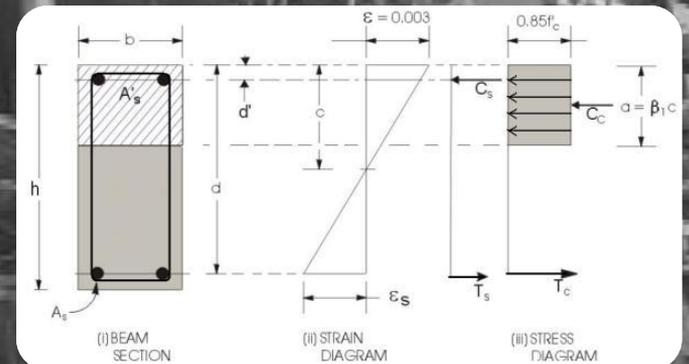
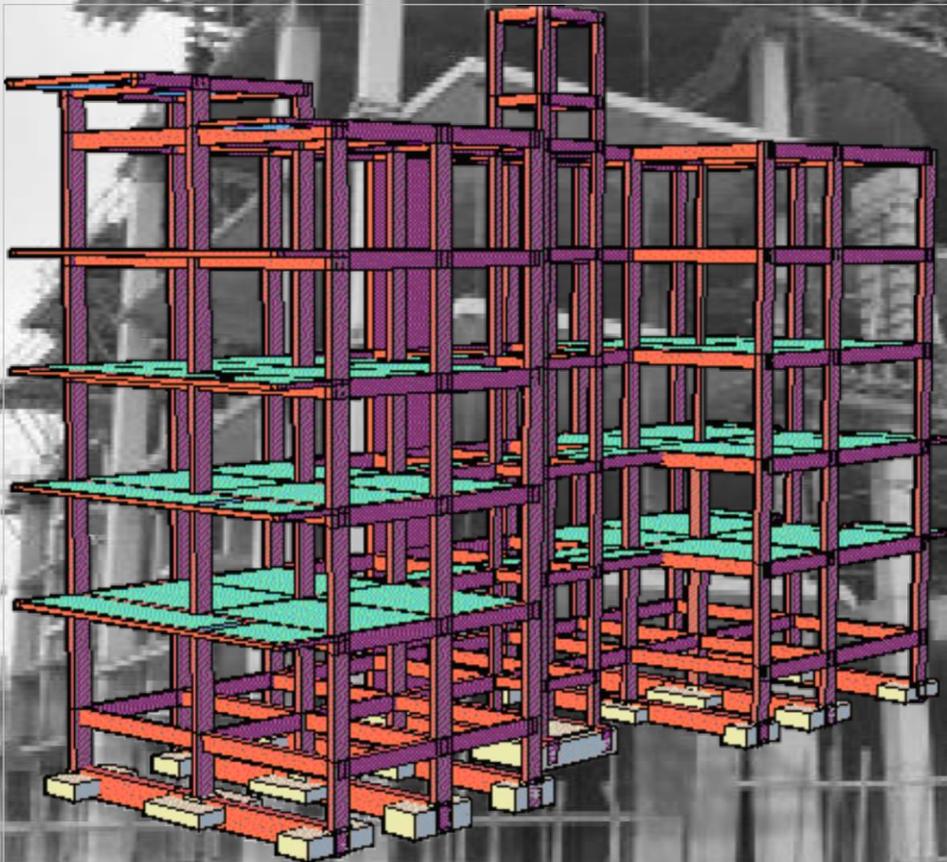


Struktur Beton

balok persegi



POP QUIZ 1

Gambarkan dan jelaskan grafik hubungan tegangan – regangan untuk material beton dan baja!

Lokasi
Tulangan

Jarak
Tulangan

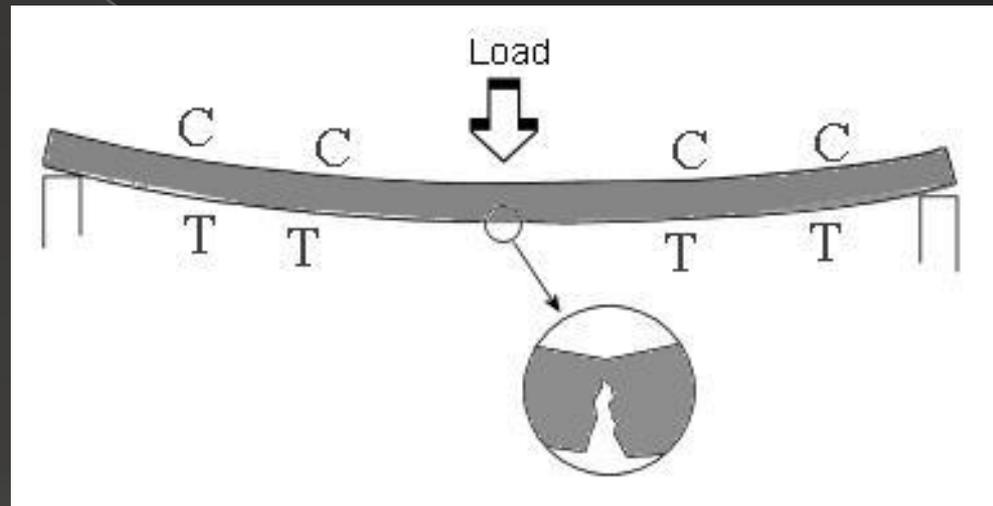
desain
balok
persegi

Tinggi
Minimum
Balok

Selimit
Beton

Lokasi Tulangan

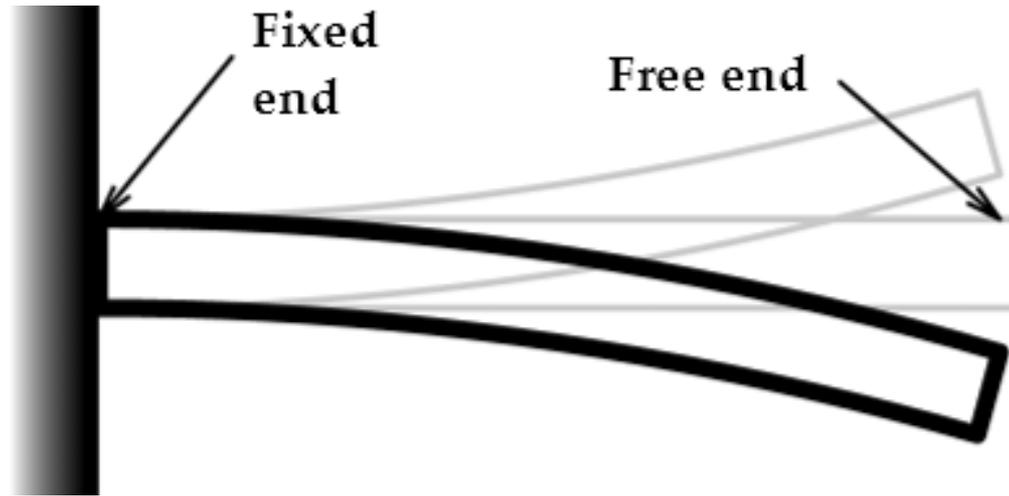
Terdapat tiga jenis balok yang menentukan lokasi tulangan, yaitu balok yang ditumpu sederhana (a), balok kantilever (b), dan balok menerus (c)



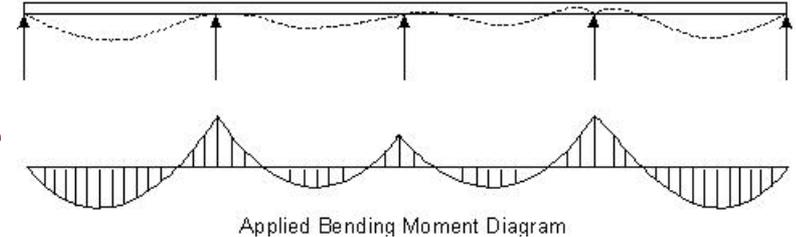
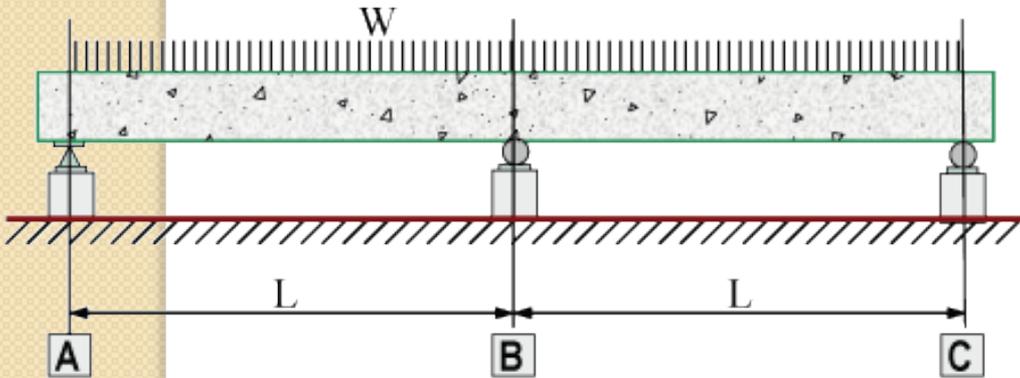
Gambar (a) menunjukkan perilaku balok yang ditumpu secara sederhana di kedua ujungnya saat diberikan beban terpusat di tengah bentang



Lokasi Tulangan



Gambar (b) menunjukkan perilaku lendutan balok kantilever ketika diberi beban



Gambar (c) menunjukkan perilaku lendutan balok menerus

Tinggi Balok

Tabel 8, SNI beton 2002 menyajikan tinggi minimum balok sbb,

- Balok di atas dua tumpuan : $h_{\min} = L/16$
- Balok dengan satu ujung menerus : $h_{\min} = L/18,5$
- Balok dengan kedua ujung menerus : $h_{\min} = L/21$
- Balok kantilever : $h_{\min} = L/8$

Dimana L = panjang bentang dari tumpuan ke tumpuan

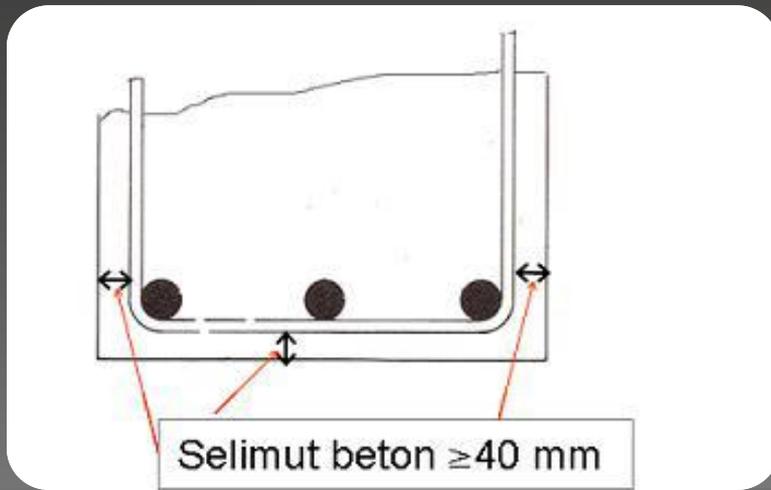
Jika nilai tinggi minimum ini dipenuhi, pengecekan lendutan tidak perlu dilakukan

Selimut Beton dan Jarak Tulangan

Selimut beton adalah bagian beton terkecil yang melindungi tulangan

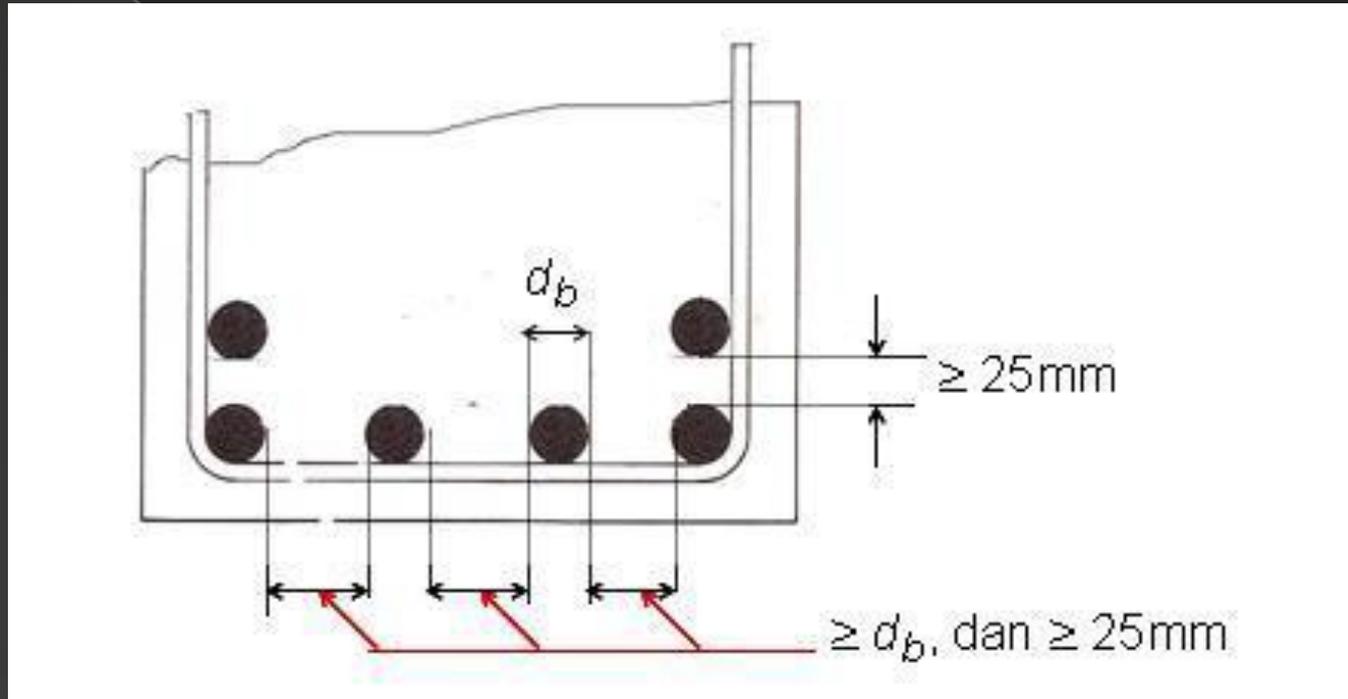
Selimut beton ini diperlukan untuk :

- Memberikan daya lekat tulangan ke beton
- Melindungi tulangan dari korosi
- Melindungi tulangan dari panas tinggi jika terjadi kebakaran. (Panas tinggi dapat menyebabkan menurun/hilangnya kekuatan baja tulangan)



Tebal minimum selimut beton untuk balok adalah : 40 mm (SNI beton 2002 pasal 9.7)

Selimut Beton dan Jarak Tulangan



Jarak tulangan yang disyaratkan adalah seperti pada gambar

Batasan Tulangan

Menurut SNI beton pasal 12.5.1)., tulangan minimum balok empat persegi (komponen struktur lentur) diambil nilai terbesar dari dua rumus berikut :

$$1. A_{smin} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_w d$$

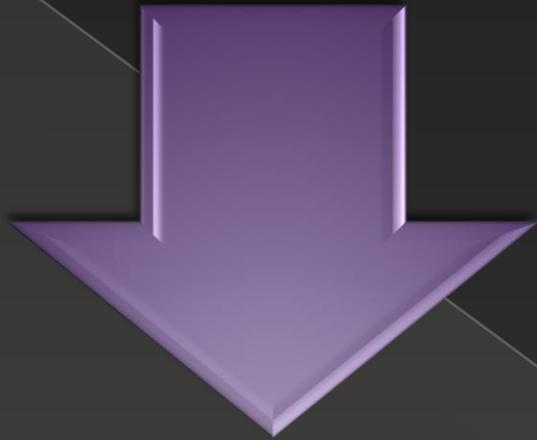
$$2. A_{smin} = \frac{1.4}{f_y} b_w d$$

b_w merupakan lebar badan balok

$$\rho < \rho_b$$

Rasio tulangan yang diharapkan

Batasan Tulangan



Underreinforced



Overreinforced



Batasan Tulangan

Agar dapat dijamin bahwa jenis keruntuhan balok betul-betul pada keruntuhan tarik, maka SNI beton 2002 membatasi rasio tulangan maksimum balok:

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

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

Brief Review

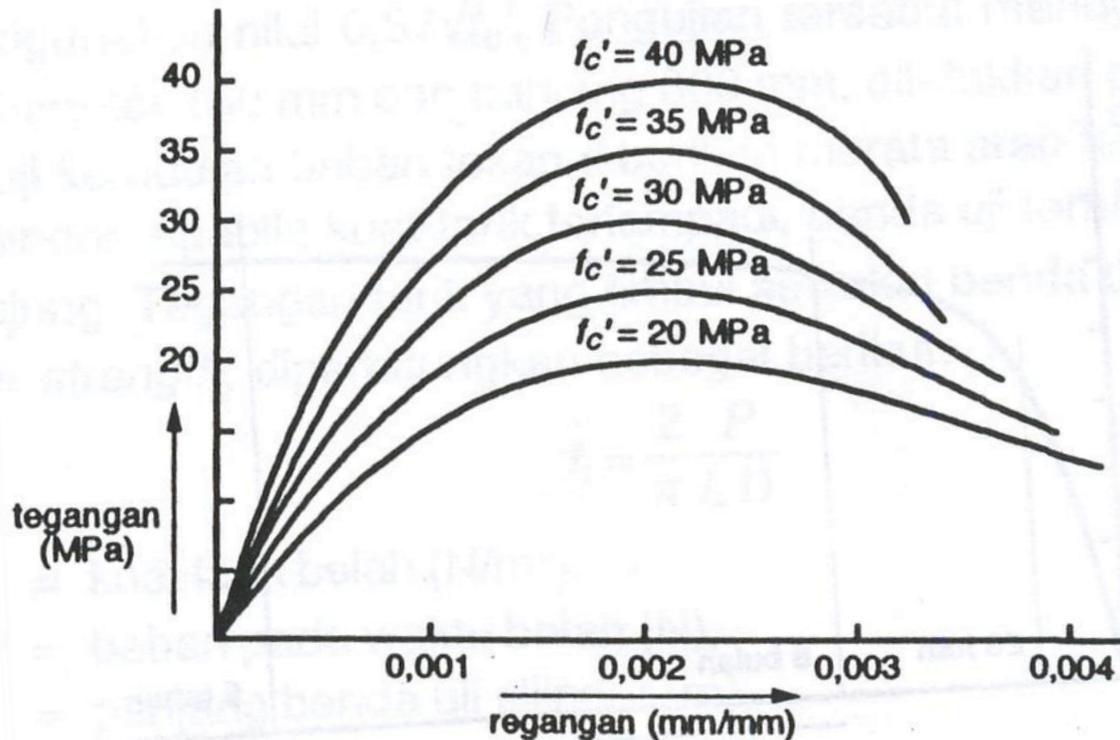
- Beton bertulang terdiri dari
 - > Beton (yang memiliki kekuatan tekan tinggi tetapi memiliki kekuatan tarik yang rendah)
 - > Baja tulangan (memiliki kekuatan tarik yang tinggi)
- Baja dan beton dapat bekerja bersama-sama berdasarkan beberapa alasan
 - > Lekatan/*bond* (interaksi antara baja tulangan dengan beton keras di sekelilingnya)
 - > Campuran beton yang memadai memberikan sifat anti resap yang cukup dari beton untuk mencegah karat pada baja
- Unsur-unsur penyusun beton
 - > Semen
 - > Agregat halus (pasir)
 - > Agregat kasar (batu pecah)
 - > Air
 - > Bahan tambah yang lain
- Kekuatan beton setelah mengeras tergantung dari banyak faktor
 - > Proporsi campuran
 - > Kondisi temperatur
 - > Kelembaban

Brief Review

- Kuat tekan beton ditentukan oleh pengaturan perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air dan berbagai jenis campuran
- Perbandingan air terhadap semen (f.a.s atau faktor air semen) merupakan faktor utama dalam menentukan kekuatan beton
- Semakin rendah f.a.s semakin tinggi kekuatan tekan, namun kemudahan dalam pengerjaan (workability) menjadi rendah
- Semakin tinggi f.a.s semakin rendah kuat tekan, namun workability menjadi semakin tinggi
- Sejumlah tertentu air diperlukan untuk terjadinya aksi kimia dalam pengerasan beton, dan kelebihan air digunakan untuk kemudahan pekerjaan
- Suatu ukuran pengerjaan campuran beton ini didapatkan dengan pengujian *slump*
- Kuat tekan beton dinyatakan dalam $f'c$, yaitu kekuatan beton dalam MPa dari hasil pengujian benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm pada hari ke 28 benda uji dibuat.

BEDA MASING-MASING BENDA UJI??

Brief Review

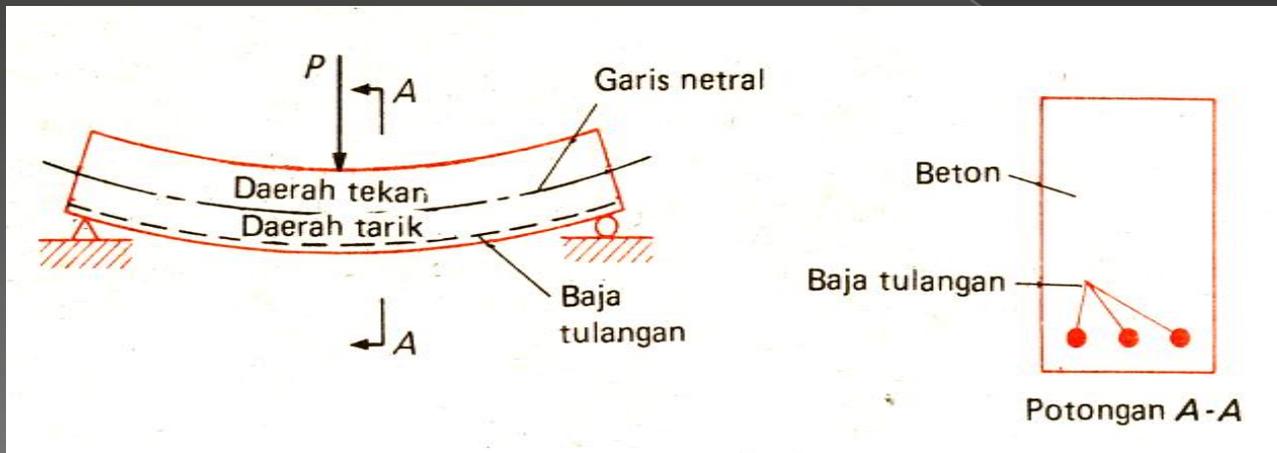


- Makin rendah kuat tekan beton : kemampuan deformasi (daktilitas) makin tinggi
- Tegangan maksimum dicapai pada regangan tekan di antara 0,002-0,0025
- Regangan ultimit pada saat hancurnya beton berkisar 0,003-0,004 (SNI menetapkan 0,003)
- Dalam perencanaan beton bertulang secara umum ditetapkan kekuatan beton 20-30 MPa untuk struktur tanpa prategang dan 32 sampai 42 MPa untuk beton prategang

Brief Review

Secara umum yang dipelajari dari struktur beton bertulang adalah prinsip-prinsip dasar dalam perencanaan dan pemeriksaan unsur-unsur dari beton bertulang yang dibebani dengan:

- > Gaya aksial (axial force)
- > Momen lentur (bending moment)
- > Geser (shear)
- > Puntir (torsion)
- > Gabungan dari gaya-gaya ini



Desain Balok



$$\text{Kuat perlu} \leq \text{Kuat rencana}$$

kekuatan yang harus mampu dipikul balok akibat beban-beban yang sudah dikalikan faktor keamanan (kombinasi beban)

kekuatan yang harus ada pada elemen beton bertulang, yakni berupa kekuatan nominal x faktor reduksi kekuatan ϕ

Desain Balok

Secara umum, ada 6 macam beban (jika ada) yang perlu diperhitungkan pada perancangan struktur beton bertulang :

1. Beban mati (D): yaitu beban yang selalu ada pada struktur
2. Beban hidup (L): yaitu beban yang sifatnya berpindah-pindah
3. Beban atap (A): beban yang tidak tetap di atap (beban orang bekerja atau/dan beban peralatan)
4. Beban hujan (R): genangan air hujan di atap
5. Beban Angin (W)
6. Beban gempa (E): beban ekuivalen yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah pada peristiwa gempa

Kombinasi Pembebanan???

Desain Balok

1. $U = 1,4 D$ (pada tahap pelaksanaan bangunan)
2. $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5(A \text{ atau } R)$
3. $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,6 W + 0,5(A \text{ atau } R)$
4. $U = 0,9 D \pm 1,6 W$
5. $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$
6. $U = 0,9 D + \pm 1,0 E$

Faktor reduksi???

Desain Balok

1. Lentur tanpa beban aksial: 0,8
2. Beban aksial dan beban aksial dengan lentur
 - a. aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur: 0,8
 - b. aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur
 - i. Komponen struktur dengan tulangan spiral: 0,7
 - ii. Komponen struktur lainnya: 0,65
3. Geser dan torsi: 0,75
4. Tumpuan pada beton: 0,65
5. Beton polos struktural: 0,55

Jika M_u merupakan momen perlu yang harus dipikul balok akibat kombinasi beban, dan M_n momen nominal yang sanggup dipikul penampang balok, maka:

$$M_u \leq \phi M_n \quad \text{atau}$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

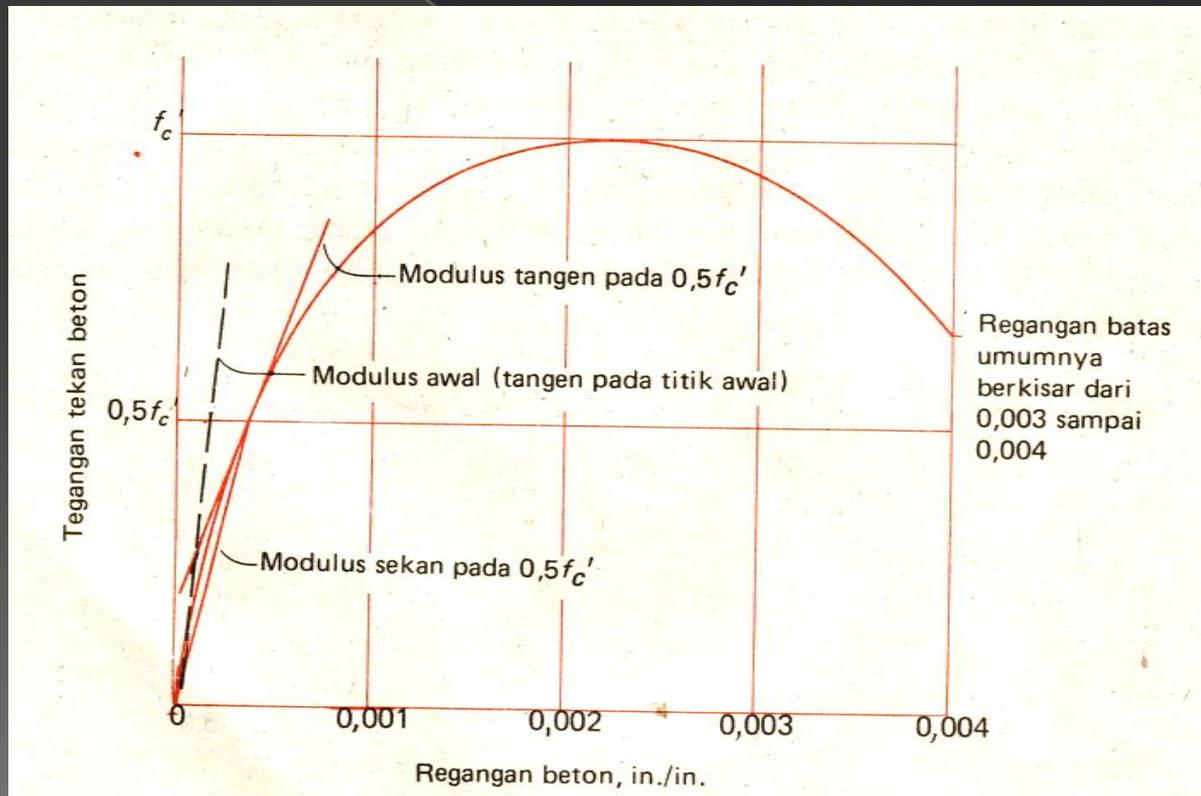
KUAT TARIK BETON

- Kuat tarik beton bisa ditentukan berdasarkan pengujian pembebanan silinder (the split silinder)
- Kuat tarik beton lebih bervariasi dibandingkan kuat tekannya, besarnya berkisar 10-15% kuat tekan beton
- Kuat tarik dalam lentur yang dikenal sebagai modulus runtuh (modulus of rupture) penting dalam menentukan retak dan lendutan balok
- Modulus runtuh f_r , yang didapatkan dari rumus $f = Mc/I$ memberikan nilai kuat tarik yang lebih tinggi daripada harga yang dihasilkan oleh pengujian pembelahan silinder

MODULUS ELASTISITAS

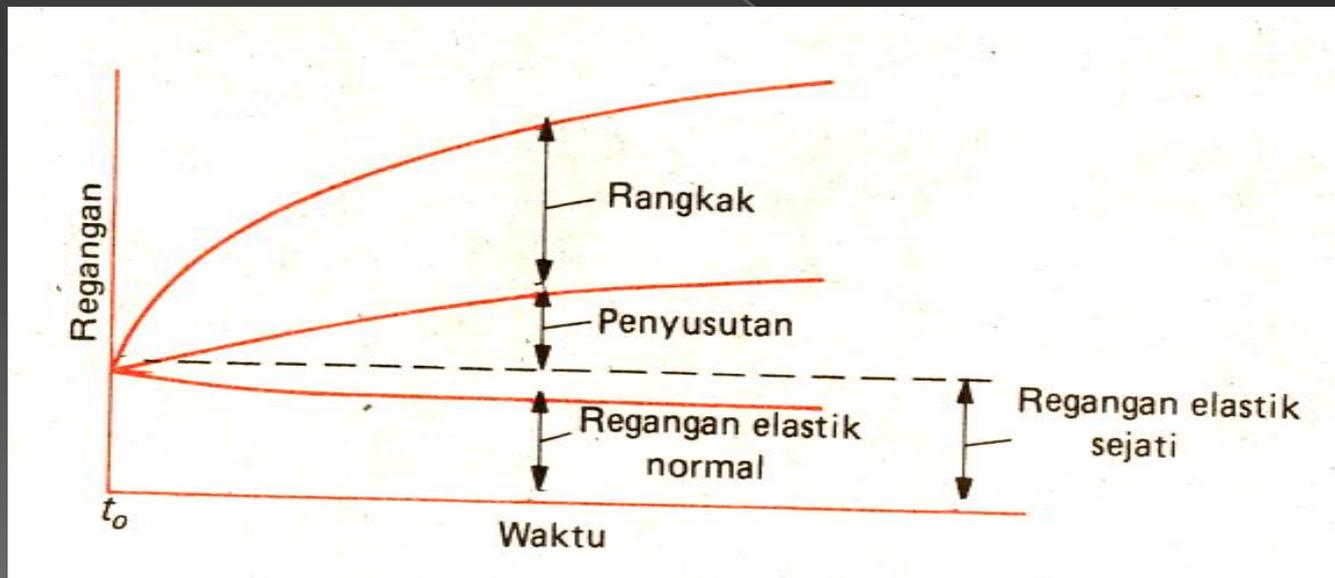
- ◉ Modulus elastisitas beton berubah-ubah sesuai kekuatan
- ◉ Modulus elastisitas tergantung dari
 - > Umur beton
 - > Sifat agregat dan semen
 - > Kecepatan pembebanan
 - > Jenis dan ukuran benda uji
- ◉ Karena beton memperlihatkan deformasi yang permanen sekalipun dengan beban kecil, maka ada beberapa definisi untuk modulus elatisitas

- Untuk nilai w_c di antara 1500-2500 kg/m³, nilai modulus elastisitas beton dapat diambil sebesar $(w_c)^{1,5} 0,0043 \sqrt{f'_c}$
- Untuk beton normal E_c dapat diambil sebesar $4700 \sqrt{f'_c}$ (RSNI 2002 hal 53)



RANGKAK DAN SUSUT

- Rangkak (*creep*) dan susut (*shrinkage*) adalah deformasi struktur yang tergantung dari waktu
- Rangkak adalah salah satu sifat dari beton di mana beton mengalami deformasi menerus menurut waktu di bawah beban yang dipikul pada satu satuan tegangan dalam batas elastis yang diperbolehkan

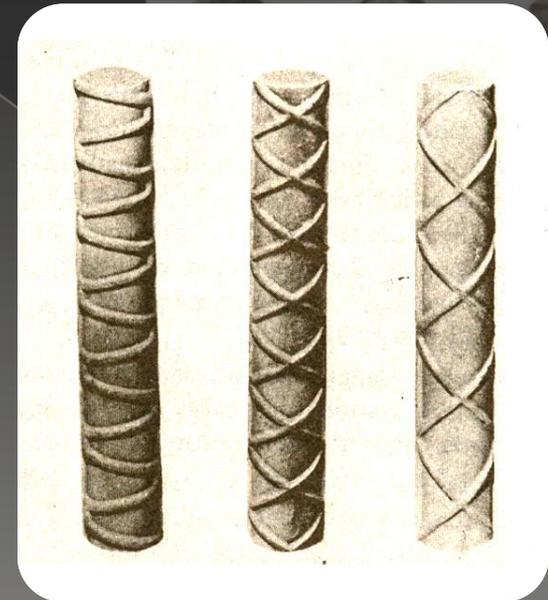
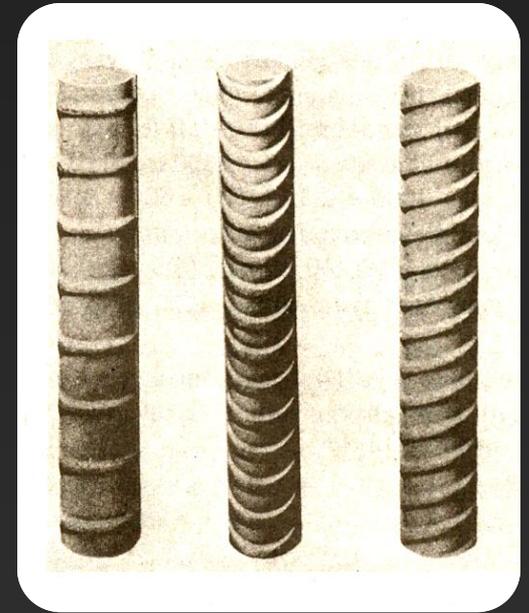


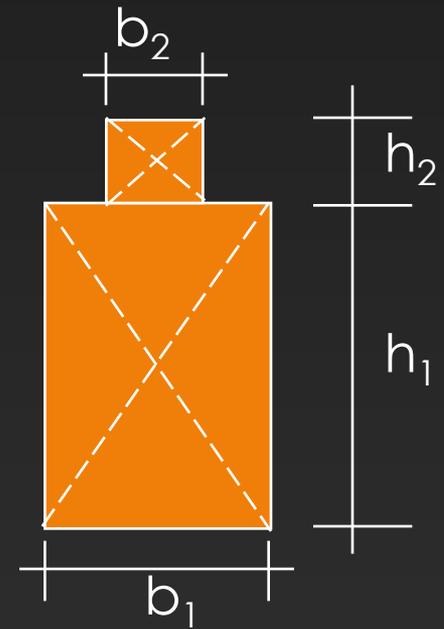
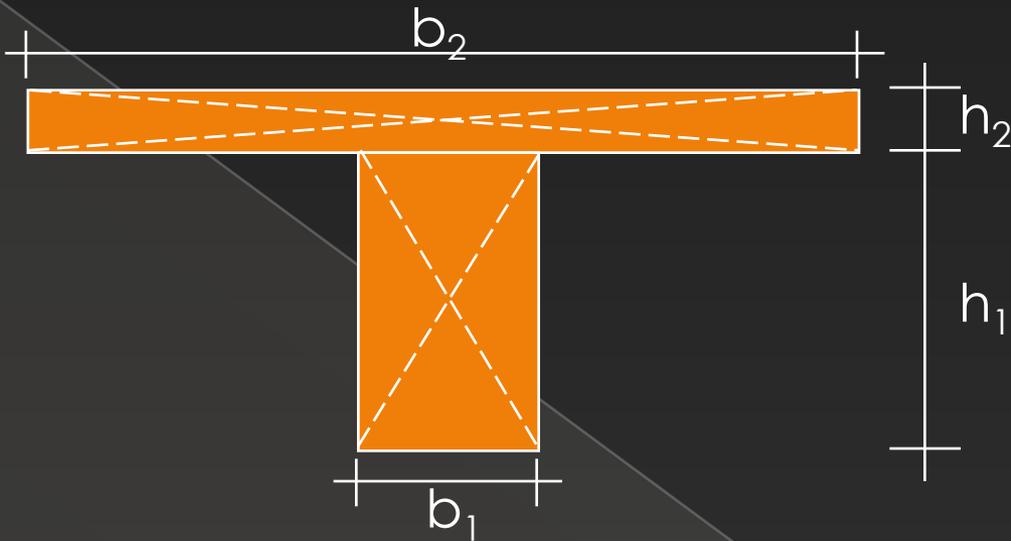
- Faktor-faktor yang mempengaruhi rangkaiak
 - > Konstituen, seperti komposisi dan kehalusan semen, campuran, ukuran, penggolongan mutu dan isi mineral dari agregat
 - > Perbandingan air, seperti perbandingan air dengan semen
 - > Suhu pada pengerasan dan kebasahan
 - > Kelembaban nisbi selama waktu penggunaan beton
 - > Umur beton pada pembebanan
 - > Lamanya pembebanan
 - > Besarnya tegangan
 - > Perbandingan antara perbandingan dan isi dari unsur
 - > Slump

- Susut adalah perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebanan.
- Ada kemungkinan bagi beton untuk mengeras secara terus menerus di dalam air dengan volume bertambah, namun ada kemungkinan volumenya berkurang
- Umumnya faktor-faktor yang mempengaruhi rangkai juga mempengaruhi susut, khususnya faktor-faktor yang berhubungan dengan hilangnya kelembaban
- Susut yang dihalangi secara simetris oleh penulangan akan menimbulkan deformasi yang umumnya menambah deformasi terhadap rangkai

BAJA TULANGAN

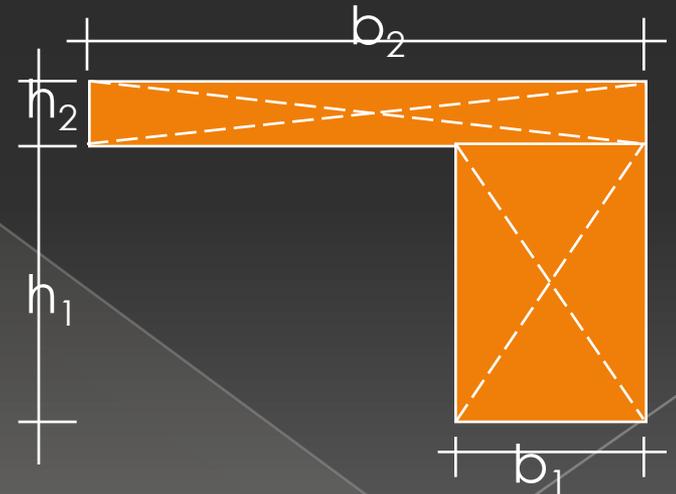
- Baja tulangan dapat terdiri dari
 - > Batang tulangan (tulangan polos atau berulir/deform)
 - > Anyaman kawat yang dilas
- Tulangan berulir atau deform memiliki bentuk ulir yang bermacam-macam seperti gambar berikut. Adapun fungsi ulir adalah untuk menambah lekatan antara beton dengan baja
- Modulus elastisitas untuk semua baja yang bukan prategang dapat diambil sebesar 200.000MPa. Untuk baja prategang modulus elastisitas sedikit lebih kecil dan bervariasi yaitu kira-kira sebesar 189750 MPa.

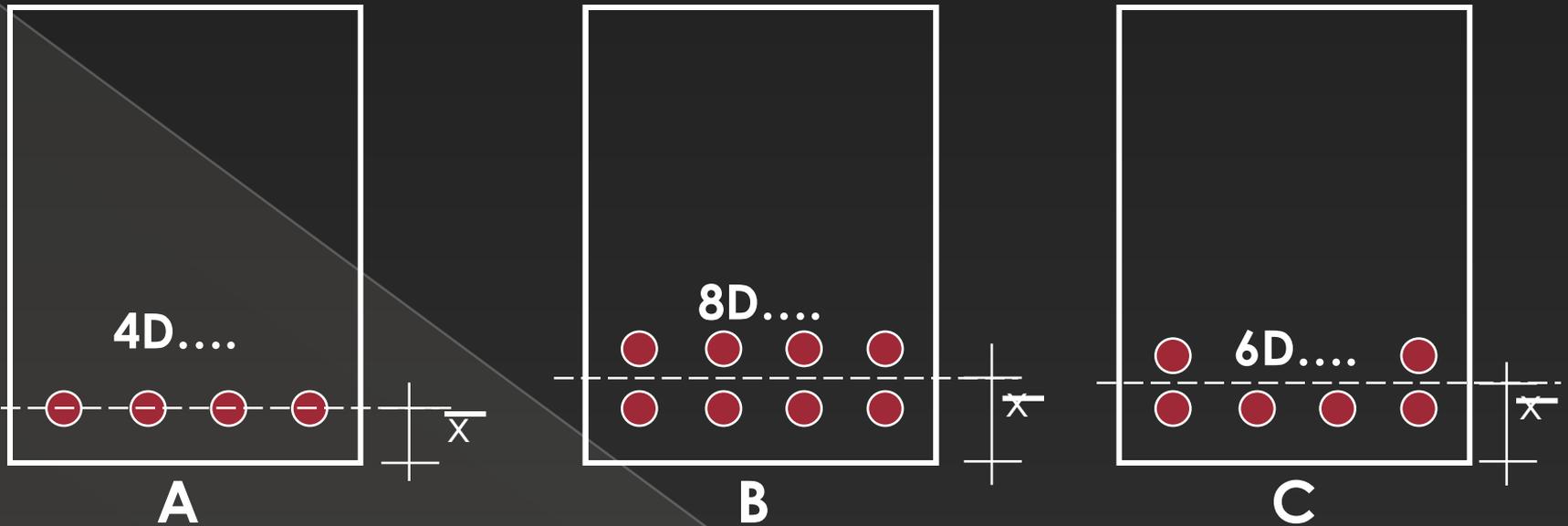




Pusat berat penampang struktur

$$\bar{X} = \frac{b_1 \cdot h_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot h_1 + b_2 \cdot h_2 \cdot (h_1 + \frac{1}{2} \cdot h_2)}{b_1 \cdot h_1 + b_2 \cdot h_2}$$





- Pusat berat tulangan penampang A
 $x = \text{selimut beton} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tul. utama}$

- Pusat berat tulangan penampang B
 $x = \text{selimut beton} + \emptyset \text{ sengkang} + \emptyset \text{ tul. utama} + \frac{1}{2} \cdot 25 \text{ mm}$

- Pusat berat tulangan penampang C

$$X = \frac{4(\text{sel.btn} + \emptyset \text{ sk} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tul. ut}) + 2(\text{sel.btn} + \emptyset \text{ sk} + \emptyset \text{ tul. ut} + 25 + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tul. ut})}{4+2}$$

(RSNI-2002 ketentuan 9.6 hal 38)

- Jarak vertikal antara tulangan sejajar dalam lapis yang sama, tidak boleh kurang dari d_b ataupun 25 mm (lihat juga ketentuan 5.3.2)
- Bila tulangan sejajar diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya, spasi bersih antar lapisan tidak boleh kurang 25 mm
- Pada komponen struktur tekan yang diperkuat dengan tulangan spiral atau sengkang pengikat, jarak bersih antar tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari $1,5d_b$ ataupun 40 mm
- Pada dinding dan plat lantai, selain konstruksi plat rusuk tulangan lentur utama harus berjarak tidak lebih tiga kali tebal dinding atau plat lantai atau 500 mm

BALOK PERSEGI

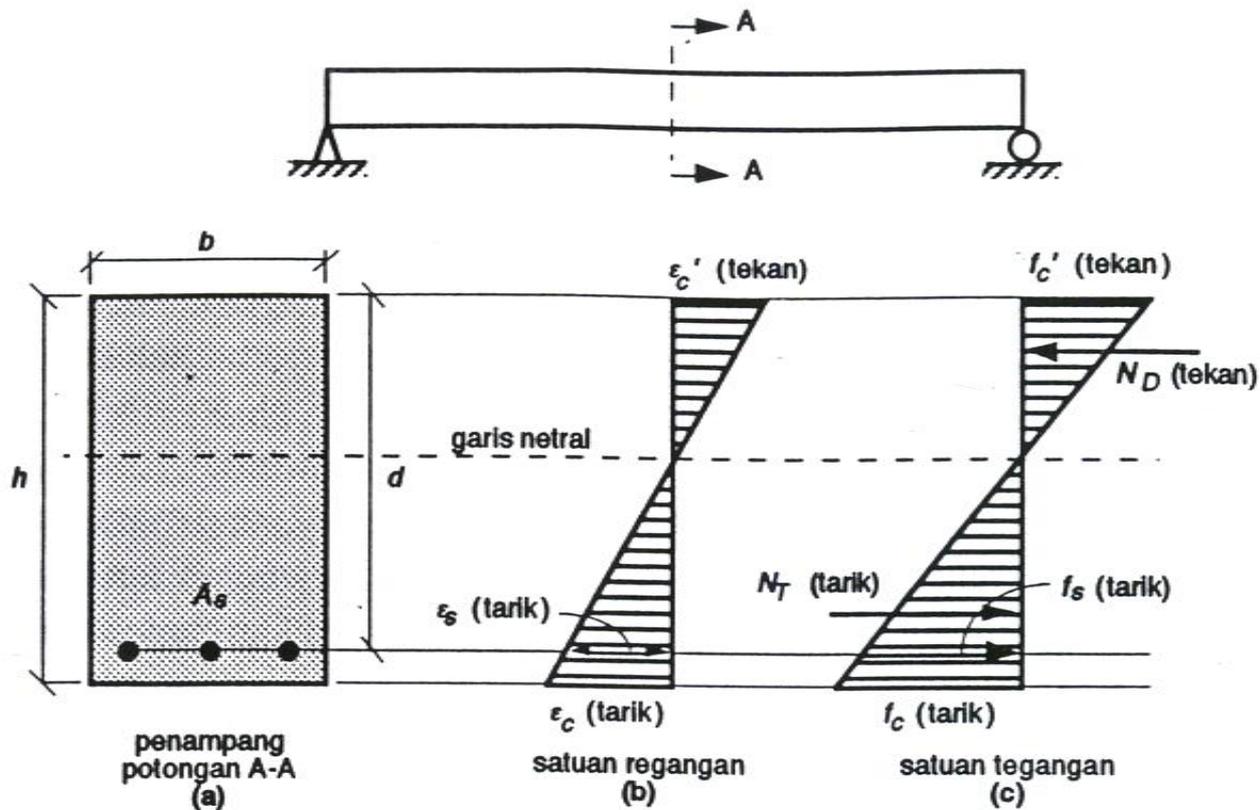
- Apabila suatu gelagar balok menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok
- Pada momen positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah penampang.
- Regangan-regangan tersebut akan menimbulkan tegangan-tegangan yang harus ditahan oleh balok, tegangan tekan di bagian atas dan tegangan tarik di bagian bawah
- Balok sebagai sistem yang menahan lentur harus mampu menahan tegangan-tegangan tersebut
- Untuk memperhitungkan kemampuan dan kapasitas dukung komponen struktur beton terlentur, sifat beton yang kurang mampu menahan tarik menjadi dasar pertimbangan, dengan cara memberikan batang tulangan baja di mana tegangan tarik bekerja, sehingga didapatkan struktur yang disebut BETON BERTULANG

METODE ANALISIS DAN PERENCANAAN

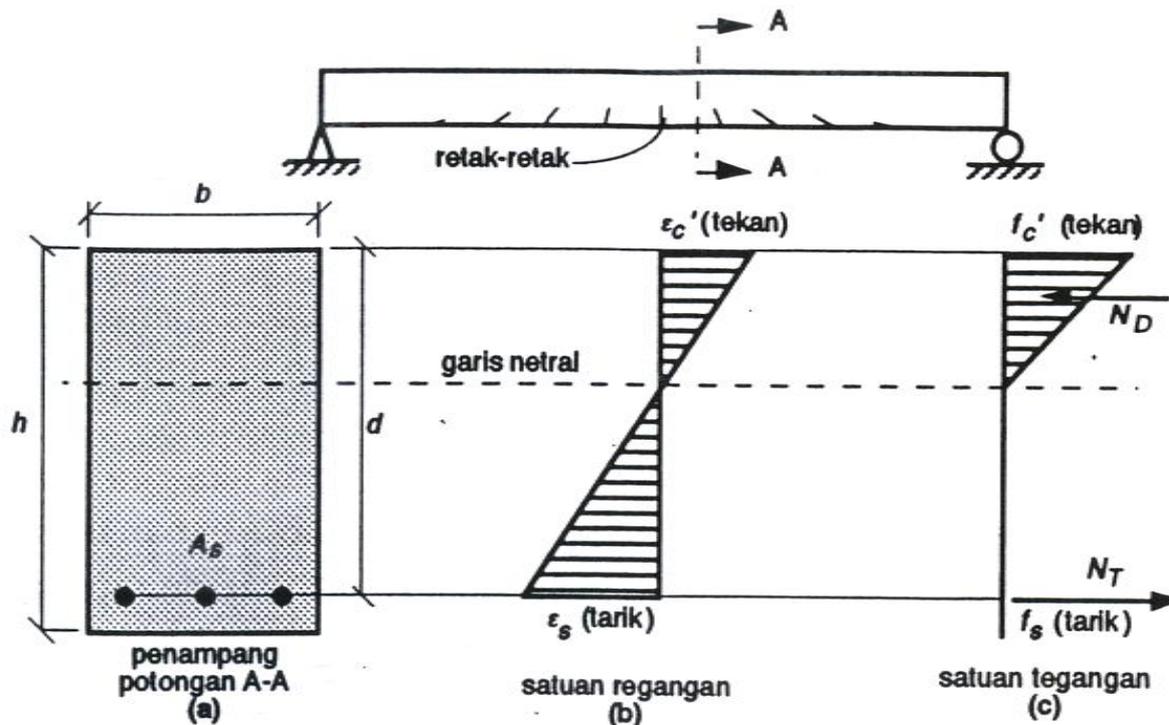
- Metode yang digunakan adalah metode kuat ultimit
- Pada metode ini *service loads* diperbesar, dikalikan dengan suatu faktor beban dengan maksud untuk memperhitungkan terjadinya beban pada saat keruntuhan sudah di ambang pintu.
- Dengan menggunakan beban terfaktor tersebut, struktur direncanakan sedemikian sehingga didapat nilai kuat guna pada saat runtuh besarnya kira-kira sedikit lebih kecil dari kuat batas runtuh sesungguhnya.

- Kekuatan pada saat runtuh tersebut dinamakan kuat ultimit, beban yang bekerja pada atau dekat dengan runtuh dinamakan beban ultimit
- Untuk membahas metode kuat ultimit lebih lanjut diberikan tinjauan tentang perilaku beton bertulang bentang sederhana untuk memikul beban berangsur meningkat mula-mula dari beban kecil sampai pada tingkat pembebanan yang menyebabkan hancurnya struktur

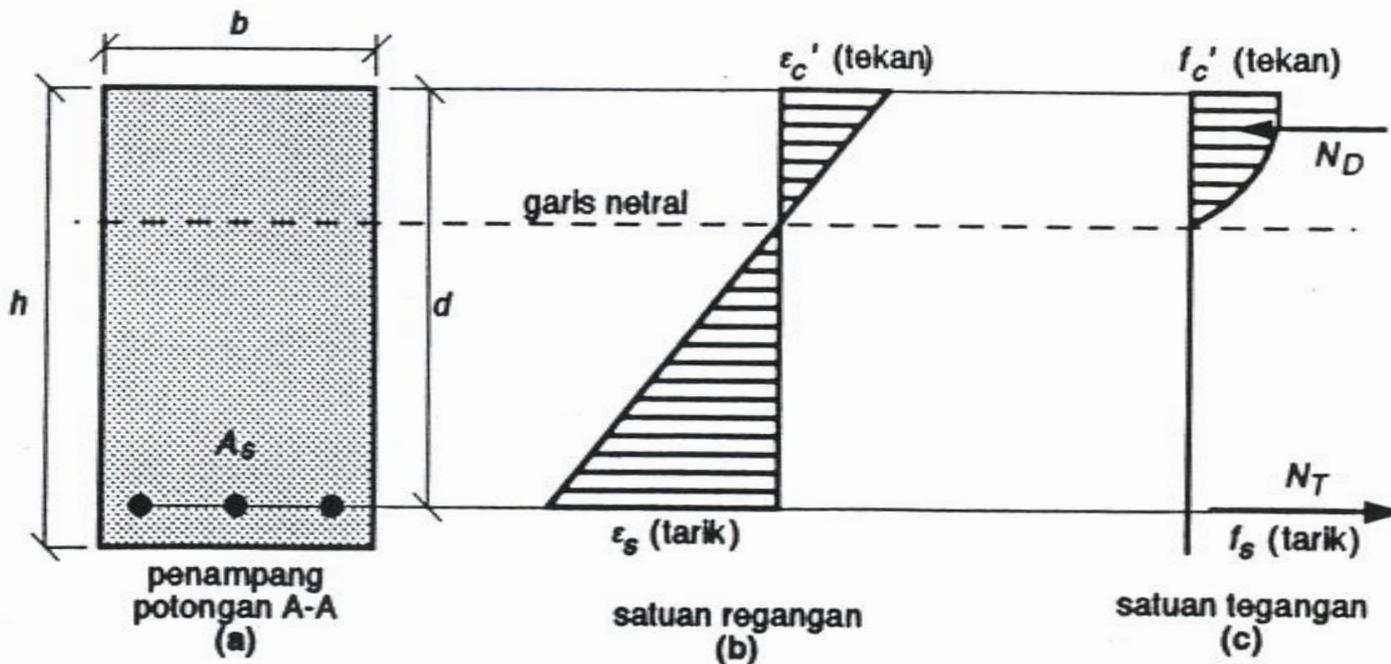
- Pada beban kecil, dengan menganggap bahwa belum terjadi retak beton, beton dan baja bekerja bersama-sama gaya-gaya di mana gaya tekan ditahan oleh beton saja



- Pada beban sedang, kuat tarik beton dilampaui, beton mengalami retak rambut. Karena beton tidak dapat meneruskan gaya tarik melintasi daerah retak karena terputus, baja tulangan mengambil alih memikul seluruh gaya tarik yang timbul
- Keadaan yang demikian diperkirakan akan terjadi pada nilai tegangan beton sampai $\frac{1}{2}.f'_c$



- Pada beban yang lebih besar lagi, nilai regangan dan tegangan meningkat dan cenderung tidak lagi sebanding antar keduanya. Tegangan beton membentuk kurva non linier
- Pada gambar berikut terlihat distribusi tegangan regangan yang timbul pada atau dekat pembebanan ultimit. Apabila kapasitas batas kekuatan beton terlampaui dan tulangan baja mencapai luluh, balok akan hancur.

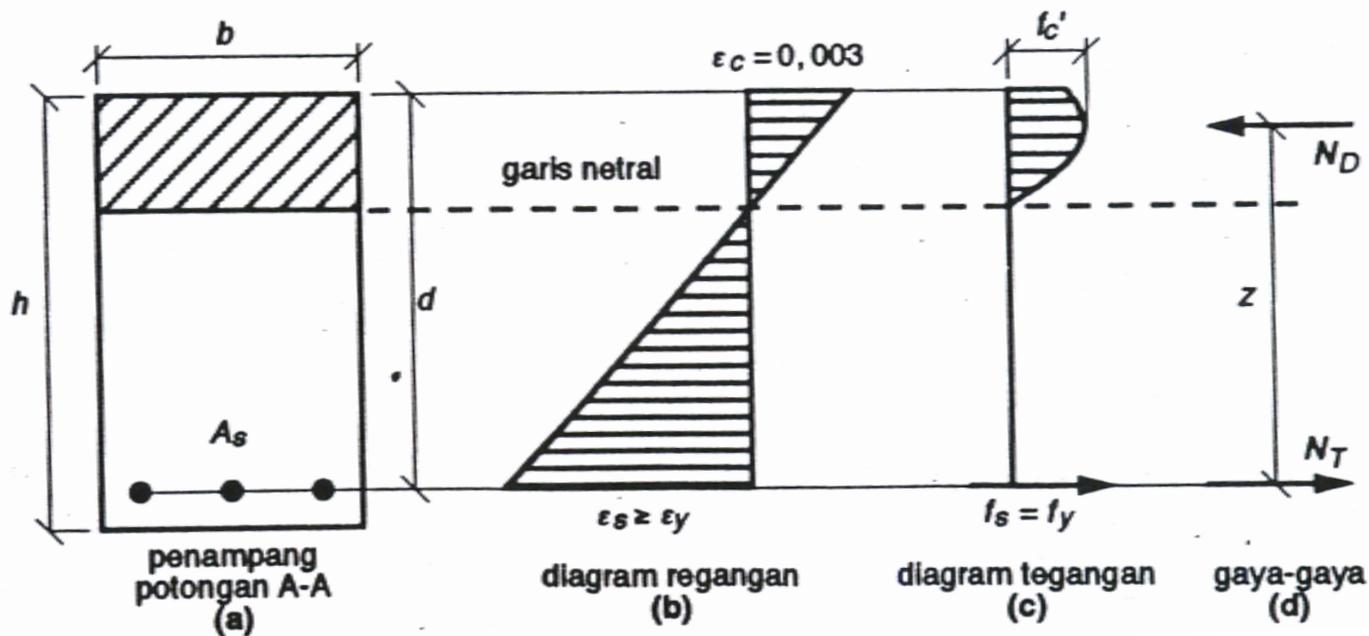


Asumsi pendekatan dan pengembangan metode kuat ultimit

1. Bidang penampang rata sebelum terjadi lenturan, tetap rata setelah terjadi lenturan dan berkedudukan tegak lurus pada sumbu bujur balok. Oleh karena itu nilai regangan dalam komponen struktur terdistribusi linier atau sebanding lurus terhadap jarak ke garis netral
2. Tegangan sebanding dengan regangan hanya sampai kira-kira beban sedang. Apabila beban meningkat sampai beban ultimit, tegangan yang timbul tidak sebanding lagi dengan regangannya berarti distribusi tegangan tekan tidak lagi linier. Bentuk blok tegangan tekan pada penampangnya berupa garis lengkung dimulai dari garis netral dan berakhir pada serat tepi tekan terluar
3. Dalam memperhitungkan kapasitas momen ultimit komponen struktur, kuat tarik beton tidak diperhitungkan dan seluruh gaya tarik dilimpahkan kepada tulangan baja tarik

KUAT LENTUR BALOK PERSEGI

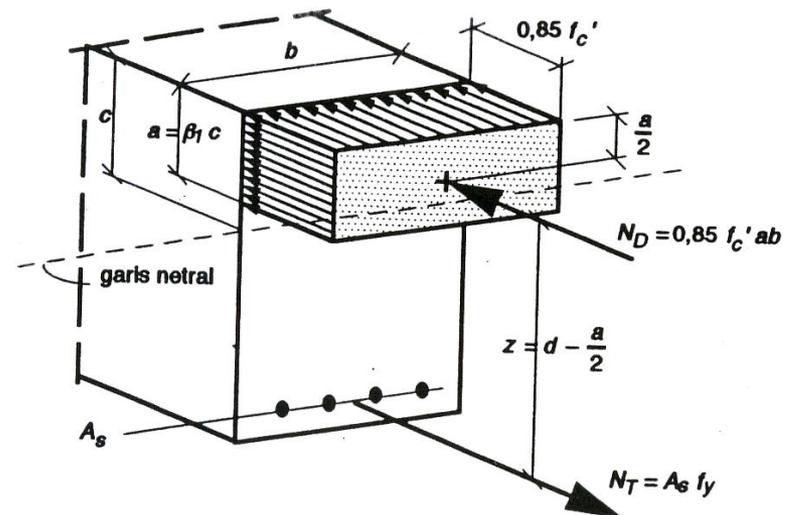
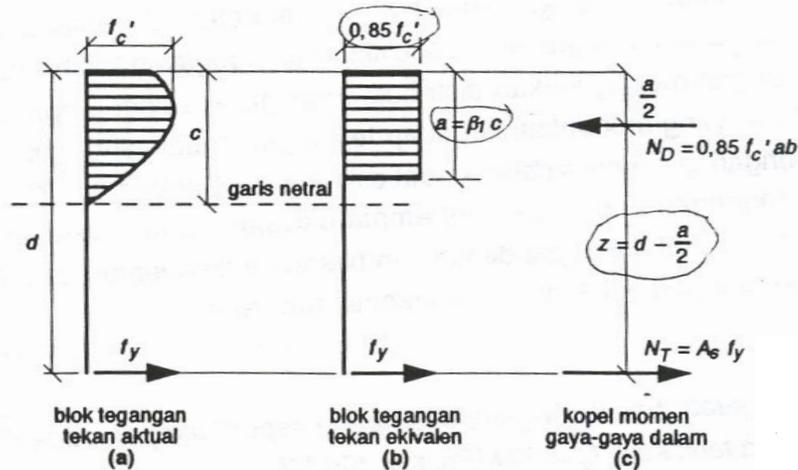
- Pada suatu komposisi balok tertentu balok menahan beban sedemikian hingga regangan tekan lentur beton mencapai maksimum ($\epsilon'_b \text{ maks}$) mencapai 0,003 sedangkan tegangan mencapai tegangan tarik baja sudah mencapai tegangan luluh. Apabila hal demikian terjadi, penampang dinamakan mencapai keseimbangan regangan atau disebut penampang bertulangan seimbang



- Kuat lentur suatu balok beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan dalam yang timbul di dalam balok yang dalam kondisi tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam
- N_D atau C_c adalah resultante gaya tekan dalam, merupakan resultante seluruh gaya tekan pada daerah di atas garis netral
- N_T atau T_s adalah resultante gaya tarik dalam, merupakan resultante seluruh gaya tarik pada daerah di bawah garis netral
- Kedua gaya ini, arah garis kerjanya sejajar, sama besar tetapi berlawanan arah dan dipisahkan dengan jarak z sehingga membentuk kopel momen tahanan dalam di mana nilai maksimumnya disebut kuat lentur atau momen tahanan penampang komponen struktur terlentur

- Momen tahanan dalam memikul momen lentur rencana aktual yang ditimbulkan oleh beban luar
- Dalam merencanakan balok pada kondisi pembebanan tertentu harus disusun komposisi dimensi balok beton dan jumlah serta besar tulangan sedemikian rupa sehingga dapat menimbulkan momen tahanan dalam paling tidak sama dengan momen lentur maksimum yang ditimbulkan oleh beban
- Kesulitan timbul pada saat menentukan menghitung besarnya C_c tetapi juga dalam menentukan letak C_c karena bentuk blok tegangan tekan yang berupa garis lengkung

- Untuk tujuan penyederhanaan, Whitney mengusulkan bentuk persegi panjang sebagai distribusi tegangan tekan ekivalen.



- Berdasarkan bentuk empat persegi panjang, intensitas tegangan beton tekan rata-rata ditentukan sebesar $0,85f'_c$ dan dianggap bekerja pada daerah tekan dari penampang balok selebar b dan sedalam a , dan besarnya ditentukan rumus

$$a = \beta_1 \cdot c$$

dengan c = jarak serat tekan terluar ke garis netral

β_1 = konstanta yg merupakan fungsi kelas kuat beton

- SNI3-2002 ps 12.2 hal 69 menetapkan nilai β_1

untuk $f'_c \leq 30$ MPa $\beta_1 = 0,85$

untuk $f'_c \geq 30$ MPa $\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'_c - 30)$

$$\beta_1 \geq 0,65$$

Dengan notasi sebagai berikut

b = lebar balok

d = tinggi dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik

A_s = luas tulangan tarik

c = tinggi serat tekan terluar ke garis netral

a = tinggi blok tegangan tekan ekuivalen

f_s = tegangan tarik baja

f'_c = Kuat tekan beton

ε_c = regangan beton

ε_s = regangan tarik baja

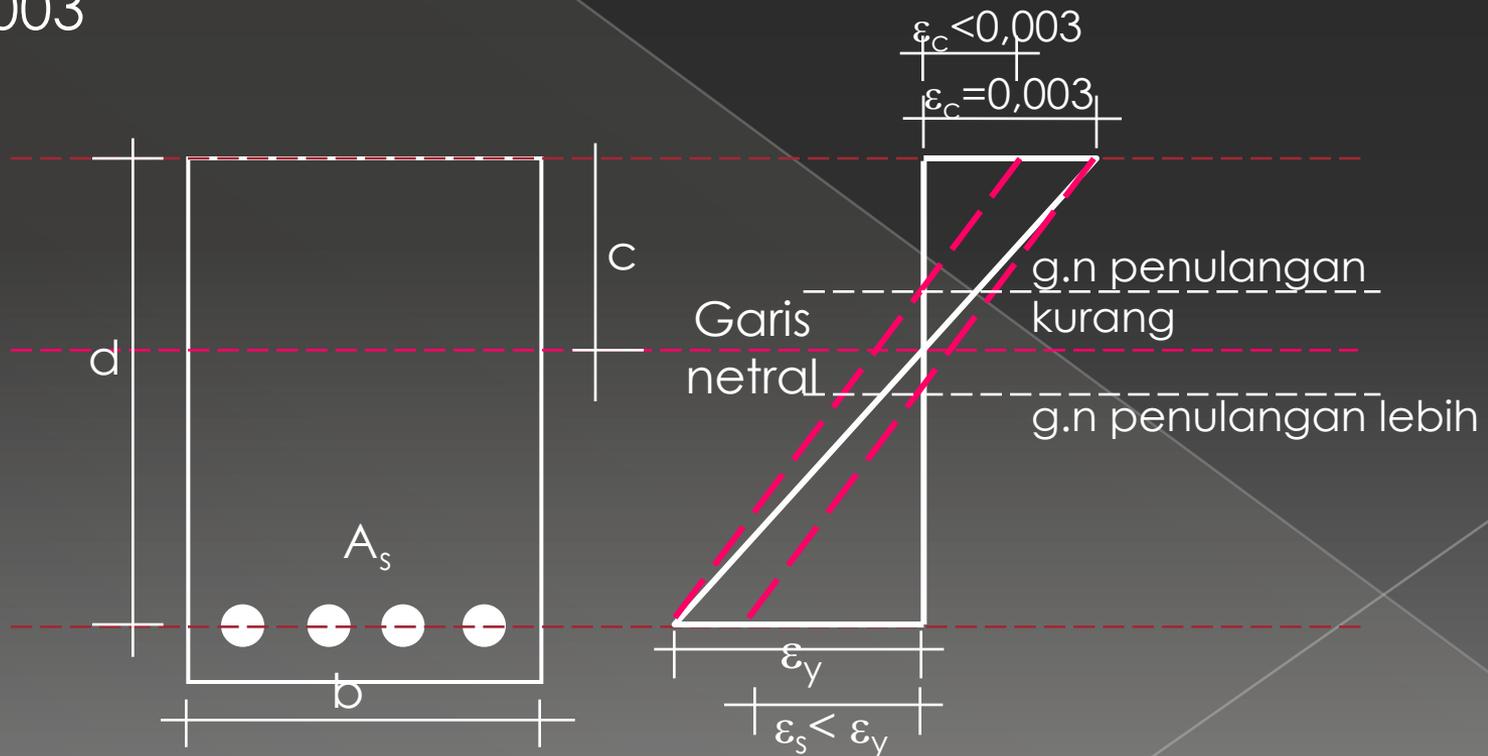
C_c = resultan gaya tekan beton

T_s = resultan gaya tarik baja tulangan

E_s = modulus elastisitas baja = $2 \cdot 10^5$ MPa

PENAMPANG BALOK BERTULANGAN SEIMBANG, KURANG LEBIH

- Suatu penampang dikatakan bertulangan seimbang (*balance*) apabila jumlah tulangan baja tarik sedemikian sehingga letak garis netral pada posisi di mana akan terjadi secara bersamaan regangan luluh pada baja tarik dan regangan tekan beton maksimum 0,003



- Bila penampang balok mengandung jumlah tulangan tarik lebih banyak dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, penampang balok dikatakan bertulangan lebih (*overreinforced*).
 - > Berlebihnya tulangan mengakibatkan garis netral bergeser ke bawah, beton mencapai regangan maksimum 0,003 sebelum baja tarik mencapai luluh
 - > Bila dibebani lebih besar lagi struktur akan mengalami kehancuran tiba-tiba (hancur getas)

- Bila suatu penampang mengandung jumlah tulangan tarik kurang dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, penampang disebut bertulangan kurang (*underreinforced*).
 - > Letak garis netral naik sedikit dibandingkan kondisi seimbang, baja tarik mencapai regangan luluh sebelum beton mencapai regangan 0,003
 - > Bertambahnya beban mengakibatkan tulangan memanjang. Keruntuhan struktur terjadi secara perlahan yang didahului oleh terjadinya lendutan yang meningkat tajam (hancur daktail)

PEMBATASAN TULANGAN

- Untuk mengantisipasi terjadinya keruntuhan struktur secara tiba-tiba maka diusahakan penampang tidak berada dalam keadaan *overreinforced*
- Batas maksimum rasio penulangan
 - > $\rho_{\text{maksimum}} = 0,75 \cdot \rho_b$
 - > $\rho_b = \{(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1) / f_y\} \cdot \{600 / (600 + f_y)\}$
- SNI-2002 memberikan batas minimum rasio penulangan
 - > $\rho_{\text{minimum}} = 1,4 / f_y$
 - > Batas minimum diperlukan untuk menjamin tidak terjadinya hancur secara tiba-tiba seperti yang terjadi pada balok tanpa tulangan
- Rasio penulangan adalah perbandingan antara luas penampang tulangan tarik (A_s) terhadap luas efektif penampang ($b \times d$)
 - > $\rho = A_s / (b \times d)$

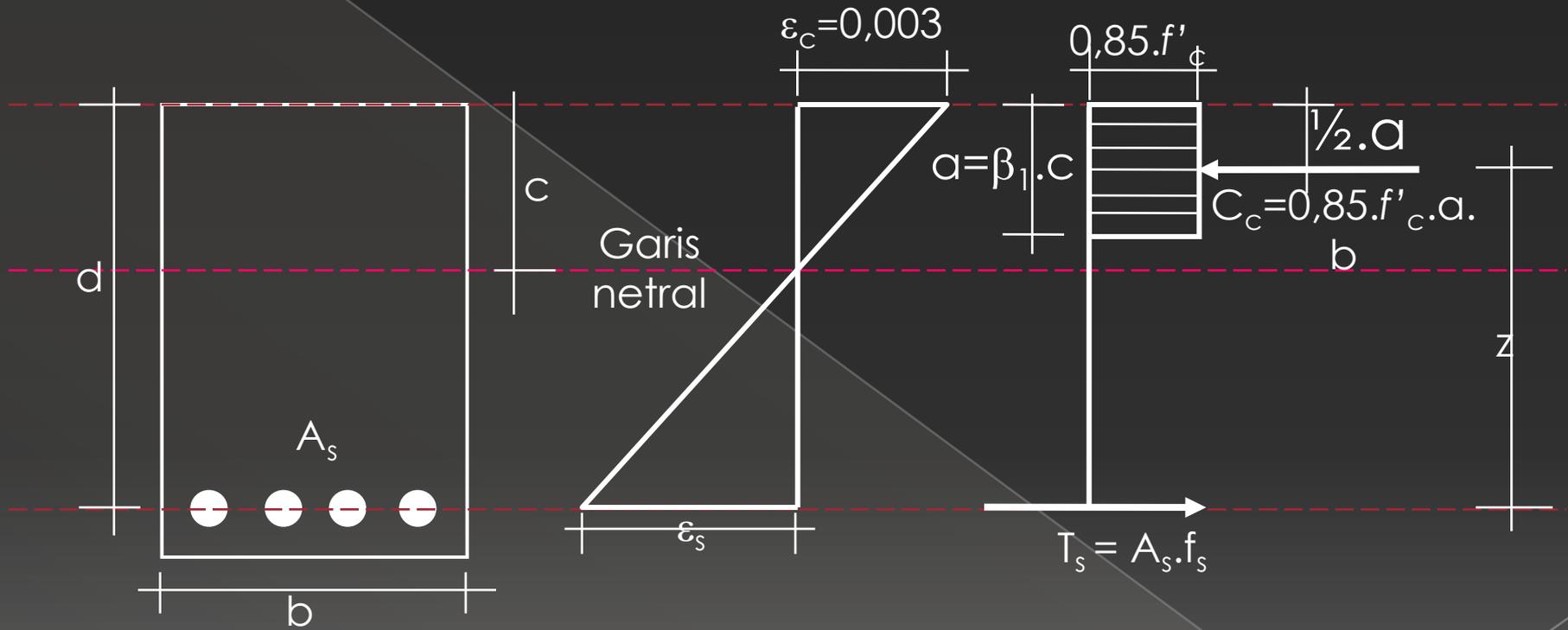
SELIMUT BETON (SNI3-2002 ps 9.7 hal 40)

- Beton yang langsung dicor di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah 70 mm
- Beton yang berhubungan dengan tanah/cuaca
 - > D19 hingga D56 50 mm
 - > D16 jaring kawat polos atau kawat ulir D16 dan yang lebih kecil 40 mm
- Beton tidak langsung berhubungan dengan cuaca/tanah
 - > Plat, dinding, plat berusuk
 - D44 dan D56 40 mm
 - D36 dan yg lebih kecil 20 mm
 - > Balok, kolom
 - Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitan spiral 40 mm
 - > Komponen struktur cangkang, pelat lipat
 - D19 dan yang lebih besar 20 mm
 - D16 jaring kawat polos atau ulir D16 dan yang lebih kecil 15 mm

BALOK TERLENTUR

- Jenis-jenis balok menurut cara analisa dan desain
 - > Balok bertulangan tunggal
 - > Balok bertulangan ganda
 - > Balok T
 - > Jenis-jenis balok lain, misal balok segitiga

BALOK BERTULANGAN TUNGGAL (BERTULANGAN TARIK SAJA)



Analisa balok tulangan tunggal

1. Hitung luas tulangan dalam kondisi seimbang

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \frac{600}{600 + f_y}$$
$$A_{sb} = \rho_b \cdot b \cdot d$$

2. Tentukan keadaan tulangan balok yang ditinjau
keadaan *overreinforced* bila $A_s > A_{sb}$
keadaan *underreinforced* bila $A_s \leq A_{sb}$

3. Bila keadaan *underreinforced*, kapasitas momen balok dihitung

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

atau

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

$$M_R = \phi \cdot M_n$$

Bila keadaan overreinforced, kapasitas momen balok

$$\rho = \frac{A_s}{b.d}$$

$$m = \frac{E_s \cdot \varepsilon}{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}$$

$$k_u = \sqrt{m\rho + \left(\frac{m\rho}{2}\right)^2} - \frac{m\rho}{2}$$

$$c = k_u \cdot d$$

$$a = \beta_1 \cdot c$$

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

$$M_R = \phi \cdot M_n$$

Desain balok tulangan tunggal

Ada dua keadaan untuk desain balok, yaitu

1. hanya mencari luas tulangan
2. mencari luas tulangan dan dimensi balok

I. Hanya mencari luas tulangan

Pada cara ini dimensi sudah diketahui dan hanya mencari luas tulangan yang diperlukan untuk menahan momen

a. Hitung koefisien tahanan momen

$$k = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

b. Hitung rasio tulangan

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{\frac{2k}{0,85 \cdot f'_c}} \right)$$

c. Hitung luas tulangan $A_s = \rho \cdot b \cdot d$

d. Hitung jumlah tulangan

$$n = \frac{A_s}{A_{tul}}$$

Jumlah ini dibulatkan ke atas kemudian di cek syarat-syarat

2. Mencari luas tulangan dan dimensi balok

a. Tentukan rasio dimensi

$$r = \frac{b}{d}$$

b. Tentukan rasio tulangan perkiraan

$$\rho = 0,5\rho_b = 0,5 \frac{f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \frac{600}{600 + f_y}$$

c. Hitung koefisien tahanan momen

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

d. tentukan tinggi efektif balok

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_u}{r \cdot \phi \cdot R_n}}$$

Desain Tulangan Tunggal

Karena pada perencanaan elemen lentur, keruntuhan yang terjadi harus keruntuhan tarik, maka berlaku hubungan momen nominal balok

$$M_n = f'_c b d^2 \omega (1 - 0,59\omega)$$

dimana $\omega = \rho \frac{f_y}{f'_c}$.

Sehingga momen rencana balok adalah

$$\phi M_n = \phi f'_c b d^2 \omega (1 - 0,59\omega)$$

Desain Tulangan Tunggal

Dengan demikian

$$M_u \leq \phi f'_c b d^2 \omega (1 - 0,59\omega)$$

atau

$$b d^2 \geq \frac{M_u}{\phi f'_c \omega (1 - 0,59\omega)} \quad (\text{III.1})$$

atau

$$\frac{M_u}{b d^2} \leq \phi f'_c \omega (1 - 0,59\omega) \quad (\text{III.2})$$

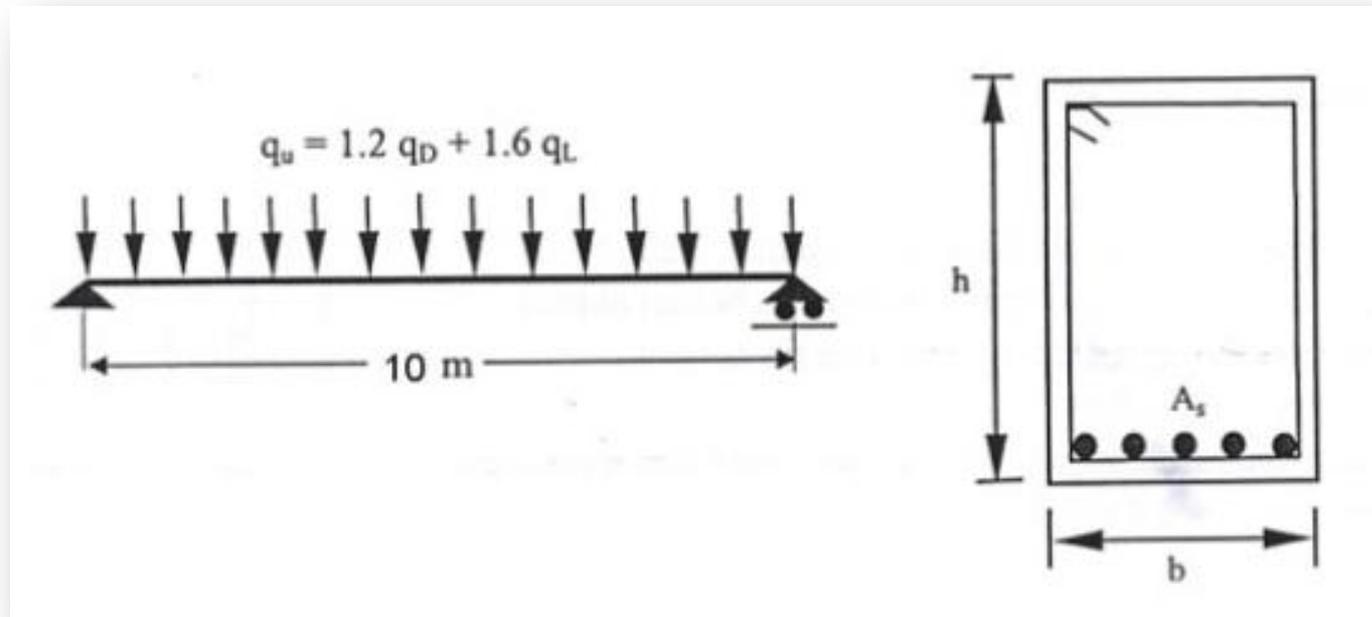
$$\frac{M_u}{b d^2} \leq \phi f'_c \omega (1 - 0,59\omega) \quad (\text{III.3})$$

Contoh Soal:

Balok dengan ukuran penampang yg belum diketahui

Balok dengan bentang 10 m, direncanakan untuk dapat memikul beban mati 14,5 kN/m dan beban hidup 25,5 kN/m

Mutu beton $f'_c = 25 \text{ N/mm}^2$ dan tegangan leleh baja $f_y = 400 \text{ N/mm}^2$



**Hitunglah desain optimum balok
(dimensi balok & tulangnya)**

Solusi:

1. Perkiraan beban mati balok.

Untuk balok di atas dua tumpuan : $h_{min} \approx \frac{\ell}{16} = 0.625 \text{ m} \rightarrow$

ambil $h = 800 \text{ mm}$ dan $b \approx 0,5h = 400 \text{ mm}$, sehingga

berat sendiri balok = $0,8 \times 0,4 \times 24 = 7,68 \text{ kN/m}$

2. Menghitung momen terfaktor M_u

beban terfaktor : $q_u = 1,2 \times (7,68 + 14,5) + 1,6 \times 25,5 = 67,4 \text{ kN/m}$

$$M_u = \frac{q_u \ell^2}{8} = 842,5 \text{ kNm} = 842,5 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

Solusi (lanjutan):

3. Menghitung b dan d yang diperlukan

$$bd^2 \geq \frac{M_u}{\phi f'_c \omega (1 - 0,59\omega)}$$

asumsi $\rho = 0,01$ (nilai rasio tulangan yang ekonomis), sehingga

$$\omega = \rho \frac{f_y}{f'_c} = 0,01 \frac{400}{25} = 0,16$$

sehingga

$$bd^2 = \frac{842,5 \times 10^6}{0,8 [25 \times 0,16 (1 - 0,59 \times 0,16)]} = 290,5 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

jika $b = 450 \text{ mm} \rightarrow d = 803 \text{ mm}$

jika $b = 400 \text{ mm} \rightarrow d = 852 \text{ mm}$

Seandainya tulangan yang dipasang 1 lapis, maka $h \approx d + 65 \text{ mm}$

Sehingga,

untuk $b = 450 \text{ mm} \rightarrow h = 868 \text{ mm} > h_{min}$

untuk $b = 400 \text{ mm} \rightarrow h = 917 \text{ mm} > h_{min}$

Kedua ukuran di atas memenuhi syarat.

Ambil ukuran balok $b = 400 \text{ mm}$ dan $h = 900 \text{ mm}$

Solusi (lanjutan):

4. Hitung ulang M_u dengan berat sendiri balok menggunakan ukuran yang baru :

$$\text{berat sendiri balok} = 0,9 \times 0,4 \times 24 = 8,64 \text{ kN/m}$$

beban terfaktor baru :

$$q_{u(b)} = 1,2 \times (8,64 + 14,5) + 1,6 \times 25,5 = 68,57 \text{ kN/m}$$

$$M_{u(b)} = \frac{68,57 \times 10^2}{8} = 857 \text{ kNm} = 857 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

5. Hitung luas tulangan yang dibutuhkan.

Asumsi tulangan yang dipasang 2 lapis, sehingga

$$d \approx h - 90 = 900 - 90 = 810 \text{ mm}$$

$$\frac{M_u}{bd^2} = \frac{857 \times 10^6}{400 \times 810^2} = 3.2655$$

Solusi (lanjutan):

sedangkan

$$\frac{M_u}{bd^2} \leq \phi f'_c \omega (1 - 0,59\omega)$$

atau

$$\phi f'_c \omega (1 - 0,59\omega) \geq \frac{M_u}{bd^2} = 3.2655$$

sehingga

$$0,8x25\omega (1 - 0,59\omega) - 3.2655 \geq 0$$

atau

$$11,8\omega^2 - 20\omega + 3.2655 \leq 0$$

diperoleh $\omega_1 = 1.512$ dan $\omega_2 = 0.183$

Solusi (lanjutan):

diambil $\omega = 0.183 \rightarrow \rho \frac{f_y}{f'_c} = 0.183$, sehingga

$$\rho = \frac{0.183 x f'_c}{f_y} = \frac{0.183 x 25}{400} = 0.01144$$

$$\rho_{maks} = 0,75\rho_b = 0,75 x \frac{0,85\beta_1 f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0.02032$$

Jadi $\rho < \rho_{maks} \rightarrow$ ok

$$A_s = \rho b d = 0.01144 x 400 x 810 = 3660 \text{ mm}^2$$

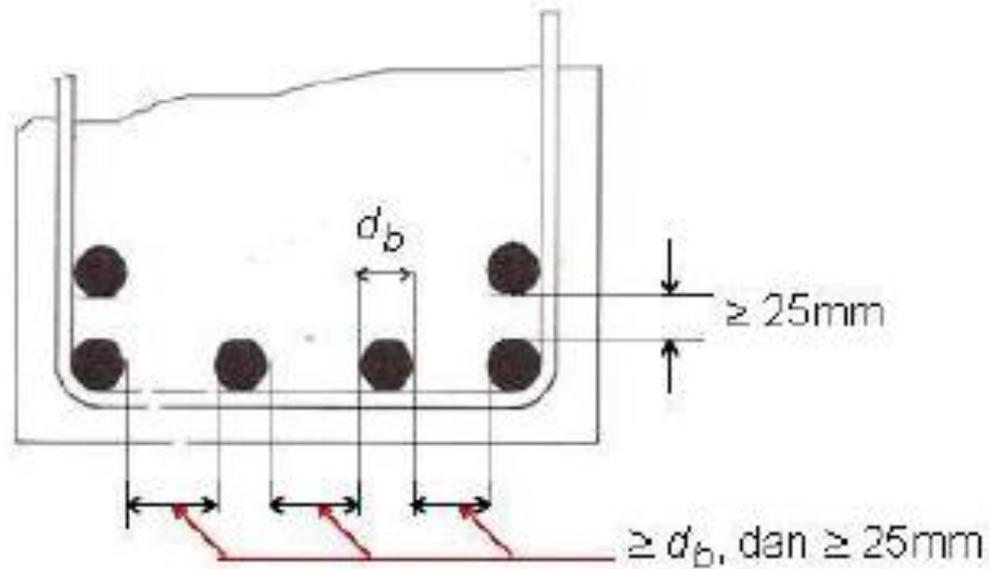
- $A_{smin} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_w d = \frac{\sqrt{25}}{4x400} x 400 x 810 = 1012.5 \text{ mm}^2$
- $A_{smin} = \frac{1.4}{f_y} b_w d = \frac{1.4}{400} x 400 x 810 = 1134 \text{ mm}^2$

\rightarrow ambil yang terbesar : $A_{smin} = 1134 \text{ mm}^2$

Solusi (lanjutan):

Terlihat A_s yang diperoleh $> A_{smin} \rightarrow$ ok

Gunakan tulangan 6D28 $\rightarrow A_s = 3695 \text{ mm}^2$



Solusi (lanjutan):

6. Hitung nilai d sebenarnya

$$d_s = \frac{2 \times 616 \times 117 + 4 \times 616 \times 64}{2 \times 616 + 4 \times 616} = 81.67 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s = 900 - 81.67 = 818 \text{ mm (tidak berbeda jauh dari asumsi)}$$

7. Hitung a dan cek apakah dengan tulangan yang digunakan penampang masih bersifat *underreinforced* →

$$\frac{a}{d} < \frac{a_b}{d}$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{3695 \times 400}{0,85 \times 25 \times 400} = 174 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{d} = \frac{174}{818} = 0,213$$

$$\frac{a_b}{d} = \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,51$$

diperoleh $\frac{a}{d} = 0,213 < \frac{a_b}{d} = 0,51 \rightarrow \text{ok} \rightarrow$ penampang masih bersifat *underreinforced*

Solusi (lanjutan):

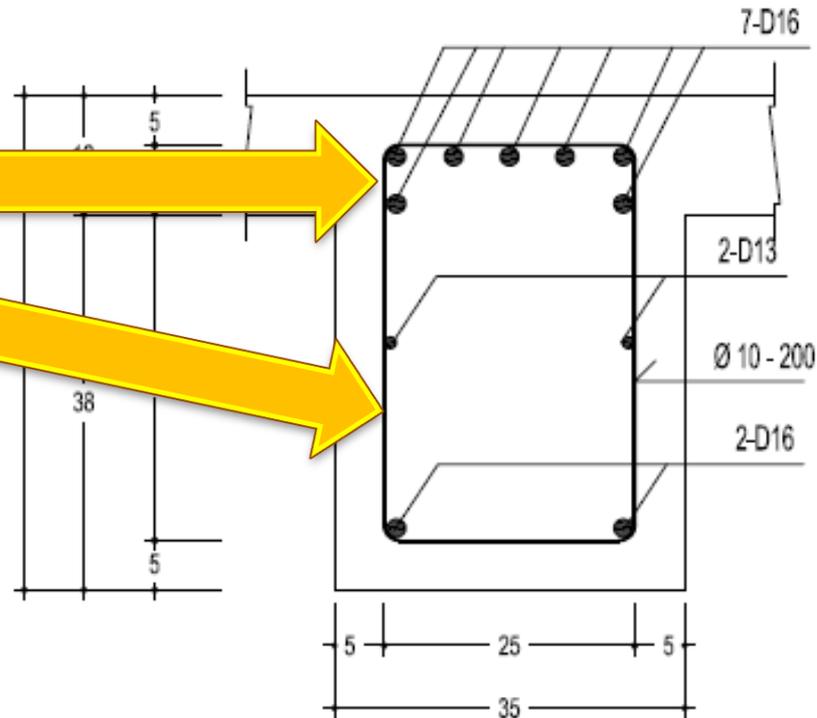
8. cek ϕM_n

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,8 \times 3695 \times 400 \left(818 - \frac{174}{2} \right) \\ &= 864334400 \text{ Nmm} = 864,3 \text{ kNm} > M_u = 857 \text{ kNm} \longrightarrow \text{ok}\end{aligned}$$

...andddd, we are done here!!!

**Not really...
am just kidding... :D
Your work isn't done yet!!!**

**GAMBAR
APAKAH
INI???**





See you

later

~~~~~

**Sampai  
pertemuan  
berikutnya**