cdot d} \cdot \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \rho_t \cdot \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$M_{nt} = A_{st} \cdot f_y \cdot d \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k) \geq M_n$$

Contoh soal 2:

Sebuah pelat lantai sebuah bangunan air dengan tebal 120 mm, selimut beton $d_s = 20$ mm, mutu baja $f_y = 240$ MPa, dan mutu beton $f_c' = 15$ MPa. Momen ultimit yang bekerja pada pelat tersebut adalah sebesar $11,64 \times 10^6$ N.mm.

Desainlah tulangan pelat tersebut per meter.

Penyelesaian:

Momen Nominal:

$\phi = 0,80$ --- utk lentur

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{11,64 \cdot 10^6}{0,80} = 14550000 \text{ N.mm}$$

Rasio tulangan minimum:

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,00583$$

Rasio tulangan maksimum:

$$\beta_1 = 0,85 \text{ -- karena } f_c' = 15 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \left[\beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right]$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \left[0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 15}{240} \cdot \left(\frac{600}{600 + 240} \right) \right] = 0,0242$$

Tinggi efektif pelat:

perkiraan diameter tulangan $\emptyset = 12 \text{ mm}$

$$d = h - ds - \frac{1}{2} \cdot \phi = 120 - 20 - \frac{1}{2} \cdot 12 = 94 \text{ mm}$$

Rasio Tulangan Perlu:

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{14550000}{1000 \cdot 94^2} = 1,647$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot f_c'}} \right) = \frac{0,85 \cdot 15}{240} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,647}{0,85 \cdot 15}} \right) = 0,00737$$

Karena $\rho_{\min} = 0,00583 < \rho = 0,00737 < \rho_{\max} = 0,0242$,
maka dipakai $\rho = 0,00737$

Luas tulangan perlu:

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0,00737 \cdot 1000 \cdot 94 = 692,78 \text{ mm}^2$$

dicoba tulangan $\emptyset = 12 \text{ mm}$

$$\text{Jarak Antar Tulangan} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{As} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 12^2 \cdot 1000}{692,78} = 163,17 \text{ mm}$$

Maka dipakai tulangan $\emptyset 12-160$

Cek jarak antar tulangan $160 \text{ mm} < 3h = 360 \text{ mm}$ dan $< 500 \text{ mm}$

.... ok!

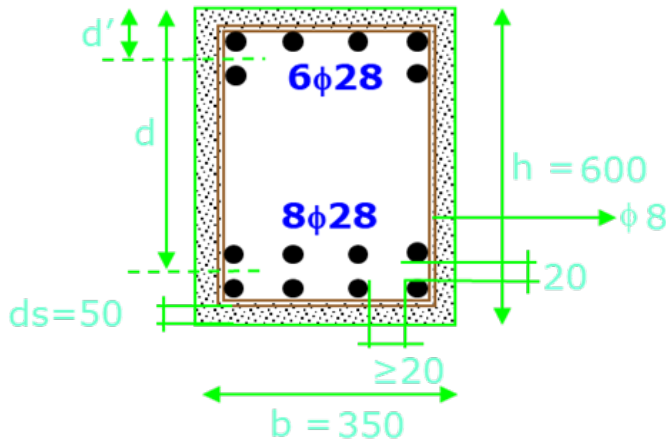
Umpan Balik Modul 3

Soal 1

Sebuah balok segiempat yang terletak diatas 2 tumpuan dengan panjang bentang balok $L = 10$ m dan memikul beban merata berfaktor total sebesar q_u , balok tersebut berdimensi lebar 350 mm, tinggi 600 mm, diameter sengkang 8 mm dan jarak minimum antar tulangan utama 20 mm. Tulangan tarik $8D-28$ dan tulangan tekan $6D-28$, selimut beton 50 mm. Hitunglah besarnya beban q_u yang mampu dipikul penampang balok.

Nim Ganjil: $f_y = 350$ MPa, $f_c' = 22$ MPa.

Nim Genap: $f_y = 400$ MPa, $f_c' = 32$ MPa.



Soal 2

Sebuah balok segiempat dengan ukuran lebar (b) = 250 mm, tinggi (h) = 500 mm, selimut beton $d_s = 50$ mm, mutu baja $f_y = 400$ MPa, mutu beton $f_c' = 20$ MPa, dan modulus elastisitas (E_s) = 2.10^5 MPa. Momen ultimit yang bekerja adalah 160 kN.m

Desainlah tulangan balok tersebut dengan kondisi under reinforced.

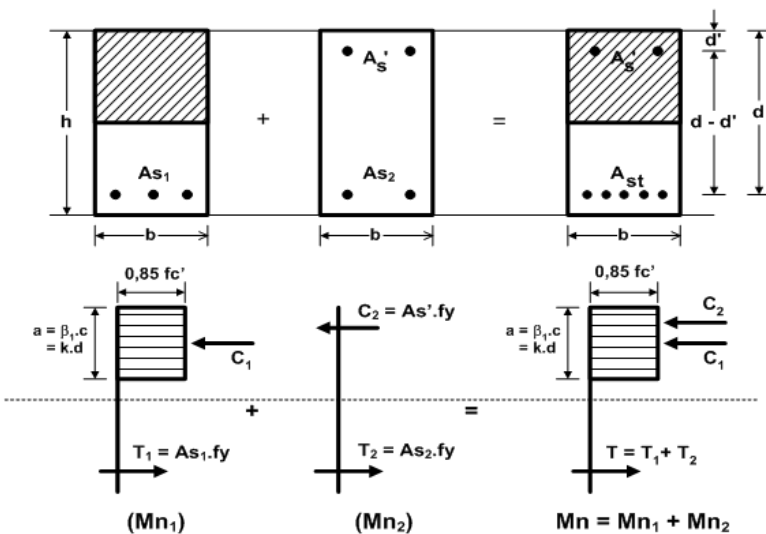
Soal 3

Sebuah pelat satu arah dengan tebal 150 mm, selimut beton $d_s = 20$ mm, mutu baja $f_y = 300$ MPa, dan mutu beton $f'_c = 20$ MPa. Momen ultimit yang bekerja pada pelat tersebut adalah sebesar 15 kN.m. Desainlah tulangan pelat tersebut per meter.

MODUL 4

LENTUR PADA BALOK PERSEGI (TULANGAN RANGKAP)

Desain Balok Segiempat Bertulangan Rangkap (Doubly Reinforced Section)



Desain Balok Bertulangan Rangkap

1. Tentukan Momen Nominal Maksimum (M_{n1})

$$\text{Hitung } k_{maks} = 0,75 k_b = 0,75 \cdot \left(\beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

Hitung kapasitas momen M_{n1} :

$$M_{n1} = 0,85 f_c' b d^2 k_{maks} \cdot \left(1 - \frac{1}{2} k_{maks} \right)$$

Tentukan tulangan A_{s1} untuk memikul M_{n1}

$$A_{s1} = \frac{M_{n1}}{f_y \cdot d \cdot \left(1 - \frac{k_{maks}}{2} \right)}$$

2. Menghitung Tulangan Rangkap

Hitung selisih momen: $M_{n2} = \Delta M = M_n - M_{n1}$

- Jika $M_n < M_{n1}$ diperlukan tulangan rangkap
- Jika tulangan rangkap diperlukan, maka harus ada tulangan tekan
- Jika $M_n > M_{n1}$ cukup dipakai tulangan tunggal

3. Jika diperlukan tulangan rangkap

Luas Tulangan Tekan:

$$A_s' = \frac{M_{n2}}{(d - d') \cdot f_y}$$

Luas Total Tulangan Tarik:

$$A_{s2} = A_s' \Rightarrow A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

$$A_s = \frac{M_{n1}}{f_y \cdot d \cdot \left(1 - \frac{k_{maks}}{2} \right)} + \frac{M_{n2}}{(d - d') f_y}$$

4. Pembatasan rasio tulangan baja

Tulangan tekan belum leleh, $f_s' = E_s \cdot \varepsilon_s'$

$$\varepsilon_{s'} = \varepsilon_{cu} \cdot \frac{k - \beta_1 \cdot (d'/d)}{k} \text{ maka:}$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b + \rho' \cdot \frac{f_s'}{f_y}$$

Tulangan tekan belum leleh $f_s' = f_s$ maka:

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b + \rho'$$

Contoh soal 1:

Desainlah balok segiempat dengan momen ultimit $M_u = 290 \text{ kN.m}$, dimensi balok dibatasi $b = 25 \text{ cm}$, $h = 50 \text{ cm}$, dan $d = 45 \text{ cm}$. Jika mutu baja $f_y = 400 \text{ MPa}$ dan mutu beton $f_c' = 25 \text{ MPa}$. Hitung luas tulangan yg diperlukan.

Penyelesaian:

Hitung momen yg dapat ditahan oleh tul. tunggal:

$\beta_1 = 0,85 \rightarrow f_c' \leq 30 \text{ MPa}$, $\phi = 0,80$ untuk balok yang menahan lentur.

$$k_{maks} = 0,75 \cdot \left(\beta_1 \cdot \frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,75 \cdot \left(0,85 \cdot \frac{600}{600 + 400} \right) = 0,3825$$

$$M_{n1} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k_{maks} \cdot (1 - 1/2 \cdot k_{maks})$$

$$M_{n1} = 0,85 \cdot 25 \cdot 250 \cdot 450^2 \cdot 0,3825 (1 - 1/2 \cdot 0,3825) \cdot (10^{-6})$$
$$= 332,790 \text{ kN.m}$$

$$M_{u1} = \phi \cdot M_{n1} = 0,80 \cdot 332,790 = 266,232 \text{ kN.m}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{n1}}{f_y \cdot d \cdot \left(1 - \frac{k_{maks}}{2} \right)} = \frac{332,790 \cdot (10^6)}{400 \cdot 450 \cdot \left(1 - \frac{0,3825}{2} \right)}$$
$$= 2286 \text{ mm}^2$$

Hitung selisih momen:

$$M_{u2} = M_u - M_{u1} = 290 - 266,232 = 23,768 \text{ kN.m} > 0 \Rightarrow \text{tulangan rangkap}$$

$$M_{n2} = M_{u2} / \phi = 23,768 / 0,80 = 29,71 \text{ kN.m}$$

Hitung tulangan tekan

$$A_{s'} = \frac{M_{n2}}{(d - d') \cdot f_y} = \frac{29,71 \cdot (106)}{(450 - 50) \cdot 400} = 185,70 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = A_{s'} = 185,70 \text{ mm}^2$$

Hitung luas total tulangan tarik:

$$A_{st} = A_{s1} + A_{s2}; A_{st} = 2286 + 185,70 \\ = 2471,70 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai:

Tulangan tekan: 3D-10 ($A_{s'} = 235,50 \text{ mm}^2$)

Tulangan tarik: 7D-22 ($A_{st} = 2660 \text{ mm}^2$)

- Check kondisi leleh tulangan tekan :

$$A_{s'} = 235,50 \text{ mm}^2 \Rightarrow \rho' = \frac{A_{s'}}{b \cdot d} = \frac{235,50}{250 \cdot 450} = 0,0021$$

$$A_{st} = 2660 \text{ mm}^2 \Rightarrow \rho = \frac{A_{st}}{b \cdot d} = \frac{2660}{250 \cdot 450} = 0,0236$$

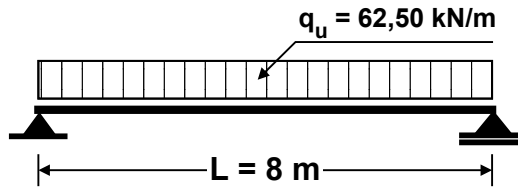
$$\rho - \rho' \geq \left(\frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y \cdot d} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot d' \Rightarrow$$

$$0,0236 - 0,0021 \geq \left(\frac{0,85 \cdot 25}{400 \cdot 450} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 - 400} \right) \cdot 0,85 \cdot 50$$

$$0,0215 > 0,0151 \Rightarrow \text{tulangan tekan leleh}$$

Contoh soal 2:

Sebuah balok segiempat diatas 2 tumpuan, bentang $L = 8 \text{ m}$, memikul beban merata terfaktor total (q_u) = $62,50 \text{ kN/m}$. Desainlah tulangan balok untuk menahan momen ultimit struktur jika dimensi balok dibatasi $b = 300 \text{ mm}$, $h = 500 \text{ mm}$, $f_y = 350 \text{ MPa}$, $f_c' = 28 \text{ Mpa}$., selimut beton 50 mm , \emptyset skg. = 8 mm dan jarak min. antar tulangan utama 20 mm . \emptyset baja utk tulangan tekan = 18 mm & tulangan tarik = 27 mm .



Penyelesaian

Hitung momen nominal akibat beban terfaktor:

$$Mu = \frac{1}{8} q_u L^2 = \frac{1}{8} 62,50 \cdot 8^2 = 500 \text{ kNm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{500}{0,80} = 625 \text{ kNm}$$

Hitung titik tangkap tulangan tarik dan tekan terhadap serat tekan beton:

Asumsi tulangan tarik 1 lapis:

$$d = h - (d_s + \phi_s + \frac{1}{2} \cdot \phi_t)$$

$$d = 500 - (50 + 8 + \frac{1}{2} \cdot 27) = 428,50 \text{ mm}$$

Asumsi tulangan tekan 1 lapis:

$$d' = d_s + \phi_s + \frac{1}{2} \cdot \phi_t$$

$$d' = 50 + 8 + \frac{1}{2} \cdot 18 = 67 \text{ mm}$$

Hitung Momen yang dapat ditahan oleh tulangan tunggal (k_{maks}):

$$\beta_1 = 0,85 \quad \rightarrow f'_c \leq 30 \text{ MPa}$$

$\phi = 0,80$ untuk balok yang menahan lentur

$$k_{maks} = 0,75 \left(\beta_1 \cdot \frac{60}{60 + f_y} \right) = 0,75 \left(0,85 \cdot \frac{60}{60 + 35} \right) = 0,426$$

$$M_{n1} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d^2 \cdot k_{maks} \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k_{maks})$$

$$M_{n1} = 0,85 \cdot 28 \cdot 300 \cdot 428,50^2 \cdot 0,4026 \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot 0,4026) \cdot (10^{-6}) = 421,583 \text{ kN.m}$$

$$M_{u1} = \phi \cdot M_{n1} = 0,80 \cdot 421,583 = 337,266 \text{ kN.m}$$

$$A_{st} = \frac{M_{n1}}{f_y \cdot d \cdot (1 - k_{maks} / 2)} = \frac{421,583}{350 \cdot 428,50(1 - 0,4026 / 2)}$$

$$= 3519,564 \text{ mm}^2$$

1. Hitung selisih momen:

$$M_{u2} = M_u - M_{u1} = 500 - 337,266$$

$$= 162,734 \text{ kN.m} > 0$$

(maka perlu tulangan rangkap)

$$M_{n2} = M_{u2} / \phi = 162,734 / 0,80$$

$$= 203,417 \text{ kN.m}$$

2. Hitung Tulangan Tekan:

$$A_s' = \frac{M_{n2}}{(d - d') f_y} = \frac{203,417 (10^6)}{(429 - 67) 350}$$

$$= 1607,724 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = A_s' = 1607,724 \text{ mm}^2$$

Hitung luas total tulangan tarik:

$$A_{st} = A_{s1} + A_{s2}$$

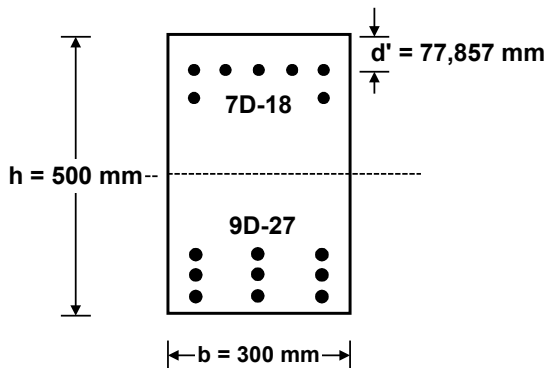
$$A_{st} = 3519,564 + 1607,724 = 5127,288 \text{ mm}^2$$

Dipakai:

Tulangan tekan: 7D-18 ($A_s' = 1781,283 \text{ mm}^2$)

Tulangan tarik: 9D-27 ($A_{st} = 5152,997 \text{ mm}^2$)

Sketsa Penulangan Balok



- Lebar balok dgn. tulangan terpasang (Tekan)

$$b_t = 2 \cdot d_s + 2 \cdot \phi_s + n \cdot \phi_t + (n-1) \cdot s_t$$

$$b_t = 2 \cdot 50 + 2 \cdot 8 + 5 \cdot 18 + (5-1) \cdot 20$$

$$= 286 \text{ mm} < b = 300 \text{ mm} \dots \text{Ok!}$$

- Lebar balok dgn. tulangan terpasang (Tarik)

$$b_t = 2 \cdot d_s + 2 \cdot \phi_s + n \cdot \phi_t + (n-1) \cdot s_t$$

$$b_t = 2 \cdot 50 + 2 \cdot 8 + 3 \cdot 18 + (3-1) \cdot 20$$

$$= 237 \text{ mm} < b = 300 \text{ mm} \dots \text{Ok!}$$

- Perhitungan Titik Tangkap Tulangan:

Titik Berat Tul. Tekan Thd Serat Tekan				
Lapis	n	A _s	x	A _s ·x
1	5	1272,345	67	85247,12
2	2	508,938	105	53438,49
Total	7	1781,283		138685,60

$$d' = \frac{\sum A_s' \cdot x}{\sum A_s'}$$

$$= 7,857 \text{ m}$$

Titik Berat Tulangan Tarik thd. Serat Tekan

Titik Berat Tulangan Tarik thd. Serat Tekan				
Lapis	n	A _s	x	A _s ·x
1	3	1717,666	72,0	122813,1
2	3	1717,666	118,5	203543,4
3	3	1717,666	165,5	284273,7
Total	6	5152,997		610630,2

$$d = \frac{\sum A_s \cdot x}{\sum A_s} = 381,50 \text{ mm}$$

- Check kondisi leleh tulangan tekan:

$$A_s' = 1781,283 \text{ mm}^2 \rightarrow \rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d} = \frac{1781,283}{300 \cdot 381,50} = 0,01556$$

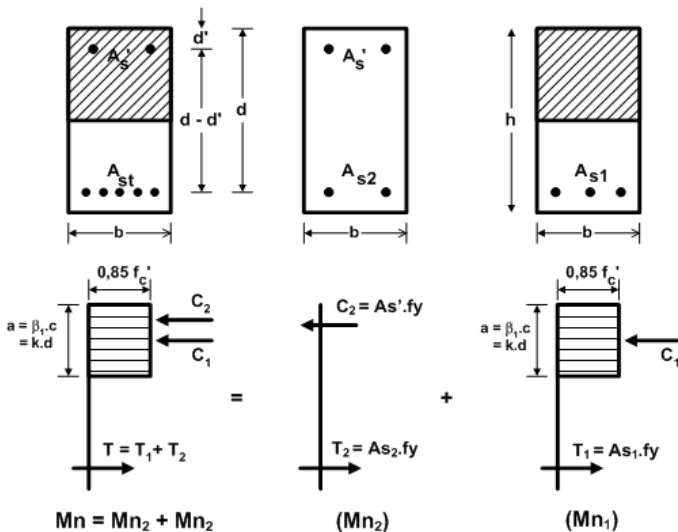
$$A_s = 5152,997 \text{ mm}^2 \rightarrow \rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{5152,997}{300 \cdot 381,50} = 0,04502$$

$$\rho - \rho' \geq \left(\frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y \cdot d} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot d'$$

$$0,04502 - 0,01556 \geq \left(\frac{0,85 \cdot 28}{350 \cdot 381,5} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 - 350} \right) \cdot (0,85 \cdot 77,857)$$

$$0,02946 > 0,02831 \rightarrow \text{tulangan tekan - meleleh}$$

Analisis Balok Segiempat Bertulangan Rangkap



Prosedur:

1. Asumsi tulangan tekan meleleh: $\varepsilon_s' \geq \varepsilon_y$

2. Hitung:

$$C_2 = A_s' \cdot f_y$$

$$M_{n2} = C_2 \cdot (d - d') = A_s' \cdot (d - d') \cdot f_y$$

3. Hitung:

$$T_2 = C_2 = A_s' \cdot f_y$$

$$T_1 = T - T_2 = A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_y$$

$$C_1 = T_1$$

4. Hitung

$$k = \frac{C_1}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d} = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d} \Rightarrow k = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \cdot [\rho - \rho']$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \quad ; \quad \rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d}$$

5. check asumsi $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} \cdot \frac{k - \beta_1 \cdot (d' / d)}{k} \geq \varepsilon_y$$

6. Jika step 5 terpenuhi: $\varepsilon_s' \geq \varepsilon_y$, maka:

$$Mn_1 = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k (1 - \frac{1}{2}k)$$

Momen kapasitas penampang:

$$Mn = Mn_1 + Mn_2$$

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

$$NB: \rho_{maks} = 0,75 \rho_b + \rho'$$

7. Jika step 5 tidak terpenuhi $\varepsilon_s' < \varepsilon_y$ (tul. tekan tdk

leleh), maka: $f_s' = E_s \cdot \varepsilon_s'$

$$C_2 = A_s' \cdot (E_s \cdot \varepsilon_s') \quad ; \quad C_1 = 0,85 f_c' \cdot b \cdot d \cdot k$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

Keseimbangan gaya

$$T = C_1 + C_2$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d \cdot k + A_s' \cdot (E_s \cdot \varepsilon_s')$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d \cdot k + A_s' \left(\varepsilon_s \cdot \left[\varepsilon_{cu} \cdot \frac{k - \beta_1 \cdot (d'/d)}{k} \right] \right) \left| \times \frac{k}{\beta_1} \right.$$

$$\left[\frac{0,85 f_c' \cdot b \cdot d}{\beta_1} \right] \cdot k^2 + \left[\frac{A_s' \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s - A_s \cdot f_y}{\beta_1} \right] \cdot k - \left[A_s' \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s \cdot \frac{d'}{d} \right] = 0$$

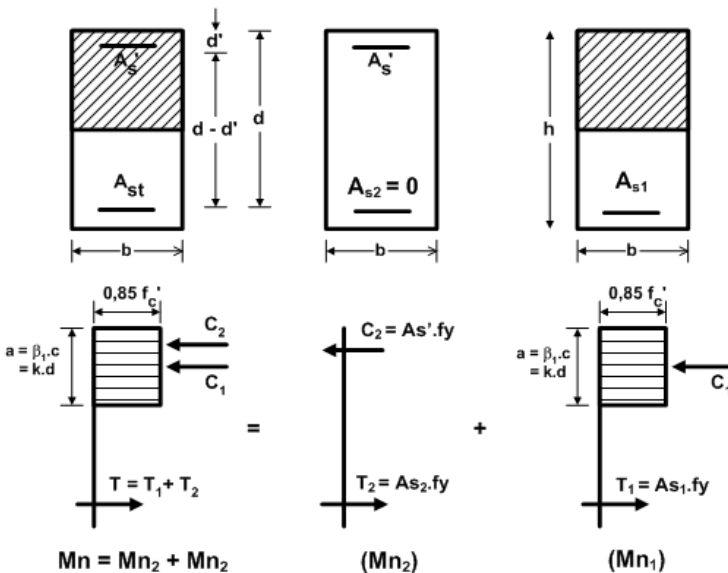
$$k = - \left(\frac{\rho' \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s - \rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f_c'} \right) + \sqrt{\left(\frac{\rho' \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s - \rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f_c'} \right)^2 + \left(\frac{\rho' \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s \cdot \beta_1 \cdot (d'/d)}{0,85 \cdot f_c'} \right)}$$

Lanjutkan step (6) & substitusi $f_s' = E_s \cdot \varepsilon_s'$ pada f_y dalam pers. M_n

didapat : $M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k (1 - 1/2 \cdot k) + A_s' \cdot (d - d') \cdot f_s'$

$$NB: \rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b + \rho' \cdot \frac{f_s'}{f_y}$$

Analisis Balok Persegi Bertulangan Rangkap Simetris ($A_s = A_s'$)



Prosedur:

1. Asumsi tulangan tekan meleleh: $\varepsilon_s' \geq \varepsilon_y$

2. Hitung:

$$T_2 = 0; T_2 = C_2 = 0$$

$$Mn_2 = C_2 \cdot (d - d') = 0$$

3. Hitung:

$$T_1 = T - T_2 = A_s \cdot f_y - 0 = A_s \cdot f_y$$

$$C_1 = T_1 = A_s \cdot f_y$$

4. Hitung:

$$k = \frac{C_1}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d} = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d} \Rightarrow k = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \cdot \rho$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \quad ; \quad \rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d}$$

5. Hitung regangan tulang antekan (ε_s')

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} \cdot \frac{k - \beta_1 \cdot (d'/d)}{k}$$

6. Hitung Tegangan Tulangan Tekan (f_s')

Jika $\varepsilon_s' \geq \varepsilon_y$, maka: $f_s' = f_y$

Jika $\varepsilon_s' < \varepsilon_y$, maka: $f_s' = E_s \cdot \varepsilon_s'$

7. Hitung ratio tulangan seimbang

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

8. Hitung ratio tulangan minimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

9. Hitung ratio tulangan maksimum

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b + \rho' \cdot \frac{f_s'}{f_y}$$

10. Momen nominal yang ditahan tulangan tarik

$$M_{n1} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$

11. Momen nominal kapasitas penampang

$$M_n = M_{n1} + M_{n2}$$

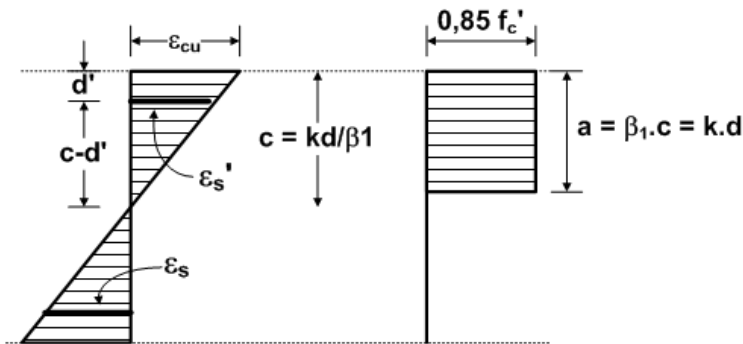
$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$

12. Momen Ultimit penampang

$$M_u = \phi \cdot M_n$$

Analisis Diagram Regangan pada Tulangan Tekan

Asumsi: tulangan tekan meleleh ($\epsilon_s' \geq \epsilon_y$)



$$\frac{\epsilon_s}{c - d'} = \frac{\epsilon_{cu}}{c}$$

$$\epsilon_s' = \epsilon_{cu} \cdot \frac{c - d'}{c} = \epsilon_{cu} \cdot \frac{k \cdot d / \beta_1 - d'}{k \cdot d / \beta_1} \quad ; \quad \epsilon_s' = \epsilon_{cu} \cdot \frac{k - \beta_1 \cdot (d'/d)}{k}$$

$$\text{Jika } \epsilon_s' = \epsilon_y \text{ (leleh) maka: } k_y = \beta_1 \cdot \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} - \epsilon_y} \cdot \left(\frac{d'}{d} \right)$$

Kontrol tulangan tekan:

- Jika $k < k_y$ tulangan tekan belum leleh $f'_s = E_s \cdot \epsilon'_s$
- Jika $k \geq k_y$ maka tulangan tekan leleh atau:

$$\frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \cdot (\rho - \rho') \geq \beta_1 \cdot \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} - \epsilon_y} \cdot \left(\frac{d'}{d} \right) ; \epsilon_{cu} = 0,003 ; E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$(\rho - \rho') \geq \left(\frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y \cdot d} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot d'$$

Contoh soal 3:

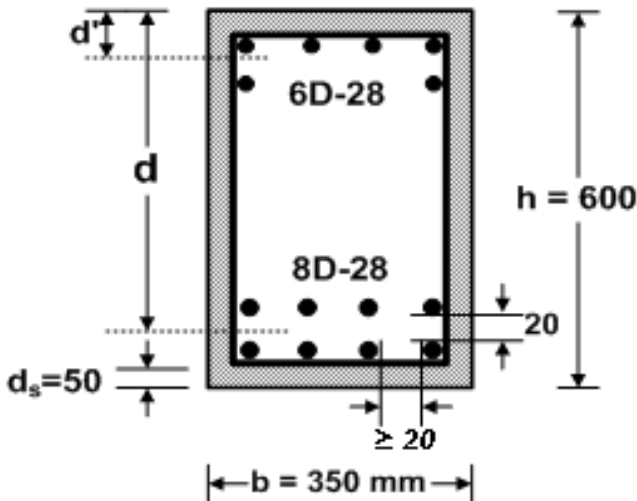
Sebuah balok segiempat diatas 2 tumpuan bentang (L) = 10 m dan memikul beban merata berfaktor total sebesar q_u , dimensi lebar 350 mm, tinggi 600 mm, diameter sengkang 8 mm dan jarak minimum antar tulangan 20 mm.

Tulangan tarik 8D-28,

Tulangan tekan 6D-28, Selimut beton 50 mm,

$f_y = 350 \text{ MPa}$, dan $f'_c = 22 \text{ MPa}$.

Hitunglah besarnya beban q_u yang dapat dipikul balok!



Penyelesaian:

Perhitungan titik tangkap tulangan:

Titik Berat Tulangan Tekan thd. Serat Tekan				
Lapis	n	A_s'	x	$A_s' \cdot x$
1	4	2463,009	72	177336,6
2	2	1231,504	120	147780,5
Total	6	3694,513		325117,1

$$d' = \frac{\sum A_s' \cdot x}{\sum A_s'} = 8 \text{ m}$$

Titik Berat Tulangan Tarik thd. Serat Tekan				
Lapis	n	A_s	x	$A_s \cdot x$
1	4	2463,009	72	177336,6
2	4	2463,009	120	295561,0
Total	8	4926,017		472897,7

$$d = \frac{\sum A_s \cdot x}{\sum A_s}$$
$$= 504 \text{ m}$$

- Nilai $\beta_1, f'_c = 22 \text{ MPa}$ ———— $\beta_1 = 0,85$
- Faktor Reduksi Kekuatan ———— $\phi = 0,80$ (lentur)

- Hitung rasio tulangan

$$A_s' = 6 \cdot 615,752 = 3694,513 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d} = \frac{3694,513}{350 \cdot 504} = 0,02094$$

$$A_s = 8 \cdot 615,752 = 4926,017 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{4926,017}{350 \cdot 504} = 0,02793$$

- Check batasan rasio tulangan
(asumsi tulangan tekan leleh)

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 22}{350} \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{600}{600 + 350} \right) \\ &= 0,02868 \end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b + \rho' = 0,75 \cdot 0,02868 + 0,02094 = 0,04246$$

$$\rho = 0,02793 < \rho_{maks} = 0,04246 \Rightarrow \text{keruntuhan tarik}$$

- Check kondisi leleh tulangan tekanan

$$\rho - \rho' \geq \left(\frac{0,85 f_c'}{f_y \cdot d} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 - f_y} \right) \cdot \beta_1 \cdot d'$$

$$0,02793 - 0,02094 \geq \left(\frac{0,85 \cdot 22}{350 \cdot 504} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 - 350} \right) \cdot 0,85 \cdot 88$$

$$0,00698 \leq 0,01903 \Rightarrow \text{tidak memenuhi artinya tul. tekan belum meleleh}$$

- Tulangan tekan belum leleh

$$k = - \left(\frac{\rho' \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s - \rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f_c'} \right) + \sqrt{\left(\frac{\rho' \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s - \rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f_c'} \right)^2 + \left(\frac{\rho' \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s \cdot \beta_1 \cdot d'/d}{0,85 \cdot f_c'} \right)}$$

$$k = - \left(\frac{0,02094 \cdot 0,003 \cdot 2 \cdot 10^5 - 0,02793 \cdot 350}{1,7 \cdot 22} \right) + \sqrt{\left(\frac{0,02094 \cdot 0,003 \cdot 2 \cdot 10^5 - 0,02793 \cdot 350}{1,7 \cdot 22} \right)^2 + \left(\frac{0,02094 \cdot 0,003 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,85 \cdot 88/504}{0,85 \cdot 22} \right)}$$

$$k = - 0,07466 + 0,32451 = 0,24985$$

- Regangan tulangan tekan yang terpasang

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} \cdot \frac{k - \beta_1 \cdot (d'/d)}{k} = 0,003 \cdot \frac{0,24985 - 0,85 \cdot (88/504)}{0,24985} = 0,00122 < \varepsilon_y = 0,0018$$

$$f_s' = E_s \cdot \varepsilon_s' = 200000 \cdot 0,00122 = 243,590 \text{ MPa}$$

- Regangan tulangan tarik yang terpasang

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} \cdot \left(\frac{\beta_1 - k}{k} \right) = 0,003 \cdot \left(\frac{0,85 - 0,24985}{0,24985} \right) = 0,00721 > \varepsilon_y = 0,0018 \text{ (leleh)}$$

- Koreksi rasio tulangan tarik maksimum karena tulangan tekan belum leleh

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b + \rho' \cdot \frac{f_s'}{f_y} = 0,75 \cdot 0,02868 + 0,02094 \cdot \frac{243,590}{350} = 0,0361$$

$$\rho = 0,02793 < \rho_{maks} = 0,0361 \rightarrow \text{keruntuhan tarik}$$

Hitung Momen Nominal:

Momen Nominal Akibat Tulangan Tarik:

$$M_{n1} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$

$$M_{n1} = 0,85 \cdot 22 \cdot 350 \cdot 504^2 \cdot 0,24985 \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot 0,24985) \cdot 10^{-6}$$

$$= 363,487 \text{ kN.m}$$

Momen Nominal Akibat Tulangan Tekan:

$$M_{n2} = A_s' \cdot (d - d') \cdot f_s'$$

$$= 3694,513 \cdot (504 - 88) \cdot 243,590 \cdot 10^{-6}$$

$$= 374,377 \text{ kN.m}$$

Momen Nominal Total (M_n):

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = 363,487 + 374,377 = 737,864 \text{ kN.m}$$

Momen Desain / ultimit (M_u):

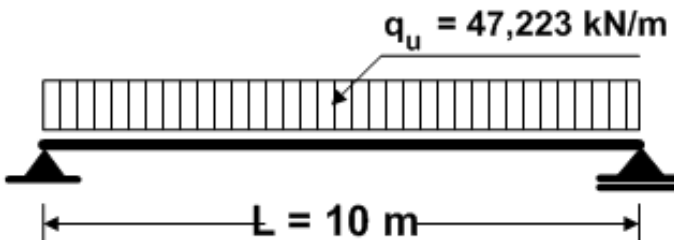
$$M_u = \phi \cdot M_n$$

$$M_u = 0,80 \cdot 737,864 = 590,291 \text{ kN.m}$$

Beban merata berfaktor yang mampu dipikul balok (q_u):

$$M_u = \frac{1}{8} \cdot q_u \cdot L^2 ; q_u = \frac{8 \cdot M_u}{L^2} = \frac{8 \cdot 590,291}{10^2} = 47,223 \text{ kN/m}$$

Sketsa Pembebanan



Contoh soal 4:

Sebuah balok lebar 300 mm dan tinggi 550 mm, mutu beton $f'_c = 20$ MPa dan mutu baja $f_y = 300$ MPa. Tulangan tarik 4D-25, selimut beton 50 mm. Hitung kapasitas momen nominal & momen desain dari penampang ini bila:

1. Tulangan tekan 2D-13
2. Tulangan tekan 3D-19

Penyelesaian

1. Tulangan tekanan 2D-13

- Hitung rasio tulangan

$$A_s' = 2.133 = 266 \text{ mm}^2 \Rightarrow \rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d} = \frac{266}{300 \cdot 500} = 0,00177$$

$$A_s = 4.490 = 1960 \text{ mm}^2 \Rightarrow \rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1960}{300 \cdot 500} = 0,013$$

- check batasan rasio tulangan (asumsi tulangan tekan leleh):

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 20}{300} \cdot 0,85 \cdot \left(\frac{600}{600 + 300} \right) = 0,0321 \end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b + \rho' = 0,75 \cdot 0,0321 + 0,00177 = 0,0258$$

$$\rho = 0,013 < \rho_{maks} = 0,0258 \Rightarrow \text{keruntuhan tarik}$$

- hitung nilai k

$$\begin{aligned} k &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \cdot [\rho - \rho'] = \frac{300}{0,85 \cdot 20} \cdot [0,013 - 0,00177] \\ &= 0,1982 \end{aligned}$$

- check regangan tulangan baja

$$\varepsilon_y = f_y / E_s = 300 / 200000 = 0,0015$$

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} \cdot \frac{k - \beta_1 \cdot (d'/d)}{k} = 0,003 \cdot \frac{0,1982 - 0,85 \cdot (50/500)}{0,1982}$$

$$= 0,0017 \geq \varepsilon_y \text{ (leleh)}$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} \cdot \left(\frac{\beta_1 - k}{k} \right) = 0,003 \cdot \left(\frac{0,85 - 0,1982}{0,1982} \right) = 0,0099 \geq \varepsilon_y \text{ (leleh)}$$

- tulangan baja tekan meleleh

$$M_{n1} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$

$$M_{n1} = 0,85 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 500^2 \cdot 0,1982 \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot 0,1982) \cdot 10^{-6} = 227,66 \text{ kN.m}$$

$$M_{n2} = A_s \cdot (d - d') \cdot f_y = 266 \cdot (500 - 50) \cdot 300 \cdot 10^{-6} = 35,91 \text{ kN.m}$$

Momen Nominal (Mn):

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = 227,66 + 35,91 = 263,57 \text{ kN.m}$$

Momen Desain/ultimit (Mu):

$$M_u = \phi \cdot M_n ; M_u = 0,80 \cdot 263,57 = 210,856 \text{ kN.m}$$

2. Tulangan tekan 3d-19

- hitung rasio tulangan

$$A_s' = 3 \cdot 284 = 852 \text{ mm}^2 \Rightarrow \rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d} = \frac{852}{300 \cdot 500} = 0,00568$$

$$A_s = 4 \cdot 490 = 1960 \text{ mm}^2 \Rightarrow \rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1960}{300 \cdot 500} = 0,013$$

- hitung nilai k

$$k = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \cdot [\rho - \rho'] = \frac{300}{0,85 \cdot 20} \cdot [0,013 - 0,0056] = 0,129$$

- check regangan tulangan baja

$$\varepsilon_y = f_y / E_s = 300 / 200000 = 0,0015$$

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} \cdot \frac{k - \beta_1 \cdot (d'/d)}{k} = 0,003 \cdot \frac{0,129 - 0,85 \cdot (50/500)}{0,129}$$

$$= 0,0010 < \varepsilon_y \text{ (belum leleh)}$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} \cdot \left(\frac{\beta_1 - k}{k} \right) = 0,003 \cdot \left(\frac{0,85 - 0,129}{0,129} \right) = 0,0168 > \varepsilon_y \text{ (leleh)}$$

- tulangan tekan belum meleleh

$$k = - \left(\frac{\rho' \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s - \rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f_c'} \right) + \sqrt{\left(\frac{\rho' \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s - \rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f_c'} \right)^2 + \left(\frac{\rho' \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s \cdot \beta_1 \cdot d'/d}{0,85 \cdot f_c'} \right)}$$

$$k = - \left(\frac{0,00568 \cdot 0,003 \cdot 2 \cdot 10^5 - 0,013 \cdot 300}{1,7 \cdot 20} \right) + \sqrt{\left(\frac{0,00568 \cdot 0,003 \cdot 2 \cdot 10^5 - 0,013 \cdot 300}{1,7 \cdot 20} \right)^2 + \left(\frac{0,00568 \cdot 0,003 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,85 \cdot 50 / 500}{0,85 \cdot 20} \right)}$$

$$k = -(-0,0145) + 0,1313 = 0,1458$$

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} \cdot \frac{k - \beta_1 \cdot (d'/d)}{k}$$

$$= 0,003 \cdot \frac{0,1458 - 0,85 \cdot (50/500)}{0,1458} = 0,0013 < \varepsilon_y$$

$$f_s' = E_s \cdot \varepsilon_s' = 2.105.0,0013 = 260 \text{ MPa}$$

Hitung Momen Nominal:

$$M_{n2} = A_s' \cdot (d - d') \cdot f_s' = 852 \cdot (500 - 50) \cdot 260 \cdot 10^{-6}$$

$$= 99,68 \text{ kN.m}$$

$$M_{n1} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d^2 \cdot k \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot k)$$

$$M_{n1} = 0,85 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 500^2 \cdot 0,1458 \cdot (1 - \frac{1}{2} \cdot 0,1458) \cdot 10^{-6}$$

$$= 172,34 \text{ kN.m}$$

Momen Nominal Total (M_n):

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = 172,34 + 99,68 = 272,02 \text{ kN.m}$$

Momen Desain / ultimit (M_u):

$$M_u = \phi \cdot M_n$$

$$M_u = 0,80 \cdot 272,02 = 217,62 \text{ kN.m}$$

Kesimpulan:

Tul. Tekan	ρ'	Rasio ρ'	Mn	Rasio Mn	k
2D-13	0,00177	1,00	263,57	1,00	0,1982
3D-19	0,00568	3,20	272,02	1,03	0,1458

- Peningkatan tulangan tekan sampai sebesar 3,2 x hanya memberikan sedikit kenaikan nilai momen nominal.
- Semakin besar rasio tulangan tekan akan menyebabkan nilai k semakin kecil ($\rho' \sim 1/k$)
- Semakin besar rasio tulangan tekan akan menyebabkan nilai kapasitas rotasi balok akan semakin besar pula ($\rho' \sim \varphi$) sehingga balok akan semakin daktail ($\varphi \sim \mu_\varphi$).

$$\varphi = \text{kapasitas rotasi} = \frac{\varepsilon_c}{c} = \varepsilon_c \frac{\beta_1}{k \cdot d} = \frac{1}{k} \cdot \frac{\varepsilon_c \cdot \beta_1}{d}$$

$$\mu_\varphi = \text{daktilitas kurvature} = \frac{\varphi_u}{\varphi_y}$$

$$\rho' \approx \frac{1}{\Delta_{\text{cp+sh}}} ; \Delta_{\text{cp+sh}} = \frac{T}{1 + 50 \cdot \rho'} \cdot \Delta_{\text{DL}}$$

- Semakin besar rasio tulangan tekan akan mengurangi lendutan akibat creep dan susut.

Umpan Balik Modul 4

Soal 1:

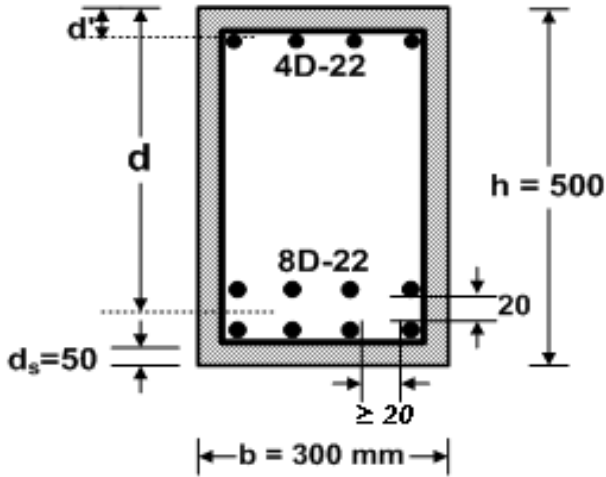
Sebuah balok segiempat diatas 2 tumpuan bentang (L) = 10 m dan memikul beban merata berfaktor total sebesar q_u , dimensi lebar 300 mm, tinggi 500 mm, diameter sengkang 8 mm dan jarak minimum antar tulangan 20 mm.

Tulangan tarik 8D-22,

Tulangan tekan 4D-22, Selimut beton 50 mm,

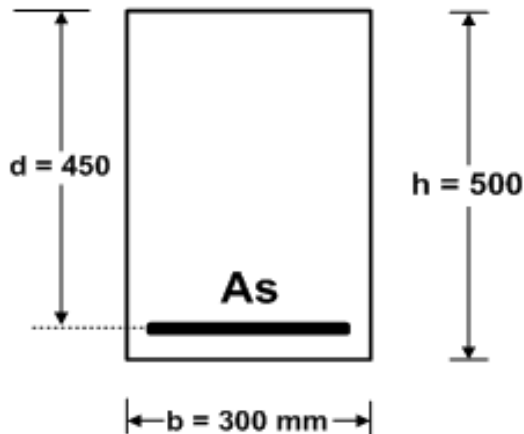
$f_y = 240$ MPa, dan $f'_c = 20$ MPa.

Hitunglah besarnya beban q_u yang dapat dipikul balok.



Soal 2:

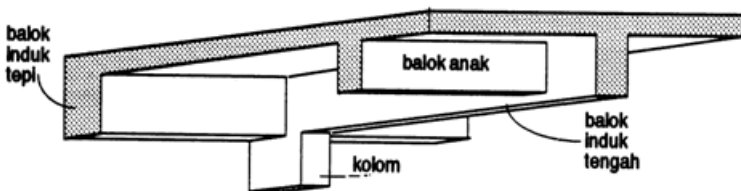
Desainlah balok segiempat dengan momen ultimit $M_u = 400 \text{ kN.m}$, dimensi balok dibatasi $b = 30 \text{ cm}$, $h = 50 \text{ cm}$, dan $d = 45 \text{ cm}$. Jika mutu baja $f_y = 400 \text{ MPa}$ dan mutu beton $f_c' = 32 \text{ MPa}$. Hitung luas tulangan yang diperlukan.



MODUL 5

LENTUR PADA BALOK T DAN L (TULANGAN TUNGGAL)

Desain Analisis Balok T dan Balok L

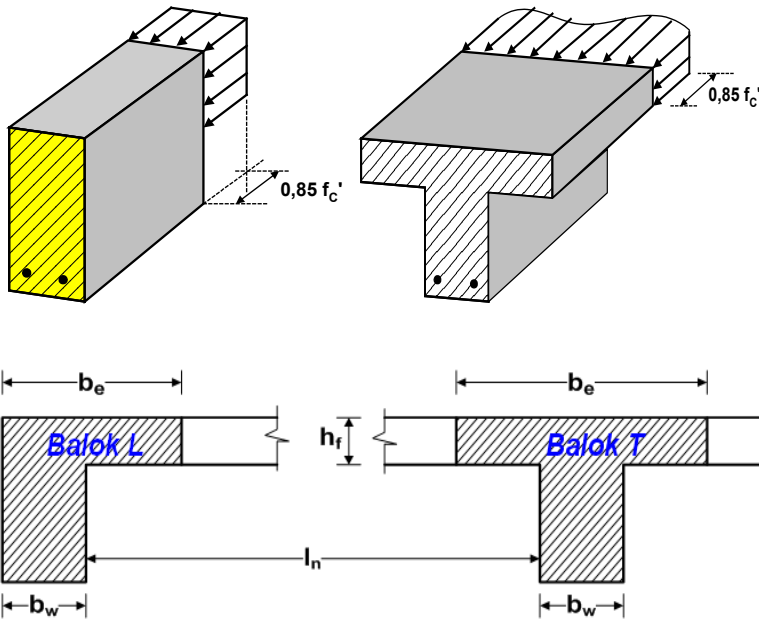


Pada penampang balok T dan L yang flensnya tertekan dapat direncanakan/dianalisis dengan cara seperti balok persegi. Flens menyediakan luas bidang tekan yang besar, oleh sebab itu tdk perlu meninjau baja tekan yg diperlukan.

Namun jika diperlukan, perencanaan dapat menggunakan prinsip balok persegi dengan tulangan rangkap.

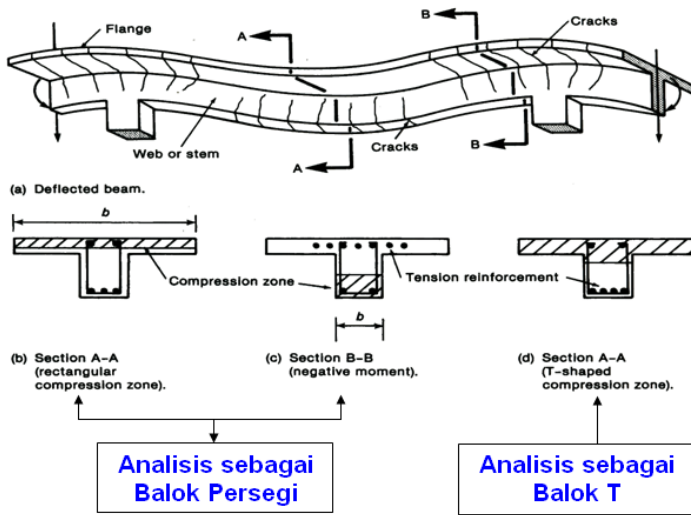
Lebar Efektif Balok T & Balok L

Pada balok segiempat, tegangan leleh didaerah tekan merata dalam arah melintang. Pada balok T dengan flens lebar dapat timbul tegangan tidak merata pada arah melintang karena terdapat deformasi geser pada arah tersebut (shear leg).



Lebar bagian slab yang dianggap bekerja sama dengan balok, harus memenuhi persyaratan berikut:

Balok T :	$b_e \leq 16 h_f + b_w$ $b_e \leq l_n + b_w$ $b_e \leq 1/4 L$, $L = \text{bentang balok}$
Balok L :	$b_e \leq 6 h_f + b_w$ $b_e \leq 0,5 l_n + b_w$ $b_e \leq 1/12 L + b_w$
Balok T Tunggal :	$h_f \geq 0,5 \cdot b_w$ dan $b_e \leq 4 \cdot b_w$



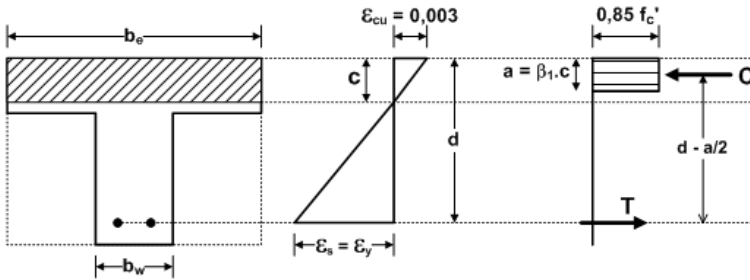
Ada dua kasus analisis:

1. Bila sumbu netral lebih kecil atau sama dengan tebal slab (h_f), balok dapat dianalisis sebagai BALOK PERSEGI dengan lebar balok sama dengan flens efektif (b_e).
2. Bila sumbu netral lebih besar dari tebal slab (h_f), analisis harus dilakukan dengan memperhatikan daerah tekan, balok dianalisis sebagai BALOK T.

Kasus (1):

Syarat: $a \leq h_f$ dan $c \leq \beta_1 \cdot h_f$ atau $A_s \leq A_{sf}$

Karena dalam kasus ini $a < h_f$, penampang dianggap sebagai balok persegi (BERPENAMPANG SEGIEMPAT) dengan lebar b_e .



Keseimbangan gaya internal, $C = T$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y \Rightarrow a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} ; \text{ dim ana } \rho = \frac{A_s}{b_e \cdot d}$$

Maka momen nominal penampang:

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \text{ atau } A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)}{f_y}$$

$$M_n = M_f = A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2}\right)$$

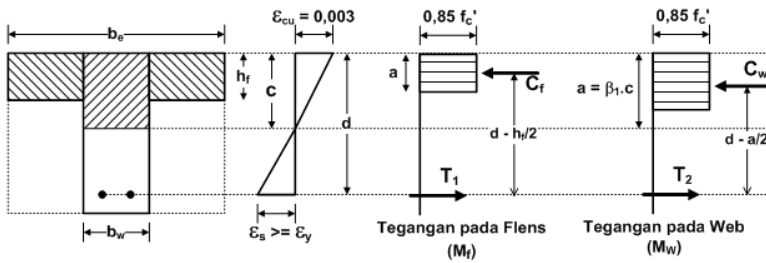
Keruntuhan tarik terjadi bila:

$$a < a_b ; \rho < \rho_b \text{ dengan } \rho_b = \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y}\right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y}\right)$$

Kasus (2):

Syarat: $a > h_f$ dan $c > \beta_1 \cdot h_f$ atau $A_s > A_{sf}$

Karena dalam kasus ini $a > h_f$ maka penampang dianalisis sebagai BALOK T, kemudian dianalisis dengan memberikan tulangan dibadan (web), sebesar: $A_{sw} = A_s - A_{sf}$



Bagian Flens:

$$T_1 = A_{sf} \cdot f_y$$

Gaya tekan beton pada bagian flens:

$$C_f = 0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)$$

dengan A_{sf} adalah luas tulangan yang pada kondisi tegangan leleh f_y akan mengimbangi gaya tekan pada bagian flens gantung yg. bertegangan $0,85 \cdot f_c'$

Keseimbangan gaya internal, $C_f = T_1$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w) = A_{sf} \cdot f_y \quad ; \quad A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)}{f_y}$$

Maka Momen Nominal pada flens :

$$M_f = A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

Bagian Web:

Luas tulangan sisanya, $A_{sw} = A_s - A_{sf}$ pada kondisi tegangan leleh f_y akan diimbangi oleh bagian balok segiempat.

$$T_2 = (A_s - A_{sf}) \cdot f_y$$

Gaya tekan beton pada bagian web :

$$C_w = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot a$$

Keseimbangan gaya internal, $C_w = T_2$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot a = (A_s - A_{sf}) \cdot f_y \quad ; \quad a = \frac{(A_s - A_{sf}) \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_w}$$

Maka Momen Nominal pada web :

$$M_w = A_{sw} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Momen Lentur Nominal penampang :

$$M_n = M_f + M_w$$

$$M_n = A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2}\right) + A_{sw} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Momen Lentur Rencana atau Ultimit :

$$M_u = \phi M_n, \text{ dimana : } \phi = 0,80 \text{ untuk lentur}$$

KONDISI SEIMBANG BALOK T

Keseimbangan Horisontal:

$$T = T_1 + T_2 = C_f + C_w$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot c + 0,85 \cdot f_c' \cdot (b - b_w) \cdot h_f$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot c + A_{sf} \cdot f_y \Rightarrow x = \frac{1}{f_y \cdot b_w \cdot d \cdot b_e}$$

$$\frac{\rho_b}{b_w} = \frac{\frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{c}{d}\right) + \rho_f}{b_e}$$

$$\frac{\rho_b}{b_w} = \frac{\frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_u + \varepsilon_y}\right) + \rho_f}{b_e}$$

$$\frac{\rho_b}{b_w} = \frac{\bar{\rho}_b + \rho_f}{b_e} ; \quad \rho_b = \frac{b_w}{b_e} \cdot (\bar{\rho}_b + \rho_f)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot (\rho_b) ; \quad \rho_b = \frac{b_w}{b_e} \cdot (\bar{\rho}_b + \rho_f)$$

rasio tulangan maksimum:

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

jika didefinisikan:

$$\rho_b = \frac{A_s}{b_e \cdot d} \quad ; \quad \rho_w = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \quad \text{dan} \quad \rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w \cdot d}$$

ratio tulangan seimbang:

$$\frac{c}{d} = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_u + \varepsilon_y} \quad \text{maka:} \quad c = \left[\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_u + \varepsilon_y} \right] \cdot d$$
$$\frac{\rho_b}{b_w} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{0,003 \cdot E_s}{0,003 \cdot E_s + f_y} \right) + \rho_f}{b_e}$$
$$\frac{\rho_b}{b_w} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) + \rho_f}{b_e}$$

dimana:

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

Contoh soal 1:

Tentukan nilai momen nominal (M_n) balok T seperti pada gambar. Digunakan beton mutu $f'_c = 17,5$ MPa dan mutu baja $f_y = 400$ MPa dengan tulangan (A_s) adalah 12D-25 = 5890 mm².

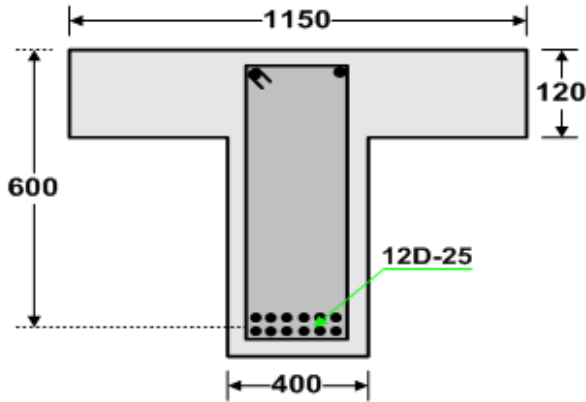
$$b_w = 400 \text{ mm}$$

$$b_e = 1150 \text{ mm}$$

$$d = 600 \text{ mm}$$

$$f'_c = 17,50 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$



Penyelesaian:

anggap persyaratan lebar efektif dipenuhi, periksa posisi sumbu:

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_e \cdot a = 0,85 \cdot 17,5 \cdot 1150 \cdot a = 17106 \cdot a$$

Keseimbangan gaya horizontal:

$$C = T = A_s \cdot f_y = 5890 \cdot 400 = 2356000 \text{ N}$$

$$\text{Maka, } 17106 \cdot a = 2356000 \Rightarrow a = \frac{2356000}{17106} = 138 \text{ mm}$$

Harga a melampaui tebal flens $h_f = 120 \text{ mm}$

maka balok perlu dianalisis sebagai penampang T

$$C_w = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot a = 0,85 \cdot 17,5 \cdot 400 \cdot a = 5950 \cdot a$$

$$C_f = 0,85 \cdot f'_c \cdot (b_e - b_w) \cdot hf = 0,85 \cdot 17,5 \cdot (1150 - 400) \cdot 120 = 1338750 \text{ N}$$

Sehingga: $T = C_w + C_f$; $C_w = T - C_f$

$$5950 \cdot A = 2356000 - 1338750$$

$$a = \frac{1017250}{5950} = 171 \text{ mm dan } C_w = 5950 \quad a = 1017450 N$$

Momen nominal balok T

$$M_n = C_w (d - a/2) + C_f (d - h_f/2)$$

$$M_n = [1017450 (0,60 - 0,171/2) + 1338750 (0,60 - 0,20/2)] 10^{-3}$$

$$= 1246 \text{ kNm}$$

Momen Ultimit/rencana penampang:

$$M_u = \phi M_n = 0,80 \cdot 1246 = 997 \text{ kNm}$$

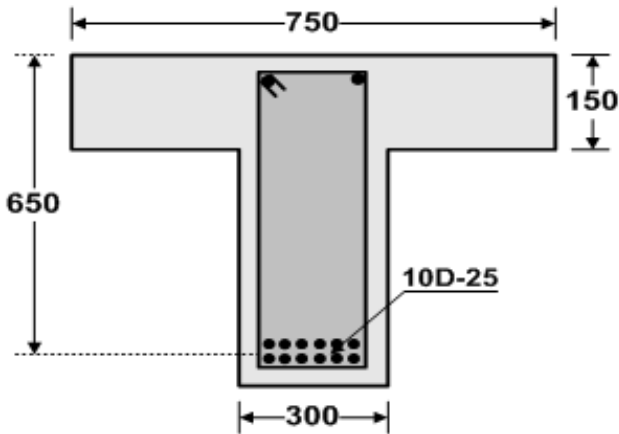
Contoh soal 2:

Suatu balok T tunggal ukuran flens 750 mm, tebal 150 mm dicor monolit dengan badan balok. Tulangan tarik terdiri dari 10D-25 yang ditempatkan dua lapis. Jarak garis sumbu tulangan dari bidang atas adalah 650 mm. Bila digunakan beton mutu $f'_c = 20 \text{ MPa}$ dan baja $f_y = 400 \text{ MPa}$, hitunglah momen kapasitas balok.

$$b_w = 300 \text{ mm}, b_e = 750 \text{ mm}$$

$$h_f = 150 \text{ mm}, d = 650 \text{ mm}$$

$$f'_c = 20 \text{ MPa}, f_y = 400 \text{ MPa}$$



Penyelesaian:

Luas tulangan tarik:

$$b_w = 300 \text{ mm}, \quad b_e = 750 \text{ mm},$$

$$h_f = 150 \text{ mm}, \quad d = 650 \text{ mm}$$

$$f_c = 20 \text{ MPa}, \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

Luas tulangan tarik:

$$10D-25 \Rightarrow A_s = 10 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 25^2) = 4900 \text{ mm}^2$$

kontrol dimensi balok T tunggal:

$$h_f \geq 0,5 \cdot b_w = 0,5 \cdot 300 = 150 \text{ mm}$$

$$b_e \leq 4 \cdot b_w = 4 \cdot 300 = 1200 \text{ mm}$$

ternyata dimensi balok T memenuhi syarat

Periksa lokasi sumbu netral dengan asumsi sebagai balok segiempat dengan lebar $b_e = 750 \text{ mm}$.

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} = \frac{4900 \cdot 400}{0,85 \cdot 20 \cdot 750} = 154 \text{ mm}$$

Ternyata nilai $a > h_f$, \Rightarrow dianalisis sebagai Balok T

Bagian Flens: $T_1 = A_{sf} \cdot f_y$

Gaya tekan beton pada bagian flens :

$$C_f = 0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)$$

dengan A_{sf} adalah luas tulangan pada kondisi tegangan leleh f_y akan mengimbangi gaya tekan pada bagian flens gantung, tegangan $0,85 \cdot f_c$

Keseimbangan gaya internal, $C_f = T_1$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w) = A_{sf} \cdot f_y$$

$$A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 20 \cdot 150 \cdot (750 - 300)}{400}$$

$$= 2868 \text{ mm}^2$$

Maka momen nominal pada flens:

$$M_f = A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) = 2868 \cdot 400 \cdot \left(650 - \frac{150}{2} \right)$$

$$= 659640 \text{ Nm}$$

Bagian Web:

Luas tulangan sisanya, $A_{sw} = A_s - A_{sf}$, pada kondisi tegangan leleh f_y akan diimbangi oleh bagian balok segiempat, $T_2 = (A_s - A_{sf}) \cdot f_y$

Gaya tekan beton pada bagian web: $C_w = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot a$
Keseimbangan gaya internal, $C_w = T_2$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot a = (A_s - A_{sf}) \cdot f_y$$

$$a = \frac{(A_s - A_{sf}) \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_w} = \frac{(4900 - 2868) \cdot 400}{0,85 \cdot 20 \cdot 300} = 160 \text{ mm}$$

Maka Momen Nominal pada web

$$M_w = (A_s - A_{sf}) \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= (4900 - 2868) \cdot 400 \cdot \left(650 - \frac{160}{2} \right)$$

$$= 463296 \text{ Nm}$$

Total Momen Lentur Nominal penampang:

$$M_n = M_f + M_w$$

$$M_n = 659640 + 463296 = 1122936 \text{ Nm}$$

Momen kapasitas/ultimit penampang:

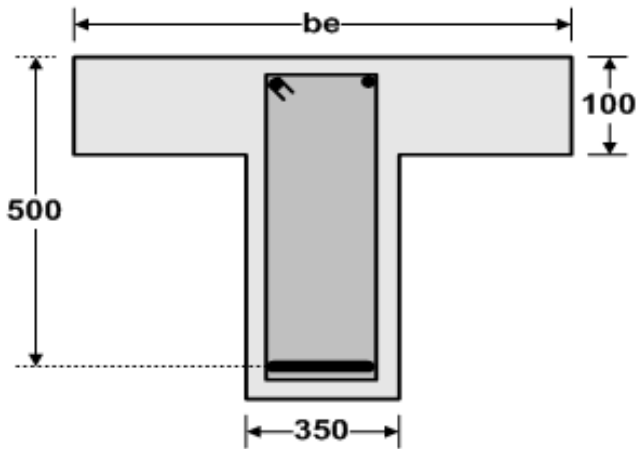
$$M_u = \phi \cdot M_n = 0,80 \cdot 1122936 = 898438 \text{ Nm}$$

Contoh soal 3:

Hitunglah kekuatan momen nominal dan momen ultimit balok seperti pada gambar dibawah ini. Jarak sumbu ke sumbu balok 2,50 m dan jarak bentang 6,0 m, serta jarak garis sumbu tulangan dari bidang atas adalah 500 mm. Bila digunakan beton mutu $f'_c = 20$ MPa dan baja $f_y = 400$ MPa serta $A_s = 4560$ mm².

$b_w = 350$ mm, $h_f = 100$ mm, $d = 500$ mm

$f'_c = 20$ MPa, $f_y = 400$ MPa, $A_s = 4560$ mm²



Penyelesaian:

Lebar efektif Balok T

$$b_e \leq 16 \cdot h_f + b_w \leq 16 \cdot 100 + 350 \leq 1950 \text{ mm}$$

$$b_e \leq l_n + b_w \leq (2500 - 350) + 350 \leq 2500 \text{ mm}$$

$$b_e \leq \frac{1}{4} \cdot L \rightarrow b_e \leq \frac{1}{4} \cdot 6000 \rightarrow b_e \leq 1500 \text{ mm}$$

Diambil yang terkecil, yaitu: $b_e = 1500$ mm

Periksa Rasio Tulangan maksimum , $\rho_{maks} \leq 0,75 \cdot \rho_b$

$$\rho_b = \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,02167 \text{ dan}$$

$$\rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w \cdot d} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)}{f_y \cdot b_w \cdot d} = 0,02793$$

$$\rho_b = \frac{b_w}{b_e} \cdot (\rho_b + \rho_f) = \frac{350}{1500} (0,021675 + 0,02793) = 0,011573$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot (\rho_b) = 0,75 \cdot (0,011573) = 0,00868$$

Periksa Rasio Tulangan minimum : $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$

$$\rho_w = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{4560}{350 \cdot 500} = 0,026057 \geq \rho_{min} \dots\dots\dots \text{Ok!}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b_e \cdot d} = \frac{4560}{1500 \cdot 500} = 0,00608 \leq \rho_{maks} \dots\dots\dots \text{Ok!}$$

Periksa lokasi sumbu netral:

Asumsi sbg balok segiempat dgn. lebar $b_e = 1500 \text{ mm}$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_e} = \frac{4560 \cdot 400}{0,85 \cdot 20 \cdot 1500} = 72 \text{ mm}$$

Ternyata $a < h_f$, balok dianalisis sebagai Balok Persegi

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) = 4560 \cdot 400 \cdot \left(500 - \frac{72}{2} \right) \cdot (10^{-3}) = 846336 \text{ Nm}$$

Maka Momen Nominal penampang:

$$M_u = \phi \cdot M_n = 0,80 \cdot 846336 = 677068 \text{ Nm}$$

Desain Penulangan Lentur Penampang Balok T

Diketahui: M_u, b, d, f_c', f_y

Ditanya: $A_s = ?$

Prosedur desain Balok T:

1. Hitung momen nominal M_n

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

2. Hitung nilai M_f dan bandingkan dengan nilai M_n .

$$A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)}{f_y} ; M_f = A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

3. Jika $M_n = M_f$, berarti penampang dianalisis sebagai BALOK PERSEGI (BERPENAMPANG SEGIEMPAT) dgn lebar b_e . Luas tulangan (A_{sf})
4. Jika $M_n > M_f$, ini berarti penampang dianalisis sebagai BALOK T, dan momen pada web dapat ditentukan sebesar $M_w = M_n - M_f$

$$M_n = \left(\frac{M_d}{\phi} \right) ; M_w = M_n - M_f$$

5. Menentukan nilai k yang diperlukan

$$M_w = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d^2 \cdot k \left(1 - \frac{k}{2} \right) \quad | \times 2$$

$$\frac{2 \cdot M_w}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d^2} = 2k - k^2 ; k^2 - 2k = -\frac{2 \cdot M_w}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d^2}$$

$$(k-1)^2 = 1 - \frac{2 \cdot M_w}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d^2} ;$$

$$k = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_w}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d^2}}$$

6. Menentukan nilai A_{sw} yang diperlukan:

$$M_w = A_{sw} \cdot f_y \cdot d \cdot \left(1 - \frac{k}{2} \right) ; A_{sw} = \frac{M_w}{f_y \cdot \left(d - \frac{k}{2} \right)}$$

7. Menentukan nilai A_{sf} yang diperlukan:

$$A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)}{f_y}$$

8. Luas total tulangan tarik:

$$A_s = A_{sf} + A_{sw}$$

9. Pilih tulangan dengan syarat: $A_{st} \geq A_s$

Contoh soal 4:

Suatu balok T, lebar flens 762 mm, tebal 180 mm dan lebar balok 350 mm dicor monolit dengan badan balok. Balok tersebut memikul momen akibat beban mati sebesar 50 tm dan beban hidup sebesar 70 tm. Jarak garis sumbu tulangan dari bidang atas adalah 930 mm. Mutu beton $f_c' = 21$ MPa dan baja $f_y = 350$ MPa, hitunglah luas tulangan balok T tsb.

Penyelesaian:

$$b_w = 350 \text{ mm}, b_e = 762 \text{ mm}, h_f = 180 \text{ mm}, d = 930 \text{ mm},$$

$$f_c = 21 \text{ MPa}, f_y = 350 \text{ MPa}, M_{DL} = 50 \text{ Tm dan } M_{LL} = 70 \text{ Tm}$$

1. Hitung Momen berfaktor M_u :

$$M_u = 1,2 \cdot M_{DL} + 1,6 \cdot M_{LL} ; M_u = 1,2 \cdot 50 + 1,6 \cdot 70 = 172 \text{ Tm}$$

2. Hitung Momen Nominal M_n : ($\phi = 0,80 \Rightarrow$ lentur)

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{172}{0,80} = 215 \text{ Tm}$$

3. Hitung nilai M_f dan bandingkan dengan nilai M_n .

$$A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot h_f \cdot (b_e - b_w)}{f_y} = 3782,16 \text{ mm}^2$$

$$M_f = A_{sf} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) = 3736,26 \cdot 350 \cdot \left(930 - \frac{180}{2} \right) \cdot (10^{-4})$$

$$= 111,196 \text{ Tm} < M_n$$

4. arena $M_n > M_f$, penampang dianalisis sebagai BALOK T, dan momen pada web dapat ditentukan sebesar $M_w = M_n - M_f$; $M_w = M_n - M_f = 215 - 111,196 = 103,804 \text{ Tm}$
5. Menentukan nilai k yang diperlukan

$$k = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_w}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d^2}}$$

$$k = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 103,804 \cdot (10^7)}{0,85 \cdot 21 \cdot 350 \cdot 930^2}} = 0,215$$

6. Menentukan nilai A_{sw} yang diperlukan:

$$A_{sw} = \frac{M_w}{f_y \cdot \left(d - \frac{k}{2}\right)} = \frac{103,804 \cdot (10^7)}{350 \cdot \left(930 - \frac{0,215}{2}\right)} = 3573,18 \text{ mm}^2$$

7. Menentukan nilai A_{sf} yang diperlukan:

$$A_{sf} = 3782,16 \text{ mm}^2$$

8. Luas total tulangan tarik:

$$A_s = A_{sf} + A_{sw}$$

$$A_s = 3782,16 + 3573,18 = 7146,36 \text{ mm}^2$$

9. Pilih tulangan dengan syarat: $A_{st} \geq A_s$
Diambil tulangan 15D-25

$$A_{st} = 15 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2\right) = 7359,38 \text{ mm}^2$$

10. Periksa Pembatasan Luas Tulangan Maksimum:

$$\begin{aligned} \bar{\rho}_b &= \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \left(\frac{0,85 \cdot 21 \cdot 0,85}{350} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + 350} \right) \\ &= 0,027 \\ \rho_f &= \frac{A_{sf}}{b_w \cdot d} = \frac{3782,16}{350 \cdot 930} = 0,012 \\ \rho_b &= \frac{b_w}{b_e} \cdot (\bar{\rho}_b + \rho_f) = \frac{350}{762} (0,027 + 0,012) = 0,018 \\ A_{sb} &= \bar{\rho}_b \cdot b_w \cdot d = 0,027 \cdot 350 \cdot 930 = 8788,50 \text{ mm}^2 \\ A_{smaks} &= A_{smaks \text{ (web)}} + A_{smaks \text{ (flens)}} \\ A_{smaks} &= 0,75 \cdot A_{sb} + 0,75 \cdot A_{sf} = 0,75 \cdot (8788,50 + 3782,16) \\ &= 9428 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

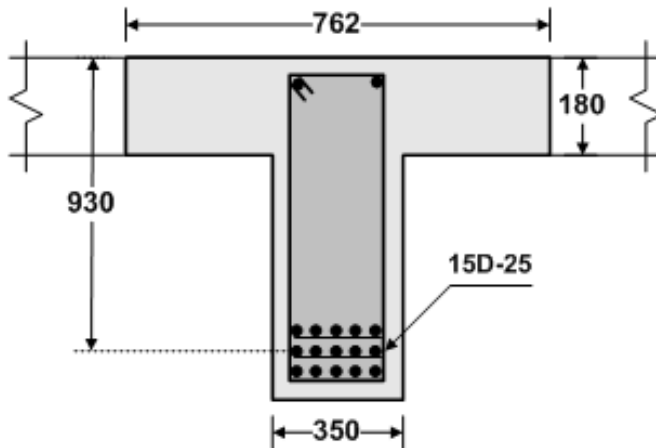
11. Periksa Pembatasan Luas Tulangan minimum

$$\rho_{\min} = 1,4/f_y = 1,4/350 = 0,004$$

$$A_{s\min} = \rho_{\min} \cdot b_e \cdot d = 0,004 \cdot 762 \cdot 930 = 2834,64 \text{ mm}^2$$

12. Karena $A_{s\min} \leq A_{st} \leq A_{smaks}$ maka perencanaan Ok!
karena telah memenuhisyarat daktilitas

13. Sketsa tulangan balok:



UMPAN BALIK MODUL 5

Soal 1:

Tentukan nilai momen nominal (M_n) balok T seperti pada gambar. Digunakan beton mutu $f'_c = 20$ MPa dan mutu baja $f_y = 240$ MPa dengan tulangan (A_s) adalah 12D-25 = 5890 mm².

$$b_w = 400 \text{ mm}$$

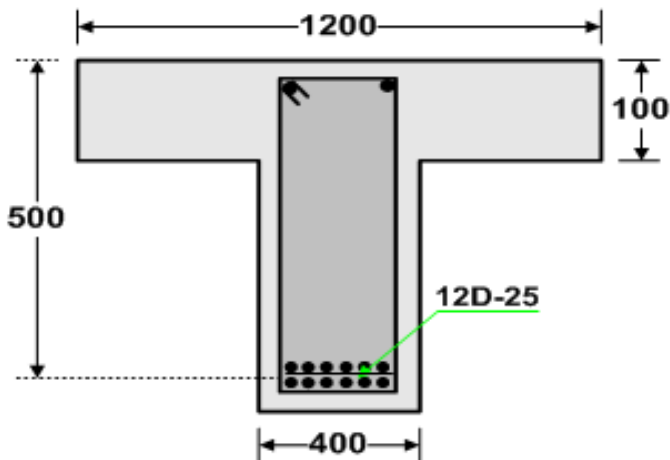
$$h_f = 100 \text{ mm}$$

$$b_c = 1200 \text{ mm}$$

$$d = 500 \text{ mm}$$

$$f'_c = 20 \text{ MPa}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$



Soal 2:

Suatu balok T, lebar flens 800 mm, tebal 160 mm dan lebar balok 400 mm dicor monolit dengan badan balok. Balok tersebut memikul momen akibat beban mati sebesar 60 tm dan beban hidup sebesar 80 tm. Jarak garis sumbu tulangan dari bidang atas adalah 950 mm. Mutu beton $f'_c = 25$ MPa dan baja $f_y = 400$ MPa. Hitunglah luas tulangan balok T tsb.



MODUL 6

GESER PADA BALOK

Pendahuluan

Struktur selama umur struktur struktur terhadap segala ragam keruntuhan akibat tersebut. Salah satu keruntuhan yang harus dicegah adalah keruntuhan akibat geser, yang mana keruntuhan geser ini akan mengurangi kekuatan elemen struktur dibawah kekuatan kapasitas lenturnya dan sangat mengurangi daktilitas dari elemen.

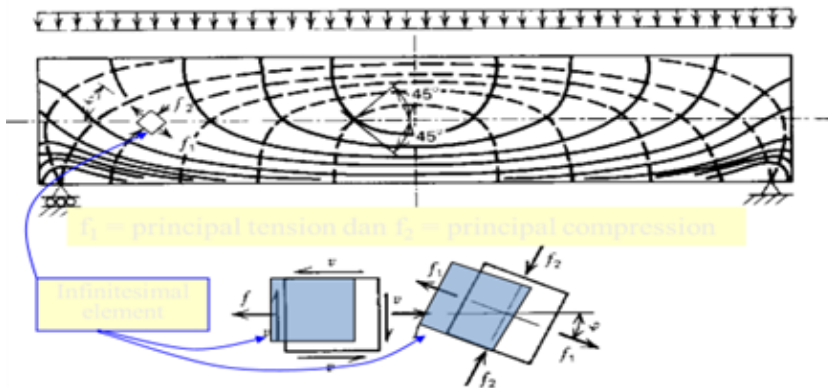
Keruntuhan ini dalam kenyataannya merupakan keruntuhan akibat kombinasi gaya geser dan momen lentur, dan kadang-kadang gaya normal atau torsi atau kedua-duanya.

Tingkah laku beton adalah tidak homogen, kekuatan tarik beton kira-kira hanya 1/10 dari kekuatan tekannya. Sehingga beton mudah sekali mengalami keretakan akibat tegangan tarik sedangkan pada daerah tekan tidak mengalami keretakan.

Keretakan terjadi pada daerah tumpuan karena pada daerah itu gaya geser dan tegangan geser v berharga maksimum sehingga didaerah perletakan tegangan utama tarik bekerja pada sudut sekitar 45°keretakan yang akan terjadi. Semua konsep dasar di atas kemudian

dikembangkan untuk digunakan pada analisis dan desain dari balok beton bertulang.

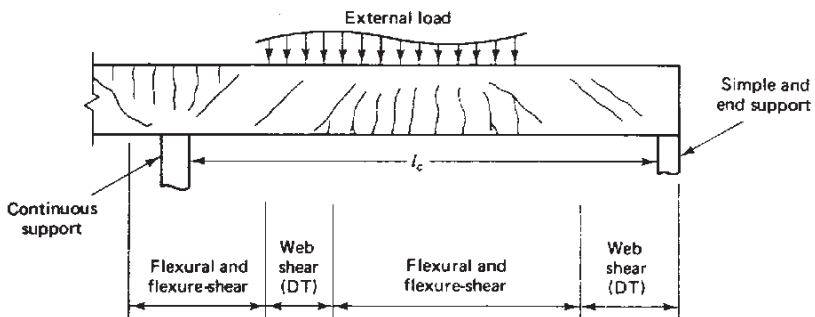
Kombinasi dari Tegangan Geser dan Tegangan Lentur



Trayektori dari principal stresses pada sebuah balok

Dengan *trajectory* tegangan utama dapat diperkirakan arah dari keretakan yang akan terjadi. Untuk mencegah keretakan ini maka diperlukan penulangan tarik diagonal.

TIPE RETAK MIRING PADA BALOK BETON

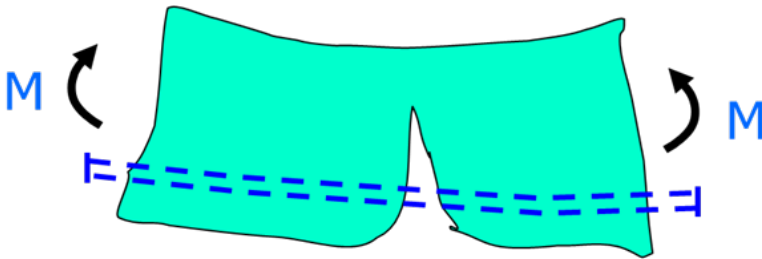


- Awalnya web shear cracking terjadi pada interior dari balok di mana principal tensile stresses $>$ kuat tarik dari beton di tempat tersebut;
- Flexure-shear cracking dimulai dengan flexural cracks. Pada saat terjadi flexural cracking, tegangan geser pada beton di atas retak bertambah. Flexure-shear crack terjadi pada saat kombinasi dari tegangan geser dan tegangan tarik melampaui kuat tarik beton.

JENIS-JENIS RETAK PADA BALOK

1. Flexural Crack (Retak Lentur)

Keretakan pada daerah yang mempunyai harga momen lentur besar. Arah retak hampir tegak lurus pada sumbu balok



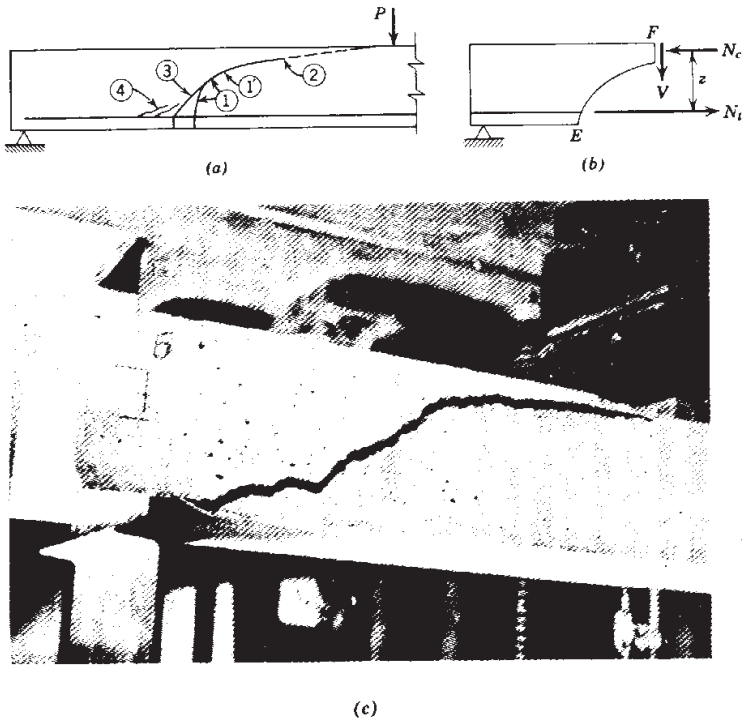
Gambar Retak Lentur

2. Flexural Shear Crack (Retak Geser Lentur)

Keretakan pada daerah yang sebelumnya telah mengalami retak akibat lentur.

Retak ini merupakan perambatan retak miring dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya.

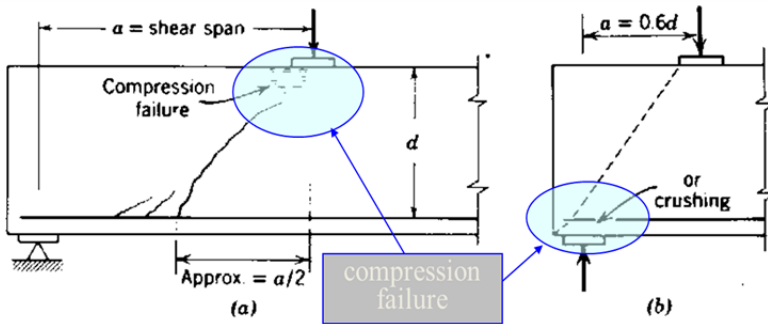
TERJADINYA DIAGONAL TENSION CRACK (SHEAR SPAN BESAR)



Penjelasan gambar

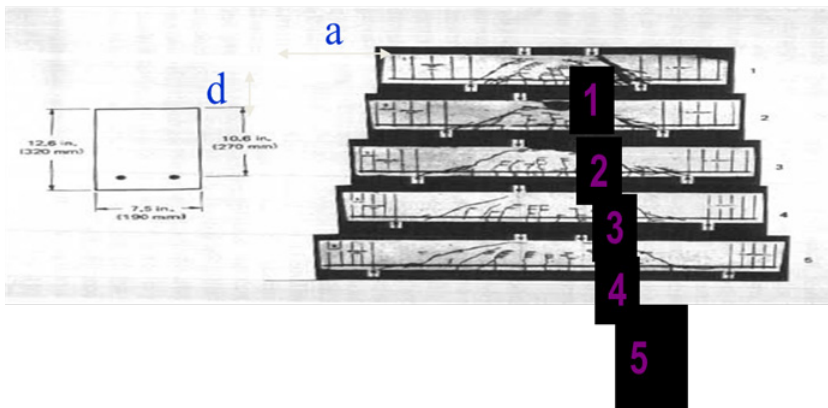
1. Diagram (a) mem-perlihatkan urutan terjadinya cracks;
2. Sketsa (b) adalah keseimbangan gaya pada bagian dari balok ;
3. Keruntuhan balok. Awalnya cracks terjadi sebagai flexural cracks → (tahap 1 Gbr. a)
4. Cracks kemudian se-cara bertahap beru-bah menjadi diago-nal tension cracks → lihat tahap 3 & 4 Gbr. a).

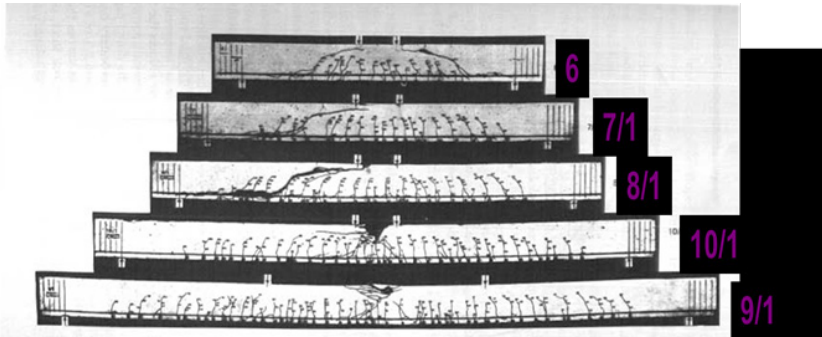
Shear Compression Failure pada Balok dengan Bentang Geser Kecil



1. Shear compression failure untuk shear span kecil. Keruntuhan terjadi akibat adanya kompresi miring (inclined thrust) antara titik beban dengan tumpuan dan akibatnya praktis menghilangkan konsep diagonal tension. Concrete crushing terjadi dekat titik beban → Kuat geser bertambah;
2. Shear span $< d$, di sini umumnya keruntuhan terjadi akibat mekanisme

POLA RETAK BALOK DENGAN VARIASI BENTANG





Mark	Span (m)	a/d
1	0.90	1.0
2	1.15	1.5
3	1.45	2.0
4	1.70	2.5
5	1.95	3.0
6	2.35	4.0
7/1	3.10	5.0
8/1	3.60	6.0
10/1	4.70	8.0
9/1	5.80	7.0

KATEGORI KERUNTUHAN BALOK

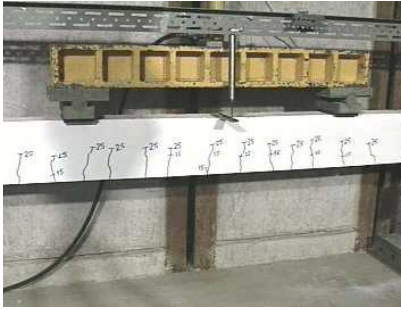
1. Jenis I:
 Jika $a/d < \frac{1}{2}$ maka balok tinggi
 Tegangan geser lebih menentukan daripada tegangan lentur
2. Jenis II:
 Jika $1 < a/d < 2\frac{1}{2}$ maka balok pendek
 Kekuatan gesernya melampaui kapasitas keretakan miring
3. Jenis III:
 Jika $2\frac{1}{2} < a/d < 6$ maka balok pendek
 Kekuatan gesernya samadengan kapasitas keretakan miring.
 Lentur mulai bersifat dominan

4. Jenis IV:

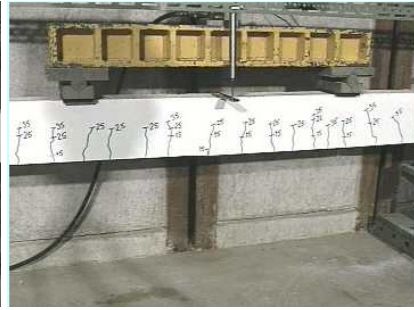
Jika $a/d > 6$ maka balok panjang

Keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan lentur

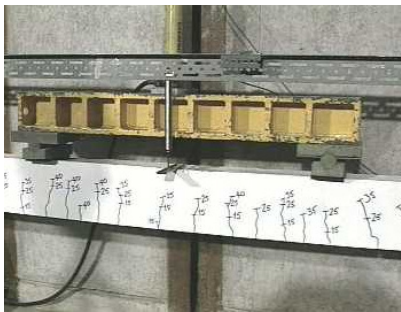
BALOK DIBEBANI GESER (Tanpa Tulangan Geser)



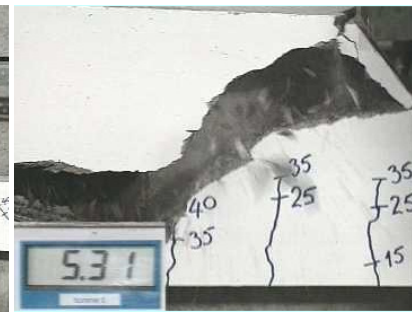
Pola Retak beban 25 kN



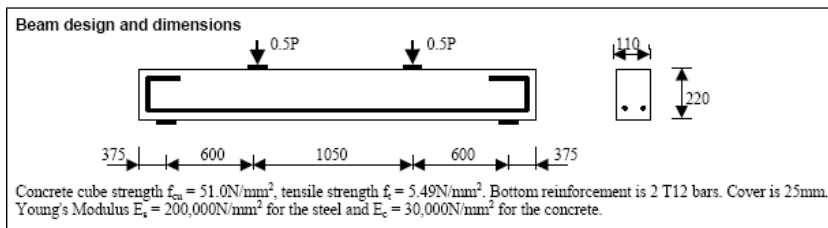
Pola Retak beban 35 kN



Pola Retak beban 40 kN



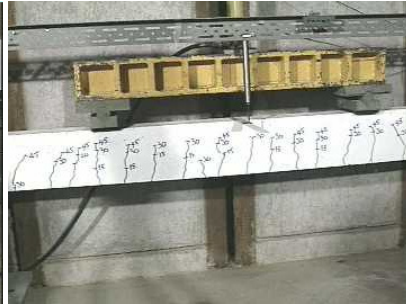
Pola Retak Ultimit



BALOK DIBEBANI GESER (Dengan Tulangan Geser)



Pola Retak beban 30 kN



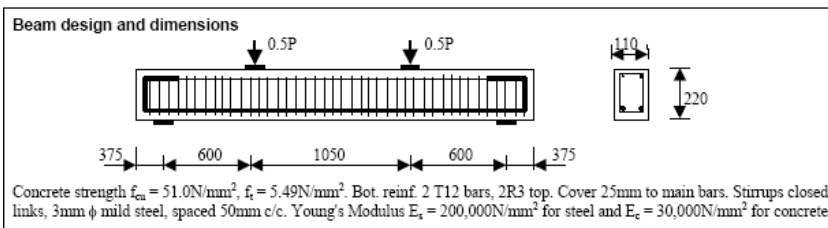
Pola Retak beban 45 kN



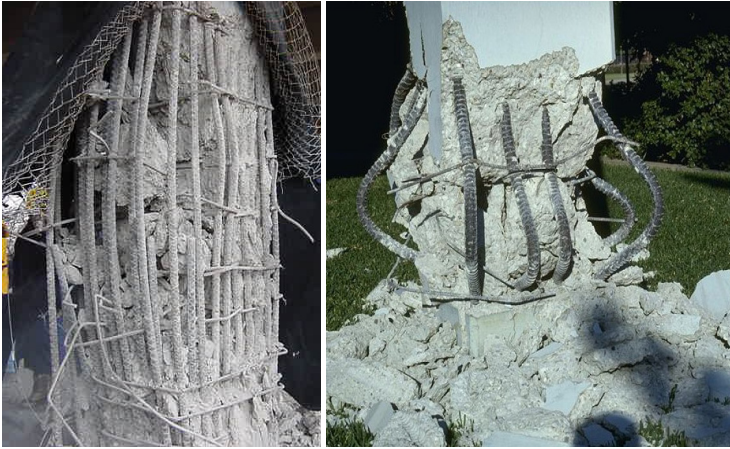
Pola Retak beban 60 kN



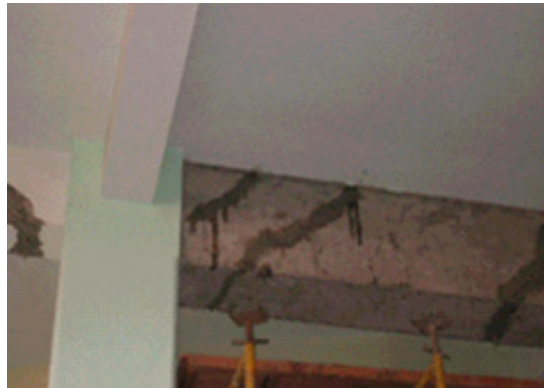
Pola Retak Ultimit



KASUS KEGAGALAN GESER



Berikan Komentar !!!
KASUS BALOK (Kegagalan Geser)



Berikan Komentar !!!
KASUS KEGAGALAN GESER



Gempa di Aceh 26 Desember 2004

Berikan Komentar !!!

KASUS KEGAGALAN GESER





Gempa di Aceh 26 Desember 2004
Berikan Komentar !!!

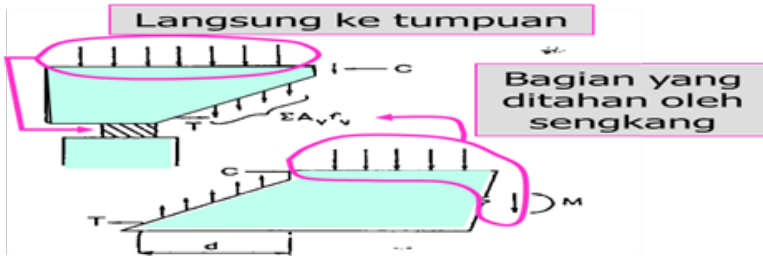
SEBAB KERUNTUHAN BANGUNAN

- Umumnya keruntuhan terjadi karena pelaksanaan pekerjaan tidak memenuhi ketentuan teknis yang dipersyaratkan dalam Standar Bangunan Tahan Gempa yang ada (SNI Gempa dan SNI Beton);
- Keruntuhan banyak terkonsentrasi pada daerah sambungan antar elemen struktur di mana yang teramati detail tulangan sengkang ikat tidak cukup hingga terjadi tekuk pada tulangan utama dari elemen struktur tegak (kolom);
- Pada bangunan yang praktis hancur total, umumnya di samping masalah di atas kualitas material yang digunakan tidak memenuhi ketentuan minimum yang dipersyaratkan. Hal ini bisa dilihat dari fakta bahwa bangunan disekitarnya kerusakannya biasa-biasa saja;
- Tidak jarang pelaku konstruksi yang terlibat tidak profesional;
- Harga unit pekerjaan dalam suatu bangunan umumnya sudah standar dan mudah dihitung serta mudah diverifikasi;
- Untuk jenis pekerjaan yang didapat oleh kontraktor melalui lelang, apalagi lelang terbuka, maka harga per unit pekerjaan tidak bisa lari jauh dari harga standar yang berlaku di saat itu
- Salah satu sebab tidak langsung, tapi signifikan kontribusinya, adalah adanya KKN dan/atau praktek penipuan pelaksanaan;
- KKN hanya mungkin terlaksana melalui 2 cara:
- Manipulasi volume pekerjaan (umumnya jarang karena mudah diperiksa)
- Manipulasi kualitas produk, khususnya bagian yang tidak terlihat setelah jadi, misal:
 - Jumlah, volume, dan kualitas tulangan
 - Kualitas material
- Dampak langsung, pekerjaan sub-standar dan rawan runtuh bila kena gempa kuat

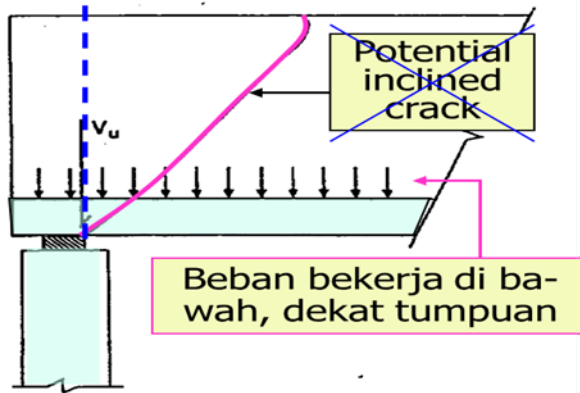
Gaya Geser Vu

Lokasi Dari Potongan Kritis Vu

1. Diagram free body dari ujung sebuah balok
Mekanisme yang menjelaskan mengapa untuk keperluan desain geser dihitung sejarak d dari tumpuan



2. Lokasi potongan kritis untuk geser, balok dibebani dibagian bawah
Geser yang bekerja pada potongan kritis harus memperhitungkan semua gaya yang di bawah potongan kritis.



3. Tipikal kondisi tumpuan untuk memperhitungkan V_u

COMMENTARY

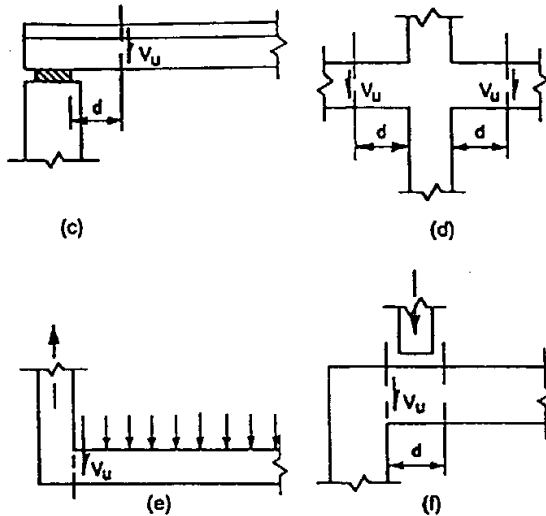


Fig. R11.1.3.1(c, d, e, f)—Typical support conditions for locating factored shear force V_u

- Gambar (c), dan (d) menunjukkan kondisi di mana V_u dihitung pada jarak d dari tumpuan;
- Gambar (e) dan (f) menunjukkan kondisi di mana V_u dihitung pada bidang permukaan dari tumpuan.
- Untuk kondisi (e) perlu diperhatikan geser pada bagian connection dari kedua elemen, yang umumnya harus diberi tulangan khusus (*special corner reinforcement*),
- Perhatikan kasus di mana beban tidak bekerja di bagian atas balok seperti kasus (B) pada slide sebelumnya.

Mekanisme Transfer Geser

1. Penampang Tanpa Tulangan Geser

Dalam sebuah balok beton bertulang yang tidak dilengkapi dengan tulangan geser, gaya lintang dipikul oleh suatu kombinasi dari tiga unsur utama, yaitu:

- Beton didalam daerah tekan: 40 – 20 %
- Tulangan tarik yang bertindak sebagai pasak: 25 – 15 %
- Kaitan antar agregat melintasi retakan lentur: 50 – 33 %

$$V = Vcz + Vd + Vay$$

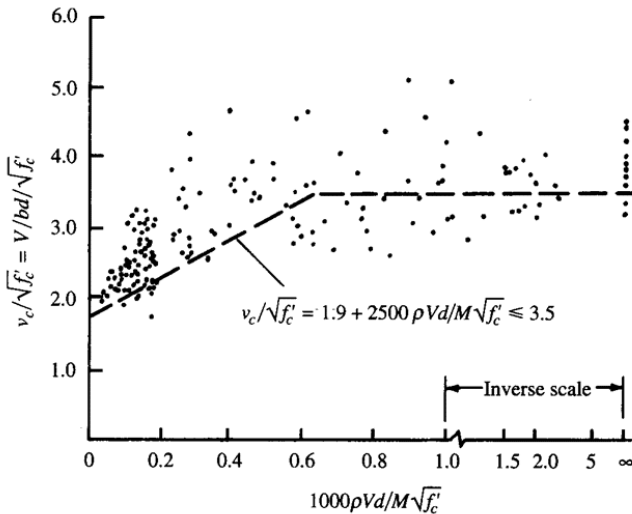
dimana:

Vcz = komponen gaya geser pada daerah blok beton tekan

Vd = komponen gaya dowel action oleh tulangan memanjang

Vay = komponen gaya geser antar permukaan retak

Cara menentukan kekuatan geser balok tanpa tulangan geser berdasarkan hasil regresi dari percobaan 440 model benda uji.



$$V_c = \left[1,9 \sqrt{f'_c} + 2500 \cdot \rho_w \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right] \cdot bw \cdot d$$

$$V_c < 3,5 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot d$$

Dalam SI

$$V_c = \left[\frac{1}{7} \left(\sqrt{f'_c} + 120 \cdot \rho_w \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) \right] \cdot bw \cdot d$$

$$V_c < 0,3 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bw \cdot d$$

Dimana:

$$\frac{V_u \cdot d}{M_u} \leq 1.0$$

Peraturan Indonesia (SNI) mengizinkan penggunaan persamaan berikut untuk perhitungan kapasitas geser, yaitu:

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \right) \cdot b_w \cdot d$$

Gaya aksial tekan akan menahan terjadinya keretakan sehingga akan memperbesar kapasitas gesernya, yaitu:

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \right) \cdot b_w \cdot d \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right)$$

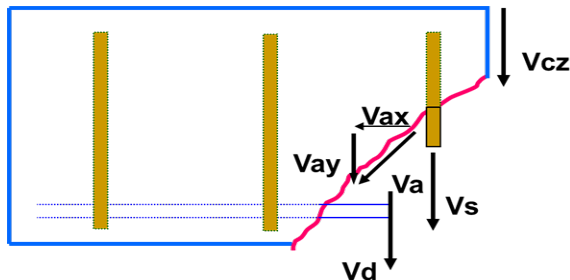
Gaya aksial tarik N_u (negatif untuk tarik) akan mempercepat proses retak sehingga akan memperkecil kapasitas geser, yaitu:

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \right) \cdot b_w \cdot d \cdot \left(1 + \frac{0.3 \cdot N_u}{A_g} \right)$$

Pada penampang beton bertulang dengan tulangan geser, selain gaya-gaya diatas terdapat satu komponen gaya lagi, yaitu sumbangan dari baja tulangan geser (V_s), sehingga persamaannya menjadi:

$$V_u = \phi(V_c + V_d + V_{ay} + V_s) \text{ atau}$$

$$V_u = \phi V_c + \phi V_s$$



Manfaat Tulangan Geser

Penggunaan sengkang akan meningkatkan kekuatan balok karena:

1. Sengkang akan memikul sebagian gaya geser penampang.
2. Sengkang akan menahan perkembangan lebar retak tarik diagonal.
3. Sengkang yang cukup rapat akan mengikat tulangan memanjang sehingga meningkatkan *dowel capacity*.

Spasi Sengkang Minimum

Untuk menjamin tidak terjadinya keruntuhan geser dibawah kapasitas lenturnya dan menjamin terpotongnya sengkang oleh retak miring maka peraturan mensyaratkan pembatasan spasi tulangan sengkang minimum, sbb:

SYARAT	NONPRESTRESSED	PRESTRESSED
$\phi V_s < \phi \cdot \left(\frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \right)$	$S < d/2$	$S < 0.75h$ atau $S < 600$
$\phi V_s > \phi \cdot \left(\frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \right)$	$S < d/4$	$S < 0.375.h$ atau $S < 300$

Pembatasan Harga VS

Untuk balok beton yang mempunyai badan (web) yang sangat tipis, keruntuhan diawali dengan hancurnya beton pada badan sebelum melelehnya tulangan sengkang.

Untuk mencegah keruntuhan semacam ini maka tegangan tekan diagonal/tegangan geser yang terjadi pada badan harus dibatasi, yaitu dengan pembatasan harga V_s sebesar:

$$V_s < \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

Zonasi Penulangan Geser

Karena keruntuhan geser pada balok tanpa tulangan geser biasanya bersifat tiba-tiba dan getas, maka SNI'91 mensyaratkan adanya

tulangan geser minimum pada balok yang dikenai gaya geser V_u yang besarnya melebihi $(0,5 \cdot \phi V_c)$ dan memerlukan tulangan geser jika $V_u \geq \phi V_c$.

$\phi V_c + \phi \left[\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \right]$ $\phi V_c + \phi \left[\frac{1}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \right]$ ϕV_c $0,50 \cdot \phi V_c$	Zona V	Luas penampang terlalu kecil	
	Zona IV	Jarak tulangan sengkang lebih rapat	$S \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{\phi V_s}$ atau $S \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot d}{\phi V_s}$ $S \leq 0,25 \cdot d$ atau $S \leq 300 \text{ mm}$
	Zona III	Jarak tulangan sengkang	$S \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{\phi V_s}$ atau $S \leq \frac{A_v \cdot f_y \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot d}{\phi V_s}$ $S \leq 0,50 \cdot d$ atau $S \leq 600 \text{ mm}$
	Zona II	Tulangan sengkang minimum	$S \leq \frac{3 \cdot A_v \cdot f_y}{bw}$ $S \leq 0,5 \cdot d$ atau $S \leq 600 \text{ mm}$
	Zona I	Tidak perlu tulangan sengkang	

Dimana: $\phi V_s = V_u - \phi V_c$

Perencanaan Tulangan Geser

Langkah-langkah dalam perencanaan tulangan geser sengkang:

1. Hitung gaya geser berfaktor V_u berdasarkan penampang kritis
2. Jika $V_u \leq \frac{1}{2} \phi V_c$ maka tidak perlu tulangan geser
3. Gunakan tulangan geser minimum bila $\frac{1}{2} \phi V_c < V_u \leq \phi V_c$

Luas tulangan geser minimum: $A_v = \frac{bw \cdot S}{3 \cdot f_y}$

4. Bila, $V_u \leq \phi V_c + \phi \left[\frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \right]$ tulangan geser harus diberikan

dimana: $s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{\phi V_s}$ untuk sengkang vertikal

$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{\phi V_s} (\sin \alpha + \cos \alpha)$ untuk sengkang miring

$\phi V_s = V_u - \phi V_c$

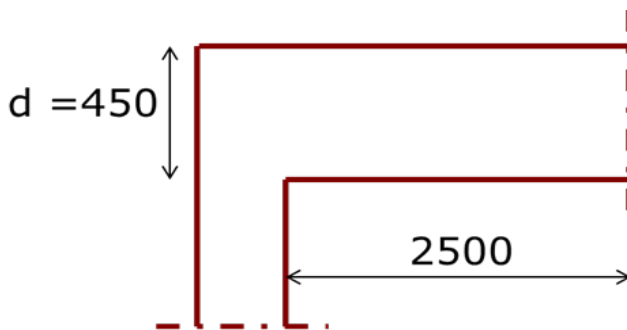
5. Jarak maksimum sengkang:

Syarat	Nonprestressed	Prestressed
$\phi V_s < \phi \left(\frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \right)$	$S < d/2$	$S < 0,75 \cdot h$ atau $S < 600$
$\phi V_s > \phi \left(\frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d \right)$	$S < d/4$	$S < 0,375 \cdot h$ atau $S < 300$

6. Bila $V_u \geq \phi \cdot V_c + \phi \cdot \left(\frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \right)$ maka dimensi penampang balok harus diperbesar

Contoh Soal:

Sebuah balok terletak pada tumpuan sederhana panjang bentang bersih 5 m dan mendukung beban mati merata sebesar 21,5 kN/m (termasuk beban sendiri) dengan beban hidup merata 34,5 kN/m, bila $f_c' = 24$ MPa dan $f_yh = 275$ MPa serta penampang berukuran $b_w = 350$ mm. Rencanakan penulangan geser balok tsb.



Penyelesaian:

- Tahap 1:

Beban merata berfaktor:

$$W_u = 1,6 \times 34,50 + 1,2 \times 21,50 = 81 \text{ kN/m}$$

Gaya geser pada muka tumpuan:

$$R_u = 81 \times 2,5 = 202,50 \text{ kN}$$

Gaya geser pada jarak d dari muka tumpuan:

$$V_u = \frac{2,50 - 0,45}{2,50} \times 202,50 = 166,05 \text{ kN}$$

- Tahap 2:

Kekuatan geser yang diberikan beton:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{24} \times 0,35 \times 0,45 = 0,1285 \text{ MN} = 128,5 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,60 \times 128,50 = 77,10 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{2} \phi \cdot V_c = 38,55 \text{ kN}$$

karena $V_u > \phi V_c$ maka diperlukan tulangan sengkang

- Tahap 3:

Penulangan geser pada daerah yang perlu tulangan geser:

Kekuatan geser yang diberikan tulangan baja:

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 166,05 - 77,10 = 88,95 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot \left(\frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \right) = 0,60 \cdot \left(\frac{1}{3} \sqrt{24} \cdot 0,35 \cdot 0,45 \right) \times 1000 = 154,264 \text{ kN}$$

Dicoba $\phi = 10 \text{ mm}$ (Luas satu kaki = $78,5 \text{ mm}^2$)

$$\text{Jadi } A_v = 2 \times 78,5 = 157 \text{ mm}^2$$

Jarak spasi tulangan sengkang ($\alpha = 90^\circ$):

$$S = \frac{A_v \cdot f_{yh} \cdot d}{\phi V_s} = \frac{157 \cdot 275 \cdot 450}{88,95 \times 10^3} = 218 \text{ mm} \text{ --- dipakai } S = 150 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan geser $\phi 10-150$.

Penulangan geser pada daerah yang cukup tulangan geser minimum:

Syarat tulangan geser minimum jika: $\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c < V_u \leq \phi \cdot V_c$

Karena , $\phi V_s < \phi \cdot \left(\frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \right)$ maka:

$$S_{\max} = \frac{d}{2} = \frac{450}{2} = 225 \text{ mm} \text{ -- dipakai } S = 200 \text{ mm}$$

$$A_v = \frac{b_w \cdot S}{3 \cdot f_y} = \frac{350 \cdot 200}{3 \cdot 275} = 85 \text{ mm}^2$$

Luas 1 kaki tulangan sengkang = $85/2 = 42,50 \text{ mm}^2$

---- dipakai $\phi_s = 8 \text{ mm}$ ($A_s = 50 \text{ mm}^2$)

Jadi dipakai tulangan geser ϕ 8-200.

Batasan daerah tulangan sengkang:

$$x_1 = \frac{R_u - \phi V_c}{R_u} \cdot (0,5 \cdot L_n) = \frac{202,50 - 77,10}{202,50} \cdot 2500 = 1550 \text{ mm}$$

$$x_2 = \frac{R_u - \frac{1}{2} \cdot \phi V_c}{R_u} \cdot (0,5 \cdot L_n) = \frac{202,50 - 38,55}{202,50} \cdot 2500 = 2000 \text{ mm}$$

Daerah perlu tulangan sengkang:

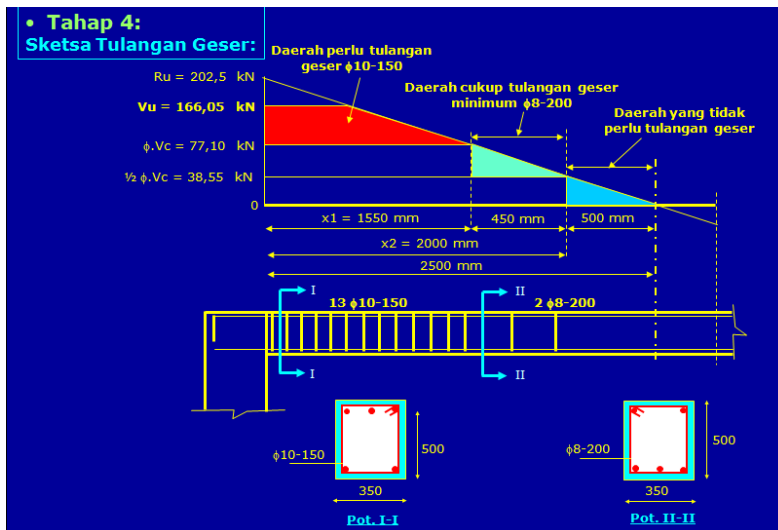
$$x_1 = 1550 \text{ mm}$$

Daerah tulangan sengkang minimum:

$$x_2 - x_1 = 2000 - 1550 = 450 \text{ mm}$$

Daerah tidak perlu tulangan sengkang:

$$0,5 L_n - x_2 = 2500 - 2000 = 500 \text{ mm}$$



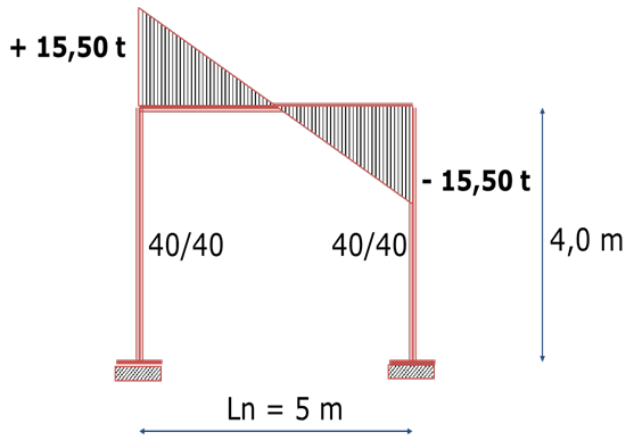
Umpan Balik Modul 6

Soal 1

Sebuah balok pada struktur portal dengan panjang bentang bersih 5 m mempunyai hasil analisa gaya lintang seperti pada gambar dibawah ini, rencanakan dan gambarlah tulangan geser balok tersebut.

Data:

1. $f_{yh} = 350 \text{ MPa}$, $f_c' = 28 \text{ MPa}$., $b_w = 30 \text{ cm}$, $d = 45 \text{ cm}$,
 $N_u = 2,50 \text{ ton}$ (tekan)
2. $f_{yh} = 400 \text{ MPa}$, $f_c' = 35 \text{ MPa}$., $b_w = 35 \text{ cm}$, $d = 50 \text{ cm}$,
 $N_u = 2,00 \text{ ton}$ (tarik)



**Diagram gaya Lintang ultimit
pada as kolom**



BAHAN AJAR

STRUKTUR BETON BERTULANG I

Pondasi beton adalah struktur dasar yang dibangun di bawah suatu bangunan untuk mendukung beban beban vertikal dari bangunan tersebut dan mentransfernya ke tanah di bawahnya. Fungsi utama dari pondasi beton adalah untuk mendistribusikan beban bangunan secara merata ke tanah, sehingga dapat mencegah terjadinya penurunan atau pergeseran yang dapat merusak struktur bangunan.

Pondasi beton umumnya terdiri dari campuran beton yang kuat dan tahan terhadap tekanan. Proses pembuatannya melibatkan pengecoran beton ke dalam suatu cetakan yang sesuai dengan desain dan kebutuhan struktural bangunan. Jenis pondasi beton yang digunakan dapat bervariasi tergantung pada jenis tanah, beban bangunan, dan kondisi lingkungan sekitar.

Penting untuk memilih jenis pondasi yang sesuai dengan karakteristik tanah di lokasi bangunan dan beban yang akan ditopang. Pondasi yang baik akan memberikan stabilitas dan keamanan pada bangunan sepanjang masa pakainya.

litrus. Penerbit



litrasinusantaraofficial@gmail.com
www.penerbitlitrus.co.id
@litruspenerbit
litrasinusantara_
085755971589

Pendidikan

+17

ISBN 978-623-114-466-9



9 786231 144669